



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Милица М. Кањевац

**ЕФЕКАТ ИНДУКОВАНИХ МЕТАБОЛИЧКИХ ПРОМЕНА
У ФАЗИ КЛИЈАЊА СЕМЕНА НА ФИЗИОЛОШКО-
БИОХЕМИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОДАБРАНИХ
ГАЈЕНИХ БИЉАКА**

докторска дисертација

Крагујевац, 2024



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF SCIENCE

Milica M. Kanjevac

**THE EFFECT OF INDUCED METABOLIC CHANGES IN
PHASE OF SEED GERMINATION ON PHYSIOLOGICAL
AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SELECTED
CULTIVATED PLANTS**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2024

Аутор	
Име и презиме: Милица Кањевац	
Датум и место рођења: 05. 12. 1994. године, Сјеница, Република Србија	
Садашње запослење: истраживач-сарадник на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу	
Докторска дисертација	
Наслов: Ефекат индукованих метаболичких промена у фази клијања семена на физиолошко-биохемијске карактеристике одабраних гајених биљака	
Број страница: 203	
Број слика: 18 слика, 33 графикона, 51 табела	
Број библиографских података: 409	
Установа и место где је рад израђен: Природно-математички факултет Универзитета у Крагујевцу, Крагујевац	
Научна област (УДК): Биологија (581.1(043.3))	
Ментор: др Биљана Бојовић, ванредни професор, Природно-математички факултет, Универзитет у Крагујевцу	
Број и датум одлуке Већа универзитета о прихватању теме докторске дисертације: Одлука бр. IV-01-9/9 од 19. 01. 2022. године	

Захвалница

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације спроведена су у Лабораторији за физиологију биљака Института за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу.

Посебну захвалност дугујем својој менторки, проф. др Биљани Бојовић, на указаном поверењу, сарадњи у свакодневном раду, увек радо пруженој и несебичној помоћи, уложеном труду и времену и показаном разумевању током израде докторске дисертације.

Захваљујем се члановима комисије, проф. др Тијани Цветић Антић, др Сузани Живковић, научном саветнику, и проф. др Милану Станковићу, на конструктивним предлозима и идејама приликом прегледа и оцене рукописа Докторске дисертације.

Велику захвалност дугујем др Драгани Јаковљевић за несебичну помоћ у лабораторијском раду, пренета искуства, вештине и знање током нашег експерименталног рада. Захваљујем јој се на корисним саветима и идејама које су допринеле побољшању квалитета ове докторске дисертације.

Искрено се захваљујем доц. др Андрији Ћирићу за велику помоћ у истраживању и презентацији резултата приликом примене RP-HPLC методе.

Милица Кањевац

АПСТРАКТ

Прајминг метода је једна од врло успешно коришћених метода за побољшање квалитета семена и физиолошких параметара продуктивности гајених биљака која значајно доприноси превазилажењу стреса индукованог неповољним условима спољашње средине. Предмет овог истраживања биле су гајене врсте житарица и повртарских биљака: пшеница (*Triticum aestivum* L. cv. Belija), јечам (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565), овас (*Avena sativa* L. cv. Condor), ротквица (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa) и парадајз (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce). Општи циљ истраживања био је евалуација физиолошко-биохемијских параметара продуктивности одабраних гајених биљака под утицајем индукованих промена метаболичке активности током процеса клијања, применом различитих техника прајминг методе, у оптималним условима и условима абиотичког стреса изазваног ниском температуром. Утврђено је да су перформансе семена тестираних биљака биле побољшане применом прајминг методе. Ефикасност примењених прајминг третмана потврђена је кроз побољшање карактеристика клијања и растења биљака, смањење садржаја MDA, активирање ензимског антиоксидативног одбрамбеног система, повећање концентрације фотосинтетичких пигмената и укупних солубилних протеина, фенолних једињења и флавоноида и неутрализацију DPPH радикала. Утврђено је да су прајминг третмани специфични за биљну врсту и услове спољашње средине, као и да је толеранција биљака на услове стреса изазване ниским температурама повећана након примене ове методе. Закључено је да прајминг метода представља перспективно средство за регулисање физиолошких процеса током клијања семена и растења клијанаца.

Кључне речи: прајминг метода, гајене биљке, температурни стрес, клијање, пигменти, антиоксидативни ензими, секундарни метаболити.

ABSTRACT

Priming is one of the methods used with great success to improve the quality of seeds and the physiological parameters of the productivity of cultivated plants and contributes significantly to overcoming stress caused by unfavorable environmental conditions. The subject of this research was cultivated cereals and vegetable plants: wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Belija), barley (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565), oat (*Avena sativa* L. cv. Condor), radish (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa) and tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce). The general objective of this study was to evaluate the physiological-biochemical parameters of productivity of selected cultivated plants under the influence of induced changes in metabolic activity during the germination process, using different priming techniques under optimal conditions and under conditions of abiotic stress caused by low temperatures. It was found that the performance of the seeds of the tested plants was improved by applying the priming method. The effectiveness of the applied priming treatments was confirmed by the improvement of the characteristics of germination and plant growth, the reduction of MDA, the activation of the enzymatic antioxidant defense system, the increase in the concentration of photosynthetic pigments and total soluble proteins, phenolic compounds, and flavonoids and the neutralization of DPPH radicals. The priming treatments proved to be specific to the plant species and environmental conditions, and the tolerance of plants to low temperature stress increases after application of this method. It was concluded that the priming method is a promising tool to regulate physiological processes during seed germination and seedling growth.

Keywords: priming method, cultivated plants, temperature stress, germination, pigments, antioxidant enzymes, secondary metabolites.

САДРЖАЈ

1.	УВОД.....	1
1.1.	Клијање семена	1
1.2.	Прајминг семена.....	3
1.2.1.	Хидропрајминг.....	5
1.2.2.	Хормопрајминг.....	6
1.2.3.	Халопрајминг.....	7
1.2.4.	Редокспрајминг.....	7
1.2.5.	Нови приступи у примени прајминг методе	7
1.2.6.	Утицај прајминга на клијање семена и растење биљака.....	10
1.2.7.	Утицај прајминга на процес фотосинтезе	11
1.2.8.	Утицај прајминга на концентрацију минералних елемената у биљкама.....	11
1.2.9.	Утицај прајминга на оксидативни стрес код биљака	12
1.2.10.	Утицај прајминга на ублажавање абиотичког стреса.....	12
1.2.11.	Бенефити прајминга код гајених биљака.....	15
1.3.	Карактеристике испитиваних биљних врста	16
1.3.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. (пшеница)	16
1.3.2.	<i>Hordeum vulgare</i> L. (јечам).....	17
1.3.3.	<i>Avena sativa</i> L. (овас)	17
1.3.4.	<i>Raphanus sativus</i> L. (ротквица)	19
1.3.5.	<i>Solanum lycopersicum</i> L. (парадајз).....	19
1.4.	Примарни и секундарни метаболизам биљака.....	20
1.4.1.	Фотосинтетички пигменти	22
1.4.2.	Ензимски антиоксидативни одбрамбени системи у биљкама	26
1.4.3.	Неензимски антиоксидативни одбрамбени системи у биљкама	29
2.	ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА	32
3.	МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА	33
3.1.	Дизајн експеримената	33
3.2.	Одређивање садржаја воде у семену.....	35
3.3.	Процена карактеристика клијања	36
3.4.	Испитивање карактеристика растења и потенцијала продуктивности	36
3.5.	Одређивање релативног садржаја воде у листу.....	37
3.6.	Одређивање концентрације фотосинтетичких пигмената.....	37
3.7.	Екстракција и одређивање концентрације укупних солубилних протеина	38
3.8.	Одређивање интензитета липидне пероксидације	38
3.9.	Испитивање параметара ензимског антиоксидативног одбрамбеног система	39
3.9.1.	Одређивање активности супероксид дисмутазе	39

3.9.2. Одређивање активности каталазе.....	39
3.9.3. Одређивање активности аскорбат пероксидазе	39
3.9.4. Одређивање активности гвајакол пероксидазе	40
3.9.5. Одређивање активности пирогалол пероксидазе	40
3.10. Испитивање параметара неензимског антиоксидативног одбрамбеног система	40
3.10.1. Припрема биљног материјала и екстракта	40
3.10.2. Одређивање концентрације укупних фенолних једињења	41
3.10.3. Одређивање концентрације укупних флавоноида	41
3.10.4. Одређивање укупне антиоксидативне активности	41
3.10.5. Анализа фенолних киселина и флавоноида	42
3.11. Статистичка обрада података.....	43
4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА	44
4.1. Пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L. cv. Belija).....	44
4.1.1. Садржај воде у семену	44
4.1.2. Карактеристике клијања.....	44
4.1.3. Карактеристике растења	45
4.1.4. Релативни садржај воде у листу	48
4.1.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената	48
4.1.6. Концентрација укупних солубилних протеина.....	49
4.1.7. Интезитет липидне пероксидације.....	50
4.1.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система.....	51
4.1.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида	54
4.1.10. Укупна антиоксидативна активност.....	55
4.1.11. Квалитативна и квантитативна анализа фенолних киселина и флавоноида	58
4.2. Јечам (<i>Hordeum vulgare</i> L. cv. Novosadski 565).....	62
4.2.1. Садржај воде у семену	62
4.2.2. Карактеристике клијања.....	62
4.2.3. Карактеристике растења	63
4.2.4. Релативни садржај воде у листу	66
4.2.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената	66
4.2.6. Концентрација укупних солубилних протеина.....	67
4.2.7. Интезитет липидне пероксидације.....	68
4.2.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система.....	69
4.2.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида	72
4.2.10. Укупна антиоксидативна активност.....	73
4.2.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида	76
4.3. Овас (<i>Avena sativa</i> L. cv. Condor).....	80

4.3.1. Садржај влаге у семену	80
4.3.2. Карактеристике клијања.....	80
4.3.3. Карактеристике растења	81
4.3.4. Релативни садржај воде у листу	84
4.3.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената	84
4.3.6. Концентрација укупних солубилних протеина.....	85
4.3.7. Интезитет липидне пероксидације.....	86
4.3.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система.....	87
4.3.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида	90
4.3.10. Укупна антиоксидативна активност.....	91
4.3.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида	94
4.4. Ротквица (<i>Raphanus sativus</i> L. cv. Saxa).....	98
4.4.1. Садржај влаге у семену	98
4.4.2. Карактеристике клијања.....	98
4.4.3. Карактеристике растења	100
4.4.4. Релативни садржај воде у листу	102
4.4.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената	102
4.4.6. Концентрација укупних солубилних протеина.....	103
4.4.7. Интезитет липидне пероксидације.....	103
4.4.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система.....	104
4.4.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида	108
4.4.10. Укупна антиоксидативна активност.....	109
4.4.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида	112
4.5. Парадајз (<i>Solanum lycopersicum</i> L. cv. Volovsko srce).....	116
4.5.1. Садржај влаге у семену	116
4.5.2. Карактеристике клијања.....	116
4.5.3. Карактеристике растења	118
4.5.4. Релативни садржај воде у листу	120
4.5.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената	120
4.5.6. Концентрација укупних солубилних протеина.....	121
4.5.7. Интезитет липидне пероксидације.....	122
4.5.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система.....	123
4.5.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида	126
4.5.10. Укупна антиоксидативна активност.....	127
4.5.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида	130
5. ДИСКУСИЈА	134
6. ЗАКЉУЧЦИ.....	148

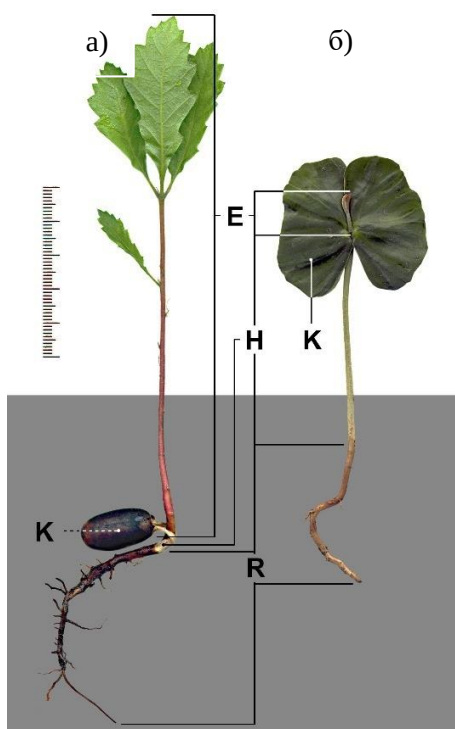
7. ЛИТЕРАТУРА	151
ПРИЛОЗИ	183

1. УВОД

1.1. Клијање семена

Клијање семена је прва и најважнија фаза у растењу и развићу биљака. Почиње апсорпцијом воде из спољашње средине и завршава се појавом радикуле/коренка (Malek и сар., 2022). Процес клијања зависи од већег броја регулаторних фактора животне средине, укључујући кисеоник, влажност и температуру. У многим случајевима клијање семена је инхибирано, чак и када су обезбеђени основни спољашњи фактори (кисеоник, вода и температура). Таква семена називају се дормантна семена и клијају тек када им се обезбеде посебни додатни услови као што су светлост, ниска или висока температура, механичко оштећење семењаче и испирање инхибитора (Finch-Savage и Leubner-Metzger, 2006; Lacoretz и сар., 2022).

Семена биљака пролазе кроз различите структурне промене током клијања, па се због тога могу разликовати два типа клијања – епигеично и хипогеично (слика 1). Епигеично (надземно, фанерокотиларно) клијање је такав тип клијања при коме се, после пробијања радикуле кроз микропилу, хипокотил издужује и износи семењачу и котиледоне изнад земље. Код хипогеичног (подземног, криптокотиларног) клијања котиледони остају затворени у семењачи, хипокотил се слабо издужује, а епикотил износи примарне листове изнад земље.



Слика 1. Приказ типова клијања: хипогеично (а) и епигеично (б).
R – радикула (коренак); H – хипокотил (део стабла испод котиледона); E – епикотил (део стабла изнад котиледона); K – котиледони

На први поглед клијање семена представља веома једноставан процес. Међутим, временски интервал у коме се одиграва овај процес обухвата велики број догађаја у семену почев од хидратације протеина преко процеса дисања и синтезе макромолекула до издуживања ћелија. Ови догађаји груписани су у 4 фазе: фаза имбибиције, фаза активације, фаза интензивирања митотичких деоба и фаза израстања коренка.

1. Имбибиција/усвајање воде, прва фаза у процесу клијања, представља физички процес који започиње доспевањем семена у влажну средину и зависи од односа водног потенцијала семена и спољашње средине. С обзиром на ниски потенцијал матрикса семена ову фазу карактерише почетна брза апсорпција воде која изазива бубрење семена и промену његовог облика и запремине. У почетку имбибиције разлика водног потенцијала семена и околне средине је велика, али како хидратација напредује потенцијал матрикса постаје позитивнији што доводи до опадања брзине усвајања воде. Брза хидратација утиче на повећање пропустљивости семењаче што доводи до изласка нискомолекуларних једињења, као и инхибитора клијања попут апсцисинске киселине, у спољашњу средину. Међутим, структура семењаче се репарира након периода имбибиције. Прва фаза клијања завршава се када се потенцијали воде у семену и спољашњој средини изједначе.

2. У другој фази, фази активације, покрећу се бројни физиолошки процеси, укључујући *de novo* синтезу протеина из постојеће iRNK. Настављају се и респираторне активности попут гликолизе и β -оксидације масних киселина, при чему долази до повећане потрошње O_2 и ослобађања CO_2 . Такође се активирају DNK лигазе које поправљају оштећења на молекулима DNK настала због губитка теломерних секвенци током исушивања семена. Иницирана је и поправка постојећих митохондрија што је од великог значаја за производњу АТФ који је неопходан за клијање семена. Током ове фазе долази и до синтезе макромолекула, али и мобилизације резервних материја у органима за складиштење (попут ендосперма), чиме се обезбеђују продукти неопходни за фазу интензивних митотичких деоба која претходи расту ембриона и израстању коренка.

3. У фази митотичких деоба одвијају се интензивне деобе ћелија ембриона које претходе процесу издуживања и диференцирања ћелија. На ембриону се уочавају структурне промене у виду коренка, хипокотила и клициних листића. Одвијање ових процеса је могуће захваљујући разградњи резервних хранљивих материја помоћу ензима α -амилазе, што омогућава исхрану ембриона и истовремено ослобађање енергије неопходне за процес трансформације ембриона у клицу.

4. Последња фаза у процесу клијања семена је израстање коренка/радикуле. Издуживање радикуле се превасходно одвија на основу издуживања ћелија, па је и пробијање коренка кроз семењачу више повезано са растењем осовине ембриона него са самим процесом клијања. До немогућности израстања коренка долази код дормантних семена код којих је дорманција наметнута тврдом семењачом. Појавом коренка отпочиње фаза растења и развића клијанца (Han и Yang, 2015; Benincasa и сар., 2019; Tuan и сар., 2019).

Процес клијања семена може да отпочне само онда када се семе нађе у условима неопходним за клијање. Различите биљне врсте захтевају различити временски период у коме се одиграва процес клијања – од неколико дана до неколико месеци. Процес клијања у лабораторијским условима може бити убрзан коришћењем различитих хемијских једињења или екзогеном применом фитохормона и регулатора растења.

Брзо и синхронизовано клијање семена и динамичан раст осовине ембриона од пресудног су значаја за успешну продуктивност биљака, пре свега оних које човек гаји. У циљу побољшања квалитета семена годинама уназад развијане су методе и технике са различитим степеном успешности. На основу бројних истраживања показало се да је *прајминг семена* једна од најефикаснијих метода којом се постиже боља динамика и синхронизација клијања на тај начин што се у извесној мери модификују метаболичке активности током самог процеса клијања.

1.2. Прајминг семена

Прајминг семена (eng. *seed priming*) је ефикасна, економична и једноставна физичко-хемијска метода којом се стимулише клијање семена, побољшава виталност клијанаца и повећава отпорност биљака на абиотички и биотички стрес (Hussain и сар., 2022).

Прајминг метода представља процес ограниченог хидрирања семена (у контролисанима условима) растворима различитог осмотског потенцијала којима се покрећу одређени метаболички процеси који иницирају клијање, али који не дозвољавају појаву радикуле (Masondo и сар., 2018). То се постиже десикацијом семена на почетку друге фазе процеса клијања, одмах после имбибиције. Десикацијом се активирани метаболички процеси временски прекидају до поновног постављања семена у влажну средину (Moogi и Ahmadi-Lahijani, 2020).

Прајминг је стара емпиријска метода која се користи већ дуго у пољопривреди, али су посебну пажњу на њу скренули Heydecker и сар., (1973) у раду под насловом „*Accelerated germination by osmotic seed treatment*“ у часопису „*Nature*“. Основана карактеристика ове методе је индикована модификација метаболичких активности у семену пре израстања радикуле, чиме се знатно побољшавају динамика клијања и перформансе клијанаца. Наиме, процес клијања је реверзибилан до друге фазе, што подразумева да се семена могу поново осушити и чувати, с тим да започну клијање у повољним условима. Прајминг семена се врши током ове друге, реверзибилне фазе; прајминг агенси активирају започете метаболичке процесе који се затим прекидају десикацијом семена за један краћи временски период (24 h), чиме се не дозвољава појава радикуле. Након десикације следи фаза рехидратације семена; тада се семена постављају у услове повољне за клијање чиме се започети процеси настављају (слика 2). На тај начин би процес клијања код прајмираних семена имао 6 фаза, а њихов редослед би био: 1. фаза имбибиције; 2. фаза активације метаболичких процеса; 3. фаза десикације (дехидратације) семена; 4. фаза рехидратације; 5. фаза митотичких деоба; 6. фаза израстања радикуле (слика 2).



Слика 2. Схематски приказ клијања прајмираних и непрајмираних семена

Након рехидратације прајмирана семена показују побољшане квалитативне параметре, што се огледа у скраћивању временског периода до појаве коренка, већем проценту клијавости и униформности клијања, повећању виталности семена и бржом и синхронизованом појавом клијанаца, што је од пресудног значаја за продуктивност биљака (Salah и сар., 2015; Tounekti и сар., 2020). Већи квалитет прајмираног семена резултат је стимулације метаболичких активности попут *de novo* синтезе нуклеинских киселина (DNK и RNK), протеина, ензима амилазе, протеазе, липазе и антиоксидативних ензима, производње АТФ, синтезе пролина, активације стерола и фосфолипида, репарације оштећене DNK и одржавања интегритета ћелијске мембране (Ashraf и Foolad, 2005; Marthandan и сар., 2020; Saha и сар., 2022).

Ефикасност прајминга зависи од многих фактора, пре свега од осмотског потенцијала и концентрације прајминг раствора, трајања прајминга и врсте биљке (Di Girolamo и Barbanti, 2012). Успешно прајмирана семена имају унапређене перформансе и дају боље резултате од непрајмираних како при оптималним, тако и при неповољним условима спољашње средине (Waqas и сар., 2019). У оквиру прајминг методе постоји више техника које су класификоване на основу прајминг агенаса и укључују: хидропрајминг, хормопрајминг, халопрајминг, редокспрајминг, осмопрајминг, биопрајминг, прајминг чврстим матриксом, нутрипрајминг и нанопрајминг (Masondo и сар., 2018; Thakur и сар., 2022) (слика 3).



Слика 3. Различите технике у оквиру прајминг методе

1.2.1. Хидропрајминг

Хидропрајминг је једноставна, економична и еколошки прихватљива метода која се заснива на хидрирању семена дестилованом водом и њиховом десикацијом на почетку друге фазе клијања чиме се спречава појава радикуле (Johnson и Puthur, 2021). Ова метода повећава садржај влаге у семену уз континуирано снабдевање кисеоником и индукује акумулацију хидролитичких ензима као што су амилазе, целулазе и ксиланазе, за претварање ускладиштених резервних материја у једноставније облике (АТР), неопходне за одвијање метаболичких процеса који омогућавају клијање (Zulueta-Rodríguez и сар., 2015). Недостатак хидропрајминга је у томе што може довести до неконтролисаног упијања воде од стране семена због чега се јавља неуједначено клијање (Johnson и Puthur, 2021). Ово је последица доступности слободне воде током хидропрајминга, тако да брзина апсорпције зависи само од афинитета семена према води. Ова техника такође може довести до неједнаког степена хидратације семена због чега изостаје синхронизована метаболичка активација унутар семена и долази до несинхронизованог израстања радикуле. Стога је, у зависности од врсте биљке, препоручљиво дефинисати тачну запремину воде за жељени ниво хидратације, као и температуру и временско трајање прајминга.

Бројна истраживања су потврдила да примена хидропрајминга делује стимулативно на карактеристике клијања семена и растење клијанаца различитих биљака (Umair и сар., 2010; Moreno и сар., 2018; Damalas и сар., 2019; Farooq и сар., 2019). Поред тога, хидропрајминг може да стимулише клијање семена многих гајених биљака у неповољним условима спољашње средине (Jisha и Puthur, 2014; Jayesh и

Meeta, 2015; Jisha и сар., 2018). Утврђено је да хидропрајминг ефикасно побољшава толеранцију зелених махунарки на стрес солима и температурни стрес тако што повећава фотосинтетичке активности и садржај пролина, а смањује пероксидацију липида кроз појачану активност антиоксидативних ензима (Jisha и Puthur, 2018). Значајан стимулативни утицај хидропрајминга на биохемијске и физиолошке карактеристике биљака изложених повећаној концентрацији соли потврдили су и Shumaila и Ullah, (2020).

1.2.2. Хормопрајминг

Хормопрајминг представља хидратацију семена различитим фитохормонима попут гиберелинске киселине (GA_3), ауксина (IAA), апсцисинске киселине (ABA), салицилне киселине (SA), јасмонске киселине (JA), кинетина и полиамина, који подстичу растење и развиће клијанаца (Thakur и сар., 2022). Поред осталих функција, фитохормони су кључни регулатори клијања семена, растења и развића биљака и значајни су за адаптацију биљака изложених абиотичком стресу (Намајун и сар., 2015). Стога примена хормопрајминга са оптималном концентрацијом одређених биљних хормона може да повећа клијавост, растење и продуктивност многих биљних врста које се гаје под различитим стресним условима. Истраживања су показала да је прајминг семена јаре пшенице помоћу GA_3 модулацијом хормонске хомеостазе, заједно са променама апсорпције и акумулације јона између изданака и корена, повећао принос зрна и толеранцију на стрес солима (Iqbal и Ashraf, 2013). Поред тога, Anwar и сар., (2020) су утврдили да прајминг са GA_3 активира ензиме неопходне за метаболизам угљених хидрата, биосинтезу хлорофила и друге кључне ензиме, чиме се значајно стимулише развој ембриона, клијавост и растење клијанаца. Zhao и сар., (2020) су утврдили да прајминг са IAA стимулише клијање семена памука регулацијом ендогених хормона и метаболизма сахарозе. Додатно, прајминг са IAA значајно је побољшао дужину корена и хипокотила, биомасу и фотосинтетички капацитет биљака. Стимулативни утицај хормопрајминга са SA на клијање семена, побољшање квалитета клијанаца и повећање толеранције црног кима на стрес изазван тешким металима доказали су Espanany и сар., (2016). Примена ABA и JA у виду прајминг агенаса модификовала је експресију гена за повећање толеранције пшенице на сушу (Wang и сар., 2021). Утврђено је да се хормопрајминг са кинетином може користити као ефикасна стратегија за успостављање клијања семена и формирање клијанаца на подручјима са повећаним салинитетом земљишта, што је повезано са способношћу кинетина да одржи осмотску регулацију кроз појачану акумулацију растворљивих протеина и шећера, као и баланс хормона, побољшавајући катаболизам ABA и биосинтезу гиберелина (Kamran и сар., 2021). Слична запажања забележана су и за примену прајминга са полиаминама (Biondi и сар., 2022).

Хормопрајминг представља перспективну стратегију за управљање стресом код биљака јер их штити од различитих неповољних фактора спољашње средине повећањем нивоа активности антиоксидативних ензима, смањењем оксидативног оштећења и побољшавањем растења. Прајминг семена фитохормонима повећава толеранцију гајених биљака на абиотички стрес, па ова техника може да се користити за одрживу производњу биљака у условима суше, ниских температура, поплава или на сланим стаништима. Прајминг семена фитохормонима не само да побољшава толеранцију на абиотички стрес, већ и обезбеђује хармонизовано клијање прекидањем дорманције и периода мировања семена. Такође представља ефикасан алат за третирање семена многих врста гајених биљака, при чему се услови и методе третмана разликују

од врсте до врсте. Међутим, потребно је више истраживања на молекуларном нивоу како би се разјаснили механизми деловања фитохормона у прајмирању семена, посебно њихова улога у експресији гена који су у вези са стресом.

1.2.3. Халопрајминг

Халопрајминг је техника која се заснива на хидрирању семена растворима неорганских соли, као што су NaCl, KCl, CaCl₂, KNO₃, MgSO₄, итд. (El-Sanatawy и сар., 2021). Прајминг семена солима позитивно утиче на садржај пролина, активност антиоксидативних ензима као и неензимских компоненти антиоксидативног система код биљака, попут секундарних метаболита, чиме се смањује оксидативни стрес и стимулише клијање (El-Serafy и сар., 2021). Да је халопрајминг ефикасна предсетвена метода за покретање физиолошког одговора биљака на стрес солима, кроз побољшање активности антиоксидативног одбрамбеног система и повећање садржаја фенолних једињења, показали су Islam и сар. (2015). Sen и Puthur (2021) су утврдили да примена халопрајминга значајно повећава акумулацију пролина, аминокиселина, укупних растворљивих шећера, укупних фенола, активност антиоксидативних ензима и фотосинтетичку активност, што резултира повећањем отпорности пиринча на сушу. Прајминг семена солима изазвао је промене у саставу аминокиселина и масних киселина у зрну пшенице које су биле специфичне за сорту и услове спољашње средине и имао је значајан утицај на метаболичка прилагођавања биљака. Промене у саставу аминокиселина и масних киселина настале под утицајем халопрајминга имале су директан утицај на повећање квалитета зрна пшенице (Khaing и сар., 2020). Халопрајминг утиче на осморегулацију код сунцокрета повећањем акумулације пролина и на тај начин побољшава клијање и растење клијанаца, као и њихову толеранцију на услове повећане концентрације соли (Bajehbaj, 2010). Сходно томе, делотворни ефекти халопрајминга односе се углавном на повећање толеранције биљака на неповољне услове животне средине (Patade и сар., 2009; Gholami и сар., 2015; Muhammad и сар., 2015; Iqbal и сар., 2020).

1.2.4. Редокспрајминг

Редокспрајминг је техника у којој се семена третирају агенсима са јаким оксидативним својствима, као што је натријум нитропрусид (донор азот оксида), H₂O₂, полиетилен гликол (PEG), глутатион, аскорбинска киселина, токоферол, итд. (Hussain и сар., 2022). Редокс стање ћелија је важан регулатор различитих физиолошких процеса код биљака као што су клијање, мировање, растење и толеранција на стрес. Као одговор на спољашњи стимуланс редокс стање биљних ћелија се мења и потенцијално делује као сигнал за метаболичке промене (Hussain и сар., 2022). Примена редокспрајминга може бити ефикасна техника за повећање отпорности биљака на абиотички стрес. Поред тога, може имати важну улогу у трансдукцији сигнала и регулацији метаболизма биљака и њиховог морфо-физиолошког развоја (Ali и сар., 2017; Nameed и сар., 2021; dos Santos Guaraldo и сар., 2023).

1.2.5. Нови приступи у примени прајминг методе

Биопрајминг је економична и еколошки прихватљива метода за побољшање растења биљака и/или толеранције биљака на абиотички стрес која укључује употребу

биостимуланаса (као што су биљни екстракти, корисне гљиве, бактерије, актиномицете и екстракти морских алги) (Chakraborti и сар., 2021; Verma и сар., 2022). Комерцијализација употребе биостимуланаса је показала велики потенцијал за регулацију и/или модификацију физиолошких процеса током клијања, што се манифестује кроз побољшање целокупних перформанси семена (Shahrajabian и сар., 2021). Ефикасан стимулативни утицај на клијање и развиће биљка забележен је након примене биопрајминга са екстрактима цијанобактерија (Singh и сар., 2020). Запажено је да имплементација биопрајминга не само да промовише растење, већ побољшава и одбрамбени механизам биљака кроз повећану акумулацију шикимске и галне киселине у биљкама добијеним из биопрајмираних семена (Singh и сар., 2016). Биопрајминг повећава отпорност пшенице на сушу тако што утиче на смањење садржаја пролина, водоник пероксида, малондиалдехида, контролише осморегулацију, побољшава антиоксидативни капацитет биљака и акумулацију фенолних једињења (Shukla и сар., 2015). Слично томе биопрајминг са гљивама из рода *Trichoderma* је показао велики потенцијал у отклањању негативних последица повишеног салинитета на биљке кукуруза преко побољшања фенотипских и биохемијских карактеристика биљака (Pehlivan и сар., 2017). Биопрајминг је такође погодна метода за контролу биљних патогена. Prabha и сар., (2019) су показали да је биопрајминг са корисним микроорганизмима имао значајан ефекат у контроли болести и управљању биљним штеточинама у поређењу са другим доступним техникама. Наведено је да ова техника индукује повећање отпорности биљака на абиотички стрес стимулацијом биохемијских, молекуларних и ћелијских одбрамбених одговора. Ефикасност биопрајминга у побољшању растења и отпорности биљака на абиотички стрес потврђена је и код парадајза (Srivastava и сар., 2010), чилија (Ananthi и сар., 2019), црног бибера (Ashajyothi и сар., 2020) и кукуруза (Estévez-Geffraud и сар., 2020).

Посебна техника биопрајминга-*фитопрајминг* се последњих година све више користи, а обухвата третирање семена екстрактима различитих биљних врста на почетку клијања. Биљни екстракти могу имати стимулаторни или инхибиторни ефекат у зависности од врсте семена, као и од врсте и концентрације екстракта. Циљ примене прајминга семена гајених биљака различитим фитоекстрактима је побољшање параметара клијања као што су проценат клијавости, брзина и униформност клијања, вигор индекс, издуживање клијанаца, повећање масе надземних делова биљака, количине фотосинтетичких пигмената, садржаја укупних протеина, концентрације секундарних метаболита, активности одбрамбених ензима, као и антиоксидативне активности. Инхибиторни ефекат фитоекстраката на клијање семена указује на постојање изразитог алелопатског ефекта између испитиваних врста биљака.

Прајминг чврстим матриксом је иновативна техника прајминга у којој се семе подвргава контролисаној хидратацији, при чему се одређена количина воде или хемијских/биолошких агенаса меша са чврстим или получврстим материјалом/супстратом (органским или неорганским) (Wu и сар., 2019). Супстрат који се користи као матрикс мора бити инертан и нетоксичан, са ниским потенцијалом матрикса, високим капацитетом да задржи воду, занемарљивом растворљивошћу у води и високом адхезивношћу за семена (Paparella и сар., 2015). Најчешће коришћени супстрати за прајминг чврстим матриксом су вермикулит, угаљ, пиљевина, калцинисана глина, гранулисана глина, вулкански пепео, синтетички калцијум силикат, песак, итд. (Thakur и сар., 2022). Доказано је да прајминг чврстим матриксом побољшава параметре растења биљака у стресним условима, што је повезано са повећаном акумулацијом протеина, пролина и антиоксидативних ензима, повећаним садржајем фотосинтетичких пигмената, фенола и флавоноида и смањеном концентрацијом шећера

(Sen и сар., 2020). Ова техника прајминга се може ефикасно користити у превенцији гљивичних инфекција које се преносе семеном, при чему је забележен и њен значајан утицај на побољшање вигора клијанаца (Sen и сар., 2022). Потврђено је да је прајминг чврстим матриksom веома ефикасан у побољшању параметара клијања семена, растења и квалитета садница многих гајених биљака (Sen и Mandal, 2016; Lingyun и сар., 2017; Madsen и сар., 2018; Ozden и сар., 2018).

Осмопрајминг подразумева хидрирање семена осмотским растворима са ниским осмотским потенцијалом (попут раствора полиетилен гликола (PEG), манитола, итд.) како би се контролисао улазак воде у семе (Pereira и сар., 2021). Агенси који се користе за осмопрајминг имају велики потенцијал да побољшају клијавост семена, растење и развиће клијанаца, посебно у условима стреса (Zhang и сар., 2015). Осмопрајминг активира различите механизме толеранције на стрес побољшањем антиоксидативног капацитета, активацијом сигналних молекула и производње апсцисинске киселине, чинећи тако биљке способним да се изборе са абиотичким стресом, чиме се повећава продуктивност и продужава живот биљака (Kerchev и сар., 2020). Kubala и сар., (2015 а) су указали на значајан ефекат осмопрајминга на превазилажење негативног утицаја салинитета и повећање отпорности биљака. Показано је да примена осмопрајминга модулацијом биохемијских и физиолошких процеса омогућава биљкама оптимално растење и продуктивност у условима абиотичког стреса (Abid и сар., 2018). Биљке луперке добијене из семена подвргнутих осмопрајмингу одржавале су оптималне вредности фотосинтетичке активности, садржаја воде у листу, садржаја калијума (K^+) и имале су интензивније растење у условима суше у поређењу са биљкама добијеним из непрајмираних семена (Mouradi и сар., 2016). Осмопрајминг је такође испољио стимулативан утицај на задржавање садржаја воде у ткивима, стабилност ћелијске мембране, акумулацију пролина, као и неензимских антиоксиданата (фенола и аскорбинске киселине), што је довело до повећања отпорности пшенице у условима суше (Farooq и сар., 2012).

Нутрипрајминг је техника у којој се семе третира растворима који садрже есенцијалне минералне материје. Идеја ове методе је да се нутритивни ефекат придружи биохемијским предностима прајминга у циљу побољшања квалитета семена, параметара клијања, растења и развића клијанаца. Технику нутрипрајминга најчешће користе компаније које се баве производњом семена и њиховом припремом за садњу. Прајминг семена нутритивним материјама широког спектра заснива се на имбибицији семена у смеси минерала као што су цинк, бакар, манган, молибден и фосфор, за које је доказано да обогаћују семе и обезбеђују материје неопходне за рано растење, што позитивно утиче на клијање, развој кореновог система и отпорност садница (Pereira и сар., 2022; Thakur и сар., 2022).

Нанопрајминг је савремена техника прајминга која побољшава клијавост семена, растење клијанаца и продуктивност биљака обезбеђујући отпорност на абиотички стрес. Нанопрајминг је знатно ефикаснија метода у поређењу са свим другим методама прајминга семена, а односи се на третирање семена суспензијом наночестица (попут AgNPs, AuNPs, CuNPs, FeNPs, FeS₂Nps, TiO₂NPs, ZnNPs, ZnONPs, итд.). Нанопрајминг индукује формирање нанопора на ћелијској мембрани и повећава апсорпцију воде, активира реактивне врсте кисеоника и антиоксидативне механизме у семену и формирање хидроксилних радикала који имају улогу да разmekшају зидове ћелија. Такође индукује експресију гена аквапорина који су укључени у апсорпцију воде. Нанопрајминг индукује деградацију скроба стимулацијом синтезе амилазе, што резултира повећаном динамиком клијања семена. Могући механизам помоћу којег нанопрајминг изазива прекид мировања семена и промоцију клијања је утицај на

производњу примарних и секундарних метаболита. Употреба нано ђубрива и пестицида као ефикасних материјала у нанопрајмингу је у фази истраживања, а на основу досадашњих резултата наговештава успешно коришћење ове врсте прајминга у унапређивању процеса растења и развића биљака (Ioannou и сар., 2020; Khan и сар., 2022; Thakur и сар., 2022).

1.2.6. Утицај прајминга на клијање семена и растење биљака

Клијање семена је иницијална и критична детерминанта успеха било које биљке у комерцијалној производњи (Demir и сар., 2018). Код прајмираних семена при поновном постављању у влажну средину настављају се прекинути метаболички процеси, што резултира повећаним потенцијалом клијања, бољим процентом клијавости, као и повећањем брзине и униформности клијања у односу на непрајмирана семена (Myint и сар., 2010). Механизми укључени у прајминг семена обухватају три фазе: фазу имбибиције, фазу клијања и фазу растења. Током прве фазе, фазе имбибиције, оптимизована је апсорпција воде која олакшава активацију рибонуклеинске киселине (iRNK) (Varier и сар., 2010). У другој фази, под утицајем прајминга долази до промена у метилацији DNK и модификацији хроматина, стимулирана је транскрипција и транслација протеина у комбинацији са покретањем различитих физиолошких активности повезаних са клијањем, попут промене у концентрацији осмолита (Varier и сар., 2010; Tapou и сар., 2012). Према Jisha и сар., (2013) смањење садржаја малондиалдехида у клијанцима добијеним из прајмираних семена може бити у корелацији са повећаном акумулацијом пролина, укупних протеина, укупних угљених хидрата, активношћу нитрат редуктазе, као и активностима антиоксидативних ензима попут супероксид дисмутазе и пероксидаза. На тај начин прајминг семена доводи до синхронизованог клијања и растења клијанаца што додатно омогућава развиће биљака у условима абиотичког стреса.

Сprovedена су многа истраживања о потенцијалу прајминг методе као стратегије за побољшање процеса клијања и растења биљака. Zhao и сар., (2018) су забележили побољшане перформансе клијања лука након примене прајминга у поређењу са нетретираним семенима. Упоредјујући ефекте различитих техника прајминга Sharma и сар., (2014) су указали да су хидропрајминг и прајминг чврстим матриксом значајно повећали клијавост, средње време клијања, вигор индекс и продуктивност плода бамије. Подржавајући ово истраживање Porto и сар., (2019) су забележили максимално повећање процента клијалих семена дивље шпаргле као одговор на примену прајминг методе. Према Piri и сар., (2019) примена биопрајминга побољшава карактеристике клијања кима у условима суше. Слична запажања за семена кукуруза и парадајза бележе Nakaune и сар., (2012) и Сао и сар., (2019). Бројна друга истраживања су потврдила да прајминг семена може имати делотворне ефекте на растење и развиће биљака (Nawaz и сар., 2013; Tabassum и сар., 2018; Parveen и сар., 2019; Acharya и сар., 2020; Baig и сар., 2021; Salam и сар., 2022). Многи истраживачи такође наводе да прајминг третмани знатно повећавају продуктивност гајених биљака (Sharma и сар., 2014; Yadav и сар., 2018; Bagheri и сар., 2019; Abdel-Aziz и сар., 2019; Majda и сар., 2019).

1.2.7. Утицај прајминга на процес фотосинтезе

Прајминг семена има значајну улогу у заштити фотосинтетичког апарата клијанаца и делује стимулативно на синтезу фотосинтетичких пигмената (Azoos и сар., 2013). Показано је да прајминг семена може спречити деградацију или повећати концентрацију хлорофила у оптималним и субоптималним условима (Al-Amri, 2013; Abdel Latef и Tran, 2016; Huang и сар., 2020). Познато је да различите технике прајминга повећавају концентрацију каротеноидних пигмената (Ashraf и сар., 2018; Nessim и Kasim, 2019; Valivand и сар., 2019), што је од великог значаја с обзиром да су каротеноиди ефикасни антиоксиданси, па повећан садржај ових фотосинтетичких пигмената омогућава биљкама одржавање веће концентрације хлорофила штитећи га од фотодеструкције (Kacharava и сар., 2009). Прајминг такође повећава заштиту структуре и активности фотосистема и на тај начин директно побољшава фотосинтетичке перформансе (Yang и сар., 2018; Sirhindi и сар., 2020).

Побољшање фотосинтетичке активности одражава се у параметрима везаним за флуоресценцију хлорофила. Ramzan и сар., (2021) су потврдили повећану фотохемијску ефикасност фотосинтезе под утицајем прајминга. Прајминг посредује у повећању проводљивости стома и на тај начин интензивира процес асимилације CO_2 (Nouairi и сар., 2019; Lotfi и сар., 2020). Додатно, прајминг регулише активност и концентрацију ензима укључених у фиксацију CO_2 тако што повећава експресију одговарајућих гена (Liang и сар., 2019), што се стимулативно одражава на брзину фотосинтезе, растење и биомасу биљака (Chavoushi и сар., 2020; Kataria и сар., 2021). Поред тога, побољшане фотосинтетичке перформансе под утицајем прајминга повећавају потенцијал толеранције биљака изложених различитим факторима стреса, што доводи до велике продуктивности биљака чак и под стресним условима (Mendanha и сар., 2020; Tankari и сар., 2021). Утврђено је да различите технике прајминг методе побољшавају интензитет фотосинтезе и ефикасне су против широког спектра стресора (Hussain и сар., 2017 а; Habib и сар., 2020; Nadali и сар., 2021; Waraich и сар., 2021).

1.2.8. Утицај прајминга на концентрацију минералних елемената у биљкама

Ефекат прајминга на минерални састав биљака није у довољној мери проучаван. Примена прајминг методе код броколија и карфиола значајно је утицала на повећање концентрације калијумових јона (K^+) при чему је смањила ћелијску апсорпцију јона натријума (Na^+), што је резултирало повећањем толеранције биљака на стрес солима (Hassini и сар., 2017 а). Слична запажања у случају семена пасуља бележе и Abdel-Baki и сар., (2018). Прајминг третмани са CaCl_2 , KNO_3 и KCl могу имати виталну улогу у повећању осмотског потенцијала одржавањем ниског садржаја малондиалдехида и интегритета ћелијске мембране; тако се спречава излазак електролита, што је од великог значаја за ублажавање стреса солима (Ben Youssef и сар., 2021). Слично томе екстракт листа *Turpha angustifolia* L., примењен као средство за прајминг семена грашка, повећао је садржај фосфора и калијума у условима стреса солима у поређењу са контролним биљкама (Ghezal и сар., 2016). О повећаном садржају азота, фосфора и калијума код клијанаца парадајза добијених из прајмираних семена са шикимском киселином говори и Al-Amri (2013). Саднице броколија добијене из прајмираних семена имале су повећан садржај сумпора и цинка у листовима (Hassini и сар., 2019).

1.2.9. Утицај прајминга на оксидативни стрес код биљака

Прајминг семена делује регулаторно на оксидативни стрес код биљака (Savvides и сар., 2016). Регулаторни утицај прајминга огледа се у елиминацији реактивних врста кисеоника, активацији антиоксидативних заштитних система и повећаној биосинтези фенолних једињења (Yan, 2015). У условима повећане концентрације соли код садница карфиола и броколија које су добијене из прајмираних семена уочено је повећање активности антиоксидативних ензима, солубилних протеина, солубилних шећера и пролина (Wu и сар., 2019). Valivand и сар., (2019) су документовали да прајминг семена тиквице смањује оксидативни стрес повезан са прекомерном акумулацијом никла; прајминг семена је побољшао интегритет ћелијске мембране и неензимску антиоксидативну активност кроз повећање садржаја пролина, аскорбата, глутатиона, као и активност антиоксидативних ензима. Слична запажања о модулацији ROS и експресији антиоксидативних ензима након примене фитопрајминга са воденим екстрактом белог лука код *Solanum melongena* L. објавили су и Ali и сар., (2019).

1.2.10. Утицај прајминга на ублажавање абиотичког стреса

Семена су често изложена различитим факторима абиотичког и биотичког стреса током свих фаза процеса клијања и растења клијанаца. Абиотички стрес изазван повећаним салинитетом у подлози, тешким металима, сушом или екстремним температурама представља главни фактор који ограничава одрживост и продуктивност гајених биљака на глобалном нивоу. Прајминг семена има значајну улогу у побољшању клијавости и растења различитих биљака у условима абиотичког стреса (Paparella и сар., 2015; Zheng и сар., 2016; Hussain и сар., 2017 b). Прајминг индукује експресију гена који су одговорни за одговор на стрес, синтезу кључних сигналних протеина, као и активацију одбрамбених механизма омогућавајући већу брзину клијања и бољу отпорност на абиотички стрес (Tapiou и сар., 2012; Kasote и сар., 2019).

Повећана концентрација соли у земљишту или у води за наводњавање један је од главних фактора абиотичког стреса који у великој мери утиче на продуктивност гајених биљака (Zulfiqar и Ashraf, 2021). Прајминг семена представља потенцијално решење за превазилажење услова стреса солима изазваног повећаном концентрацијом соли, при чему прајмирана семена показују побољшане перформансе као што су бржа и боља синхронизација процеса клијања, као и побољшани параметри растења (Jisha и сар., 2013; Ibrahim, 2016). Потврђено је да прајминг чврстим матриksom преко стимулације антиоксидативног одбрамбеног механизма позитивно делује на параметре клијања и растења броколија и карфиола у условима стреса солима (Wu и сар., 2019). На сличан начин, активацијом антиоксидативног система примена биопрајминга умањује штетне ефекте салинитета и иницира толеранцију на дати стрес (Zulfiqar и сар., 2020). Такође, биопрајминг са воденим екстрактом *Typha angustifolia* L. иницира толеранцију грашка на стрес изазван повећаном концентрацијом NaCl на тај начин што омогућава заштиту интегритета ћелијске мембране, одржавање садржаја осмолита попут пролина, растворљивих шећера, јона калијума и фосфора и повећање садржаја хлорофила и каротеноида (Ghezal и сар., 2016). Hassini и сар., (2017 b) су указали на значајан потенцијал халопрајминга у повећању толеранције броколија на стрес солима. Према Rady и сар., (2013) примена прајминга побољшава толеранцију пасуља на стрес солима модулацијом односа јона K^+/Na^+ и повећањем ензимских и неензимских антиоксиданаса. Такође је утврђено да се хормо-, осмо- и хидропрајминг могу успешно користити за развијање одбрамбених механизма, побољшање биохемијских и

физиолошких процеса биљака и елиминацију или ублажавање штетних ефеката повећане концентрације соли у земљишту (Yan, 2016; Gharbi и сар., 2018; Nejad-Alimoradi и сар., 2019; Ren и сар., 2020).

Биљке на стаништима са *повећаном концентрацијом тешких метала* могу да испоље измењен метаболизам и биохемијске и физиолошке процесе који последично доводе до смањења растења и мањег приноса биомасе, али и акумулације метала у биљкама (Edelstein и Ben-Hur, 2018). Salam и сар., (2022) су указали на велики потенцијал примене прајминга у повећању отпорности кукуруза који се гаји на стаништима загађеним кобалтом (Co). Утврђено је да прајминг смањује усвајање и биоакумулацију Co омогућавајући на тај начин унос есенцијалних минералних материја, повећање фотосинтетичке ефикасности, као и активност ензима антиоксидативног одбрамбеног система и обнављање ултраструктуре оштећених ћелија. Потврђено је да прајминг семена смањује штетне утицаје кадмијума (Cd) на перформансе клијања тимијана и побољшава отпорност ове лековите биљке на неповољне услове спољашње средине кроз повећање антиоксидативне активности и акумулацију осмолита (Moori и Ahmadi-Lahijani, 2020). Сличан ефекат прајминга на ублажавање штетних ефеката Cd кроз повећање отпорности садница краставца забележили су и Shah и сар., (2020). Позитиван утицај прајминга остварен је смањењем садржаја MDA и ROS и мењањем експресије гена који су одговорни за стрес уз модулацију транскрипције антиоксидативних ензима. Утврђен је и значај примене прајминга у ублажавању негативних ефеката алуминијума (Al) на саднице парадајза кроз смањење садржаја MDA и H₂O₂, побољшање осмотске регулације преко повећања акумулације пролина и солубилних протеина, као и повећање активности антиоксидативних ензима (Ofoe и сар., 2022). Слична запажања о примени прајминга за ублажавање токсичних ефеката арсена на растење и физиолошке процесе биљака потврдили су Mridha и сар., (2021). Поред тога, доказано је да прајминг може повећати отпорност биљака на тешке метале кроз повећање садржаја рутина, ферулне, јабучне и оксалне киселине, чиме се активирају заштитни механизми биљака и ублажава оксидативни стрес (Karalija и сар., 2022). Прајминг семена може побољшати толеранцију биљака на тешке метале и кроз смањење апсорпције метала модификацијом морфо-анатомских особина биљака, што последично смањује токсичност метала у ланцу исхране (Zanganeh и сар., 2020).

Стрес изазван *сушом* је важан фактор абиотичког стреса који инхибира вегетативни раст и продуктивност биљака (Намаун и сар., 2010). Прајминг семена може утицати на превазилажење стреса изазваног сушом модулацијом различитих механизма регулације антиоксидативног одбрамбеног система, као и повећањем садржаја осмопротектаната и фенолних једињења (Yan, 2015; Savvides и сар., 2016). Khan и сар., (2019) су доказали да примена прајминга представља перспективни метод за побољшање растења и продуктивности биљака у условима суше. Утврђено је да прајминг са мелатонином може допринети заштити структуре хлорофила и интегритета ћелијске мембране као одговор на сушу, што се може приписати повећању активности антиоксидативних ензима, повећању садржаја неензимских антиоксиданаса и количине осмопротектаната. Fagooq и сар., (2021) су утврдили да прајминг семена ублажава нежељене ефекте суше смањењем садржаја малондиалдехида, повећањем биомасе биљака, површине листова, активности α-амилазе и растворљивих шећера. Према Saha и сар., (2022) прајминг семена има кључну улогу у побољшању отпорности на сушу кроз регулисање молекуларних, биохемијских и физиолошких процеса у биљкама.

Ниске температуре су један од најкритичнијих фактора абиотичког стреса који инхибира растење биљака изазивајући механичке повреде и метаболичку дисфункцију

кроз кристализацију и формирање леда, чиме долази до значајног смањења продуктивности биљака (Chinnusamy и сар., 2007; Kosová и сар., 2013). Ниске температуре утичу на низ метаболичких промена, укључујући и поремећај метаболичке регулације, накупљање осмолита, модификацију метаболизма угљених хидрата и фотосинтетичких процеса, као и инактивацију многих метаболичких ензима (Li и сар., 2014). Стрес изазван ниском температуром доводи до пролонгирања времена клијања и неуједначеног развоја клијанаца (Jame и Cutforth, 2004). Такође, ниска температура успорава растење и развиће корена смањењем његове дужине и биомасе, чиме је инхибиран процес апсорпције воде и минералних материја, што резултира смањењем надземне масе (Hussain и сар., 2018). Поред тога, стрес изазван ниском температуром у вегетативној фази развића ограничава биохемијске и физиолошке реакције у биљним ћелијама и изазива хлорозу листова, већење, па чак и некрозу биљних ткива (Janowiak и сар., 2002; Ruelland и Zachowski, 2010). Слично томе, забележен је и инхибиторни утицај ниске температуре на развој листова и принос биомасе (Valluru и сар., 2012). У репродуктивној фази ниска температура доводи до многих структурних и функционалних деформитета што код житарица узрокује смањење броја класова, броја зрна по класу, као и масе зрна (Li и сар., 2015). С обзиром на све наведено може се закључити да стрес изазван ниском температуром негативно утиче на растење и развиће биљака доводећи до смањења квалитета гајених биљака (Zhang и сар., 2022). Развијањем одбрамбених механизма кроз експресију широког спектра гена биљке су повећале своју толеранцију како би опстале у условима нискотемпературног стреса (Monroy и сар., 2007; Li и сар., 2014). Овај процес је познат као аклиматизација на ниске температуре и постиже се широким спектром молекуларних, биохемијских и физиолошких промена које почињу изменама у структури ћелијске мембране тј. њиховом трансформацијом у ригидну структуру (Theocharis и сар., 2012; Takahashi и сар., 2013). Да би се одржала стабилност у продукцији и квалитету садница у условима стреса ниске температуре неопходно је развити методе које побољшавају отпорност биљака на ниску температуру, посебно у критичним фазама растења (Zhang и сар., 2022).

Постоји мало литературних података о потенцијалном утицају прајминг методе на повећање отпорности гајених биљака на стрес изазван ниском температуром. Температуре испод оптималних ограничавају флуидност мембране и значајно смањују виталне биохемијске реакције (Li и сар., 2014). Утврђено је да је повећање толеранције на ниске температуре повезано са бржим разлагањем и бољом мобилизацијом ускладиштених супстанци у прајмираним семенима (Baier и сар., 2019). Примена прајминга са витамином У (S-metilmethionin) побољшала је толеранцију зелене салате на ниску температуру кроз повећање садржаја заштитних једињења попут каротеноида и витамина Ц (Fodorpataki и сар., 2019). Masondo и сар., (2018) су забележили стимулативни утицај прајминга на побољшање клијања и растења садница *Ceratothera triloba* Bernh. у условима ниске температуре, салинитета и суше. Примена халопрајминга индуковала је повећање отпорности пшенице на ниску температуру побољшањем регулације метаболизма ROS, фотосинтетичке асимилације угљеника и метаболизма угљених хидрата (Liu и сар., 2022). Baier и сар., (2019) су доказали да метаболичке промене изазване прајмингом доводе до акумулације индуктора и анатагониста оксидативног стреса као што су ROS, антиоксидативни ензими и ендогени биљни хормони (апсцисинска киселина, салицилна киселина, јасмонска киселина и мелатонин), што се директно одражава на повећање толеранције биљака на стрес ниске температуре.

1.2.11. Бенефити прајминга код гајених биљака

- Прајминг семена је врло ефикасна метода, једноставна за извођење, лако се примењује на бројне врсте гајених биљака, не захтева софистицирану лабораторијску опрему, а економски је исплатива, због чега се може успешно применити у пољопривредној и хортикултуралној пракси широм света;
- Прајминг утиче на унапређење биљне производње у односу на конвенционалне методе клијања семена засноване на примени различитих хемијских супстанци;
- Прајминг методом повећава се брзина и синхронизованост процеса клијања што је предуслов за униформисано растење, развиће, сазревање плодова и оптимизацију ефикасности жетве, као и већи потенцијал приноса гајених биљака;
- Прајмингом семена омогућено је клијање и у неповољним климатским условима и повећање толеранције биљака на абиотички (суша, ниска температура, соли) и биотички стрес изазивањем низа биохемијских, физиолошких, ћелијских и молекуларних промена у биљкама; повећање отпорности биљака на стрес је предуслов за њихов оптималан развој;
- Значајна улога прајминга је и прекидање дорманције код семена великог броја биљних врста, као и повећање виталности садног материјала и способности да продукује квалитетне саднице (вигор);
- Прајминг семена доприноси интензивнијем растењу биљака и ранијем почетку цветања;
- Прајминг успоставља „биљну меморију“, тј. латентну сигнализацију, која ће се активирати током поновног излагања биљака стресним факторима;
- Најновија истраживања показују да ће помоћу прајминга бити могуће идентификовати маркере који би се користили као индикатори у циљу избегавања прелажења прага код критичне друге фазе процеса клијања и угрожавања животног века семена. Такви маркери би се нарочито примењивали у комерцијалне сврхе и идеално би било ако би они били погодни за већи број биљних врста и сорти;
- Разумевање молекуларних механизма који леже у основи сваког физиолошког процеса прајмираних семена још увек је непотпуно, иако су недавне студије у којима се примењује молекуларни генетички приступ већ дале кључне резултате у вези са улогом хормона у модулацији ових процеса. Поред тога, омика се показала као моћно средство за идентификацију регулаторних путева и чинилаца укључених у процес клијања и дуговечност семена;
- Најновије физичке методе прајминга као што су магнетопрајминг и јонизујуће зрачење (укључујући гама, УВ и рендгенске зраке), као и фитопрајминг (органски екстракти биљака), представљају најперспективније третмане семена пре сетве који доводе до повећања продуктивности биљака у стресним условима.

1.3. Карактеристике испитиваних биљних врста

1.3.1. *Triticum aestivum* L. (пшеница)

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) (слика 4), једногодишња врста из фамилије Роасеае, једна је од најзначајнијих прехранбених биљака. Производи се на више површина него било која друга култура и чини приближно 26% укупне светске производње житарица (Gupta и сар., 2021; Wu и сар., 2022). Зрна и клијанци пшенице представљају извор фитоједињења која имају велики здравствени значај (Gupta и сар., 2021). Хемијске компоненте зрна пшенице су: 70% скроба, 10-13% дијететских влакана, 9-14% протеина, 1,5-2,5% липида (неполарни липиди, гликолипиди и фосфолипиди), 1,8% минерала и 1,2% осталих компонената. Дијететска влакна пшенице састоје се од арабиноксилана, целулозе, β -глюкана, фруктана и пептида арабиногалактана и имају многе бенефите за људско здравље. Пшенично зрно садржи есенцијалне аминокиселине попут хистидина, лизина, леуцина, изолеуцина, метионина, тирозина, триптофана, треонина и валина. Заступљен је и широк спектар масних киселина, при чему просечан састав масних киселина у зрну пшенице чини 62% линолне, 21% палмитинске, 11% олеинске, 5% α -линолеинске и 1% стеаринске киселине. Значајан су извор минерала попут калијума, фосфора, магнезијума и калцијума, док се неки минерали, као што су гвожђе, бакар, манган и цинк, налазе у траговима. Поред тога, пшеница је богата витаминима, посебно комплексом витамина Б и витамином Е (α -токоферолом), при чему они нису равномерно распоређени у целом зрну, већ се углавном налазе у семеном омотачу и клици. Од витамина групе Б најзаступљенији је никотинамид (Б3) (5,1 mg/100 g), затим пантотенска киселина (Б5) (1,2 mg/100 g), тиамин (Б1) (0,46 mg/100 g), пиридоксин (Б6) (0,27 mg/100 g), рибофлавин (Б2) (0,1 mg/100 g), фолна киселина (Б9) (0,09 mg/100 g) и биотин (Б7). Фитохемикалије које се налазе у семену укључују фенолне киселине, токофероле, стероле и терпеноиде (Wieser и сар., 2020). Пшеница се, у поређењу са другим житарицама, сврстава у водеће биљке у свету првенствено због својих хранљивих вредности, али и релативно лаког убирања плодова, складиштења, транспорта и технолошке обраде (Balli и сар., 2022).



Слика 4. Пшеница (*Triticum aestivum* L.)

1.3.2. *Hordeum vulgare* L. (јечам)

Јечам (*Hordeum vulgare* L.) (слика 5) је једна од најстаријих врста житарица. Припада породици Poaceae и има веома значајну улогу у пољопривреди у свету (Deng и сар., 2019). Представља економски вредну, широко коришћену биљку и налази се на петом месту по производњи у свету (после кукуруза, пшенице, пиринча и соје) (Baik и сар., 2008). Првобитно је култивисан за људску употребу, а затим је еволуирао у храну за животиње и слад за производњу пива (Meints и сар., 2016). Зрно јечма садржи 65-68% скроба, 11-34% дијететских влакана (од чега 3-20% растворљивих), 10-17% протеина, 4-9% β -глюкана, 2-3% липида и 1,5-2,5% минерала (Baik и сар., 2008). Дијететска влакна јечма првенствено садрже пектин, арабиноксилан и β -глюкан. Јечам је богат протеинима попут албумина, глобулина, хордеина и глутеина. Лизин и триптофан су најзатупљеније есенцијалне аминокиселине у зрну јечма. Најчешће заступљене незасићене масне киселине су линолна (14,52-50,79%), олеинска (10,32-15,61%), палмитинска (9,61-24,58%) и линолеинска киселина (2,95-19,04%). Јечам садржи различите минерале у значајним количинама, попут магнезијума (19,6-41,2 mg/kg), селена (18-87 mg/kg), гвожђа (29,1-65,5 mg/kg), цинка (20,2-55,9 mg/kg) и бакра (0,99-10,09 mg/kg). Такође је добар извор витамина, укључујући витамин Б1 (0,35 mg/100 g), витамин Б2 (0,091 mg/100 g), витамин Ц (57,2-158,1 mg/100 g) и витамин Е (0,85-3,15 mg/100 g) (Obadi и сар., 2021; Abdeldaiem и сар., 2022). Јечам садржи низ фитохемикалија у различитим концентрацијама које имају значајан антиоксидативни и антипролиферативни потенцијал, укључујући фенолне киселине, флавоноиде, лигнане, токоле, фитостероле и фолате (Idehen и сар., 2017).



Слика 5. Јечам (*Hordeum vulgare* L.)

1.3.3. *Avena sativa* L. (овас)

Овас (*Avena sativa* L.) (слика 6) припада породици Poaceae и заузима шесто место у светској производњи житарица (Kim и сар., 2021). У највећем проценту (75%) ова житарица се и даље користи као храна за животиње, али се у последње време све више схвата значај њене примене у људској исхрани (Liu и сар., 2022). Овас има добро

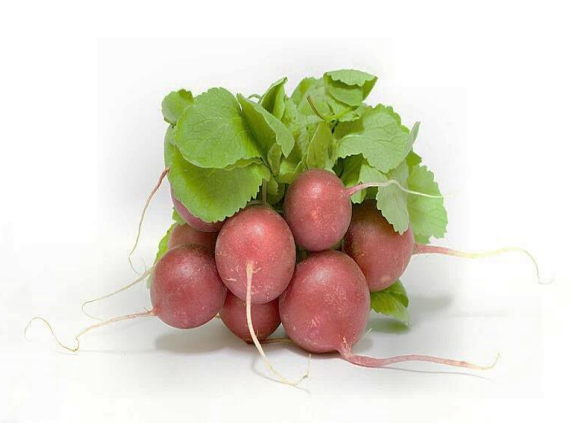
избалансиран нутритиван састав. Зрна овса садрже око 60% скроба, 2,3-8,5% дијететских влакана, 11-15% протеина, 5-9% липида и око 1% минерала и витамина (Rasane и сар., 2015). Нерастворљиве компоненте дијететских влакана састоје се од целулозе, хемицелулозе и лигнина, док је β -глюкан преовлађујућа компонента растворљивих дијететских влакана (Menon и сар., 2016). У поређењу са другим житарицама овас има већи садржај липида који се углавном налазе у ендосперму, док се код осталих житарица налазе у омотачу и клици. Такође има нутритивно значајан састав масних киселина, при чему су од незасићених масних киселина присутне олеинска, линолна и линолеинска киселина, а од засићених миристинска, палмитинска и стеаринска киселина (Kim и сар., 2021). Протеини се састоје од 80% глобулина, 15% проламина, 5-66% глутелина и 1-12% албумина. (Rasane и сар., 2015). Присуство есенцијалних аминокиселина, пре свега доминантна количина лизина, али и значајан садржај метионина, треонина, изолеуцина и триптофана, чине овас извором квалитетних протеина. Поред тога ова житарица садржи неколико есенцијалних минерала попут фосфора, магнезијума, гвожђа, калијума и у ограниченој мери калцијума, цинка и бакра. Што се тиче садржаја витамина у овсу су присутни витамини Б комплекса (Б1, Б2, Б3, Б5 и Б9) и витамин Е (токофероли) (Menon и сар., 2016). Осим микро- и макронутријената овас представља извор биоактивних фитохемикалија, укључујући каротеноиде, феноле, полифеноле, токохроманоле и стероле (Menon и сар., 2016). Овас се издваја од осталих житарица по присуству око 40 врста полифенола авенантрамида, јединствене групе антиоксиданаса који се састоје од делова антранилне киселине и деривата хидроксициметне киселине. Поред јаке антиоксидативне активности авенантрамиди показују и значајну антипатогену, антиинфламаторну и антипролиферативну активност (Arendt и Zannini, 2013; Boz, 2015).



Слика 6. Овас (*Avena sativa* L.)

1.3.4. *Raphanus sativus* L. (ротквица)

Ротквица (*Raphanus sativus* L.) (слика 7) је повртарска биљка из породице Brassicaceae која се узгаја широм света због велике продуктивности и богатог нутритивног садржаја (Lu и сар., 2008). Конзумирају се сви делови биљке, укључујући семе, корен и листове, због својих фитохемијских карактеристика (Gao и сар., 2022). Међутим, ротквица се највише гаји због употребе корена у исхрани људи. Боја корена ротквице варира од беле до црвене, преко љубичасте до црне (Gamba и сар., 2021). Једна од нутритивних предности корена ротквице је висока концентрација угљених хидрата и дијететских влакана (Goueneche и сар., 2015). У просеку ротквица садржи 94% воде, 3-4% угљених хидрата, 1,6% дијететских влакана, 0,6% протеина, 0,54% липида (Goueneche и сар., 2015). Дobar је извор минерала попут калцијума, магнезијума, бакра, мангана, калијума, витамина Б6, витамина Б9 и витамина Ц. Такође садржи бројна биоактивна једињења која показују значајан апликативни потенцијал. Биоактивна једињења ротквице укључују 38,8% флавоноида, 8,4% нефлавоноидних полифенола, 8,2% терпена и њихових деривата, 6,4% једињења сродних мастима, 5,6% глукозинолата и 4,6% угљоводоника. Најзаступљенији флавоноиди су антоцијанини и катехини. Нефлавоноидни полифеноли обухватају фенолне киселине, стилбене и танине. Групу терпена и њихових деривата чине каротеноиди, терпени, терпеноиди, тритерпеноиди и стероиди. Најзаступљеније масне киселине у ротквици су палмитинска, линолеинска, линолна, олеинска. Ротквице су богате глукозинолатима који су прекурсори различитих изотиоцијаната (Gamba и сар., 2021).



Слика 7. Ротквица (*Raphanus sativus* L.)

1.3.5. *Solanum lycopersicum* L. (парадајз)

Парадајз (*Solanum lycopersicum* L.) (слика 8), представник породице Solanaceae, једна је од главних прехранбених култура широм света (Gerszberg и сар., 2015). Годишње се произведе око 163 милиона тона парадајза (Peralta-Ruiz и сар., 2020). Парадајз (на 100 g масе) садржи око 94,5% воде, 71,27% угљених хидрата, 21,28% дијететских влакана, 16% протеина и око 230,91 mg витамина Ц (Waheed и сар., 2020). Важан је извор дијететских влакана попут целулозе, хемицелулозе и пектина. У парадајзу је присутна и значајна количина минерала попут калцијума, калијума, натријума, магнезијума, фосфора, сумпора и хлора, као и бакра, гвожђа, цинка, мангана, јода, флуора, кобалта, никла, бора, силицијума и у мањим количинама селена. Поред тога, значајан је извор витамина Ц, комплекса витамина Б, као и витамина А, Е и К.

Утврђено је да есенцијалне аминокиселине попут леуцина, треонина, валина, хистидина, лизина и аргинина чине 39,75% укупних протеина парадајза. Међу неесенцијалним аминокиселинама највише је заступљена глутаминска киселина. Такође, парадајз се одликује присуством есенцијалних масних киселина и то линолне и линолеинске киселине, као и присуством фитостерола, попут β -стерола, кампестерола и стигмастерола (Ali и сар., 2020). Парадајз представља одличан резервоар биоактивних једињења попут каротеноида (β -каротеноида и ликопена), аскорбинске киселине, витамина Е, фенолних киселина (кафеинске, ферулне и хлорогенске киселине) и флавоноида (кверцетина, кемферола, нарингина и лутеина) (George и сар., 2004; Chaudhary и сар., 2018). Ова једињења показују значајна антиоксидативна, антиканцерогена, антиинфламаторна, антипролиферативна, антимутагена и антитератогена својства (Chaudhary и сар., 2018).



Слика 8. Парадајз (*Solanum lycopersicum* L.)

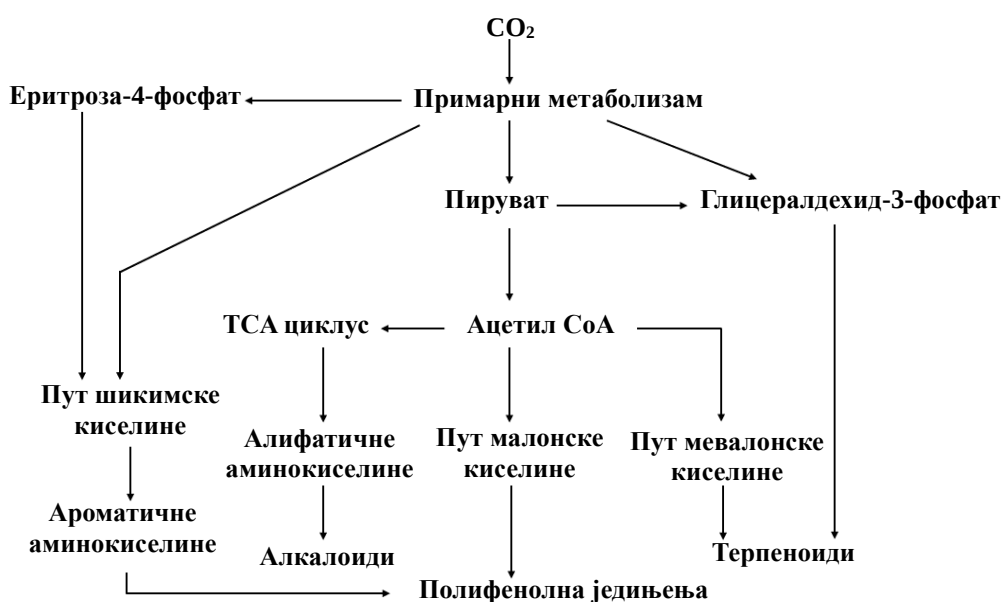
1.4. Примарни и секундарни метаболизам биљака

Метаболизам биљака се може поделити на примарни (централни) метаболизам, који обухвата све оне биохемијске реакције које су неопходне за опстанак биљака и секундарни (специјализовани) метаболизам, који испуњава мноштво важних функција везаних за раст и развиће, укључујући и интеракцију биљака са спољашњом средином.

У процесима који припадају примарном метаболизму биљке врше конверзију светлосне енергије у хемијску енергију фосфатних група једињења АТФ, која је неопходна за синтезу угљених хидрата, примарних продуката процеса фотосинтезе. Многобројни интермедијери који овом приликом настају укључују се у веома разгранате биосинтетичке путеве и омогућавају синтезу свих осталих органских једињења присутних у биљном организму (слика 9). Примарни метаболизам се код свих биљних врста одвија на исти начин, тако да припада генерализованим процесима.

Метаболити, као што су протеини, угљени хидрати и липиди, представљају продукте примарног метаболизма и директно су укључени у процесе растења и развића биљака.

Секундарни метаболити представљају продукте секундарног метаболизма и значајни су за интеракцију биљака са спољашњом средином и адаптацију на окружење. Главне класе секундарних метаболита синтетишу се из различитих путева примарног метаболизма, укључујући процес гликолизе, пентозо-фосфатни циклус и пут шикимске киселине (Aharoni и Galili, 2011; Sousa и сар., 2022). Многа секундарна једињења нису за биљке од есенцијалног значаја, јер нису потребна за основне животне процесе – раст и размножавање и немају универзално распрострањење. Процеси секундарног метаболизма се не могу генерализовати, јер се не одвијају по истим механизмима у свим биљкама. Свака биљна врста уноси специфичности у овакве метаболичке процесе које се пре свега огледају у активности ензима који су присутни у неком одређеном ткиву или супстрату. Све то може допринети променама основног биосинтетичког пута или његовом рачвању, што резултира синтезом различитих једињења.



Слика 9. Веза између примарног и секундарног метаболизма

Пут шикимске киселине је примарни метаболички пут који повезује централни метаболизам угљеника са биосинтезом ароматичних аминокиселина и то L-триптофана (Trp), L-фенилаланина (Phe) и L-тирозина (Tyr) Ароматичне аминокиселине су протеиногене аминокиселине које су есенцијалне за синтезу протеина у биљкама али и за синтезу бројних ароматичних фитохемикалија које имају виталну улогу у развоју и адаптацији биљака (попут фитохормона и фенолних једињења) (Yokoуата и сар., 2022). Фенилаланин је уобичајени прекурсор флавоноида, фенолних киселина, лигнана, лигнина, кондензованих танина и испарљивих фенилпропаноида/бензеноида; тирозин је прекурсор изохинолинских алкалоида, пигментних беталаина и кинона, док триптофан даље даје алкалоиде, фитоалексине, индол глюкозинолате и биљне hormone ауксине (Јап и сар., 2021). Пут шикимске киселине, локализован у строми пластида, почиње фосфоенолпируватом (PEP) и еритроза-4-фосфатом (E4-P). Ова два прекурсора

генеришу се независно у процесу гликолизе и путем пентозо-фосфатног циклуса. Први корак у путу шикимске киселине је синтеза 3-десокси-D-хептулозо-7-фосфата (DANP) из кондензације фосфоенолпирувата и еритроза-4-фосфата уз помоћ ензима 3-десокси-D-хептулозо-7-фосфат синтазе. Затим 3-дехидроквинат синтаза, преко пет узастопних хемијских реакција користећи двовалентни катјон (попут јона Co^{2+}) и NAD^+ кофактор, претвара DANP у 3-дехидроквинат. Трећа и четврта ензимска реакција у путу шикимске киселине, које катализује бифункционални ензим 3-дехидроквинат дехидрогеназа-шикимат дехидрогеназа, укључује дехидрацију 3-дехидроквината у 3-дехидрошикимат (увођењем двоструке везе у прстен), након чега следи реверзибилно превођење 3-дехидрошикимата у шикимат уз коришћење NADPH. Одмах затим шикимат киназа катализује фосфорилацију C3 хидроксилне групе шикимата користећи ATP као косупстрат да би се добио шикимат 3-фосфат. Посредством EPSP синтазе настаје 5-енолпирувилшикимат-3-фосфат (EPSP), преношењем енолпирувил дела PEP у 5-хидроксилни положај шикимат 3-фосфата. Ова C3 енолпирувил јединица на крају постаје бочни ланац Tyr, као и Phe, и уклања се током биосинтезе Trp. Хоризмат синтаза катализује финалну реакцију шикиматног пута елиминацијом фосфатне групе из EPSP и увођењем друге двоструке везе у прстен, при чему настаје хоризмат. Након синтезе хоризмата долази до раздвајања путева синтезе ароматичних аминокиселина, триптофана са једне стране и фенилаланина и тирозина са друге (Bochkov и сар., 2012; Ghosh и сар., 2012; Maeda и Dudareva, 2012; Jan и сар., 2021).

Процес синтезе аминокиселине L-фенилаланина започиње ензим хоризмат мутаза конверзијом хоризмата у префенат, који се даље трансаминацијом уз помоћ префенат аминотрансфераза преводи у арогенат. Дехидратацијом и декарбоксилацијом, посредством арогенат дехидратазе, долази до трансформације арогената у Phe. У алтернативном путу у присуству ензима тирозин арогенат дехидрогеназе (TyrA) настаје Tyr (Maeda и Dudareva, 2012; Yokoyama и сар., 2022).

Из примарних метаболита фенилаланина или тирозина, кроз низ ензимских реакција, долази до синтезе велике класе секундарних метаболита – фенилпропаноида. Фенилпропаноиди се могу поделити на флавоноиде, фенолне киселине, стилбене, кумарине и монолигноле. Биосинтеза фенилпропаноида обухвата општи фенилпропаноидни пут и накнадне специфичне путеве. Општи фенилпропаноидни пут преусмерава проток угљеника са примарног метаболизма на метаболизам фенилпропаноидних једињења. Овај процес почиње деаминацијом фенилаланина уз помоћ ензима фенилаланин амонијум лиаза (PAL), при чему настаје циметна киселина која се даље трансформише у *p*-кумарну киселину процесом хидроксилације који катализује цинамат 4-хидроксилаза. Одмах затим 4-кумароил-CoA-лигаза катализује конверзију *p*-кумарне киселине у *p*-кумароил CoA, који представља најважнију граничну тачку за синтезу различитих фенилпропаноидних једињења (Vogt, 2010; Deng и Lu, 2017).

1.4.1. Фотосинтетички пигменти

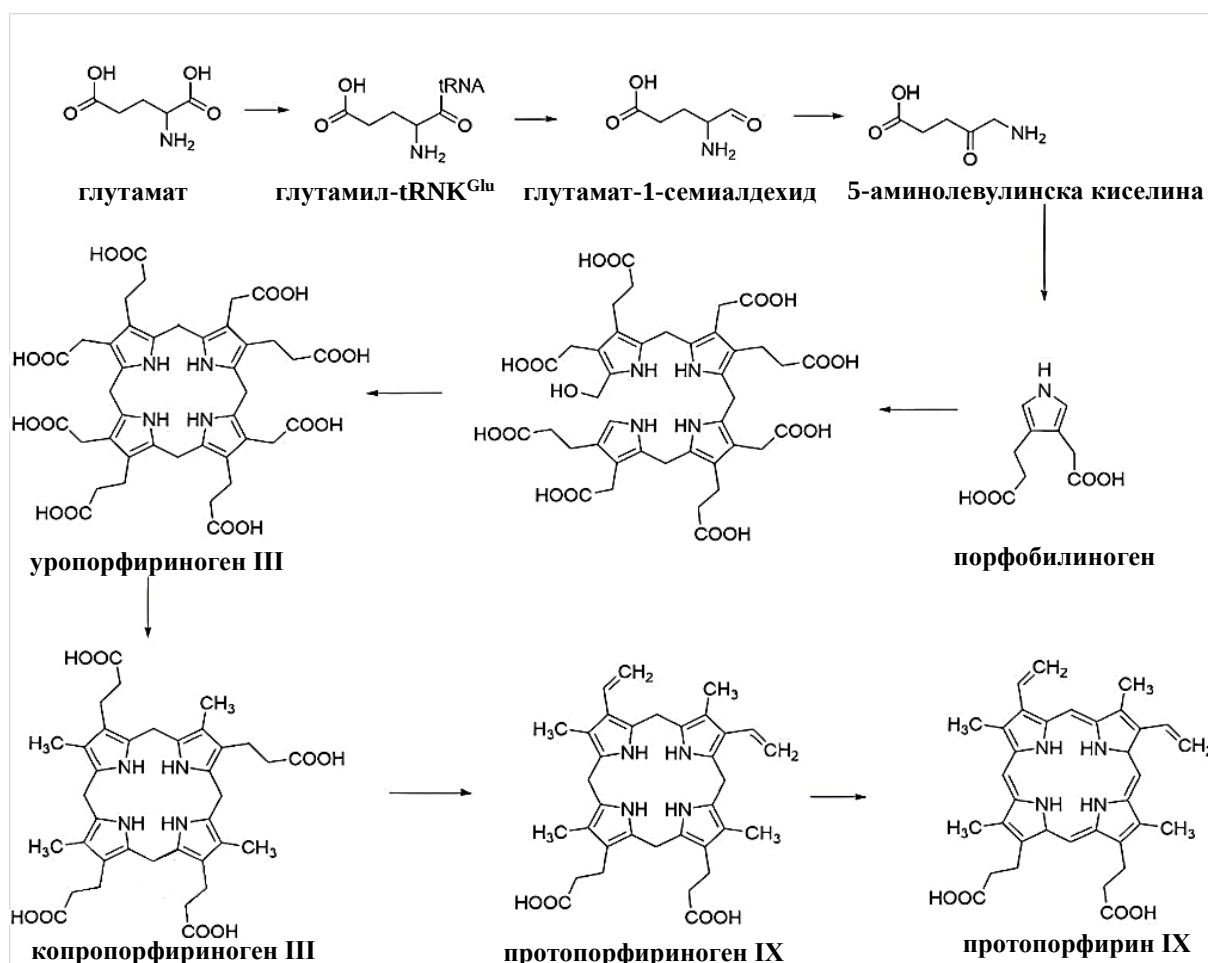
Биљке имају способност обављања процеса фотосинтезе захваљујући пигменту хлорофилу, али и осталим фотосинтетичким пигментима, пре свега каротеноидима.

Хлорофили, најзаступљенији тетрапироли у вишим биљкама, су есенцијални молекули који функционишу као фотосинтетички пигменти; одговорни су за прикупљање светлосне енергије у фотосинтетичким системима, као и за раздвајање наелектрисања и транспорт електрона (Liu и сар., 2023). Хлорофили су пигменти зелене

боје, а по хемијском саставу су естри дикарбоксилне хлорофилинске киселине код које је једна карбоксилна група естерификована остатком метанола, а друга остатком алкохола фитола. Процес синтезе хлорофила састоји се од великог броја појединачних реакција; почиње од биосинтезе 5-аминолевулинске киселине из глутамата која се даљим процесима претвара у протохлорофилид чијом редукцијом настају хлорофили.

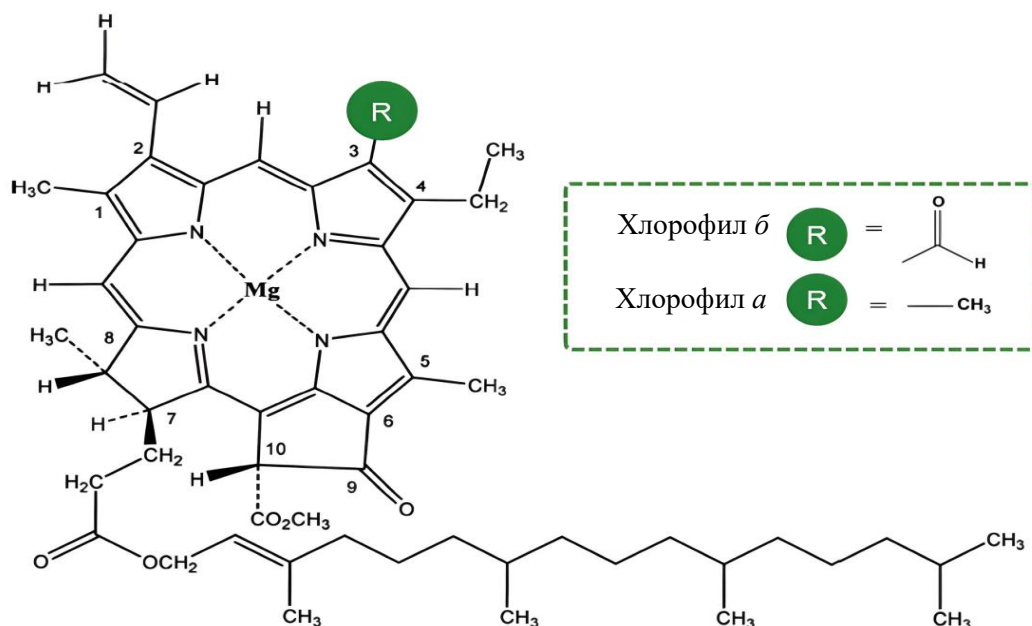
Биосинтетички пут тетрапирила (слика 10) укључује девет ензимских реакција почев од везивања глутаминске киселине за трансферну RNK за глутамат помоћу ензима глутамат-tRNK синтетазе; у другој реакцији под дејством глутамат-tRNK-редуктазе настаје глутамат-1-семиалдехид; глутамат семиалдехидна аминотрансфераза мења место амино групама и настаје 5-аминолевулинска киселина; 5-аминолевулинска дехидратаза омогућава кондензацију два молекула 5-аминолевулинске киселине и настаје порфобилиноген; даљом реакцијом помоћу порфобилиноген деаминазе и уропорфириноген синтазе долази до кондензације четири молекула порфобилиногена који образују порфирински прстен при чему настаје прво порфириноско једињење – уропорфириноген III; декарбоксилацијом овог једињења помоћу уропорфириноген декарбоксилазе настаје копропорфириноген III; затим под дејством копропорфириноген III оксидаза оксидативном декарбоксилацијом настаје протопорфириноген IX; после оксидације помоћу протопорфириноген IX оксидазе настаје протопорфирин IX – последњи заједнички прекурсор свих порфирина (хлорофила и хема) (Sun и сар., 2023; Gao и сар., 2024; Hu и сар., 2024).

Под дејством Mg-хелатазе или ферохелатазе у центар прстена протопорфирин IX уграђују се атоми метала Mg^{2+} односно Fe^{2+} и у зависности од тога који метал је у питању настаје Mg-протопорфирин IX или хем. Под дејством ензима (Mg-протопорфирин IX метил-трансферазе, MgPMe-оксидативне циклaze, 8-дивинил редуктазе) Mg-протопорфирин IX у три узастопне реакције прелази у протохлорофилид *a*. У присуству светлости протохлорофилид *a* је подвргнут даљим променама уз помоћ ензима протохлорофилидне оксидо-редуктаза и коензима NADPH при чему долази до редукције прстена IV и настаје хлорофилид *a*. Естерификацијом хлорофилида *a* фитил-пирофосфатом помоћу хлорофилне синтазе настаје хлорофил *a*; даљом реакцијом под дејством хлорофилне оксигеназе долази до оксидације метил групе хлорофила *a* у формил-групу и настаје хлорофил *b*, који се међуоконверзијом може претворити у хлорофил *a* помоћу хлорофилазе (Sun и сар., 2023; Gao и сар., 2024; Hu и сар., 2024).



Слика 10. Биосинтеза тетрапирила (модификовано према Ни и сар., 2024)

Молекули хлорофила имају сложену структуру која се састоји од четири петочлана пириолова прстена спојена у порфирински прстен у чијем центру се налази атом магнезијума (слика 11). Постоји више врста хлорофила, а код виших биљака су заступљени хлорофил *a* и хлорофил *b*. Заступљеност хлорофила *a* и хлорофила *b* код биљака је различита у зависности од биљне врсте, стадијума развића биљке, генетичких и срединских фактора. Налазе се у тилакоидима хлоропласта разних биљних ткива и органа, а код зељастих биљака највише их има у листовима и стаблу. Хлорофили имају две зоне апсорпције светлости, у плавом (425-475 nm) и црвеном (625-675 nm) делу спектра, при чему су таласне дужине максималне апсорпције различите у зависности од врсте пигмента (хлорофил *a* апсорбује највише светлости на 430 и 663 nm, а хлорофил *b* на 450 и 643 nm) (Tanaka и Tanaka, 2007; Tanaka и Tanaka, 2011; Loi и сар., 2020; Martins и сар., 2023).



Слика 11. Хемијска структура хлорофила а и хлорофила б (модификовано према Martins и сар., 2023)

Каротеноиди су липофилни тетратерпеноиди састављени од осам молекула изопрена и представљају помоћне фотосинтетичке пигменте. Постоје два независна пута биосинтезе терпеноида у биљкама: пут мевалонске киселине у цитоплазми и пут 2-С-метил-D-еритрол-4-фосфата у пластидима, при чему као продукти настају изопентенил-пирофосфат (IPP) и 3,3-диметилаллил-пирофосфат (DMAPP) који су прекурсори биосинтезе каротеноида. Синтеза каротеноида почиње кондензацијом IPP и његовог изомера DMAPP при чему настаје геранил-пирофосфат (GPP) (монотерпен са 10 C атома). Биосинтеза свих изопреноидних једињења се наставља продужавањем ланца додавањем нових молекула IPP помоћу ензима пренил-трансферазе. Додавањем једног молекула IPP на постојећи GPP настаје фарнезил-пирофосфат (FPP) (сесквитерпен са 15 C атома), а затим геранил-геранил-пирофосфат (GGPP) (дитерпен са 20 C атома). Димеризацијом GGPP формира се се фитоеен (један од тетратерпена) – непосредни прекурсор каротеноида. Каротеноиди се могу поделити у две групе: *каротени*, као што су α -каротен, β -каротен и ликопен, и *ксантофили*, у које се убрајају лутеин, зеаксантин, виолаксантин, антраксантин, рубиксантин, родоксантин итд. По хемијском саставу каротени су угљоводоници, док се ксантофили сматрају оксидованим облицима каротена јер, осим угљеника и водоника, садрже и кисеоник (Nisar и сар., 2015; Loi и сар., 2020; Lu и сар., 2021; Gao и сар., 2024).

Каротеноиди су кључни за опстанак фотосинтетичких организама. Они имају фотопротективну улогу-учествују у заштити фотосинтетичког апарата од интензивне светлости, и то гашењем хлорофила у триплетном стању, уклањањем реактивних врста кисеоника и гашењем побуђених стања синглет хлорофила. Сходно томе, уколико би дошло до мутација које би спречиле производњу каротеноида то би било летално по фотосинтетички организам. Каротеноиди су важни помоћни пигменти за прикупљање светлости. Апсорбују светлост у плавој и зеленој области видљивог дела спектра (400-550 nm) у којој хлорофили не апсорбују и на тај начин проширују опсег апсорпције светлости током фотосинтезе. Поред тога каротеноиди обезбеђују супстрате за биосинтезу кључних регулатора растења биљака као што су апсцисинска киселина и

стриголактони. Каротеноиди такође одређују пигментацију (жуте, наранџасте и црвене боје) цветних органа, плодова и семена (Waśkiewicz и сар., 2014; Hermanns и сар., 2020; Quián-Ulloa и Stange, 2021).

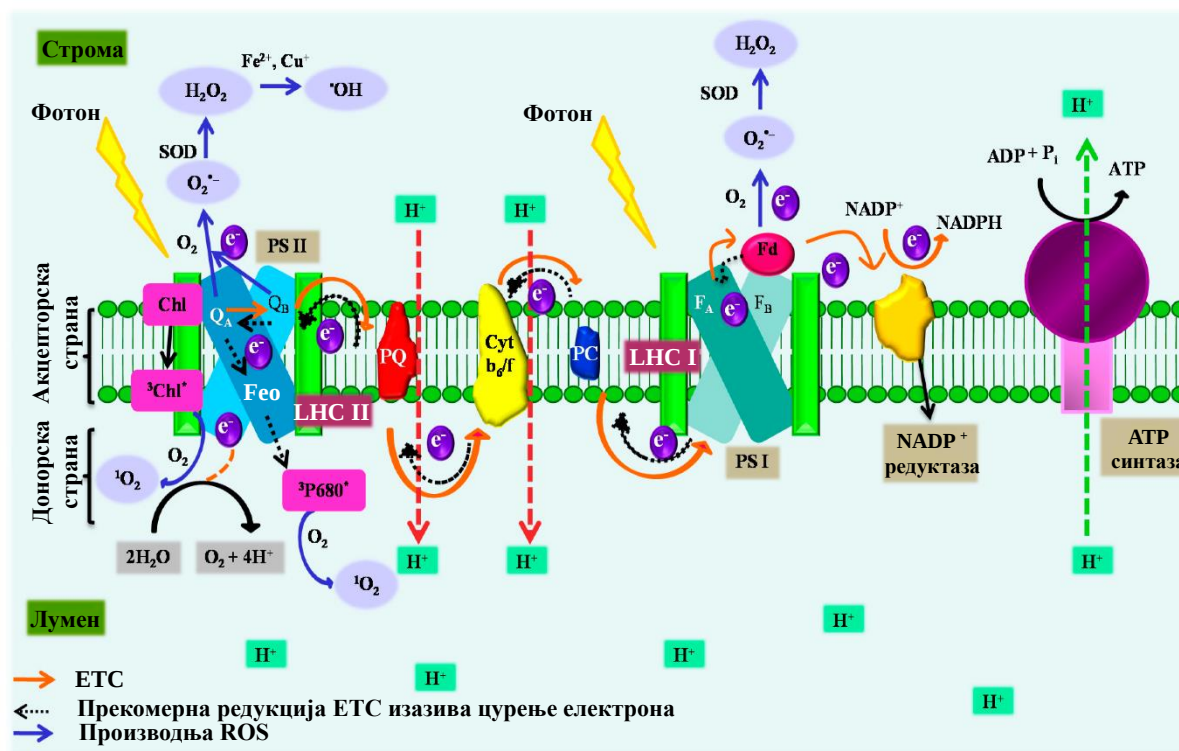
1.4.2. Ензимски антиоксидативни одбрамбени системи у биљкама

Ензимске компоненте система заштите од оксидативних оштећења попут супероксид дисмутазе (SOD), каталазе (CAT), пероксидазе (POX), монодеhidроаскорбат редуктазе (MDHAR), дехидроаскорбат редуктазе (DHAR), глутатион редуктазе (GR) и глутатион пероксидазе (GPX) смањују ниво реактивних кисеоничних врста (eng. *reactive oxygen species* – ROS) тако што их разлажу и уклањају из система кроз различите кораке (Rajput и сар., 2021).

Физиолошка концентрација реактивних врста кисеоника је неопходна за очување редокс хомеостазе, регулацију ћелијске пролиферације, као и за регулацију одређених сигналних путева (Hernández-Rodríguez и сар., 2019). У оптималним условима растења биљака ROS се формирају у хлоропластима и митохондријама, али могу настати и у пероксизомима, плазма мембрани, ћелијском зиду и апопласту (Waśkiewicz и сар., 2014; Janků и сар., 2019; Nadarajah, 2020).

Међутим, прекомерна производња ROS изазива оксидативни стрес код биљака. Оксидативни стрес настаје као последица неравнотеже између производње и елиминације слободних радикала (Hernández-Rodríguez и сар., 2019). Реактивне кисеоничне врсте настају од молекуларног кисеоника у условима абиотичког стреса и укључују супероксидни анијонски радикал ($O_2^{\cdot-}$), водоник пероксид (H_2O_2), хидроксилни радикал ($OH^{\cdot-}$) и синглетни кисеоник (1O_2). Акумулирају се у биљним ткивима доводећи до оксидације макромолекула попут нуклеинских киселина, протеина, липида, угљених хидрата, као и до инактивације ензима и стимулације програмиране смрти ћелија (Waśkiewicz и сар., 2014).

Генерисање ROS, директно и индиректно, зависи од интеракције хлорофила и светлости. У хлоропластима ROS настају директно, интеракцијом кисеоника и ексцитираног хлорофила, или индиректно, након преноса електрона са фередоксина на кисеоник (слика 12) (Liu и сар., 2021; Sachdev и сар., 2021).



Слика 12. Генерисање ROS у хлоропластима (модификовано према Sachdev и сар., 2021)

До прекомерне производње и акумулације молекула који садрже активирани кисеоник долази због неравнотеже између генерисања и елиминације ROS услед поремећаја „нормалне“ физиологије ћелије или *de novo* биосинтезе ROS која представља саставни део трансдукције сигнала у условима стреса и одговора система за одбрану и адаптацију (Demidchik, 2015).

Оксидативни стрес доводи до реверзибилних или иреверзибилних модификација биомолекула. Међу њима је посебно штетна пероксидација липида, јер прекомерно акумулирани ROS у интеракцији са липидима покреће ланчане слободнорадикалске реакције пероксидације липида, што води оштећењу биолошких мембрана. Присуство двоструких веза у полинезасићеним масним киселинама значајно повећава вероватноћу пероксидације липида. Као последица одвијања поменуте реакције долази до стварања примарних и секундарних производа липидне пероксидације (Demidchik, 2015; Pospíšil и Yamamoto, 2017; Yalcinkaya и сар., 2019).

Како би избегле стрес биљке модификују ћелијске процесе различитим механизмима, попут активације ензимских и неензимских компоненти система заштите од оксидативних оштећења, као и синтезом осмолита који одржавају осмотску равнотежу (Zia-ur-Rehman и сар., 2022).

Металоензим *супероксид дисмутаза* (SOD) представља прву линију одбране од оксидативних оштећења узрокованих претераном продукцијом супероксид анјон радикала које као последицу има генерисање других ROS. На основу металних кофактора разликују се три форме овог ензима: Zn-SOD (локализоване у цитосолу, хлоропластима, пероксизомима, митохондријама и апопласту), Fe-SOD (локализоване у хлоропластима, митохондријама и пероксизомима) и Mn-SOD (локализоване у митохондријама, пероксизомима, васкуларним ткивима). SOD катализује

диспропорционисање слободних радикала $O_2^{\cdot-}$ редуковањем једног радикала у H_2O_2 и оксидацијом другог радикала у O_2 , чиме се спречава ризик од стварања најреактивнијег $OH^{\cdot-}$ радикала (Gill и сар., 2015; Sachdev и сар., 2021).

Каталаза (CAT) (слика 13) је у основи хомотетрамерни протеин који садржи гвожђе и показује високу специфичност за дисмутацију H_2O_2 . Може директно разложити H_2O_2 на H_2O и O_2 (Gill и Tuteja, 2010; Palma и сар., 2020). Пероксизоми су кључна места за производњу H_2O_2 током оксидативног стреса, катаболизма пурина, фотореспирације, β -оксидације масних киселина или активности SOD, па је CAT најактивнија у пероксизомима. Заступљене су три изоформе овог ензима у различитим ћелијским одељцима: CAT₁ и CAT₂ локализоване су у пероксизомима, глиоксизомима и цитосолу, а CAT₃ је локализована у митохондријама и цитосолу. Активност ових CAT изоформи забележена је у семену (CAT₁, CAT₂, CAT₃), полену (CAT₁), корену (CAT₂), фотосинтетичким ткивима (CAT₂) и васкуларним ткивима (CAT₃) (Zandi и Schnug, 2022). Повећана активност CAT је адаптивна особина која помаже у превазилажењу метаболичких оштећења смањењем токсичних концентрација H_2O_2 (Ahmad и сар., 2010; Gill и Tuteja, 2010).



Слика 13. Структура каталазе (Sharma и Ahmad, 2014)

Пероксидазе (POX) обухватају велику групу ензима који редукују H_2O_2 коришћењем широког спектра супстрата. Груписане су у три класе од којих су класа I и класа III заступљене у биљкама (Van Doorn и Ketsa, 2014). Аскорбат пероксидаза (А РОХ) је пероксидаза класе I, а као супстрат за редукцију H_2O_2 користи аскорбинску киселину, при чему ефикасност ензима зависи од концентрације супстрата. Ниже концентрације аскорбинске киселине (мање од 20 μM) чине да А РОХ буде мање стабилна и са смањеном активношћу. Гвожђе има битну улогу за каталитичку активност А РОХ па тако, упркос високим концентрацијама супстрата за редукцију, недостатак гвожђа онемогућава активност ове пероксидазе. Аскорбат пероксидаза може уклањати H_2O_2 при нижим концентрацијама. Када је активност каталазе смањена услед смањене концентрације супстрата, А РОХ има кључну улогу у елиминацији токсичног H_2O_2 . У биљној ћелији постоји пет изоформи овог ензима које су локализоване у цитосолу (сА РОХ), строми (sА РОХ), хлоропластима (chА РОХ), глиоксизомима и пероксизомима

(mA POX) и митохондријама (mitA POX) (Gill и Tuteja, 2010; Khan и Khan, 2017; Hasanuzzaman и сар., 2019).

Пероксидазе класе III такође доприносе одржавању ниских нивоа H_2O_2 . Локализоване су у вакуоли и цитосолу, ћелијском зиду и апопласту. Једна од функција ових пероксидаза је редукција H_2O_2 оксидацијом органских једињења, при чему као доноре електрона ови ензими користе ароматична једињења (због веће способности донирања електрона) (Zandi и Schnug, 2022). Осим улоге у уклањању H_2O_2 , пероксидазе ове класе укључене су и у широк спектар физиолошких процеса као што је синтеза лигнина и суберина, метаболизам ауксина, елонгација и лигнификација ћелијског зида, одбрана од патогена, као и адаптација на абиотички стрес (Van Doorn и Ketsa, 2014; Rajput и сар., 2021).

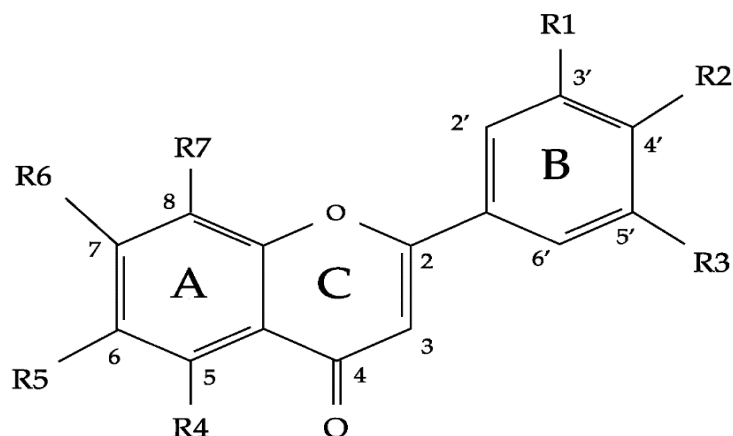
1.4.3. Неензимски антиоксидативни одбрамбени системи у биљкама

Неензимске компоненте система заштите од оксидативних оштећења не само да штите ћелијске компоненте од ROS, већ имају и важну улогу у растењу и развићу биљака. Ова једињења укључују метаболите растворљиве у липидима, попут каротеноида и токоферола, али и хидрофилне молекуле као што су фенолна једињења, аскорбинска киселина и глутатион (Waśkiewicz и сар., 2014).

Биљке производе велики број *секундарних метаболита* који се синтетишу кроз ензимске реакције из примарних метаболита. То су органска једињења која немају директну улогу у растењу, метаболизму и развићу биљака, али имају значајну улогу у одбрамбеним механизмима и посредују у интеракцији биљака са околином у циљу адаптације на услове спољашње средине (Khare и сар., 2020). Секундарни метаболити су на основу порекла класификовани у три велике групе: терпеноиде, фенолна једињења и једињења која садрже азот (Bartwal и сар., 2013; Mahajan и сар., 2020).

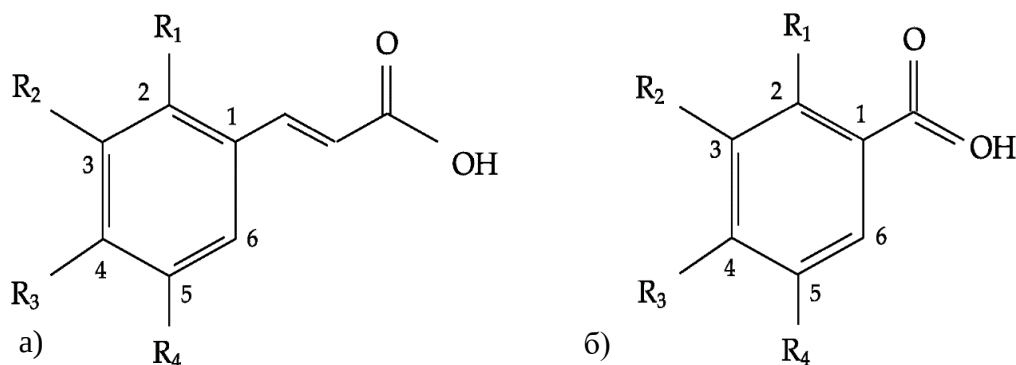
Флавоноиди су најзаступљенија група секундарних метаболита код биљака. Садрже скелет од 15 угљеникових атома (C6-C3-C6) који се састоји од два фенилна прстена (A и B) и хетероцикличног пиранског прстена (C) (слика 14) (Deng и Lu, 2017). На основу степена оксидације, zasiћености и хидроксилације централног хетероцикличног прстена деле се на различите подгрупе, као што су: флаван-3-оли, флаволи, флавоноли, флаванони, изофлаволи и антоцијанидини (González-Sarrías и сар., 2020).

Биосинтеза флавоноида почиње кондензацијом и изомеризацијом једног молекула *p*-кумароил CoA и три молекула малонил CoA уз помоћ халкон синтазе, при чему настаје нарингенин халкон (2,4,6,4-тетрахидроксиалкон). У другом ензимском кораку халкон изомераза катализује специфичну циклизацију нарингенин халкона у флаванон који је уобичајени прекурсор за бројне подгрупе флавоноида (Deng и Lu, 2017; Shen и сар., 2022). Флавоноиди поседују бројна биолошка својства, а антиоксидативна активност се издваја као њихова главна биолошка активност. Антиоксидативни капацитет флавоноида заснива се на ублажавању или елиминацији оксидативног стреса уклањањем ROS, активацијом антиоксидативних ензима, инхибицијом оксидаза (као што је ксантин оксидаза), хелирањем металних јона попут јона бакра или гвожђа и др. Антиоксидативна активност флавоноида се повећава са бројем хидроксилних супституција (Desmet и сар., 2021; Shen и сар., 2022).



Слика 14. Структура флавоноида (Gutiérrez-Grijalva и сар., 2017)

Фенолне киселине су једна од највећих група фенолних једињења која садрже карбоксилну групу и једну или више хидроксилних група везаних за ароматични прстен (Valanciene и сар., 2020). Ретко су заступљене у слободном облику; углавном су повезане ацеталним, етарским и естарским везама са структурним компонентама биљне ћелије (као што су протеини, целулоза или лигнини), другим мањим органским молекулима (попут глукозе) или већим органским једињењима (као што су флавоноиди или терпени) (Abotaleb и сар., 2020; Šames и сар., 2021). У зависности од структуре фенолне киселине се могу класификовати у деривате бензоеве киселине (хидроксибензоеве киселине, C6-C1) и деривате циметне киселине (хидроксициметне киселине, C6-C3) (слика 15) (Deng и Lu, 2017).



Слика 15. Структура хидроксициметних киселина (а) и хидроксибензоєвих киселина (б) (Gutiérrez-Grijalva и сар., 2017)

Фенолне киселине се синтетишу у биљкама преко шикимат/фенилпропаноидног пута из ароматичне аминокиселине L-фенилаланина или у мањој мери из L-тирозина. У биосинтезу фенолних киселина, кроз каталитичко дејство различитих ензима, укључена су три процеса: деаминација, хидроксилација и метилација. Деаминацијом L-фенилаланина настаје циметна киселина. Даљом трансформацијом ароматичног прстена циметне киселине процесима хидроксилације и метилације долази до биосинтезе других хидроксициметних киселина (нпр. кафеинске или ферулне киселине)

или хидроксибензоевих киселина (нпр. *p*-хидроксибензоеве или галне киселине) (Kaushik и сар., 2015; Al Jitan и сар., 2018).

Фенолне киселине се одликују моћним антиоксидативним својствима; донирањем водоника или електрона могу да одложе и инхибирају оксидацију биомолекула (DNK, протеина и липида) (Kaushik и сар., 2015). Антиоксидативни капацитет фенолних киселина зависи од броја и положаја хидроксилних група, као и од врсте супституције на ароматичном прстену (Kurek-Górska и сар., 2013). Слично као флавоноиди фенолне киселине испољавају антиоксидативну активност кроз елиминацију ROS, хелирање металних јона и инхибицију оксидаза (Kurek-Górska и сар., 2013).

2. ЦИЉЕВИ ИСТРАЖИВАЊА

Прајминг семена се врло успешно користи као физичко-хемијски и биолошки метод за повећање продуктивности великог броја гајених биљака. У складу са тим су истраживања у оквиру докторске дисертације спроведена на пет врста гајених биљака - пшеници (*Triticum aestivum* L. cv. Belija), јечму (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565), овсу (*Avena sativa* L. cv. Condor), ротквици (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa) и парадајзу (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce). Наведене врсте биљака су веома заступљене у прехранбеној производњи у нашој земљи, али је код њих још увек недовољно истражен ефекат прајминга на физиолошке процесе растења и развића.

Општи циљ ове докторске дисертације је евалуација физиолошко-биохемијских параметара продуктивности одабраних врста гајених биљака под утицајем модификованих метаболичких активности које су индуковане прајмингом током процеса клијања. Из општег циља изведени су специфични циљеви:

- Утврђивање утицаја различитих прајминг техника (хормопрајминг, халопрајминг, редокспрајминг и хидропрајминг) на параметре клијања семена испитиваних биљака;
- Испитивање утицаја прајминга на растење и развиће клијанаца произведених из прајмираних семена;
- Утврђивање утицаја примењених прајминг третмана на релативну влажност листа биљака;
- Испитивање ефикасности прајминга на процес фотосинтезе утврђивањем концентрације фотосинтетичких пигмената хлорофила и каротеноида;
- Утврђивање активности ензимских компоненти одбрамбеног система испитиваних биљака и концентрације укупних солубилних протеина;
- Утврђивање разлика у продукцији секундарних метаболита (укупних фенола и флавоноида) и укупној антиоксидативној активности применом прајминг методе у односу на конвенционалну методу клијања;
- Утврђивање квалитативних и квантитативних разлика у садржају појединачних фенолних киселина и флавоноида у зависности од прајминг третмана;
- Утврђивање степена утицаја прајминга на клијање семена испитиваних биљака, параметре растења клијанаца, кључне ензимске компоненте одбрамбеног система, укупну антиоксидативну активност и синтезу секундарних метаболита под утицајем стреса изазваног дејством ниских температура.

3. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ ИСТРАЖИВАЊА

Експериментални део докторске дисертације реализован је у Лабораторији за физиологију биљака Института за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу.

3.1. Дизајн експеримената

Семена пшенице (*Triticum aestivum* L. cv. Belija), јечма (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565), овса (*Avena sativa* L. cv. Condor), ротквице (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa) и парадајза (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce) добијена су из комерцијалних извора и складиштена под оптималним условима (температура 10-15 °C, влажност ваздуха 11-13%) до употребе.

Припрема семена и начин прајминга обављени су према Kanjevac и сар. (2021), са мањим изменама на основу прелиминарних истраживања. Пре почетка експеримента, а у циљу уклањања епифитске микрофлоре, семена су површински стерилисана 4% раствором натријум хипохлорита (NaClO) 15-20 min, а након тога су испирани дестилованом водом до pH 7. У Петри кутије је постављено по 30 стерилисаних семена која су затим третирана са 10 mL различитих прајминг раствора (Табела 1), у одговарајућем временском интервалу (слика 16). Семена житарица третирана су прајминг растворима 12 h, а семена ротквице и парадајза 24 h. Након тога семена су пребачена у Петри кутије са филтер папиром (Whatman No. 1) и сушена на собној температури наредних 48 h. Контролну групу чинила су нетретирана семена која су исклијавана на конвенционални начин. Након десикације прајмирана и контролна семена натопљена су са 7 mL дестиловане воде и инкубирана у клима комори под контролисаним, оптималним условима за клијање (температура 23 ± 2 °C, влажност ваздуха 60%, светлост – услови дугог дана (16/8 h светло/мрак)) током наредних 10 дана.

Табела 1. Приказ прајминг техника и једињења коришћених у експерименту

Прајминг техника	Коришћени раствори	Концентрација раствора
хормопрајминг	гиберелинска киселина – GA ₃	1 mM
	индол-3-сирћетна киселина – IAA	
халопрајминг	магнезијум сулфат – MgSO ₄	1%
	калијум нитрат – KNO ₃	
редокспрајминг	водоник пероксид – H ₂ O ₂	1%
	аскорбинска киселина – AA	0,01%
хидропрајминг	dH ₂ O	



Слика 16. Третирана семена на почетку експеримента

За све испитиване биљне врсте одређиване су основне карактеристике клијања уз истовремено праћење параметара растења клијанаца (слика 17). Такође су утврђиване вредности вигор индекса као једног од главних аспеката квалитета семена којим се предвиђа његова способност да продукује квалитетне биљке под условима сличним онима који постоје у агроекосистемима. Одређиване су и вредности релативне влажности листа која представља један од најважнијих показатеља степена хидратације ћелија и ткива и од кључног је значаја за оптималну физиолошку функционалност и процес растења. Праћење ефекта прајминга на процес фотосинтезе обухватало је спектрофотометријско одређивање концентрације фотосинтетичких пигмената (укупног хлорофила, хлорофила *a*, хлорофила *b* и каротеноида). Такође, мерена је концентрација укупних солубилних протеина и активност ензимских компоненти одбрамбеног система (квантификација активности супероксид дисмутазе, каталазе, аскорбат пероксидаза, гвајакол пероксидаза, пирогалол пероксидаза). Поред тога, праћене су квалитативне и квантитативне промене у садржају фенола и флавоноида, као и промене антиоксидативне активности клијанаца под утицајем примењених прајминг раствора у односу на контролу.



Слика 17. Клијанци пшенице након инкубације у клима комори у трајњу од 10 дана

Ниске температуре су један од најзначајнијих фактора абиотичког стреса који ограничава растење биљака и узрокује значајно смањење продуктивности. У складу са тим други део експеримента обухватао је испитивање утицаја прајминга на повећање отпорности биљака у фази клијања и раног растења на услове стреса изазваног ниском температуром. Припрема семена и начин прајминга био је непромењен у односу на први део експеримента, с тим што су семена пшенице, јечма, овса и ротквице инкубирана у клима комори при условима ниске температуре (температура 10 ± 2 °C, влажност ваздуха 60%, светлост – услови дугог дана (16/8 h светло/мрак)) 10 дана, док су семена парадајза инкубирана 16 дана у истим условима (слика 16). Након тога је утврђен утицај прајминга на карактеристике клијања семена, растења и развића клијанаца, вигор индекс, ензимске компоненте одбрамбеног система, укупну антиоксидативну активност и садржај секундарних метаболита у условима ниске температуре.



Слика 18. Клијанци парадајза након инкубације у клима комори у трајању од 16 дана

3.2. Одређивање садржаја влаге у семену

Да би се искључила могућност варирања физиолошких карактеристика клијанаца због различитог садржаја влаге у семенима мерен је садржај влаге (SMC – *seed moisture content*) током различитих фаза прајминга. Примењена је метода пећи на константној температури од 101-105 °C, у трајању од 17 h, према Hanson (1985). Иста метода је примењена за мерење садржаја влаге у непрајмираним (контролним) семенима. Садржај влаге утврђиван је:

1. у семенима одмах након примене различитих прајминг раствора;
2. у семенима након десикације;
3. у нетретираним семенима.

Садржај влаге у семену (%) израчунат је према формули:

$$SMC(\%) = \frac{\text{маса свежег семена} - \text{маса сувог семена}}{\text{маса свежег семена}} \times 100$$

3.3. Процена карактеристика клијања

Праћење процеса клијања на основу утврђивања броја проклијалих семена вршено је сваког дана све док укупан број проклијалих семена није постао константан. Проклијалим се сматрало свако семе код кога је радикула била најмање 2 mm дужине. Сви параметри клијања (проценат клијања (GP – germination percentage), средње време клијања (MTG – mean time to germinate), брзина клијања (RG – rate of germination) и униформност клијања (U)) израчунати су према Bewley и Black (1994) и Jakovljević и сар. (2020), на основу следећих једначина:

$$GP = \frac{\text{Укупан број проклијалих семена}}{\text{Укупан број семена}} \times 100$$

$$MTG = \frac{\sum n_i \times t_i}{\sum n_i}$$

n_i = број новоклијалих семена у интервалу i ;

t_i = време од почетка експеримента до временског интервала i (у данима);

$$RG = MGR \times 100;$$

$$MGR - \text{средња стопа клијања}; \quad MGR = \frac{1}{MTG}$$

$$U = \frac{GP}{MTG}$$

У случају пшенице, јечма и овса утврђиван је само проценат клијања (GP), јер су семена проклијала у кратком временском интервалу (максимално до три дана).

3.4. Испитивање карактеристика растења и потенцијала продуктивности

Растење биљака је праћено мерењем дужине корена и изданка коришћењем дигиталног калипера. Осим издуживања, растење је анализирано и преко повећања свеже и суве масе клијанаца. За ову сврху коришћена је аналитичка вага.

Потенцијал продуктивности биљака утврђиван је вигор тестом. Вигор тест за одређивање квалитета семена је много ефикаснији у односу на конвенционалне методе клијања. Стандардни тест клијања даје информацију о максималном потенцијалу семена у оптималним условима, док се вигор тестом утврђује вијабилност семена, као и свеукупна способност семена да брзо и униформно клијају и да се клијанци развију у квалитетне биљке под различитим условима спољашње средине. Процена вигора код свих испитиваних врста вршена је израчунавањем вигор индекса дужине клијанаца (SLVI – Seedling length vigor index) и вигор индекса тежине клијанаца (SWVI – Seedling weight vigor index) према Bojovic и сар., (2018) на основу следећих формула:

$$SLVI = (\text{дужина корена} + \text{дужина изданка}) \times GP$$

$$SWVI = \text{маса свежег узорка} \times GP.$$

3.5. Одређивање релативног садржаја воде у листу

Релативни садржај воде у листу (RWC – *relative water content*) означава количину воде у биљним ткивима у односу на стање пуне тургесцентности. RWC (%) је измерен и израчунат према методи коју су описали Dastborhan и Ghassemi-Golezani (2015), при чему је у случају житарица коришћено 6 дискова свежих листова дужине 2 cm, док је у случају ротквице и парадајза коришћено 6 целих листова чија је маса измерена на аналитичкој ваги. У циљу добијања тургидне масе дискови/листови су поређани у Петри кутије, преливени дестилованом водом, покривени филтер папиром (Whatman No. 1) и остављени да апсорбују воду током 3 – 4 h. После истека тог времена листови су просушени између два слоја филтер папира и поново измерени. Затим су пребачени у отворене Петри кутије са филтер папиром и остављени на собној температури током 24 h, након чега је мерена сува маса.

За израчунавање релативног садржаја воде у листовима коришћена је следећа формула:

$$RWC (\%) = \frac{\text{свежа маса} - \text{сува маса}}{\text{тургидна маса} - \text{сува маса}} \times 100$$

3.6. Одређивање концентрације фотосинтетичких пигмената

Одређивање концентрације фотосинтетичких пигмената (укупног хлорофила (Chl a + b), хлорофила *a* (Chl *a*), хлорофила *b* (Chl *b*) и каротеноида (C_x + c)) вршено је спектрофотометријском методом према Војовић и Стојановић (2005). За екстракцију пигмената коришћен је ацетон, при чему је 0,5 g свежих листова биљака хомогенизовано са 10 mL 80% ацетона. Хомогенат богат пигментима профилиран је кроз филтер папир (Whatman No. 1) и пребачен у тамне епрувете због фотосензибилности пигмената. Затим је центрифугиран 5 минута при брзини обртаја од 2500 rpm. Непосредно након центрифугирања супернатанти су пребачени у нове тамне епрувете, након чега је мерена апсорбанца на таласним дужинама $\lambda = 663 \text{ nm}$ (хлорофил *a*), $\lambda = 646 \text{ nm}$ (хлорофил *b*) и $\lambda = 470 \text{ nm}$ (каротеноиди). Концентрације фотосинтетичких пигмената ($\mu\text{g mL}^{-1}$) су израчунате према Wellburn (1994) коришћењем следећих формула:

$$Chl\ a + b = 8.02 \times A_{663} + 20.20 \times A_{646}$$

$$Chl\ a = 12.21 \times A_{663} - 2.81 \times A_{646}$$

$$Chl\ b = 20.13 \times A_{646} - 5.03 \times A_{663}$$

$$C_x + c = (1000 \times A_{470} - 3.27 \times Chl\ a - 104 \times Chl\ b) \div 198$$

Добијене вредности су изражене у односу на свежу масу узорака (mg g^{-1} SM) према следећој формули:

$$C = \frac{c \times V \times R}{m \times 1000}$$

C – концентрација пигмената (mg g^{-1}); V – укупна запремина екстракта (mL);

c – концентрација пигмената ($\mu\text{g mL}^{-1}$); R – разблажење;

m – свежа маса биљног ткива (g).

3.7. Екстракција и одређивање концентрације укупних солубилних протеина

Цео поступак екстракције протеина извршен је на леду уз коришћење претходно расхлађеног лабораторијског посуђа и раствора. Свежи листови биљака узорковани су и хомогенизовани помоћу порцеланског авана и тучка, уз коришћење пуфера за екстракцију (50 mM калијум-фосфатни пуфер (pH 7,8), 1 mM EDTA, 2% солубилни поливинилпиролидин (PVP) и 0,1% Triton X-100) (Jakovljević и сар., 2017). Узорци су затим профилтрирани (Whatman No. 1) и пребачени у микротубе. Непосредно након тога центрифугирани су 20 минута на 4 °C при брзини обртаја од 12 000 rpm, у циљу одвајања талог са органелама и ћелијским зидовима од супернатанта са солубилним протеинима. Овако добијен супернатант пребачен је у нове микротубе у којима је чуван на температури од – 80 °C до даљих анализа.

Одређивање концентрације укупних солубилних протеина урађено је методом коју је описао Lowry (1951). То је метода која се заснива на мерењу апсорпције светлости два обојена комплекса (биуретског и редукованог фосфомолибденског и фосфоволфрамског комплекса) који у оксидованом стању дају растворе жуте боје, а при преласку у редуковано стање мењају боју у плаву. Концентрација укупних солубилних протеина је сразмерна интензитету развијене плаве боје.

За квантификацију протеина припремљена је реакциона смеша која је садржала 2% K, Na-тартарат, 1% CuSO₄ × 5H₂O, 2% Na₂CO₃ у 0,1N NaOH и узорак протеина, а затим је инкубирана 10 минута на собној температури. После инкубације у сваки узорак је додато по 0,6 mL Folin-Ciocalteu реагенса и узорци су поново инкубирани 30 минута на собној температури, након чега је одређивана апсорбанца на таласној дужини $\lambda = 750$ nm. На исти начин мерена је и апсорбанца различитих концентрација стандардног раствора говеђег серум-албумина (BSA, eng. *bovine serum albumin*) (0-1 mg mL⁻¹) на основу чега је конструисана калибрациона крива. Концентрација укупних солубилних протеина израчуната је на основу вредности апсорбанци за узорке и калибрационе криве за BSA, а добијене вредности изражене су у односу на свежу масу узорка (mg g⁻¹ SM).

3.8. Одређивање интензитета липидне пероксидације

Интензитет липидне пероксидације одређиван је спектрофотометријском методом према Jakovljević и сар., (2019). Метода се заснива на реакцији малондиалдехида (MDA) као крајњег производа липидне пероксидације са тиобарбитуратном киселином (TBA), при чему високе температуре убрзавају, а ниске температуре успоравају реакцију. Ова реакција је праћена формирањем обојених комплекса.

Реакциона смеша је садржала протеински екстракт и 0,5% тиобарбитуратну киселину растворену у 20% трихлорсирћетној киселини (TCA). Узорци су инкубирани 30 минута на 95 °C. После инкубације узорци су охлађени на собној температури и центрифугирани 10 минута на 20 °C при брзини обртаја од 12 000 rpm. Издвојени супернатант је пребачен у нове епрувете и мерена је апсорбанца на таласним дужинама $\lambda = 532$ nm и $\lambda = 600$ nm. Интензитет липидне пероксидације је израчунат на основу читаних вредности апсорбанци и екстинкцијског коефицијента за MDA ($\epsilon = 155$ mM⁻¹ cm⁻¹), а добијене вредности су изражене као концентрација MDA у односу на свежу масу узорка nM g⁻¹ SM.

3.9. Испитивање параметара ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

3.9.1. Одређивање активности супероксид дисмутазе

Активност супероксид дисмутазе (SOD) одређивана је на основу капацитета протеинског екстракта да инхибира фотохемијску редукцију NBT (eng. *nitro-blue tetrazolium*) са $O_2^{\cdot-}$ у којој настаје формазан, плави производ редукције, што је праћено променом боје реакционе смеше у плаво (Beauchamp и Fridovich, 1971).

Реакциона смеша је садржала 0,1 mL протеинског екстракта, 50 mM калијум-фосфатни пуфер (pH 7,8), 0,01 M EDTA, 1 mM NBT, 13 mM l-metionin и 0,2 mM рибофлавин. Контролни узорак је добијен тако што је реакционој смеши уместо протеинског екстракта додата иста запремина калијум-фосфатног пуфера (pH 7,8) (0,1 mL). Епрувете са узорцима изложене су осветљењу од 20 W у трајању од 10 минута како би се иницирала реакција, након чега је одређивана апсорбанца на таласној дужини $\lambda = 560 \text{ nm}$. Једна јединица SOD (U – Unit) означава количину ензима која инхибира фоторедукцију NBT за 50% под наведеним условима. Активност SOD изражена је у односу на концентрацију укупних солубилних протеина ($U \text{ mg}^{-1} \text{ proteina}$).

3.9.2. Одређивање активности каталазе

Активност каталазе (CAT) одређивана је на основу праћења кинетике нестајања H_2O_2 на таласној дужини $\lambda = 405 \text{ nm}$ (Goth, 1991).

Реакциона смеша је садржала протеински екстракт, 60 mM натријум-калијум-фосфатни пуфер (pH 7,4) и $65 \mu\text{M mL}^{-1} H_2O_2$ (растворен у натријум-калијум-фосфатном пуферу (pH 7,4)). Реакција је иницирана инкубацијом узорака на 37°C током 60 секунди, а затим је заустављена додавањем 3 mL 32,4 mM амонијум-молибдата $((NH_4)_6Mo_7O_{24} \times 4H_2O)$, што је ланчано довело до формирања стабилног, жуто обојеног комплекса молибдата и неразграђеног H_2O_2 . Једна јединица CAT (U) означава количину ензима који разгради $1 \mu\text{mol } H_2O_2$ током једног минута под наведеним условима. Активност CAT изражена је у односу на концентрацију укупних солубилних протеина ($U \text{ mg}^{-1} \text{ proteina}$).

3.9.3. Одређивање активности аскорбат пероксидазе

Активност аскорбат пероксидазе (A POX) одређивана је спектрофотометријском методом према Јia и сар., (2013). A POX катализује превођење H_2O_2 у воду у присуству аскорбинске киселине као донора електрона. Метода се заснива на праћењу промене апсорбанце услед оксидације аскорбинске киселине до дехидроаскорбинске киселине под утицајем ензима A POX.

Реакциона смеша је садржала 5 mM аскорбинску киселину, 50 mM калијум-фосфатни пуфер (pH 7) и $0,1 \text{ mM } H_2O_2$. Реакциона смеша је прављена директно у кивети од кварцног стакла (непосредно пре мерења), а реакција је започета додавањем протеинског екстракта, након чега је праћена промена апсорбанце на таласној дужини $\lambda = 290 \text{ nm}$ током једног минута. На основу средње вредности промена апсорбанци и екстинкцијског коефицијента за аскорбинску киселину ($\epsilon = 2,8 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) израчуната је активност A POX. Једна јединица A POX (U) означава количину ензима који разгради 1

$\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ током једног минута под наведеним условима. Активност А РОХ изражена је у односу на концентрацију укупних солубилних протеина ($\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$).

3.9.4. Одређивање активности гвајакол пероксидазе

Активност гвајакол пероксидазе (G РОХ) одређивана је спектрофотометријском методом према Ја и сар., (2013). Метода се заснива на редукцији H_2O_2 до воде посредством ензима G РОХ који у том процесу користи гвајакол као донор електрона. У овој реакцији долази до оксидације гвајакола до тетрагвајакола.

Реакциона смеша је садржала 15 mM гвајакол, 100 mM калијум-фосфатни пуфер (pH 7) и 0,05% H_2O_2 . Реакциона смеша је прављена директно у кивети од кварцног стакла (непосредно пре мерења), а реакција је започета додавањем протеинског екстракта након чега је праћена промена апсорбанце на таласној дужини $\lambda = 470 \text{ nm}$ током једног минута. На основу средње вредности промена апсорбанци и екстинкцијског коефицијента за гвајакол ($\epsilon = 26,6 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) израчуната је активност G РОХ. Једна јединица G РОХ (U) означава количину ензима који разгради 1 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ током једног минута под наведеним условима. Активност G РОХ је изражена у односу на концентрацију укупних солубилних протеина ($\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$).

3.9.5. Одређивање активности пирогалол пероксидазе

Активност пирогалол пероксидазе (P РОХ) одређивана је спектрофотометријском методом према Kukavica и сар., (2013). P РОХ катализује превођење H_2O_2 у воду у присуству ароматичног једињења пирогалола као донора електрона. Метода се заснива на праћењу промене апсорбанце услед оксидације пирогалола до пурпурогалина под утицајем ензима P РОХ. Формирани пурпурогалин боји реакциону смешу у плаво-љубичасту боју.

Реакциона смеша је садржала 20 mM пирогалол, 100 mM калијум-фосфатни пуфер (pH 7) и 3,3 mM H_2O_2 . Реакциона смеша је прављена директно у кивети од кварцног стакла (непосредно пре мерења), а реакција је започета додавањем протеинског екстракта након чега је праћена промена апсорбанце на таласној дужини $\lambda = 430 \text{ nm}$ током једног минута. На основу средње вредности промена апсорбанци и екстинкцијског коефицијента за пирогалол ($\epsilon = 12 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) израчуната је активност P РОХ. Једна јединица P РОХ (U) означава количину ензима који разгради 1 $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2$ током једног минута под наведеним условима. Активност P РОХ је изражена у односу на концентрацију укупних солубилних протеина ($\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$).

3.10. Испитивање параметара неензимског антиоксидативног одбрамбеног система

3.10.1. Припрема биљног материјала и екстракта

Надземни делови клијанаца сушени су на собној температури, при влажности ваздуха од 55-60%, током 7 дана. Након тога су осушени надземни делови уситњени и чувани у папирним кесама до процеса екстракције. Биљни екстракти су припремљени одмеравањем 1 g сувог биљног материјала и додавањем 20 mL апсолутног метанола. После 48 h екстракти су профилтрирани (Whatman No. 1), а затим су упарени до сува

помоћу ротационог упаривача, на температури од 40 °C. Овако добијен суви екстракт растворен је у метанолу (99,5%) у концентрацији од 1 mg mL⁻¹ и профилиран после 48 h, након чега је коришћен за утврђивање концентрације укупних фенолних једињења, укупних флавоноида, укупне антиоксидативне активности, као и за квантификацију појединачних фенолних киселина и флавоноида.

3.10.2. Одређивање концентрације укупних фенолних једињења

Концентрација укупних фенолних једињења у биљним екстрактима одређивана је Folin-Ciocalteu реагенсом (смеша фосфомолибденске и фосфоволфрамове киселине) применом спектрофотометријске методе (Singleton и сар., 1999). Метода се заснива на реакцији фенолних једињења из биљних екстраката са Folin-Ciocalteu реагенсом у базној средини. У овој реакцији долази до оксидације фенолних једињења до феноксидних анјона и редукције Folin-Ciocalteu реагенса до молибден оксида и волфрам оксида, што је праћено бојењем реакционе смеше у плаво.

Реакциона смеша је садржала биљни екстракт, 7,5% раствор NaHCO₃ и 10% Folin-Ciocalteu реагенс растворен у води. Реакција је иницирана инкубацијом узорка на 45 °C током 15 минута, након чега је одређивана апсорбанца на таласној дужини $\lambda = 765$ nm. Контролни узорак је добијен тако што је реакционој смеши уместо биљног екстракта додата иста запремина метанола. На исти начин мерена је и апсорбанца различитих концентрација стандардног раствора галне киселине на основу којих је конструисана калибрациона крива. Концентрација укупних фенолних једињења изражена је као еквивалент галне киселине по граму биљног екстракта (mg GA g⁻¹ екстракта).

3.10.3. Одређивање концентрације укупних флавоноида

Концентрација укупних флавоноида у биљним екстрактима одређивана је применом спектрофотометријске методе са алуминијум хлоридом (Quettier-Deleu и сар., 2000). Метода се заснива на формирању металних комплекса са флавоноидима (флавоноид–алуминијум комплекса).

Реакциона смеша је садржала биљни екстракт и 2% AlCl₃ (растворен у метанолу). Узорци су инкубирани 60 минута на собној температури, а након инкубације је одређивана апсорбанца на таласној дужини $\lambda = 415$ nm. Контролни узорак је добијен тако што је реакционој смеши уместо биљног екстракта додата иста запремина метанола. На исти начин мерена је и апсорбанца различитих концентрација стандардног раствора рутина на основу којих је конструисана калибрациона крива. Концентрација укупних флавоноида изражена је као еквивалент рутина по граму биљног екстракта (mg RU g⁻¹ екстракта).

3.10.4. Одређивање укупне антиоксидативне активности

Укупна антиоксидативна активност биљних екстраката одређивана је спектрофотометријском методом (Stanković и сар., 2017). Ова метода се заснива на мерењу степена редукције 1,1-дифенил-2-пикрилхидразил радикала (DPPH) до нерадикалске форме 1,1-дифенил-2-(2,4,6-тринитрофенил)-хидразина под утицајем антиоксидативних једињења из биљних екстраката. Реакција је праћена губитком

интензивне љубичасте боје DPPH радикала и бојењем реакционе смеше у жуто (при чему је интензитет љубичасте боје пропорционалан антиоксидативном капацитету биљних екстраката).

Непосредно пре почетка рада припремљен је раствор DPPH радикала у метанолу (у концентрацији $80 \mu\text{g mL}^{-1}$). Направљене су серије разблажења у метанолу за сваки биљни екстракт (од основног биљног екстракта 1 mg mL^{-1}) у концентрацијама од 500, 250, 125, 62,5, 31,25, 15,62, 7,81, 3,90, 1,99 и $0,97 \mu\text{g mL}^{-1}$. У сваки разблажени раствор екстракта (1 mL) додата је иста запремина раствора DPPH радикала. Након инкубације узорка од 30 минута на собној температури, у мраку, одређивана је апсорбанца на таласној дужини $\lambda = 517 \text{ nm}$. Контролни узорак је добијен мешањем 1 mL метанола и 1 mL метанолног раствора DPPH радикала. Укупна антиоксидативна активност је изражена као проценат инхибиције DPPH радикала на основу разлика у апсорбanci узорка биљних екстраката и контролних узорка. Степен инхибиције DPPH радикала изражен је у процентима, а израчунат је помоћу следеће формуле:

$$\% \text{ инхибиције} = \left(\frac{A_{\text{контроле}} - A_{\text{узорка}}}{A_{\text{контроле}}} \right) \times 100$$

A контроле – апсорбанца контроле;

A узорка - апсорбанца узорка.

3.10.5. Анализа фенолних киселина и флавоноида

Квалитативна и квантитативна анализа фенолних киселина и флавоноида у биљним екстрактима урађена је помоћу HPLC уређаја Shimadzu prominence instrument (Кјото, Јапан) (Zu и сар., 2006; Li и сар., 2007; Liu и сар., 2008; Chunsriimyataw и сар., 2009; Irakli и сар., 2007; Cirić и сар., 2014). Уређај се састоји од пумпе са дегасером модел DGU-20A3, аналитичке пумпе LC-20AT, грејача колоне CPO-20AC, мануелног инјектора 7125, фотодиодног детектора SPD-M20A (PDA detector – Photo Diode Array detector, eng.), контролера система модел CBM-20A. За раздвајање компоненти коришћена је Hypersil GOLD aQ колона ($150 \times 4,6 \text{ mm}$, величина честица $5 \mu\text{m}$) чија је температура током рада одржавана на $+30^\circ\text{C}$. Узорци су пре анализе профилирани помоћу инјекционог филтера Allpure PTFE (Membrane Solution LLC, Тексас, САД) промера $0,45 \mu\text{m}$, а на колону је инјектовано $20 \mu\text{L}$ узорка. Као мобилне фазе коришћени су: (А) $0,1\%$ водени раствор мравље киселине и (В) ацетонитрил HPLC степена чистоће. Узорци су елуирани према следећем градијенту: $0 - 5 \text{ min } 2\% \text{ B}$, $5 - 40 \text{ min } 2 - 60\% \text{ B}$, $40 - 42 \text{ min } 60 - 100\% \text{ B}$, $42 - 44 \text{ min } 100\% \text{ B}$, $44 - 45 \text{ min } 100 - 2\% \text{ B}$, $45 - 50 \text{ min}, 2\% \text{ B}$.

Таласне дужине на којима се вршило мерење износиле су $269, 285$ и 370 nm , а изабране су на основу апсорпционих максимума испитиваних анализата. Добијени хроматографски подаци су обрађени помоћу компјутерског програма LC-Solution (Shimadzu, Кјото, Јапан). Идентификација и квантификација фенолних киселина и флавоноида у екстрактима урађена је на основу калибрације уз коришћење референтних стандардних једињења: 4-хидрокси бензоева киселина ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$), 3,4-дихидрокси бензоева киселина ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_4$), 3,5-дихидрокси бензоева киселина ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_4$), гална киселина ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$), ферулна киселина ($\text{C}_{10}\text{H}_{10}\text{O}_4$), синапинска киселина ($\text{C}_{11}\text{H}_{12}\text{O}_5$), *p*-кумарна киселина ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$), кафеинска киселина ($\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$), хлорогенска киселина ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{O}_9$), сиригинска киселина ($\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_5$), кверцетин ($\text{C}_{15}\text{H}_{10}\text{O}_7$), рутин ($\text{C}_{27}\text{H}_{30}\text{O}_{16}$),

катехин ($C_{15}H_{14}O_6$), епикатехин ($C_{15}H_{14}O_6$), апигенин ($C_{15}H_{10}O_5$), кризин ($C_{15}H_{10}O_4$), мирицетин ($C_{15}H_{10}O_8$), нарингин ($C_{27}H_{32}O_{14}$) и нарингенин ($C_{15}H_{12}O_5$). Концентрације фенолних киселина и флавоноида изражене су у микрограмима по граму сувог екстракта ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Основни параметри анализе приказани су у табели 2.

Табела 2. Оптимални услови за сепарацију и одређивање фенолних киселина и флавоноида у узорцима биљног материјала

Параметар	Оптимални услови
Колона	Hypersil GOLD aQ (150×4,6 mm, 5 μm)
Проток	1 mL min ⁻¹
Температура	30 °C
Детекција	UV 269, 285 и 370 nm
Запремина инјектовања	20 μL
pH вредности мобилне фазе	2,5
% мравље киселине	0,1 %

3.11. Статистичка обрада података

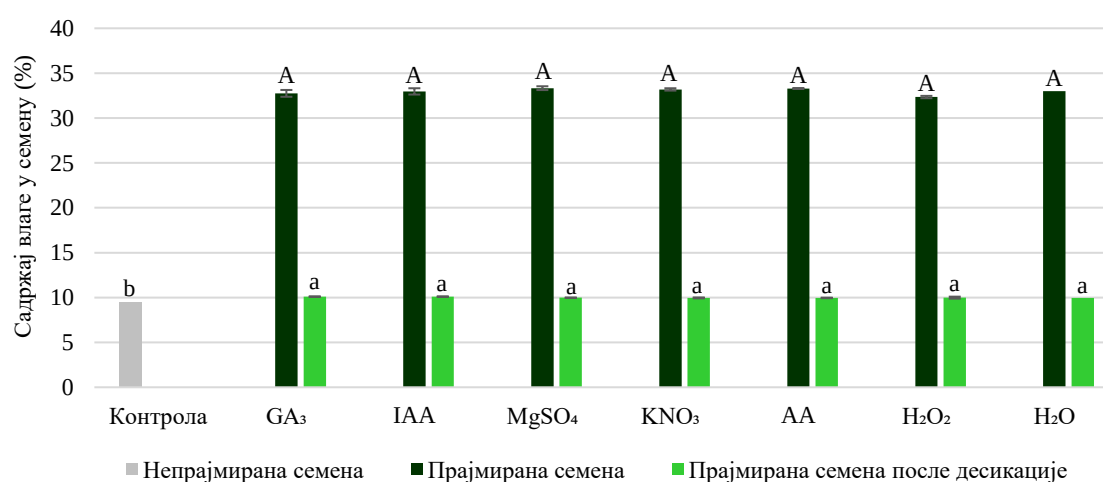
Експерименти су изведени у најмање пет понављања, а резултати су приказани као средња вредност $\pm$ стандардна грешка (SE) и представљени су табеларно или графички. Подаци су анализирани помоћу ANOVA теста ($p \leq 0,05$) уз коришћење Tukey post-hoc теста ($p \leq 0,05$) применом SPSS софтверског програма за статистичку обраду податка (SPSS for Windows, version 21, SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

4. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Пшеница (*Triticum aestivum* L. cv. Belija)

4.1.1. Садржај влаге у семену

Садржај влаге (који значајно утиче на физиолошке процесе у семену) мерен је у прајмираним семенима да би се потврдило да ли једињења коришћена за прајминг доводе до промене вредности овог параметра. Садржај влаге у семенима пшенице, мерен одмах након прајминга, био је у опсегу вредности од 32,34 до 33,33%, без значајних разлика између примењених третмана (Графикон 1). Такође је утврђено да је садржај влаге у прајмираним семенима након десикације био приближно сличан, док је влажност контролног, непрајмираног семена, била значајно мања и износила је 9,5%.

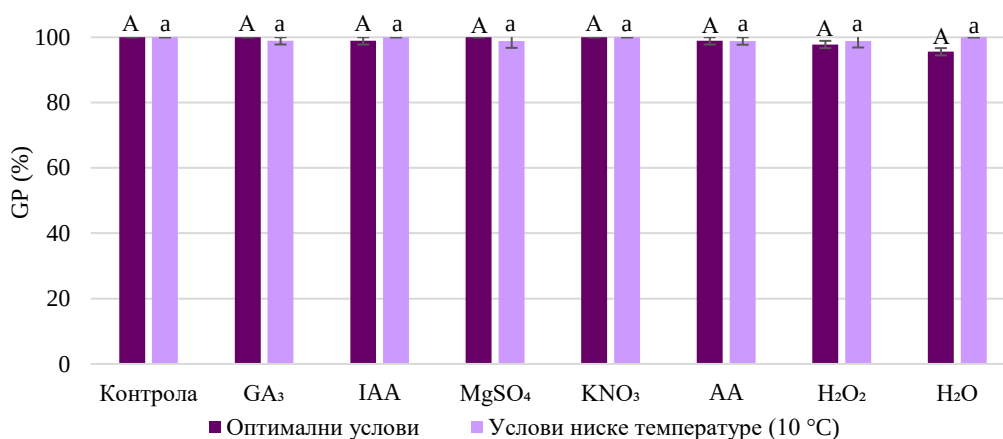


Графикон 1. Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима пшенице

Вредности представљају средњу вредност пет понављања $\pm$ стандардна грешка. Иста мала слова означавају да разлике између непрајмираног и прајмираног семена након десикације нису биле значајне. Иста велика слова означавају да разлике између семена након примене различитих прајминг агенаса нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.2. Карактеристике клијања

Резултати добијени за проценат клијања семена пшенице (GP) при оптималним условима и у условима ниске температуре приказани су на Графикону 2. Максимални проценат клијања (100%) остварен је након примене хормопрајминга са GA₃ и третмана халопрајминга, док су код осталих прајминг третмана забележене нешто ниже вредности у поређењу са контролом. Семена пшенице су у најмањем броју клијала након примене хидропрајминга.



Графикон 2. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена пшенице

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Изложеност семена дејству ниских температура није утицала на клијавост пшенице, па је забележен висок проценат проклијалих семена ($GP > 98\%$) у кратком временском периоду (3 дана), без значајне разлике између прајмираних и непрајмираних семена.

4.1.3. Карактеристике растења

Ефекат примењених прајминг третмана на карактеристике растења пшенице, при оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуром, утврђиван је мерењем дужине корена, дужине изданка, свеже и суве масе, као и проценom вигор индекса дужине и тежине клијанаца пшенице.

Сви примењени прајминг агенси испољили су стимулативни ефекат на карактеристике растења клијанаца пшенице у оптималним условима (Табела 3). Највећа дужина изданка забележена је при хормопрајмингу са GA₃ (14,60 cm) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO₃ (13,90 cm) и хидропрајминга (13,48 cm). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Најнижа вредност за дужину изданка измерена је код контролних клијанаца (10,34 cm). Дужина корена варирала је у опсегу од 3,70 до 6,45 cm, а најнижа вредност евидентирана је у контроли. Прајминг агенси деловали су стимулативно на дужину корена, а најзначајнији ефекат испољио је третман са H₂O (6,45 cm). Истовремено, овај третман је остварио најистакнутији ефекат на свежу масу (107,43 mg). Највећа вредност за суву масу забележена је при третману са KNO₃ (20,56 mg) и праћена је вредностима добијеним при третману са H₂O (19,42 mg). Најниже вредности за свежу (71,36 mg) и суву масу (14,15 mg) измерене су у контроли.

Вигор индекс дужине контролних клијанаца износио је 1404,00. Евидентиран је значајан пораст вредности за SLVI након примене прајминга, а добијене вредности су се кретале у опсегу од 1606,96 до 1887,15. Најзначајнији ефекат забележен је после хидропрајминга и праћен је вредностима добијеним при третману са KNO₃ и GA₃, без статистички значајних разлика. Добијене вредности за SWVI биле су у опсегу од 7,14 до 10,38, при чему је третман са H₂O био најповољнији за рани развој клијанаца

пшенице; ове вредности су праћене вредностима добијеним након хормо- и халопрајминга са IAA и KNO₃. Најнижа вредност за вигор индекс тежине евидентирана је код контролних клијанаца.

Примена прајминга је такође имала значајан утицај на испитиване карактеристике растења клијанаца пшенице гајених у условима ниске температуре (10 °C) (Табела 4). Генерално, примењена средства имала су стимулативни ефекат на растење изданка и корена у поређењу са клијанцима добијеним из непрајмираних семена. Прајминг третман са GA₃ имао је доминантно дејство на дужину изданка (15,90 cm), са статистички значајном разликом у поређењу са осталим третманима. Максимална дужина корена евидентирана је након прајминга са AA (10,71 cm) и праћена је вредностима добијеним након прајминга са MgSO₄ (10,41 cm). Између ових вредности није забележена статистички значајна разлика. Прајминг са KNO₃ имао је најизраженији ефекат на свежу (146,33 mg) и суву масу (25,49 mg).

Вредности за вигор индекс дужине клијанаца пшенице гајених под утицајем ниске температуре биле су у опсегу од 1728,00 до 2572,13. Прајминг третман са GA₃ издвојио се као третман са најистакнутијим утицајем. Најмања вредност за SLVI забележена је код контролних клијанаца. Када је у питању SWVI, добијене вредности биле су у опсегу од 9,90 до 14,60. Сви прајминг агенси деловали су стимулативно на вигор индекс тежине клијанаца, а најповољнији ефекат остварен је након третмана са KNO₃. Најнижа вредност за SWVI евидентирана је код клијанаца гајених из контролних, непрајмираних семена.

Табела 3. Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца пшенице гајених при оптималним условима

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	3,70 ± 0,18 d	10,34 ± 0,48 c	71,36 ± 0,003 c	14,15 ± 0,001 d	1404,00 ± 0,00 d	7,14 ± 0,00 f
GA₃	3,85 ± 0,15 cd	14,47 ± 0,34 a	85,86 ± 0,003 bc	15,49 ± 0,000 cd	1832,00 ± 0,00 a	8,60 ± 0,00 c
IAA	5,13 ± 0,20 ab	11,71 ± 0,23 bc	105,43 ± 0,004 a	16,94 ± 0,000 c	1665,31 ± 18,69 bc	10,38 ± 0,12 a
MgSO₄	5,50 ± 0,22 ab	11,35 ± 0,43 bc	76,36 ± 0,003 c	14,81 ± 0,000 cd	1685,00 ± 0,00 b	7,60 ± 0,00 e
KNO₃	4,64 ± 0,37 bcd	13,74 ± 0,37 a	99,57 ± 0,004 ab	20,56 ± 0,001 a	1838,00 ± 0,00 a	10,00 ± 0,00 b
AA	4,99 ± 0,30 bc	11,26 ± 0,35 bc	81,36 ± 0,004 c	16,74 ± 0,000 c	1606,96 ± 18,04 c	8,01 ± 0,09 d
H₂O₂	5,41 ± 0,32 ab	11,75 ± 0,40 bc	85,21 ± 0,004 bc	17,22 ± 0,001 bc	1677,91 ± 19,05 b	8,31 ± 0,09 cd
H₂O	6,31 ± 0,41 a	12,99 ± 0,58 ab	107,43 ± 0,006 a	19,42 ± 0,001 ab	1887,15 ± 21,42 a	10,46 ± 0,12 a

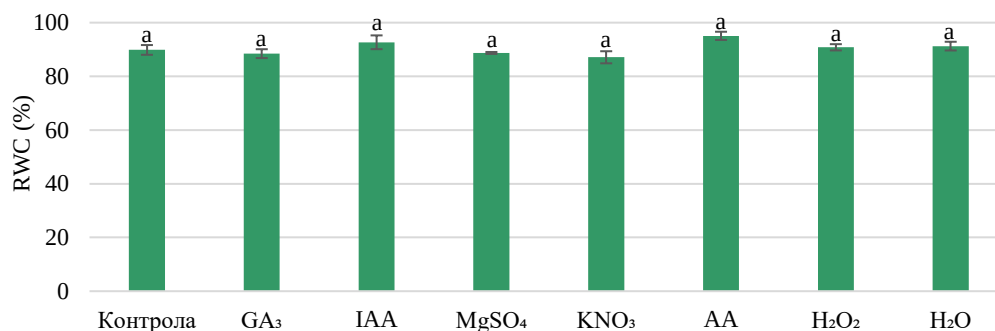
Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста**Табела 4.** Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца пшенице гајених при условима ниске температуре

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	8,39 ± 0,23 c	9,43 ± 0,12 f	98,67 ± 0,001 e	19,33 ± 0,000 c	1728,00 ± 0,00 e	9,90 ± 0,00 h
GA₃	10,11 ± 0,20 ab	15,90 ± 0,23 a	126,47 ± 0,005 bc	22,08 ± 0,001 b	2572,13 ± 28,87 a	12,46 ± 0,14 cd
IAA	9,56 ± 0,27 abc	13,70 ± 0,27 b	135,07 ± 0,003 ab	20,59 ± 0,001 bc	2326,00 ± 0,00 b	13,50 ± 0,00 b
MgSO₄	10,41 ± 0,37 a	11,80 ± 0,21 c	123,67 ± 0,003 bcd	21,43 ± 0,000 bc	2194,57 ± 26,43 c	12,25 ± 0,15 de
KNO₃	9,89 ± 0,31 ab	11,79 ± 0,15 c	146,33 ± 0,003 a	25,49 ± 0,000 a	2168,00 ± 0,00 c	14,60 ± 0,00 a
AA	10,71 ± 0,26 a	11,17 ± 0,21 cd	128,93 ± 0,004 bc	21,47 ± 0,000 bc	2162,84 ± 25,16 c	12,75 ± 0,15 c
H₂O₂	8,61 ± 0,31 c	10,15 ± 0,25 ef	112,40 ± 0,003 de	19,27 ± 0,001 c	1854,43 ± 24,57 e	11,07 ± 0,13 f
H₂O	9,04 ± 0,26 bc	10,55 ± 0,15 de	118,80 ± 0,002 cd	21,75 ± 0,000 b	1959,00 ± 0,00 d	11,90 ± 0,00 e

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.4. Релативни садржај воде у листу

Измерене вредности за релативну влажност листа клијанаца пшенице биле су у опсегу од 87,10 до 95,08% (Графикон 3). Највећа вредност RWC измерена је након прајминга са АА и праћена је вредностима добијеним при третману са IAA и H₂O. Нису утврђене статистички значајне разлике у односу на контролу.



Графикон 3. Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената

Ефекти различитих техника прајминга на концентрацију фотосинтетичких пигмената у листовима клијанаца пшенице при оптималним условима, укључујући укупни хлорофил, хлорофил *a*, хлорофил *b* и каротеноиде, приказани су у Табели 5.

Концентрација фотосинтетичких пигмената хлорофила се значајно разликовала у зависности од примењеног третмана. Најповољнији утицај на синтезу хлорофила остварен је након халопрајминга са MgSO₄ и KNO₃, где су забележене највеће вредности за концентрацију укупног хлорофила (2,589 mg g⁻¹ SM; 2,572 mg g⁻¹ SM), хлорофила *a* (1,454 mg g⁻¹ SM, 1,446 mg g⁻¹ SM), као и хлорофила *b* (0,816 mg g⁻¹ SM, 0,801 mg g⁻¹ SM). Између ових прајминг третмана није утврђена статистички значајна разлика. Најнижа концентрација фотосинтетичких пигмената евидентирана је после прајминга са GA₃, са статистички значајном разликом у поређењу са осталим третманима.

Са изузетком хормопрајминга са GA₃ сви третмани су индуковали повећање концентрације каротеноида; измерене вредности биле су у опсегу од 0,066 до 0,114 mg g⁻¹ SM. Највећа концентрација каротеноида евидентирана је на истим третманима на којима је забележен и највећи садржај хлорофила.

Табела 5. Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

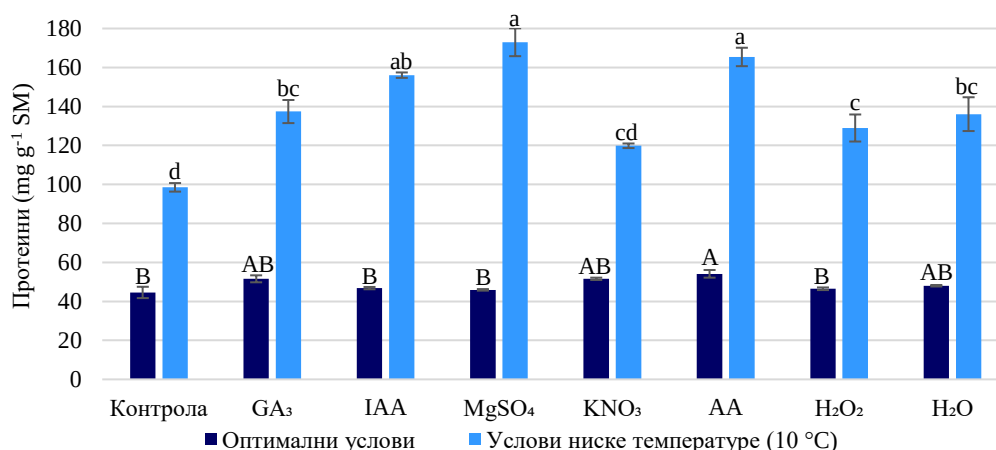
Третман	Укупни хлорофил	Хлорофил <i>a</i>	Хлорофил <i>b</i>	Каротеноиди
Контрола	$2,458 \pm 0,005$ b	$1,360 \pm 0,0003$ b	$0,786 \pm 0,004$ b	$0,098 \pm 0,001$ d
GA ₃	$1,967 \pm 0,006$ e	$1,077 \pm 0,003$ e	$0,640 \pm 0,002$ e	$0,066 \pm 0,003$ e
IAA	$2,364 \pm 0,001$ cd	$1,320 \pm 0,001$ cd	$0,745 \pm 0,002$ cd	$0,101 \pm 0,001$ cd
MgSO ₄	$2,589 \pm 0,023$ a	$1,454 \pm 0,011$ a	$0,816 \pm 0,008$ a	$0,114 \pm 0,001$ a
KNO ₃	$2,572 \pm 0,015$ a	$1,446 \pm 0,008$ a	$0,801 \pm 0,006$ ab	$0,111 \pm 0,001$ ab
AA	$2,322 \pm 0,009$ d	$1,302 \pm 0,004$ d	$0,726 \pm 0,004$ d	$0,107 \pm 0,001$ abc
H ₂ O ₂	$2,431 \pm 0,013$ b	$1,365 \pm 0,009$ b	$0,758 \pm 0,003$ c	$0,111 \pm 0,001$ ab
H ₂ O	$2,400 \pm 0,013$ bc	$1,351 \pm 0,008$ bc	$0,745 \pm 0,004$ cd	$0,106 \pm 0,001$ bc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.6. Концентрација укупних солубилних протеина

Резултати утицаја примењених прајминг третмана на концентрацију укупних солубилних протеина у листовима клијанаца пшенице гајених у оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуром приказани су на Графикону 4.

Анализом садржаја укупних протеина може се уочити стимулативни ефекат свих прајминг третмана. Концентрација укупних солубилних протеина била је у опсегу вредности од 44,59 до 54,14 mg g^{-1} SM. Најзначајнији ефекат остварен је прајмингом са AA и праћен је вредностима након прајминга са GA₃ и KNO₃. Између ових вредности нису забележене статистички значајне разлике. Најнижа концентрација протеина квантификована је у контроли.

**Графикон 4.** Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана

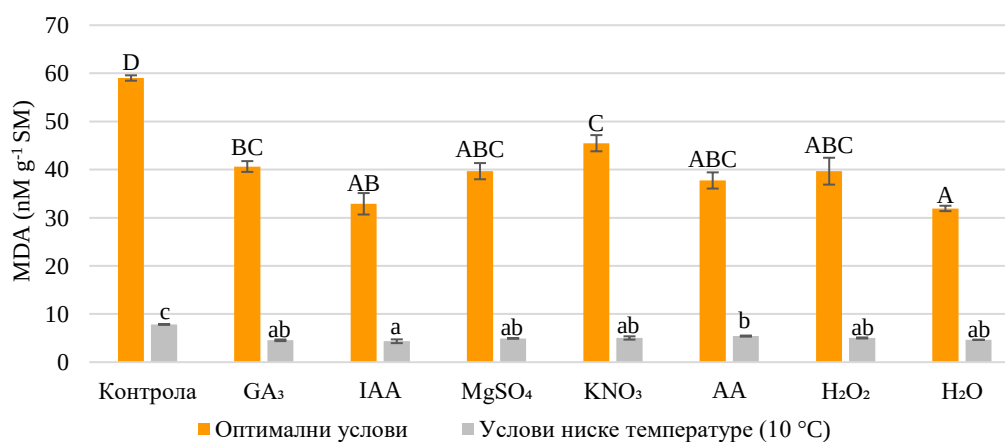
Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима стреса ниске температуре у клијанцима гајеним из прајмираних семена утврђено је значајно повећање концентрације укупних солубилних протеина у поређењу са клијанцима добијеним из непрајмираних семена (Графикон 4). Измерене концентрације протеина биле су у опсегу од 98,51 до 172,96 mg g⁻¹ SM. Највећа концентрација протеина утврђена је при халопрајмингу са MgSO₄ и праћена је вредностима добијеним при прајмингу са AA, без статистички значајне разлике између њих. Најмања вредност измерена је у контроли.

4.1.7. Интезитет липидне пероксидације

Акумулација MDA, као једног од главних показатеља (биомаркера) оксидативног стреса, може да укаже на оштећење ћелија и формирање ROS у стресним условима средине. С тим у вези, ниже вредности садржаја MDA повезане су са смањењем оксидативног стреса и побољшањем интегритета ћелијских мембрана.

Измерене концентрације MDA у листовима клијанаца пшенице гајених у оптималним условима у опсегу су вредности од 31,94 до 59,03 nM g⁻¹ SM (Графикон 5). Сви примењени прајминг агенси остварили су значајан ефекат на смањење липидне пероксидације у поређењу са контролом. Најзначајнији ефекат евидентиран је након примене хидропрајминга и праћен је вредностима добијеним при хормопрајмингу са IAA. Између ових вредности није утврђена статистички значајна разлика.



Графикон 5. Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g⁻¹ SM) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Исти тренд забележен је и код клијанаца пшенице који су гајени у условима ниске температуре. Сви прајминг третмани значајно су смањили концентрацију MDA и повећали стабилност ћелијске мембране (Графикон 5). Измерене вредности биле су у опсегу од 4,35 до 7,84 nM g⁻¹ SM. Најистакнутији ефекат постигнут је хормопрајмингом са IAA и праћен је вредностима добијеним након хормопрајминга са GA₃, при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових вредности. Највећа концентрација MDA евидентирана је у контроли.

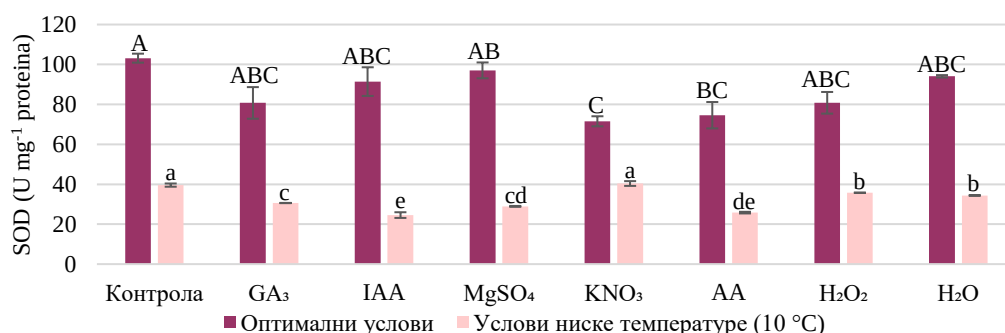
4.1.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

Активност антиоксидативних ензима супероксид дисмутаза, каталаза, аскорбат пероксидаза, гвајакол пероксидаза и пирогалол пероксидаза у листовима клијанаца пшенице гајених при оптималним условима и условима ниске температуре мењала се у зависности од примењеног третмана (Графикони 6 и 7).

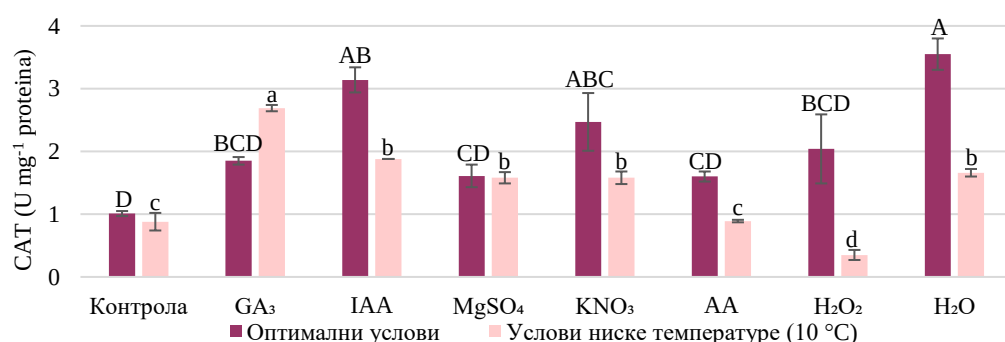
Активност **супероксид дисмутаза** (SOD) изражена у U mg^{-1} proteina у листовима клијанаца пшенице гајених у оптималним условима кретала се у опсегу вредности од 71,53 до 103,16. Највиша активност SOD измерена је у контролним клијанцима. Са друге стране, евидентиран је пад у активности овог ензима након примене прајминга, при чему је статистички значајно нижа активност измерена након прајминга са KNO_3 и AA (Графикон 6a).

Када је у питању активност SOD у условима ниске температуре, измерене вредности варирале су у опсегу од 24,56 до 40,37 U mg^{-1} proteina. Највиша активност ензима измерена је у листовима клијанаца добијених из семена прајмираних са KNO_3 , при чему је забележена вредност била незнатно већа у поређењу са контролом. Супротно томе, сви остали прајминг третмани довели су до статистички значајног пада у активности овог ензима. Најнижа активност SOD евидентирана је након прајминга са IAA (Графикон 6a).

(a)



(b)



Графикон 6. Активност супероксид дисмутаза (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Мерењем активности **каталазе** (САТ) у листовима клијанаца пшенице гајених у оптималним условима утврђено је да прајминг повећава ниво активности овог ензима. Прајминг третмани су се разликовали по својој ефикасности. Измерена активност САТ била је у опсегу вредности од 1,01 до 3,55 U mg⁻¹ proteina. Након прајминга семена са H₂O и IAA активност САТ била је 3,10 до 3,50 пута већа у поређењу са контролом где је забележена најнижа активност ензима (Графикон 6б).

У условима ниске температуре САТ је била активнија у клијанцима пшенице добијеним из прајмираних семена (изузетак је прајминг са H₂O₂). Измерена активност овог ензима била је у опсегу од 0,35 до 2,69 U mg⁻¹ proteina. Највиша активност САТ постигнута је након хормопрајминга са GA₃, са статистички значајном разликом у односу на остале примењене третмане. После прајминга семена са H₂O₂ измерена је најнижа активност САТ (Графикон 6б).

Активност **аскорбат пероксидазе** (А РОХ) у оптималним условима мењала се у опсегу од 0,0156 до 0,0191 U mg⁻¹ proteina. Највиша активност евидентирана је након халопрајминга са KNO₃, а најнижа у контроли. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених прајминг третмана и контроле (Графикон 7а).

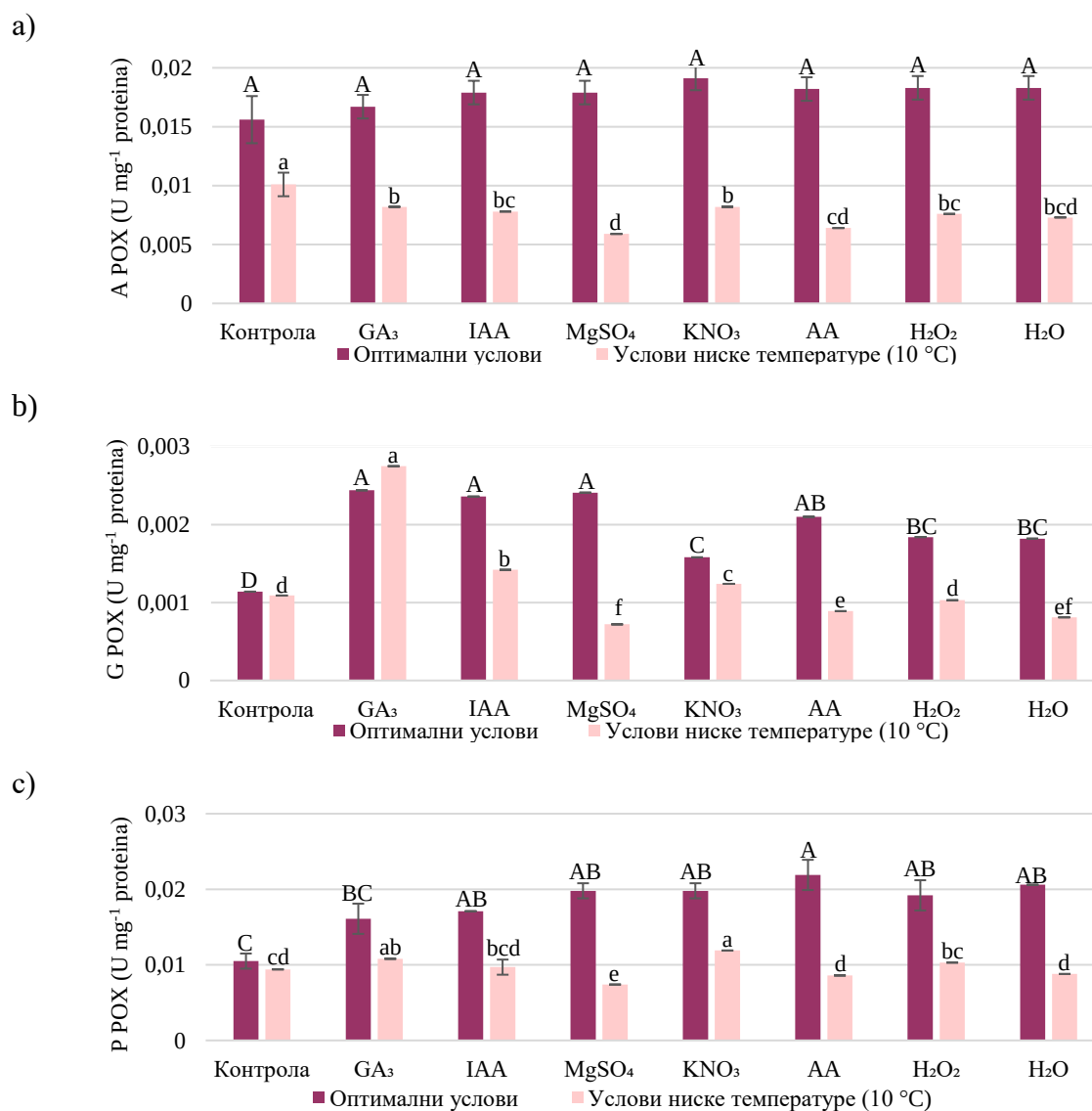
Активност А РОХ изражена у U mg⁻¹ proteina у листовима контролних клијанаца пшенице у условима ниске температуре износила је 0,0101. Под утицајем примењених прајминга активност А РОХ мењала се у опсегу од 0,0059 до 0,0082 U mg⁻¹ proteina. Сви прајминг третмани значајно су смањили активност овог ензима, а најнижа активност забележена је након прајминга са MgSO₄ (Графикон 7а).

У оптималним условима гајења сви прајминг третмани значајно су повећали активност **гвајакол пероксидазе** (G РОХ). Измерена активност овог ензима била је у опсегу од 0,00114 до 0,00244 U mg⁻¹ proteina. Највиша активност G РОХ измерена је при третману са GA₃ и праћена је вредностима добијеним при третману са MgSO₄ и IAA. Нису утврђене статистички значајне разлике између ових прајминг третмана. Најнижа активност G РОХ евидентирана је у клијанцима добијеним из контролних семена (Графикон 7б).

Активност G РОХ у листовима клијанаца пшенице у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 0,00072 до 0,00275 U mg⁻¹ proteina. Хормопрајминг третмани и халопрајминг са KNO₃ значајно су повећали активност овог ензима у поређењу са вредностима измереним у контроли, при чему је доминантан ефекат постигао хормопрајминг са GA₃. Најнижа активност G РОХ измерена је након халопрајминга са MgSO₄ (Графикон 7б).

Добијене вредности за активност **пирогалол пероксидазе** (Р РОХ) при оптималним условима биле су у опсегу од 0,0105 до 0,0219 U mg⁻¹ proteina. Ензим је био најактивнији у клијанцима добијеним из семена прајмираним са AA и праћен је вредностима добијеним при третману са H₂O. Р РОХ је била најмање активна у контролним клијанцима као и код осталих праћених пероксидаза (Графикон 7с).

При условима стреса изазваног ниском температуром измерена активност Р РОХ била је у опсегу од 0,00074 до 0,0119 U mg⁻¹ proteina. Активност ензима је била најизраженија у клијанцима добијеним из семена прајмираним са KNO₃ и праћена је вредностима добијеним при третману са GA₃. Није утврђена статистички значајна разлика у активности пирогалол пероксидазе након примене ових третмана. Најнижа активност Р РОХ евидентирана је после прајминга са MgSO₄ (Графикон 7с).



Графикон 7. Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида

Резултати добијени мерењем укупних фенолних једињења и флавоноида у клијанцима пшенице након прајминга при оптималним условима приказани су у Табели 6.

Измерена концентрација укупних фенолних једињења била је у опсегу вредности од 16,67 до 19,51 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа вредност забележена је након халопрајминга са KNO₃ и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са MgSO₄. Најмања концентрација фенолних једињења евидентирана је после хормопрајминга са GA₃.

Концентрација укупних флавоноида била је у опсегу вредности од 23,10 до 25,93 mg RU g⁻¹ екстракта. Слично као код фенолних једињења халопрајминг је испољио најповољнији ефекат на синтезу флавоноида. Максимална концентрација флавоноида постигнута је прајмингом са KNO₃ и праћена је вредностима добијеним након прајминга са MgSO₄, при чему је забележена статистички значајна разлика између ових вредности. Најнижа концентрација измерена је при третману са GA₃.

Табела 6. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) и флавоноида (mg RU g⁻¹ екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	16,81 ± 0,36 a	25,10 ± 0,02 e
GA₃	16,67 ± 0,14 a	23,39 ± 0,03 f
IAA	17,10 ± 0,51 a	25,02 ± 0,03 e
MgSO₄	18,19 ± 0,81 a	25,93 ± 0,04 a
KNO₃	19,51 ± 0,59 a	25,75 ± 0,02 b
AA	18,00 ± 0,83 a	25,54 ± 0,03 c
H₂O₂	18,18 ± 0,98 a	25,58 ± 0,02 c
H₂O	17,14 ± 0,13 a	25,31 ± 0,03 d

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Измерене вредности укупних фенолних једињења у клијанцима пшенице гајеним у условима ниске температуре (10 °C) биле су у опсегу од 19,28 до 22,50 mg GA g⁻¹ екстракта (Табела 7). Највеће вредности забележене су након прајминга са KNO₃ и AA, без значајне разлике између њих. Најмања вредност квантификована је после прајминга са H₂O₂, при чему није утврђен статистички значајан пад у поређењу са контролом.

Измерена концентрација укупних флавоноида у истим условима (Табела 7) била је у опсегу вредности од 25,39 до 26,88 mg RU g⁻¹ екстракта, при чему су сви прајминг третмани значајно повећали концентрацију флавоноида. Најповољнији ефекат остварен је након редокспрајминга са H₂O₂ и AA. Између ових прајминг третмана није утврђена статистички значајна разлика. Најнижа концентрација флавоноида евидентирана је у контроли.

Табела 7. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	$19,28 \pm 0,17 \text{ b}$	$25,39 \pm 0,02 \text{ e}$
GA ₃	$20,51 \pm 0,30 \text{ b}$	$26,45 \pm 0,02 \text{ bcd}$
IAA	$19,80 \pm 0,43 \text{ b}$	$26,41 \pm 0,12 \text{ cd}$
MgSO ₄	$20,13 \pm 0,48 \text{ b}$	$26,35 \pm 0,03 \text{ d}$
KNO ₃	$22,50 \pm 0,65 \text{ a}$	$26,61 \pm 0,02 \text{ abcd}$
AA	$21,17 \pm 0,34 \text{ ab}$	$26,74 \pm 0,05 \text{ ab}$
H ₂ O ₂	$19,23 \pm 0,14 \text{ b}$	$26,88 \pm 0,03 \text{ a}$
H ₂ O	$20,84 \pm 0,42 \text{ ab}$	$26,66 \pm 0,10 \text{ abc}$

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.10. Укупна антиоксидативна активност

Резултати испитивања укупне антиоксидативне активности екстракта пшенице добијених из клијанаца гајених при оптималним условима приказани су у Табели 8. Антиоксидативни капацитет пшенице варирао је у зависности од прајминг третмана и показао је дозну зависност у односу на концентрацију биљних екстракта. Највећа способност неутрализације слободних радикала забележена је након прајминга са AA (42,63% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO₃ (39,96% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и редокспрајминга са H₂O₂ (39,04% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Најмањи степен редукције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта постигнут је након хормопрајминга са GA₃ (28,18% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта).

Неутрализација DPPH радикала у биљним екстрактима добијеним из клијанаца гајених у условима ниске температуре у зависности од примењених третмана приказана је у Табели 9. Генерално су клијанци пшенице добијени из прајмираних семена имали већи антиоксидативни капацитет у односу на контролу (изузетак је прајминг са GA₃), при чему је активност директно зависила од концентрације екстракта. Најзначајнији утицај на инхибицију DPPH радикала забележен је у биљним екстрактима добијеним од клијанаца гајених из семена прајмираних са KNO₃ (61,89% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Значајна инхибиција DPPH радикала постигнута је и у биљним екстрактима добијеним из клијанаца гајених из семена која су прајмирана са H₂O (57,17% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), AA (56,66% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и H₂O₂ (54,71% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Најнижи проценат инхибиције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта евидентиран је након хормопрајминга са GA₃ (45,90% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта).

Табела 8. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
500	35,87 ± 0,83 ab	28,18 ± 0,53 c	35,25 ± 0,36 abc	30,33 ± 1,07 bc	39,96 ± 1,30 a	42,63 ± 3,55 a	39,04 ± 1,24 a	37,61 ± 0,41 ab
250	19,37 ± 0,41 ab	17,01 ± 1,78 ab	19,57 ± 0,18 ab	16,80 ± 1,18 b	20,39 ± 0,29 ab	18,55 ± 0,53 ab	21,11 ± 0,36 a	19,57 ± 0,65 ab
125	12,60 ± 0,06 a	13,53 ± 1,18 a	14,35 ± 0,36 a	13,43 ± 0,89 a	14,66 ± 1,36 a	15,47 ± 0,18 a	14,14 ± 0,24 a	13,73 ± 0,59 a
62,5	10,87 ± 0,83 a	11,68 ± 1,30 a	11,58 ± 0,77 a	11,17 ± 1,71 a	10,86 ± 0,95 a	12,09 ± 0,24 a	11,28 ± 0,83 a	10,86 ± 0,71 a
31,25	9,33 ± 1,01 a	10,55 ± 1,48 a	9,74 ± 0,89 a	9,43 ± 0,95 a	10,15 ± 1,12 a	10,46 ± 0,83 a	9,63 ± 0,95 a	10,05 ± 0,83 a
15,62	9,02 ± 0,95 a	9,94 ± 1,24 a	9,12 ± 1,13 a	9,12 ± 1,00 a	9,84 ± 1,18 a	9,74 ± 1,12 a	9,12 ± 1,13 a	9,22 ± 1,18 a
7,81	8,61 ± 1,07 a	9,33 ± 1,01 a	8,92 ± 1,12 a	8,82 ± 1,06 a	9,63 ± 1,18 a	9,33 ± 1,24 a	8,92 ± 1,12 a	8,92 ± 1,12 a
3,90	8,41 ± 1,07 a	8,81 ± 1,18 a	8,71 ± 1,13 a	8,61 ± 1,07 a	9,43 ± 1,18 a	9,02 ± 1,30 a	8,71 ± 1,13 a	8,71 ± 1,13 a
1,99	8,20 ± 1,07 a	8,40 ± 1,07 a	8,51 ± 1,12 a	8,41 ± 1,07 a	9,12 ± 1,13 a	8,71 ± 1,24 a	8,20 ± 1,18 a	8,41 ± 1,07 a
0,97	7,89 ± 1,12 a	7,17 ± 0,71 a	8,30 ± 1,13 a	7,69 ± 0,77 a	8,51 ± 0,89 a	7,59 ± 1,07 a	7,89 ± 1,13 a	8,20 ± 1,07 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Табела 9. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	51,23 $\pm$ 0,24 d	45,90 $\pm$ 0,83 e	51,43 $\pm$ 0,12 cd	52,25 $\pm$ 0,95 cd	61,89 $\pm$ 0,71 a	56,66 $\pm$ 1,01 b	54,71 $\pm$ 0,47 bc	57,17 $\pm$ 0,47 b
250	29,82 $\pm$ 0,65 e	29,51 $\pm$ 0,47 e	31,35 $\pm$ 0,24 de	31,97 $\pm$ 0,35 d	39,04 $\pm$ 0,53 a	34,12 $\pm$ 0,30 bc	33,09 $\pm$ 0,4 cd	35,45 $\pm$ 0,36 b
125	23,67 $\pm$ 0,18 d	23,26 $\pm$ 0,10 d	23,87 $\pm$ 0,18 d	23,97 $\pm$ 0,12 cd	26,74 $\pm$ 0,53 a	24,08 $\pm$ 0,10 cd	25,10 $\pm$ 0,10 bc	25,72 $\pm$ 0,30 ab
62,5	20,59 $\pm$ 0,41 b	20,90 $\pm$ 0,12 b	21,11 $\pm$ 0,12 b	21,62 $\pm$ 0,30 ab	22,54 $\pm$ 0,12 a	21,72 $\pm$ 0,24 ab	21,41 $\pm$ 0,30 ab	21,00 $\pm$ 0,41 b
31,25	18,85 $\pm$ 0,71 a	19,26 $\pm$ 0,12 a	19,98 $\pm$ 0,10 a	19,98 $\pm$ 0,18 a	20,29 $\pm$ 0,12 a	19,88 $\pm$ 0,35 a	19,57 $\pm$ 0,30 a	19,47 $\pm$ 0,35 a
15,62	17,32 $\pm$ 0,89 a	18,75 $\pm$ 0,18 a	19,26 $\pm$ 0,12 a	19,16 $\pm$ 0,30 a	19,16 $\pm$ 0,30 a	18,65 $\pm$ 0,24 a	18,34 $\pm$ 0,18 a	18,44 $\pm$ 0,47 a
7,81	17,11 $\pm$ 0,89 a	18,55 $\pm$ 0,18 a	19,06 $\pm$ 0,12 a	18,65 $\pm$ 0,24 a	18,55 $\pm$ 0,30 a	18,44 $\pm$ 0,24 a	18,03 $\pm$ 0,24 a	17,93 $\pm$ 0,53 a
3,90	16,60 $\pm$ 0,71 b	18,24 $\pm$ 0,24 ab	18,85 $\pm$ 0,12 a	18,44 $\pm$ 0,24 a	18,34 $\pm$ 0,30 ab	18,24 $\pm$ 0,24 ab	17,83 $\pm$ 0,24 ab	17,73 $\pm$ 0,53 ab
1,99	16,29 $\pm$ 0,77 b	18,03 $\pm$ 0,24 ab	18,55 $\pm$ 0,10 a	18,24 $\pm$ 0,24 a	18,14 $\pm$ 0,30 ab	18,03 $\pm$ 0,24 ab	17,62 $\pm$ 0,24 ab	17,32 $\pm$ 0,53 ab
0,97	15,98 $\pm$ 0,83 b	17,52 $\pm$ 0,18 ab	17,21 $\pm$ 0,12 ab	17,62 $\pm$ 0,24 ab	17,93 $\pm$ 0,30 a	17,73 $\pm$ 0,18 ab	17,42 $\pm$ 0,24 ab	17,11 $\pm$ 0,53 ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.1.11. Квалитативна и квантитативна анализа фенолних киселина и флавоноида

Фитохемијска анализа је потврдила да је примена прајминг методе у оптималним и у условима абиотичког стреса изазваног ниском температуром изазвала значајне промене у концентрацији како појединачних фенолних киселина, тако и флавоноида у листовима клијанаца пшенице.

У контролним клијанцима гајеним у оптималним условима (Табела 10), најзаступљеније фенолне киселине биле су хлорогенска ($3,42 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), синапинска ($2,79 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и ферулна киселина ($1,81 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). У клијанцима добијеним из прајмираних семена најзаступљеније фенолне киселине биле су хлорогенска, синапинска, ферулна, *p*-кумарна киселина и гална киселина. Поред тога, код клијанаца добијених из семена прајмираних са H_2O детектоване су и кафеинска киселина ($1,73 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и сиригинска киселина ($0,03 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) којих није било у контролним клијанцима и оним добијеним из семена која су била подвргнута другим прајминг третманима. Прајминг третмани су утицали на повећање концентрације свих детектованих фенолних киселина, при чему је ефекат зависио од примењеног третмана. Највећа концентрација хлорогенске киселине измерена је у екстрактима пшенице добијеним од клијанаца гајених из семена прајмираних са IAA ($4,87 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 ($4,58 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), без статистички значајне разлике између ових третмана. Слична запажања забележена су и када је реч о синапинској киселини; значајне концентрације ове киселине забележене су након прајминга са IAA ($5,39 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), H_2O ($4,34 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 ($4,26 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Најзначајнији ефекат на повећање садржаја ферулне ($10,77 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и *p*-кумарне киселине ($4,34 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) постигнут је након прајминга са H_2O , при чему су измерене концентрације биле и до 10 пута веће у поређењу са контролом. Хормопрајминг са GA_3 повећао је садржај галне киселине 2,78 пута ($0,50 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у поређењу са измереном концентрацијом у контролним клијанцима.

Прајминг третмани ималису стимулативан ефекат и на садржај флавоноида, али су се међусобно разликовали у ефикасности слично као код фенолних киселина. Најзаступљенији флавоноиди у контролним клијанцима били су катехин ($7,34 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и нарингин ($5,66 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), а код клијанца добијених из прајмираних семена епикатехин, катехин, рутин и нарингин. Значајна концентрација епикатехина евидентирана је након прајминга са AA ($14,79 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), H_2O ($14,59 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 ($13,96 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта); измерене концентрације биле су 20 и више пута веће у поређењу са контролом. Слично томе, прајминг са H_2O и AA остварио је најзначајнији ефекат на садржај катехина ($9,36 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта; $9,10 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг третман са MgSO_4 испољио је доминантан утицај на садржај рутина ($3,28 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и нарингина ($7,54 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Поред тога, редокспрајминг и хидропрајминг утицали су на промену садржаја мирицетина, при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Овај флавоноид није детектован ни у контроли, ни након примене осталих прајминг третмана.

Табела 10. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	0,18 ± 0,03 cd	0,50 ± 0,05 a	0,22 ± 0,05 bcd	0,16 ± 0,03 d	0,35 ± 0,05 abc	НД	НД	0,38 ± 0,03 ab
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	0,78 ± 0,04 ab	0,75 ± 0,06 ab	0,91 ± 0,01 ab	0,52 ± 0,21 bc	0,90 ± 0,01 ab	0,94 ± 0,01 a	0,21 ± 0,01 c	0,99 ± 0,02 a
Катехин	7,34 ± 0,31 c	6,06 ± 0,16 d	2,61 ± 0,03 e	2,94 ± 0,16 e	8,52 ± 0,13 b	9,10 ± 0,11 ab	7,49 ± 0,12 c	9,36 ± 0,12 a
Хлорогенска киселина	3,42 ± 0,10 c	3,28 ± 0,43 c	4,87 ± 0,03 a	4,58 ± 0,23 ab	3,61 ± 0,35 bc	1,75 ± 0,04 d	1,33 ± 0,03 d	1,66 ± 0,11 d
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	1,73 ± 0,08 a	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	0,03 ± 0,01
Епикатехин	0,64 ± 0,10 c	0,26 ± 0,11 c	НД	13,96 ± 0,01 b	0,43 ± 0,03 c	14,79 ± 0,10 a	НД	14,59 ± 0,28 a
p-кумарна киселина	0,34 ± 0,05 c	НД	НД	4,00 ± 0,05 a	3,53 ± 0,25 b	3,95 ± 0,04 ab	НД	4,34 ± 0,05 a
Ферулна киселина	1,81 ± 0,11 d	7,93 ± 0,54 c	8,70 ± 0,19 bc	7,37 ± 0,30 c	9,89 ± 0,40 ab	9,67 ± 0,16 ab	2,04 ± 0,10 d	10,77 ± 0,35 a
Синапинска киселина	2,79 ± 0,08 cd	3,56 ± 0,38 bc	5,39 ± 0,06 a	4,26 ± 0,52 ab	1,75 ± 0,00 d	1,82 ± 0,05 d	2,31 ± 0,26 cd	4,34 ± 0,45 ab
Рутин	0,62 ± 0,01 c	НД	НД	3,28 ± 0,20 a	1,82 ± 0,40 b	0,16 ± 0,04 c	1,96 ± 0,10 b	НД
Нарингин	5,66 ± 0,04 b	3,62 ± 0,23 c	0,17 ± 0,05 d	7,54 ± 0,13 a	5,52 ± 0,18 b	5,33 ± 0,07 b	0,28 ± 0,09 d	5,52 ± 0,07 b
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	0,20 ± 0,00 a	0,25 ± 0,06 a	0,26 ± 0,03 a
Кверцетин	0,21 ± 0,04 a	0,12 ± 0,01 a	0,24 ± 0,01 a	0,27 ± 0,02 a	0,18 ± 0,03 a	0,38 ± 0,01 a	0,38 ± 0,07 a	0,42 ± 0,01 a
Нарингенин	1,02 ± 0,08 a	НД	0,89 ± 0,01 a	0,97 ± 0,08 a	1,02 ± 0,03 a	0,96 ± 0,00 a	0,92 ± 0,03 a	0,96 ± 0,03 a
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Када је у питању стрес изазван ниском температуром (Табела 11) у клијанцима добијеним из непрајмираних семена најзаступљеније фенолне киселине биле су ферулна ($7,06 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и кафеинска киселина ($1,11 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Концентрација ових киселина била је смањена код биљака добијених из прајмираних семена (са изузетком прајминга са H_2O и IAA када је реч о синтези кафеинске киселине). Међутим, садржај других фенолних киселина био је повећан, а специфични одговор биљака зависио је од примењеног прајминг третмана. Генерално, осим ферулне и кафеинске киселине прајминг семена изазвао је повећање концентрације свих детектованих фенолних киселина у условима ниске температуре, а најзаступљеније киселине биле су хлорогенска, 4-ХБК, синапинска и гална киселина. Најзначајнији ефекат на садржај хлорогенске киселине остварили су третмани хормопрајминга и халопрајминга, а највећа измерена концентрација забележена је након прајминга са MgSO_4 ($3,98 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових прајминг третмана. Хормопрајминг са GA_3 имао је доминантан ефекат на повећање садржаја 4-ХБК, при чему је измерена концентрација ($0,77 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) била 12,8 пута већа у поређењу са контролом. Најзначајнији ефекат на пораст садржаја синапинске ($1,77 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и галне киселине ($0,57 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) евидентиран је након примене хидропрајминга.

У случају флавоноида, у контролним клијанцима најзаступљенији су били катехин ($6,80 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингин ($1,72 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и рутин ($1,20 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Забележен је стимулативни ефекат прајминг третмана на повећање концентрације свих детектованих флавоноида у условима ниске температуре у поређењу са контролом. Након прајминга семена са GA_3 концентрација нарингина ($5,41 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и кверцетина ($0,65 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) била је три до четири пута већа, док је хидропрајминг изазвао повећање концентрације рутина од 2,5 пута ($3,10 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Најзначајнији ефекат на садржај катехина ($10,93 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) испољио је хидропрајминг.

Табела 11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	0,32 ± 0,05 bcd	0,46 ± 0,05 ab	0,23 ± 0,02 d	0,29 ± 0,01cd	0,46 ± 0,03 abc	0,34 ± 0,04 bcd	0,27 ± 0,00 d	0,57 ± 0,03 a
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	0,06 ± 0,01 d	0,77 ± 0,01 a	0,42 ± 0,07 b	0,27 ± 0,05 bc	0,32 ± 0,03 bc	0,20 ± 0,01 cd	0,25 ± 0,05 bc	0,38 ± 0,01 b
Катехин	6,80 ± 0,33 bc	6,59 ± 0,62 c	8,46 ± 0,80 bc	6,52 ± 0,16 c	8,26 ± 0,45 bc	8,74 ± 0,18 b	8,53 ± 0,13 bc	10,93 ± 0,24 a
Хлорогенска киселина	0,34 ± 0,12 b	3,77 ± 0,56 a	2,95 ± 0,32 a	3,98 ± 0,19 a	3,56 ± 0,22 a	0,39 ± 0,14 b	0,23 ± 0,01 b	0,31 ± 0,03 b
Кафеинска киселина	1,11 ± 0,10 ab	0,42 ± 0,10 c	1,31 ± 0,18 a	0,43 ± 0,08 c	0,24 ± 0,10 c	0,93 ± 0,01 ab	0,70 ± 0,03 bc	1,19 ± 0,09 a
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	0,37 ± 0,10 abcd	0,54 ± 0,03 ab	0,51 ± 0,14 abc	0,27 ± 0,07 bcd	0,09 ± 0,03 d	0,18 ± 0,06 cd	0,38 ± 0,02 abcd	0,64 ± 0,01 a
p-кумарна киселина	0,69 ± 0,07 ab	0,69 ± 0,01 ab	0,26 ± 0,10 c	0,55 ± 0,05 b	0,63 ± 0,06 ab	0,84 ± 0,02 a	0,69 ± 0,02 ab	0,85 ± 0,04 a
Ферулна киселина	7,06 ± 0,33 a	1,41 ± 0,11 e	0,31 ± 0,19 f	4,30 ± 0,13 d	6,57 ± 0,15 ab	6,12 ± 0,02 bc	5,53 ± 0,11 c	6,55 ± 0,19 ab
Синапинска киселина	0,83 ± 0,02 cd	0,33 ± 0,01 d	0,37 ± 0,23 d	1,07 ± 0,22 bc	1,37 ± 0,18 abc	1,69 ± 0,06 ab	1,33 ± 0,06 abc	1,77 ± 0,03 a
Рутин	1,20 ± 0,03 bcd	1,03 ± 0,10 cd	0,37 ± 0,06 d	2,35 ± 0,42 ab	2,73 ± 0,50 a	2,25 ± 0,19 abc	1,99 ± 0,15 abc	3,10 ± 0,08 a
Нарингин	1,72 ± 0,38 d	5,41 ± 0,34 a	3,67 ± 0,08 b	2,23 ± 0,07 cd	2,68 ± 0,15 c	2,82 ± 0,05 bc	2,56 ± 0,05 cd	2,90 ± 0,05 bc
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	0,17 ± 0,02 d	0,65 ± 0,01 a	0,18 ± 0,02 d	0,26 ± 0,02 cd	0,27 ± 0,02 cd	0,38 ± 0,05 bc	0,42 ± 0,03 b	0,47 ± 0,01 b
Нарингенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

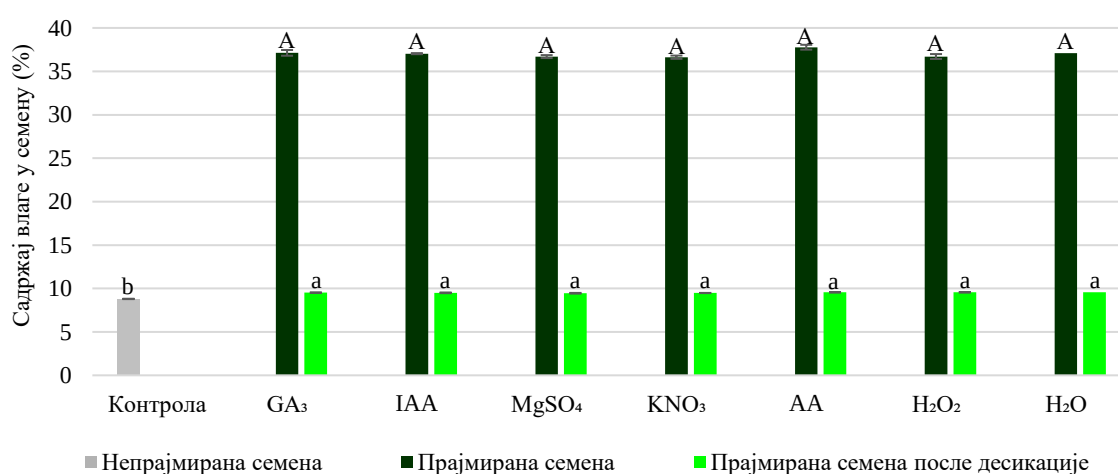
3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2. Јечам (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565)

4.2.1. Садржај влаге у семену

Резултати добијени мерењем садржаја влаге у семенима у различитим фазама прајминга, као и у контролним семенима, приказани су на Графикону 13.

Садржај влаге у прајмираним семенима јечма мерен одмах након прајминга био је у опсегу вредности од 32,34 до 33,33%, без значајних разлика између примењених третмана. Додатно је утврђено да је садржај влаге у прајмираним семенима (мерен након десикације) био приближно исти, а измерене вредности биле су у опсегу од 9,45 до 9,58%. Влажност контролног, непрајмираног семена износила је 8,80% и била је статистички значајно нижа.

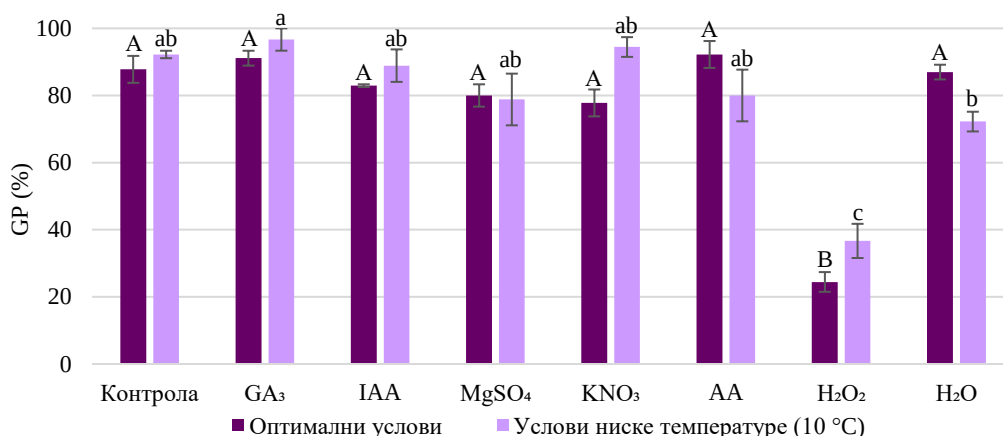


Графикон 8. Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима јечма

Вредности представљају средњу вредност пет понављања $\pm$ стандардна грешка. Иста мала слова означавају да разлике између непрајмираног и прајмираног семена након десикације нису биле значајне. Иста велика слова означавају да разлике између семена након примене различитих прајминг агенаса нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.2. Карактеристике клијања

Проценат клијања семена јечма у оптималним условима и условима ниске температуре приказан је на Графикону 9. У оптималним условима највећи проценат проклијалих семена јечма остварен је после прајминга са AA (GP = 92,22%) и GA₃ (GP = 91,11%), при чему није било статистички значајних разлика између наведених третмана. Клијање је било значајно инхибирано након примене редокспрајминга са H₂O₂ (GP = 24,44%).



Графикон 9. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена јечма

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима ниске температуре проценат укупно проклијалих семена јечма зависио је од примењеног прајминг третмана. Максимални проценат проклијалих семена постигнут је применом прајминга са GA₃ (GP = 96,67%). Статистички значајан пад у клијању семена евидентиран је након прајминга са H₂O₂ (GP = 36,67%).

4.2.3. Карактеристике растења

Испитиване карактеристике растења клијанаца јечма у оптималним условима приказане су у Табели 12. Најистакнутији ефекат на дужину изданка остварен је при третманима са GA₃ (15,82 cm) и MgSO₄ (15,48 cm). Није утврђена статистички значајна разлика између наведених вредности. Најниже вредности за дужину изданка измерене су код контролних клијанаца (10,11 cm). У случају дужине корена најзначајнији ефекат постигао је редокспрајминг са H₂O₂ (10,05 cm), а праћен је вредностима редокспрајминга са AA (8,39 cm). Најнижа измерена вредност за дужину корена забележена је након прајминга са GA₃ (4,72 cm).

Најзначајнији утицај на свежу масу клијанаца остварио је прајминг са H₂O (188,00 mg) и праћен је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO₃ (180,93 mg) и редокспрајминга са AA (179,86 mg). Најнижа вредност за свежу масу забележена је након хормопрајминга са IAA (146,64 g). Супротно томе, у случају суве масе највеће вредности постигнуте су након третмана са IAA (31,60 mg) и MgSO₄ (31,54 mg). Најнижа вредност за суву масу измерена је у контроли (21,72 mg).

Упоређивањем резултата добијених за вигор индекс SLVI уочава се истакнут утицај прајминга са GA₃ (SLVI = 1817,40), MgSO₄ (SLVI = 1795,93 cm) и AA (SLVI = 1782,68), без значајних разлика између наведених вредности. Статистички значајан инхибиторни ефекат на вигор индекс дужине клијанаца јечма забележен је после примене редокспрајминга са H₂O₂ (SLVI = 550,46). Највеће вредности за SWVI забележене су при третманима са AA (SWVI = 16,59) и H₂O (SWVI = 16,35). Није утврђена статистички значајна разлика између поменутих вредности. Слично као код SLVI редокспрајминг са H₂O₂ показао је значајан инхибиторни ефекат и на вигор индекс тежине клијанаца јечма (SWVI = 4,28).

Утицај прајминг агенаса на карактеристике растења клијанаца јечма гајених при ниској температури приказан је у Табели 13. Утврђено је да су сви прајминг третмани имали стимулативан ефекат на посматране карактеристике растења. Најзначајнији утицај на дужину изданка клијанаца јечма постигнут је након прајминга са GA_3 (17,74 cm), док је најмања дужина изданка измерена у контроли (10,90 cm). Хормопрајминг са IAA остварио је најистакнутији ефекат на дужину корена (9,54 cm). Најнижа вредност за дужину корена забележена је код клијанаца у контроли (7,18 cm).

Најповољнији ефекат на свежу масу клијанаца јечма постигнут је халопрајмингом са KNO_3 (179,23 mg). Најниже вредности забележене су у контроли (117,38 g). Слично томе, највеће вредности за суву масу евидентиране су после примене прајминга са GA_3 (29,45 mg) и KNO_3 (27,09 mg), без значајне разлике између ових третмана. Најнижа вредност суве масе измерена је у контроли (20,04 mg).

Вредности добијене за SLVI биле су у опсегу од 709,04 до 2541,37. Најповољнији ефекат постигнут је при третману са GA_3 . Статистички значајан инхибиторни утицај евидентиран је након прајминга са H_2O_2 . У случају SWVI, најистакнутији ефекат остварио је прајминг са KNO_3 (SWVI = 16,91 g) и GA_3 (SWVI = 14,98), при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Поред тога, уочен је значајан пад вигор индекса тежине код клијанаца прајмираних са H_2O_2 (SWVI = 5,13).

Табела 12. Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца јечма гајених при оптималним условима

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	6,26 ± 0,21 de	10,11 ± 0,20 d	164,86 ± 0,006 abc	21,72 ± 0,001 b	1436,90 ± 65,57 c	14,47 ± 0,66 abc
GA₃	4,72 ± 0,28 e	15,82 ± 0,59 a	153,43 ± 0,010 bc	28,59 ± 0,003 ab	1817,40 ± 45,60 a	13,94 ± 0,34 abc
IAA	6,66 ± 0,40 cd	11,60 ± 0,20 bc	146,64 ± 0,006 c	31,60 ± 0,002 a	1514,37 ± 7,24 bc	12,19 ± 0,06 c
MgSO₄	6,97 ± 0,40 bcd	15,48 ± 0,39 a	174,14 ± 0,006 abc	31,54 ± 0,002 a	1795,93 ± 74,83 ab	13,92 ± 0,58 bc
KNO₃	7,06 ± 0,37 bcd	11,36 ± 0,21 bcd	180,93 ± 0,006 ab	29,55 ± 0,001 a	1432,65 ± 73,78 c	14,08 ± 0,72 abc
AA	8,39 ± 0,38 b	10,94 ± 0,14 cd	179,86 ± 0,006 ab	31,29 ± 0,001 a	1782,68 ± 77,42 ab	16,59 ± 0,72 a
H₂O₂	10,05 ± 0,30 a	12,47 ± 0,24 b	174,50 ± 0,003 abc	29,16 ± 0,001 ab	550,46 ± 66,21 d	4,28 ± 0,51 d
H₂O	8,00 ± 0,44 bc	10,82 ± 0,33 cd	188,00 ± 0,006 a	28,64 ± 0,002 ab	1630,71 ± 42,06 abc	16,35 ± 0,41 ab

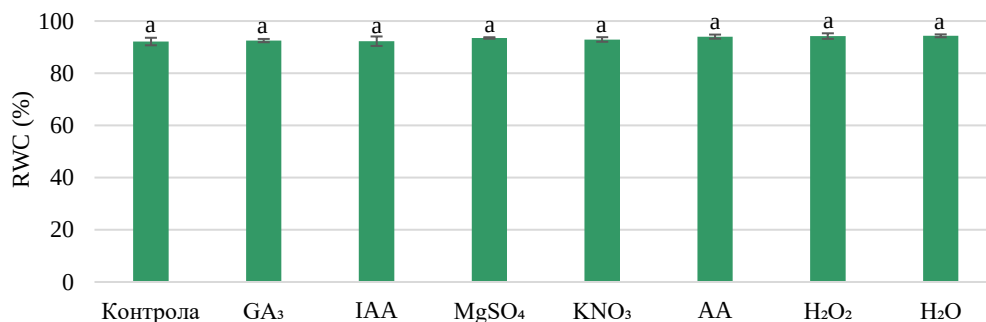
Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста**Табела 13.** Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца јечма гајених при условима ниске температуре

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	7,18 ± 0,27 c	10,90 ± 0,18 d	117,38 ± 0,004 d	20,04 ± 0,001 d	1667,34 ± 20,07 bcd	10,79 ± 0,13 c
GA₃	8,55 ± 0,23 ab	17,74 ± 0,24 a	155,38 ± 0,004 ab	29,45 ± 0,001 a	2541,37 ± 87,63 a	14,98 ± 0,52 ab
IAA	9,54 ± 0,30 a	12,94 ± 0,29 b	127,85 ± 0,005 cd	21,25 ± 0,001 cd	1998,25 ± 108,90 b	11,47 ± 0,62 bc
MgSO₄	9,05 ± 0,35 ab	11,93 ± 0,22 c	156,69 ± 0,004 ab	23,01 ± 0,001 bcd	1653,51 ± 161,64 bcd	12,38 ± 1,21 bc
KNO₃	8,75 ± 0,40 ab	11,96 ± 0,25 bc	179,23 ± 0,010 a	27,09 ± 0,001 ab	1955,92 ± 60,89 bc	16,91 ± 0,53 a
AA	7,78 ± 0,26 bc	10,86 ± 0,18 d	146,08 ± 0,005 bc	22,99 ± 0,001 bcd	1476,78 ± 142,05 cd	11,68 ± 1,13 bc
H₂O₂	7,95 ± 0,33 bc	11,39 ± 0,26 cd	140,31 ± 0,008 bcd	25,30 ± 0,002 abc	709,04 ± 98,41 e	5,13 ± 0,71 d
H₂O	8,21 ± 0,24 bc	11,35 ± 0,13 cd	140,23 ± 0,004 bcd	24,02 ± 0,001 bcd	1412,69 ± 57,49 d	10,11 ± 0,41 c

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.4. Релативни садржај воде у листу

Релативни садржај воде у листовима клијанаца јечма приказан је на Графикону 10. Измерене вредности RWC биле су у опсегу од 92,15 до 94,34%. Највећа вредност измерена је при третману са H_2O , док је најнижа вредност измерена у контролним биљкама. Није забележена статистички значајна разлика између примењених прајминг третмана и контроле.



Графикон 10. Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената

Измерене концентрације фотосинтетичких пигмената код клијанаца јечма гајених при оптималним условима приказане су у Табели 14.

Највећа концентрација укупног хлорофила, хлорофила *a*, као и хлорофила *b*, измерена је при халопрајмингу са KNO_3 и праћена је вредностима добијеним након хормопрајминга са IAA и AA, без значајних разлика између ових третмана. Најмање вредности за концентрацију фотосинтетичких пигмената измерене су након примене редокспрајминга са H_2O_2 , са статистички значајном разликом у односу на остале третмане (са изузетком прајминга са GA_3 у случају хлорофила *a*).

Измерене концентрације каротеноида биле су у опсегу вредности од 0,038 до 0,081 $mg\ g^{-1}\ SM$. Супротно хлорофилима највећа концентрација каротеноида постигнута је након примене редокспрајминга са H_2O_2 , где је уједно забележена и статистичка значајност у односу на вредности измерене при осталим третманима. Са друге стране, евидентиран је статистички значајан пад у концентрацији каротеноида након имплементације прајминга са GA_3 .

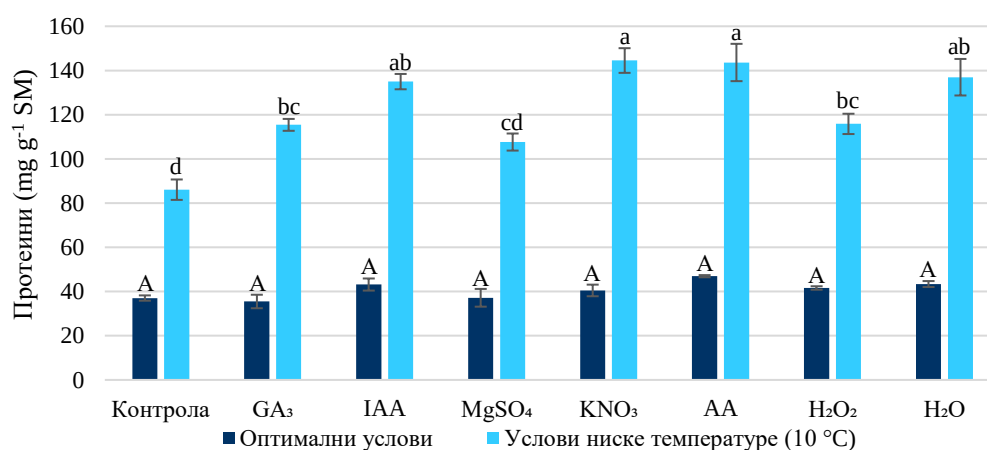
Табела 14. Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупни хлорофил	Хлорофил а	Хлорофил б	Каротеноиди
Контрола	$1,483 \pm 0,082$ cd	$0,811 \pm 0,045$ bc	$0,484 \pm 0,027$ bc	$0,060 \pm 0,001$ bcd
GA ₃	$1,345 \pm 0,002$ d	$0,734 \pm 0,001$ cd	$0,440 \pm 0,001$ c	$0,038 \pm 0,001$ e
IAA	$1,654 \pm 0,008$ ab	$0,910 \pm 0,003$ a	$0,535 \pm 0,004$ ab	$0,060 \pm 0,001$ bcd
MgSO ₄	$1,626 \pm 0,004$ abc	$0,891 \pm 0,003$ ab	$0,529 \pm 0,001$ ab	$0,059 \pm 0,000$ cd
KNO ₃	$1,688 \pm 0,013$ a	$0,921 \pm 0,007$ a	$0,553 \pm 0,005$ a	$0,057 \pm 0,000$ d
AA	$1,654 \pm 0,018$ ab	$0,910 \pm 0,009$ a	$0,535 \pm 0,006$ ab	$0,063 \pm 0,001$ b
H ₂ O ₂	$1,182 \pm 0,007$ e	$0,672 \pm 0,002$ d	$0,360 \pm 0,004$ d	$0,081 \pm 0,001$ a
H ₂ O	$1,526 \pm 0,023$ bc	$0,839 \pm 0,012$ ab	$0,492 \pm 0,008$ b	$0,062 \pm 0,000$ bc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.6. Концентрација укупних солубилних протеина

Концентрација укупних солубилних протеина код клијанаца јечма гајених при оптималним условима и условима ниске температуре приказана је на Графикону 11. Кад су у питању оптимални услови добијене вредности биле су у опсегу од 35,48 до 46,92 mg g^{-1} SM. Највећа концентрација укупних солубилних протеина измерена је након примене редокспрајминга са AA (46,92 mg g^{-1} SM) и праћена је вредностима добијеним при хидропрајмингу (43,37 mg g^{-1} SM) и хормопрајмингу са IAA (43,15 mg g^{-1} SM). Најнижа концентрација укупних солубилних протеина забележена је након примене хормопрајминга са GA₃. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених третмана и контроле.

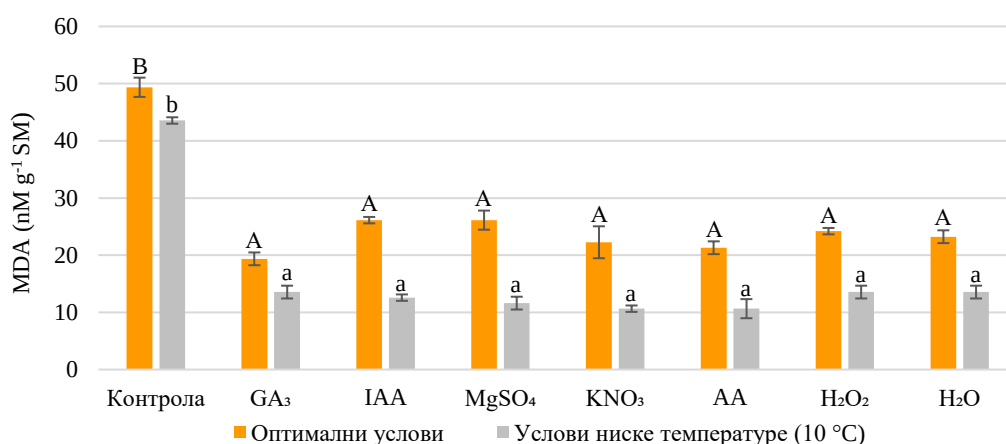
**Графикон 11.** Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Измерена концентрација укупних солубилних протеина у листовима клијанаца јечма гајеним у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 86,67 до 144,51 mg g⁻¹ SM. Утврђен је значајан стимулативан ефекат свих прајминг третмана на синтезу укупних солубилних протеина јечма у поређењу са контролним клијанцима. Најзначајнији ефекат постигнут је при халопрајмингу са KNO₃ (144,51 mg g⁻¹ SM) и праћен је вредностима добијеним код редокспрајминга са AA (143,62 mg g⁻¹ SM), без значајних разлика између поменутих вредности. Најмања концентрација протеина измерена је у контроли.

4.2.7. Интезитет липидне пероксидације

Добијене вредности за MDA у клијанцима јечма гајеним у оптималним условима и условима ниске температуре у зависности од примењеног третмана приказане су на Графикону 12. У оптималним условима измерене концентрације биле су у опсегу од 19,36 до 49,36 nM g⁻¹ SM. Анализом добијених вредности уочава се статистички значајан ефекат примењених прајминг третмана на смањење концентрације MDA у поређењу са контролом. Најнижа концентрација забележена је после примене хормопрајминга са GA₃, при чему није утврђена статистички значајна разлика између овог и осталих третмана.



Графикон 12. Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g⁻¹ SM) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

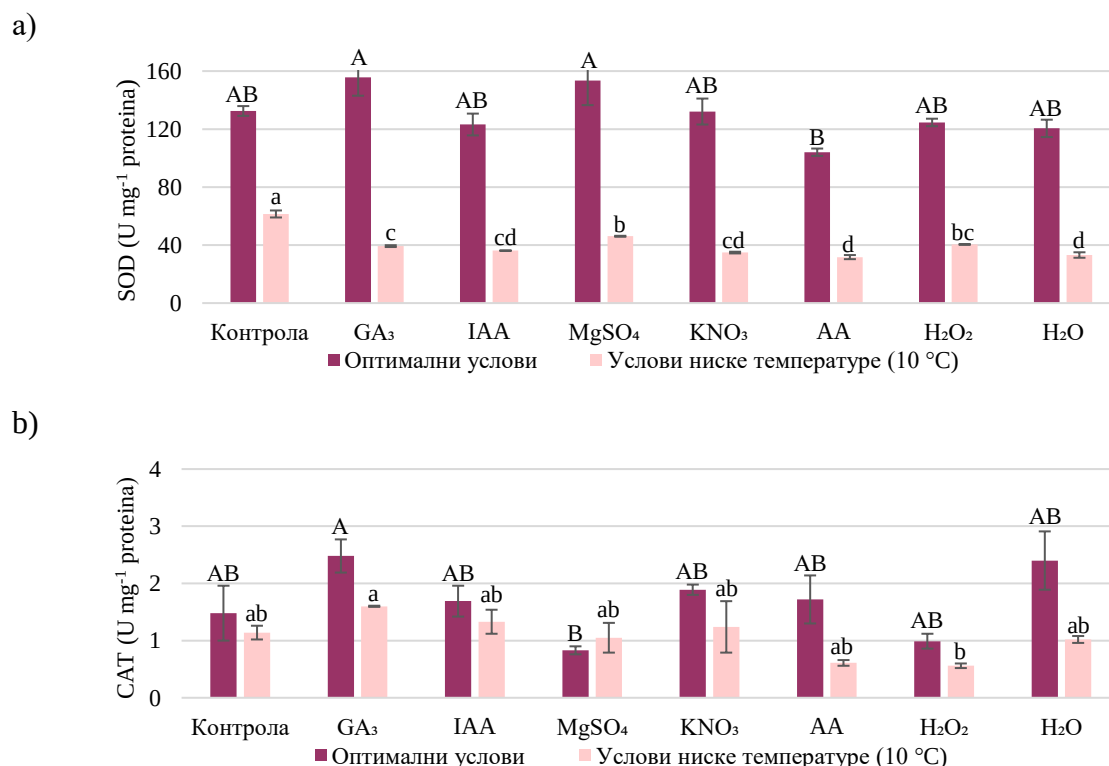
Измерене концентрације MDA у клијанцима јечма који су гајени у условима ниске температуре биле су у опсегу од 10,65 до 43,55 nM g⁻¹ SM. Концентрација MDA у клијанцима добијеним из прајмираних семена била је 3 до 4 пута нижа у поређењу са контролом и није било значајних разлика између примењених прајминг третмана. Најнижа концентрација евидентирана је после халопрајминга са KNO₃ и редокспрајминга са AA.

4.2.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

Активност антиоксидативних ензима супероксид дисмутаза и каталаза у листовима клијанаца јечма гајених при оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуром мењала се у зависности од примењеног третмана (Графикон 13).

У оптималним условима измерена активност **супероксид дисмутаза** (SOD) била је у опсегу вредности од 104,04 до 155,66 U mg⁻¹ proteina. Ензим је био најактивнији у клијанцима гајеним из семена прајмираних са GA₃ и MgSO₄. Најнижа активност овог ензима евидентирана је после редокспрајминга са AA, без статистичке значајности у поређењу са контролом (Графикон 13a).

У условима ниске температуре активност SOD у контролним клијанцима износила је 61,46 U mg⁻¹ proteina. Генерално, предсетвени третмани прајминга су проузроковали значајно смањење SOD активности, при чему се измерена активност ензима мењала у опсегу од 31,71 до 46,08 U mg⁻¹ proteina. Најнижа активност SOD евидентирана је после прајминга са AA (Графикон 13a).



Графикон 13. Активност супероксид дисмутаза (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Ниво активности **каталазе** (CAT) у листовима клијанаца јечма у оптималним условима варирао је у опсегу од 0,83 до 2,48 U mg⁻¹ proteina. Највиша активност CAT постигнута је после хормопрајминга са GA₃ и праћена је вредностима добијеним након

хидропрајминга. У клијанцима добијеним из семена прајмираних са MgSO_4 измерена је најнижа активност САТ, али није било статистички значајне разлике у поређењу са контролом (Графикон 13б).

Када је у питању активност САТ у условима ниске температуре, добијене вредности кретале су се у опсегу од 0,56 до 1,60 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Ензим је био најактивнији у листовима клијанаца гајених из семена прајмираних са третманима хормопрајминга (GA_3 и IAA). Најнижа активност САТ измерена је после редокспрајминга са H_2O_2 , без статистички значајне разлике у поређењу са контролом (Графикон 13б).

Активност антиоксидативних ензима аскорбат пероксидазе, гвајакол пероксидазе и пирогалол пероксидазе у листовима клијанаца јечма гајених при оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуроме приказана је на Графику 14.

Активност **аскорбат пероксидазе** (А РОХ) у оптималним условима била је у опсегу од 0,0123 до 0,0161 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Највиша активност овог ензима постигнута је после прајминга са H_2O_2 и праћена је вредностима добијеним при третману са IAA . Хормопрајминг са GA_3 је проузроковао смањење нивоа А РОХ активности. Нису утврђене статистички значајне разлике између ефекта прајминг агенаса и контроле (Графикон 14а).

У условима ниске температуре измерена активност А РОХ била је у опсегу од 0,00762 до 0,01013 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Супротно вредностима добијеним за активност SOD, највећа активност А РОХ забележена је после прајминга са AA . Најнижа активност ензима измерена је након хормопрајминга са IAA , али није утврђена статистички значајна разлика у поређењу са контролом (Графикон 14а).

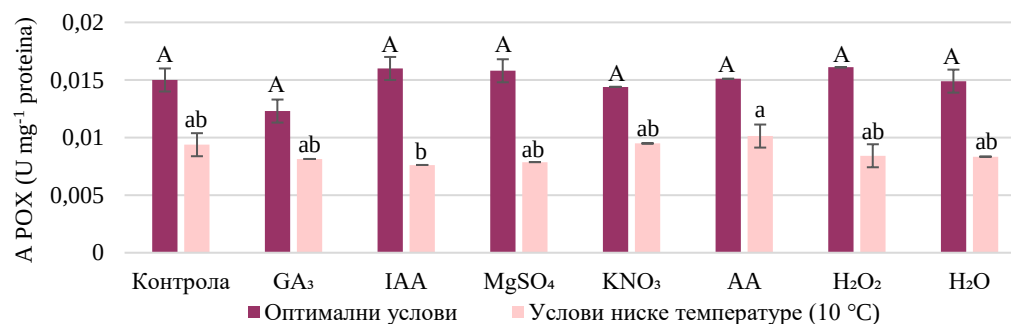
Активност **гвајакол пероксидазе** (G РОХ) у оптималним условима износила је 0,00099 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$ код контролних клијанаца (Графикон 14б). У листовима клијанаца који су гајени из прајмираних семена ниво G РОХ активности је постепено растао и кретао се у опсегу од 0,0101 до 0,0192 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$; максимум је постигнут после хормопрајминга са GA_3 и праћен је вредностима добијеним након халопрајминга са MgSO_4 .

Активност G РОХ у условима ниске температуре варирала је у листовима клијанаца јечма од 0,000289 до 0,000503 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. После прајминга семена са MgSO_4 евидентиран је статистички значајно већи ниво активности овог ензима, а праћен је вредностима добијеним при третману са GA_3 . Најнижа активност измерена је после халопрајминга са KNO_3 (Графикон 14б).

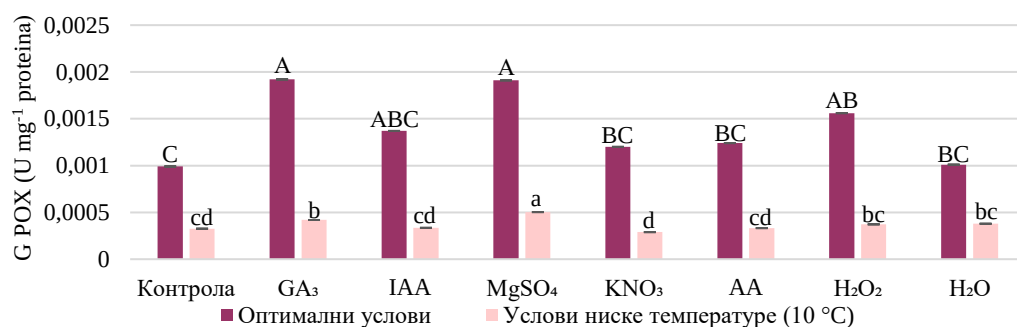
Активност **пирогалол пероксидазе** (Р РОХ) у оптималним условима мењала се у опсегу од 0,0112 до 0,0186 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Ензим је био најмање активан у клијанцима добијеним из контролних семена (Графикон 14с). Прајминг третмани индуковали су повећање активности Р РОХ; највиша активност постигнута је након хормопрајминга са GA_3 , а праћена је вредностима добијеним после халопрајминга са KNO_3 и MgSO_4 .

Ниво активности Р РОХ у условима ниске температуре мењао се у опсегу од 0,00400 до 0,00625 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Р РОХ је показала сличан тренд у активности као и G РОХ. Ензим је био најактивнији у клијанцима добијеним из семена прајмираних са GA_3 и праћен је вредностима добијеним након халопрајминга са MgSO_4 . Најнижа активност Р РОХ измерена је после хидропрајминга, али добијена вредност није била статистички значајно нижа у поређењу са контролом.

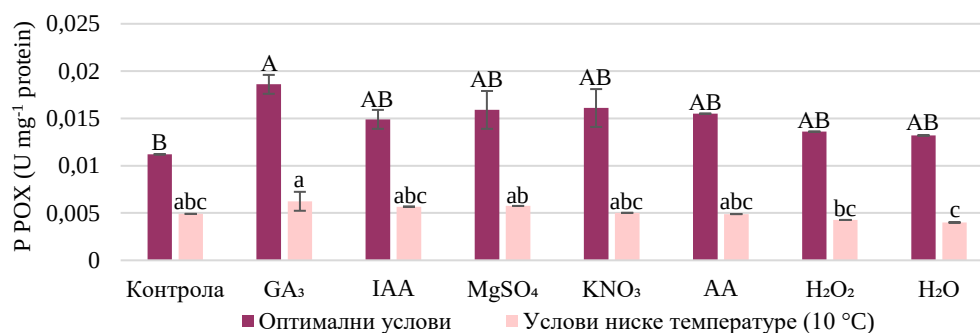
a)



b)



c)



Графикон 14. Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида

Резултати добијени мерењем концентрације укупних фенолних једињења и флавоноида код клијанаца јечма гајених у оптималним условима приказани су у Табели 15. Измерена концентрација укупних фенолних једињења била је у опсегу вредности од 14,58 до 22,46 mg GA g⁻¹ екстракта. Генерално, сви прајминг третмани остварили су стимулативни ефекат на садржај укупних фенола. Највећа концентрација фенолних једињења измерена је након примене хидропрајминга и праћена је вредностима измереним у клијанцима гајеним из семена прајмираних са MgSO₄ (21,41 mg GA g⁻¹ екстракта). Најниже вредности евидентиране су у контролним клијанцима.

Измерена концентрација укупних флавоноида била је у опсегу вредности од 23,80 до 25,45 mg RU g⁻¹ екстракта. Највеће концентрације укупних флавоноида евидентиране су након примене халопрајминга са KNO₃ (25,45 mg RU g⁻¹ екстракта) и MgSO₄ (25,43 mg RU g⁻¹ екстракта), при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Најниже вредности забележене су у клијанцима добијеним из хормопрајмираних семена са GA₃, са статистички значајном разликом у односу на остале третмане.

Табела 15. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g⁻¹ екстракта) у клијанцима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	14,58 ± 0,17 d	25,27 ± 0,02 ab
GA₃	20,84 ± 0,26 abc	23,80 ± 0,12 d
IAA	19,42 ± 0,13 c	25,21 ± 0,02 ab
MgSO₄	21,41 ± 0,56 ab	25,43 ± 0,00 a
KNO₃	20,75 ± 0,62 abc	25,45 ± 0,02 a
AA	20,13 ± 0,50 bc	25,08 ± 0,00 b
H₂O₂	16,38 ± 0,14 d	23,49 ± 0,05 c
H₂O	22,46 ± 0,38 a	25,17 ± 0,05 b

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Измерена концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида код клијанаца јечма гајених у условима ниске температуре приказана је у Табели 16. Концентрација фенолних једињења значајно је варијала у зависности од примењеног третмана. Добијене вредности биле су у опсегу од 14,82 до 19,28 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација измерена је при халопрајмингу са KNO₃ и статистички се значајно разликовала од измерених вредности код осталих третмана. Најниже вредности забележене су при редокспрајмингу са H₂O₂.

Концентрација укупних флавоноида била је у опсегу вредности од 24,75 до 26,26 mg RU g⁻¹ екстракта. Слично као код фенолних једињења халопрајминг са KNO₃ испољио је најзначајнији утицај на садржај флавоноида. Најмања концентрација укупних флавоноида евидентирана је након хормопрајминга са GA₃.

Табела 16. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Третман	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	$17,62 \pm 0,33 \text{ abc}$	$25,58 \pm 0,05 \text{ d}$
GA_3	$15,86 \pm 0,55 \text{ d}$	$24,75 \pm 0,20 \text{ e}$
IAA	$16,24 \pm 0,14 \text{ bcd}$	$25,68 \pm 0,02 \text{ cd}$
MgSO_4	$17,76 \pm 0,55 \text{ ab}$	$25,99 \pm 0,05 \text{ bc}$
KNO_3	$19,28 \pm 0,29 \text{ a}$	$26,26 \pm 0,04 \text{ ab}$
AA	$16,24 \pm 0,08 \text{ bcd}$	$26,06 \pm 0,03 \text{ bc}$
H_2O_2	$14,82 \pm 0,36 \text{ d}$	$25,95 \pm 0,07 \text{ bcd}$
H_2O	$16,00 \pm 0,19 \text{ cd}$	$25,79 \pm 0,02 \text{ cd}$

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.10. Укупна антиоксидативна активност

Антиоксидативни капацитет екстракта јечма добијених из надземних делова клијанаца гајених при оптималним условима приказан је у Табели 17. Уочено је да је % инхибиције DPPH радикала зависио од концентрације екстракта и да се смањивао са смањењем концентрације. Екстракти добијени из клијанаца гајених из семена која су била подвргнута редокспрајмингу са H_2O_2 испољили су најизраженији ефекат на проценат инхибиције DPPH радикала, са значајном статистичком разликом у односу на остале третмане (37,81% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Најмањи проценат инхибиције DPPH радикала у највећој концентрацији екстракта забележен је након примене хормопрајминга, при чему није евидентирана статистички значајна разлика у поређењу са контролом.

Утицај ниске температуре на антиоксидативни капацитет клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана приказан је у Табели 18. Добијени подаци указују на дозно-зависни тренд у антиоксидативној активности, где се са смањењем концентрације екстракта јечма смањује и проценат инхибиције DPPH радикала. Највећи проценат неутрализације DPPH радикала забележен је након примене халопрајминга са MgSO_4 (35,86% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и KNO_3 (34,94% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), са статистички значајном разликом у односу на остале третмане. Најмањи проценат инхибиције DPPH радикала у највећој концентрацији екстракта измерен је након хормопрајминга са GA_3 (27,15% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), при чему није утврђена статистички значајна разлика између ове вредности и вредности измерене у контроли.

Табела 17. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
500	23,77 ± 1,77 bc	21,52 ± 0,24 c	22,44 ± 1,36 c	25,00 ± 0,83 bc	29,41 ± 1,83 b	24,08 ± 1,71bc	37,81 ± 0,53 a	29,71 ± 0,71 b
250	16,19 ± 1,78 b	13,12 ± 2,36 b	14,96 ± 1,42 b	16,40 ± 1,30 b	18,55 ± 1,72ab	15,98 ± 1,89 b	26,44 ± 0,12 a	18,65 ± 1,42 ab
125	13,12 ± 1,78 ab	12,09 ± 1,89 b	12,81 ± 1,71 ab	13,12 ± 1,30 ab	16,50 ± 2,66 ab	12,71 ± 1,54 ab	20,80 ± 0,18 a	13,94 ± 1,30 ab
62,5	11,58 ± 2,07 a	11,58 ± 1,89 a	11,89 ± 1,65 a	11,99 ± 1,71a	13,43 ± 2,78 a	11,79 ± 1,83 a	18,55 ± 0,06 a	12,50 ± 1,77 a
31,25	11,17 ± 1,95 a	11,27 ± 1,77 a	11,27 ± 1,89 a	11,37 ± 1,95a	11,99 ± 2,1 a	11,27 ± 1,77 a	17,83 ± 0,24 a	11,89 ± 1,78 a
15,62	10,56 ± 2,07 a	11,07 ± 1,78 a	10,97 ± 1,83 a	11,07 ± 1,89 a	11,68 ± 2,25 a	10,76 ± 1,95a	17,62 ± 0,24 a	11,48 ± 1,65 a
7,81	10,25 ± 2,01 a	10,55 ± 1,95 a	10,66 ± 1,89 a	10,76 ± 1,83 a	10,86 ± 1,89 a	10,55 ± 1,95a	17,42 ± 0,24 a	10,66 ± 2,01 a
3,90	9,94 ± 1,95 a	10,35 ± 1,95 a	10,45 ± 1,89 a	10,56 ± 1,83 a	10,04 ± 1,77 a	10,35 ± 1,95 a	17,21 ± 0,24 a	10,45 ± 2,01 a
1,99	9,73 ± 1,95 a	10,04 ± 2,01 a	10,25 ± 1,89 a	10,25 ± 1,78 a	9,84 ± 1,78 a	10,14 ± 1,95 a	17,01 ± 0,24 a	10,15 ± 2,07 a
0,97	9,53 ± 1,95 a	9,63 ± 1,89 a	10,04 ± 1,89 a	10,04 ± 1,77 a	9,63 ± 1,78 a	9,94 ± 1,95 a	16,70 ± 0,18 a	9,94 ± 2,07 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Табела 18. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	$28,69 \pm 0,24$ de	$27,15 \pm 0,18$ e	$28,89 \pm 0,24$ cd	$35,86 \pm 0,47$ a	$34,94 \pm 0,65$ a	$32,48 \pm 0,30$ b	$30,53 \pm 0,24$ c	$30,33 \pm 0,12$ cd
250	$21,72 \pm 0,12$ cd	$19,88 \pm 0,12$ e	$22,44 \pm 0,06$ bc	$24,80 \pm 0,24$ a	$24,08 \pm 0,18$ a	$23,16 \pm 0,12$ b	$22,75 \pm 0,24$ b	$21,52 \pm 0,12$ d
125	$18,55 \pm 0,30$ de	$18,14 \pm 0,10$ e	$18,65 \pm 0,24$ ce	$20,18 \pm 0,10$ a	$19,98 \pm 0,18$ ab	$19,77 \pm 0,18$ ab	$19,26 \pm 0,12$ bcd	$19,47 \pm 0,12$ abc
62,5	$17,42 \pm 0,12$ b	$17,62 \pm 0,24$ b	$17,83 \pm 0,12$ ab	$18,44 \pm 0,12$ a	$18,44 \pm 0,12$ a	$18,14 \pm 0,10$ ab	$17,93 \pm 0,10$ ab	$18,03 \pm 0,24$ ab
31,25	$16,80 \pm 0,24$ a	$17,21 \pm 0,12$ a	$17,42 \pm 0,24$ a	$17,62 \pm 0,12$ a	$17,62 \pm 0,24$ a	$17,32 \pm 0,18$ a	$17,21 \pm 0,24$ a	$17,11 \pm 0,30$ a
15,62	$16,60 \pm 0,24$ a	$17,01 \pm 0,12$ a	$17,01 \pm 0,24$ a	$17,42 \pm 0,12$ a	$16,91 \pm 0,18$ a	$17,01 \pm 0,24$ a	$17,01 \pm 0,24$ a	$16,91 \pm 0,30$ a
7,81	$16,39 \pm 0,24$ a	$16,80 \pm 0,12$ a	$16,80 \pm 0,24$ a	$17,11 \pm 0,18$ a	$16,71 \pm 0,18$ a	$16,80 \pm 0,24$ a	$16,80 \pm 0,24$ a	$16,70 \pm 0,30$ a
3,90	$16,19 \pm 0,24$ a	$16,60 \pm 0,12$ a	$16,60 \pm 0,24$ a	$16,91 \pm 0,18$ a	$16,50 \pm 0,18$ a	$16,60 \pm 0,24$ a	$16,60 \pm 0,24$ a	$16,50 \pm 0,30$ a
1,99	$15,98 \pm 0,24$ a	$16,39 \pm 0,12$ a	$16,39 \pm 0,24$ a	$16,70 \pm 0,18$ a	$16,29 \pm 0,18$ a	$16,39 \pm 0,24$ a	$16,39 \pm 0,24$ a	$16,29 \pm 0,30$ a
0,97	$15,78 \pm 0,24$ a	$15,47 \pm 0,30$ a	$16,19 \pm 0,24$ a	$16,50 \pm 0,18$ a	$16,09 \pm 0,18$ a	$16,19 \pm 0,24$ a	$16,09 \pm 0,30$ a	$16,09 \pm 0,30$ a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.2.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида

Анализа екстракта надземних делова клијанаца јечма гајених у оптималним условима показала је да је прајминг семена имао позитиван ефекат на садржај фенолних киселина и флавоноида (Табела 19).

На основу добијених резултата најзаступљеније фенолне киселине у контролним клијанцима јечма биле су гална ($12,99 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), синапинска ($2,43 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и хлорогенска киселина ($1,28 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг третмани имали су позитиван ефекат на садржај фенолних киселина код јечма. Поред тога, под утицајем хормопрајминга и халопрајминга са KNO_3 детектована је и 4-ХБК у клијанцима, при чему је доминантан ефекат остварио хормопрајминг са GA_3 . Најзначајнији ефекат на повећање количине галне ($15,58 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и синапинске ($4,27 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) киселине постигао је халопрајминг са KNO_3 . Највећа концентрација хлорогенске киселине измерена је након хормопрајминга са GA_3 ($2,50 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и праћена је вредностима добијеним при третману са IAA ($2,13 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). После прајминга семена са H_2O_2 концентрација *p*-кумарне киселине ($2,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) била је 20 и више пута повећана у поређењу са контролом. Прајминг семена са H_2O повећао је концентрацију ферулне киселине 10 пута ($1,08 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), док је редокспрајминг са H_2O_2 повећао њен садржај у клијанцима три пута ($0,34 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Супротно томе, остали прајминг третмани деловали су инхибиторно на садржај ферулне киселине у клијанцима јечма.

Најзаступљенији флавоноиди у контролним клијанцима били су нарингин ($4,12 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), епикатехин ($2,58 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и катехин ($1,82 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг третмани нису имали утицаја или су смањили садржај кверцетина у клијанцима у поређењу са контролом (са изузетком редокспрајминга са AA који је имао позитиван ефекат). Концентрација осталих детектованих флавоноида је била повећана код клијанаца гајених из прајмираних семена, при чему су се прајминг третмани разликовали у ефикасности. Најзаступљенији флавоноиди код клијанца добијених из прајмираних семена били су катехин, епикатехин, нарингин и рутин. Хормопрајминг са GA_3 постигао је најзначајнији стимулаторни ефекат на садржај катехина ($6,10 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и епикатехина ($4,51 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Такође је евидентирано значајано повећање концентрације нарингина ($5,50 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима након хидропрајминга. Слично томе, хормопрајминг је индуковао промене у садржају нарингенина. Примењени прајминг третмани (са изузетком AA) остварили су значајан ефекат на садржај рутина, при чему је највећа концентрација измерена након хормопрајминга са IAA ($1,45 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO_3 ($1,18 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Са друге стране, рутин није детектован у контролним клијанцима.

Табела 19. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	12,99 ± 0,38 b	10,08 ± 0,15 d	11,71 ± 0,25 c	9,99 ± 0,22 d	15,58 ± 0,19 a	13,12 ± 0,21 b	9,28 ± 0,21 d	12,28 ± 0,05 bc
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	НД	0,13 ± 0,02 a	0,07 ± 0,01 b	НД	0,04 ± 0,00 b	НД	НД	НД
Катехин	1,82 ± 0,18 cd	6,10 ± 0,61 a	5,43 ± 0,18 ab	3,57 ± 0,15 bc	1,39 ± 0,07 d	2,10 ± 0,87 cd	НД	1,51 ± 0,02 d
Хлорогенска киселина	1,28 ± 0,07 d	2,50 ± 0,08 a	2,13 ± 0,12 b	1,63 ± 0,02 c	1,68 ± 0,00 c	2,08 ± 0,08 b	0,88 ± 0,00 e	1,83 ± 0,03 bc
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	2,58 ± 0,47 cd	4,51 ± 0,20 a	3,24 ± 0,33 abc	1,52 ± 0,06 de	2,71 ± 0,48 bcd	4,08 ± 0,15 ab	0,74 ± 0,06 e	0,73 ± 0,06 e
p-кумарна киселина	0,10 ± 0,03 b	НД	0,19 ± 0,03 b	0,06 ± 0,00 b	0,33 ± 0,08 b	0,21 ± 0,09 b	2,07 ± 0,10 a	0,06 ± 0,00 b
Ферулна киселина	0,11 ± 0,01 c	НД	НД	НД	НД	НД	0,34 ± 0,01 b	1,08 ± 0,03 a
Синапинска киселина	2,43 ± 0,02 b	2,12 ± 0,3 b	2,63 ± 0,2 b	2,22 ± 0,04 b	4,27 ± 0,4 a	2,64 ± 0,07 b	2,76 ± 0,08 b	2,45 ± 0,02 b
Рутин	НД	0,62 ± 0,03 c	1,45 ± 0,01 a	0,79 ± 0,03 bc	1,18 ± 0,26 ab	НД	0,38 ± 0,06 cd	0,08 ± 0,03 d
Нарингин	4,12 ± 0,58 bc	1,54 ± 0,02 e	2,86 ± 0,22 d	4,84 ± 0,11 ab	5,31 ± 0,19 ab	3,37 ± 0,19 cd	2,35 ± 0,04 de	5,50 ± 0,12 a
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	0,26 ± 0,01 a	0,06 ± 0,00 cd	0,12 ± 0,02 b	НД	НД	0,29 ± 0,00 a	0,09 ± 0,01 bc	0,04 ± 0,00 d
Нарингенин	НД	0,91 ± 0,00 b	0,92 ± 0,00 a	НД	НД	НД	НД	НД
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Сличан профил фенолних једињења у клијанцима јечма забележен је и при стресу изазваном ниском температуром (Табела 20). Гална ($5,08 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), синапинска ($1,70 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и хлорогенска киселина ($1,12 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) детектоване су у контролним клијанцима. Поред ових киселина у клијанцима добијеним из прајмираних семена детектоване су и 4-ХБК и *p*-кумарна киселина, чији је садржај зависио од примењеног третмана. Хидропрајминг је испољио доминантан утицај на концентрацију галне ($6,52 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и синапинске киселине ($4,58 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Најзначајнији ефекат на пораст количине хлорогенске киселине ($1,88 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) евидентиран је након примене халопрајминга са KNO_3 . Највећа концентрација 4-ХБК ($0,18 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) измерена је у клијанцима гајеним из семена прајмираних са H_2O_2 . Хормопрајминг са IAA и халопрајминг изазвали су повећање концентрације *p*-кумарне киселина, при чему је најзначајнији ефекат остварио халопрајминг са KNO_3 .

Као и код фенолних киселина резултати добијени за флавоноиде су показали да су одговарајући прајминг третмани деловали стимулативно на квалитативни и квантитативни садржај ових једињења у клијанцима. Најзаступљенији флавоноиди у контролним клијанцима били су катехин ($7,68 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингин ($3,24 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и рутин ($1,20 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Најзначајнији ефекат на повећање садржаја катехина евидентиран је након прајминга са H_2O ($8,13 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 ($8,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових третмана. Слично томе, највећа концентрација нарингина ($4,71 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) измерена је након халопрајминга са MgSO_4 и праћена је вредностима добијеним код хидропрајминга ($8,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Хормопрајминг са IAA испољио је позитиван ефекат на концентрацију рутина ($1,78 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Супротно томе, садржај рутина био је смањен код клијанаца гајених из семена која су била подвргнута осталим прајминг третманима.

Табела 20. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	5,08 ± 0,04 bc	5,89 ± 0,12 ab	5,96 ± 0,26 ab	4,84 ± 0,29 bc	6,17 ± 0,55 ab	4,44 ± 0,31 c	3,99 ± 0,09 c	6,52 ± 0,23 a
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	НД	0,09 ± 0,00 b	0,06 ± 0,00 b	0,06 ± 0,01 b	0,05 ± 0,01 b	НД	0,18 ± 0,03 a	НД
Катехин	7,68 ± 0,09 ab	6,69 ± 0,03 c	6,71 ± 0,14 c	8,07 ± 0,17 a	1,52 ± 0,29 d	7,04 ± 0,22 bc	7,91 ± 0,02 a	8,13 ± 0,28 a
Хлорогенска киселина	1,12 ± 0,01 c	1,05 ± 0,01 cd	0,93 ± 0,01 de	0,84 ± 0,01 e	1,88 ± 0,04 a	0,89 ± 0,00 de	1,33 ± 0,01 b	1,20 ± 0,09 bc
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	0,46 ± 0,03 a	0,47 ± 0,04 a	1,07 ± 0,06 a	1,00 ± 0,03 a	0,90 ± 0,06 a	НД	1,00 ± 0,09 a	0,79 ± 0,05 a
p-кумарна киселина	НД	НД	0,020 ± 0,004 b	0,001 ± 0,00 c	0,030 ± 0,004 a	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	1,70 ± 0,12 bcd	1,89 ± 0,03 bcd	2,27 ± 0,19 b	1,89 ± 0,15 bcd	1,37 ± 0,20 d	1,70 ± 0,23 bcd	2,23 ± 0,09 bc	4,58 ± 0,11 a
Рутин	1,20 ± 0,04 ab	0,88 ± 0,03 bc	1,78 ± 0,07 a	0,29 ± 0,00 c	0,85 ± 0,11 bc	НД	1,08 ± 0,03 a	НД
Нарингин	3,24 ± 0,09 c	3,16 ± 0,00 c	3,58 ± 0,39 bc	4,71 ± 0,24 a	3,56 ± 0,03 bc	2,91 ± 0,05 c	3,21 ± 0,09 c	4,08 ± 0,09 ab
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	0,22 ± 0,00 a	0,16 ± 0,07 a	0,24 ± 0,01 a	0,23 ± 0,04 a	0,21 ± 0,02 a	0,03 ± 0,00 b	0,17 ± 0,04 a	0,25 ± 0,01 a
Нарингенин	0,88 ± 0,00 a	0,87 ± 0,00 a	0,87 ± 0,01 a	0,87 ± 0,01 a	0,97 ± 0,11 a	0,93 ± 0,01 a	0,87 ± 0,01 a	0,89 ± 0,01 a
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

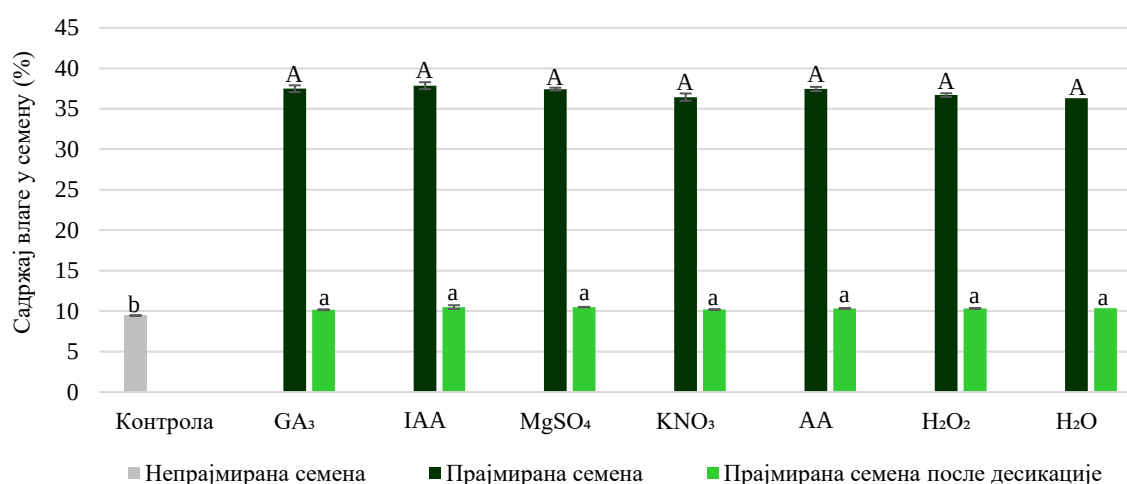
3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3. Овас (*Avena sativa* L. cv. Condor)

4.3.1. Садржај влаге у семену

Садржај влаге у семенима овса мерен у контролним, непрајмираним семенима, као и у семенима након примене различитих прајминг третмана и након фазе десикације приказан је на Графикону 15.

У фази након прајминга садржај влаге у семенима био је у опсегу вредности од 36,30 до 37,85%. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених прајминг третмана. У прајмираним семенима након десикације садржај влаге био је у опсегу од 10,17 до 10,50%, без значајних разлика између измерених вредности. Статистички значајно нижа вредност забележена је у непрајмираним семенима (9,45%).

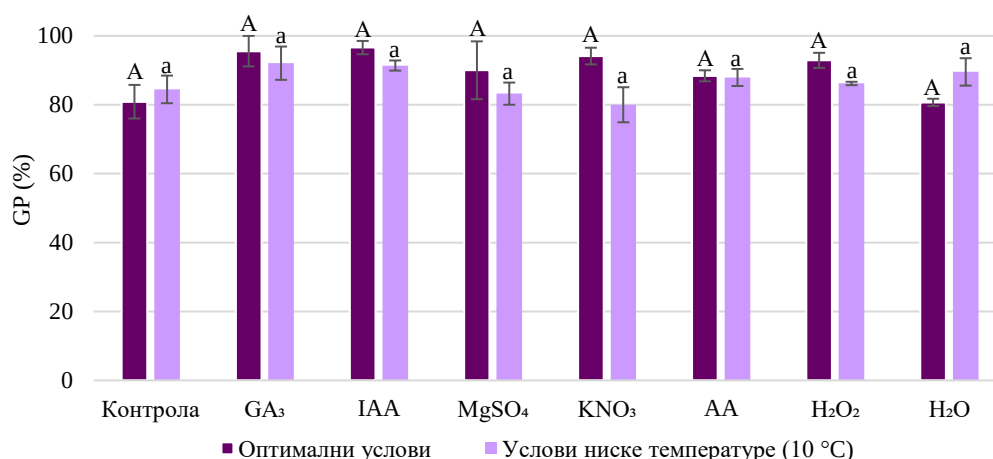


Графикон 15. Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима овса

Вредности представљају средњу вредност пет понављања $\pm$ стандардна грешка. Иста мала слова означавају да разлике између непрајмираног и прајмираног семена након десикације нису биле значајне. Иста велика слова означавају да разлике између семена након примене различитих прајминг агенаса нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.2. Карактеристике клијања

Ефекат прајминга на проценат проклијалих семена овса у оптималним условима и условима ниске температуре приказан је на Графикону 16. У оптималним условима вредности за проценат укупно проклијалих семена биле су у опсегу од 80,69 до 96,59%. Најповољнији утицај на клијање постигнут је након примене хормопрајминга. Најмањи проценат клијања евидентиран је при хидропрајмингу. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених прајминг третмана и контроле.



Графикон 16. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена овса

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Када је у питању стрес изазван ниском температуром проценат проклијалих семена овса био је у опсегу од 80,00 до 92,06%. Највећи проценат клијања постигнут је при хормопрајмингу са GA₃ и IAA. Најнижи проценат клијања евидентиран је код семена прајмираних са KNO₃. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених прајминг третмана и контроле.

4.3.3. Карактеристике растења

Добијене вредности за карактеристике растења клијанаца овса гајених при оптималним условима приказане су у Табели 21.

Генерално, примењени третмани испољили су стимулативни ефекат на елонгацију клијанаца овса. Доминантан утицај на дужину изданка постигнут је хормопрајмингом са GA₃ (16,22 cm), док је најмања дужина измерена у контроли (9,32 cm). Када је у питању дужина корена најповољнији ефекат забележен је после прајминга са KNO₃ (8,29 cm). Најмања дужина корена измерена је код клијанаца добијених из непрајмираних семена (6,11 cm).

У случају свеже масе највеће вредности евидентиране су након редокспрајминга са AA (140,00 mg) и халопрајминга са KNO₃ (137,23 g). Најнижа вредност забележена је при третману са H₂O (118,94 mg). Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених третмана и контроле. Најистакнутији ефекат на суву масу остварен је после хормопрајминга са GA₃ (21,54 mg) и праћен је вредностима добијеним при халопрајмингу са KNO₃ (19,96 mg), без значајних разлика између њих. Најмања вредност измерена је након примене хидропрајминга.

Вредности за вигор индекс дужине биле су у опсегу од 1247,98 до 2153,85. Највећи утицај на вигор имао је хормопрајминг са GA₃, а најмања вредност забележена је код контролних клијанаца. Када је реч о вигор индексу тежине највеће вредности евидентиране су при халопрајмингу са KNO₃ (SWVI = 12,90), GA₃ (SWVI = 12,71) и H₂O₂ (SWVI = 12,52). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Најмања вредност добијена је при третману са H₂O (9,60).

Карактеристике растења клијанаца овса у условима ниске температуре приказане су у Табели 22.

Најповољнији ефекат на дужину изданка евидентиран је при хормопрајмингу са GA_3 (15,44 cm g), док је најмања дужина забележена код контролних клијанаца (8,55 cm). У случају дужине корена највеће вредности измерене су после прајминга са IAA (8,49 cm) и KNO_3 (8,44 cm), при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Најнижа вредност за дужину корена измерена је при третману са GA_3 (6,64 cm).

Максимална вредност за свежу масу постигнута је при хормопрајмингу са GA_3 (164,40 mg) и праћена је вредностима добијеним при халопрајмингу са KNO_3 (156,50 mg). Није утврђена статистички значајна разлика између поменутих вредности. Најнижа вредност измерена је после редокспрајминга са H_2O_2 (100,70 mg), при чему није забележена статистички значајна разлика између ове вредности и вредности измерене код контролних клијанаца. Иста запажања забележена су и у случају суве масе.

SLVI вредности биле су у опсегу од 1343,55 до 2032,76. Најистакнутији ефекат испољио је хормопрајминг. Најмања вредност евидентирана је за клијанце добијене из непрајмираних семена. Добијене вредности за SWVI биле су у опсегу од 8,70 до 15,10. Максимална вредност за вигор индекс тежине клијанаца овса постигнута је применом хормопрајминга са GA_3 . Најнижа вредност забележена је при третману са H_2O_2 , али није утврђена статистички значајна разлика између ове вредности и вредности измерене код контролних клијанаца.

Табела 21. Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца овса гајених при оптималним условима

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	6,11 ± 0,28 c	9,32 ± 0,23 c	121,62 ± 0,005 a	15,72 ± 0,001 cd	1247,98 ± 75,23 d	9,87 ± 0,59 bc
GA₃	6,32 ± 0,30 bc	16,22 ± 0,35 a	132,54 ± 0,006 a	21,54 ± 0,001 a	2153,85 ± 100,15 a	12,71 ± 0,59 a
IAA	7,42 ± 0,23 abc	12,52 ± 0,30 b	126,00 ± 0,004 a	17,26 ± 0,000 bcd	1925,94 ± 38,43 ab	12,17 ± 0,24 abc
MgSO₄	7,67 ± 0,38 abc	11,64 ± 0,30 b	132,92 ± 0,005 a	17,67 ± 0,001 bcd	1737,90 ± 162,02 bc	11,97 ± 1,12 abc
KNO₃	8,29 ± 0,40 a	12,49 ± 0,35 b	137,23 ± 0,007 a	19,96 ± 0,001 ab	1956,02 ± 50,29 ab	12,90 ± 0,33 a
AA	6,62 ± 0,57 abc	11,42 ± 0,28 b	140,00 ± 0,006 a	19,66 ± 0,001 ab	1594,68 ± 28,92 bcd	12,38 ± 0,22 ab
H₂O₂	6,30 ± 0,40 bc	11,82 ± 0,30 b	134,77 ± 0,010 a	19,44 ± 0,001 abc	1683,05 ± 39,65 bc	12,52 ± 0,30 a
H₂O	7,78 ± 0,39 ab	10,04 ± 0,17 c	118,94 ± 0,005 a	15,15 ± 0,001 d	1437,89 ± 18,78 cd	9,60 ± 0,13 c

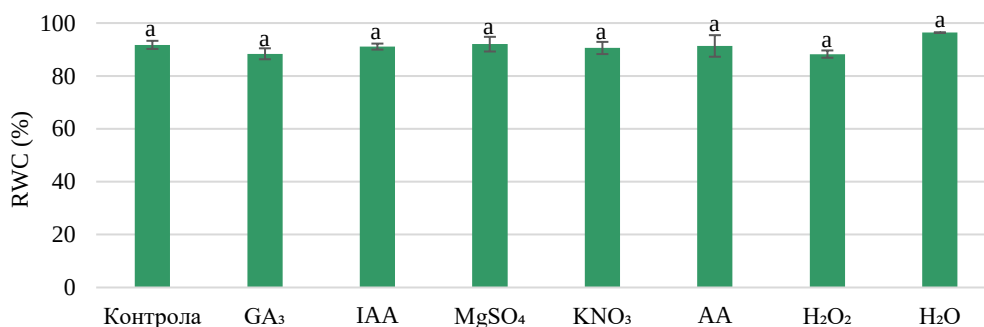
Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста**Табела 22.** Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца овса гајених при условима ниске температуре

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	7,36 ± 0,40 ab	8,55 ± 0,18 e	115,70 ± 0,006 de	15,39 ± 0,001 de	1343,55 ± 63,73 c	9,79 ± 0,47 cd
GA₃	6,64 ± 0,53 b	15,44 ± 0,28 a	164,40 ± 0,004 a	22,56 ± 0,001 a	2032,76 ± 106,62 a	15,10 ± 0,79 a
IAA	8,49 ± 0,44 a	11,01 ± 0,39 b	140,00 ± 0,006 bc	18,49 ± 0,001 bc	1781,98 ± 28,56 ab	12,79 ± 0,21 ab
MgSO₄	7,58 ± 0,27 ab	9,61 ± 0,10 d	133,40 ± 0,004 cd	18,48 ± 0,001 bc	1430,55 ± 55,35 c	11,07 ± 0,43 bcd
KNO₃	8,44 ± 0,45 a	10,92 ± 0,20 bc	156,50 ± 0,004 ab	21,26 ± 0,001 ab	1548,80 ± 98,58 bc	12,56 ± 0,80 b
AA	7,80 ± 0,36 ab	9,95 ± 0,27 cd	130,20 ± 0,003 cd	20,02 ± 0,001 abc	1560,58 ± 43,93 bc	11,43 ± 0,32 bc
H₂O₂	8,10 ± 0,18 ab	8,97 ± 0,21 de	100,70 ± 0,004 e	14,81 ± 0,001 e	1471,04 ± 8,42 bc	8,70 ± 0,05 d
H₂O	7,65 ± 0,18 ab	9,27 ± 0,10 de	145,80 ± 0,008 abc	17,97 ± 0,001 cd	1514,91 ± 67,39 bc	13,07 ± 0,58 ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.4. Релативни садржај воде у листу

Резултати мерења релативног садржаја воде у листовима клијанаца овса при оптималним условима приказани су на Графикону 17. RWC вредности биле су у опсегу од 88,26 до 96,38%. Највећа вредност постигнута је при третману са H_2O , док је најнижа вредност измерена након редокспрајминга са H_2O_2 . Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених третмана и контроле.



Графикон 17. Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената

Измерене концентрације фотосинтетичких пигмената у клијанцима овса гајеним при оптималним условима приказане су у Табели 23.

Највећа концентрација укупног хлорофила, хлорофила *a* и хлорофила *b* измерена је у листовима клијанаца овса добијеним из семена која су била подвргнута хаормопрајмингу са IAA и халопрајмингу са MgSO₄. Између ових вредности и вредности које су квантификоване при осталим третманима утврђена је статистички значајна разлика. Значајно нижа концентрација хлорофила евидентирана је након редокспрајминга са H_2O_2 .

Када је у питању концентрација каротеноида добијене вредности биле су у опсегу од 0,092 до 0,118 mg g⁻¹ SM. Највећа концентрација каротеноида евидентирана је након хидропрајминга и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са MgSO₄. Није утврђена значајна разлика између њих. Најнижа вредност забележена је након хормопрајминга са GA₃, са статистички значајном разликом у поређењу са осталим третманима.

Табела 23. Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

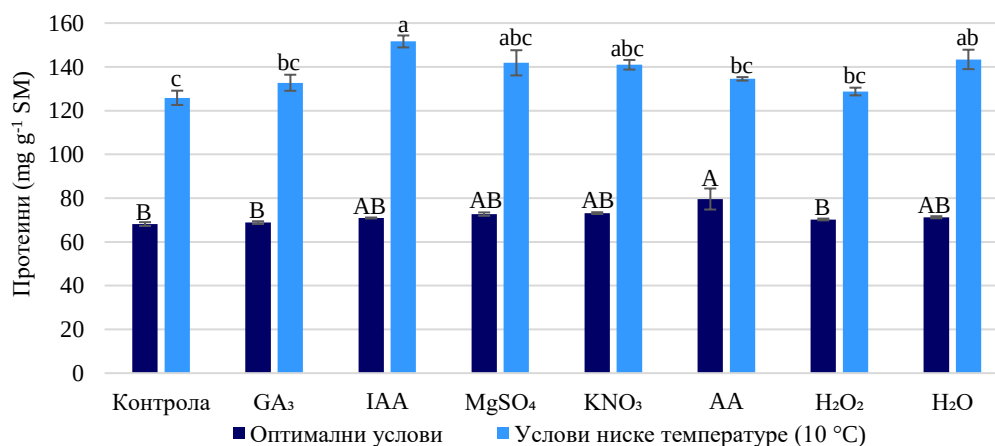
Третман	Укупни хлорофил	Хлорофил <i>a</i>	Хлорофил <i>b</i>	Каротеноиди
Контрола	$1,915 \pm 0,023$ c	$1,042 \pm 0,008$ de	$0,629 \pm 0,012$ b	$0,103 \pm 0,000$ c
GA ₃	$1,931 \pm 0,021$ c	$1,094 \pm 0,009$ cd	$0,593 \pm 0,001$ bc	$0,092 \pm 0,004$ d
IAA	$2,300 \pm 0,020$ a	$1,300 \pm 0,011$ a	$0,709 \pm 0,006$ a	$0,115 \pm 0,001$ ab
MgSO ₄	$2,252 \pm 0,019$ a	$1,282 \pm 0,012$ a	$0,685 \pm 0,005$ a	$0,116 \pm 0,001$ a
KNO ₃	$2,091 \pm 0,028$ b	$1,196 \pm 0,016$ b	$0,630 \pm 0,009$ b	$0,103 \pm 0,001$ c
AA	$1,893 \pm 0,016$ c	$1,085 \pm 0,010$ cd	$0,569 \pm 0,004$ c	$0,115 \pm 0,002$ ab
H ₂ O ₂	$1,730 \pm 0,009$ d	$0,990 \pm 0,006$ e	$0,522 \pm 0,002$ d	$0,106 \pm 0,001$ bc
H ₂ O	$1,998 \pm 0,040$ bc	$1,136 \pm 0,023$ bc	$0,609 \pm 0,012$ bc	$0,118 \pm 0,002$ a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.6. Концентрација укупних солубилних протеина

Резултати добијени мерењем концентрације укупних солубилних протеина у листовима клијанаца овса гајеним у оптималним условима и условима ниске температуре приказани су на Графикону 18.

У оптималним условима концентрација протеина мењала се у опсегу вредности од 68,14 до 79,59 mg g^{-1} SM. Највећа вредност измерена је у клијанцима гајеним из семена која су била третирана са AA. Најмања концентрација укупних солубилних протеина евидентирана је у контроли.

**Графикон 18.** Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

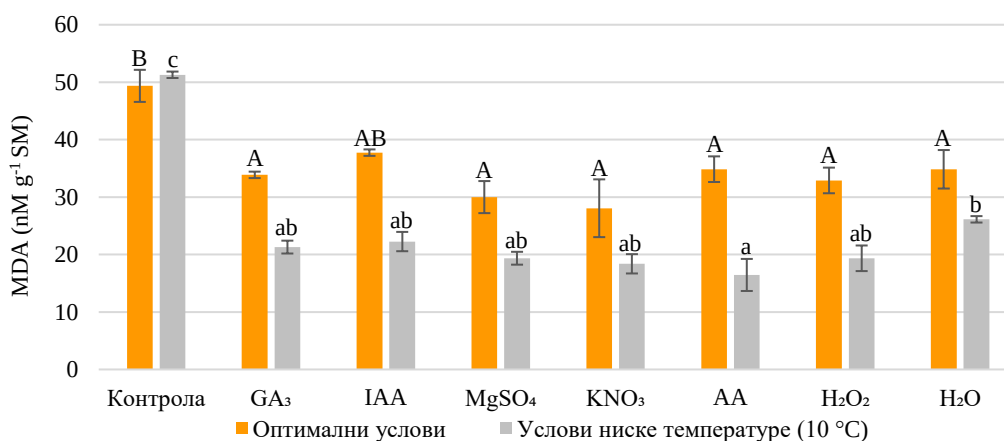
Сваки од примењених прајминг третмана у условима ниске температуре деловао је стимулативно на концентрацију укупних солубилних протеина клијанца овса. Измерене концентрације биле су у опсегу вредности од 125,84 до 151,62 mg g^{-1} SM.

Максимална концентрација протеина евидентирана је при хормопрајмингу са IAA, док је најмања вредност измерена у контроли.

4.3.7. Интезитет липидне пероксидације

Ефекат прајминга на концентрацију MDA у клијанцима овса гајеним при оптималним условима и условима ниске температуре приказан је на Графику 19.

У оптималним условима концентрација MDA у листовима овса мењала се у опсегу од 28,06 до 49,36 $\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$. Примењени прајминг третмани остварили су позитиван ефекат на смањење акумулације MDA у поређењу са контролом, чиме се спречава оштећење ћелија и повећава толерантни капацитет клијанаца. Најнижа концентрација MDA евидентирана је након халопрајминга са KNO_3 . Није утврђена статистички значајна разлика између ове вредности и вредности измерених након примене осталих прајминг третмана.



Графикон 19. Концентрација малондиалдехида (MDA) ($\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Слична запажања забележена су и у случају клијанаца овса гајених на ниској температури. Концентрација MDA била је у опсегу вредности од 16,45 до 51,29 $\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$. Евидентиран је значајан пад у акумулацији MDA након примене прајминга. Најзначајнији ефекат постигнут је применом редокспрајминга са AA.

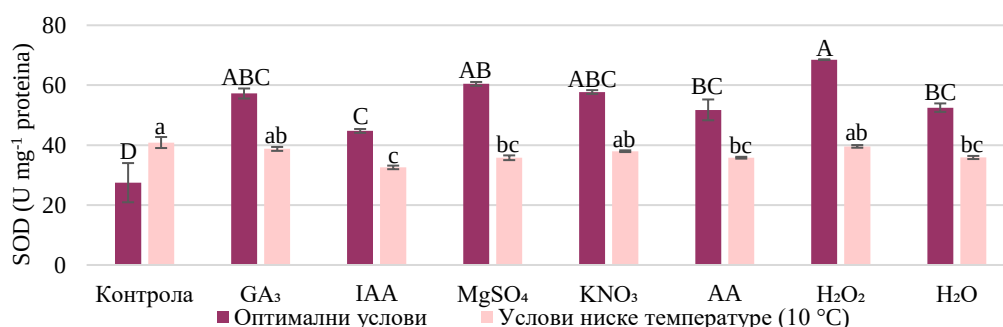
4.3.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

На Графиконима 20 и 21 приказани су резултати утицаја прајминга на активност ензима антиоксидативног система у листовима клијанаца овса гајених при оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуром.

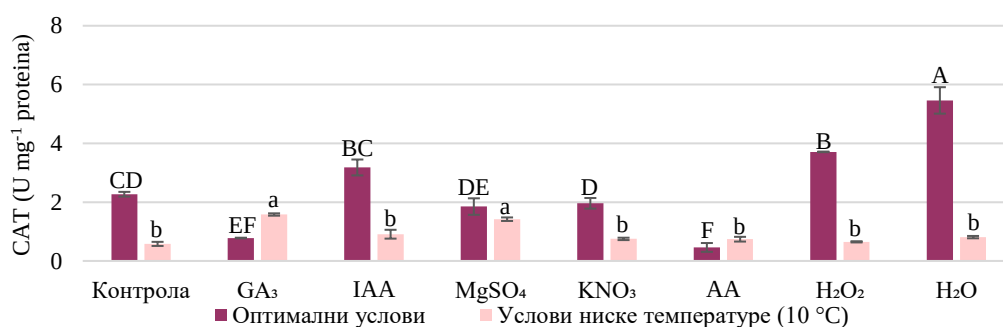
У оптималним условима прајминг је изазвао статистички значајне промене у активности ензима **супероксид дисмутаза** (SOD) у поређењу са контролом. Измерена активност овог ензима била је у опсегу од 27,47 до 68,53 U mg⁻¹ proteina. Сви прајминг третмани значајно су повећали активности SOD, а најзначајнији ефекат постигнут је редокспрајмингом са H₂O₂ и праћен је вредностима халопрајминга са MgSO₄ (Графикон 20a).

У условима ниске температуре активност SOD изражена у U mg⁻¹ proteina у листовима контролних клијанаца овса износила је 40,87. Под утицајем прајминга активност поменутог ензима мењала се у опсегу од 32,57 до 39,58 U mg⁻¹ proteina. Код клијанаца овса гајених из семена прајмираним са H₂O₂, GA₃ и KNO₃, нису утврђене статистички значајне промене у односу на контролу, док је након осталих прајминг третмана активност SOD била значајно смањена у односу на контролу (Графикон 20a).

(a)



(b)



Графикон 20. Активност супероксид дисмутаза (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Активност **каталазе** (CAT) у оптималним условима варијала је у зависности од прајминг третмана, а добијене вредности биле су у опсегу од 0,78 до 5,46 U mg⁻¹

proteina. Ензим је био најактивнији у клијанцима добијеним из семена прајмираних са H_2O , при чему је измерена активност била 2,4 пута већа у поређењу са контролом. Прајминг семена са H_2O_2 индуковао је значајно повећање активности САТ и био је праћен вредностима добијеним након хормопрајминга са IAA, али ово повећање није било статистички значајано. Након хормопрајминга са GA_3 евидентиран је статистички значајан пад у активности САТ (Графикон 20б).

Када је у питању активност САТ у условима ниске температуре забележен је другачији тренд у односу на SOD. Сви прајминг третмани индуковали су пораст активности САТ у поређењу са контролом, а добијене вредности биле су у опсегу од 0,58 до 1,42 U mg^{-1} proteina. После прајминга семена са GA_3 и MgSO_4 постигнуто је статистички значајно повећање активности САТ (Графикон 20б).

У оптималним условима примена прајминга индуковала је пораст активности **аскорбат пероксидазе** (A POX) у односу на клијанце добијене из непрајмираних семена. Измерна активност ензима била је у опсегу од 0,0194 до 0,0287 U mg^{-1} proteina. Највиша активност овог ензима постигнута је након халопрајминга са KNO_3 и MgSO_4 , док је најмања активност забележена у контроли. Нису утврђене статистички значајне разлике између прајминг третмана и контроле (Графикон 21а).

Активност A POX у условима ниске температуре варира је у зависности од примењеног третмана. Измерена активност била је у опсегу од 0,00641 до 0,00895 U mg^{-1} proteina. Највиша активност ензима забележена је након прајминга са MgSO_4 и праћена је вредностима измерним у контроли. Најнижа активност овог ензима измерена је у листовима клијанаца гајеним из семена прајмираним са KNO_3 . Нису утврђене статистички значајне разлике између прајминг третмана и контроле (Графикон 21а).

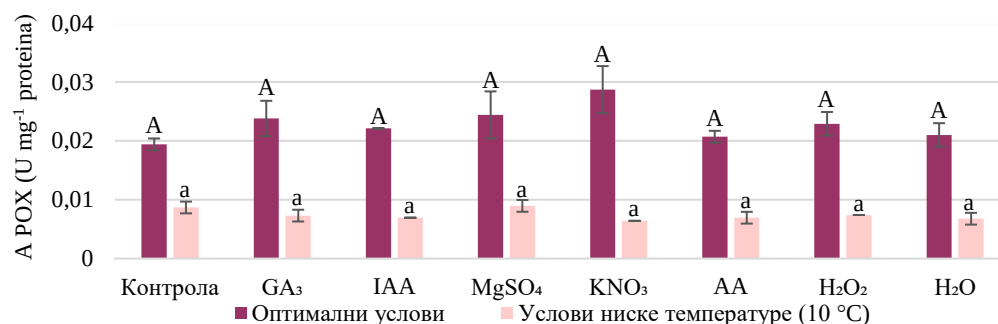
Активност **гвајакол пероксидазе** (G POX) у оптималним условима код контролних клијанца износила је 0,00083 U mg^{-1} proteina. Под утицајем прајминга активност овог ензима мењала се у опсегу од 0,00105 до 0,00167 U mg^{-1} proteina. Хормопрајминг и халопрајминг, као и редокспрајминг са H_2O_2 , значајно су повећали ниво активности G POX, а најизразитије повећање активности постигнуто је третманом са GA_3 (Графикон 21б).

Мерењем активности G POX у условима ниске температуре добијене су вредности у опсегу од 0,00497 до 0,00601 U mg^{-1} proteina. Највиша активност поменутог ензима постигнута је након редокспрајминга са AA и H_2O_2 . Хормопрајминг са IAA индуковао је смањење активности G POX у поређењу са контролом, али без статистичког значаја (Графикон 21б).

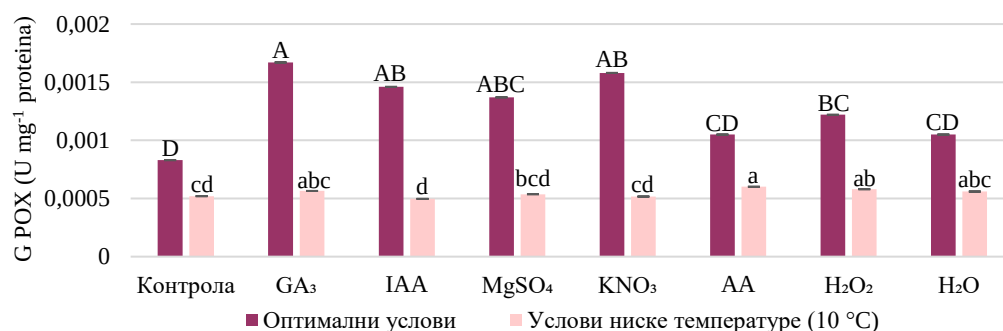
У случају активности **пирогалол пероксидазе** (P POX) добијене вредности биле су у опсегу од 0,00065 до 0,00115 U mg^{-1} proteina у оптималним условима. Већи ниво активности овог ензима забележен је у клијанцима добијеним из прајмираних семена у поређењу са контролом, при чему су утврђене статистички значајне разлике (изузетак је третман са GA_3). Најзначајнији ефекат на пораст активности P POX постигнут је прајмингом са AA (Графикон 21с).

При условима ниске температуре у контролним клијанцима овса активност P POX износила је 0,00514 U mg^{-1} proteina, док се под утицајем прајминга активност мењала у опсегу од 0,00506 до 0,00630 U mg^{-1} proteina. Најзначајнији ефекат на пораст активности овог ензима постигнут је редокспрајмингом са H_2O_2 и AA. Слично као код A POX најнижа активност P POX измерена је после прајминга са KNO_3 , али без статистичке значајности у поређењу са контролом (Графикон 21с).

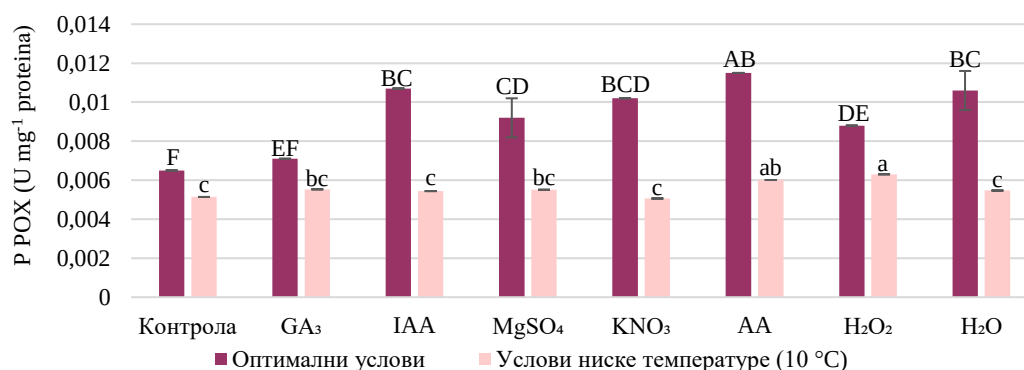
(a)



(b)



(c)



Графикон 21. Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида

Утицај прајминг третмана на садржај укупних фенолних једињења и флавоноида у клијанцима овса при оптималним условима приказан је у Табели 24.

Концентрација фенола била је у опсегу вредности од 19,65 до 24,73 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација постигнута је применом хормопрајминга са GA₃ и праћена је вредностима добијеним после халопрајминга са MgSO₄, без значајних разлика између њих. Најмања концентрација измерена је у контролним клијанцима.

Измерена концентрација флавоноида била је у опсегу вредности од 25,60 до 26,01 mg RU g⁻¹ екстракта. Статистички значајно повећање концентрације укупних флавоноида у клијанцима овса забележено је након хормопрајминга са GA₃. Најнижа вредност забележена је у контроли.

Табела 24. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g⁻¹ екстракта) у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	19,65 ± 0,50 c	25,60 ± 0,03 b
GA₃	24,73 ± 0,45 a	26,01 ± 0,09 a
IAA	21,88 ± 0,39 bc	25,66 ± 0,04 b
MgSO₄	22,79 ± 0,08 ab	25,64 ± 0,02 b
KNO₃	20,13 ± 0,21 c	25,64 ± 0,02 b
AA	20,22 ± 0,08 c	25,66 ± 0,03 b
H₂O₂	21,94 ± 0,54 bc	25,60 ± 0,03 b
H₂O	21,84 ± 0,97 bc	25,64 ± 0,02 b

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне (p > 0,05) на основу Tukey теста

Утицај прајминга на концентрацију фенолних једињења и флавоноида у условима ниске температуре приказан је у Табели 25. Концентрација фенолних једињења била је у опсегу вредности од 17,81 до 20,37 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа вредност измерена је у клијанцима овса гајеним из семена прајмираним са IAA и праћена је вредностима измерним при третману са MgSO₄, без статистички значајних разлика између њих. Најниже концентрације фенола евидентирани су у контроли и након редокспрајминга са H₂O₂, при чему није утврђена значајна разлика између њих.

Концентрација флавоноида била је у опсегу вредности од 24,84 до 25,97 mg RU g⁻¹ екстракта. Генерално, прајминг третмани постигли су значајан ефекат на повећање садржаја флавоноида у клијанцима овса у поређењу са контролом. Највеће вредности евидентирани су при третманима са IAA, MgSO₄ и KNO₃, при чему нису утврђене значајне разлике између њих. Најмања концентрација флавоноида забележена је у контроли.

Табела 25. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	$17,81 \pm 0,16$ c	$24,84 \pm 0,03$ d
GA ₃	$18,75 \pm 0,29$ bc	$25,27 \pm 0,02$ c
IAA	$20,37 \pm 0,33$ a	$25,97 \pm 0,04$ a
MgSO ₄	$19,28 \pm 0,17$ ab	$25,95 \pm 0,03$ a
KNO ₃	$18,23 \pm 0,08$ bc	$25,93 \pm 0,04$ a
AA	$18,47 \pm 0,26$ bc	$25,73 \pm 0,04$ b
H ₂ O ₂	$17,81 \pm 0,22$ c	$25,81 \pm 0,02$ ab
H ₂ O	$18,33 \pm 0,19$ bc	$25,83 \pm 0,03$ ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.10. Укупна антиоксидативна активност

Укупна антиоксидативна активност екстракта клијанаца овса гајених у оптималним условима приказана је у Табели 26. Анализом добијених резултата уочава се зависност између концентрације екстракта и инхибиције DPPH радикала, при чему са повећањем разблажења екстракта долази до пада у инхибицији. Највећи проценат инхибиције DPPH радикала евидентиран је након халопрајминга са KNO₃ (49,80% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и хормопрајминга са GA₃ (49,49% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Најмањи проценат инхибиције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта измерен је у контроли (43,55% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Није утврђена статистички значајна разлика између примењених третмана и контроле.

Степен редукције DPPH радикала до нерадикалске форме у условима ниске температуре показује зависност од концентрације екстракта и од примењеног прајминг третмана (Табела 27). Највећи капацитет неутрализације DPPH радикала постигнут је при хормопрајмингу (са IAA третманом 52,56% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта, а са GA₃ третманом 51,54% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), без значајне разлике између њих. Најнижи степен инхибиције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта забележен је у контроли (33,40% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта).

Табела 26. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
500	43,55 ± 2,07 a	49,49 ± 2,07 a	47,85 ± 1,60 a	44,37 ± 1,60 a	49,80 ± 1,18 a	45,19 ± 1,48 a	48,06 ± 1,36 a	46,62 ± 1,13 a
250	23,47 ± 1,83 a	29,41 ± 1,12 a	25,31 ± 1,71 a	23,57 ± 3,20 a	21,83 ± 2,07 a	23,98 ± 1,30 a	26,44 ± 0,83 a	25,00 ± 1,30 a
125	16,91 ± 1,48 a	18,04 ± 2,01 a	17,21 ± 1,42 a	15,98 ± 1,18 a	15,88 ± 2,42 a	17,42 ± 1,66 a	19,37 ± 1,72 a	17,32 ± 1,60 a
62,5	13,42 ± 2,19 a	15,06 ± 2,19 a	13,22 ± 1,48 a	13,53 ± 1,78 a	13,53 ± 2,13 a	14,86 ± 1,01 a	16,19 ± 1,07 a	13,53 ± 1,78 a
31,25	12,19 ± 1,71 a	13,73 ± 1,66 a	11,68 ± 1,66 a	11,69 ± 1,89 a	11,27 ± 2,25 a	12,19 ± 1,95 a	11,99 ± 2,07 a	11,79 ± 2,31 a
15,62	10,76 ± 2,07 a	12,60 ± 2,19 a	11,07 ± 1,89 a	10,86 ± 1,89 a	10,96 ± 2,19 a	11,48 ± 1,89 a	11,27 ± 1,77 a	10,76 ± 1,95 a
7,81	10,35 ± 2,07 a	11,37 ± 2,19 a	10,15 ± 1,60 a	10,04 ± 1,54 a	10,76 ± 2,19 a	10,66 ± 2,13 a	10,35 ± 2,19 a	10,45 ± 2,01 a
3,90	10,15 ± 2,07 a	10,97 ± 2,07 a	9,73 ± 1,71 a	9,74 ± 1,48 a	10,55 ± 2,19 a	10,25 ± 2,25 a	10,14 ± 2,19 a	9,94 ± 2,19 a
1,99	9,43 ± 2,36 a	10,76 ± 2,07 a	9,53 ± 1,71 a	9,53 ± 1,48 a	10,35 ± 2,19 a	9,94 ± 2,19 a	9,94 ± 2,19 a	9,53 ± 2,31 a
0,97	9,02 ± 2,49 a	10,56 ± 2,07 a	8,61 ± 1,42 a	9,33 ± 1,48 a	10,04 ± 2,13 a	9,63 ± 2,13 a	9,73 ± 2,19 a	9,33 ± 2,31 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Табела 27. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	$33,40 \pm 2,84$ c	$51,54 \pm 1,24$ a	$52,56 \pm 1,48$ a	$47,75 \pm 1,18$ ab	$45,90 \pm 0,83$ ab	$48,16 \pm 0,5$ ab	$46,62 \pm 0,41$ ab	$41,19 \pm 3,67$ bc
250	$20,18 \pm 0,18$ a	$26,43 \pm 3,43$ a	$27,87 \pm 2,37$ a	$26,54 \pm 2,07$ a	$26,64 \pm 1,77$ a	$26,33 \pm 2,54$ a	$26,13 \pm 2,78$ a	$26,13 \pm 2,31$ a
125	$17,83 \pm 0,12$ a	$19,98 \pm 1,95$ a	$21,41 \pm 1,36$ a	$20,08 \pm 1,66$ a	$18,85 \pm 2,01$ a	$20,49 \pm 2,13$ a	$19,06 \pm 2,25$ a	$20,90 \pm 1,66$ a
62,5	$16,60 \pm 0,35$ a	$17,62 \pm 1,66$ a	$18,44 \pm 1,42$ a	$17,73 \pm 1,24$ a	$17,52 \pm 1,48$ a	$17,83 \pm 1,54$ a	$17,93 \pm 1,83$ a	$17,93 \pm 1,72$ a
31,25	$14,96 \pm 0,35$ a	$16,60 \pm 1,42$ a	$16,91 \pm 1,36$ a	$16,70 \pm 1,36$ a	$16,50 \pm 1,24$ a	$16,60 \pm 1,42$ a	$16,19 \pm 1,54$ a	$16,91 \pm 1,48$ a
15,62	$14,75 \pm 0,35$ a	$16,39 \pm 1,42$ a	$16,60 \pm 1,30$ a	$16,19 \pm 1,30$ a	$15,88 \pm 1,48$ a	$16,09 \pm 1,24$ a	$15,78 \pm 1,54$ a	$16,29 \pm 1,48$ a
7,81	$14,45 \pm 0,41$ a	$16,09 \pm 1,36$ a	$16,29 \pm 1,24$ a	$15,68 \pm 1,48$ a	$15,68 \pm 1,48$ a	$15,88 \pm 1,24$ a	$15,57 \pm 1,54$ a	$16,09 \pm 1,48$ a
3,90	$14,24 \pm 0,41$ a	$15,88 \pm 1,36$ a	$16,09 \pm 1,24$ a	$15,47 \pm 1,48$ a	$15,47 \pm 1,48$ a	$15,67 \pm 1,24$ a	$15,37 \pm 1,54$ a	$15,88 \pm 1,48$ a
1,99	$13,93 \pm 0,47$ a	$15,67 \pm 1,36$ a	$15,88 \pm 1,24$ a	$15,27 \pm 1,48$ a	$15,27 \pm 1,48$ a	$15,47 \pm 1,24$ a	$15,16 \pm 1,54$ a	$14,96 \pm 1,06$ a
0,97	$13,73 \pm 0,47$ a	$15,47 \pm 1,36$ a	$15,57 \pm 1,18$ a	$14,96 \pm 1,54$ a	$15,06 \pm 1,48$ a	$15,27 \pm 1,24$ a	$14,96 \pm 1,54$ a	$14,34 \pm 0,95$ a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.3.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида

Применом фитохемијске анализе утврђене су разлике у фенолном профилу клијанаца овса узгајаних из прајмираних и непрајмираних семена у оптималним условима. Детектоване фенолне киселине код клијанаца овса гајених из непрајмираних семена (Табела 28) биле су синапинска (од 59,35 до 155,91 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), гална (од 0,21 до 1,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и хлорогенска киселина (од 0,75 до 1,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), док је код клијанаца гајених из прајмираних семена, осим наведених, детектована и 4-ХБК (1,51 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта код хормопрајминга са IAA). Највећа концентрација синапинске киселине измерена је у контроли и праћена је вредностима добијеним након третмана са AA (145,28 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и H₂O (143,48 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између контроле и ових прајминг третмана. Поред тога, евидентан је био инхибиторни ефекат осталих прајминг третмана на садржај синапинске киселине. Највећа концентрација галне киселине забележена је у контроли и праћена је вредностима добијеним код третмана са IAA (1,17 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Код клијанаца гајених из прајмираних семена забележене су нешто ниже вредности галне киселине, али без статистички значајних разлика у поређењу са контролом (са изузетком хормопрајминга са GA₃ где је измерена најмања вредност). Супротно томе, хормопрајминг са GA₃ постигао је најзначајнији ефекат на садржај хлорогенске киселине, при чему је измерена вредност била 1,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта и праћена је вредностима добијеним при третману са AA (0,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта).

Детектовани флавоноиди у клијанцима овса су рутин (од 63,34 до 83,85 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), катехин (од 1,36 до 8,59 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и нарингенин (од 0,88 до 1,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Поред тога, након прајминга са MgSO₄ у узорцима је измерена ниска концентрација кверцетина (0,005 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највећа концентрација рутина евидентирана је у контроли и праћена је вредностима добијеним при третману са AA (83,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и H₂O (80,04 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Остали прајминг третмани деловали су инхибиторно на садржај рутина. Највећа концентрација катехина забележена је у контроли и праћена је вредностима добијеним при третману са GA₃ (7,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и H₂O (6,68 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Код клијанца гајених из семена која су прајмирана осталим једињењима забележене су статистички значајно ниже вредности флавоноида у поређењу са контролом. Статистички значајно повећање концентрације нарингенина евидентирано је након хормопрајминга са GA₃.

Табела 28. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	1,23 ± 0,16 a	0,21 ± 0,01 b	1,17 ± 0,12 ab	0,54 ± 0,20 ab	НД	0,52 ± 0,20 ab	1,03 ± 0,46 ab	1,11 ± 0,06 ab
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	НД	НД	1,51 ± 0,03 a	НД	НД	НД	НД	НД
Катехин	8,59 ± 0,56 a	7,00 ± 0,16 a	2,34 ± 0,16 b	2,72 ± 0,14 b	1,36 ± 0,69 b	2,09 ± 0,9 b	3,72 ± 0,33 b	6,68 ± 0,35 a
Хлорогенска киселина	0,88 ± 0,03 abc	1,01 ± 0,03 a	0,89 ± 0,00 abc	0,84 ± 0,01 bc	0,82 ± 0,00 bc	0,95 ± 0,03 ab	0,81 ± 0,04 bc	0,75 ± 0,04 c
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
p-кумарна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	155,91 ± 5,01 a	59,35 ± 1,36 c	109,59 ± 2,36 b	120,45 ± 1,15 b	114,79 ± 3,87 b	145,28 ± 0,34 a	117,58 ± 1,36 b	143,48 ± 3,05 a
Рутин	83,85 ± 3,05 a	63,34 ± 1,40 c	72,60 ± 1,55 b	72,91 ± 0,44 b	63,08 ± 2,37 c	83,23 ± 0,17 a	73,51 ± 0,37 b	80,04 ± 1,56 ab
Нарингин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	НД	НД	НД	0,005 ± 0,002 a	НД	НД	НД	НД
Нарингенин	0,88 ± 0,00 b	1,06 ± 0,07 a	НД	0,94 ± 0,00 ab	0,92 ± 0,03 ab	0,97 ± 0,02 ab	0,90 ± 0,00 b	0,88 ± 0,01 b
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Када је у питању стрес изазван ниском температуром (Табела 29) забележен је сличан фенолни профил клијанаца као и у оптималним условима. Као доминантне фенолне киселине у контролним клијанцима детектоване су синапинска (од 106,80 до 242,50 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), гална (од 0,30 до 1,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), хлорогенска киселина (од 0,91 до 1,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и 4-ХБК (1,31 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). 4-ХБК је такође детектована и код клијанаца гајених из семена која су била подвргнута хормопрајмингу са IAA (2,51 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и редокспрајмингу са H_2O_2 (2,04 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), док је *p*-кумарна киселина (0,007 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) детектована код клијанаца гајених из семена која су била прајмирана са АА. Доминантан ефекат на садржај синапинске киселине остварио је халопрајминг са KNO_3 . Највећа концентрација галне киселине измерена је након халопрајминга са MgSO_4 и праћена је вредностима добијеним после хормопрајминга са IAA (1,74 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Није забележена статистички значајна разлика између ових третмана. Највећа концентрација хлорогенске киселине евидентирана је након прајминга са H_2O и праћена је вредностима добијеним при третману са GA_3 (1,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 (1,03 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), без статистички значајних разлика између ових вредности.

Најзаступљенији флавоноиди у клијанцима овса били су рутин (од 51,53 до 68,33 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), катехин (од 1,95 до 4,97 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингенин (од 0,89 до 1,01 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и нарингин (од 0,21 до 3,97 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Код биљака узгајаних из семена која су била подвргнута хидропрајмингу и халопрајмингу евидентиран је и кверцетин, при чему нису забележене статистички значајне разлике између ових третмана. Генерално је забележен стимулативни ефекат прајминга на повећање концентрације свих детектованих флавоноида у условима ниске температуре у поређењу са контролом. Најзначајнији ефекат на садржај рутина и нарингенина постигнут је након хидропрајминга. После прајминга семена са GA_3 и АА концентрација катехина била је већа 2,29 до 2,55 пута. Поред тога, прајминг семена са АА повећао је концентрацију нарингина више од 17 пута у поређењу са контролом. Супротно томе, хормопрајминг агенси су утицали на смањење садржаја нарингина.

Табела 29. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

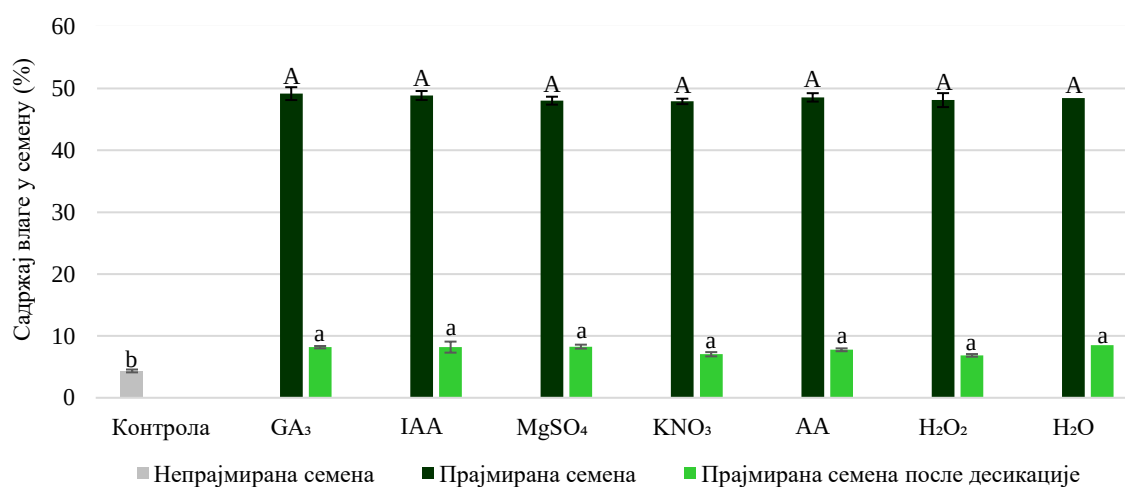
Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	0,30 ± 0,01 c	0,83 ± 0,30 bc	1,74 ± 0,03 ab	1,95 ± 0,06 a	0,50 ± 0,07 c	0,74 ± 0,03 bc	0,65 ± 0,02 c	0,44 ± 0,05 c
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	1,31 ± 0,6 a	НД	2,51 ± 0,04 a	НД	НД	НД	2,04 ± 0,01 a	НД
Катехин	1,95 ± 0,02 c	4,47 ± 0,09 ab	3,00 ± 0,01 abc	3,41 ± 0,16 abc	2,60 ± 0,90 bc	4,97 ± 0,26 a	3,91 ± 0,29 abc	2,82 ± 0,10 bc
Хлорогенска киселина	0,96 ± 0,01 de	1,06 ± 0,01 ab	0,96 ± 0,01 cde	1,03 ± 0,03 abc	0,99 ± 0,01 bcd	0,93 ± 0,01 de	0,91 ± 0,00 e	1,10 ± 0,02 a
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
p-кумарна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	0,007 ± 0,003	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	224,97 ± 3,25 b	106,80 ± 2,24 e	168,37 ± 2,87 d	192,28 ± 4,72 c	242,50 ± 5,40 a	224,90 ± 3,76 b	193,69 ± 1,14 c	225,82 ± 0,40 b
Рутин	51,53 ± 0,76 c	57,75 ± 1,17 bc	67,22 ± 0,52 ab	64,87 ± 3,53 ab	59,36 ± 1,37 abc	65,13 ± 1,08 ab	58,10 ± 2,40 bc	68,33 ± 2,66 a
Нарингин	0,23 ± 0,01 b	НД	НД	0,50 ± 0,02 b	0,49 ± 0,02 b	3,97 ± 0,10 a	0,35 ± 0,05 b	0,21 ± 0,00 b
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	НД	НД	НД	0,023 ± 0,00 a	0,024 ± 0,00 a	НД	НД	0,036 ± 0,00 a
Нарингенин	0,91 ± 0,03 b	0,90 ± 0,00 b	0,97 ± 0,02 ab	0,90 ± 0,02 b	0,89 ± 0,00 b	0,90 ± 0,01 b	0,90 ± 0,00 b	1,01 ± 0,03 a
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4. Ротквица (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa)

4.4.1. Садржај влаге у семену

Резултати добијени мерењем садржаја влаге у семенима ротквице приказани су на Графикону 22. Садржај влаге у непрајмираним, контролним семенима износио је 4,34%. Садржај влаге у семенима одмах након прајминга био је 10 и више пута већи у поређењу са контролом, без значајних разлика између прајминг третмана. Садржај влаге у прајмираним семенима након десикације био је сличан и није било значајних разлика између прајминг третмана. Са друге стране, садржај влаге у прајмираним семенима пре клијања био је скоро удвостручен у поређењу са контролним семенима.



Графикон 22. Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима ротквице

Вредности представљају средњу вредност пет понављања $\pm$ стандардна грешка. Иста мала слова означавају да разлике између непрајмираног и прајмираног семена након десикације нису биле значајне. Иста велика слова означавају да разлике између семена након примене различитих прајминг агенаса нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.2. Карактеристике клијања

Испитиване карактеристике клијања семена ротквице гајених у оптималним условима приказане су у Табели 30.

Сви примењени прајминг третмани имали су стимулативан ефекат на све праћене карактеристике клијања семена ротквице. Највећи проценат клијања забележен је при третману са AA (GP = 89,92%) и праћен је вредностима добијеним при третману са KNO₃ (GP = 87,78%). Није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Најмањи проценат клијања евидентиран је у контроли (GP = 65,56%). Најзначајнији ефекат на средње време клијања (MTG = 1,50), брзину клијања (RG = 67,12) и униформност клијања (U = 55,26) постигнут је редокспрајмингом са H₂O₂.

Табела 30. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена ротквице при оптималним условима

Третмани	GP	MTG	RG	U
Контрола	65,56 ± 5,88 c	2,73 ± 0,17 c	36,90 ± 2,28 c	24,40 ± 3,58 c
GA₃	82,22 ± 2,94 ab	1,65 ± 0,16 ab	61,69 ± 6,24 ab	50,90 ± 6,10 ab
IAA	68,51 ± 1,49 bc	2,37 ± 0,11 bc	42,36 ± 1,85 bc	28,98 ± 0,88 bc
MgSO₄	84,45 ± 2,22 a	2,06 ± 0,05 abc	48,68 ± 1,21 abc	41,15 ± 1,94 abc
KNO₃	87,78 ± 2,22 a	1,69 ± 0,06 ab	59,44 ± 2,13 abc	52,26 ± 3,09 ab
AA	89,92 ± 3,78 a	1,91 ± 0,34 ab	55,75 ± 9,81 abc	50,87 ± 10,98 ab
H₂O₂	82,22 ± 2,22 ab	1,50 ± 0,10 a	67,12 ± 4,36 a	55,26 ± 4,33 a
H₂O	81,11 ± 2,94 abc	1,89 ± 0,14 ab	53,58 ± 3,95 abc	43,69 ± 4,81 abc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Утицај прајминга на карактеристике клијања семена ротквице у условима ниске температуре приказан је у Табели 31.

Семена ротквице су генерално клијала у високом проценту у условима ниске температуре. Проценат укупно проклијалих семена био је у опсегу вредности од 82,22% до 94,44%. Највећи проценат клијања забележен је после хормопрајминга са IAA и праћен је вредностима добијеним при третману са H₂O₂ и GA₃. Најмањи проценат проклијалих семена постигнут је након редокспрајминга са AA. Између примењених прајминг третмана и контроле нису утврђене статистички значајне разлике. Најистакнутији утицај на средње време клијања испољио је редокспрајминг са H₂O₂ (MTG = 1,41) и хормопрајминг са GA₃ (MTG = 1,42). Уједно је евидентиран и најзначајнији ефекат ових третмана на брзину (RG = 72,23; RG = 71,14) и униформност клијања (U = 67,02; U = 66,28), али без значајних разлика између њих.

Табела 31. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена ротквице под утицајем ниске температуре

Третмани	GP	MTG	RG	U
Контрола	88,89 ± 2,22 a	2,40 ± 0,09 b	41,73 ± 1,56 b	37,11 ± 1,80 b
GA₃	93,33 ± 5,09 a	1,42 ± 0,11 a	71,14 ± 5,57 a	66,28 ± 5,87 a
IAA	94,44 ± 2,94 a	1,82 ± 0,11 ab	55,42 ± 3,13 ab	52,18 ± 1,83 ab
MgSO₄	90,00 ± 1,92 a	1,69 ± 0,17 a	60,21 ± 5,62 ab	54,21 ± 5,33 ab
KNO₃	90,00 ± 5,09 a	1,77 ± 0,14 a	57,05 ± 4,30 ab	50,93 ± 1,27 ab
AA	82,22 ± 6,19 a	1,58 ± 0,17 a	64,83 ± 7,01 ab	54,12 ± 9,41 ab
H₂O₂	93,34 ± 3,33 a	1,41 ± 0,12 a	72,23 ± 6,47 a	67,02 ± 3,88 a
H₂O	86,67 ± 3,33 a	1,61 ± 0,06 a	62,39 ± 2,13 ab	54,20 ± 3,78 ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.3. Карактеристике растења

Ефекат прајминга на карактеристике растења (дужина изданка, дужина корена, свежа и сува маса, SLVI и SWVI) клијанаца ротквице гајених у оптималним условима приказан је у Табели 32.

Најизразитији ефекат на дужину изданка испољио је хормопрајминг (са GA_3 - 5,73 cm, са IAA - 5,20 cm), при чему није утврђена статистички значајна разлика између ових вредности. Најмања дужина изданка забележена је након редокспрајминга са AA (4,32 cm). Насупрот томе, AA је остварила доминантан ефекат на дужину корена (10,55 cm). Најнижа вредност за дужину корена измерена је код клијанаца добијених након прајминга са H_2O_2 (7,13 cm). Халопрајминг са KNO_3 постигао је најзначајнији ефекат на свежу (93,08 mg) и суву масу ротквице (8,11 mg), док је најнижа вредност за свежу масу евидентирана при хормопрајмингу са GA_3 (63,85 mg). У случају суве масе најмања измерена вредност била је код контролних клијанаца (6,15 mg).

Анализом вредности вигор индекса дужине примећује се стимулативни ефекат за сваки од примењених прајминг третмана. Добијене вредности биле су у опсегу од 786,68 до 1357,79. Доминантан утицај остварио је редокспрајминг са AA, где је уједно забележена и статистички значајна разлика у поређењу са осталим третманима. Најнижа вредност забележена је у контроли. Резултати добијени за вигор индекс тежине били су у опсегу вредности од 5,25 до 8,17. Највеће вредности евидентирани су код халопрајминга са KNO_3 и са $MgSO_4$. Најнижа вредност добијена је код хормопрајминга са GA_3 .

Карактеристике растења клијанаца ротквице гајених у условима ниске температуре приказане су у Табели 33.

Генерално, сви примењени прајминг третмани остварили су стимулативан ефекат на испитиване карактеристике растења клијанаца. Доминантан ефекат на дужину изданка ротквице испољио је хормопрајминг са GA_3 (3,81 cm) и праћен је вредностима добијеним после халопрајминга са KNO_3 (3,71 cm). Између ових третмана није утврђена статистички значајна разлика. Најмања вредност за дужину изданка измерена је код контролних клијанаца (2,68 cm). Када је реч о дужини корена најзначајнији ефекат евидентиран је након редокспрајминга са AA (11,51 cm) и хормопрајминга са IAA (10,44 cm), при чему није забележена статистички значајна разлика између ових вредности. Најмања дужина корена забележена је код контролних клијанаца (6,30 cm).

Најизразитији ефекат на свежу масу остварио је халопрајминг са KNO_3 (95,45 mg), док је најнижа вредност измерена код контролних клијанаца (44,91 mg). Када је реч о сувој маси најзначајнији ефекат постигли су халопрајминг третмани са KNO_3 (7,90 mg) и $MgSO_4$ (7,85 mg), док је најмања вредност забележена у контролним биљкама (5,66 mg).

Вредности за вигор индекс дужине клијанаца ротквице биле су у опсегу од 798,23 до 1243,82. Максимални потенцијал у условима ниске температуре показали су клијанци који су добијени из семена прајмираних са IAA. Најмања вредност за SLVI забележена је код контролних клијанаца. Евидентирани вредности за вигор индекс тежине биле су од 3,99 до 8,66. Најзначајнији ефекат постигнут је након прајминга са KNO_3 . Најмања вредност за SWVI забележена је у контроли.

Табела 32. Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца ротквице гајених при оптималним условима

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	7,26 ± 0,64 b	4,74 ± 0,16 ab	81,77 ± 0,005 ab	6,15 ± 0,000 b	786,68 ± 70,56 e	5,36 ± 0,48 d
GA₃	9,30 ± 0,67 ab	5,73 ± 0,29 a	63,85 ± 0,004 b	6,71 ± 0,000 ab	1235,82 ± 44,18 ab	5,25 ± 0,19 d
IAA	8,19 ± 0,57 ab	5,20 ± 0,20 ab	83,23 ± 0,006 ab	7,74 ± 0,000 ab	917,30 ± 20,00 de	5,70 ± 0,13 cd
MgSO₄	8,65 ± 0,73 ab	4,64 ± 0,35 ab	89,85 ± 0,005 a	7,31 ± 0,000 ab	1122,29 ± 29,55 bcd	7,59 ± 0,20 a
KNO₃	7,82 ± 0,68 b	4,74 ± 0,24 ab	93,08 ± 0,004 a	8,11 ± 0,000 a	1102,47 ± 27,93 bcd	8,17 ± 0,21 a
AA	10,85 ± 0,76 a	4,25 ± 0,25 b	77,69 ± 0,005 ab	7,50 ± 0,000 ab	1357,79 ± 57,11 a	6,98 ± 0,29 ab
H₂O₂	7,13 ± 0,55 b	4,45 ± 0,24 b	84,62 ± 0,007 ab	7,37 ± 0,000 ab	952,15 ± 25,75 cde	6,96 ± 0,19 abc
H₂O	9,34 ± 0,64 ab	4,56 ± 0,22 b	74,00 ± 0,005 ab	6,44 ± 0,000 ab	1127,47 ± 40,87 bc	6,00 ± 0,22 bcd

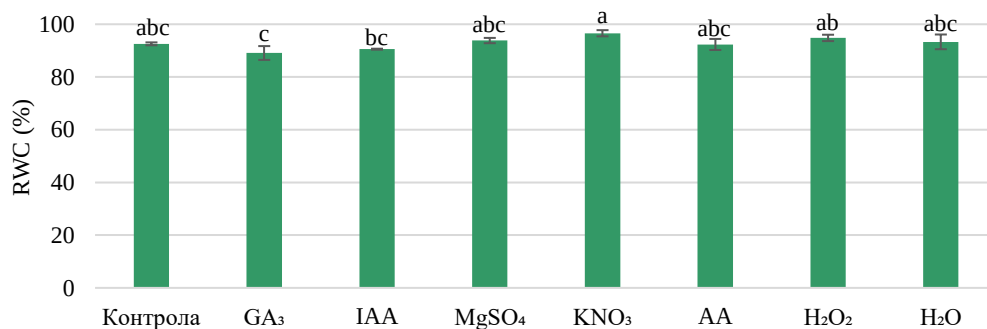
Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста**Табела 33.** Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца ротквице гајених при условима ниске температуре

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	6,30 ± 0,42 c	2,68 ± 0,11 c	44,91 ± 0,003 c	5,66 ± 0,000 c	798,23 ± 19,93 d	3,99 ± 0,10 d
GA₃	8,35 ± 0,92 abc	3,81 ± 0,15 a	74,18 ± 0,003 b	7,27 ± 0,000 abc	1134,93 ± 61,93 bc	6,92 ± 0,38 b
IAA	10,44 ± 0,40 ab	2,73 ± 0,18 c	71,18 ± 0,005 b	7,32 ± 0,000 ab	1243,82 ± 38,72 ab	6,73 ± 0,21 bc
MgSO₄	9,11 ± 1,01 abc	3,28 ± 0,15 abc	65,09 ± 0,004 bc	7,85 ± 0,000 a	1115,10 ± 23,82 bc	5,86 ± 0,13 bc
KNO₃	7,21 ± 0,59 bc	3,71 ± 0,18 ab	95,45 ± 0,007 a	7,90 ± 0,000 a	982,80 ± 55,61 cd	8,60 ± 0,49 a
AA	11,51 ± 0,98 a	3,03 ± 0,22 bc	69,09 ± 0,005 b	7,24 ± 0,000 abc	1195,58 ± 89,97 bc	5,68 ± 0,43 bc
H₂O₂	7,41 ± 0,84 bc	2,86 ± 0,22 c	57,55 ± 0,005 bc	6,20 ± 0,000 bc	958,57 ± 34,23 cd	5,38 ± 0,19 cd
H₂O	10,05 ± 0,76 ab	3,16 ± 0,10 abc	69,55 ± 0,003 b	7,43 ± 0,000 ab	1144,87 ± 44,03 bc	6,03 ± 0,23 bc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.4. Релативни садржај воде у листу

Релативни садржај воде у листовима ротквице варирао је у зависности од прајминг третмана, али без значајне разлике у односу на контролу (Графикон 23). Измерене вредности биле су у опсегу од 89,09 до 96,59%. Највећа вредност RWC забележена је након халопрајминга са KNO_3 , док је најнижа вредност измерена при хормопрајмингу са GA_3 .



Графикон 23. Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената

Измерена концентрација фотосинтетичких пигмената у листовима ротквице при оптималним условима приказана је у Табели 34. Посматрано кроз концентрацију укупног хлорофила, хлорофила *a* и хлорофила *b*, уочавају се значајне сличности у садржају пигмената у односу на примењени прајминг третман. Највећа концентрација хлорофила постигнута је након прајминга семена са IAA, при чему је овај третман остварио доминантан утицај са статистички значајном разликом у поређењу са контролом и осталим третманима. Најмања концентрација пигмената забележена је при редокспрајмингу са H_2O_2 , при чему је утврђена статистички значајна разлика у односу на остале третмане.

Табела 34. Концентрација фотосинтетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

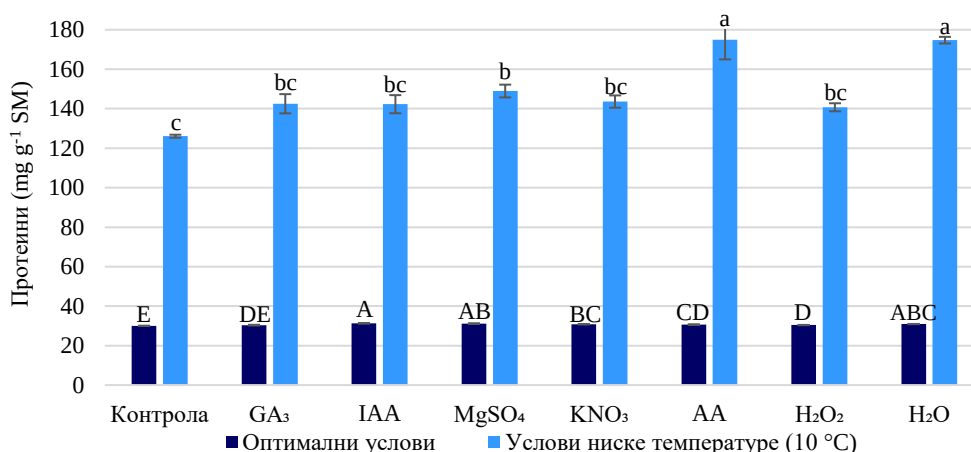
Третмани	Укупни хлорофил	Хлорофил а	Хлорофил б	Каротеноиди
Контрола	$0,953 \pm 0,007$ cd	$0,464 \pm 0,007$ d	$0,366 \pm 0,001$ b	$0,083 \pm 0,001$ f
GA_3	$0,779 \pm 0,006$ f	$0,427 \pm 0,002$ e	$0,253 \pm 0,003$ g	$0,098 \pm 0,001$ d
IAA	$1,235 \pm 0,003$ a	$0,665 \pm 0,001$ a	$0,413 \pm 0,002$ a	$0,119 \pm 0,000$ a
MgSO_4	$0,958 \pm 0,002$ c	$0,521 \pm 0,001$ c	$0,315 \pm 0,001$ d	$0,106 \pm 0,000$ b
KNO_3	$1,070 \pm 0,003$ b	$0,588 \pm 0,001$ b	$0,345 \pm 0,002$ c	$0,101 \pm 0,000$ c
AA	$0,936 \pm 0,002$ d	$0,514 \pm 0,001$ c	$0,303 \pm 0,001$ e	$0,104 \pm 0,001$ bc
H_2O_2	$0,636 \pm 0,003$ g	$0,358 \pm 0,001$ f	$0,198 \pm 0,002$ h	$0,070 \pm 0,001$ g
H_2O	$0,805 \pm 0,003$ e	$0,440 \pm 0,001$ e	$0,263 \pm 0,002$ f	$0,090 \pm 0,001$ e

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Концентрација каротеноида мењала се у опсегу вредности од 0,070 до 0,119 mg g⁻¹ SM. Забележен је исти тренд као и у случају хлорофила; највиша концентрација каротеноида је евидентирана након хормопрајминга са IAA, а најнижа након редокспрајминга са H₂O₂, при чему се добијене вредности статистички значајно разликују у поређењу са осталим третманима.

4.4.6. Концентрација укупних солубилних протеина

Резултати добијени квантификацијом укупних солубилних протеина клијанаца ротквице у оптималним условима и условима ниске температуре приказани су на Графикону 24. У оптималним условима измерена концентрација била је у опсегу вредности од 30,01 до 31,30 mg g⁻¹ SM. Приметно је да су прајминг третмани деловали стимулативно на садржај протеина. Највећа концентрација укупних солубилних протеина измерена је у клијанцима добијеним из семена која су била подвргнута хормопрајмингу са IAA и халопрајмингу са MgSO₄. Најмања концентрација забележена је у контроли.



Графикон 24. Концентрација укупних солубилних протеина (mg g⁻¹ SM) у листовима клијанаца ротквице гајених у зависности од прајминг третмана

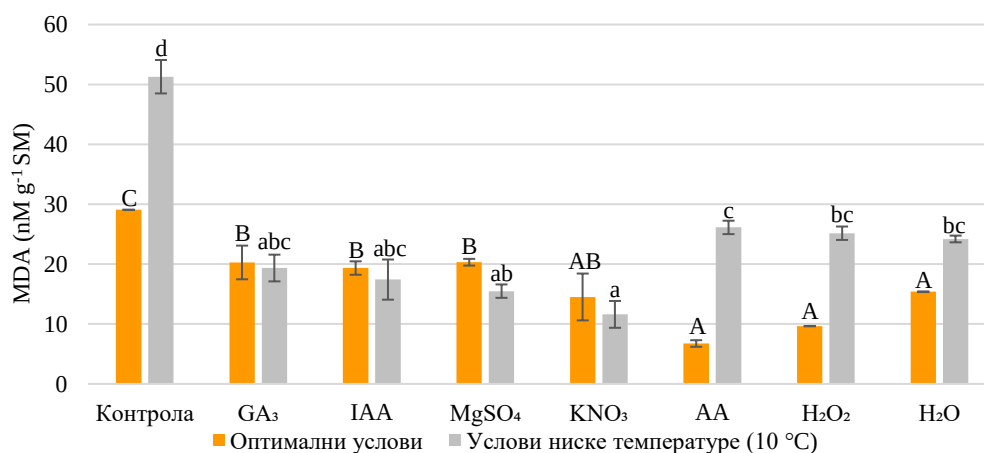
Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Измерена концентрација протеина у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 126,07 до 174,96 mg g⁻¹ SM. Највећа концентрација постигнута је применом редокспрајминга са AA и хидропрајминга. Између ових третмана није утврђена значајна разлика. Најнижа вредност концентрације солубилних протеина измерена је у контроли.

4.4.7. Интезитет липидне пероксидације

Клијанци ротквице гајени у оптималним условима и условима ниске температуре показали су значајне разлике у концентрацији MDA у зависности од прајминг третмана (Графикон 25). Када су у питању оптимални услови измерене

концентрације MDA биле су у опсегу вредности од 6,75 до 29,07 $\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$. Сви примењени прајминг третмани остварили су позитиван ефекат, па је концентрација MDA била статистички значајно нижа код клијанаца након прајминга у односу на клијанце добијене из непрајмираних семена. Резултати указују на значајан потенцијал прајминга да смањи пероксидацију липида и повећа стабилност ћелијских мембрана, при чему је најповољнији ефекат постигнут након редокспрајминга са AA, где је концентрација MDA била око четири пута мања у односу на контролу.



Графикон 25. Концентрација малондиалдехида (MDA) ($\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима ниске температуре концентрација MDA мењала се у опсегу од 11,61 до 51,29 $\text{nM g}^{-1} \text{ SM}$. Статистички значајно нижа концентрација MDA измерена је након примене свих прајминг третмана у поређењу са контролом. Најистакнутији ефекат остварио је халопрајминг са KNO₃, где је забележена најнижа концентрација MDA.

4.4.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

У листовима клијанаца ротквице гајених при оптималним условима и условима стреса изазваног ниском температуром антиоксидативни ензими показивали су различити тренд активности у зависности од прајминг третмана (Графикони 26 и 27).

У оптималним условима активност **супероксид дисмутаза** (SOD) износила је 174,69 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$ у контролним клијанцима. Под утицајем прајминга активност ензима је варијала у опсегу од 160,31 до 171,58 $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Након хормопрајминга и халопрајминга са KNO₃ измерена је нешто нижа активност SOD у поређењу са контролом, али без статистичке значајности. Супротно томе, остали прајминг третмани довели су до статистички значајног пада у активности ензима. Најнижа активност SOD евидентирана је након редокспрајминга са H₂O₂ (Графикон 26а).

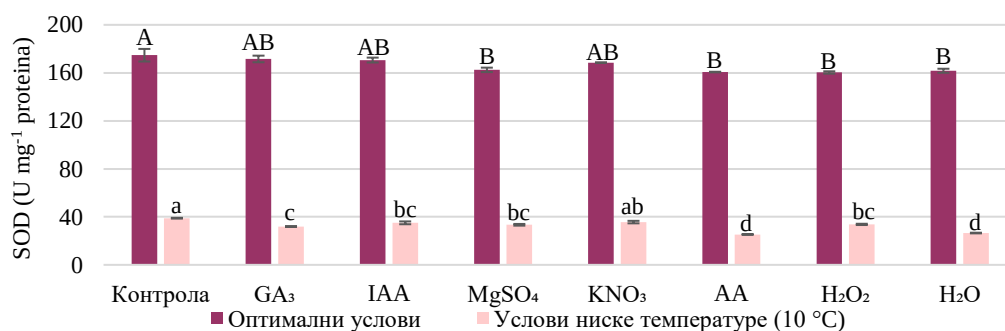
У условима ниске температуре активност SOD изражена као $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$ износила је 38,87 у контроли. У листовима клијанаца ротквице добијеним из прајмираних семена значајно је опала активност ензима, а добијене вредности биле су у

опсегу од 25,32 до 35,64 U mg⁻¹ proteina. Највећи пад у активности SOD евидентиран је након редокспрајминга са АА (Графикон 26а).

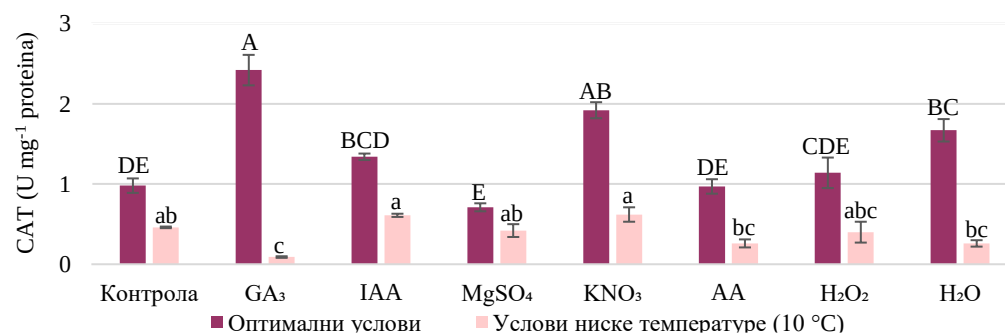
Примењени прајминг третмани у оптималним условима изазвали су статистички значајна варирања у активности *каталазе* (CAT) у поређењу са контролом. Измерена активност ензима била је у опсегу од 0,71 до 2,42 U mg⁻¹ proteina. Ензим је био најактивнији у клијанцима добијеним из семена прајмираним са GA₃. Најнижа активност CAT измерена је након халопрајминга са MgSO₄, али није утврђена статистички значајна разлика између ових вредности и вредности измерених у контроли (Графикон 26б).

Измерна активност CAT у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 0,09 до 0,62 U mg⁻¹ proteina. Највиша активност измерена је након халопрајминга са KNO₃ и праћена је вредностима добијеним након хормопрајминга са IAA. Најнижа активност CAT забележена је након хормопрајминга са GA₃ (Графикон 26б).

(a)



(b)



Графикон 26. Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Активност *аскорбат пероксидазе* (A POX) изражена у U mg⁻¹ proteina у листовима клијанаца ротквице у оптималним условима била је у опсегу од 0,0179 до 0,0247. Редокспрајминг са АА и хормопрајминг са оба хормона индуковали су пораст активности A POX у поређењу са контролом, а најизразитији ефекат испољио је редокспрајминг са АА. Најнижа активност ензима измерена је након прајминга са

KNO₃. Нису утврђене статистички значајне разлике између прајминг третмана и контроле (Графикон 27а).

У условима ниске температуре активност А РОХ у листовима контролних клијанаца износила је 0,00587 U mg⁻¹ proteina, док се под утицајем прајминг третмана мењала у опсегу од 0,00515 до 0,00956. Прајминг третмани, са изузетком хидропрајминга, изазвали су повећање нивоа активности А РОХ у поређењу са контролом. Међутим, статистички значајна разлика евидентирана је једино после хормопрајминга са IAA. Најнижа активност ензима забележена је након прајминга са H₂O (Графикон 27а).

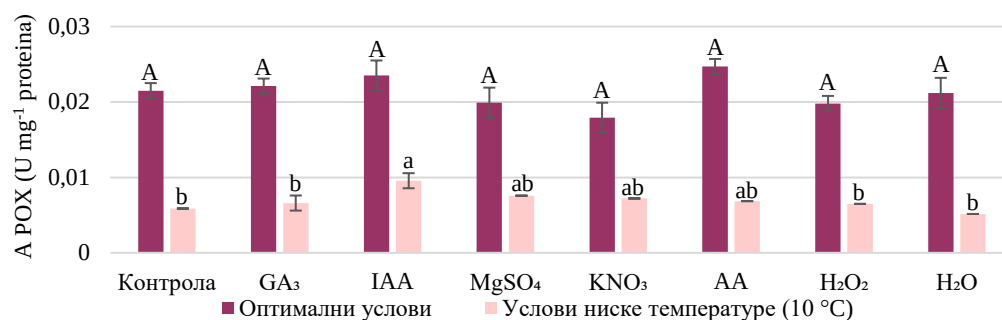
У оптималним условима активност *гвајакол пероксидазе* (G РОХ) износила је 0,00036 U mg⁻¹ proteina код контролних клијанаца. Ниво активности ензима у клијанцима гајеним из прајмираних семена мењао се у опсегу од 0,00029 до 0,00064 U mg⁻¹ proteina. Статистички значајно повећање активности G РОХ забележено је након хидропрајминга и редокспрајминга, при чему је најизразитији ефекат испољио хидропрајминг. Хормопрајминг са GA₃ утицао је на пад активности ензима у поређењу са контролом, али без статистички значајне разлике (Графикон 27б).

Ниво активности G РОХ у условима ниске температуре био је у опсегу од 0,000156 до 0,000650 U mg⁻¹ proteina. Генерално, сви прајминг третмани индуковали су повећање активности ензима у поређењу са контролом. Највиша активност G РОХ постигнута је након халопрајминга са KNO₃, где је утврђена и статистичка значајност у поређењу са вредностима измереним у листовима контролних клијанаца (Графикон 27б).

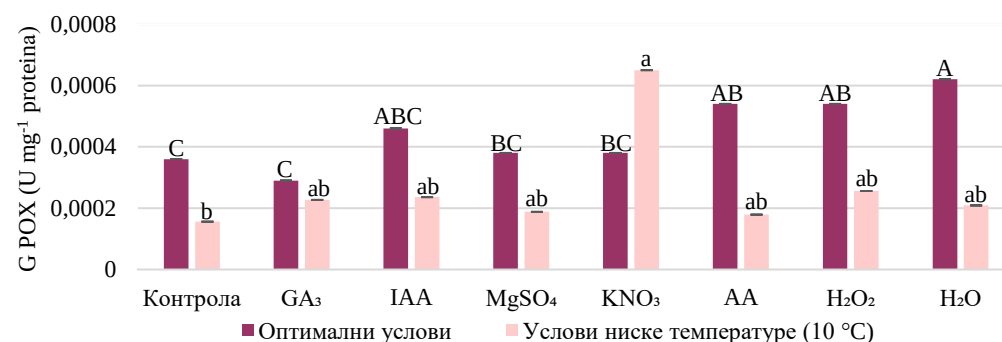
Измерена активност *пирогалол пероксидазе* (P РОХ) у оптималним условима била је у опсегу вредности од 0,0263 до 0,0321 U mg⁻¹ proteina. Најзначајнији ефекат на повећање нивоа активности ове пероксидазе постигао је халопрајминг са KNO₃, а праћен је вредностима добијеним након хормопрајминга са IAA. Статистички значајан пад у активности P РОХ евидентиран је након хормопрајминга са GA₃ (Графикон 27с).

Активност P РОХ у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 0,00326 до 0,00463 U mg⁻¹ proteina. Слично као код G РОХ утврђен је виши ниво активности P РОХ након прајминга у поређењу са контролом. Ензим је био најактивнији у клијанцима гајеним из семена прајмираних са IAA. Најнижа активност P РОХ измерена је у листовима контролних клијанаца (Графикон 27с).

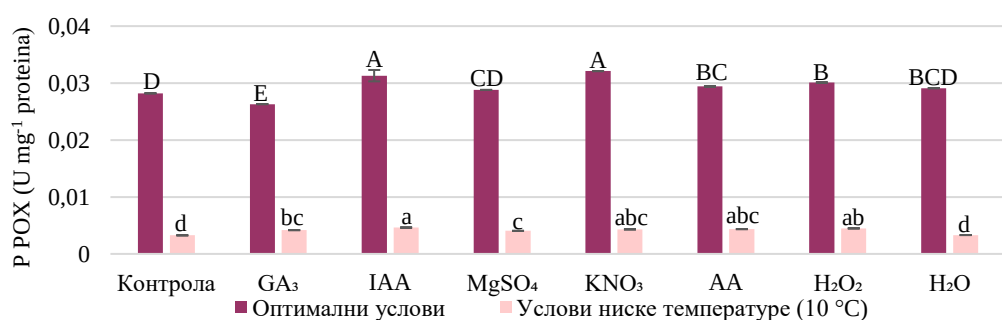
(a)



(b)



(c)



Графикон 27. Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида

Прајминг семена имао је значајан утицај на садржај укупних фенолних једињења и флавоноида у клијанцима ротквице при оптималним условима (Табела 35).

Концентрација укупних фенолних једињења у екстрактима ротквице варирала је у опсегу од 25,92 до 29,92 mg GA g⁻¹ екстракта. Прајминг третмани су индуковали повећање садржаја фенолних једињења. Највећа концентрација фенола евидентирана је при халопрајмингу са MgSO₄ и праћена је вредностима добијеним после хормопрајминга са IAA, без значајне разлике између њих. Најмања концентрација фенола измерена је у контроли.

Концентрација флавоноида је значајно варирала у зависности од примењеног третмана. Измерене вредности биле су у опсегу од 23,68 до 25,41 mg RU g⁻¹ екстракта. Повећање садржаја флавоноида забележено је након прајминга са IAA, MgSO₄ и H₂O₂, при чему је највећа вредност постигнута након хормопрајминга са IAA. Нису утврђене статистички значајне разлике између ових третмана. Најнижа вредност флавоноида измерена је након хидропрајминга.

Табела 35. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g⁻¹ екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третман	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	25,92 ± 0,62 b	24,84 ± 0,03 b
GA₃	27,67 ± 0,89 ab	24,73 ± 0,03 b
IAA	28,72 ± 0,21 a	25,41 ± 0,16 a
MgSO₄	29,29 ± 0,48 a	25,21 ± 0,02 a
KNO₃	27,82 ± 0,46 ab	23,94 ± 0,02 d
AA	27,67 ± 0,47 ab	24,32 ± 0,03 c
H₂O₂	26,72 ± 0,71 ab	25,31 ± 0,03 a
H₂O	27,43 ± 0,37 ab	23,68 ± 0,01 d

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима ниске температуре утврђене су значајне разлике у садржају фенолних једињења и флавоноида код клијанаца ротквице под утицајем прајминга (Табела 36).

Кад су у питању фенолна једињења измерена концентрација била је у опсегу вредности од 21,17 до 24,07 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација забележена је при прајмирању са MgSO₄ и H₂O. Између ових прајминг третмана није утврђена статистички значајна разлика. Најнижа концентрација фенола измерена је у контролним клијанцима.

Сви прајминг третмани остварили су значајан ефекат на садржај флавоноида у клијанцима ротквице. Измерена концентрација била је у опсегу вредности од 21,83 до 23,05 mg RU g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација достигнута је применом халопрајминга са KNO₃ и хидропрајминга, при чему није утврђена статистички

значајна разлика између ових третмана. Најнижа вредност флавоноида евидентирана је у контроли.

Табела 36. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Третман	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	$21,17 \pm 0,25 \text{ c}$	$21,83 \pm 0,03 \text{ d}$
GA ₃	$23,45 \pm 0,05 \text{ ab}$	$22,74 \pm 0,05 \text{ b}$
IAA	$22,60 \pm 0,05 \text{ bc}$	$22,21 \pm 0,10 \text{ c}$
MgSO ₄	$24,07 \pm 0,25 \text{ a}$	$22,41 \pm 0,03 \text{ c}$
KNO ₃	$23,36 \pm 0,14 \text{ ab}$	$23,05 \pm 0,09 \text{ a}$
AA	$22,41 \pm 0,13 \text{ bc}$	$22,72 \pm 0,02 \text{ b}$
H ₂ O ₂	$22,31 \pm 0,33 \text{ bc}$	$22,31 \pm 0,07 \text{ c}$
H ₂ O	$23,64 \pm 0,64 \text{ ab}$	$22,89 \pm 0,05 \text{ ab}$

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.10. Укупна антиоксидативна активност

Проценат инхибиције DPPH, одређен спектрофотометријски кроз активност екстракта ротквице у елиминацији DPPH радикала, значајно се разликовао у зависности од концентрације биљног екстракта и примењеног третмана (Табела 37). Способност екстракта добијених из клијанаца гајених у оптималним условима да елиминишу DPPH радикале, као и њихова ефикасност зависила је од концентрације, што се може објаснити ефектом разблажења. Највећи проценат инхибиције DPPH радикала забележен је код екстракта добијених из клијанаца након прајминга семена са KNO₃ (67,32% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), AA (66,91% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и IAA (66,81% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта). Између ових третмана нису утврђене статистички значајне разлике. Најмањи проценат инхибиције при највећој концентрацији екстракта постигнут је након редокспрајминга са H₂O₂ (61,69% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта).

Редукција DPPH радикала при условима ниске температуре такође је показивала зависност од прајминг третмана и концентрације екстракта (Табела 38). Прајминг третмани су генерално остварили позитиван ефекат на антиоксидативни капацитет клијанаца ротквице. Највећи антиоксидативни капацитет евидентиран је након халопрајминга са MgSO₄ (67,83% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта) и хидропрајминга (67,01% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта), при чему није забележена статистички значајна разлика између третмана. Најмањи проценат неутрализације DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта забележен је у контроли (59,22% инхибиције DPPH радикала за $500 \mu\text{g mL}^{-1}$ биљног екстракта).

Табела 37. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	$64,96 \pm 0,24$ b	$64,45 \pm 0,06$ b	$66,81 \pm 0,59$ a	$62,30 \pm 0,12$ c	$67,32 \pm 0,18$ a	$66,91 \pm 0,65$ a	$61,69 \pm 0,12$ c	$65,98 \pm 0,01$ ab
250	$43,24 \pm 1,54$ a	$42,63 \pm 0,59$ a	$45,80 \pm 0,06$ a	$44,67 \pm 6,27$ a	$48,16 \pm 1,78$ a	$51,64 \pm 2,48$ a	$42,93 \pm 0,06$ a	$46,72 \pm 1,89$ a
125	$25,62 \pm 0,36$ abc	$19,26 \pm 3,32$ c	$22,44 \pm 2,90$ bc	$25,41 \pm 0,35$ abc	$30,23 \pm 2,90$ ab	$32,89 \pm 2,07$ a	$24,90 \pm 0,06$ abc	$26,85 \pm 1,78$ abc
62,5	$16,29 \pm 1,4$ a	$14,96 \pm 1,89$ a	$17,52 \pm 1,13$ a	$15,57 \pm 0,12$ a	$19,16 \pm 0,06$ a	$19,78 \pm 0,06$ a	$16,60 \pm 0,95$ a	$16,80 \pm 1,42$ a
31,25	$12,09 \pm 1,54$ a	$11,89 \pm 1,65$ a	$12,50 \pm 1,89$ a	$12,19 \pm 1,95$ a	$13,01 \pm 1,00$ a	$13,73 \pm 1,06$ a	$12,81 \pm 1,24$ a	$11,68 \pm 1,89$ a
15,62	$11,27 \pm 1,30$ a	$10,76 \pm 2,19$ a	$10,66 \pm 1,78$ a	$10,86 \pm 2,13$ a	$10,15 \pm 1,2$ a	$10,45 \pm 1,30$ a	$11,48 \pm 1,54$ a	$10,56 \pm 2,07$ a
7,81	$10,56 \pm 1,12$ a	$9,73 \pm 1,71$ a	$9,63 \pm 2,13$ a	$9,53 \pm 2,19$ a	$8,92 \pm 1,60$ a	$9,74 \pm 1,60$ a	$10,86 \pm 1,42$ a	$9,84 \pm 1,78$ a
3,90	$9,74 \pm 1,36$ a	$9,22 \pm 1,89$ a	$9,02 \pm 2,13$ a	$9,02 \pm 2,25$ a	$8,61 \pm 1,54$ a	$9,02 \pm 1,89$ a	$9,53 \pm 1,13$ a	$9,53 \pm 1,71$ a
1,99	$9,02 \pm 1,07$ a	$8,51 \pm 2,07$ a	$8,61 \pm 2,25$ a	$8,71 \pm 2,31$ a	$8,10 \pm 1,72$ a	$8,51 \pm 2,07$ a	$8,92 \pm 1,24$ a	$8,20 \pm 1,89$ a
0,97	$8,72 \pm 1,00$ a	$7,89 \pm 1,95$ a	$8,30 \pm 2,19$ a	$8,30 \pm 2,43$ a	$7,07 \pm 1,24$ a	$8,20 \pm 2,13$ a	$9,12 \pm 1,71$ a	$7,38 \pm 2,13$ a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Табела 38. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	59,22 $\pm$ 0,71 f	61,37 $\pm$ 0,30 ef	64,04 $\pm$ 0,65 cd	67,83 $\pm$ 0,59 a	62,81 $\pm$ 0,53 de	65,27 $\pm$ 0,41 bc	64,14 $\pm$ 0,35 cd	67,01 $\pm$ 0,24 ab
250	36,17 $\pm$ 0,18 e	39,24 $\pm$ 1,24 cde	37,61 $\pm$ 0,30 de	43,03 $\pm$ 0,59 ab	39,96 $\pm$ 0,71 bcd	41,50 $\pm$ 0,53 bc	40,68 $\pm$ 0,41 bcd	45,49 $\pm$ 0,47 a
125	25,41 $\pm$ 0,4 cd	23,67 $\pm$ 0,77 d	26,84 $\pm$ 0,24 bc	27,97 $\pm$ 0,41 ab	27,77 $\pm$ 0,06 ab	27,66 $\pm$ 0,35 ab	27,25 $\pm$ 0,24 bc	29,41 $\pm$ 0,41 a
62,5	19,77 $\pm$ 0,5 c	20,29 $\pm$ 0,47 bc	21,21 $\pm$ 0,65 abc	22,34 $\pm$ 0,47 ab	21,31 $\pm$ 0,47 abc	22,44 $\pm$ 0,30 ab	21,93 $\pm$ 0,12 abc	22,85 $\pm$ 0,30 a
31,25	17,83 $\pm$ 0,59 bc	17,73 $\pm$ 0,53 c	18,85 $\pm$ 0,35 abc	19,88 $\pm$ 0,24 ab	19,47 $\pm$ 0,47 abc	20,80 $\pm$ 0,41 a	19,57 $\pm$ 0,18 abc	20,59 $\pm$ 0,53 a
15,62	16,91 $\pm$ 0,41 ab	16,70 $\pm$ 0,65 b	18,14 $\pm$ 0,30 ab	18,55 $\pm$ 0,30 a	18,44 $\pm$ 0,24 ab	18,14 $\pm$ 0,41 ab	18,24 $\pm$ 0,12 ab	18,55 $\pm$ 0,06 a
7,81	15,68 $\pm$ 1,01 a	16,19 $\pm$ 0,71 a	17,83 $\pm$ 0,35 a	17,73 $\pm$ 0,41 a	17,83 $\pm$ 0,24 a	17,73 $\pm$ 0,30 a	17,93 $\pm$ 0,18 a	18,03 $\pm$ 0,12 a
3,90	15,47 $\pm$ 1,01 a	15,98 $\pm$ 0,71 a	17,52 $\pm$ 0,30 a	17,52 $\pm$ 0,41 a	17,62 $\pm$ 0,24 a	17,42 $\pm$ 0,24 a	17,62 $\pm$ 0,12 a	17,62 $\pm$ 0,12 a
1,99	15,16 $\pm$ 0,95 a	15,78 $\pm$ 0,71 a	17,32 $\pm$ 0,30 a	17,32 $\pm$ 0,41 a	17,42 $\pm$ 0,24 a	17,21 $\pm$ 0,24 a	17,32 $\pm$ 0,06 a	17,42 $\pm$ 0,12 a
0,97	14,86 $\pm$ 1,01 a	15,57 $\pm$ 0,71 a	16,91 $\pm$ 0,41 a	17,11 $\pm$ 0,41 a	17,21 $\pm$ 0,24 a	17,01 $\pm$ 0,24 a	17,11 $\pm$ 0,06 a	17,21 $\pm$ 0,12 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.4.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида

У узорцима екстракта надземних делова клијанаца ротквице гајених при оптималним условима концентрација појединачних фенола одређена је RP-HPLC методом (Табела 39). Када су у питању фенолне киселине, у контролним клијанцима детектоване су синапинска ($2,21 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), хлорогенска ($1,52 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и 4-ХБК ($0,11 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг третмани имали су стимулативан ефекат на садржај 4-ХБК и хлорогенске киселине. У случају синапинске киселине није забележен позитиван ефекат прајминга, а измерене концентрације нису биле статистички значајно ниже у поређењу са контролом. Редокспрајминг са H_2O_2 испољио је доминантан утицај на повећање садржаја хлорогенске киселине, при чему је измерена концентрација ($4,17 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) била 2,74 пута већа него у контроли. Такође су значајне концентрације ове киселине забележене након редокспрајминга са АА ($2,38 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највећа концентрација 4-ХБК измерена је код клијанаца ротквице гајених из семена која су била подвргнута халопрајмингу ($0,27 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Поред тога, након примене прајминга евидентирани су значајне концентрације галне, сиригинске, *p*-кумарне киселине и 3,5-ДХБК. Сви прајминг третмани деловали су стимулативно на садржај галне киселине, а најзначајнији ефекат постигнут је након халопрајминга са KNO_3 ($1,26 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и MgSO_4 ($1,18 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), као и хормопрајминга са IAA ($1,12 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Редокспрајминг са АА индуковао је промене у садржају 3,5-ДХБК ($3,53 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Третмани редокспрајминга и хидропрајминга остварили су стимулативан ефекат на садржај сиригинске киселине, при чему је третман са АА постигао најбољи ефекат ($0,71 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг семена са IAA ($0,10 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и KNO_3 ($0,030 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) иницирао је значајне промену у садржају *p*-кумарне киселине.

Најзаступљенији флавоноиди у контролним клијанцима ротквице били су епикатехин ($10,10 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингин ($2,17 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), катехин ($1,70 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и рутин ($1,61 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг третмани су позитивно деловали на квалитативне и квантитативне промене у садржају флавоноида, али је забележена значајна разлика у њиховој ефикасности. Најзначајнији ефекат на садржај епикатехина у клијанцима ротквице испољио је хормопрајминг са IAA ($13,53 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), као и халопрајминг са KNO_3 ($13,52 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Поред тога, евидентиран је позитиван утицај ових третмана и на садржај катехина. Значајне концентрације мирицетина забележене су у клијанцима гајеним из семена која су била прајмирана са KNO_3 ($0,94 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и IAA ($0,89 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највеће концентрације нарингина измерене су након хидропрајминга ($2,40 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и халопрајминга са MgSO_4 ($2,39 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), док третмани са KNO_3 и АА нису индуковали промене у садржају овог једињења. Супротно томе, најзначајнији ефекат на садржај рутина постигао је халопрајминг са KNO_3 ($2,98 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и редокспрајминг са АА ($2,39 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највећа концентрација нарингинина такође је измерена након редокспрајминга са АА ($0,99 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), халопрајминга са KNO_3 ($0,97 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), као и након хидропрајминга ($0,97 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта).

Табела 39. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	НД	0,30 ± 0,08 c	1,12 ± 0,05 ab	1,18 ± 0,02 a	1,26 ± 0,01 a	0,39 ± 0,08 c	0,05 ± 0,01 d	0,91 ± 0,01 b
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	3,53 ± 0,82 a	НД	НД
4-ХБК	0,11 ± 0,02 a	0,20 ± 0,02 a	НД	0,27 ± 0,01 a	0,27 ± 0,15 a	0,17 ± 0,01 a	НД	НД
Катехин	1,70 ± 0,05 a	1,14 ± 0,02 a	2,15 ± 0,12 a	1,38 ± 0,02 a	1,97 ± 0,28 a	1,30 ± 0,29 a	1,26 ± 0,16 a	1,83 ± 0,73 a
Хлорогенска киселина	1,52 ± 0,03 c	2,14 ± 0,04 bc	2,00 ± 0,09 bc	2,08 ± 0,03 bc	2,01 ± 0,20 bc	2,38 ± 0,30 b	4,17 ± 0,24 a	2,05 ± 0,12 bc
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	0,71 ± 0,12 a	0,28 ± 0,10 b	0,17 ± 0,03 b
Епикатехин	10,10 ± 0,13 b	1,08 ± 0,09 d	13,53 ± 0,61 a	13,24 ± 0,16 a	13,52 ± 0,14 a	7,03 ± 0,12 c	13,07 ± 0,07 a	11,47 ± 0,65 ab
p-кумарна киселина	НД	НД	0,10 ± 0,02 a	НД	0,030 ± 0,00 b	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	2,21 ± 0,05 a	1,39 ± 0,12 a	1,32 ± 0,16 a	1,50 ± 0,06 a	1,97 ± 0,06 a	1,58 ± 0,13 a	1,53 ± 0,08 a	1,78 ± 0,49 a
Рутин	1,61 ± 0,09 b	1,49 ± 0,46 b	1,73 ± 0,09 b	1,89 ± 0,02 b	2,98 ± 0,10 a	2,39 ± 0,20 ab	1,58 ± 0,09 b	1,85 ± 0,17 b
Нарингин	2,17 ± 0,05 a	1,27 ± 0,54 a	0,64 ± 0,03 a	2,39 ± 0,21 a	НД	НД	1,90 ± 0,72 a	2,40 ± 0,47 a
Мирицетин	0,53 ± 0,01 bc	0,53 ± 0,08 bc	0,89 ± 0,05 a	0,80 ± 0,02 ab	0,94 ± 0,01 a	НД	0,80 ± 0,07 ab	0,52 ± 0,11 c
Кверцетин	0,19 ± 0,02 ab	НД	0,22 ± 0,01 ab	0,23 ± 0,02 a	0,19 ± 0,01 ab	НД	0,13 ± 0,01 b	0,15 ± 0,04 ab
Нарингенин	0,90 ± 0,01 a	0,91 ± 0,01 a	0,89 ± 0,02 a	0,94 ± 0,02 a	0,97 ± 0,02 a	0,99 ± 0,07 a	0,91 ± 0,01 a	0,97 ± 0,01 a
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Прајминг третмани остварили су стимулативан ефекат на квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида у клијанцима ротквице и у условима ниске температуре (Табела 40). Код контролних клијанца су детектоване синапинска ($1,77 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), хлорогенска ($1,21 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и 4-ХБК у ниској концентрацији ($0,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). У клијанцима гајеним из прајмираних семена детектоване су хлорогенска, синапинска, 4-ХБК, гална, 3,5-ДХБК и *p*-кумарна киселина. Прајминг третмани (са изузетком KNO_3) су деловали стимулативно на садржај хлорогенске киселине; хормопрајминг са IAA повећао је концентрацију хлорогенске киселине 5,46 пута ($6,61 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), а редокспрајминг са H_2O_2 2,73 пута ($3,31 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у односу на контролу. Највећа концентрација синапинске киселине измерена је након хидропрајминга ($2,86 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са MgSO_4 ($1,84 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг семена са IAA, H_2O_2 и KNO_3 индуковао је повећање садржаја 4-ХБК, при чему су измерене концентрације биле 2,86 до 4,86 пута веће у поређењу са контролом. Гална киселина је детектована у клијанцима гајеним из семена прајмираних са GA_3 ($1,04 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и IAA ($0,86 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Значајне концентрације 3,5-ДХБК евидентирани су након прајминга са GA_3 ($4,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), H_2O ($2,60 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и AA ($0,34 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Прајминг семена са GA_3 и MgSO_4 индуковао је промене у садржају *p*-кумарне киселине у клијанцима ротквице ($0,74 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта; $0,14 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта).

Када су у питању флавоноиди у клијанцима ротквице су детектована иста једињења као при гајењу у оптималним условима. Најзаступљенији флавоноиди у контролним клијанцима били су епикатехин ($8,41 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингин ($3,07 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), рутин ($1,75 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и катехин ($0,63 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највећа концентрација епикатехина ($9,50 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и катехина ($1,86 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) забележена је након редокспрајминга са H_2O_2 . Најзначајнији ефекат на садржај рутина испољио је халопрајминг са KNO_3 ($4,44 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), а затим хормопрајминг са GA_3 ($3,65 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и халопрајминг са MgSO_4 ($3,15 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Поред тога, није забележен стимулативни ефекат прајминга на садржај нарингина у поређењу са контролом. Са друге стране, евидентиран је доминантан ефекат хормопрајминга са IAA на промене у садржају мирицетина ($0,96 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и кверцетина ($0,21 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Након прајминга семена са IAA измерена је највећа концентрација нарингенина ($1,24 \mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима ротквице.

Табела 40. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

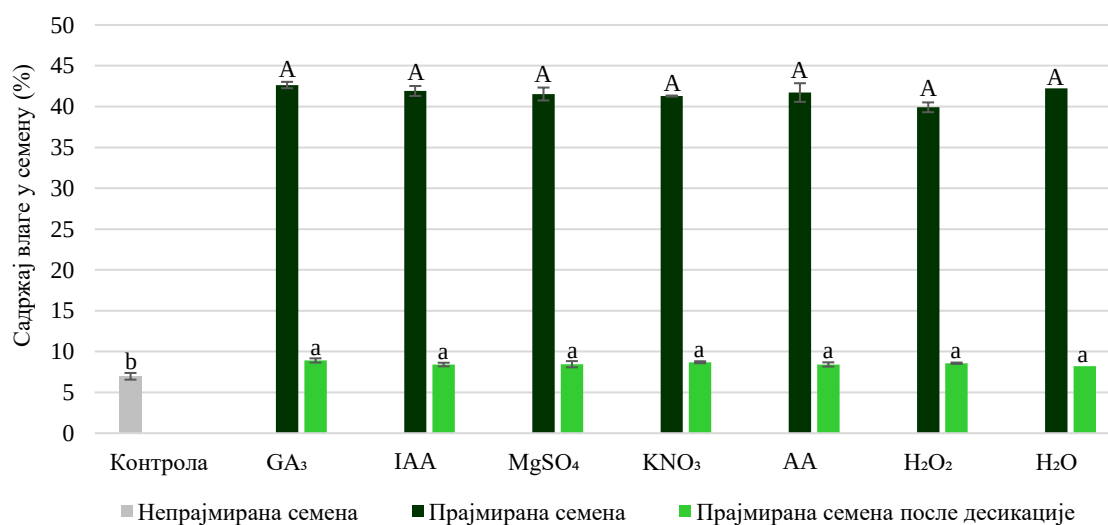
Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	НД	1,04 ± 0,04 a	0,86 ± 0,05 b	НД	НД	НД	НД	НД
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	4,07 ± 0,24 a	НД	НД	НД	0,35 ± 0,03 c	НД	2,60 ± 0,35 b
4-ХБК	0,07 ± 0,03 b	НД	0,34 ± 0,04 a	НД	0,20 ± 0,01 ab	НД	0,21 ± 0,05 ab	НД
Катехин	0,63 ± 0,23 a	1,03 ± 0,01 a	1,58 ± 0,16 a	1,00 ± 0,03 a	0,52 ± 0,07 a	0,53 ± 0,02 a	1,86 ± 0,90 a	0,71 ± 0,03 a
Хлорогенска киселина	1,21 ± 0,13 de	2,26 ± 0,11 c	6,61 ± 0,06 a	2,02 ± 0,04 c	1,00 ± 0,15 e	1,37 ± 0,03 de	3,31 ± 0,09 b	1,49 ± 0,05 d
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	0,19 ± 0,03 bc	0,45 ± 0,10 a	0,30 ± 0,03 ab	НД	НД	0,031 ± 0,003 c	НД
Епикатехин	8,41 ± 1,20 ab	8,14 ± 0,52 ab	2,17 ± 0,06 d	7,44 ± 0,61 abc	5,25 ± 0,39 bcd	6,04 ± 0,58 bc	9,50 ± 0,29 a	4,72 ± 0,96 cd
p-кумарна киселина	НД	НД	0,74 ± 0,02 a	0,14 ± 0,01 b	НД	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	1,77 ± 0,40 ab	1,68 ± 0,07 b	1,64 ± 0,03 b	1,84 ± 0,03 ab	1,08 ± 0,12 b	1,04 ± 0,13 b	0,95 ± 0,13 b	2,76 ± 0,35 a
Рутин	1,75 ± 0,45 d	3,65 ± 0,11 ab	1,49 ± 0,03 d	3,15 ± 0,02 abc	4,44 ± 0,35 a	1,94 ± 0,17 cd	2,11 ± 0,41 cd	2,75 ± 0,16 bd
Нарингин	3,07 ± 0,34 a	0,83 ± 0,02 c	0,030 ± 0,008 d	0,027 ± 0,005 d	НД	2,28 ± 0,02 b	НД	2,15 ± 0,15 b
Мирицетин	0,50 ± 0,07 b	НД	0,96 ± 0,02 a	НД	НД	0,13 ± 0,04 c	0,33 ± 0,07 bc	0,25 ± 0,04 c
Кверцетин	0,10 ± 0,01 b	0,051 ± 0,02 bc	0,20 ± 0,01 a	0,020 ± 0,009 c	НД	0,078 ± 0,005 bc	0,053 ± 0,004 bc	0,027 ± 0,006 c
Нарингенин	0,93 ± 0,01 a	0,92 ± 0,01 a	1,24 ± 0,30 a	0,88 ± 0,01 a	0,87 ± 0,00 a	0,87 ± 0,01 a	0,93 ± 0,02 a	0,92 ± 0,02 a
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	Н Д	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5. Парадајз (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce)

4.5.1. Садржај влаге у семену

Добијене вредности за садржај влаге у контролним семенима парадајза и семенима након различитих фаза прајминга приказане су на Графикону 28. Садржај влаге одмах након прајминга био је у опсегу од 39,91 до 42,64 %. Нису утврђене статистички значајне разлике између примењених третмана. Супротно томе, садржај влаге у непрајмираним семенима био је 5 до 6 пута мањи и износио је 6,97%. Садржај влаге у прајмираним семенима након десикације био је сличан код свих третмана, без значајних међусобних разлика, док је у поређењу са контролним семенима забележена статистички значајна разлика.



Графикон 28. Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима парадајза

Вредности представљају средњу вредност пет понављања $\pm$ стандардна грешка. Иста мала слова означавају да разлике између непрајмираног и прајмираног семена након десикације нису биле значајне. Иста велика слова означавају да разлике између семена након примене различитих прајминг агенаса нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.2. Карактеристике клијања

Утицај прајминга на карактеристике клијања семена парадајза при оптималним условима приказан је у Табели 41. Проценат клијања (GP) семена парадајза био је у опсегу од 67,78 до 85,55%. Између прајминг третмана и контроле нису утврђене статистички значајне разлике. Максимални проценат клијања постигнут је применом хормопрајминга са GA₃ и IAA. Добијене вредности за средње време клијања (MTG) биле су у опсегу од 2,64 до 4,75. Најповољнији ефекат остварен је након примене хормопрајминга са GA₃ и IAA и праћен је вредностима добијеним након редокспрајминга са AA. Значајан инхибиторни утицај на MTG забележен је након редокспрајминга са H₂O₂. Исти тренд евидентиран је за брзину клијања (RG) и униформност клијања (U), при чему су хормопрајминг (GA₃ и IAA) и редокспрајминг са AA постигли најистакнутији ефекат. Примена редокспрајминга са H₂O₂ индуковала је смањење брзине и униформности клијања у поређењу са контролом, али без статистички значајне разлике.

Табела 41. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена парадајза при оптималним условима

Третмани	GP	MTG	RG	U
Контрола	67,78 ± 1,11 a	3,19 ± 0,22 a	31,65 ± 2,36 ab	21,42 ± 1,46 bc
GA₃	85,55 ± 2,22 a	2,64 ± 0,06 a	37,97 ± 0,88 a	32,50 ± 1,32 a
IAA	77,78 ± 2,94 a	2,70 ± 0,08 a	37,14 ± 1,07 a	28,84 ± 0,76 ab
MgSO₄	71,11 ± 6,19 a	2,82 ± 0,35 a	36,54 ± 4,11 a	25,49 ± 1,21 ab
KNO₃	76,67 ± 5,77 a	3,14 ± 0,21 a	32,08 ± 2,02 ab	24,36 ± 0,53 ab
AA	71,11 ± 2,94 a	2,71 ± 0,21 a	37,39 ± 2,94 a	26,50 ± 1,79 ab
H₂O₂	68,89 ± 6,76 a	4,75 ± 0,13 b	21,08 ± 0,54 b	14,59 ± 1,74 c
H₂O	70,00 ± 5,77 a	3,35 ± 0,28 a	30,28 ± 2,39 ab	21,46 ± 3,36 bc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Прајминг третмани остварили су стимулативни ефекат на карактеристике клијања семена парадајза у условима ниске температуре (Табела 42). Добијене вредности за проценат клијања варирале су у опсегу од 45,56 до 82,22%. Највећи проценат клијања забележен је након хормопрајминга са GA₃ и праћен је вредностима добијеним после прајминга са KNO₃ и AA. Између ових вредности нису утврђене статистички значајне разлике. Истовремено, поменути прајминг третмани остварили су најповољнији ефекат на униформност клијања. Најзначајнији ефекат на средње време клијања забележен је након хормопрајминга са IAA (MTG = 4,63) и халопрајминга са KNO₃ (MTG = 5,00). Третмани код којих су евидентиране најповољније вредности за MTG испољили су и највећи ефекат на брзину клијања (RG = 21,77 при третману са IAA; RG = 20,02 при третману са KNO₃).

Табела 42. Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена парадајза под утицајем ниске температуре

Третмани	GP	MTG	RG	U
Контрола	45,56 ± 6,76 b	10,82 ± 0,60 c	9,29 ± 0,50 c	4,29 ± 0,78 c
GA₃	82,22 ± 1,11 a	5,31 ± 0,16 a	18,88 ± 0,57 ab	15,51 ± 0,26 a
IAA	66,67 ± 1,93 ab	4,63 ± 0,30 a	21,77 ± 1,49 a	14,46 ± 0,59 a
MgSO₄	64,44 ± 2,94 ab	5,12 ± 0,13 a	19,55 ± 0,48 ab	12,60 ± 0,64 a
KNO₃	77,78 ± 7,29 a	5,00 ± 0,14 a	20,02 ± 0,56 ab	15,62 ± 1,78 a
AA	76,67 ± 3,85 a	5,02 ± 0,15 a	19,94 ± 0,58 ab	15,31 ± 1,06 a
H₂O₂	65,56 ± 2,94 ab	8,37 ± 0,22 b	11,96 ± 0,32 c	7,84 ± 0,40 bc
H₂O	66,67 ± 5,77 ab	5,51 ± 0,19 a	18,18 ± 0,63 b	12,08 ± 0,86 ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.3. Карактеристике растења

Добијене вредности за карактеристике растења клијанаца парадајза при оптималним условима под утицајем прајминга приказане су у Табели 43.

Генерално, сви прајминг третмани су остварили стимулативни ефекат на карактеристике растења клијанаца парадајза у поређењу са контролом. Максимална дужина изданка евидентирана је након хормопрајминга са GA_3 (6,46 cm) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO_3 (5,83 cm). Није утврђена статистички значајна разлика између ових вредности. Најзначајнији утицај на дужину корена остварио је хормопрајминг са GA_3 (11,05 cm) и праћен је вредностима добијеним после редокспрајминга са AA (10,93 cm), при чему није забележена статистички значајна разлика између ових третмана. Халопрајминг са KNO_3 постигао је најповољнији утицај на свежу (20,39 mg) и суву масу (3,15 mg), са статистички значајном разликом у поређењу са осталим третманима.

Добијене вредности за вигор индекс дужине (SLVI) биле су у опсегу од 458,87 до 1498,04. Највећа вредност евидентирана је након хормопрајминга са GA_3 и она се статистички значајно разликовала од осталих третмана. Вредности за вигор индекс тежине (SWVI) биле су у опсегу од 0,56 до 1,56. Најизразитији утицај испољио је халопрајминг са KNO_3 .

У условима ниске температуре код клијанаца парадајза чија су семена претходно прајмирана забележено је побољшање карактеристика растења у односу на контролу (Табела 44). Доминантан утицај на дужину изданка забележен је након хормопрајминга са GA_3 (4,06 cm) и праћен је вредностима добијеним после халопрајминга са KNO_3 (3,83 cm). Није утврђена статистички значајна разлика између ова два третмана, али су добијене вредности биле статистички значајно различите у поређењу са осталим третманима. Највећа дужина корена измерена је након редокспрајминга са AA (9,98 cm) и хормопрајминга са IAA (9,73 cm), при чему није забележена статистички значајна разлика између ових вредности. Најзначајнији ефекат на свежу (26,04 mg) и суву масу (2,93 mg) постигнут је након халопрајминга са KNO_3 .

На основу вигор индекса дужине клијанаца парадајза уочава се значајан утицај прајминга у условима ниске температуре у поређењу са контролом. SLVI вредности биле су у опсегу од 377,21 до 1054,88. Највећа вредност евидентирана је након хормопрајминга са GA_3 и праћена је вредностима добијеним након прајминга са KNO_3 и AA, без статистички значајних разлика између ових третмана. Сличан тренд забележен је и у случају SWVI. Добијене вредности за вигор индекс тежине биле су у опсегу од 0,71 до 2,02. Најповољнији ефекат постигнут је прајмингом са KNO_3 и праћен је вредностима добијеним након хормопрајминга са GA_3 . Између ових вредности није утврђена статистички значајна разлика.

Табела 43. Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца парадајза гајених при оптималним условима

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	3,49 ± 0,39 e	3,28 ± 0,11 d	8,20 ± 0,000 e	1,71 ± 0,000 d	458,87 ± 7,51 d	0,56 ± 0,01 e
GA₃	11,05 ± 0,76 a	6,46 ± 0,17 a	14,36 ± 0,000 b	2,56 ± 0,000 b	1498,04 ± 38,93 a	1,23 ± 0,03 b
IAA	9,03 ± 0,40 bc	4,19 ± 0,13 b	11,19 ± 0,001 cd	2,33 ± 0,000 bc	1028,21 ± 38,86 b	0,87 ± 0,03 cd
MgSO₄	8,78 ± 0,43 c	4,31 ± 0,15 b	12,07 ± 0,000 bc	2,42 ± 0,000 bc	930,83 ± 80,97 bc	0,86 ± 0,07 cde
KNO₃	9,19 ± 0,45 abc	5,83 ± 0,19 a	20,39 ± 0,001 a	3,15 ± 0,000 a	1151,58 ± 86,72 b	1,56 ± 0,12 a
AA	10,93 ± 0,47 ab	3,98 ± 0,10 bc	13,66 ± 0,001 bc	2,33 ± 0,000 bc	1060,30 ± 43,83 b	0,97 ± 0,04 bc
H₂O₂	5,98 ± 0,36 d	3,43 ± 0,16 cd	9,23 ± 0,000 de	1,83 ± 0,000 d	648,25 ± 63,59 d	0,63 ± 0,06 de
H₂O	5,78 ± 0,22 d	4,28 ± 0,16 b	12,60 ± 0,001 bc	2,20 ± 0,000 c	704,20 ± 58,08 cd	0,88 ± 0,07 cd

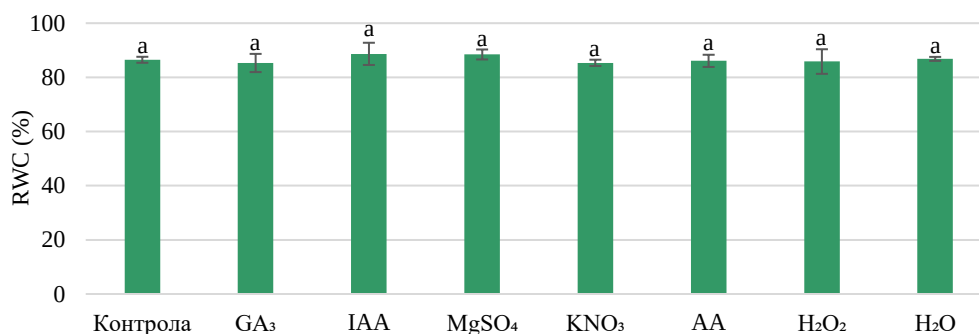
Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста**Табела 44.** Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца парадајза гајених при условима ниске температуре

Третмани	Дужина корена	Дужина изданка	Свежа маса	Сува маса	SLVI	SWVI
Контрола	5,72 ± 0,51 b	2,56 ± 0,08 c	15,62 ± 0,000 d	1,86 ± 0,000 d	377,21 ± 55,98 c	0,71 ± 0,11 d
GA₃	8,77 ± 0,41 a	4,06 ± 0,12 a	21,14 ± 0,001 b	2,44 ± 0,000 bc	1054,88 ± 14,24 a	1,73 ± 0,02 ab
IAA	9,73 ± 0,28 a	3,00 ± 0,11 bc	22,73 ± 0,001 ab	2,40 ± 0,000 bc	848,67 ± 24,51 ab	1,51 ± 0,04 bc
MgSO₄	9,64 ± 0,42 a	2,75 ± 0,10 bc	16,40 ± 0,001 cd	2,25 ± 0,000 bcd	798,45 ± 36,43 ab	1,06 ± 0,05 cd
KNO₃	9,03 ± 0,23 a	3,83 ± 0,17 a	26,04 ± 0,002 a	2,93 ± 0,000 a	1000,21 ± 93,72 a	2,02 ± 0,19 a
AA	9,98 ± 0,20 a	2,81 ± 0,08 bc	20,69 ± 0,001 bc	2,59 ± 0,000 ab	980,57 ± 49,22 a	1,59 ± 0,08 ab
H₂O₂	6,44 ± 0,48 b	2,95 ± 0,10 bc	19,93 ± 0,001 bcd	2,13 ± 0,000 cd	615,58 ± 27,61 bc	1,30 ± 0,06 bc
H₂O	9,68 ± 0,31 a	3,23 ± 0,11 b	24,01 ± 0,001 ab	2,70 ± 0,000 ab	860,71 ± 74,54 ab	1,60 ± 0,14 ab

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.4. Релативни садржај воде у листу

Релативни садржај воде у листу парадајза варирао је у опсегу вредности од 85,31 до 88,67% (Графикон 29). Максимални проценат RWC постигнут је након хормопрајминга са IAA. Супротно томе, најнижа вредност за RWC евидентирана је након хормопрајминга са GA₃. Између примењених прајминг третмана и контроле нису утврђене статистички значајне разлике.



Графикон 29. Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.5. Концентрација фотосинтетичких пигмената

Резултати добијени мерењем концентрација фотосинтетичких пигмената у листовима клијанаца парадајза у оптималним условима приказани су у Табели 45.

Максимална концентрација укупног хлорофила ($1,302 \text{ mg g}^{-1} \text{ SM}$) и хлорофила *a* ($0,709 \text{ mg g}^{-1} \text{ SM}$) постигнута је након халопрајминга са KNO₃ и праћена је вредностима добијеним после редокспрајминга са H₂O₂, без статистички значајне разлике између њих. У случају хлорофила *b* евидентиран је супротан тренд; највећа концентрација квантификована је у контроли ($0,453 \text{ mg g}^{-1} \text{ SM}$) и праћена је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO₃ и редокспрајминга са H₂O₂. Између ових вредности нису утврђене статистички значајне разлике. Значајан пад у концентрацији укупног хлорофила, хлорофила *a*, као и хлорофила *b* забележен је након хормопрајминга са GA₃.

Концентрација каротеноида варирала је у опсегу вредности од 0,047 до 0,061 $\text{mg g}^{-1} \text{ SM}$. Највећа концентрација ових пигмената измерена је након халопрајминга са MgSO₄ и праћена је вредностима добијеним након прајминга са H₂O₂ и KNO₃. Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности, али се највећа измерена вредност статистички значајно разликовала од контроле. Најмања концентрација каротеноида евидентирана је након хормопрајминга са IAA.

Табела 45. Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

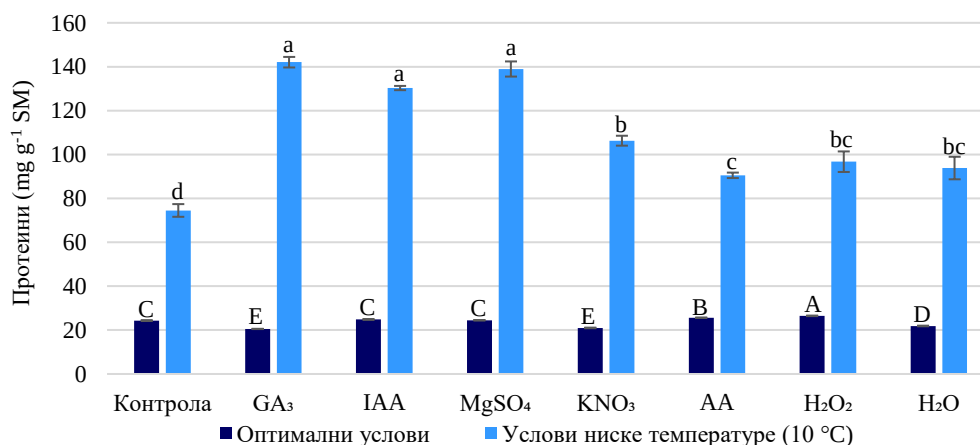
Третман	Укупни хлорофил	Хлорофил а	Хлорофил б	Каротеноиди
Контрола	$1,168 \pm 0,020$ a	$0,566 \pm 0,005$ bc	$0,453 \pm 0,012$ a	$0,049 \pm 0,000$ bc
GA ₃	$0,670 \pm 0,031$ c	$0,362 \pm 0,018$ e	$0,223 \pm 0,012$ c	$0,050 \pm 0,006$ abc
IAA	$0,885 \pm 0,031$ b	$0,475 \pm 0,016$ d	$0,298 \pm 0,011$ b	$0,047 \pm 0,002$ bc
MgSO ₄	$1,168 \pm 0,024$ a	$0,652 \pm 0,009$ ab	$0,399 \pm 0,005$ a	$0,061 \pm 0,001$ a
KNO ₃	$1,302 \pm 0,037$ a	$0,709 \pm 0,020$ a	$0,428 \pm 0,013$ a	$0,057 \pm 0,001$ ab
AA	$0,954 \pm 0,065$ b	$0,519 \pm 0,036$ cd	$0,313 \pm 0,020$ b	$0,045 \pm 0,003$ c
H ₂ O ₂	$1,266 \pm 0,026$ a	$0,693 \pm 0,015$ a	$0,412 \pm 0,008$ a	$0,058 \pm 0,001$ ab
H ₂ O	$0,974 \pm 0,016$ b	$0,528 \pm 0,009$ cd	$0,324 \pm 0,006$ b	$0,048 \pm 0,000$ bc

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.6. Концентрација укупних солубилних протеина

Ефекат прајминга на концентрацију укупних солубилних протеина у листовима клијанаца парадајза при оптималним условима и условима ниске температуре приказан је на Графикону 30.

У оптималним условима измерена концентрација укупних солубилних протеина варирала је у опсегу вредности од 20,52 до 26,49 mg g^{-1} SM. Максимална концентрација евидентирана је након редокспрајминга са H₂O₂ и AA. Добијене вредности су се статистички разликовале како међу собом, тако и у односу на остале третмане. Најмања вредност укупних солубилних протеина забележена је након хормопрајминга са GA₃.

**Графикон 30.** Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана

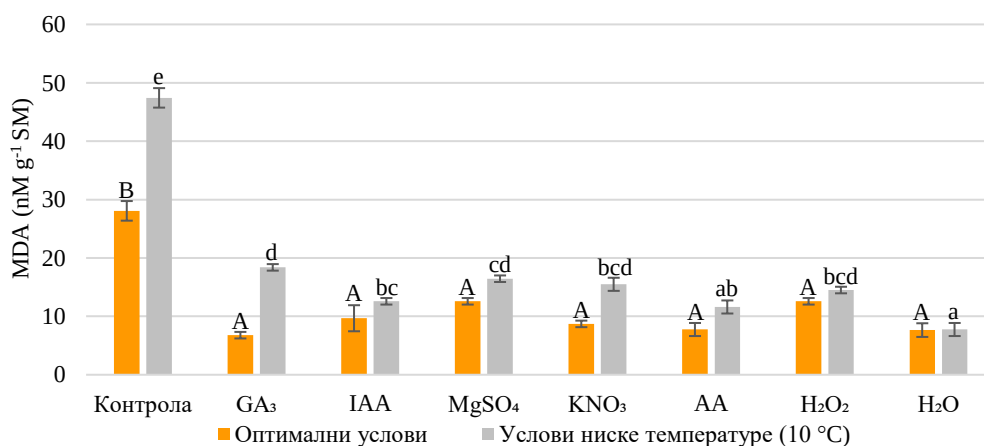
Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима ниске температуре квантификована концентрација укупних солубилних протеина била је у опсегу вредности од 74,51 до 142,07 mg g⁻¹ SM. Сви прајминг третмани испољили су значајан стимулативан ефекат на синтезу солубилних протеина у поређењу са контролом. Највећа концентрација измерена је у клијанцима парадајза добијеним из семенима која су била подвргнута хормопрајмингу са GA₃ и праћена је вредностима добијеним након прајминга са IAA и MgSO₄. Између ових третмана нису утврђене статистички значајне разлике. Најмања концентрација солубилних протеина евидентирана је у контроли.

4.5.7. Интезитет липидне пероксидације

Резултати мерења концентрације MDA као показатеља степена липидне пероксидације код клијанаца парадајза гајених при оптималним условима и условима ниске температуре приказани су на Графику 31.

Квантификована концентрација MDA била је у опсегу вредности од 7,75 до 47,42 nM g⁻¹ SM. Упоредивањем добијених вредности уочава се значајан позитиван ефекат свих примењених прајминг третмана на смањење степена липидне пероксидације у поређењу са контролом. Највећа способност инхибиције индуковане липидне пероксидације евидентирана је након примене хормопрајминга са GA₃, где је забележена најнижа концентрација MDA. Међутим, није било значајних разлика између ове вредности и вредности измерених након примене осталих прајминг третмана.



Графикон 31. Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g⁻¹ SM) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У условима ниске температуре добијене вредности за акумулацију MDA биле су у опсегу од 7,75 до 47,42 nM g⁻¹ SM. Концентрација MDA у клијанцима парадајза добијеним из прајмираних семена била је вишеструко нижа у поређењу са контролом. Најзначајнији ефекат испољио је хидропрајминг, а праћен је вредностима добијеним након редокспрајминга са AA. Између ових вредности нису утврђене статистички значајне разлике.

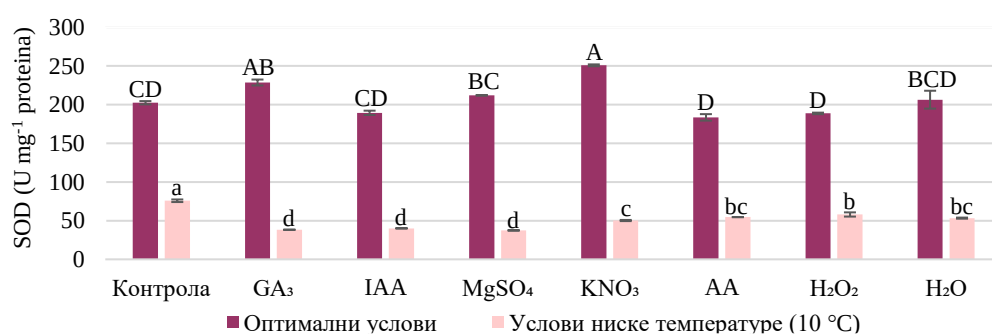
4.5.8. Активност ензимског антиоксидативног одбрамбеног система

Резултати добијени мерењем активности испитиваних антиоксидативних ензима (супероксид дисмутазе, каталазе и пероксидаза) у листовима клијанаца парадајза гајених при оптималним условима и условима ниске температуре приказани су на Графиконима 32 и 33.

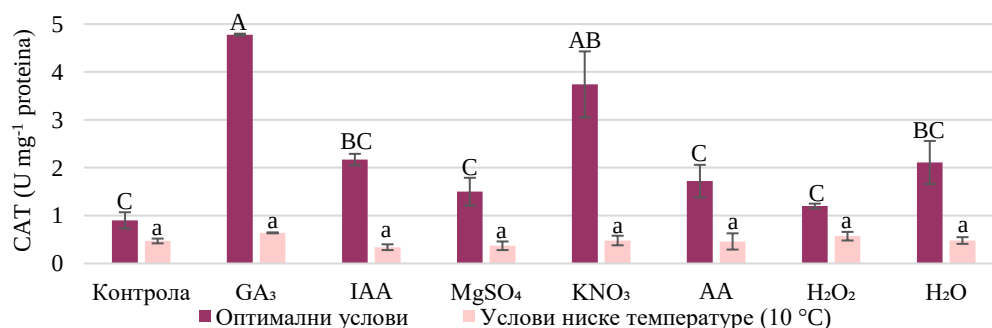
Активност **супероксид дисмутазе** (SOD) у оптималним условима, изражена у $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$, у листовима клијанаца парадајза варијала је у опсегу од 188,59 до 250,73. Ензим је био најактивнији након халопрајминга са KNO_3 и праћен је вредностима добијеним након хормопрајминга са GA_3 . Није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана, али се вредност измерена након халопрајминга са KNO_3 , значајно разликовала од осталих вредности. Најнижи ниво активности ензима евидентиран је при редокспрајмингу са H_2O_2 , али измерена вредност није била статистички значајно различита у поређењу са контролом (Графикон 32а).

У условима ниске температуре активност SOD у листовима клијанаца гајеним из непрајмираних семена износила је $75,71 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Прајминг третмани су индуковали статистички значајан пад у активност ензима, а добијене вредности биле су у опсегу од 38,24 до $57,97 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Најнижа активност SOD измерена је након хормопрајминга са GA_3 (Графикон 32а).

a)



b)



Графикон 32. Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) ($\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10°C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Примена прајминга индуковала је пораст нивоа активности **каталазе** (CAT) у оптималним условима у односу на клијанце добијене из непрајмираних семена. Активност CAT у контролним клијанцима износила је $0,90 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$, док се под утицајем прајминга активност овог ензима мењала у опсегу од 1,20 до $4,78 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Након прајминга семена са GA_3 и KNO_3 ниво активности ензима био је већи 4,15 до 5,31 пута у односу на контролу (Графикон 32б).

Када је у питању активност CAT у условима ниске температуре измерене вредности су биле у опсегу од 0,34 до $0,64 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Највећа активност CAT евидентирана је након хормопрајминга са GA_3 и праћена је вредностима добијеним после редокспрајминга са H_2O_2 . Најнижа активност ензима евидентирана је у клијанцима парадајза гајених из семена прајмираних са IAA. Није забележена статистички значајна разлика између прајминг третмана и контроле (Графикон 32б).

Измерена активност **аскорбат пероксидазе** (A POX) у оптималним условима била је у опсегу вредности од 0,0237 до $0,0350 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Сви прајминг третмани повећали су ниво активности ензима, а најзначајнији ефекат постигнут је након хормопрајминга са GA_3 и праћен је вредностима добијеним након хидропрајминга. Најнижа активност A POX измерена је у листовима контролних клијанаца (Графикон 33а).

У условима стреса изазваног ниском температуром активност A POX изражена у $\text{U mg}^{-1} \text{ proteina}$ код контролних клијанаца износила је 0,00902, а под утицајем прајминга активност ензима мењала се у опсегу од 0,00467 до $0,00814 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Прајминг третмани утицали су на смањење нивоа активности ензима у односу на контролу. Међутим, статистички значајан пад у активности A POX забележен је само након хормопрајминга са GA_3 и халопрајминга са MgSO_4 (Графикон 33а).

У случају **гвајакол пероксидазе** (G POX) активност ензима износила је $0,00030 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$ у контроли у оптималним условима. Након прајминга забележен је пораст нивоа активности, а добијене вредности биле су у опсегу од 0,00040 до $0,00064 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Статистички значајна разлика у активности G POX постигнута је након халопрајминга и редокспрајминга са AA, а најизразитији ефекат евидентиран је након третмана са AA. Међу осталим прајминг третманима нису утврђене статистички значајне разлике у односу на контролу (Графикон 33б).

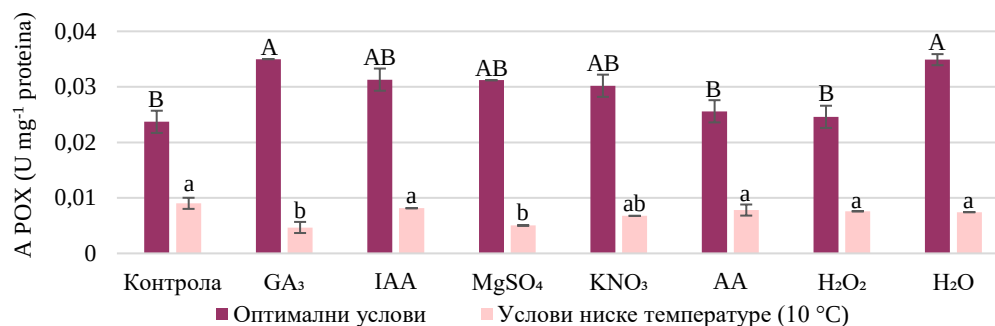
Измерена активност G POX у условима ниске температуре била је у опсегу вредности од 0,000138 до $0,000285 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Највиша активност ензима измерена је у контролном третману и праћена је вредностима добијеним након прајминга са AA и H_2O . Није утврђена статистички значајна разлика између ових третмана. Најнижа активност G POX евидентирана је након хормопрајминга са GA_3 (Графикон 33б).

Активност **пирогалол пероксидазе** (P POX) у оптималним условима била је у опсегу вредности од 0,0131 до $0,0211 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Ензим је био најактивнији у клијанцима парадајза гајеним из семена прајмираних са GA_3 . Међутим, статистички значајно већи ниво активности P POX утврђен је и након прајминга са AA, KNO_3 и IAA, док је најнижа активност измерена након редокспрајминга са H_2O_2 , али без статистичке значајности у односу на контролу (Графикон 33с).

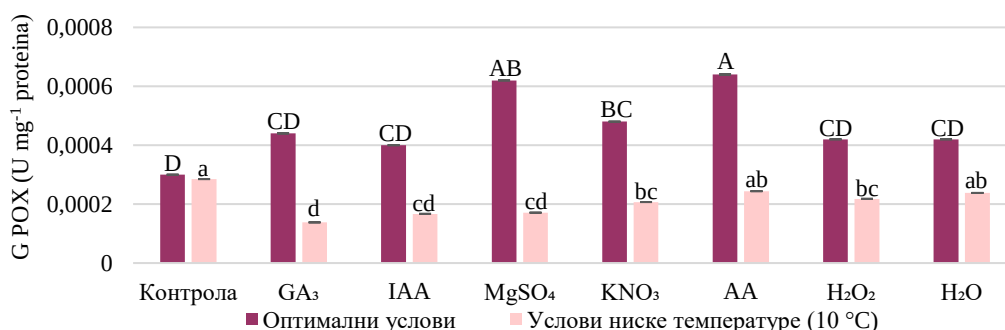
У условима ниске температуре активност P POX мењала се у опсегу од 0,00365 до $0,00680 \text{ U mg}^{-1} \text{ proteina}$. Највиша активност ензима постигнута је након редокспрајминга са AA, при чему је добијена вредност била статистички значајно

различита у односу на остале третмане. Као и у случају А РОХ и G РОХ, статистички значајан пад у активности Р РОХ утврђен је након хормопрајминга са GA_3 .

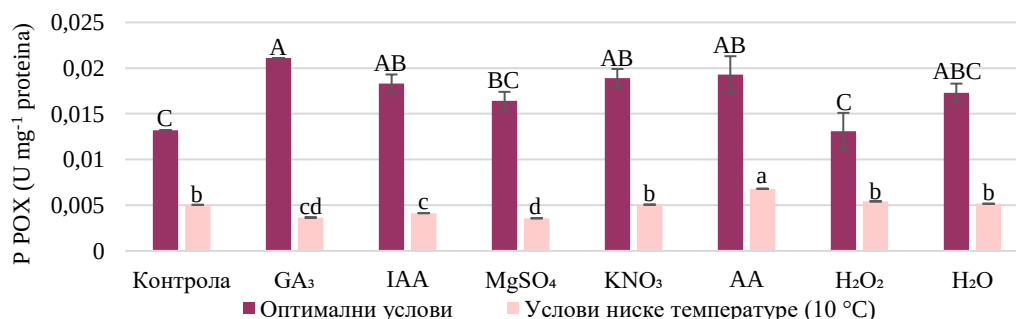
(a)



(b)



(c)



Графикон 33. Активност аскорбат пероксидазе (А РОХ) (a), гвајакол пероксидазе (G РОХ) (b) и пирогалол пероксидазе (Р РОХ) (c) (U mg⁻¹ proteina) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана

Иста велика слова (A, B, C...) означавају да разлике између третмана при оптималним условима нису биле значајне ($p > 0,05$); Иста мала слова (a, b, c...) означавају да разлике између третмана под утицајем ниске температуре (10 °C) нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.9. Концентрација укупних фенолних једињења и флавоноида

Измерене концентрације укупних фенолних једињења и флавоноида у екстрактима парадајза добијеним из клијанаца гајених у оптималним условима приказане су у Табели 46.

Концентрација фенолних једињења мењала се у опсегу од 15,73 до 22,27 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа вредност постигнута је након халопрајминга са MgSO₄. Између овог и осталих прајминг третмана забележена је статистички значајна разлика. Најмања вредност измерена је у контроли.

Мерењем концентрације укупних флавоноида добијене су вредности у опсегу од 22,99 до 25,66 mg RU g⁻¹ екстракта. Слично као код фенола прајминг третман са MgSO₄ испољио је доминантан утицај на садржај флавоноида, па је након наведеног третмана евидентирана највећа концентрација ових једињења у клијанцима парадајза. Најмања вредност забележена је у екстрактима добијеним из клијанаца гајених из семена прајмираних са GA₃, при чему су утврђене статистички значајне разлике у поређењу са осталим третманима.

Табела 46. Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g⁻¹ екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	15,73 ± 0,10 d	24,96 ± 0,06 e
GA₃	15,81 ± 0,16 d	22,99 ± 0,00 f
IAA	17,33 ± 0,17 bcd	25,17 ± 0,02 d
MgSO₄	22,27 ± 0,41 a	25,66 ± 0,03 a
KNO₃	18,28 ± 0,71 bc	25,27 ± 0,02 cd
AA	16,52 ± 0,33 cd	25,41 ± 0,02 bc
H₂O₂	18,85 ± 0,50 b	25,48 ± 0,03 b
H₂O	17,42 ± 0,70 bcd	25,13 ± 0,03 d

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Резултати добијени квантификацијом фенолних једињења и флавоноида у клијанцима парадајза гајеним у условима ниске температуре приказани су у Табели 47.

У условима стреса ниске температуре концентрација укупних фенола била је у опсегу од 16,67 до 18,99 mg GA g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација ових једињења измерена је након редокспрајминга са AA и праћена је вредностима добијеним после халопрајминга са KNO₃ и MgSO₄. Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Најмања концентрација флавоноида евидентирана је у контроли.

Концентрација флавоноида значајано је варијала у зависности од прајминг третмана. Добијене вредности биле су у опсегу од 20,28 до 24,50 mg RU g⁻¹ екстракта. Највећа концентрација постигнута је након халопрајминга са KNO₃ и праћена је вредностима измереним након прајминга са MgSO₄ и H₂O, без статистички значајних

разлика између њих. Значајан пад у синтези укупних флавоноида евидентиран је код хормопрајминга са GA_3 .

Табела 47. Концентрација укупних фенолних једињења ($mg\ GA\ g^{-1}$ екстракта) и укупних флавоноида ($mg\ RU\ g^{-1}$ екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Третмани	Укупна фенолна једињења	Укупни флавоноиди
Контрола	$16,67 \pm 0,33\ bc$	$21,05 \pm 0,13\ d$
GA_3	$18,18 \pm 0,37\ abc$	$20,28 \pm 0,20\ e$
IAA	$17,62 \pm 0,38\ abc$	$23,82 \pm 0,05\ bc$
$MgSO_4$	$18,28 \pm 0,63\ ab$	$24,15 \pm 0,03\ ab$
KNO_3	$18,66 \pm 0,51\ ab$	$24,50 \pm 0,07\ a$
AA	$18,99 \pm 0,59\ a$	$24,03 \pm 0,03\ b$
H_2O_2	$16,14 \pm 0,19\ c$	$23,49 \pm 0,02\ c$
H_2O	$17,81 \pm 0,08\ abc$	$24,05 \pm 0,02\ ab$

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.10. Укупна антиоксидативна активност

Укупна антиоксидативна активност клијанаца парадајза гајених у оптималним условима изражена је као проценат инхибиције DPPH радикала и приказана у Табели 48. Утврђена је зависност укупне антиоксидативне активности од примењеног прајминг третмана и концентрације екстракта, при чему је са повећањем разблажења екстракта дошло до пада у инхибицији DPPH радикала. Највећи проценат неутрализације DPPH радикала евидентиран је након халопрајминга са KNO_3 (57,48% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта) и праћен је вредностима добијеним после редокспрајминга са H_2O_2 (56,05% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта) без статистички значајне разлике између добијених вредности. Најнижи проценат инхибиције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта забележен је код контролних клијанаца (42,83% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта).

Резултати мерења неутрализације DPPH радикала под утицајем антиоксидативних једињења из екстраката клијанаца парадајза гајених при ниској температури приказани су у Табели 49. Анализом добијених вредности уочава се зависност од примењеног прајминг третмана и концентрације екстракта. Највећи антиоксидативни капацитет за редукцију DPPH радикала постигнут је након редокспрајминга са AA (63,52% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта) и праћен је вредностима добијеним након хормопрајминга са GA_3 (63,01% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта). Нису утврђене статистички значајне разлике између ових вредности. Најнижи степен редукције DPPH радикала при највећој концентрацији екстракта забележен је у контроли (44,88% инхибиције DPPH радикала за $500\ \mu g\ mL^{-1}$ биљног екстракта), са статистички значајном разликом у поређењу са осталим третманима.

Табела 48. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима пардајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	42,83 $\pm$ 0,59 d	48,57 $\pm$ 1,42 bcd	44,47 $\pm$ 1,30 cd	51,95 $\pm$ 1,71 abc	57,48 $\pm$ 1,13 a	54,72 $\pm$ 0,36 ab	56,05 $\pm$ 3,25 ab	50,31 $\pm$ 0,41abcd
250	26,33 $\pm$ 0,29 a	22,24 $\pm$ 0,89 a	20,60 $\pm$ 1,36 a	23,57 $\pm$ 0,71a	23,36 $\pm$ 1,30 a	25,00 $\pm$ 0,59 a	24,29 $\pm$ 2,07 a	26,64 $\pm$ 2,72 a
125	16,91 $\pm$ 0,41 a	16,50 $\pm$ 1,36 a	13,94 $\pm$ 1,30 a	16,60 $\pm$ 1,54 a	16,80 $\pm$ 1,18 a	16,19 $\pm$ 0,83 a	14,76 $\pm$ 1,89 a	15,06 $\pm$ 0,53 a
62,5	12,09 $\pm$ 1,18 a	12,81 $\pm$ 1,60 a	12,50 $\pm$ 1,06 a	13,32 $\pm$ 1,30 a	12,61 $\pm$ 1,12 a	13,63 $\pm$ 1,71 a	12,09 $\pm$ 2,25 a	12,60 $\pm$ 0,77 a
31,25	11,07 $\pm$ 1,30 a	11,07 $\pm$ 1,42 a	11,17 $\pm$ 1,36 a	11,17 $\pm$ 1,60 a	11,07 $\pm$ 1,89 a	11,78 $\pm$ 1,71a	11,17 $\pm$ 2,54 a	11,07 $\pm$ 1,18 a
15,62	10,14 $\pm$ 1,48 a	10,45 $\pm$ 1,66 a	10,25 $\pm$ 1,78 a	10,45 $\pm$ 1,78 a	10,45 $\pm$ 1,66 a	10,25 $\pm$ 1,89 a	9,22 $\pm$ 2,13 a	9,74 $\pm$ 1,36 a
7,81	9,53 $\pm$ 1,48 a	10,04 $\pm$ 1,54 a	10,04 $\pm$ 1,77 a	10,04 $\pm$ 1,66 a	10,25 $\pm$ 1,66 a	9,94 $\pm$ 1,83 a	8,81 $\pm$ 2,13 a	9,43 $\pm$ 1,42 a
3,90	9,33 $\pm$ 1,48 a	9,74 $\pm$ 1,48 a	9,74 $\pm$ 1,83 a	9,84 $\pm$ 1,65 a	10,04 $\pm$ 1,66 a	9,43 $\pm$ 1,66 a	8,61 $\pm$ 2,13 a	9,22 $\pm$ 1,42 a
1,99	9,12 $\pm$ 1,48 a	9,22 $\pm$ 1,66 a	9,53 $\pm$ 1,83 a	9,63 $\pm$ 1,66 a	9,73 $\pm$ 1,71 a	9,22 $\pm$ 1,66 a	7,89 $\pm$ 1,84 a	9,02 $\pm$ 1,42 a
0,97	8,92 $\pm$ 1,48 a	8,51 $\pm$ 1,95 a	9,23 $\pm$ 1,78 a	9,43 $\pm$ 1,66 a	9,53 $\pm$ 1,71 a	9,02 $\pm$ 1,66 a	7,69 $\pm$ 1,83 a	8,71 $\pm$ 1,48 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

Табела 49. Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима парадајза гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Екстракт $\mu\text{g mL}^{-1}$	Контрола	GA_3	IAA	MgSO_4	KNO_3	AA	H_2O_2	H_2O
500	44,88 $\pm$ 0,83 f	63,01 $\pm$ 0,53 bc	58,20 $\pm$ 0,12 d	60,55 $\pm$ 0,65 d	55,12 $\pm$ 0,35 e	63,52 $\pm$ 0,47 ab	54,00 $\pm$ 0,41 e	60,66 $\pm$ 0,24 cd
250	27,36 $\pm$ 0,06 e	36,27 $\pm$ 0,59 a	32,38 $\pm$ 0,47 bc	33,50 $\pm$ 0,77 b	30,94 $\pm$ 0,47 cd	34,12 $\pm$ 0,06 b	30,02 $\pm$ 0,30 d	33,09 $\pm$ 0,18 b
125	22,34 $\pm$ 0,24 a	23,87 $\pm$ 0,65 a	23,26 $\pm$ 0,65 a	23,05 $\pm$ 0,53 a	23,67 $\pm$ 0,18 a	23,87 $\pm$ 0,30 a	22,54 $\pm$ 0,12 a	23,57 $\pm$ 0,24 a
62,5	19,47 $\pm$ 0,12 c	21,21 $\pm$ 0,18 ab	20,39 $\pm$ 0,06 abc	20,90 $\pm$ 0,35 ab	20,59 $\pm$ 0,41 abc	21,11 $\pm$ 0,35 ab	20,18 $\pm$ 0,18 bc	21,62 $\pm$ 0,18 a
31,25	18,34 $\pm$ 0,06 b	19,67 $\pm$ 0,24 ab	19,47 $\pm$ 0,35 ab	19,77 $\pm$ 0,41 a	19,16 $\pm$ 0,18 ab	19,47 $\pm$ 0,35 ab	18,95 $\pm$ 0,06 ab	19,16 $\pm$ 0,30 ab
15,62	18,03 $\pm$ 0,00 a	19,06 $\pm$ 0,35 a	18,75 $\pm$ 0,30 a	19,06 $\pm$ 0,35 a	18,95 $\pm$ 0,18 a	18,95 $\pm$ 0,30 a	18,44 $\pm$ 0,12 a	18,75 $\pm$ 0,18 a
7,81	17,73 $\pm$ 0,06 a	18,65 $\pm$ 0,24 a	18,55 $\pm$ 0,30 a	18,55 $\pm$ 0,18 a	18,65 $\pm$ 0,24 a	18,65 $\pm$ 0,24 a	18,24 $\pm$ 0,12 a	18,55 $\pm$ 0,18 a
3,90	17,52 $\pm$ 0,06 a	18,44 $\pm$ 0,24 a	18,34 $\pm$ 0,30 a	18,34 $\pm$ 0,18a	18,44 $\pm$ 0,24 a	18,44 $\pm$ 0,24 a	18,03 $\pm$ 0,12 a	18,24 $\pm$ 0,12 a
1,99	17,32 $\pm$ 0,06 a	18,24 $\pm$ 0,24 a	18,14 $\pm$ 0,30 a	18,14 $\pm$ 0,18 a	18,24 $\pm$ 0,24 a	18,24 $\pm$ 0,24 a	17,83 $\pm$ 0,12 a	18,03 $\pm$ 0,12 a
0,97	17,11 $\pm$ 0,06 a	17,93 $\pm$ 0,18 a	17,83 $\pm$ 0,24 a	17,83 $\pm$ 0,24 a	17,83 $\pm$ 0,35 a	18,03 $\pm$ 0,24 a	17,62 $\pm$ 0,12 a	17,73 $\pm$ 0,06 a

Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

4.5.11. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида

Резултати квантификације појединачних фенолних једињења у екстрактима надземних делова клијанаца парадајза гајених у оптималним условима приказани су у Табели 50. Анализа је показала да су испитивани узорци садржали хлорогенску (од 4,25 до 7,42 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), синапинску (од 0,87 до 1,43 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и галну киселину (од 0,47 до 1,02 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Најзначајнији ефекат на повећање садржаја хлорогенске киселине постигнут је хормопрајмингом са GA_3 и праћен је вредностима добијеним након редокспрајминга са АА (6,99 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Халопрајминг са MgSO_4 значајно је инхибирао концентрацију ове киселине у поређењу са контролом. Највећа концентрација синапинске киселине измерена је након халопрајминга са KNO_3 , док је код осталих третмана измерена нижа концентрација ове киселине у поређењу са контролом, али без међусобне статистичке значајности. У клијанцима гајеним из непрајмираних семена није детектована гална киселина. Супротно томе, прајминг третмани (са изузетком халопрајминга) су индуковали повећање садржаја галне киселине у клијанцима. Највећа концентрација ове киселине измерена је након хормопрајминга са GA_3 и IAA (0,98 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта).

У случају флавоноида RP-HPLC методом детектовани су катехин (од 0,12 до 1,24 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингенин (од 0,91 до 1,06 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), рутин (од 0,26 до 0,93 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и нарингин (од 0,22 до 1,00 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Такође је евидентирано и присуство епикатехина код клијанаца гајених из семена која су прајмирана са H_2O_2 (0,95 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и IAA (0,11 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), при чему се измерене вредности статистички значајно разликују. Хормопрајминг са IAA повећао је садржај катехина више од 3 пута у поређењу са контролним клијанцима. Највећа концентрација рутина детектована је након редокспрајминга са АА и праћена је вредностима добијеним после хормопрајминга са IAA (0,79 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и хидропрајминга (80,04 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Највећа концентрација нарингина измерена је у контроли и праћена је вредностима добијеним након хидропрајминга (0,94 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Није утврђена статистички значајна разлика између ових вредности. Са друге стране евидентиран је инхибиторни ефекат осталих прајминг третмана на садржај нарингина у клијанцима. Најзначајнији ефекат на повећање садржаја нарингенина имао је халопрајминг са KNO_3 , док је након осталих прајминг третмана измерена слична концентрација овог једињења као и у контролним клијанцима.

Табела 50. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	НД	1,02 ± 0,03 a	0,98 ± 0,02 a	НД	НД	0,67 ± 0,27 a	0,47 ± 0,29 a	0,93 ± 0,02 a
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Катехин	0,40 ± 0,08 ab	0,36 ± 0,10 ab	1,24 ± 0,51 a	0,44 ± 0,03 ab	0,38 ± 0,04 ab	0,12 ± 0,09 b	0,35 ± 0,07 ab	0,60 ± 0,05 ab
Хлорогенска киселина	5,84 ± 0,21 cd	7,42 ± 0,15 a	6,29 ± 0,34 bc	4,25 ± 0,25 e	5,02 ± 0,10 de	6,99 ± 0,15 ab	5,80 ± 0,13 cd	6,47 ± 0,06 bc
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	НД	НД	0,11 ± 0,02 b	НД	НД	НД	0,95 ± 0,03a	НД
p-кумарна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	1,42 ± 0,03 a	1,07 ± 0,14 a	1,24 ± 0,28 a	0,89 ± 0,06 a	1,43 ± 0,04 a	1,23 ± 0,13 a	0,87 ± 0,01 a	1,39 ± 0,12 a
Рутин	0,58 ± 0,06 a	0,26 ± 0,08 a	0,79 ± 0,32 a	0,55 ± 0,09 a	0,77 ± 0,06 a	0,93 ± 0,24 a	0,59 ± 0,04 a	0,48 ± 0,08 a
Нарингин	1,00 ± 0,03 a	0,67 ± 0,04 bc	0,23 ± 0,04 d	0,28 ± 0,08 d	0,22 ± 0,06 d	0,39 ± 0,12 cd	0,40 ± 0,06 cd	0,94 ± 0,02 ab
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Нарингенин	0,96 ± 0,01 bc	0,91 ± 0,00 c	0,91 ± 0,00 c	0,91 ± 0,00 c	1,06 ± 0,02 a	0,97 ± 0,02 b	0,91 ± 0,00 c	0,96 ± 0,01 bc
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

У клијанцима парадајза гајеним у условима ниске температуре (Табела 51) детектоване су следеће фенолне киселине: хлорогенска (од 3,08 до 8,62 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), синапинска (од 1,03 до 3,25 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и гална (од 0,24 до 1,08 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Поред тога, у контролним клијанцима, као и у оним који су гајени из семена прајмираних са АА, детектована је и 4-ХБК (0,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта, односно 0,12 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Доминантан ефекат на повећање садржаја хлорогенске киселине испољио је редокспрајминг са АА, док је најмања концентрација ове киселине измерена након халопрајминга са KNO_3 . Слично томе, након прајминга са АА евидентирана је највећа, а након прајминга са KNO_3 најмања вредност концентрације галне киселине, при чему се измерене вредности статистички значајно не разликују од контроле. Најзначајнији ефекат на повећање садржаја синапинске киселине постигнут је након редокспрајминга са АА (3,25 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и праћен је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO_3 (2,19 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта).

Кад су у питању флавоноиди, у условима ниске температуре детектовани су рутин (од 1,02 до 3,34 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), нарингин (од 0,56 до 2,47 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) и катехин (од 0,25 до 0,78 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта). Генерално су сви прајминг третмани деловали стимулативно на садржај рутина. Најзначајнији ефекат евидентиран је након редокспрајминга са АА и праћен је вредностима добијеним након халопрајминга са KNO_3 (3,13 $\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта), при чему су измерене вредности биле 3 и више пута веће у поређењу са контролом. Хормопрајминг са IAA повећао је 3,2 пута садржај нарингина у клијанцима парадајза. Након хормопрајминга са IAA измерена је такође и највећа концентрација катехина. Супротно томе, остали прајминг третмани утицали су на смањење садржаја катехина у узорцима у поређењу са контролом.

Табела 51. Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима парадајза гајених у условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана

Једињења	Контрола	GA ₃	IAA	MgSO ₄	KNO ₃	AA	H ₂ O ₂	H ₂ O
Гална киселина	0,65 ± 0,21 ab	0,79 ± 0,00 ab	0,59 ± 0,25 ab	0,82 ± 0,03 ab	0,24 ± 0,03 b	1,08 ± 0,05 a	0,81 ± 0,04 ab	0,91 ± 0,04 a
3,4-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
3,5-ДХБК	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
4-ХБК	0,19 ± 0,00 a	НД	НД	НД	НД	0,12 ± 0,02 b	НД	НД
Катехин	0,67 ± 0,00 ab	0,46 ± 0,07 bcd	0,78 ± 0,03 a	0,50 ± 0,02 bcd	0,25 ± 0,01 d	0,56 ± 0,10 abc	0,37 ± 0,03 cd	0,44 ± 0,07 bcd
Хлорогенска киселина	5,86 ± 0,03 bc	6,52 ± 0,23 b	4,71 ± 0,07 cd	4,95 ± 0,04 bc	3,08 ± 0,90 d	8,62 ± 0,33 a	5,02 ± 0,07 bc	5,37 ± 0,17 bc
Кафеинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Сирингинска киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Епикатехин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
p-кумарна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Ферулна киселина	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Синапинска киселина	1,28 ± 0,01 ef	1,59 ± 0,07 d	1,03 ± 0,01 g	1,82 ± 0,02 c	2,19 ± 0,04 b	3,25 ± 0,07 a	1,14 ± 0,02 fg	1,38 ± 0,04 e
Рутин	1,02 ± 0,05 e	1,19 ± 0,12 de	1,77 ± 0,04 d	2,57 ± 0,14 bc	3,13 ± 0,12 ab	3,34 ± 0,14 a	2,53 ± 0,05 c	2,77 ± 0,21 abc
Нарингин	0,77 ± 0,02 c	1,81 ± 0,42 ab	2,47 ± 0,08 a	0,98 ± 0,02 c	1,17 ± 0,08 bc	0,56 ± 0,13 c	0,58 ± 0,03 c	1,02 ± 0,01 bc
Мирицетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кверцетин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Нарингенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Апигенин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД
Кризин	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД	НД

3,4-ДХБК – 3,4-дихидрокси бензоева киселина, 3,5-ДХБК-3,5-дихидрокси бензоева киселина, 4-ХБК – 4-хидрокси бензоева киселина, НД – није детектовано. Иста слова означавају да разлике између третмана нису биле значајне ($p > 0,05$) на основу Tukey теста

5. ДИСКУСИЈА

Развој метода за унапређење ефикасности клијања, растења и развића гајених биљака при оптималним и/или при неповољним условима спољашње средине, један је од важних циљева одрживе пољопривредне производње. Једна од метода која се показала као најефикаснија када је у питању побољшање квалитета семена, динамике клијања и перформанси гајених биљака, јесте прајминг метода. Ова метода се заснива на модулацији метаболичких активности у семену током друге фазе процеса клијања, а пре израстања радикуле (Tounekti и сар., 2020). На тај начин прајминг регулише различите молекуларне, биохемијске и физиолошке процесе у биљкама и има кључну улогу у њиховом растењу и развићу (Nakaune и сар., 2012; Tian и сар., 2014).

Десикација семена током прајминга индукује промене на нивоу ћелија, као што су деоба ћелија, синтеза нуклеинских киселина, синтеза протеина, производња АТР, акумулација липида, синтеза антиоксидативних једињења и репарација оштећених ћелија. У систему репарације оштећених ћелија репарација ДНК има најважнију улогу; у случају да она изостане оксидативна оштећења могу довести до смрти ћелија током клијања (Paparrella и сар., 2015). Бројне студије су показале да се протеини, угљени хидрати и ензими који мобилишу липиде активирају током прајминга семена (Nameed и сар., 2013). Доказано је да се активност ензима α -амилазе, заједно са укупним растворљивим шећерима, као и синтеза протеина, повећава након прајминга због повећане синтезе rRNA и побољшаног интегритета рибозома. Такође, у фази дехидрације је стимулирана производња антиоксидативних ензима као што су супероксид дисмутаза, каталаза и пероксидаза и одржавање равнотеже између настанка и елиминације реактивних форми кисеоника (водоник пероксид, супероксид и хидроксилни радикали) (Farook и сар., 2011).

Прајминг може бити незаменљива метода за производњу биљака отпорних на различите врсте абиотичког стреса (Paparrella и сар., 2015). Ово је значајно из разлога што је продуктивност гајених биљака у великој мери условљена негативним факторима животне средине. Ниска температура представља један од доминантних видова абиотичког стреса који значајно утиче на распрострањеност биљних врста у природи, специфичност њиховог растења и развића, као и на продуктивност (Akula и Ravishankar, 2011; Ding и сар., 2022). Реакција биљака на температурни стрес изазван ниском или високом температуром зависи од његовог нивоа, трајања и биљне врсте (Szymańska и сар., 2017). Температурне флукуације могу да промене ћелијску хомеостазу и тако негативно утичу на одвијање биохемијских и физиолошких процеса (Bose и сар., 2022). Субоптималне температуре су главни ограничавајући фактор који доводи до смањења продуктивности, па чак и потпуног пропадања гајених биљака (Lukatkin и сар., 2012), при чему је забележен веома негативан утицај ниских температура на продукцију усева (Liu и сар., 2019). Такође, ниска температура успорава растење, органогенезу и метаболичке процесе у биљкама, па се повећање толеранције на хладноћу сматра кључним решењем за оптимизацију биљне производње и њихов нутритивни квалитет (Fodorpataki и сар., 2019). Последњих година прајминг метода се интензивно користи за побољшање толеранције биљака на температурни стрес (Hussain и сар., 2016; Li и сар., 2017; Hussain и сар., 2018).

Клијање семена је једна од најважнијих фаза животног циклуса биљака и сматра се иницијалном и критичном детерминантом продуктивности, па се стимулација клијања семена може користити као основна метода за повећање продуктивности многих гајених биљака (Demir и сар., 2018). Примена прајминга коришћењем различитих техника и средстава сматра се ефикасном у побољшању укупне клијавости

и униформности клијања семена (Adhikari и сар., 2020; Karim и сар., 2020). У складу са тим, примена прајминга може у великој мери побољшати квалитет семена комерцијално гајених биљака, што је од великог економског значаја за пољопривредну производњу на глобалном нивоу. Позитивне ефекте прајминг методе на перформансе клијања семена при различитим условима спољашње средине забележили су Espanany и сар., (2015), Moori и Eisvand (2017), Ruttanaruangboworn и сар., (2017), Rai-Kalal и Jajoo (2021), Mazhar и сар., (2022) и Liang и сар., (2023).

Резултати ове докторске дисертације су такође показали значајно побољшање параметара клијања након примењених прајминг третмана код свих испитиваних врста биљака. Свеукупни позитиван утицај прајминг третмана може се повезати са повећањем садржаја воде у семену након прајминга (Badek и сар., 2006). Према Shah и сар., (2019) боље перформансе клијања семена након прајминга могу бити у вези са ефикаснијом имбибицијом када, због активације ензимског система, долази до пуцања семеног омотача. У истраживањима спроведеним у оквиру дисертације примењени прајминг третмани разликовали су се по ефикасности. Код су у питању житарице (пшеница, јечам, овас) најизраженији ефекат на карактеристике клијања при оптималним условима постигнут је након хормопрајминга са GA_3 (код све три врсте), а добри резултати добијени су и након халопрајминга са KNO_3 и $MgSO_4$ код пшенице, редокспрајминга са АА код јечма и хормопрајминга са IAA код овса. Слична запажања забележена су и при гајењу биљака у условима ниске температуре. На основу досадашњих сазнања и литературних података ово истраживање даје прве податке о клијавости прајмираних семена житарица у условима стреса изазваног ниском температуром. Добијени резултати указују на то да се испитиване врсте житарица могу сматрати независним од ниске температуре ($10\text{ }^{\circ}C$) с обзиром да је забележен висок проценат проклијалих семена у кратком временском периоду. Добијени резултати су у складу са литературним подацима у којима се наводи да прајмирано семе може бити профитабилније у пољопривреди од непрајмираног семена из много разлога, пре свега због скраћеног средњег времена клијања (Thakur и сар., 2022), што представља суштинску предност у биљној производњи; на тај начин се може превазићи стрес изазван дејством спољашње средине и побољшати растење и развиће биљака (Gardarin и сар., 2016; Wojtyła и сар., 2016).

Када је реч о испитиваним повртарским биљкама (ротквица и парадајз), најзначајнији ефекат на укупну клијавост при оптималним условима постигнут је приликом прајминга са АА и KNO_3 код ротквице, док је код парадајза највећи ефекат испољио хормопрајминг. Оптимални ефекат на средње време клијања (MTG), брзину (RG) и униформност клијања (U) семена ротквице остварен је након прајминга са H_2O_2 и GA_3 . Код семена парадајза најизразитији утицај на карактеристике клијања евидентиран је након хормопрајминга. У условима ниске температуре најизраженији ефекат на динамику клијања семена ротквице имали су хормопрајминг са GA_3 и редокспрајминг са H_2O_2 ; на динамику клијања семена парадајза највећи утицај имали су хормопрајминг и халопрајминг са KNO_3 .

На основу добијених резултата може се издвојити ефекат хормопрајминга са GA_3 као третман који је показао најизразитији позитиван ефекат на карактеристике клијања код свих испитиваних биљних врста. Добро је познато да гиберелинска киселина има вишеструку улогу у растењу и развићу биљака, са значајним утицајем на процесе током клијања семена. Овај фитохормон утиче на пропустљивост ћелијске мембране, мобилизацију хранљивих материја у ћелији и индуковање синтезе различитих аминокиселина и хидролитичких ензима што доводи до побољшања клијавости семена (Hedden и Phillips, 2000; Zhang и сар., 2007). Примена GA_3 кроз прајминг скраћује

време клијања повећавајући апсорпцију воде и метаболичке активности у семену (Nouri и Haddioui, 2021; Shahzad и сар., 2021). Бенефицијални ефекат IAA на клијавост и динамику клијања може бити резултат биохемијских промена у структури семена, активирања ензима који имају кључну улогу у процесу клијања, као и регулације ендогених хормона и метаболизма сахарозе (Toklu и сар., 2015; Zhao и сар., 2020). Повећање процента клијавости након халопрајминга са $MgSO_4$ може се приписати улогама Mg^{2+} у бројним метаболичким путевима у семену као што је синтеза енергетски богатих једињења, активирање ензима, транспорт јона и одржавање осмотске равнотеже (Xuan и сар., 2022). Слично томе, позитиван ефекат KNO_3 настаје као резултат његовог утицаја на пропустљивост ћелијских мембрана, при чему долази до активирања ензима који учествују у метаболизму угљених хидрата и синтези протеина, што је у сагласности са радом који су објавили Espanany и сар., 2016. Поред тога, стимулативни ефекти прајминга са KNO_3 могу се повезати са његовом улогом у регулацији хормона који инхибирају клијање, као што је апсцисинска киселина (Magray и сар., 2023). Према Alves и сар., (2021) прајминг семена са AA утиче на бројне процесе који побољшавају физиолошку активност ембриона и будућих клијанаца. Стимулативни ефекат на клијање семена ротквице изазван прајмингом са H_2O_2 може се приписати смањењу ендогеног садржаја H_2O_2 , повећаној експресији гена који су укључени у синтезу протеина касне ембриогенезе (eng. *late embryogenesis abundant* – LEA) и протеина топлотног стреса (eng. *heat shock proteins* – HSP), ефикаснијем антиоксидативном систему и високом фотосинтетичком капацитету (Kubala и сар., 2015 b). У литератури се могу наћи подаци о позитивном ефекту редокспрајминга са H_2O_2 на динамику клијања (Wojtyla и сар., 2016; Miladinov и сар., 2018). Водоник пероксид је реактивни молекул који има двоструку улогу у физиолошким и развојним процесима биљака: са једне стране то је токсичан молекул, док са друге има улогу као сигнални молекул (Wojtyla и сар., 2016). Као кључни сигнални молекул H_2O_2 је повезан са међућелијском концентрацијом CO_2 и истовремено покреће липидну пероксидацију у листовима биљака. Претпоставља се да повећан ниво H_2O_2 може утицати на регулацију производње секундарних метаболита. У истраживањима спроведеним у овој дисертацији H_2O_2 , који је коришћен за редокспрајминг третман деловао је инхибиторно на клијавост семена, вигор индекс продуктивности, синтезу хлорофила и садржај секундарних метаболита код јечма, на синтезу хлорофила и каротеноида код ротквице, као и на синтезу хлорофила код овса.

Резултати добијени у оквиру дисертације су такође показали да је прајминг испољио позитиван утицај на елонгацију корена и изданка, као и на свежу и суву масу тестираних биљака. Генерално, најистакнутији ефекат на издуживање изданка, како при оптималним тако и при условима ниске температуре, остварио је хормопрајминг са GA_3 . Гиберелинска киселина као регулатор растења подстиче различите физиолошке реакције код биљака чиме последично стимулише процес клијања и растење биљака (Iqbal и Ashraf, 2013). Она индукује транскрипцију гена одговорних за елонгацију ћелија и ћелијске деобе током растења биљака (Sun, 2010). Такође стимулише експресију хидролитичких ензима укључених у конверзију скроба у шећер па на тај начин, контролисањем акумулације и искоришћавања скроба, може утицати на укупно растење биљака (Miceli и сар., 2019). Поред тога, GA_3 побољшава транспорт јона у биљним ткивима са директним утицајем на растење биљке и ефикасност коришћења азота (Bai и сар., 2016). Потенцијал гиберелинске киселине да повећа толеранцију гајених биљака на абиотички стрес потврдили су Iftikhar и сар., (2019) и Khan и сар., (2020). Поред тога, многи истраживачи су указали на значајан утицај хормопрајминга са GA_3 на квалитет семена и растења биљака (Ghodrat и сар., 2012; Chunthaburee и сар., 2014; Ulfat и сар., 2017; Ma и сар., 2018; Dhillon и сар., 2021).

Хормопрајминг са IAA и редокспрајминг са AA остварили су најповољније дејство на издуживање корена испитиваних врста житарица у условима ниске температуре, као и на издуживање корена тестираних повртарских биљака како при оптималним, тако и при условима стреса изазваног ниском температуром. Са друге стране, хидропрајминг је био најповољнији третман за побољшање растења клијанаца пшенице при оптималним условима, са израженим стимулативним дејством на издуживање корена и свежу масу. Најзначајнији ефекат на дужину корена код клијанаца јечма гајених у оптималним условима испољио је редокспрајминг са H_2O_2 , док је за повећање дужине корена клијанаца овса најефикаснији био халопрајминг са KNO_3 .

Витамины су једињења која имају улогу биорегулатора и прекурсора хормона, а бројни физиолошки процеси, као што су апсорпција воде и деоба ћелија, зависе од доступности витамина (Gaafar и сар., 2020). AA (витамин Ц) је укључена у разне ензимске реакције и од суштинског је значаја за бројне аспекте растења биљака, укључујући регулацију ћелијског циклуса, деобу ћелија и развој ембриона. Промене у нивоу AA значајно мењају профил експресије биљних гена повећавајући могућности одвијања вишеструких реакција након промене садржаја AA (Gallie, 2013). У стресним условима AA делује као ефикасан антиоксиданс елиминишући негативне ефекте слободних радикала у семену (Smirnoff и Wheeler, 2000). Побољшано растење корена након прајминга са AA сугерише да је овај витамин у стању да стимулише неке ћелијске процесе, укључујући деобу ћелија и апсорпцију хранљивих материја у биљним ћелијама (Salemi и сар., 2019). Према Mnafigui и сар., (2022) хормопрајминг са IAA побољшава растење корена. Аутори су навели да ауксини посредују у есенцијалним процесима растења и развића биљака као што је издуживање ћелија и индукција растења корена и делују као сигнални молекули у стресним условима спољашње средине. Имплементација IAA током прајминга стимулише растења корена биљака модулацијом синтезе и равнотеже ендогених фитохормона, односно повећањем садржаја IAA и GA₃ и смањењем садржаја ABA (Zhao и сар., 2020). Штавише, прајминг са IAA подстиче растење биљака регулацијом метаболизма сахарозе и активирањем ензима повезаних са овим процесом, чиме се повећава садржај растворљивих шећера и последично убрзава растење биљака (Ruan, 2014; Zhao и сар., 2020). Редокспрајминг са H_2O_2 промовише растење корена клијанаца јечма повећањем активности ензима који хидролизују скроб, интензивирањем ћелијских деоба, одржавањем интегритета ћелијских мембрана, као и повећањем укупне антиоксидативне активности (Abdel Latef и сар., 2019; Migahid и сар., 2019; Ellouzi и сар., 2021). Стимулативни ефекат хидропрајминга повезан је са репарацијом и синтезом нуклеинских киселина, повећаном синтезом протеина, обнављањем оштећених мембрана, повећањем активности ензима глиоксизома и модулацијом ензима укључених у метаболизам угљених хидрата (Peng и сар., 2013). Многи аутори су сугерисали да је примена хидропрајминга ефикасан алат за побољшање клијања и развој биљака при различитим условима спољашње средине (Li и сар., 2011; Zulueta-Rodríguez и сар., 2015; Zida и сар., 2018; Damalas и сар., 2019; Forti и сар., 2020; El-Sanatawy и сар., 2021).

Халопрајминг са KNO_3 деловао је ефикасно на издуживање корена клијанаца овса, али је такође значајно утицао и на промену суве и свеже масе клијанаца свих испитиваних врста биљака. Калијум нитрат због своје нутритивне вредности, осим што делује као со, има и својство регулатора растења са значајним утицајем на биљну масу (Anwar и сар., 2020). Калијум нитрат истовремено снабдева биљке са два макронутријента – јонима калијума (K^+) и анјонима нитрата (NO_3^-) који играју важну улогу у одржавању мембранског потенцијала, структуре ћелијског зида, елонгацији и деоби ћелија (Anwar и сар., 2020). У складу са тим, ефекти овог прајминг третмана могу

бити повезани са стимулацијом деобе и елонгације ћелија, синтезом и/или репарацијом генетичког материјала и активацијом ензима за мобилизацију, укључујући амилазе, дехидрогеназе и фосфатазе (Ali и сар., 2021). Farooq и сар., (2011) су потврдили да прајминг семена неорганским солима делује стимулативно на издуживање корена и изданка, као и на укупну биљну масу. До сличних запажања дошли су и Shehzad и сар., (2012) и Moaaz и сар., (2020).

Резултати добијени у оквиру ове дисертације су указали на значајан ефекат свих примењених прајминг третмана на вигор индекс клијанаца тестираних врста. Процена вигор индекса за одређивање квалитета семена је важан параметар продуктивности јер се на овај начин одређује вијабилност семена, као и способност семена да произведе квалитетне биљке у условима сличним оним у агроекосистемима (Bojović и сар., 2018). Високе вредности вигор индекса дужине и вигор индекса тежине клијанаца имплицирају да ће биљке имати најбржу могућу клијавост, висок проценат клијавости, већу биомасу и већу лисну површину (Schuch и сар., 2000). На основу резултата добијених за вигор индекс, као и раног растења клијанаца, може се очекивати да ће почетни стадијуми растења и развића у оптималним условима бити бољи након прајминга са H_2O и KNO_3 код пшенице, са GA_3 и AA код јечма, са GA_3 и KNO_3 код овса и парадајза, а са AA и KNO_3 код ротквице. У условима ниске температуре најбољи резултати су постигнути након прајминга са GA_3 и KNO_3 код пшенице, јечма и парадајза, са GA_3 код овса, док је прајминг са IAA и KNO_3 било најефикасније код раних стадијума растења и развића клијанаца ротквице.

Садржај воде у листовима, као најважнији показатељ степена хидратације ћелија и ткива, пресудан је за оптималну физиолошку функционалност и процес растења, тако да одржавање релативно високог садржаја воде у листовима може довести до повећања толеранције биљака на стресне услове спољашње средине (Colom и Vazzana, 2003; 2003; Foster и сар., 2015). Према Sintaha и сар., (2022), биљке произведене из прајмираних семена могу остати хидратисане при неповољним условима захваљујући одржавању повољног садржаја воде и јачој експресији гена повезаних са стресом. Резултати добијени у оквиру ове докторске дисертације показали су да су различити прајминг третмани имали доминантан ефекат на садржај воде код тестираних биљака. Редокспрајминг са AA код пшенице, хидропрајминг код јечма и овса, халопрајминг са KNO_3 код ротквице и хормопрајминг са IAA код парадајза довели су до повећања садржаја воде у листовима у поређењу са клијанцима добијеним из непрајмираних семена. На основу тога може се закључити да је прајминг утицао на побољшање физиолошких перформанси тестираних биљака и омогућио биљкама да одрже оптималну хидратацију протопласта дужи временски период у неповољним условима. Резултати добијени на основу спроведених истраживања указују да је прајминг имао позитиван ефекат на одржавање веће вредности RWC код испитиваних биљака, што је у складу са Sasi и сар., (2021) и Shah и сар., (2021). Позитивни ефекти прајминга на садржај воде у листовима потврђени су и раније (Zhang и сар., 2015; Tabassum и сар., 2018; Yaghoubian и сар., 2022).

Фотосинтеза је елементарни физиолошки процес, а интензитет и продуктивност фотосинтезе су у нераскидивој вези са садржајем пигмената хлоропласта, пре свега хлорофила *a*, хлорофила *b* и каротеноида (Gengmao и сар., 2015). Према Anjum и сар., (2011) фотосинтетички потенцијал директно зависи од концентрације фотосинтетичких пигмената, што се последично одражава и на примарну продукцију биљака. Резултати истраживања ове дисертације показали су да се прајминг методом повећава концентрација фотосинтетичких пигмената испитиваних гајених биљака. Међутим, код различитих биљних врста биле су ефикасне различите технике прајминга, као и

различита једињења коришћена за прајминг. Тако је у листовима клијанаца пшенице била значајно повећана концентрација фотосинтетичких пигмената након халопрајминга (коришћењем MgSO_4 и KNO_3) у поређењу са контролом. Прајминг третмани са KNO_3 , IAA и AA остварили су најповољнији ефекат на концентрацију хлорофила код клијанаца јечма, док је редокспрајминг са H_2O_2 био најефикаснији за повећање садржаја каротеноида. У случају клијанаца овса најзначајнији ефекат на повећање концентрације хлорофила забележен је након прајминга са IAA и MgSO_4 , а на повећање концентрације каротеноида највећи утицај испољио је прајминг са H_2O и MgSO_4 . Хормопрајминг са IAA остварио је доминантан ефекат на повећање синтезе фотосинтетичких пигмената у листовима клијанаца ротквице. Код клијанаца парадајза најизразитији ефекат на синтезу хлорофила евидентиран је након халопрајминга са KNO_3 и редокспрајминга са H_2O_2 , а на синтезу каротеноида након халопрајминга са MgSO_4 . Са друге стране, примена хормопрајминга са GA_3 инхибирала је синтезу хлорофила код ротквице и парадајза, као и синтезу каротеноида код јечма и овса, што може бити повезано са повећаном концентрацијом ROS (насталих у фази десикације) која модулира експресију гена који су директно или индиректно укључени у биосинтезу фотосинтетичких пигмената (Moula и сар., 2020; Elango и сар., 2023). Позитивни ефекат халопрајминга са KNO_3 на биосинтезу фотосинтетичких пигмената бележе и Zrig и сар., (2022) и Nabibi и сар., (2023). Модулација отварања и затварања стома током фотосинтезе је витални процес који регулише континуирану фотосинтезу. Сходно томе, стимулативни ефекат прајминга са KNO_3 на фотосинтезу огледа се у снабдевању стоминих ћелија јонима K^+ који имају значајну улогу у регулацији отварања и затварања стома чиме се одржава и баланс уласка CO_2 и уклањања H_2O из међућелијских простора, али и подстиче активација ензима АТФ синтазе (Hasanuzzaman и сар., 2018). Сличан ефекат на биосинтезу фотосинтетичких пигмената остварио је и халопрајминг са MgSO_4 . Позитиван ефекат овог прајминга повезан је са улогом Mg^{2+} у активирању различитих ензима, укључујући Rubisco ензим који је кључан у фотосинтези за нето асимилацију CO_2 (Jiao и сар., 2023). Штавише, Mg^{2+} је централна компонента молекула хлорофила и директно утиче на биосинтезу овог пигмента, а самим тим и на процес фотосинтезе (Jiao и сар., 2023). Познато је да IAA промовише растење биљака и да има значајну улогу у процесу фотосинтезе и синтези пигмената (Baliyan и сар., 2021). Zhao и сар., (2020) су потврдили да је хормопрајминг са IAA директно побољшао капацитет фотосинтезе повећавајући стоматерну проводљивост и међућелијску концентрацију CO_2 . Поред тога, акумулација хлорофила у клијанцима након хормопрајминга са IAA може бити повезана са регулацијом експресије *golden2-like 1* (GLK1) гена и других сродних гена одговорних за синтезу и одржавање хлоропласта (Huang и сар., 2022). Примећено је да егзогена апликација H_2O_2 побољшава параметре размене гасова, заштиту структуре хлоропласта, активност Rubisco ензима, као и садржај хлорофила модулацијом ендогених биљних хормона (Khan и сар., 2016; Nazir и сар., 2019). Аскорбинска киселина је важан кофактор у фотосинтетичким ензимским реакцијама и има значајну улогу у фотопротекцији пигментног комплекса за прикупљање светлости (Akram и сар., 2017). Shah и сар., (2019) указују да примена AA у виду редокспрајминга промовише процес фотосинтезе кроз побољшану биосинтезу хлорофила. Позитиван ефекат хидропрајминга на повећање садржаја фотосинтетичких пигмената потврђују и Jisha и Puthur, (2014). Каротеноиди су ефикасни антиоксиданси који штите хлоропласт од разарања на интензивној светлости тако што преузимају вишак светлосне енергије са молекула хлорофила и тиме спречавају формирање ROS. На тај начин повећан садржај каротеноида у биљкама помаже у одржавању веће концентрације хлорофила (Kacharava и сар., 2009). Из свега наведеног може се закључити да повећана концентрација каротеноида након прајминга додатно промовише примену ове методе у повећању

толеранције биљака на оксидативни стрес. Према Azooz и сар. (2013) прајминг штити структуру и активност фотосистема и повећава производњу фотосинтетичких пигмената па на тај начин директно побољшава фотосинтетичке перформансе биљака. Побољшане активности PSI и PSII, као и повећане концентрације хлорофила *a*, хлорофила *b* и каротеноида евидентирани су у биљкама гајеним из прајмираних семена како при оптималним, тако и при субоптималним условима (Al-Amri, 2013; Abdel Latef и Tran, 2016; Yang и сар., 2018; Valivand и сар., 2019; Huang и сар., 2020; Sirhindi и сар., 2020; Fathi и сар., 2023).

Поред чињенице да су прајминг третмани повећали садржај фотосинтетичких пигмената показано је да су они утицали и на пораст садржаја солубилних протеина у листовима биљака. Добијени резултати су у складу са запажањима Yan и сар., (2015) и Сао и сар., (2019). Према Сао и сар., (2019) виши ниво солубилних протеина је важан за осмотску регулацију и стабилизацију мембрана у неповољним условима спољашње средине. Промене у условима спољашње средине, попут стреса изазваног ниском температуром, утичу на пораст производње ROS у органелама као што су хлоропласти и митохондрије (Phua и сар., 2021). Прекомерна количина ROS изазива оксидативни стрес у биљкама који доводи до оксидације макромолекула као што су нуклеинске киселине, протеини и липиди, при чему настају оштећења ћелија, па чак долази и до смрти ћелија (Gill и Tuteja, 2010). Реактивне врсте кисеоника су веома токсичне за метаболизам и растење биљака, али се могу брзо уклонити различитим ћелијским механизмима (Yu и сар., 2022). Прајминг семена стимулише биљке да активно регулишу оксидативни стрес тако што им омогућа ефикаснију елиминацију ROS активирањем ензимског антиоксидативног одбрамбеног система, акумулацијом метаболита попут солубилних протеина или повећаном биосинтезом фенолних једињења (Khan и сар., 2019; Zulfiqar, 2021). У истраживањима спроведеним у оквиру ове докторске дисертације примећена је значајна акумулација укупних солубилних протеина након прајминга семена како при оптималним, тако и при условима абиотичког стреса изазваног ниском температуром. Висока концентрација протеина може побољшати способност ћелија да задрже воду, а њихова значајна улога огледа се и у заштити и репарацији ћелијских мембрана од оштећења изазваних абиотичким стресом, што је једна од одбрамбених стратегија биљака (Ling и сар., 2015). Значајан утицај прајминга на повећање концентрације укупних солубилних протеина при стресним условима забележили су и Ashraf и сар., (2022). Аутори сугеришу да прајминг повећава синтезу rRNA у ћелијама. У складу са тим је потврђено да је повећање садржаја укупних солубилних протеина у биљкама добијеним из прајмираних семена повезано са побољшаним физиолошким активностима, углавном са стимулацијом процеса биосинтезе протеина (Natami и сар., 2021). Промене у концентрацији солубилних протеина као одговор на прајминг семена забележили су и Abdel Latef и сар., (2020).

Поред тога, забележено је да прајмирана семена производе мању количину MDA, вероватно због смањеног штетног дејства слободних радикала и веће заштите ћелијске мембране чиме се спречава оштећење незасићених масних киселина и смањује пермеабилност мембране, што је у складу са резултатима које су објавили Moogi и сар., (2020). Према Navaz и сар., (2012) мања акумулација MDA може се приписати реорганизацији ћелијских мембрана током прајминга, као и стимулацији антиоксидативних ензима који пружају заштиту од оксидативног оштећења. MDA је главни показатељ липидне пероксидације која се одвија у условима оксидативног стреса у свим ћелијским мембранама када је концентрација ROS сувише велика. Последице липидне пероксидације су оштећења ћелијских мембрана, липопротеина и других

молекула који садрже липиде, што не само да директно утиче на нормално функционисање ћелије, већ и индукује оксидативни стрес кроз производњу липидних радикала (Montillet и сар., 2005). Липидни радикали доводе до промена у двоструким везама незасићених масних киселина при чему се стварају различита токсична једињења као што су алкохоли, кетони, алкани, алдехиди и етри (Chakraborty и сар., 2023). Оштећења ћелијских мембрана имају за последицу губитак флуидности, пад мембранског потенцијала и повећање пермеабилности за H^+ и друге јоне. У оваквим условима угрожена је заштитна и транспортна функција ћелијске мембране, инхибирани су ензимски процеси као и свеукупна ћелијска сигнализација (Demidchik, 2015). Способност биљака да смање концентрације MDA добар је показатељ ефикасности ензимских и неензимских компоненти система заштите од оксидативних оштећења. Повећање активности антиоксидативних ензима и нивоа фенолних једињења код биљака битно је за одржавање оптималног физиолошког стања биљака, као и за спречавање штетних ефекта оксидативног стреса на њихово растење и развиће.

Ензимски антиоксидативни систем је од виталног значаја у превазилажењу штетних утицаја ROS и помаже биљкама да се прилагоде свом окружењу (Yan, 2015). Супероксид дисмутаза има кључну улогу у систему заштите од оксидативних оштећења тако што катализује дисмутацију синглетног радикала кисеоника у водоник пероксид (H_2O_2) омогућавајући другим антиоксидативним ензимима да учествују у његовој деградацији и/или елиминацији (de Cássia Alves и сар., 2022). Каталаза и пероксидазе (аскорбат пероксидаза, гвајакол пероксидаза и пирогалол пероксидаза) су најважнији антиоксидативни ензими који разграђују H_2O_2 до молекула воде и кисеоника (Kavian и сар., 2022). Ови ензими не само да штите ћелијске компоненте од оштећења већ имају битну улогу у растењу и развићу биљака модулацијом ћелијских процеса (попут синтезе протеина и нуклеотида, регулације активности других ензима, митозе, издуживања ћелија, диференцијације ћелија, итд.) (Qureshi и сар., 2021; Monajjem и сар., 2023). Rajput и сар., (2021) указују да су побољшане карактеристике клијања и растења биљака добијених из прајмираних семена повезане са повећањем активности антиоксидативних ензима, посебно SOD, CAT и POX, који одржавају физиолошку концентрацију ROS неопходну за регулацију одређених сигналних путева. Регулацијом оксидативног стреса у ћелијама антиоксидативни ензими могу утицати на стабилност и активност других ензима, укључујући и оне који су укључени у синтезу фенолних једињења. Резултати ове докторске дисертације указују да су прајминг третмани повећали активност антиоксидативних ензима тестираних биљака у поређењу са биљкама гајеним из непрајмираних семена. Међутим, антиоксидативни одговор је био променљив код различитих врста. У клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима прајминг није утицао на активност супероксид дисмутазе, док је ниво активности других ензима био већи у поређењу са контролом. Прајминг са H_2O и IAA значајно је стимулисао активност каталазе, хормопрајминг и халопрајминг са $MgSO_4$ су повећали ниво гвајакол пероксидазе, док су прајминг третмани са AA и H_2O најефикасније повећали ниво пирогалол пероксидазе. Аскорбат пероксидаза је била најактивнија након халопрајминга са KNO_3 . Узимајући у обзир ефекте свих прајминг третмана на активност антиоксидативних ензима клијанаца пшенице у условима ниске температуре доминантан заштитни ефекат постигнут је халопрајмингом са KNO_3 и хормопрајмингом са GA_3 . Слично томе, код клијанаца јечма гајених како у оптималним, тако и условима ниске температуре, хормопрајминг са GA_3 и халопрајминг са $MgSO_4$ постигли су најзначајнији ефекат на побољшање одбрамбеног потенцијала клијанаца кроз повећање активности испитиваних ензима. Када су у питању клијанци овса гајени у оптималним условима сви прајминг третмани значајно су повећали ниво супероксид дисмутазе, а најзначајнији ефекат евидентиран је након прајминга са H_2O_2 и $MgSO_4$.

Каталаза је била најактивнија након прајминга са H_2O , а највиши ниво активности аскорбат пероксидазе забележен је након халопрајминга. Хормопрајминг са GA_3 био је најефикаснији код повећања активности гвајакол пероксидазе, а редокспрајминг са АА код повећања нивоа активности пирогалол пероксидазе. Штавише, позитиван ефекат прајминга са GA_3 и MgSO_4 , као и редокспрајминга, уочен је код активности антиоксидативних ензима клијанаца овса и при условима ниске температуре. У случају клијанаца ротквице повећање антиоксидативног капацитета кроз повећање активности антиоксидативних ензима забележено је након прајминга са IAA и KNO_3 како при оптималним, тако и при условима ниске температуре. Након хормопрајминга са GA_3 и халопрајминга са KNO_3 уочене су значајне разлике у нивоу активности антиоксидативних ензима код клијанаца парадајза гајених у оптималним условима. Супротно томе, у условима стреса изазваног ниском температуром забележен је инхибиторни ефекат прајминга са GA_3 на активност антиоксидативних ензима. Анализом активности испитиваних антиоксидативних ензима уочено је да је редокспрајминг са АА био најповољнији за побољшање одбрамбеног потенцијала парадајза у условима ниске температуре. Смањење нивоа активности супероксид дисмутазе у биљкама гајеним при условима ниске температуре (као и код клијанаца пшенице и ротквице у оптималним условима) може бити последица прекомерног формирања и акумулације ROS који инактивирају супероксид дисмутазу оксидацијом тиол група или недостатком есенцијалних метала неопходних за каталитичко деловање овог ензима (Chamseddine и сар., 2009; Girotto и сар., 2016). Многи аутори сугеришу да у оваквим условима кључну улогу у елиминацији ROS имају друге ензимске и/или неензимске компоненте одбрамбеног система. Варирања у активности супероксид дисмутазе и повећање акумулације каталазе и пероксидаза након примене прајминг методе бележе и Shah и сар., (2019). Habib и сар., (2020) додатно су потврдили резултате овог истраживања и закључили да примена прајминга регулише прекомерно произведени ROS и одржава интегритет ћелијских мембрана, углавном кроз побољшање активности кључних антиоксидативних ензима као што су супероксид дисмутаза, каталаза, аскорбат пероксидаза, пирогалол пероксидаза и гвајакол пероксидаза. Прајмирано семе задржава прајминг агенсе у свом омотачу након чега следи њихово постепено отпуштање (Mazhar и сар., 2022). При томе прајминг агенси функционишу као сигнални молекули и утичу на ниво транскрипције гена који су повезани са активацијом и контролом различитих одговора на стрес на молекуларном нивоу (Bali и сар., 2020; Mazhar и сар., 2022). Према Zhang и сар., (2021) примена прајминга подстиче експресију гена који активирају антиоксидативне ензиме и повећава активност ових ензима као одговор биљака на абиотички стрес. Yaghoubian и сар., (2022) наводе да су побољшане активности антиоксидативних ензима уско повезане са повећањем стабилности ћелијских мембрана након прајминга семена. Слично, Liu и сар., (2022) су установили да халопрајминг може побољшати толеранцију пшенице на ниску температуру кроз регулисање метаболизма ROS ефикасно одржавајући интегритет ћелијске мембране под утицајем стреса изазваног ниском температуром. Ови налази су у сагласности са претходним резултатима који показују да је примена прајминга ефикасна у смањењу штетних ефеката оксидативног стреса код биљака кроз повећање активности антиоксидативних ензима (Ali и сар., 2017; Shah и сар., 2019). Већа активност антиоксидативних ензима код биљака произведених из прајмираних семена у условима абиотичког стреса забележена је и раније (Nasri и сар., 2011; Mohamed и сар., 2012; Khan и сар., 2020).

Поред ензимских, одбрамбеном систему биљака припадају и неензимске компоненте попут секундарних метаболита. Ензимске и неензимске компоненте система заштите од оксидативних оштећења делују синергистички како би ефикасно

неутралисале ROS и одржавале редокс хомеостазу унутар биљних ћелија (Chrysargyris и сар., 2019; Chen и сар., 2020). Антиоксидативни ензими (SOD, CAT и POX) имају примарну функцију у уклањању слободних радикала из ћелије и/или њиховој трансформацији у нереактивна једињења. Неензимске компоненте такође имају способност да неутралишу штетне ефекте ROS. Према Chen и сар., (2020) када је активност антиоксидативних ензима смањена неензимске компоненте одбрамбеног система имају кључну улогу у уклањању ROS. Антиоксидативна активност фенолних једињења резултат је њихове способности да буду донори протона или електрона што им омогућава да директно реагују са ROS, стварајући мање реактивна једињења. Фенолна једињења такође врше хелирање метала стварајући стабилне комплексе при чему спречавају учешће метала у реакцијама у којима настају најреактивнији радикали у биљном ткиву. Поред тога, фенолна једињења су укључена у регулацију активације антиоксидативних ензима пероксидаза. Сходно томе, за оптимално растење и развиће биљка у променљивим условима животне средине неопходна је уравнотежена производња како примарних, тако и секундарних метаболита (Yadav и сар., 2021).

Секундарни метаболити имају еколошко-адаптивни значај за биљку у којој се синтетишу; могу бити саставни део неких ензимских система где имају улогу коензима, а осим ове имају и друге битне функције као што су хормонска активност у процесима регулације растења и развића биљака, заштитна улога у спречавању оштећења од превелике дозе УВ зрачења и спречавању прекомерне транспирације и др. Секундарни метаболити су и штетни продукти биљног метаболизма и активно учествују у алелопатским односима који су у вези са репродукцијом биљака (као атрактанти) и одбрани од предатора и компетитора. Производња секундарних метаболита повећава се у условима температурног стреса (Thakur и сар., 2019), а већи садржај фенолних једињења може се сматрати адаптивним механизмом заштите биљних ћелија од оксидативних оштећења чиме се последично повећава толеранција на стрес (Sun и сар., 2019). На нивоу ћелије феноли и флавоноиди, као неензимски антиоксиданси, имају улогу у елиминацији ROS катализујући реакције оксигенације путем формирања металних комплекса и инхибирајући активности оксидативних ензима (Kahvesci и сар., 2021). Сматра се да фенолна једињења делују као кључни посредници одбрамбеног одговора биљака на стресне факторе спољашње средине (Lopez-Orenes и сар., 2018; Álvarez-Robles и сар., 2022). Дехидратација семена током прајминга доводи до бројних биохемијских процеса у ћелијама којима се активира антиоксидативни одбрамбени систем (Ibrahim, 2016). У спроведеним истраживањима евидентиран је делотворни ефекат прајминга на синтезу секундарних метаболита и на укупни антиоксидативни капацитет тестираних биљака како при оптималним условима гајења, тако и при условима ниске температуре. Стимулација синтезе фенолних једињења и флавоноида у прајмираним семенима раније је документована у бројним истраживањима (Bahcesular и сар., 2020; Mahmood и сар., 2022; Akter и сар., 2023; Hussein и сар., 2023). Zrig и сар., (2022 b) истичу да прајминг повећава нивое прекурсора и ензима неопходних за синтезу секундарних метаболита у биљакама.

Код клијанаца пшенице гајених у оптималним и у условима ниске температуре примена халопрајминга са KNO_3 имала је супериорни ефекат у погледу укупне концентрације фенола и флавоноида и у повећању укупне антиоксидативне активности. Слично томе, код клијанаца јечма примена халопрајминга са KNO_3 и MgSO_4 била је значајна за повећање садржаја фенолних једињења и флавоноида при оптималним условима и при условима ниске температуре, као и за уклањање DPPH радикала при условима стреса изазваног ниском температуром. Редокспрајминг са H_2O_2 повећао је способност екстракта јечма добијених од клијанаца гајених при оптималним условима

да инхибирају слободне DPPH радикале. У случају клијанаца овса хормопрајминг са GA₃ (при оптималним условима) и хормопрајминг са IAA (при условима ниске температуре) повећали су концентрацију укупних фенола и укупних флавоноида, чиме су последично побољшали њихов антиоксидативни капацитет односно уклањање слободних DPPH радикала у семенима третираним овим хормонима, што резултира заштитом структурног и функционалног интегритета биљке. Хормопрајминг са IAA и халопрајминг са MgSO₄ остварили су стимулативан ефекат на синтезу и акумулацију секундарних метаболита код клијанаца ротквице гајених при оптималним условима, док су прајминг третмани са KNO₃, AA и IAA значајно повећали антиоксидативни капацитет клијанаца. У условима ниске температуре најзначајнији ефекат на акумулацију секундарних метаболита, као и неутрализацију DPPH радикала у клијанцима ротквице, остварен је након прајминга са MgSO₄ и H₂O. Када је реч о клијанцима парадајза примена прајминга са MgSO₄ у оптималним условима, као и халопрајминга и редокспрајминга са AA у условима ниске температуре, побољшала је одбрамбени механизам клијанца повећањем садржаја фенола и флавоноида. Најзначајнији утицај на инхибицију слободних DPPH радикала евидентиран је код екстракта добијених од клијанаца гајених из семена прајмираних са KNO₃ (при оптималним условима) и са AA и GA₃ (при условима ниске температуре). Сходно томе може се претпоставити да би одговарајуће прајминг технике имале кључну улогу у одбрамбеном механизму тестираних биљака повећањем концентрације укупних фенолних једињења, укључујући флавоноиде, као и повећањем укупног антиоксидативног капацитета биљака. Ashraf и сар., (2018) су потврдили да прајминг семена стимулише акумулацију фенолних једињења која су значајни фактори њиховог антиоксидативног потенцијала. Слична запажања бележе и Natami и сар., (2021). Yaghoubian и сар., (2022), чији резултати показују да прајминг побољшава синтезу фенолних једињења, наглашавају да повећана акумулација фенола у биљкама може спречити прекомерну акумулацију ROS и оштећења ћелија изазваних фотоинхибицијом преко модулације сигналних путева. Према Singhal и сар., (2021) прајминг солима повећава антиоксидативни капацитет делујући као сигнал који покреће више метаболичких путева, као што су отварање стома, производња апсцисинске киселине и повећање активности антиоксидативних ензима. Утврђено је да молекули антиоксиданата, као што је AA, примењени у виду прајминга значајно смањују и ублажавају оксидативни стрес код биљака (Elkelish и сар., 2021). Madany и сар., (2020) су потврдили да прајминг семена са IAA има велики потенцијал за побољшање њиховог укупног антиоксидативног капацитета, посебно у условима оксидативног стреса. Слично томе, Namid и сар., (2008) и Ahmad и сар., (2012) документовали су да је прајминг семена пшенице и кукуруза резултирао побољшаним антиоксидативним одбрамбеним системом њихових клијанаца. Прајминг семена стимулише биљке да успешније регулишу оксидативни стрес указујући на значајну улогу ове методе у регулацији реакција на абиотички стрес.

Профил фенолних једињења пшенице претходно су описали Wang и сар., (2020) и Gupta и сар., (2021); идентификоване су: *p*-хидроксисбензоева, ванилинска, сиригинска, гална, *p*-кумарна, кафеинска, ферулна и синапинска киселина, као и кверцетин, апигенин, лутеолин и трицин. Сличан профил једињења идентификован је и у оквиру ове докторске дисертације. Евидентиран је стимулативан ефекат прајминга на повећање концентрације свих детектованих фенолних једињења у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима, при чему је најистакнутији ефекат постигнут након прајминга са H₂O, MgSO₄ и AA. Прајминг третмани су остварили најзначајнији ефекат на повећање садржаја рутина, ферулне киселине, *p*-кумарне киселине и епикатехина, при чему су измерене концентрације биле 5 до 23 пута веће у поређењу са контролом.

Поред тога, након одређених третмана детектована су фенолна једињења која нису пронађена у контролним клијанцима (кафеинска киселина, сиригинска киселина и мирицетин). Kowalska и сар., (2022) су потврдили да фенолна једињења присутна у пшеници показују велику варијабилност у концентрацији у зависности од срединских фактора. Изложеност ниским температурама модификује производњу широког спектра фенолних једињења код житарица. Према Ма и сар., (2021) повећана концентрација фенолних киселина је значајан механизам одбране биљака од различитих стресних услова. Повећање садржаја фенолних киселина у семену пшенице током изложености ниским температурама уочили су Shamloo и сар., (2017). Резултати RP-HPLC анализе добијени у оквиру ове дисертације су показали да је прајминг испољио истакнут ефекат на повећање садржаја свих детектованих фенолних једињења (са изузетком ферулне киселине) у условима ниске температуре у поређењу са клијанцима добијеним из непрајмираних семена, при чему је доминантан утицај забележен након хидропрајминга и хормопрајминга са GA_3 . За разлику од оптималних услова у свим клијанцима гајеним при условима ниске температуре детектована је кафеинска киселина, док нарингенин није евидентиран.

Према литературним подацима најзаступљеније фенолне киселине јечма су гална, ванилинска, 2,4-дихидрокси бензоева, ферулна, синапинска и *p*-кумарна киселина, а доминантни флавоноиди су нарингин, катехин и кверцетин (Drawbridge и сар., 2021; Li и сар., 2022). Упоредјујући квалитативни и квантитативни састав фенолних једињења клијанаца јечма гајених при оптималним и/или условима ниске температуре уочено је да се садржај детектованих фенолних једињења повећава када су клијанци узгајани из прајмираних семена у односу на контролне клијанце. Најзначајнији ефекат постигнут је хормопрајмингом и халопрајмингом са KNO_3 при оптималним условима, као и халопрајмингом са KNO_3 и хидропрајмингом при условима ниске температуре. Најзаступљеније фенолне киселине биле су гална, синапинска и хлорогенска киселина, при чему је гална киселина доминантно фенолно једињење. Поред ових киселина у клијанцима добијеним из прајмираних семена детектоване су и 4-ХБК (при оптималним и при условима ниске температуре) и *p*-кумарна киселина (при условима ниске температуре). Доминантни флавоноиди у екстрактима клијанаца јечма гајених при оптималним условима били су нарингин, епикатехин и катехин. Поред тога, након прајминга је у клијанцима детектован и рутин. У условима абитичког стреса најзаступљенији флавоноиди били су катехин и наргенин, док је рутин детектован и у контролним и у клијанцима добијеним из прајмираних семена.

Chen и сар., (2018) и Zhang и сар., (2023) су указали да су гална, хлорогенска, *p*-хидроксibenзоева, синапинска и ванилинска киселина, рутин и кверцетин најзаступљенија фенолна једињења овса. У складу са тим, RP-HPLC анализом екстракта клијанаца овса гајених при оптималним условима идентификоване су синапинска, гална и хлорогенска киселина, као и рутин, катехин и нарингенин. Такође је детектована и 4-ХБК након прајминга семена са IAA, као и кверцетин након прајминга са $MgSO_4$. Синапинска киселина је била доминантно једињење које је детектовано у изразито високим концентрацијама у клијанцима овса у поређењу са другим фенолним једињењима. Хормопрајминг са GA_3 остварио је најзначајнији ефекат на повећање садржаја хлорогенске киселине и нарингенина. Сличан профил фенолних једињења идентификован је и у условима ниске температуре. Евидентиран је делотворни утицај прајминга на повећање синтезе фенолних једињења у поређењу са клијанцима добијеним из непрајмираних семена, а најистакнутији ефекат постигнут је прајмингом са IAA и AA.

Квалитативне и квантитативне информације о саставу фенолних једињења у надземном делу ротквице објавили су Gouepêche и сар. (2015) и Gamba и сар., (2021). Према наведеним ауторима најзаступљенија фенолна једињења су ванилинска, синапинска, *p*-кумарна и *o*-кумарна киселина, катехин, епикатехин, мирицетин и кверцетин. Gamba и сар., (2021) су објавили да флавоноиди представљају 38,8% идентификованих биоактивних једињења у ротквици. На основу резултата добијених у оквиру ове докторске дисертације уочен је исти тренд у садржају фенолних једињења у клијанцима ротквице гајеним при различитим температурним условима. Детектоване фенолне киселине у контролним клијанцима биле су синапинска, хлорогенска и 4-ХБК, а након примене одговарајућих прајминг третмана поред поменутих киселина евидентиране су и значајне концентрације галне, сиригинске, *p*-кумарне киселине и 3,5-ДХБК. У случају флавоноида детектовани су: епикатехин, нарингин, рутин, катехин, мирицетин, нарингенин и кверцетин. Упоређујући квантитативан састав идентификованих једињења уочава се да епикатехин представља доминантно једињење. Прајминг третмани остварили су стимулативан ефекат на садржај фенолних киселина и флавоноида у клијанцима ротквице, а најзначајнији ефекат при оптималним условима гајења постигнут је халопрајмингом и хормопрајмингом са IAA, док је у условима стреса изазваног ниском температуром најефикаснији био хормопрајминг са IAA.

Ефикасност прајминг методе у повећању садржаја секундарних метаболита потврђена је и код парадајза. Сличан профил фенолних једињења идентификован је код клијанаца парадајза и при оптималним и при условима ниске температуре. Детектоване су хлорогенска и синапинска киселина, док је гална киселина детектована само у клијанцима гајеним у условима стреса. Хлорогенска киселина је квантификована у високим концентрацијама у поређењу са другим фенолним једињењима. Поред поменутих киселина у условима ниске температуре детектована је и 4-ХБК у контроли и код биљака узгајаних из семена прајмираних са AA. Када су у питању флавоноиди при оптималним условима је забележено присуство катехина, нарингенина, рутина, нарингина, као и епикатехина код биљака узгајаних из семена прајмираних са H₂O₂ и IAA. У клијанцима парадајза гајеним у условима ниске температуре детектовани су рутин, нарингин и катехин. Генерално је већа концентрација детектованих једињења забележена код клијанца који су били изложени ниској температури. Анализом фенолног профила клијанаца парадајза уочава се да је најзначајнији ефекат постигнут третманима хормопрајминга при оптималним условима и редокспрајмингом са AA код стреса изазваног ниском температуром. Резултати добијени квантификацијом појединачних фенолних једињења у екстрактима клијанаца парадајза гајених при различитим температурним условима у складу су са другим доступним литературним подацима. Фенолна једињења парадајза раније су анализирали Berni и сар., (2018) и истакли да је хлорогенска киселина доминантно једињење детектовано у високим концентрацијама. Како наводе Abreu и сар., (2019) рутин је најзаступљенији флавоноид у парадајзу. Са друге стране, Bertin и Génard (2018) су дошли до закључка да је нарингенин најзаступљенији флавоноид у парадајзу, показујући на тај начин да разлике у садржају фенолних једињења зависе од генотипа, сорте, фазе развоја биљке, услова животне средине, методе узгајања, као и од примењене аналитичке технике. Ову чињеницу потврдили су и Formisano и сар., (2021).

Имајући у виду значај фенолних киселина у ублажавању абиотичког стреса (Mrid и сар., 2021) може се закључити да прајминг семена може да смањи штетне ефекте стреса ниске температуре на физиолошке процесе испитиваних клијанаца промовишући растење биљака кроз индукцију синтезе већег броја фенолних једињења

(укључујући галну киселину, хлорогенску киселину, кафеинску киселину, *p*-кумарну киселину, сиригинску киселину, синапинску киселину, ферулну киселину, 3,5-ДХБК, 4-ХБК, рутин, катехин, епикатехин, нарингин, кверцетин, нарингенин и мирицетин). Karaliја и сар., (2021) су истакли да примена прајминга побољшава антиоксидативни капацитет биљака кроз повећану синтезу фенолних киселина и флавоноида. Ефекат прајминга на побољшану биосинтезу постојећих фенолних киселина и флавоноида и покретање синтезе нових може бити последица његовог утицаја на повећање активности кључних ензима укључених у синтезу и акумулацију секундарних метаболита (Qin и сар., 2024). Ови налази су у сагласности са истраживањима González-García и сар., (2022) где је утврђено да прајминг семена активира низ физиолошких и метаболичких одговора, као што је повећање експресије гена за синтезу биоактивних једињења и ензимских антиоксидативних једињења која регулишу хомеостазу ROS, чиме се побољшава одбрамбени механизам биљака за ублажавање негативних ефеката и достизање толеранције на различите врсте абиотичког стреса. Слична запажања о утицају прајминга семена на садржај фенолних једињења при различитим врстама стреса бележе Mnaфгуи и сар., (2022) и Mahmood и сар., (2022). Осим улоге у одбрамбеним механизмима биљке према неповољним утицајима фактора спољашње средине биоактивна једињења, попут фенолних киселина и флавоноида, имају велики значај у превенцији и лечењу различитих болести због својих антиоксидативних, антиангиогених, антипролиферативних и антиканцерогених својстава (Abotaleb и сар., 2020). Апликативни значај горе наведених фенолних једињења потврђен је у многобројним истраживањима (Labbé и сар., 2009; Bouzaiene и сар., 2015; Anantharaju и сар., 2016; He и сар., 2016; Quinn и сар., 2017; El-Hawary и сар., 2018, Abotaleb и сар., 2020, Gupta и сар., 2021). Из свега претходно наведеног може се закључити да присуство велике количине фенолних једињења и флавоноида код гајених биљака тестираних у истраживањима у оквиру ове докторске дисертације, посебно једињења идентификованих након прајминга (у оптималним и у условима ниске температуре) промовише методу прајминга као један од најефикаснијих начина за побољшање растења и одрживог развоја биљака.

6. ЗАКЉУЧЦИ

На основу упоредне анализе физиолошко-биохемијских параметара продуктивности пшенице (*Triticum aestivum* L. cv. Belija), јечма (*Hordeum vulgare* L. cv. Novosadski 565), овса (*Avena sativa* L. cv. Condor), ротквице (*Raphanus sativus* L. cv. Saxa) и парадајза (*Solanum lycopersicum* L. cv. Volovsko srce) под утицајем промена у метаболичкој активности семена индукованих прајмингом изведени су следећи закључци:

- Прајминг семена је побољшао карактеристике клијања и квалитет произведених клијанаца тестираних биљака утврђених на основу физиолошко-биохемијских параметара продуктивности, при чему су различити прајминг третмани испољили различиту ефикасност, у зависности од свог потенцијала, врсте биљке и испитиваних параметара.
- Прајминг третмани су стимулативно деловали на све испитиване физиолошко-биохемијске параметре код свих тестираних биљака. Изузетак је представљао редокспрајминг са H_2O_2 , који је испољио инхибиторно дејство на клијавост семена, вигор индекс продуктивности, акумулацију фотосинтетичких пигмената и секундарних метаболита код јечма, овса и ротквице. Такође, примена хормопрајминга са GA_3 инхибирала је акумулацију фотосинтетичких пигмената и флавоноида, као и укупну антиоксидативну активност код одређених биљака.
- Карактеристике клијања семена су биле знатно побољшане под утицајем прајминга, али до изражаја су дошле и генотипске специфичности испитиваних врста; евидентан је био велики проценат клијавости нетретираних семена пшенице, јечма и овса, у поређењу са семенима повртарских биљака, чије су карактеристике клијања биле знатно побољшане прајминг третманима. У оптималним условима најбољи ефекат прајминг методе на перформансе клијања остварен је код семена ротквице, док је под утицајем стреса изазваног дејством ниских температура ефикасност прајминга била посебно изражена код семена парадајза.
- Растење биљака, мерено преко издуживања корена и хипокотила, као и повећања свежје масе клијанаца било је у знатној мери побољшано након примене различитих прајминг третмана; најистакнутији ефекат прајминг третмана на елонгацију и свежу масу биљака у различитим условима гајења евидентиран је код клијанаца пшенице и парадајза.
- Продуктивност испитиваних биљака, изражена преко вигор индекса продуктивности, била је повећана код свих клијанаца након прајминг третмана, при чему је најизраженији ефекат уочен код клијанаца повртарских биљака, посебно код парадајза.
- Стимулативни ефекат прајминга на процес фотосинтезе, индиректно утврђиван преко концентрације фотосинтетичких пигмената хлорофила и каротеноида, био је веома изражен, при чему је највећи ефекат на повећање акумулације фотосинтетичких пигмената постигнут код клијанаца овса и ротквице.
- Ефикасност прајминга потврђена је кроз контролу и модулацију процеса биосинтезе протеина повећањем акумулације укупних солубилних протеина, а најзначајнији утицај остварен је код клијанаца ротквице у оптималним условима и код клијанаца парадајза у условима температурног стреса.

- Смањена концентрација малондиалдехида у биљкама добијеним из прајмираних семена у различитим условима гајења праћена је повећањем стабилности ћелијске мембране и стимулацијом антиоксидативних ензима, а најбољи резултати су постигнути код парадајза.
- Испитивањем активности ензимског антиоксидативног система заштите утврђене су разлике у активности појединачних ензима код одабраних биљака у зависности од примењеног третмана; потврђено је да примена прајминга доводи до повећања нивоа активности каталазе и пероксидаза; највећи утицај на активност ензима супероксид дисмутазе забележен је код клијанаца овса, а најизраженији ефекат на активност каталазе и ензима из групе пероксидаза остварен је код клијанаца пшенице, како при оптималним тако и при условима температурног стреса; прајминг није индуковао активност ензима супероксид дисмутазе код испитиваних врста (са изузетком пшенице) у условима температурног стреса.
- Утврђивањем разлика у продукцији секундарних метаболита, фенола и флавоноида, забележена је повећана концентрација ових метаболита након примене прајминга; у оптималним условима најбољи резултати су постигнути код јечма и парадајза; у условима стреса најизразитији позитиван ефекат примењених третмана на продукцију секундарних метаболита уочен је код ротквице.
- Утврђивањем квалитативних и квантитативних разлика у садржају појединачних фенолних киселина и флавоноида евидентиран је повећан број и концентрација фенолних киселина и флавоноидних једињења под утицајем прајминга, у односу на конвенционалну методу клијања; највећи ефекат на садржај фенолних једињења забележен је код клијанаца пшенице, како у оптималним тако и у условима стреса изазваног дејством ниских температура.
- Утврђивањем разлика у антиоксидативној активности испитиваних биљака у различитим условима гајења констатована је повећана антиоксидативна активност под утицајем прајминга, при чему је најизразитији ефекат забележен код клијанаца парадајза.
- У условима стреса изазваног ниском температуром сви прајминг третмани су имали изразити стимулативни утицај на све испитиване физиолошко-биохемијске параметре тестираних биљака. Ефикасност прајминга потврђена је кроз стимулативни ефекат на систем заштите од оксидативних оштећења клијанаца свих испитиваних врста, изражен преко повећања антиоксидативног капацитета, ублажавања оксидативног стреса, повећања активности антиоксидативних ензима, смањења концентрације MDA и повећања садржаја секундарних метаболита.
- Прајминг семена значајно је допринео побољшању карактеристика клијања и растења, повећању садржаја фотосинтетичких пигмената клијанаца пшенице, јечма, овса, ротквице и парадајза у оптималним условима, као и побољшању активности ензимских компоненти система заштите од оксидативних оштећења, количине секундарних метаболита и антиоксидативне активности ових биљака у условима стреса изазваног ниском температуром. Због тога прајминг семена има велики потенцијал за унапређење производње високо квалитетних и продуктивних биљака са повећаном толеранцијом на абиотички стрес, па се

може веома ефикасно користити у пољопривредне, биотехнолошке, фармацеутске и друге сврхе.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Abdel Latef, A. A. H., Kordrostami, M., Zakir, A., Zaki, H., & Saleh, O. M. (2019). Eustress with H₂O₂ facilitates plant growth by improving tolerance to salt stress in two wheat cultivars. *Plants*, 8 (9), 303.
2. Abdel Latef, A. A. H., Zaid, A., Abu Alhmad, M. F., & Abdelfattah, K. E. (2020). The impact of priming with Al₂O₃ nanoparticles on growth, pigments, osmolytes, and antioxidant enzymes of Egyptian Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) cultivar. *Agronomy*, 10 (5), 681.
3. Abdel Latef, A. A., & Tran, L. S. P. (2016). Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress. *Frontiers in Plant Science*, 7, 243.
4. Abdel-Aziz, H. M. M., Hasaneen, M. N. A., & Omer, A. M. (2019). Impact of engineered nanomaterials either alone or loaded with NPK on growth and productivity of French bean plants: seed priming vs foliar application. *South African Journal of Botany*, 125, 102-108.
5. Abdel-Baki, G. K., Shaddad, M. A. K., Mostafa, D., & Rafat, A. S. (2018). The effect of seed presoaking with KNO₃ on seed germination, proline, protein pattern, β -amylase and mineral composition of two faba bean cultivars treated with NaCl. *Egyptian Journal of Botany*, 58 (3), 445-461.
6. Abdeldaiem, A. M., Ali, A. H., Shah, N., Ayyash, M., & Mousa, A. H. (2022). Physicochemical analysis, rheological properties, and sensory evaluation of yogurt drink supplemented with roasted barley powder. *LWT*, 114319.
7. Abid, M., Hakeem, A., Shao, Y., Liu, Y., Zahoor, R., Fan, Y., Suyu, J., Ata-Ul-Karim, S. T., Tian, Z., Jiang, D., Snider, J. L., & Dai, T. (2018). Seed osmopriming invokes stress memory against post-germinative drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 145, 12-20.
8. Abotaleb, M., Liskova, A., Kubatka, P., & Büsselberg, D. (2020). Therapeutic potential of plant phenolic acids in the treatment of cancer. *Biomolecules*, 10 (2), 221.
9. Abreu, A. C., Marin, P., Aguilera-Sáez, L. M., Tristán, A. I., Peña, A., Oliveira, I., Simões, M., Valera, D., & Fernandez, I. (2019). Effect of a shading mesh on the metabolic, nutritional, and defense profiles of harvested greenhouse-grown organic tomato fruits and leaves revealed by NMR metabolomics. *Journal of agricultural and food chemistry*, 67 (46), 12972-12985.
10. Acharya, P., Jayaprakasha, G. K., Crosby, K. M., Jifon, J. L., & Patil, B. S. (2020). Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas. *Scientific reports*, 10 (1), 1-16.
11. Adhikari, B., Adhikari, M., Ghimire, B., Adhikari, B. C., Park, G., & Choi, E. H. (2020). Cold plasma seed priming modulates growth, redox homeostasis and stress response by inducing reactive species in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Free Radical Biology and Medicine*, 156, 57-69.
12. Aharoni, A., & Galili, G. (2011). Metabolic engineering of the plant primary–secondary metabolism interface. *Current opinion in biotechnology*, 22 (2), 239-244.

13. Ahmad, I., Khaliq, T., Ahmad, A., Basra, S. M., Hasnain, Z., & Ali, A. (2012). Effect of seed priming with ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide on emergence, vigor and antioxidant activities of maize. *African Journal of Biotechnology*, 11 (5), 1127-1132.
14. Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A., Nabi, G., & Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical reviews in biotechnology*, 30 (3), 161-175.
15. Akram, N. A., Shafiq, F., & Ashraf, M. (2017). Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 613.
16. Akter, T., Mimma, A. A., Haque, M. A., Hossain, M. M., Ghosh, T. K., Zinan, N., Chowdhury, M. Z. H., & Islam, S. M. N. (2023). Seed priming with *Beauveria bassiana* improves growth and salt stress response in rice. *Environmental and Experimental Botany*, 213, 105427.
17. Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6 (11), 1720-1731.
18. Al Jitan, S., Alkhoori, S. A., & Yousef, L. F. (2018). Phenolic acids from plants: Extraction and application to human health. In *Studies in natural products chemistry*, 58, 389-417.
19. Al-Amri, S. M. (2013). Improved growth, productivity and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants through application of shikimic acid. *Saudi journal of biological sciences*, 20 (4), 339-345.
20. Ali, L. G., Nulit, R., Ibrahim, M. H., & Yien, C. Y. S. (2021). Efficacy of KNO₃, SiO₂ and SA priming for improving emergence, seedling growth and antioxidant enzymes of rice (*Oryza sativa*), under drought. *Scientific reports*, 11 (1), 1-11.
21. Ali, M. Y., Sina, A. A. I., Khandker, S. S., Neesa, L., Tanvir, E. M., Kabir, A., Khalil, M. I., & Gan, S. H. (2020). Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods*, 10 (1), 45.
22. Ali, M., Hayat, S., Ahmad, H., Ghani, M. I., Amin, B., Atif, M. J., & Cheng, Z. (2019). Priming of *Solanum melongena* L. seeds enhances germination, alters antioxidant enzymes, modulates ROS, and improves early seedling growth: indicating aqueous garlic extract as seed-priming bio-stimulant for eggplant production. *Applied Sciences*, 9 (11), 2203.
23. Ali, Q., Daud, M. K., Haider, M. Z., Ali, S., Rizwan, M., Aslam, N., Noman, A., Iqbal, N., Shahzad, F., Deeba, F., Ali, I., & Zhu, S. J. (2017). Seed priming by sodium nitroprusside improves salt tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Plant physiology and biochemistry*, 119, 50-58.
24. Álvarez-Robles, M. J., Clemente, R., Ferrer, M. A., Calderón, A., & Bernal, M. P. (2022). Effects of ascorbic acid addition on the oxidative stress response of *Oryza sativa* L. plants to As (V) exposure. *Plant Physiology and Biochemistry*, 186, 232-241.
25. Alves, R. D. C., Rossatto, D. R., da Silva, J. D. S., Checchio, M. V., de Oliveira, K. R., Oliveira, F. D. A., de Queiroz, S. F., Cruz, M. C. P., & Grato, P. L. (2021). Seed priming

- with ascorbic acid enhances salt tolerance in micro-tom tomato plants by modifying the antioxidant defense system components. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101927.
26. Anantharaju, P. G., Gowda, P. C., Vimalambike, M. G., & Madhunapantula, S. V. (2016). An overview on the role of dietary phenolics for the treatment of cancers. *Nutrition journal*, 15 (1), 1-16.
 27. Ananthi, M., Selvaraju, P., & Sundaralingam, K. (2019). Performance of Bioprimered Chilli Seed under Moisture Stress Condition. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 1-7.
 28. Anwar, A., Xianchang, Y. U., & Yansu, L. I. (2020). Seed priming as a promising technique to improve growth, chlorophyll, photosynthesis and nutrient contents in cucumber seedlings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (1), 116-127.
 29. Anjum, S. A., Xie, X., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., & Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African journal of agricultural research*, 6 (9), 2026-2032.
 30. Arendt, E. K., & Zannini, E. (2013). Oats. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*, Elsevier, 243–283.
 31. Ashajyothi, M., Kumar, A., Sheoran, N., Ganesan, P., Gogoi, R., Subbaiyan, G. K., & Bhattacharya, R. (2020). Black pepper (*Piper nigrum* L.) associated endophytic *Pseudomonas putida* BP25 alters root phenotype and induces defense in rice (*Oryza sativa* L.) against blast disease incited by *Magnaporthe oryzae*. *Biological Control*, 143, 104181.
 32. Ashraf, M. A., Rasheed, R., Hussain, I., Hafeez, A., Adrees, M., ur Rehman, M. Z., Rizwan, M., & Ali, S. (2022). Effect of different seed priming agents on chromium accumulation, oxidative defense, glyoxalase system and mineral nutrition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Pollution*, 309, 119769.
 33. Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2005). Pre-sowing seed treatment—A shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. *Advances in agronomy*, 88, 223-271.
 34. Ashraf, R., Sultana, B., Riaz, S., Mushtaq, M., Iqbal, M., Nazir, A., Atif, M., & Zafar, Z. (2018). Fortification of phenolics, antioxidant activities and biochemical attributes of radish root by plant leaf extract seed priming. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 16, 115-120.
 35. Azooz, M. M., Alzahrani, A. M., & Youssef, M. M. (2013). The potential role of seed priming with ascorbic acid and nicotinamide and their interactions to enhance salt tolerance in broad bean (*Vicia faba* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 7 (13), 2091-2100.
 36. Badek, B., van Duijn, B., & Grzesik, M. (2006). Effects of water supply methods and seed moisture content on germination of China aster (*Callistephus chinensis*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds. *European Journal of Agronomy*, 24 (1), 45-51.

37. Bagheri, N., Alizadeh, O., Zadeh, S. S., Aref, F., & Ordookhani, K. (2019). Evaluation of auxin priming and plant growth promoting Rhizobacteria on yield and yield components of wheat under drought stress. *EurAsian Journal of BioSciences*, 13 (2), 711-716.
38. Bahcesular, B., Yildirim, E. D., Karaçocuk, M., Kulak, M., & Karaman, S. (2020). Seed priming with melatonin effects on growth, essential oil compounds and antioxidant activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) under salinity stress. *Industrial Crops and Products*, 146, 112165.
39. Bai, L., Deng, H., Zhang, X., Yu, X., & Li, Y. (2016). Gibberellin is involved in inhibition of cucumber growth and nitrogen uptake at suboptimal root-zone temperatures. *PloS one*, 11 (5), e0156188.
40. Baier, M., Bittner, A., Prescher, A., & van Buer, J. (2019). Preparing plants for improved cold tolerance by priming. *Plant, Cell & Environment*, 42 (3), 782-800.
41. Baig, Z., Khan, N., Sahar, S., Sattar, S., & Zehra, R. (2021). Effects of seed priming with ascorbic acid to mitigate salinity stress on three wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Acta Ecologica Sinica*, 41 (5), 491-498.
42. Baik, B. K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of cereal science*, 48 (2), 233-242.
43. Bajehbaj, A. A. (2010). The effects of NaCl priming on salt tolerance in sunflower germination and seedling grown under salinity conditions. *African Journal of Biotechnology*, 9 (12).
44. Bali, S., Kaur, P., Jamwal, V. L., Gandhi, S. G., Sharma, A., Ohri, P., Bhardwaj, R., Ali, M. A., & Ahmad, P. (2020). Seed priming with jasmonic acid counteracts root knot nematode infection in tomato by modulating the activity and expression of antioxidative enzymes. *Biomolecules*, 10 (1), 98.
45. Baliyan, N., Dhiman, S., Dheeman, S., Kumar, S., & Maheshwari, D. K. (2021). Optimization of indole-3-acetic acid using response surface methodology and its effect on vegetative growth of chickpea. *Rhizosphere*, 17, 100321.
46. Balli, D., Cecchi, L., Pieraccini, G., Innocenti, M., Benedettelli, S., & Mulinacci, N. (2022). What's new on total phenols and γ -oryzanol derivatives in wheat? A comparison between modern and ancient varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 109, 104453.
47. Bartwal, A., Mall, R., Lohani, P., Guru, S. K., & Arora, S. (2013). Role of secondary metabolites and brassinosteroids in plant defense against environmental stresses. *Journal of plant growth regulation*, 32, 216-232.
48. Beauchamp, C., & Fridovich, I. (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical biochemistry*, 44 (1), 276-287.
49. Ben Youssef, R., Jelali, N., Boukari, N., Albacete, A., Martinez, C., Alfocea, F. P., & Abdelly, C. (2021). The Efficiency of Different Priming Agents for Improving Germination and Early Seedling Growth of Local Tunisian Barley under Salinity Stress. *Plants*, 10 (11), 2264.
50. Benincasa, P., Falcinelli, B., Lutts, S., Stagnari, F., & Galieni, A. (2019). Sprouted grains: A comprehensive review. *Nutrients*, 11 (2), 421.

51. Berni, R., Romi, M., Parrotta, L., Cai, G., & Cantini, C. (2018). Ancient tomato (*Solanum lycopersicum* L.) varieties of tuscany have high contents of bioactive compounds. *Horticulturae*, 4 (4), 51.
52. Bertin, N., & Génard, M. (2018). Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 233, 264-276.
53. Bewley, J. D., & Black, M. (1994). *Seeds: physiology of development and germination*. Plenum Press, London, UK.
54. Bewley, J. D., & Black, M. (2013). *Seeds: physiology of development and germination*. Springer Science & Business Media.
55. Biondi, S., Antognoni, F., Marincich, L., Lianza, M., Tejos, R., & Ruiz, K. B. (2022). The polyamine “multiverse” and stress mitigation in crops: A case study with seed priming in quinoa. *Scientia Horticulturae*, 304, 111292.
56. Bochkov, D. V., Sysolyatin, S. V., Kalashnikov, A. I., & Surmacheva, I. A. (2012). Shikimic acid: review of its analytical, isolation, and purification techniques from plant and microbial sources. *Journal of chemical biology*, 5 (1), 5-17.
57. Bojovic, B. M., Jakovljevic, D. Z., Curcic, S. S., & Stankovic, M. S. (2018). Phytotoxic potential of common nettle (*Urtica dioica* L.) on germination and early growth of cereals and vegetables. *Allelopathy Journal*, 43 (2), 175-186.
58. Bojović, B. M., & Stojanović, J. (2005). Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. *Archives of Biological Sciences*, 57 (4), 283-290.
59. Bose, B., Kumaria, S., Tandon, P. (2022). Physiological insights into the role of temperature and light conditions on in vitro growth, embrane thermostability and antioxidative activity of *Nardostachys jatamansi*, an IUCN Red-listed critically endangered therapeutic plant. *South African Journal of Botany*, 146, 365–374.
60. Bouzaïene, N. N., Jaziri, S. K., Kovacic, H., Chekir-Ghedira, L., Ghedira, K., & Luis, J. (2015). The effects of caffeic, coumaric and ferulic acids on proliferation, superoxide production, adhesion and migration of human tumor cells in vitro. *European Journal of Pharmacology*, 766, 99-105.
61. Boz, H. (2015). Phenolic amides (avenanthramides) in oats-a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 33 (5), 399-404.
62. Cao, Q., Li, G., Cui, Z., Yang, F., Jiang, X., Diallo, L., & Kong, F. (2019). Seed priming with melatonin improves the seed germination of waxy maize under chilling stress via promoting the antioxidant system and starch metabolism. *Scientific reports*, 9(1), 1-12.
63. Chakraborti, S., Bera, K., Sadhukhan, S., & Dutta, P. (2021). Bio-priming of seeds: Plant stress management and its underlying cellular, biochemical and molecular mechanisms. *Plant Stress*, 100052.
64. Chakraborty, N., Mitra, R., Dasgupta, D., Ganguly, R., Acharya, K., Minkina, T., Popova, V., Churyukina, E., & Keswani, C. (2023). Unraveling lipid peroxidation-mediated regulation of redox homeostasis for sustaining plant health. *Plant Physiology and Biochemistry*, 108272.

65. Chamseddine, M., Wided, B. A., Guy, H., Marie-Edith, C., & Fatma, J. (2009). Cadmium and copper induction of oxidative stress and antioxidative response in tomato (*Solanum lycopersicon*) leaves. *Plant Growth Regulation*, 57, 89-99.
66. Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of food science and technology*, 55 (8), 2833-2849.
67. Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 259, 108823.
68. Chen, C., Wang, L., Wang, R., Luo, X., Li, Y., Li, J., Li, Y., & Chen, Z. (2018). Phenolic contents, cellular antioxidant activity and antiproliferative capacity of different varieties of oats. *Food Chemistry*, 239, 260-267.
69. Chen, S., Lin, R., Lu, H., Wang, Q., Yang, J., Liu, J., & Yan, C. (2020). Effects of phenolic acids on free radical scavenging and heavy metal bioavailability in kandelia obovata under cadmium and zinc stress. *Chemosphere*, 249, 126341.
70. Chinnusamy, V., Zhu, J., & Zhu, J. K. (2007). Cold stress regulation of gene expression in plants. *Trends in plant science*, 12 (10), 444-451.
71. Chrysargyris, A., Papakyriakou, E., Petropoulos, S. A., & Tzortzakis, N. (2019). The combined and single effect of salinity and copper stress on growth and quality of *Mentha spicata* plants. *Journal of hazardous materials*, 368, 584-593.
72. Chunsriimyatav, G., Hoza, I., Valášek, P., Skrovanková, S., Banzragch, D., & Tsevegsuren, N. (2009). Determination of Phenolic Compounds in *Saussurea salicifolia* (L.) DC. by HPLC. *Czech Journal of Food Sciences*, 27 (Special Issue 1), 259.
73. Chunthaburee, S., Sanitchon, J., Pattanagul, W., & Theerakulpisut, P. (2014). Alleviation of salt stress in seedlings of black glutinous rice by seed priming with spermidine and gibberellic acid. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42 (2), 405-413.
74. Ciric, A. R., Ivanovic, N., Cvijovic, M. S., Jelikic-Stankov, M., Joksovic, L., & Djurdjevic, P. T. (2014). Chemometric-Assisted Optimization of RP-HPLC Method for Determination of Some Bioflavonoids in *Brassica oleracea* Species and Their Antioxidative Activity. *Food analytical methods*, 7, 1387-1399.
75. Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., & Fotiadis, S. (2019). Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9 (9), 201.
76. Damalas, C. A., Koutroubas, S. D., & Fotiadis, S. (2019). Hydro-priming effects on seed germination and field performance of faba bean in spring sowing. *Agriculture*, 9 (9), 201.
77. Dastborhan, S., & Ghassemi-Golezani, K. (2015). Influence of seed priming and water stress on selected physiological traits of borage. *Folia Horticulturae*, 27 (2), 151-159.
78. de Cássia Alves, R., Oliveira, K. R., Lúcio, J. C. B., dos Santos Silva, J., Carrega, W. C., Queiroz, S. F., & Gratão, P. L. (2022). Exogenous foliar ascorbic acid applications enhance salt-stress tolerance in peanut plants throughout an increase in the activity of major antioxidant enzymes. *South African Journal of Botany*, 150, 759-767.

79. Demidchik, V. (2015). Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. *Environmental and experimental botany*, 109, 212-228.
80. Demir, I., Ozden, E., Yildirim, K. C., Sahin, O., & Van Staden, J. (2018). Priming with smoke-derived karrikinolide enhances germination and transplant quality of immature and mature pepper seed lots. *South African Journal of Botany*, 115, 264-268.
81. Deng, L. N., Feng, G. N., Gao, Y., Shen, Y. X., Li, H. S., Gu, Y., & Luan, H. Y. (2019). Phytochemical constituents and antioxidant enzyme activity profiles of different barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars at different developmental stages. *Agronomy*, 10 (1), 37.
82. Deng, Y., & Lu, S. (2017). Biosynthesis and regulation of phenylpropanoids in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36 (4), 257-290.
83. Desmet, S., Morreel, K., & Dauwe, R. (2021). Origin and function of structural diversity in the plant specialized metabolome. *Plants*, 10 (11), 2393.
84. Dhillon, B. S., Kumar, V., Sagwal, P., Kaur, N., Singh Mangat, G., & Singh, S. (2021). Seed priming with potassium nitrate and gibberellic acid enhances the performance of dry direct seeded rice (*Oryza sativa* L.) in north-western India. *Agronomy*, 11 (5), 849.
85. Di Girolamo, G., & Barbanti, L. (2012). Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. *Italian Journal of Agronomy*, 7 (2), e25-e25.
86. Ding, F., Wang, C., Zhang, S., & Wang, M. (2022). A jasmonate-responsive glutathione S-transferase gene SlGSTU24 mitigates cold-induced oxidative stress in tomato plants. *Scientia Horticulturae*, 303, 111231.
87. dos Santos Guaraldo, M. M., Pereira, T. M., dos Santos, H. O., de Oliveira, T. L., Pereira, W. V. S., & Von Pinho, E. V. D. R. (2023). Priming with sodium nitroprusside and hydrogen peroxide increases cotton seed tolerance to salinity and water deficit during seed germination and seedling development. *Environmental and Experimental Botany*, 209, 105294.
88. Drawbridge, P. C., Apea-Bah, F., Hornung, P. S., & Beta, T. (2021). Bioaccessibility of phenolic acids in Canadian hullless barley varieties. *Food Chemistry*, 358, 129905.
89. Edelstein, M., & Ben-Hur, M. (2018). Heavy metals and metalloids: Sources, risks and strategies to reduce their accumulation in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 234, 431-444.
90. Elango, T., Jeyaraj, A., Dayalan, H., Arul, S., Govindadamy, R., Prathap, K., & Li, X. (2023). Influence of shading intensity on chlorophyll, carotenoid and metabolites biosynthesis to improve the quality of green tea: a review. *Energy Nexus*, 100241.
91. El-Hawary, S. S., Sayed, A. M., Mohammed, R., Hassan, H. M., Zaki, M. A., Rateb, M. E., Mohammed, T. A., Amin, E., & Abdelmohsen, U. R. (2018). Epigenetic modifiers induce bioactive phenolic metabolites in the marine-derived fungus *Penicillium brevicompactum*. *Marine drugs*, 16 (8), 253.
92. Elkelish, A., Qari, S. H., Mazrou, Y. S., Abdelaal, K. A., Hafez, Y. M., Abu-Elsaoud, A. M., Batiha, G. E. S., El-Esawi, M. A., & El Nahhas, N. (2020). Exogenous ascorbic acid induced chilling tolerance in tomato plants through modulating metabolism, osmolytes, antioxidants, and transcriptional regulation of catalase and heat shock proteins. *Plants*, 9 (4), 431.

93. Ellouzi, H., Oueslati, S., Hessini, K., Rabhi, M., & Abdelly, C. (2021). Seed-priming with H_2O_2 alleviates subsequent salt stress by preventing ROS production and amplifying antioxidant defense in cauliflower seeds and seedlings. *Scientia Horticulturae*, 288, 110360.
94. El-Sanatawy, A. M., Ash-Shormillesy, S. M., Qabil, N., Awad, M. F., & Mansour, E. (2021). Seed halo-priming improves seedling vigor, grain yield, and water use efficiency of maize under varying irrigation regimes. *Water*, 13 (15), 2115.
95. El-Sanatawy, A. M., El-Kholy, A. S., Ali, M. M., Awad, M. F., & Mansour, E. (2021). Maize seedling establishment, grain yield and crop water productivity response to seed priming and irrigation management in a Mediterranean arid environment. *Agronomy*, 11 (4), 756.
96. El-Serafy, R. S., El-Sheshtawy, A. N. A., Atteya, A. K., Al-Hashimi, A., Abbasi, A. M., & Al-Ashkar, I. (2021). Seed priming with silicon as a potential to increase salt stress tolerance in *Lathyrus odoratus*. *Plants*, 10 (10), 2140.
97. Espanany, A., Fallah, S., & Tadayyon, A. (2015). The effect of halopriming and salicylic acid on the germination of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) under different cadmium concentrations. *Notulae Scientia Biologicae*, 7 (3), 322-329.
98. Espanany, A., Fallah, S., & Tadayyon, A. (2016). Seed priming improves seed germination and reduces oxidative stress in black cumin (*Nigella sativa*) in presence of cadmium. *Industrial Crops and Products*, 79, 195-204.
99. Estévez-Geffriaud, V., Vicente, R., Vergara-Díaz, O., Narváez Reinaldo, J. J., & Trillas, M. I. (2020). Application of *Trichoderma asperellum* T34 on maize (*Zea mays*) seeds protects against drought stress. *Planta*, 252 (1), 1-12.
100. Farooq, M., Almamari, S. A. D., Rehman, A., Al-Busaidi, W. M., Wahid, A., & Al-Ghamdi, S. S. (2021). Morphological, physiological and biochemical aspects of zinc seed priming-induced drought tolerance in faba bean. *Scientia Horticulturae*, 281, 109894.
101. Farooq, M., Aziz, T., ur Rehman, H., ur Rehman, A., Cheema, S. A., & Aziz, T. (2011). Evaluating surface drying and re-drying for wheat seed priming with polyamines: effects on emergence, early seedling growth and starch metabolism. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33, 1707-1713.
102. Farooq, M., Hussain, M., Imran, M., Ahmad, I., Atif, M., & Alghamdi, S. S. (2019). Improving the productivity and profitability of late sown chickpea by seed priming. *International Journal of Plant Production*, 13 (2), 129-139.
103. Farooq, M., Irfan, M., Aziz, T., Ahmad, I., & Cheema, S. A. (2012). Seed priming with ascorbic acid improves drought resistance of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199 (1), 12-22.
104. Fathi, N., Kazemeini, S. A., Alinia, M., & Mastinu, A. (2023). The effect of seed priming with melatonin on improving the tolerance of *Zea mays* L. var *saccharata* to paraquat-induced oxidative stress through photosynthetic systems and enzymatic antioxidant activities. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 124, 101967.
105. Finch-Savage, W. E., & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New phytologist*, 171 (3), 501-523.

106. Fodorpataki, L., Molnar, K., Tompa, B., & Plugaru, S. R. (2019). Priming with vitamin U enhances cold tolerance of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47 (3), 592.
107. Formisano, L., Ciriello, M., El-Nakhel, C., Poledica, M., Starace, G., Graziani, G., Ritieni, A., De Pascale, S., & Rouphael, Y. (2021). Pearl grey shading net boosts the accumulation of total carotenoids and phenolic compounds that Accentuate the antioxidant activity of processing tomato. *Antioxidants*, 10 (12), 1999.
108. Forti, C., Shankar, A., Singh, A., Balestrazzi, A., Prasad, V., & Macovei, A. (2020). Hydropriming and biopriming improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes*, 11(3), 242.
109. Gaafar, A. A., Ali, S. I., El-Shawadfy, M. A., Salama, Z. A., Şekara, A., Ulrichs, C., & Abdelhamid, M. T. (2020). Ascorbic acid induces the increase of secondary metabolites, antioxidant activity, growth, and productivity of the common bean under water stress conditions. *Plants*, 9 (5), 627.
110. Gallie, D. R. (2013). L-ascorbic acid: a multifunctional molecule supporting plant growth and development. *Scientifica*, 795964.
111. Gamba, M., Asllanaj, E., Raguindin, P. F., Glisic, M., Franco, O. H., Minder, B., Bussler, W., Metzger, B., Kern, H., & Muka, T. (2021). Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 205-218.
112. Gao, F., Guo, J., & Shen, Y. (2024). Advances from chlorophyll biosynthesis to photosynthetic adaptation, evolution and signaling. *Plant Stress*, 100470.
113. Gao, L., Li, H., Li, B., Shao, H., Yu, X., Miao, Z., Zhang, L., Zhu, L., & Sheng, H. (2022). Traditional uses, phytochemistry, transformation of ingredients and pharmacology of the dried seeds of *Raphanus sativus* L. (Raphani Semen), A comprehensive review. *Journal of Ethnopharmacology*, 294, 115387.
114. Gardarin, A., Coste, F., Wagner, M. H., & Dürr, C. (2016). How do seed and seedling traits influence germination and emergence parameters in crop species? A comparative analysis. *Seed Science Research*, 26 (4), 317-331.
115. Gengmao, Z., Yu, H., Xing, S., Shihui, L., Quanmei, S., & Changhai, W. (2015). Salinity stress increases secondary metabolites and enzyme activity in safflower. *Industrial crops and products*, 64, 175-181.
116. George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S., & Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food chemistry*, 84 (1), 45-51.
117. Gerszberg, A., Hnatuszko-Konka, K., Kowalczyk, T., & Kononowicz, A. K. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 120 (3), 881-902.
118. Gharbi, E., Lutts, S., Dailly, H., & Quinet, M. (2018). Comparison between the impacts of two different modes of salicylic acid application on tomato (*Solanum lycopersicum*) responses to salinity. *Plant Signaling & Behavior*, 13 (5), e1469361.
119. Ghezal, N., Rinez, I., Sbair, H., Saad, I., Farooq, M., Rinez, A., Zribi, I., Haouala, R. (2016). Improvement of *Pisum sativum* salt stress tolerance by bio-priming their seeds

- using *Typha angustifolia* leaves aqueous extract. *South African Journal of Botany*, 105, 240-250.
120. Ghodrat, V., & Rousta, M. J. (2012). Effect of priming with Gibberellic acid (GA₃) on germination and growth of corn (*Zea mays* L.) under saline conditions. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences (IJACS)*, 4 (13), 882-885.
121. Gholami, M., Mokhtarian, F., & Baninasab, B. (2015). Seed halopriming improves the germination performance of black seed (*Nigella sativa*) under salinity stress conditions. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 18 (1), 21-26.
122. Ghosh, S., Chisti, Y., & Banerjee, U. C. (2012). Production of shikimic acid. *Biotechnology advances*, 30 (6), 1425-1431.
123. Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant physiology and biochemistry*, 48 (12), 909-930.
124. Gill, S. S., Anjum, N. A., Gill, R., Yadav, S., Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Mishra, P., Sabat, S. C., & Tuteja, N. (2015). Superoxide dismutase—mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental science and pollution research*, 22, 10375-10394.
125. Girotto, E., Ceretta, C. A., Rossato, L. V., Farias, J. G., Brunetto, G., Miotto, A., Tiecher, T. L., de Conti, L., Lourenzi, C. R., Schmatz, R., Giachini, A., & Nicoloso, F. T. (2016). Biochemical changes in black oat (*Avena strigosa* Schreb) cultivated in vineyard soils contaminated with copper. *Plant Physiology and Biochemistry*, 103, 199-207.
126. González-García, Y., López-Vargas, E. R., Pérez-Álvarez, M., Cadenas-Pliego, G., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., Pérez-Labrada, F., & Juárez-Maldonado, A. (2022). Seed priming with carbon nanomaterials improves the bioactive compounds of tomato plants under saline stress. *Plants*, 11 (15), 1984.
127. González-Sarriás, A., Tomás-Barberán, F. A., & García-Villalba, R. (2020). Structural diversity of polyphenols and distribution in foods. In *Dietary Polyphenols: Their Metabolism and Health Effects*, 1-29.
128. Goth, L. (1991). A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range. *Clinica chimica acta*, 196 (2-3), 143-151.
129. Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., & Di Scala, K. (2015). Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots. *Journal of functional foods*, 16, 256-264.
130. Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E., & Di Scala, K. (2015). Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots. *Journal of functional foods*, 16, 256-264.
131. Gupta, R., Meghwal, M., & Prabhakar, P. K. (2021). Bioactive compounds of pigmented wheat (*Triticum aestivum*): Potential benefits in human health. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 240-252.
132. Gutiérrez-Grijalva, E. P., Picos-Salas, M. A., Leyva-López, N., Criollo-Mendoza, M. S., Vazquez-Olivo, G., & Heredia, J. B. (2017). Flavonoids and phenolic acids from oregano: Occurrence, biological activity and health benefits. *Plants*, 7 (1), 2.

133. Habib, N., Ali, Q., Ali, S., Javed, M. T., Zulqurnain Haider, M., Perveen, R., Shahid, M. R., Rizwan, M., Abdel-Daim, M. M., Elkelish, A., & Bin-Jumah, M. (2020). Use of nitric oxide and hydrogen peroxide for better yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit conditions: growth, osmoregulation, and antioxidative defense mechanism. *Plants*, 9 (2), 285.
134. Habibi, N., Aryan, S., Amin, M. W., Sanada, A., Terada, N., & Koshio, K. (2023). Potential Benefits of Seed Priming under Salt Stress Conditions on Physiological, and Biochemical Attributes of Micro-Tom Tomato Plants. *Plants*, 12 (11), 2187.
135. Hamayun, M., Hussain, A., Khan, S. A., Irshad, M., Khan, A. L., Waqas, M., Shahzad, R., Iqbal, A., Ullah, N., Rehman, G., Kim, H. Y., & Lee, I. J. (2015). Kinetin modulates physio-hormonal attributes and isoflavone contents of soybean grown under salinity stress. *Frontiers in plant science*, 6, 377.
136. Hamayun, M., Sohn, E. Y., Khan, S. A., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., & Lee, I. J. (2010). Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress on growth and endogenous plant growth hormones of soybean (*Glycine max* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 42 (3), 1713-1722.
137. Hameed, A., Akram, N. A., Saleem, M. H., Ashraf, M., Ahmed, S., Ali, S., Alsahli, A. A. & Alyemeni, M. N. (2021). Seed treatment with α -tocopherol regulates growth and key physio-biochemical attributes in carrot (*Daucus carota* L.) plants under water limited regimes. *Agronomy*, 11 (3), 469.
138. Hameed, A., Sheikh, M. A., Jamil, A., & Basra, S. M. A. (2013). Seed priming with sodium silicate enhances seed germination and seedling growth in wheat (*Triticum aestivum* L.) under water deficit stress induced by polyethylene glycol. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences*, 11 (1), 19-24.
139. Hamid, M., Ashraf, M. Y., Arashad, M. (2008). Influence of salicylic acid seed priming on growth and some biochemical attributes in wheat grown under saline conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 40, 361-367.
140. Han, C., & Yang, P. (2015). Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics*, 15(10), 1671-1679.
141. Hanson, J. (1985). Procedures for handling seeds in genebanks. *Procedures for handling seeds in genebanks*.
142. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Anee, T. I., Parvin, K., Nahar, K., Mahmud, J. A., & Fujita, M. (2019). Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. *Antioxidants*, 8 (9), 384.
143. Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., Masud, A. A. C., Moumita, M., & Fujita, M. (2018). Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8 (3), 31.
144. Hassini, I., Baenas, N., Moreno, D. A., Carvajal, M., Boughanmi, N., & Martinez Ballesta, M. D. C. (2017 a). Effects of seed priming, salinity and methyl jasmonate treatment on bioactive composition of *Brassica oleracea* var. *capitata* (white and red varieties) sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (8), 2291-2299.
145. Hassini, I., Martinez-Ballesta, M. C., Boughanmi, N., Moreno, D. A., & Carvajal, M. (2017 b). Improvement of broccoli sprouts (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) growth and

- quality by KCl seed priming and methyl jasmonate under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 226, 141-151.
146. Hassini, I., Rios, J. J., Garcia-Ibañez, P., Baenas, N., Carvajal, M., & Moreno, D. A. (2019). Comparative effect of elicitors on the physiology and secondary metabolites in broccoli plants. *Journal of plant physiology*, 239, 1-9.
147. Hatami, M., Khanizadeh, P., Bovand, F., & Aghaee, A. (2021). Silicon nanoparticle-mediated seed priming and *Pseudomonas* spp. inoculation augment growth, physiology and antioxidant metabolic status in *Melissa officinalis* L. plants. *Industrial Crops and Products*, 162, 113238.
148. He, Z., Chen, A. Y., Rojanasakul, Y., Rankin, G. O., & Chen, Y. C. (2016). Gallic acid, a phenolic compound, exerts anti-angiogenic effects via the PTEN/AKT/HIF-1 α /VEGF signaling pathway in ovarian cancer cells. *Oncology reports*, 35 (1), 291-297.
149. Hedden, P., & Phillips, A. L. (2000). Gibberellin metabolism: new insights revealed by the genes. *Trends in plant science*, 5 (12), 523-530.
150. Hermanns, A. S., Zhou, X., Xu, Q., Tadmor, Y., & Li, L. (2020). Carotenoid pigment accumulation in horticultural plants. *Horticultural Plant Journal*, 6 (6), 343-360.
151. Hernández-Rodríguez, P., Baquero, L. P., & Larrota, H. R. (2019). Flavonoids: potential therapeutic agents by their antioxidant capacity. In *Bioactive compounds*, Woodhead Publishing, 265-288.
152. Heydecker, W., Higgins, J., & Gulliver, R. L. (1973). Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*, 246 (5427), 42-44.
153. Hu, M., Lu, X., Qin, S., Liu, R., Wang, Q., Lu, C., & Li, W. (2024). Research progress on the biosynthesis, activity and application of natural tetrapyrrole compounds. *Arabian Journal of Chemistry*, 105736.
154. Huang, L., Zhang, L., Zeng, R., Wang, X., Zhang, H., Wang, L., Liu, S., Wang, X., & Chen, T. (2020). Brassinosteroid priming improves peanut drought tolerance via eliminating inhibition on genes in photosynthesis and hormone signaling. *Genes*, 11 (8), 919.
155. Hussain, H. A., Hussain, S., Khaliq, A., Ashraf, U., Anjum, S. A., Men, S., & Wang, L. (2018). Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in plant science*, 9, 393.
156. Hussain, I., Siddique, A., Ashraf, M. A., Rasheed, R., Ibrahim, M., Iqbal, M., Akbar, S., & Imran, M. (2017 a). Does exogenous application of ascorbic acid modulate growth, photosynthetic pigments and oxidative defense in okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) under lead stress?. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39 (6), 1-13.
157. Hussain, M., Farooq, M., & Lee, D. J. (2017 b). Evaluating the role of seed priming in improving drought tolerance of pigmented and non-pigmented rice. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203 (4), 269-276.
158. Hussain, S., Khan, F., Hussain, H. A., & Nie, L. (2016). Physiological and biochemical mechanisms of seed priming-induced chilling tolerance in rice cultivars. *Frontiers in plant science*, 7, 116.

159. Hussain, S., Nisar, F., Bhatt, A., Nielsen, B. L., Gul, B., & Hameed, A. (2022). Redox priming alleviates dormancy and improves salinity tolerance of seeds and seedlings of medicinal halophyte *Zygophyllum simplex* L. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 30, 100384.
160. Hussein, H. A. A., Alshammari, S. O., Abd El-Sadek, M. E., Kenawy, S. K., & Badawy, A. A. (2023). The promotive effect of putrescine on growth, biochemical constituents, and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under water stress. *Agriculture*, 13 (3), 587.
161. Ibrahim, E. A. (2016). Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of plant physiology*, 192, 38-46.
162. Idehen, E., Tang, Y., & Sang, S. (2017). Bioactive phytochemicals in barley. *Journal of food and drug analysis*, 25 (1), 148-161.
163. Iftikhar, A., Ali, S., Yasmeen, T., Arif, M. S., Zubair, M., Rizwan, M., Alhaithloul, H. A .S., Alayafi, A. A. M., & Soliman, M. H. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, photosynthesis and antioxidant defense system of wheat under zinc oxide nanoparticle stress. *Environmental Pollution*, 254, 113109.
164. Ioannou, A., Gohari, G., Papaphilippou, P., Panahirad, S., Akbari, A., Dadpour, M. R., Krasia-Christoforou, T., & Fotopoulos, V. (2020). Advanced nanomaterials in agriculture under a changing climate: the way to the future?. *Environmental and Experimental Botany*, 176, 104048.
165. Iqbal, H., Yaning, C., Waqas, M., Ahmed, Z., Raza, S. T., & Shareef, M. (2020). Improving heat stress tolerance in late planted spring maize by using different exogenous elicitors. *Chilean journal of agricultural research*, 80 (1), 30-40.
166. Iqbal, M., & Ashraf, M. (2013). Gibberellic acid mediated induction of salt tolerance in wheat plants: Growth, ionic partitioning, photosynthesis, yield and hormonal homeostasis. *Environmental and experimental botany*, 86, 76-85.
167. Irakli, M. N., Samanidou, V. F., Biliaderis, C. G., & Papadoyannis, I. N. (2012). Simultaneous determination of phenolic acids and flavonoids in rice using solid-phase extraction and RP-HPLC with photodiode array detection. *Journal of Separation Science*, 35 (13), 1603-1611.
168. Islam, F., Yasmeen, T., Ali, S., Ali, B., Farooq, M. A., & Gill, R. A. (2015). Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37 (8), 1-12.
169. Jakovljević, D., Bojović, B., Stanković, M., & Topuzović, M. (2020). Characteristics of in vitro seed germination of three basil genotypes under different nutrition. *Kragujevac Journal of Science*, (42), 135-142.
170. Jakovljević, D., Stanković, M., Bojović, B., & Topuzović, M. (2017). Regulation of early growth and antioxidant defense mechanism of sweet basil seedlings in response to nutrition. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39 (11), 1-13.
171. Jakovljević, D., Topuzović, M., & Stanković, M. (2019). Nutrient limitation as a tool for the induction of secondary metabolites with antioxidant activity in basil cultivars. *Industrial Crops and Products*, 138, 111462.

172. Jame, Y. W., & Cutforth, H. W. (2004). Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124 (3-4), 207-218.
173. Jan, R., Asaf, S., Numan, M., & Kim, K. M. (2021). Plant secondary metabolite biosynthesis and transcriptional regulation in response to biotic and abiotic stress conditions. *Agronomy*, 11 (5), 968.
174. Janků, M., Luhová, L., & Petřivalský, M. (2019). On the origin and fate of reactive oxygen species in plant cell compartments. *Antioxidants*, 8 (4), 105.
175. Janowiak, F., Maas, B., & Dörffling, K. (2002). Importance of abscisic acid for chilling tolerance of maize seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 159 (6), 635-643.
176. Jayesh, V., & Meeta, J. (2015). Influence of halopriming and hydropriming on seed germination and growth characteristics of *Zea mays* L. cv. GSF-2 under salt stress. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 19, 10.
177. Jia, L., Xu, W., Li, W., Ye, N., Liu, R., Shi, L., Bin Rahman, R.A.N.M., Fan, M., & Zhang, J. (2013). Class III peroxidases are activated in proanthocyanidin-deficient *Arabidopsis thaliana* seeds. *Annals of botany*, 111 (5), 839-847.
178. Jiao, C., Zhang, J., Wang, X., & He, N. (2023). Plant magnesium on the Qinghai–Tibetan Plateau: Spatial patterns and influencing factors. *Science of The Total Environment*, 862, 160743.
179. Jisha, K. C., & Puthur, J. T. (2014). Seed halopriming outdo hydropriming in enhancing seedling vigor and osmotic stress tolerance potential of rice varieties. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 17 (4), 209-219.
180. Jisha, K. C., & Puthur, J. T. (2018). Seed hydropriming enhances osmotic stress tolerance potential in *Vigna radiata*. *Agricultural research*, 7 (2), 145-151.
181. Jisha, K. C., Vijayakumari, K., & Puthur, J. T. (2013). Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35 (5), 1381-1396.
182. Johnson, R., & Puthur, J. T. (2021). Seed priming as a cost effective technique for developing plants with cross tolerance to salinity stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 247-257.
183. Kacharava, N., Chanishvili, S., Badridze, G., Chkhubianishvili, E., & Janukashvili, N. (2009). Effect of seed irradiation on the content of antioxidants in leaves of Kidney bean, Cabbage and Beet cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 3 (3), 137.
184. Kahveci, H., Bilginer, N., Diraz-Yildirim, E., Kulak, M., Yazar, E., Kocacinar, F., & Karaman, S. (2021). Priming with salicylic acid, β -carotene and tryptophan modulates growth, phenolics and essential oil components of *Ocimum basilicum* L. grown under salinity. *Scientia Horticulturae*, 281, 109964.
185. Kamran, M., Wang, D., Xie, K., Lu, Y., Shi, C., Sabagh, A. E., Gu, W., & Xu, P. (2021). Pre-sowing seed treatment with kinetin and calcium mitigates salt induced inhibition of seed germination and seedling growth of choysum (*Brassica rapa* var. *parachinensis*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 227, 112921.

186. Kanjevac, M., Bojović, B., & Jakovljević, D. (2021). Improvement of physiological performance of selected cereals by modulating pregerminative metabolic activity in seeds. *Cereal Research Communications*, 1-9.
187. Karalija, E., Selović, A., Dahija, S., Demir, A., Samardžić, J., Vrobel, O., Zeljković, S. Ć., & Parić, A. (2021). Use of seed priming to improve Cd accumulation and tolerance in *Silene sendtneri*, novel Cd hyper-accumulator. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 210, 111882.
188. Karim, M. N., Sani, M. N. H., Uddain, J., Azad, M. O. K., Kabir, M. S., Rahman, M. S., Choi K. Y. N., & Naznin, M. T. (2020). Stimulatory effect of seed priming as pretreatment factors on germination and yield performance of yard long bean (*Vigna unguiculata*). *Horticulturae*, 6 (4), 104.
189. Kasote, D. M., Lee, J. H., Jayaprakasha, G. K., & Patil, B. S. (2019). Seed priming with iron oxide nanoparticles modulate antioxidant potential and defense-linked hormones in watermelon seedlings. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 7 (5), 5142-5151.
190. Kataria, S., Jain, M., Rastogi, A., & Brestic, M. (2021). Static magnetic field treatment enhanced photosynthetic performance in soybean under supplemental ultraviolet-B radiation. *Photosynthesis research*, 150 (1), 263-278.
191. Kaushik, P., Andújar, I., Vilanova, S., Plazas, M., Gramazio, P., Herraiz, F. J., Brar, N. S. & Prohens, J. (2015). Breeding vegetables with increased content in bioactive phenolic acids. *Molecules*, 20 (10), 18464-18481.
192. Kavian, S., Safarzadeh, S., & Yasrebi, J. (2022). Zinc improves growth and antioxidant enzyme activity in *Aloe vera* plant under salt stress. *South African Journal of Botany*, 147, 1221-1229.
193. Kerchev, P., van der Meer, T., Sujeeth, N., Verlee, A., Stevens, C. V., Van Breusegem, F., & Gechev, T. (2020). Molecular priming as an approach to induce tolerance against abiotic and oxidative stresses in crop plants. *Biotechnology advances*, 40, 107503.
194. Khaing, M., Ultra Jr, V. U., & Chul Lee, S. (2020). Seed priming influence on growth, yield, and grain biochemical composition of two wheat cultivars. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 22 (3), 875-888.
195. Khan, M. I. R., & Khan, N. A. (2017). An Introduction to Antioxidants and Their Roles in Plant Stress Tolerance. In *Reactive oxygen species and antioxidant systems in plants: role and regulation under abiotic stress*, Singapore: Springer Singapore, 1-23.
196. Khan, M. I. R., Khan, N. A., Masood, A., Per, T. S., & Asgher, M. (2016). Hydrogen peroxide alleviates nickel-inhibited photosynthetic responses through increase in use-efficiency of nitrogen and sulfur, and glutathione production in mustard. *Frontiers in plant science*, 7, 44.
197. Khan, M. N., Fu, C., Li, J., Tao, Y., Li, Y., Hu, J., Chen, L., Khan, Z., Wu, H., & Li, Z. (2022). Seed nanoprimering: How do nanomaterials improve seed tolerance to salinity and drought?. *Chemosphere*, 136911.
198. Khan, M. N., Khan, Z., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Zhang, J., Xu, Z., Wu, H., & Hu, L. (2020). Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 156, 112850.

199. Khan, M. N., Zhang, J., Luo, T., Liu, J., Rizwan, M., Fahad, S., Xu, Z., & Hu, L. (2019). Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast ultrastructure perseveration. *Industrial Crops and Products*, 140, 111597.
200. Khare, S., Singh, N. B., Singh, A., Hussain, I., Niharika, K. M., Yadav, V., Bano, C., Yadav, R. K., & Amist, N. (2020). Plant secondary metabolites synthesis and their regulations under biotic and abiotic constraints. *Journal of Plant Biology*, 63, 203-216.
201. Kim, I. S., Hwang, C. W., Yang, W. S., & Kim, C. H. (2021). Multiple antioxidative and bioactive molecules of oats (*Avena sativa* L.) in human health. *Antioxidants*, 10 (9), 1454.
202. Kosov, K., Vtmvs, P., Planchon, S., Renaut, J., Vankov, R., & Prsil, I. T. (2013). Proteome analysis of cold response in spring and winter wheat (*Triticum aestivum*) crowns reveals similarities in stress adaptation and differences in regulatory processes between the growth habits. *Journal of Proteome Research*, 12 (11), 4830-4845.
203. Kowalska, I., Modoch, J., Pawelec, S., Podolska, G., von Cossel, M., Derycke, V., Haesaert, G., Lana, M. A., Lopes, M. D. S., Riche, A. B., Stttzel, H., Hackett, R., & Oleszek, W. (2022). Environmental and cultivar variability in composition, content and biological activity of phenolic acids and alkylresorcinols of winter wheat grains from a multi-site field trial across Europe. *Journal of Cereal Science*, 107, 103527.
204. Kubala, S., Garnczarska, M., Wojtyla, Ł., Clippe, A., Kosmala, A., Żmieńko, A., Lutts, S., & Quinet, M. (2015 b). Deciphering priming-induced improvement of rapeseed (*Brassica napus* L.) germination through an integrated transcriptomic and proteomic approach. *Plant Science*, 231, 94-113.
205. Kubala, S., Wojtyla, Ł., Quinet, M., Lechowska, K., Lutts, S., & Garnczarska, M. (2015 a). Enhanced expression of the proline synthesis gene P5CSA in relation to seed osmopriming improvement of *Brassica napus* germination under salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 183, 1-12.
206. Kukavica, B., Morina, F., Janjic, N., Boroja, M., Jovanović, L., & Veljović-Jovanović, S. (2013). Effects of mixed saline and alkaline stress on the morphology and anatomy of *Pisum sativum* L.: The role of peroxidase and ascorbate oxidase in growth regulation. *Archives of Biological Sciences*, 65 (1), 265-278.
207. Kurek-Górecka, A., Rzepecka-Stojko, A., Górecki, M., Stojko, J., Sosada, M., & Świerczek-Zięba, G. (2013). Structure and antioxidant activity of polyphenols derived from propolis. *Molecules*, 19 (1), 78-101.
208. Labbé, D., Provencal, M., Lamy, S., Boivin, D., Gingras, D., & Béliveau, R. (2009). The flavonols quercetin, kaempferol, and myricetin inhibit hepatocyte growth factor-induced medulloblastoma cell migration. *The Journal of nutrition*, 139 (4), 646-652.
209. Lacoretz, M. V., Malavert, C., Madanes, N., Cristiano, P., & Tognetti, P. M. (2022). Seed dormancy and germination of native and invasive alien woody species of an endangered temperate forest in the Argentine Pampas. *Forest Ecology and Management*, 526, 120577.

210. Li, J., Jiang, B., Liu, X., Zhang, J., Chen, X., & Bi, K. (2007). Simultaneous determination of five bioactive flavonoids in *Hypericum japonicum* Thunb by high-performance liquid chromatography. *Asian Journal of Traditional Medicine*, 2, 75-81.
211. Li, J., Yin, L. Y., Jongsma, M. A., & Wang, C. Y. (2011). Effects of light, hydropriming and abiotic stress on seed germination, and shoot and root growth of pyrethrum (*Tanacetum cinerariifolium*). *Industrial crops and products*, 34 (3), 1543-1549.
212. Li, X., Cai, J., Liu, F., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2014). Cold priming drives the sub-cellular antioxidant systems to protect photosynthetic electron transport against subsequent low temperature stress in winter wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 82, 34-43.
213. Li, X., Cai, J., Liu, F., Zhou, Q., Dai, T., Cao, W., & Jiang, D. (2015). Wheat plants exposed to winter warming are more susceptible to low temperature stress in the spring. *Plant Growth Regulation*, 77 (1), 11-19.
214. Li, Y., Li, T., & Liu, R. H. (2022). Bioactive compounds of highland barley and their health benefits. *Journal of Cereal Science*, 103, 103366.
215. Li, Z., Xu, J., Gao, Y., Wang, C., Guo, G., Luo, Y., Huang, Y., Hu, W., Sheteiwy, M., Guan, Y., & Hu, J. (2017). The synergistic priming effect of exogenous salicylic acid and H₂O₂ on chilling tolerance enhancement during maize (*Zea mays* L.) seed germination. *Frontiers in plant science*, 8, 1153.
216. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2019). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 246, 34-43.
217. Liang, L., Wong, S. C., & Lisak, G. (2023). Effects of plastic-derived carbon dots on germination and growth of pea (*Pisum sativum*) via seed nano-priming. *Chemosphere*, 137868.
218. Ling, L., Jiangang, L., Minchong, S., Chunlei, Z., & Yuanhua, D. (2015). Cold plasma treatment enhances oilseed rape seed germination under drought stress. *Scientific reports*, 5 (1), 13033.
219. Lingyun, W. U., Dongwei, Y. A. O., & Ming, L. I. (2017). Effects of solid matrix priming with *Trichoderma harzianum* on seed germination, seedling emergence and photosynthetic capacity of eggplant. *African Journal of Biotechnology*, 16 (14), 699-703.
220. Liu, J., Fu, C., Li, G., Khan, M. N., & Wu, H. (2021). ROS homeostasis and plant salt tolerance: plant nanobiotechnology updates. *Sustainability*, 13 (6), 3552.
221. Liu, L., Ji, H., An, J., Shi, K., Ma, J., Liu, B., Tang, L., Cao, W., & Zhu, Y. (2019). Response of biomass accumulation in wheat to low-temperature stress at jointing and booting stages. *Environmental and Experimental Botany*, 157, 46-57.
222. Liu, L., Li, H., Li, N., Li, S., Guo, J., & Li, X. (2022). Parental salt priming improves the low temperature tolerance in wheat offspring via modulating the seed proteome. *Plant Science*, 324, 111428.
223. Liu, X., Cheng, X., Cao, J., Zhu, W., Wan, X., & Liu, L. (2023). GOLDEN 2-LIKE transcription factors regulate chlorophyll biosynthesis and flavonoid accumulation in response to UV-B in tea plants (*Camellia sinensis*). *Horticultural Plant Journal*, 9 (5), 1055-1066.

224. Liu, X., Yang, A. M., & Shi, Y. P. (2008). Determination of flavonoids in Tibetan herbal medicine of *Pyrethrum tatsienense* by HPLC with photodiode array detection. *Journal of Analytical Chemistry*, 63, 472-476.
225. Loi, M., Villani, A., Paciolla, F., Mulè, G., & Paciolla, C. (2020). Challenges and opportunities of light-emitting diode (Led) as key to modulate antioxidant compounds in plants. a review. *Antioxidants*, 10 (1), 42.
226. Lopez-Orenes, A., Bueso, M. C., Conesa, H., Calderon, A. A., & Ferrer, M. A. (2018). Seasonal ionic and metabolic changes in Aleppo pines growing on mine tailings under Mediterranean semi-arid climate. *Science of the Total Environment*, 637, 625-635.
227. Lotfi, R., Ghassemi-Golezani, K., & Pessarakli, M. (2020). Salicylic acid regulates photosynthetic electron transfer and stomatal conductance of mung bean (*Vigna radiata* L.) under salinity stress. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 26, 101635.
228. Lowry, O. H. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
229. Lu, W., Shi, Y., Wang, R., Su, D., Tang, M., Liu, Y., & Li, Z. (2021). Antioxidant activity and healthy benefits of natural pigments in fruits: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (9), 4945.
230. Lu, Z. L., Liu, L. W., Li, X. Y., Gong, Y. Q., Hou, X. L., Zhu, X. W., Yang, J. L., & Wang, L. Z. (2008). Analysis and evaluation of nutritional quality in Chinese radish (*Raphanus sativus* L.). *Agricultural Sciences in China*, 7 (7), 823-830.
231. Lukatkin, A. S., Brazaityte, A., Bobinas, C., & Duchovskis, P. (2012). Chilling injury in chilling-sensitive plants: a review. *Agriculture*, 99 (2), 111-124.
232. Ma, D., Wang, C., Feng, J., & Xu, B. (2021). Wheat grain phenolics: a review on composition, bioactivity, and influencing factors. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101 (15), 6167-6185.
233. Ma, H. Y., Zhao, D. D., Ning, Q. R., Wei, J. P., Li, Y., Wang, M. M., Liu, X. L., Jiang, C. J., & Liang, Z. W. (2018). A multi-year beneficial effect of seed priming with gibberellic acid-3 (GA₃) on plant growth and production in a perennial grass, *Leymus chinensis*. *Scientific reports*, 8 (1), 13214.
234. Madany, M. M., Zinta, G., Abuelsoud, W., Hozzein, W. N., Selim, S., Asard, H., & Abd Elgawad, H. (2020). Hormonal seed-priming improves tomato resistance against broomrape infection. *Journal of Plant Physiology*, 250, 153184.
235. Madsen, M. D., Svejcar, L., Radke, J., & Hulet, A. (2018). Inducing rapid seed germination of native cool season grasses with solid matrix priming and seed extrusion technology. *PLoS One*, 13 (10), e0204380.
236. Maeda, H., & Dudareva, N. (2012). The shikimate pathway and aromatic amino acid biosynthesis in plants. *Annual review of plant biology*, 63, 73-105.
237. Mahajan, M., Kuiry, R., & Pal, P. K. (2020). Understanding the consequence of environmental stress for accumulation of secondary metabolites in medicinal and aromatic plants. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 18, 100255.

238. Mahmood, S., Wahid, A., Azeem, M., Zafar, S., Bashir, R., Bajwa, M. O. S., & Ali, S. (2022). Tyrosine or lysine priming modulated phenolic metabolism and improved cadmium stress tolerance in mung bean (*Vigna radiata* L.). *South African Journal of Botany*, 149, 397-406.
239. Majda, C., Khalid, D., Aziz, A., Rachid, B., Badr, A. S., Lotfi, A., & Mohamed, B. (2019). Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Science of the Total Environment*, 661, 654-663.
240. Malek, M., Ghaderi-Far, F., Torabi, B., & Sadeghipour, H. R. (2022). Dynamics of seed dormancy and germination at high temperature stress is affected by priming and phytohormones in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Journal of Plant Physiology*, 269, 153614.
241. Marthandan, V., Geetha, R., Kumutha, K., Renganathan, V. G., Karthikeyan, A., & Ramalingam, J. (2020). Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 21 (21), 8258.
242. Martins, T., Barros, A. N., Rosa, E., & Antunes, L. (2023). Enhancing Health Benefits through Chlorophylls and Chlorophyll-Rich Agro-Food: A Comprehensive Review. *Molecules*, 28 (14), 5344.
243. Masondo, N. A., Kulkarni, M. G., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2018). Influence of biostimulants-seed-priming on *Ceratotheca triloba* germination and seedling growth under low temperatures, low osmotic potential and salinity stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, 147, 43-48.
244. Mazhar, M. W., Ishtiaq, M., Maqbool, M., & Akram, R. (2022). Seed priming with calcium oxide nanoparticles improves germination, biomass, antioxidant defence and yield traits of canola plants under drought stress. *South African Journal of Botany*, 151, 889-899.
245. Meints, B., Cuesta-Marcos, A., Fisk, S., Ross, A., & Hayes, P. (2016). Food barley quality improvement and germplasm utilization. In *Exploration, identification and utilization of barley germplasm*, Academic Press, 41-73.
246. Mendanha, T., Rosenqvist, E., Nordentoft Hyldgaard, B., Doonan, J. H., & Ottosen, C. O. (2020). Drought priming effects on alleviating the photosynthetic limitations of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) with contrasting tolerance to abiotic stresses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206 (6), 651-664.
247. Menon, R., Gonzalez, T., Ferruzzi, M., Jackson, E., Winderl, D., & Watson, J. (2016). Oats—from farm to fork. In *Advances in food and nutrition research*, 77, 1-55.
248. Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, 9 (7), 382.
249. Migahid, M. M., Elghobashy, R. M., Bidak, L. M., & Amin, A. W. (2019). Priming of *Silybum marianum* (L.) Gaertn seeds with H₂O₂ and magnetic field ameliorates seawater stress. *Heliyon*, 5 (6), e01886.

250. Miladinov, Z., Balešević-Tubić, S., Đukić, V., Ilić, A., Čobanović, L., Dozet, G., & Merkulov-Popadić, L. (2018). Effect of priming on soybean seed germination parameters. *Acta Agriculturae Serbica*, 23 (45), 15-26.
251. Mnafigui, W., Hajlaoui, H., Rizzo, V., Muratore, G., & Elleuch, A. (2022). Priming with EDTA, IAA and Fe alleviates Pb toxicity in *Trigonella Foneum graecum* L. growth: Phytochemicals and secondary metabolites. *Journal of Biotechnology*, 356, 42-50.
252. Moaaz Ali, M., Javed, T., Mauro, R. P., Shabbir, R., Afzal, I., & Yousef, A. F. (2020). Effect of seed priming with potassium nitrate on the performance of tomato. *Agriculture*, 10 (11), 498.
253. Mohamed, A. A., Castagna, A., Ranieri, A., & di Toppi, L. S. (2012). Cadmium tolerance in *Brassica juncea* roots and shoots is affected by antioxidant status and phytochelatin biosynthesis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 57, 15-22.
254. Monajjem, S., Soltani, E., Zainali, E., Esfahani, M., Ghaderi-Far, F., Chaleshtori, M. H., & Rezaei, A. (2023). Seed priming improves enzymatic and biochemical performances of rice during seed germination under low and high temperatures. *Rice Science*, 30 (4), 335-347.
255. Monroy, A. F., Dryanova, A., Malette, B., Oren, D. H., Ridha Farajalla, M., Liu, W., Danyluk, J., Ubayasena L. W. C., Kane, K., Scoles, G.J., Sarhan, F., & Gulick, P. J. (2007). Regulatory gene candidates and gene expression analysis of cold acclimation in winter and spring wheat. *Plant Molecular Biology*, 64 (4), 409-423.
256. Montillet, J. L., Chamnongpol, S., Rustérucci, C., Dat, J., Van De Cotte, B., Agnel, J. P., Battesti, C., Inzé, D., Van Breusegem, F., & Triantaphylides, C. (2005). Fatty acid hydroperoxides and H₂O₂ in the execution of hypersensitive cell death in tobacco leaves. *Plant physiology*, 138 (3), 1516-1526.
257. Moori, S., & Ahmadi-Lahijani, M. J. (2020). Hormopriming instigates defense mechanisms in Thyme (*Thymus vulgaris* L.) seeds under cadmium stress. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 19, 100268.
258. Moori, S., & Eisvand, H. R. (2017). Plant growth regulators and ascorbic acid effects on physiological quality of wheat seedlings obtained from deteriorated seeds. *Pakistan journal of botany*, 49 (5), 1811-1819.
259. Moreno, C., Seal, C. E., & Papenbrock, J. (2018). Seed priming improves germination in saline conditions for *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus caudatus*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204 (1), 40-48.
260. Moula, I., Boussadia, O., Koubouris, G., Hassine, M. B., Boussetta, W., Van Labeke, M. C., & Braham, M. (2020). Ecophysiological and biochemical aspects of olive tree (*Olea europaea* L.) in response to salt stress and gibberellic acid-induced alleviation. *South African journal of botany*, 132, 38-44.
261. Mouradi, M., Bouizgaren, A., Farissi, M., Latrach, L., Qaddoury, A., & Ghoulam, C. (2016). Seed osmopriming improves plant growth, nodulation, chlorophyll fluorescence and nutrient uptake in alfalfa (*Medicago sativa* L.) – rhizobia symbiosis under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 213, 232-242.

262. Mrid, R. B., Benmrid, B., Hafsa, J., Boukcim, H., Sobeh, M., & Yasri, A. (2021). Secondary metabolites as biostimulant and bioprotectant agents: A review. *Science of The Total Environment*, 777, 146204.
263. Mridha, D., Paul, I., De, A., Ray, I., Das, A., Joardar, M., Chowdhury, N. R., Bhadoria, P. B. S., & Roychowdhury, T. (2021). Rice seed (IR64) priming with potassium humate for improvement of seed germination, seedling growth and antioxidant defense system under arsenic stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 219, 112313.
264. Muhammad, Z., Hussain, F., Ullah, R., & Majeed, A. (2015). Effect of halopriming on the induction of NaCl salt tolerance in different wheat genotypes. *Pakistan Journal of Botany*, 47 (5), 1613-1620.
265. Myint, T., Chanprasert, W., & Srikul, S. (2010). Effect of seed weight on germination potential of different oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) crosses. *Seed Science and Technology*, 38 (1), 125-13.
266. Nadali, F., Asghari, H. R., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2021). Improved quinoa growth, physiological response, and yield by hydropriming under drought stress conditions. *Gesunde Pflanzen*, 73 (1), 53-66.
267. Nadarajah, K. K. (2020). ROS homeostasis in abiotic stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 21 (15), 5208.
268. Nakaune, M., Hanada, A., Yin, Y. G., Matsukura, C., Yamaguchi, S., & Ezura, H. (2012). Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 52, 28-37.
269. Nasri, N., Kaddour, R., Mahmoudi, H., Baatour, O., Bouraoui, N., & Lachaâl, M. (2011). The effect of osmopriming on germination, seedling growth and phosphatase activities of lettuce under saline condition. *African Journal of Biotechnology*, 10 (65), 14366-14372.
270. Nawaz, A., Amjad, M., Jahangir, M. M., Khan, S. M., Cui, H., & Hu, J. (2012). Induction of salt tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) seeds through sand priming. *Australian Journal of Crop Science*, 6 (7), 1199-1203.
271. Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., & Waraich, E. A. (2013). Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biological Trace Element Research*, 151 (2), 284-293.
272. Nazir, F., Hussain, A., & Fariduddin, Q. (2019). Hydrogen peroxide modulate photosynthesis and antioxidant systems in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants under copper stress. *Chemosphere*, 230, 544-558.
273. Nejad-Alimoradi, F., Nasibi, F., & Kalantari, K. M. (2019). 24-epibrassinolide pre-treatment alleviates the salt-induced deleterious effects in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*) by enhancement of GABA content and enzymatic antioxidants. *South African Journal of Botany*, 124, 111-117.
274. Nessim, A., & Kasim, W. (2019). Physiological impact of seed priming with CaCl₂ or carrot root extract on *Lupinus termis* plants fully grown under salinity stress. *Egyptian Journal of Botany*, 59 (3), 763-777.

275. Nisar, N., Li, L., Lu, S., Khin, N. C., & Pogson, B. J. (2015). Carotenoid metabolism in plants. *Molecular plant*, 8 (1), 68-82.
276. Nouairi, I., Jalali, K., Zribi, F., Barhoumi, F., Zribi, K., & Mhadhbi, H. (2019). Seed priming with calcium chloride improves the photosynthesis performance of faba bean plants subjected to cadmium stress. *Photosynthetica*, 57 (2), 438-445.
277. Nouri, M., & Haddioui, A. (2021). Improving seed germination and seedling growth of *Lepidium sativum* with different priming methods under arsenic stress. *Acta Ecologica Sinica*, 41 (1), 64-71.
278. Obadi, M., Sun, J., & Xu, B. (2021). Highland barley: Chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications. *Food Research International*, 140, 110065.
279. Ofoe, R., Gunupuru, L. R., Wang-Pruski, G., Fofana, B., Thomas, R. H., & Abbey, L. (2022). Seed priming with pyroligneous acid mitigates aluminum stress, and promotes tomato seed germination and seedling growth. *Plant Stress*, 4, 100083.
280. Ozden, E., Ermis, S., Sahin, O., Taskin, M. B., & Demir, I. (2018). Solid matrix priming treatment with O₂ enhanced quality of leek seed lots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 46 (2), 371-375.
281. Palma, J. M., Mateos, R. M., López-Jaramillo, J., Rodríguez-Ruiz, M., González-Gordo, S., Lechuga-Sancho, A. M., & Corpas, F. J. (2020). Plant catalases as NO and H₂S targets. *Redox biology*, 34, 101525.
282. Paparella, S., Araújo, S. S., Rossi, G., Wijayasinghe, M. A. L. A. K. A., Carbonera, D., & Balestrazzi, A. (2015). Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant cell reports*, 34, 1281-1293.
283. Parveen, A., Liu, W., Hussain, S., Asghar, J., Perveen, S., & Xiong, Y. (2019). Silicon priming regulates morpho-physiological growth and oxidative metabolism in maize under drought stress. *Plants*, 8 (10), 431.
284. Patade, V. Y., Bhargava, S., & Suprasanna, P. (2009). Halopriming imparts tolerance to salt and PEG induced drought stress in sugarcane. *Agriculture, ecosystems & environment*, 134 (1-2), 24-28.
285. Pehlivan, N., Yesilyurt, A. M., Durmus, N., & Karaoglu, S. A. (2017). *Trichoderma lixii* ID11D seed biopriming mitigates dose dependent salt toxicity in maize. *Acta Physiologiae Plantarum*, 39 (3), 1-12.
286. Peng, Q., Li, C., Song, M., & Nan, Z. (2013). Effects of seed hydropriming on growth of *Festuca sinensis* infected with *Neotyphodium endophyte*. *Fungal ecology*, 6 (1), 83-91.
287. Peralta-Ruiz, Y., Tovar, C. D. G., Sinning-Mangonez, A., Coronell, E. A., Marino, M. F., & Chaves-Lopez, C. (2020). Reduction of postharvest quality loss and microbiological decay of tomato “Chonto” (*Solanum lycopersicum* L.) using chitosan-e essential oil-based edible coatings under low-temperature storage. *Polymers*, 12 (8), 1822.
288. Pereira, E. G., Amaral, M. B., Bucher, C. A., Santos, L. A., Fernandes, M. S., & Rossetto, C. A. V. (2021). Proline osmopriming improves the root architecture, nitrogen content and growth of rice seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 33, 101998.

289. Pereira, E. G., de Lima, B. R., Medeiros, L. R. A., Ribeiro, S. A., Bucher, C. A., Santos, L. A., Fernandes, M. S., & Rossetto, C. A. V. (2022). Nutripriming with ammonium nitrate improves emergence and root architecture and promotes an increase in nitrogen content in upland rice seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, 102331.
290. Phua, S. Y., De Smet, B., Remacle, C., Chan, K. X., & Van Breusegem, F. (2021). Reactive oxygen species and organellar signaling. *Journal of Experimental Botany*, 72 (16), 5807-5824.
291. Piri, R., Moradi, A., Balouchi, H., & Salehi, A. (2019). Improvement of cumin (*Cuminum cyminum*) seed performance under drought stress by seed coating and biopriming. *Scientia Horticulturae*, 257, 108667.
292. Porto, C. L., Sergio, L., Boari, F., Logrieco, A. F., & Cantore, V. (2019). Cold plasma pretreatment improves the germination of wild asparagus (*Asparagus acutifolius* L.) seeds. *Scientia Horticulturae*, 256, 108554.
293. Pospíšil, P., & Yamamoto, Y. (2017). Damage to photosystem II by lipid peroxidation products. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 1861 (2), 457-466.
294. Prabha, R., Singh, D. P., & Yadav, S. K. (2019). Seed biopriming with potential microbial inoculants as sustainable options for stress management in crops. *Microbial interventions in agriculture and environment: Volume 3: Soil and Crop Health Managemen*, 211-224.
295. Qin, C., Lian, H., Alqahtani, F. M., & Ahanger, M. A. (2024). Chromium mediated damaging effects on growth, nitrogen metabolism and chlorophyll synthesis in tomato can be alleviated by foliar application of melatonin and jasmonic acid priming. *Scientia Horticulturae*, 323, 112494.
296. Quettier-Deleu, C.; Gressier, B.; Vasseur, J.; Dine, T.; Brunet, C.; Luyckx, M.; Cazin, M.; Cazin, J.K.; Bailleul, F.; Trotin, F. (2000). Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of ethnopharmacology*, 72 (1-2), 35-42.
297. Quian-Ulloa, R., & Stange, C. (2021). Carotenoid biosynthesis and plastid development in plants: the role of light. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (3), 1184.
298. Quinn, L., Gray, S. G., Meaney, S., Finn, S., Kenny, O., & Hayes, M. (2017). Sinapinic and protocatechuic acids found in rapeseed: Isolation, characterisation and potential benefits for human health as functional food ingredients. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 56 (1), 104-119.
299. Qureshi, A. M. I., Sofi, M. U., Dar, N. A., Khan, M. H., Mahdi, S. S., Dar, Z. A., Bangroo, S., El-Serehy, H. A., Hefft, D. I., & Popescu, S. M. (2021). Insilco identification and characterization of superoxide dismutase gene family in *Brassica rapa*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28 (10), 5526-5537.
300. Rady, M. M., Varma, B., & Howladar, S. M. (2013). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 162, 63-70.

301. Rai-Kalal, P., & Jajoo, A. (2021). Priming with zinc oxide nanoparticles improve germination and photosynthetic performance in wheat. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 341-351.
302. Rajput, V. D., Singh, R. K., Verma, K. K., Sharma, L., Quiroz-Figueroa, F. R., Meena, M., Gour, V.S., Minkina, T., Sushkova, S., & Mandzhieva, S. (2021). Recent developments in enzymatic antioxidant defence mechanism in plants with special reference to abiotic stress. *Biology*, 10 (4), 267.
303. Ramzan, M., Aslam, M. N., Akram, S., Shah, A. A., Danish, S., Islam, W., Mustafa, A. E. Z. M. A., Al-Ghamadi, A. A., & Alajmi, A. H. (2021). Exogenous glutathione revealed protection to bacterial spot disease: Modulation of photosystem II and H₂O₂ scavenging antioxidant enzyme system in Capsicum annum L. *Journal of King Saud University - Science*, 33 (1), 101223.
304. Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., & Unnikrishnan, V. S. (2015). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods-a review. *Journal of food science and technology*, 52 (2), 662-675.
305. Ren, Y., Wang, W., He, J., Zhang, L., Wei, Y., & Yang, M. (2020). Nitric oxide alleviates salt stress in seed germination and early seedling growth of pakchoi (*Brassica chinensis* L.) by enhancing physiological and biochemical parameters. *Ecotoxicology and environmental safety*, 187, 109785.
306. Ruan, Y. L. (2014). Sucrose metabolism: gateway to diverse carbon use and sugar signaling. *Annual review of plant biology*, 65, 33-67.
307. Ruelland, E., & Zachowski, A. (2010). How plants sense temperature. *Environmental and experimental botany*, 69 (3), 225-232.
308. Ruttanaruangboworn, A., Chanprasert, W., Tobunluepop, P., & Onwimol, D. (2017). Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (3), 605-613.
309. Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10 (2), 277.
310. Saha, D., Choyal, P., Mishra, U. N., Dey, P., Bose, B., Prathibha, M. D., Gupta, N. K., Mehta, B. K., Kumar, P., Pandey, S., Chauhan, J., Singhal, R. K. (2022). Drought stress responses and inducing tolerance by seed priming approach in plants. *Plant Stress*, 100066.
311. Salah, S. M., Yajing, G., Dongdong, C., Jie, L., Aamir, N., Qijuan, H., Weimin, H., Mingyu, N., & Jin, H. (2015). Seed priming with polyethylene glycol regulating the physiological and molecular mechanism in rice (*Oryza sativa* L.) under nano-ZnO stress. *Scientific Reports*, 5 (1), 1-14.
312. Salam, A., Khan, A. R., Liu, L., Yang, S., Azhar, W., Ulhassan, Z., Zeeshan, M., Wu, J., Fan, X., & Gan, Y. (2022). Seed priming with zinc oxide nanoparticles downplayed ultrastructural damage and improved photosynthetic apparatus in maize under cobalt stress. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 127021.

313. Salemi, F., Esfahani, M. N., & Tran, L. S. P. (2019). Mechanistic insights into enhanced tolerance of early growth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) under low water potential by seed-priming with ascorbic acid or polyethylene glycol solution. *Industrial Crops and Products*, 137, 436-445.
314. Sasi, M., Awana, M., Samota, M. K., Tyagi, A., Kumar, S., Sathee, L., Krishnan, V., Praveen, S., & Singh, A. (2021). Plant growth regulator induced mitigation of oxidative burst helps in the management of drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 185, 104413.
315. Savvides, A., Ali, S., Tester, M., & Fotopoulos, V. (2016). Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible?. *Trends in plant science*, 21 (4), 329-340.
316. Schuch, L. O. B., Nedel, J. L., Assis, F. N. D., & Maia, M. D. S. (2000). Seed vigor and growth analysis of black oats. *Scientia Agricola*, 57, 305-312.
317. Sen, A., & Puthur, J. T. (2021). Halo-and UV-B priming-mediated drought tolerance and recovery in rice seedlings. *Plant Stress*, 2, 100011.
318. Sen, S. K., & Mandal, P. (2016). Solid matrix priming with chitosan enhances seed germination and seedling invigoration in mung bean under salinity stress. *Journal of Central European Agriculture*, 17 (3), 749-762.
319. Sen, S. K., Chouhan, D., Das, D., Ghosh, R., & Mandal, P. (2020). Improvisation of salinity stress response in mung bean through solid matrix priming with normal and nano-sized chitosan. *International journal of biological macromolecules*, 145, 108-123.
320. Sen, S. K., Tripathi, R., Mandal, P., & Choudhuri, C. (2022). Assessment of antifungal activity of nano-chitosan against mung bean seed borne pathogen *Aspergillus flavus* through solid matrix priming. *South African Journal of Botany*, 150, 372-386.
321. Shah, A. A., Ahmed, S., Abbas, M., & Yasin, N. A. (2020). Seed priming with 3-epibrassinolide alleviates cadmium stress in *Cucumis sativus* through modulation of antioxidative system and gene expression. *Scientia Horticulturae*, 265, 109203.
322. Shah, T., Latif, S., Khan, H., Munsif, F., & Nie, L. (2019). Ascorbic acid priming enhances seed germination and seedling growth of winter wheat under low temperature due to late sowing in Pakistan. *Agronomy*, 9 (11), 757.
323. Shah, T., Latif, S., Saeed, F., Ali, I., Ullah, S., Alsahli, A. A., Jan, S., & Ahmad, P. (2021). Seed priming with titanium dioxide nanoparticles enhances seed vigor, leaf water status, and antioxidant enzyme activities in maize (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Journal of King Saud University-Science*, 33 (1), 101207.
324. Shahrajabian, M. H., Chaski, C., Polyzos, N., & Petropoulos, S. A. (2021). Biostimulants application: A low input cropping management tool for sustainable farming of vegetables. *Biomolecules*, 11 (5), 698.
325. Shahzad, K., Hussain, S., Arfan, M., Hussain, S., Waraich, E. A., Zamir, S., Saddique, M., Rauf, A., Kamal, K. Y., Hano, C., & El-Esawi, M. A. (2021). Exogenously applied gibberellic acid enhances growth and salinity stress tolerance of maize through modulating the morpho-physiological, biochemical and molecular attributes. *Biomolecules*, 11 (7), 1005.

326. Shamloo, M., Babawale, E. A., Furtado, A., Henry, R. J., Eck, P. K., & Jones, P. J. (2017). Effects of genotype and temperature on accumulation of plant secondary metabolites in Canadian and Australian wheat grown under controlled environments. *Scientific Reports*, 7 (1), 9133.
327. Sharma, A. D., Rathore, S. V. S., Srinivasan, K., & Tyagi, R. K. (2014). Comparison of various seed priming methods for seed germination, seedling vigour and fruit yield in okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench). *Scientia horticulturae*, 165, 75-81.
328. Sharma, I., & Ahmad, P. (2014). Catalase: a versatile antioxidant in plants. In *Oxidative damage to plants*, Academic Press, 131-148.
329. Shehzad, M., Ayub, M., Ahmad, A. U. H., & Yaseen, M. (2012). Influence of priming techniques on emergence and seedling growth of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22 (1), 154-158.
330. Shen, N., Wang, T., Gan, Q., Liu, S., Wang, L., & Jin, B. (2022). Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 132531.
331. Shukla, N., Awasthi, R. P., Rawat, L., & Kumar, J. (2015). Seed biopriming with drought tolerant isolates of *Trichoderma harzianum* promote growth and drought tolerance in *Triticum aestivum*. *Annals of Applied Biology*, 166 (2), 171-182.
332. Shumaila, S., & Ullah, S. (2020). Mitigation of salinity-induced damages in *Capsicum Annum* L. (sweet pepper) seedlings using priming techniques: a future perspective of climate change in the region. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51 (12), 1602-1625.
333. Singh, P., Singh, J., Ray, S., Rajput, R. S., Vaishnav, A., Singh, R. K., & Singh, H. B. (2020). Seed biopriming with antagonistic microbes and ascorbic acid induce resistance in tomato against *Fusarium* wilt. *Microbiological research*, 237, 126482.
334. Singh, V., Upadhyay, R. S., Sarma, B. K., & Singh, H. B. (2016). *Trichoderma asperellum* spore dose depended modulation of plant growth in vegetable crops. *Microbiological research*, 193, 74-86.
335. Singhal, R. K., Pandey, S., & Bose, B. (2021). Seed priming with $Mg(NO_3)_2$ and $ZnSO_4$ salts triggers physio-biochemical and antioxidant defense to induce water stress adaptation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Stress*, 2, 100037.
336. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in enzymology*, 299, 152-178.
337. Sintaha, M., Man, C. K., Yung, W. S., Duan, S., Li, M. W., & Lam, H. M. (2022). Drought stress priming improved the drought tolerance of soybean. *Plants*, 11 (21), 2954.
338. Sirhindi, G., Mushtaq, R., Gill, S. S., Sharma, P., Abd_Allah, E. F., & Ahmad, P. (2020). Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in *Brassica oleracea* L. *Scientific Reports*, 10 (1), 9322.
339. Smirnoff, N., & Wheeler, G. L. (2000). Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical reviews in plant sciences*, 19 (4), 267-290.

340. Sousa, M. C., De-la-Cruz-Chacón, I., Campos, F. G., Vieira, M. A. R., Corrêa, P. L. C., Marques, M. O. M., Boaro, C. S. F., & Ferreira, G. (2022). Plant growth regulators induce differential responses on primary and specialized metabolism of *Annona emarginata* (Annonaceae). *Industrial Crops and Products*, 189, 115789.
341. Srivastava, R., Khalid, A., Singh, U. S., & Sharma, A. K. (2010). Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of tomato wilt. *Biological control*, 53 (1), 24-31.
342. Stanković, M. S., Radić, Z. S., Blanco-Salas, J., Vázquez-Pardo, F. M., & Ruiz-Téllez, T. (2017). Screening of selected species from Spanish flora as a source of bioactive substances. *Industrial crops and products*, 95, 493-501.
343. Sun, C., Jin, L., Cai, Y., Huang, Y., Zheng, X., & Yu, T. (2019). L-Glutamate treatment enhances disease resistance of tomato fruit by inducing the expression of glutamate receptors and the accumulation of amino acids. *Food chemistry*, 293, 263-270.
344. Sun, T. P. (2010). Gibberellin signal transduction in stem elongation & leaf growth. In: Davies, P.J. (eds) *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!*, Dordrecht: Springer Netherlands, 308-328.
345. Sun, T., Wang, P., Rao, S., Zhou, X., Wrightstone, E., Lu, S., Yuan, H., Yang, Y., Fish, T., Thannhauser, T., Liu, J., Mazourek, M., Grimm, B., & Li, L. (2023). Co-chaperoning of chlorophyll and carotenoid biosynthesis by ORANGE family proteins in plants. *Molecular Plant*, 16 (6), 1048-1065.
346. Szymańska, R., Ślesak, I., Orzechowska, A., & Kruk, J. (2017). Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany*, 139, 165-177.
347. Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., & Salopek-Sondi, B. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, 10 (1), 118.
348. Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., & Shahid, M. (2018). Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24 (5), 845-856.
349. Tabassum, T., Farooq, M., Ahmad, R., Zohaib, A., Wahid, A., & Shahid, M. (2018). Terminal drought and seed priming improves drought tolerance in wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24, 845-856.
350. Takahashi, D., Li, B., Nakayama, T., Kawamura, Y., & Uemura, M. (2013). Plant plasma membrane proteomics for improving cold tolerance. *Frontiers in plant science*, 4, 90.
351. Tanaka, R., & Tanaka, A. (2007). Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 321-346.
352. Tanaka, R., & Tanaka, A. (2011). Chlorophyll cycle regulates the construction and destruction of the light-harvesting complexes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1807 (8), 968-976.
353. Tankari, M., Wang, C., Ma, H., Li, X., Li, L., Soothar, R. K., Cui, N., Zaman-Allah, M., Hao, W., Liu, F., & Wang, Y. (2021). Drought priming improved water status,

- photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. *Agricultural Water Management*, 245, 106565.
354. Tanou, G., Fotopoulos, V., & Molassiotis, A. (2012). Priming against environmental challenges and proteomics in plants: update and agricultural perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 3, 216.
355. Thakur, M., Bhattacharya, S., Khosla, P. K., & Puri, S. (2019). Improving production of plant secondary metabolites through biotic and abiotic elicitation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 12, 1-12.
356. Thakur, M., Tiwari, S., Kataria, S., & Anand, A. (2022). Recent advances in seed priming strategies for enhancing planting value of vegetable seeds. *Scientia Horticulturae*, 305, 111355.
357. Theocharis, A., Clément, C., & Barka, E. A. (2012). Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. *Planta*, 235(6), 1091-1105.
358. Tian, Y., Guan, B., Zhou, D., Yu, J., Li, G., & Lou, Y. (2014). Responses of seed germination, seedling growth, and seed yield traits to seed pretreatment in maize (*Zea mays* L.). *The Scientific World Journal*, 2014, 834630.
359. Toklu, F., Baloch, F. S., Karaköy, T., & Özkan, H. (2015). Effects of different priming applications on seed germination and some agromorphological characteristics of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39 (6), 1005-1013.
360. Tounekti, T., Mahdhi, M., Zarraq, A. F., & Khemira, H. (2020). Priming improves germination and seed reserve utilization, growth, antioxidant responses and membrane stability at early seedling stage of Saudi sorghum varieties under drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 48 (2), 938-953.
361. Tuan, P. A., Sun, M., Nguyen, T. N., Park, S., & Ayele, B. T. (2019). Molecular mechanisms of seed germination. In *Sprouted grains*, AACC International Press, 1-24.
362. Ulfat, A. N. E. E. L. A., Majid, S. A., & Hameed, A. (2017). Hormonal seed priming improves wheat (*Triticum aestivum* L.) field performance under drought and non-stress conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 49 (4), 1239-1253.
363. Umair, A., Ali, S., Bashir, K., & Hussain, S. (2010). Evaluation of different seed priming techniques in mung bean (*Vigna radiata*). *Soil and Environment*, 29 (2), 181-186.
364. Valanciene, E., Jonuskiene, I., Syrpas, M., Augustiniene, E., Matulis, P., Simonavicius, A., & Malys, N. (2020). Advances and prospects of phenolic acids production, biorefinery and analysis. *Biomolecules*, 10 (6), 874.
365. Valivand, M., Amooaghaie, R., & Ahadi, A. (2019). Seed priming with H₂S and Ca²⁺ trigger signal memory that induces cross-adaptation against nickel stress in zucchini seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 143, 286-298.
366. Valluru, R., Link, J., & Claupein, W. (2012). Consequences of early chilling stress in two *Triticum* species: plastic responses and adaptive significance. *Plant Biology*, 14 (4), 641-651.
367. Van Doorn, W. G., & Ketsa, S. (2014). Cross reactivity between ascorbate peroxidase and phenol (guaiacol) peroxidase. *Postharvest biology and technology*, 95, 64-69.

368. Varier, A., Vari, A. K., & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 450-456.
369. Verma, P., Hiremani, N. S., Gawande, S. P., Sain, S. K., Nagrale, D. T., Narkhedkar, N. G., & Prasad, Y. G. (2022). Modulation of plant growth and antioxidative defense system through endophyte biopriming in cotton (*Gossypium* spp.) and non-host crops. *Heliyon*, e09487.
370. Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular plant*, 3(1), 2-20.
371. Waheed, K., Nawaz, H., Hanif, M. A., & Rehman, R. (2020). Tomato. In *Medicinal Plants of South Asia*, Elsevier, 631–644.
372. Wang, X., Li, Q., Xie, J., Huang, M., Cai, J., Zhou, Q., Dai, T., & Jiang, D. (2021). Absciscic acid and jasmonic acid are involved in drought priming-induced tolerance to drought in wheat. *The Crop Journal*, 9 (1), 120-132.
373. Wang, X., Zhang, X., Hou, H., Ma, X., Sun, S., Wang, H., & Kong, L. (2020). Metabolomics and gene expression analysis reveal the accumulation patterns of phenylpropanoids and flavonoids in different colored-grain wheats (*Triticum aestivum* L.). *Food Research International*, 138, 109711.
374. Waqas, M., Korres, N. E., Khan, M. D., Nizami, A. S., Deeba, F., Ali, I., & Hussain, H. (2019). Advances in the concept and methods of seed priming. In: Hasanuzzaman, M., Fotopoulos, V. (eds) *Priming and pretreatment of seeds and seedlings*, Springer, Singapore, 11-41.
375. Waraich, E. A., Ahmad, M., Soufan, W., Manzoor, M. T., Ahmad, Z., Habib-Ur-Rahman, M., & Sabagh, A. E. (2021). Seed priming with sulfhydryl thiourea enhances the performance of *Camelina sativa* L. under heat stress conditions. *Agronomy*, 11 (9), 1875.
376. Waśkiewicz, A., Beszterda, M., & Goliński, P. (2014). Nonenzymatic antioxidants in plants. In *Oxidative damage to plants*, Academic Press, 201-234.
377. Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of plant physiology*, 144 (3), 307-313.
378. Wieser, H., Koehler, P., & Scherf, K. A. (2020). Nutritional value of wheat. In *Wheat - An Exceptional Crop: Botanical features, chemistry, utilization, nutritional and health aspects*, Massachusetts: Woodhead Publishing, 133–148.
379. Wojtyła, Ł., Lechowska, K., Kubala, S., & Garnczarska, M. (2016). Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. *Frontiers in plant science*, 7, 66.
380. Wu, B., Ma, Z., Boken, V. K., Zeng, H., Shang, J., Igor, S., Wang, J., & Yan, N. (2022). Regional differences in the performance of drought mitigation measures in 12 major wheat-growing regions of the world. *Agricultural Water Management*, 273, 107888.
381. Wu, L., Huo, W., Yao, D., & Li, M. (2019). Effects of solid matrix priming (SMP) and salt stress on broccoli and cauliflower seed germination and early seedling growth. *Scientia horticulturae*, 255, 161-168.
382. Xuan, T. D., Huong, C. T., Quan, N. V., Anh, L. H., Khanh, T. D., & Rayee, R. (2022). Improvement of salinity tolerance in rice seedlings by exogenous magnesium sulfate application. *Soil Systems*, 6 (3), 69.

383. Yadav, B., Jogawat, A., Rahman, M. S., & Narayan, O. P. (2021). Secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Gene Reports*, 23, 101040.
384. Yadav, R. S., Singh, V., Pal, S., Meena, S. K., Meena, V. S., Sarma, B. K., Singh, H. B., Rakshit, A. (2018). Seed bio-priming of baby corn emerged as a viable strategy for reducing mineral fertilizer use and increasing productivity. *Scientia Horticulturae*, 241, 93-99.
385. Yaghoubian, I., Antar, M., Ghassemi, S., Modarres-Sanavy, S. A. M., & Smith, D. L. (2022). The effects of hydro-priming and colonization with *Piriformospora indica* and *Azotobacter chroococcum* on physio-biochemical traits, flavonolignans and fatty acids composition of milk thistle (*Silybum marianum*) under saline conditions. *Plants*, 11 (10), 1281.
386. Yalcinkaya, T., Uzilday, B., Ozgur, R., Turkan, I., & Mano, J. I. (2019). Lipid peroxidation-derived reactive carbonyl species (RCS): Their interaction with ROS and cellular redox during environmental stresses. *Environmental and Experimental Botany*, 165, 139-149.
387. Yan, M. (2015). Seed priming stimulate germination and early seedling growth of Chinese cabbage under drought stress. *South African Journal of Botany*, 99, 88-92.
388. Yan, M. (2016). Hydro-priming increases seed germination and early seedling growth in two cultivars of Napa cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*) grown under salt stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 91 (4), 421-426.
389. Yang, X. L., Xu, H., Li, D., Gao, X., Li, T. L., & Wang, R. (2018). Effect of melatonin priming on photosynthetic capacity of tomato leaves under low-temperature stress. *Photosynthetica*, 56 (3), 884-892.
390. Yokoyama, R., Kleven, B., Gupta, A., Wang, Y., & Maeda, H. A. (2022). 3-Deoxy-D-arabino-heptulosonate 7-phosphate synthase as the gatekeeper of plant aromatic natural product biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 67, 102219.
391. Yu, X., Shoaib, M., Cheng, X., Cui, Y., Hussain, S., Yan, J., Zhou, J., Chen, Q., Gu, Y., Zou, L., Zhang, X., Hao, S., Zhao, K., Ma, M., Xiang, Q., Li, S., & Zou, T. (2022). Role of rhizobia in promoting non-enzymatic antioxidants to mitigate nitrogen-deficiency and nickel stresses in *Pongamia pinnata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 241, 113789.
392. Zandi, P., & Schnug, E. (2022). Reactive oxygen species, antioxidant responses and implications from a microbial modulation perspective. *Biology*, 11 (2), 155.
393. Zanganeh, R., Jamei, R., & Rahmani, F. (2020). Pre-sowing seed treatment with salicylic acid and sodium hydrosulfide confers Pb toxicity tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111392.
394. Zhang, F., Yu, J., Johnston, C. R., Wang, Y., Zhu, K., Lu, F., Zhang, Z., & Zou, J. (2015). Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. *PLoS One*, 10 (10), e0140620.
395. Zhang, Y., Li, Y., Ren, X., Zhang, X., Wu, Z., & Liu, L. (2023). The positive correlation of antioxidant activity and prebiotic effect about oat phenolic compounds. *Food Chemistry*, 402, 134231.

396. Zhang, Y., Liu, L., Chen, X., & Li, J. (2022). Effects of low-temperature stress during the anther differentiation period on winter wheat photosynthetic performance and spike-setting characteristics. *Plants*, 11(3), 389.
397. Zhang, Y., Ni, Z., Yao, Y., Nie, X., & Sun, Q. (2007) Gibberellins and heterosis of plant height in wheat (*Triticum aestivum* L.). *BMC Genetics*, 8, 1-10.
398. Zhang, Y., Zhou, X., Dong, Y., Zhang, F., He, Q., Chen, J., Zhu, S., & Zhao, T. (2021). Seed priming with melatonin improves salt tolerance in cotton through regulating photosynthesis, scavenging reactive oxygen species and coordinating with phytohormone signal pathways. *Industrial Crops and Products*, 169, 113671.
399. Zhao, T., Deng, X., Xiao, Q., Han, Y., Zhu, S., & Chen, J. (2020). IAA priming improves the germination and seedling growth in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) via regulating the endogenous phytohormones and enhancing the sucrose metabolism. *Industrial Crops and Products*, 155, 112788.
400. Zhao, Y., Hu, M., Gao, Z., Chen, X., & Huang, D. (2018). Biological mechanisms of a novel hydro-electro hybrid priming recovers potential vigor of onion seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 150, 260-271.
401. Zheng, M., Tao, Y., Hussain, S., Jiang, Q., Peng, S., Huang, J., Cui, K., & Nie, L. (2016). Seed priming in dry direct-seeded rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under drought stress. *Plant growth regulation*, 78 (2), 167-178.
402. Zia-ur-Rehman, M., Anayatullah, S., Irfan, E., Hussain, S. M., Rizwan, M., Sohail, M. I., Jafir, M., Ahmad, T., Usman, M., & Alharby, H. F. (2022). Nanoparticles assisted regulation of oxidative stress and antioxidant enzyme system in plants under salt stress: A review. *Chemosphere*, 137649.
403. Zida, P. E., Néya, B. J., Stokholm, M. S., Jensen, S. M., Soalla, W. R., Séréme, P., & Lund, O. S. (2018). Increasing sorghum yields by seed treatment with an aqueous extract of the plant *Eclipta alba* may involve a dual mechanism of hydropriming and suppression of fungal pathogens. *Crop Protection*, 107, 48-55.
404. Zrig, A., Saleh, A., Hamouda, F., Okla, M. K., Al-Qahtani, W. H., Alwasel, Y. A., Al-Hashimi, A., Hegab, M. Y., Hassan, A. H. A., & AbdElgawad, H. (2022). Impact of sprouting under potassium nitrate priming on nitrogen assimilation and bioactivity of three *Medicago* species. *Plants*, 11 (1), 71.
405. Zu, Y., Li, C., Fu, Y., & Zhao, C. (2006). Simultaneous determination of catechin, rutin, quercetin kaempferol and isorhamnetin in the extract of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves by RP-HPLC with DAD. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41 (3), 714-719.
406. Zulfiqar, F. (2021). Effect of seed priming on horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 286, 110197.
407. Zulfiqar, F., & Ashraf, M. (2021). Nanoparticles potentially mediate salt stress tolerance in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 160, 257-268.
408. Zulfiqar, F., Casadesús, A., Brockman, H., & Munné-Bosch, S. (2020). An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts. *Plant Science*, 295, 110194.

409. Zulueta-Rodríguez, R., Hernández-Montiel, L. G., Murillo-Amador, B., Rueda-Puente, E. O., Lara Capistran, L., Troyo-Diéguez, E., & Córdoba-Matson, M. V. (2015). Effect of hydropriming and bioprimer on seed germination and growth of two Mexican fir tree species in danger of extinction. *Forests*, 6 (9), 3109-3122.

Коришћени интернет извори:

https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0:Epi_hipo.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Raphanus_sativus?uselang=hr

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Avena_sativa_001.JPG

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gerstenfeld_-_Hordeum_vulgare.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hordeum_vulgare_ear,_wintergerst_aar_%281%29.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raphanus_sativus,_red_radish_variant.jpg

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solanum_lycopersicum_003.JPG

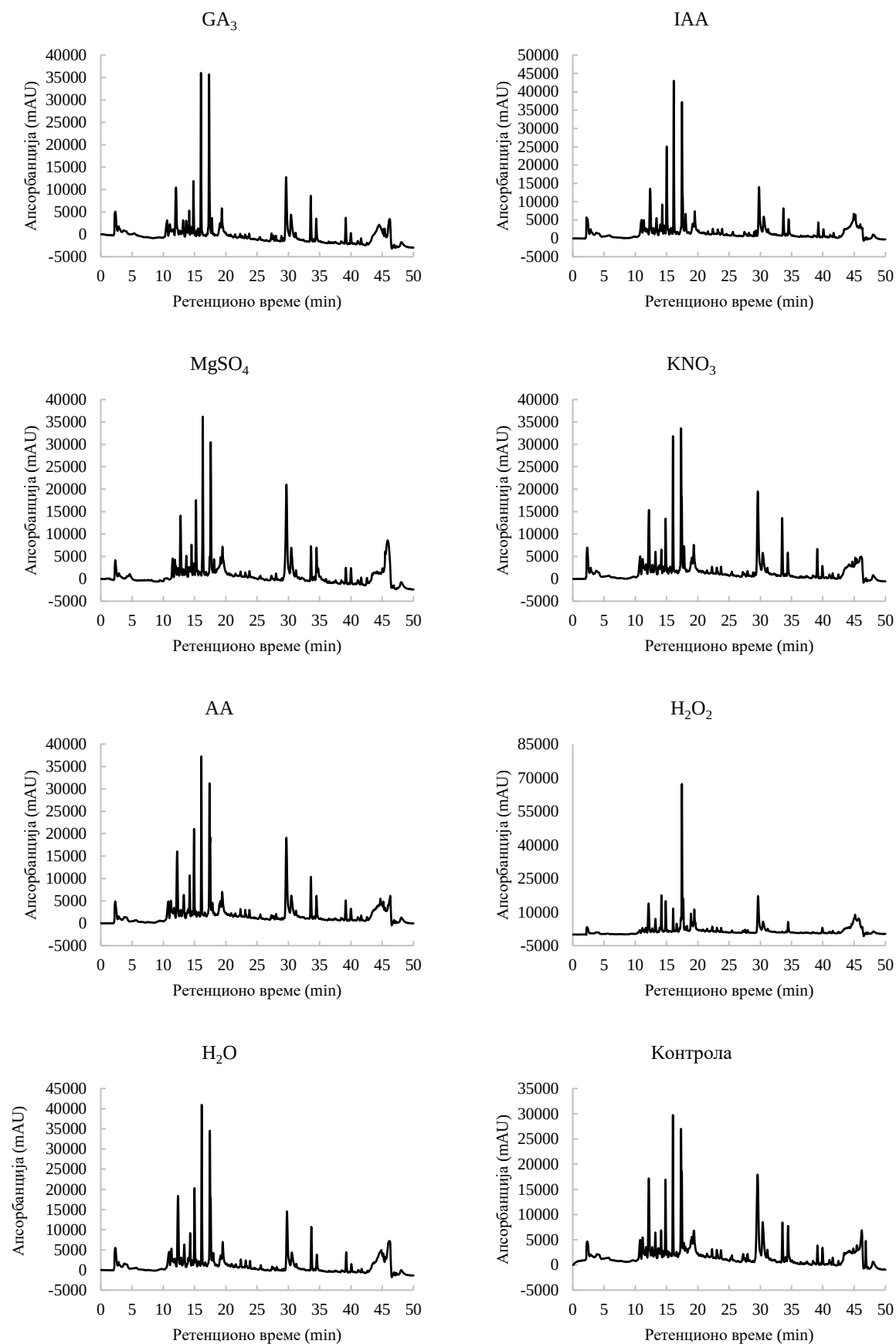
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Triticum_aestivum_136645751.jpg

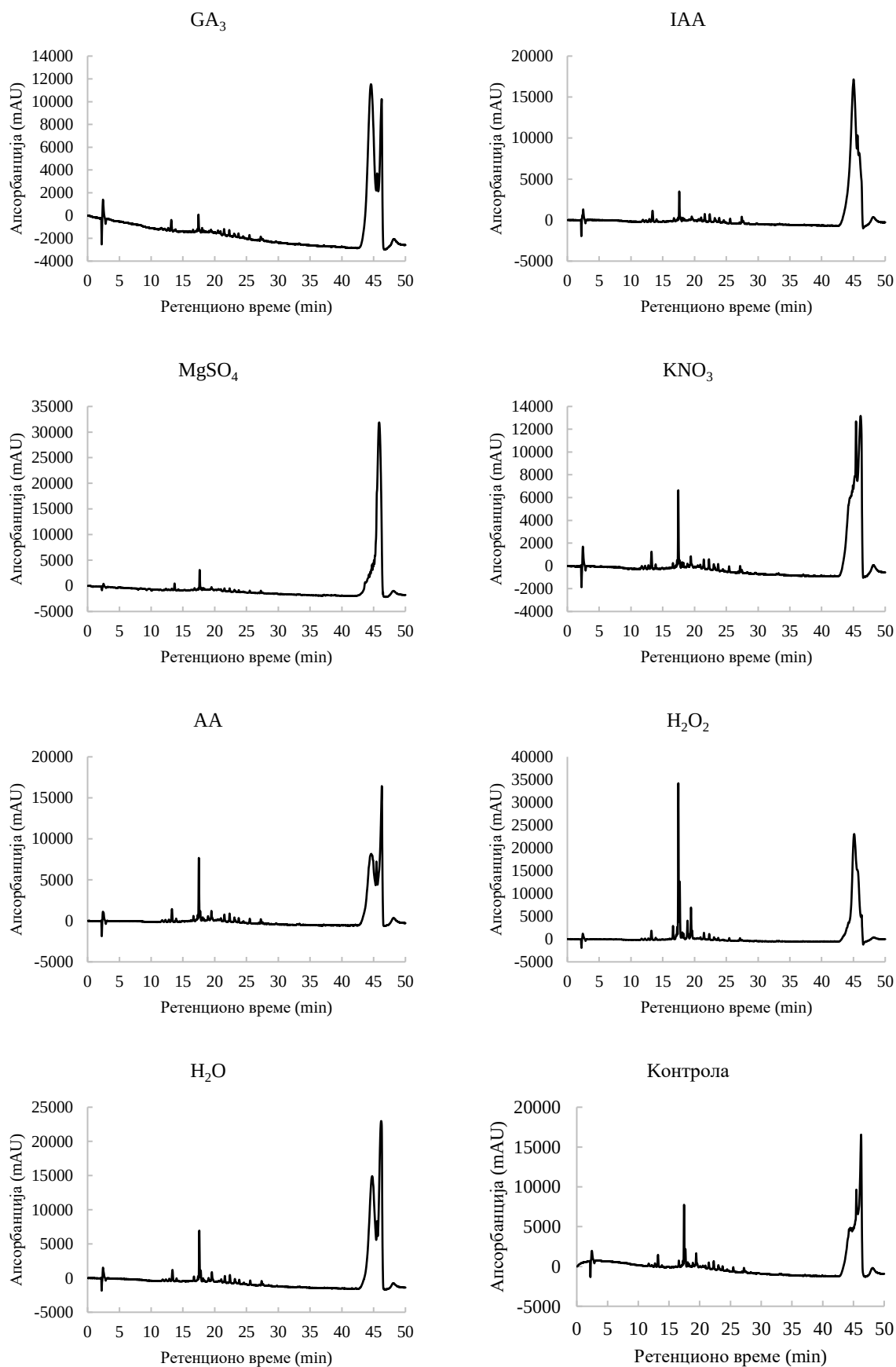
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheat_P1210892.jpg

<https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/avena/sativa/>

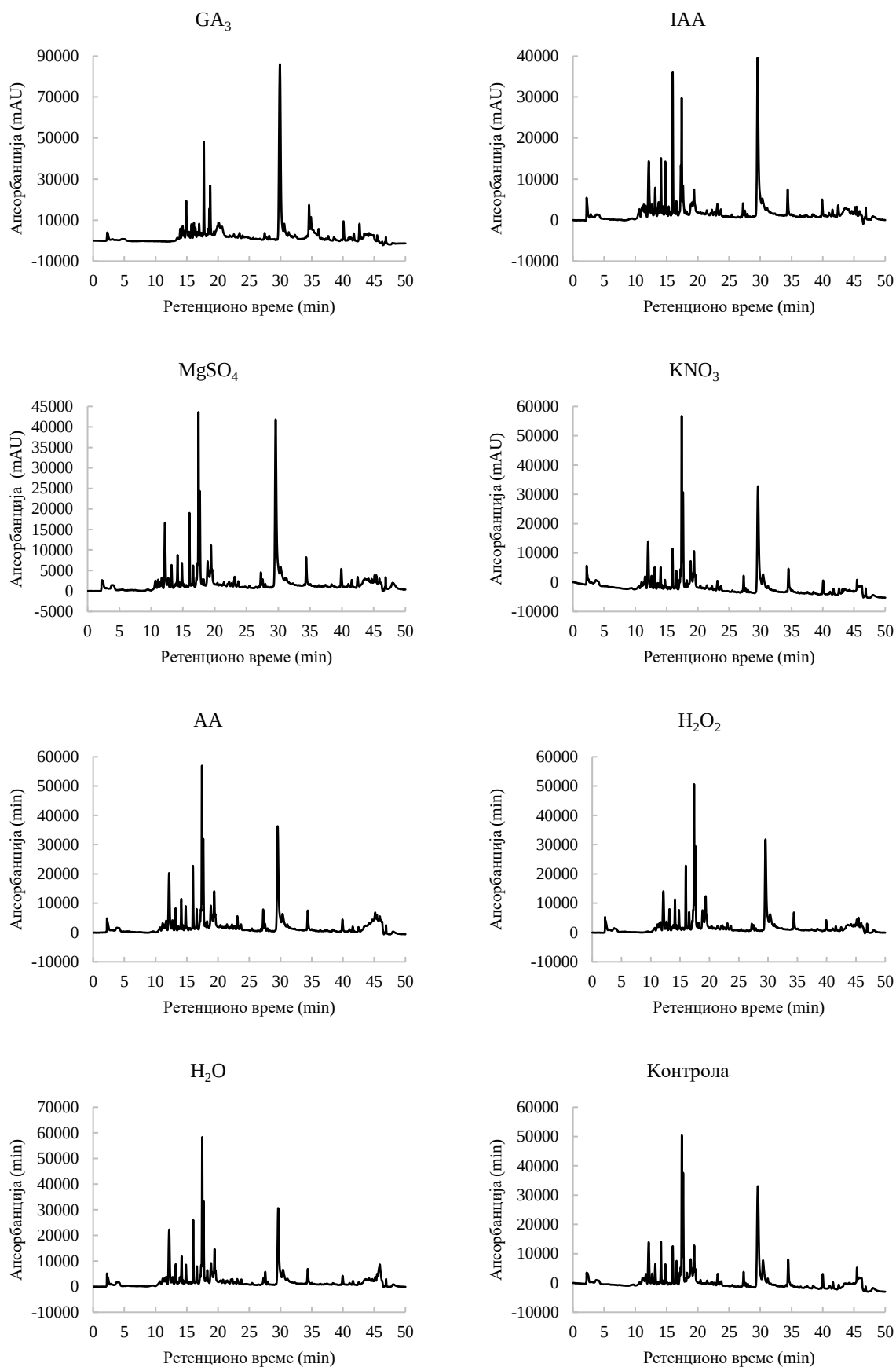
ПРИЛОЗИ

Прилог 1. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 269 nm

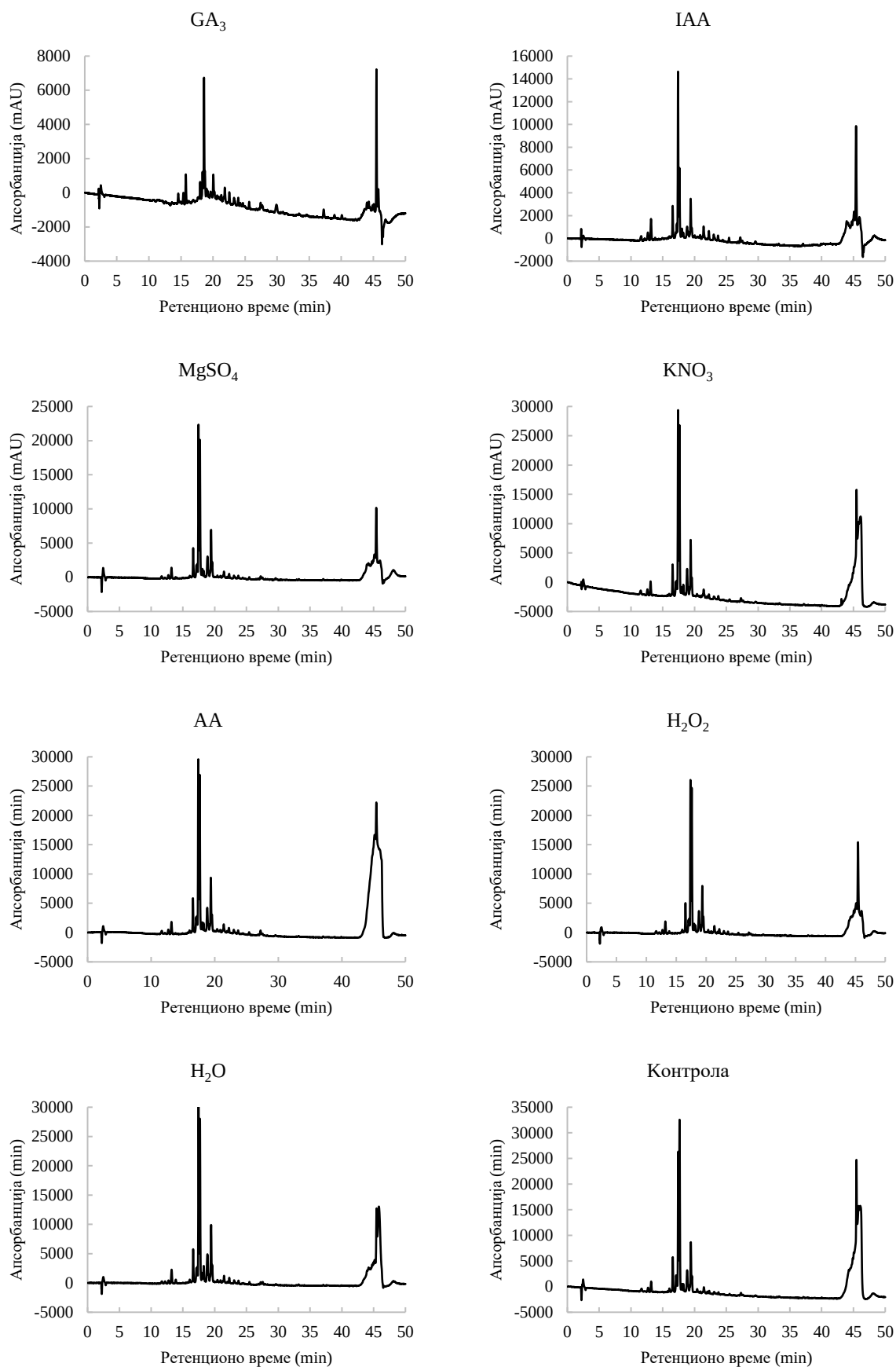


Прилог 2. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 370 nm

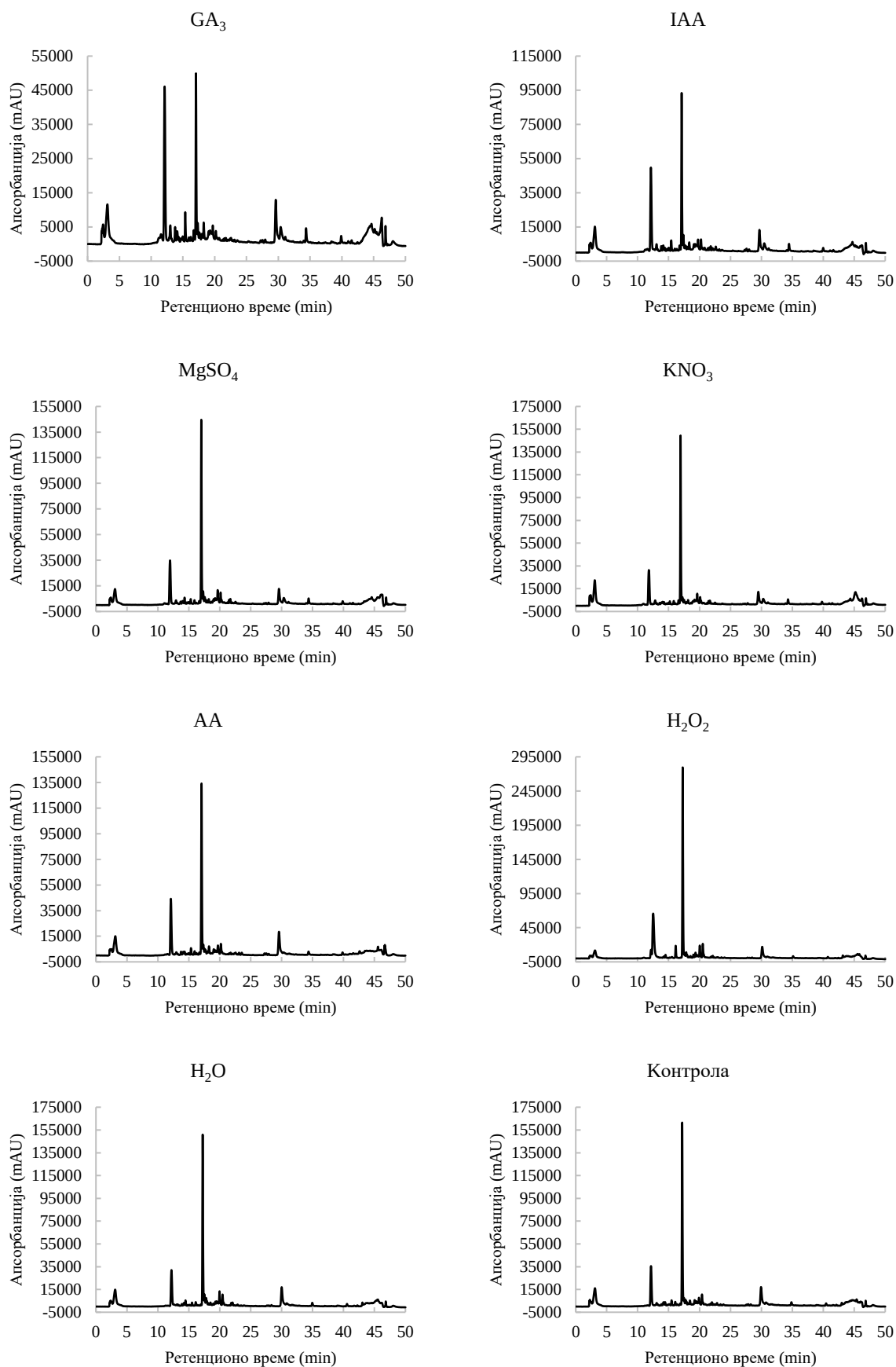
Прилог 3. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца пшенице гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 269 nm

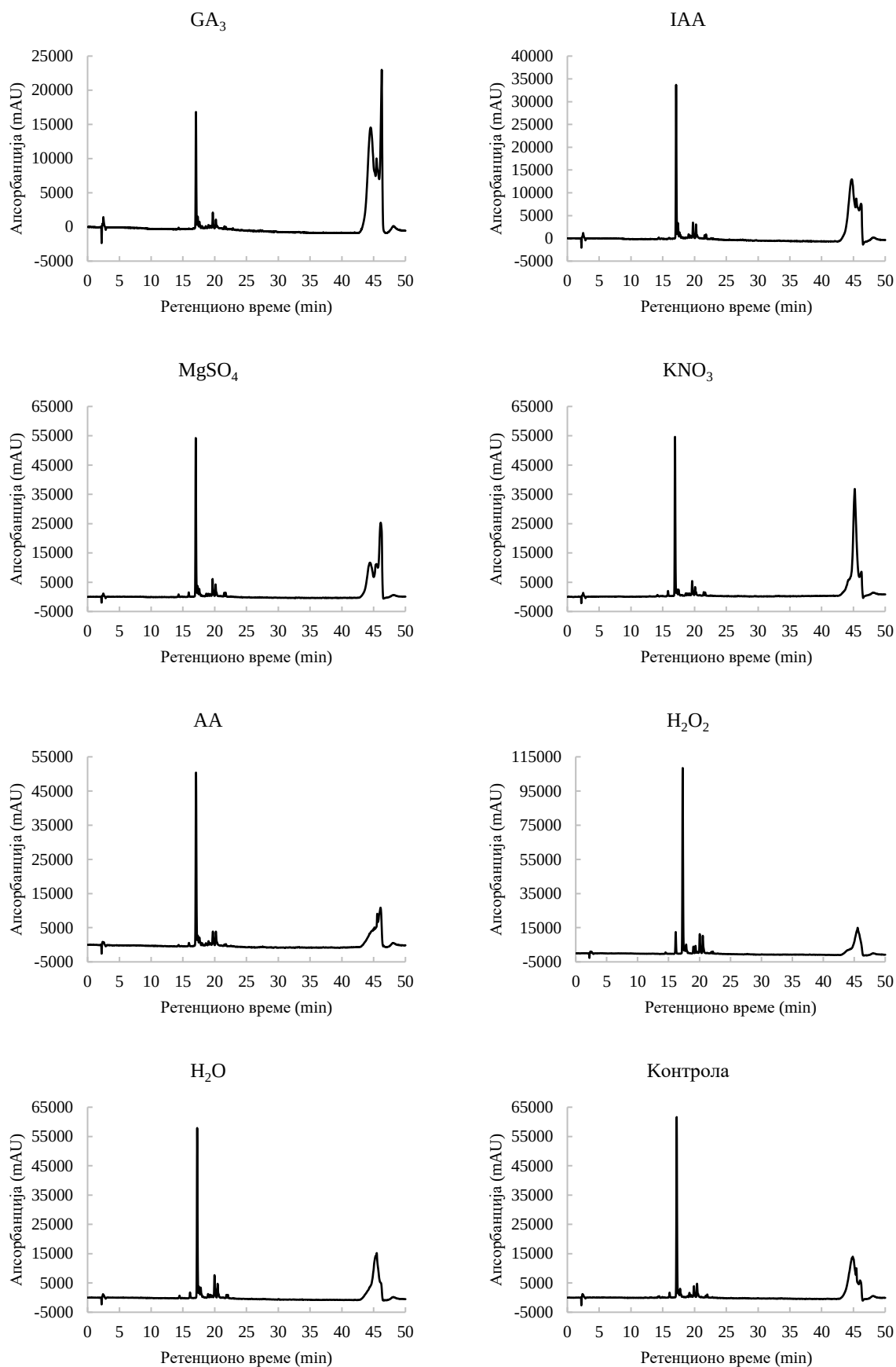


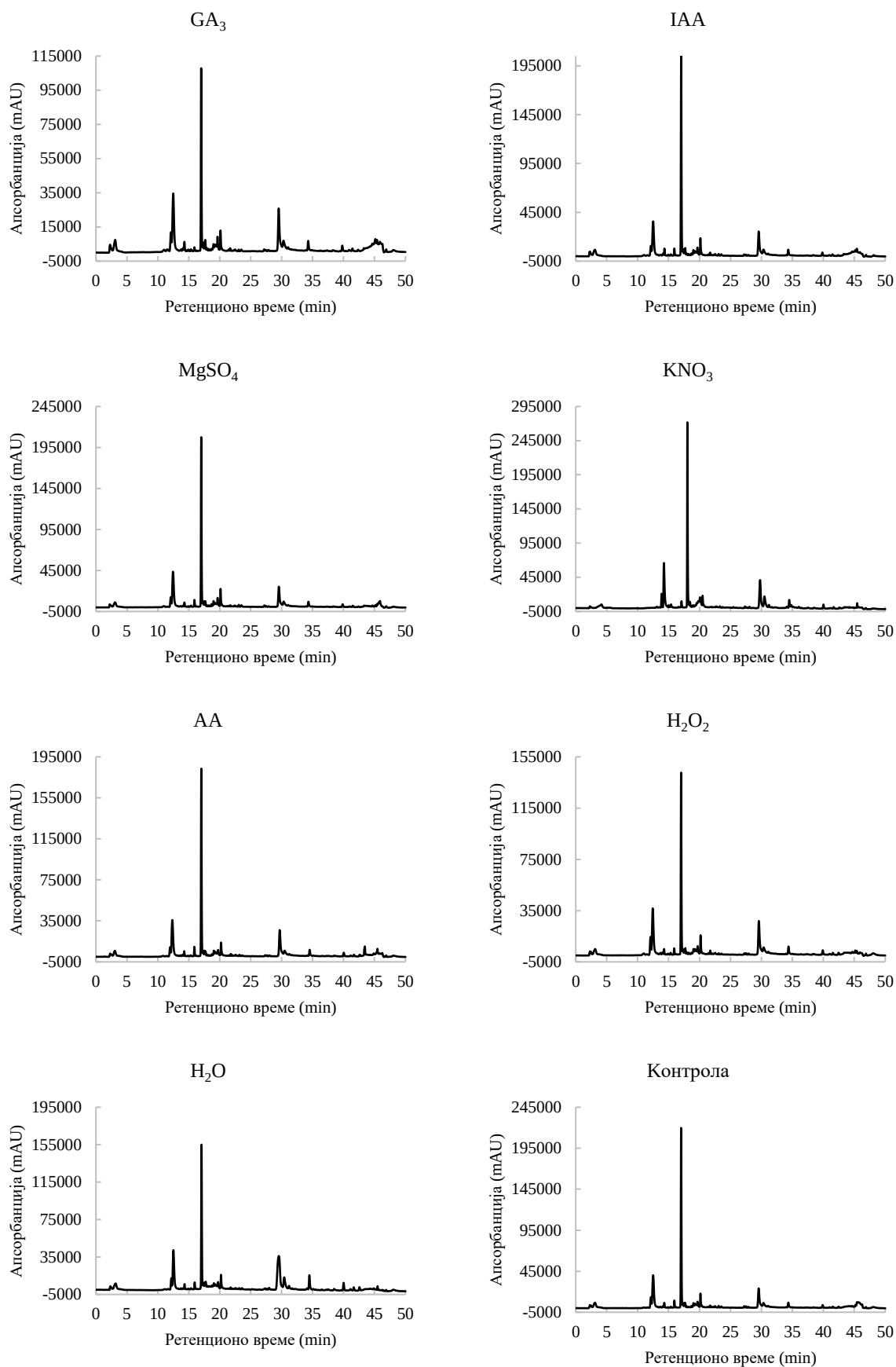
Прилог 4. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца пшенице гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 370 nm

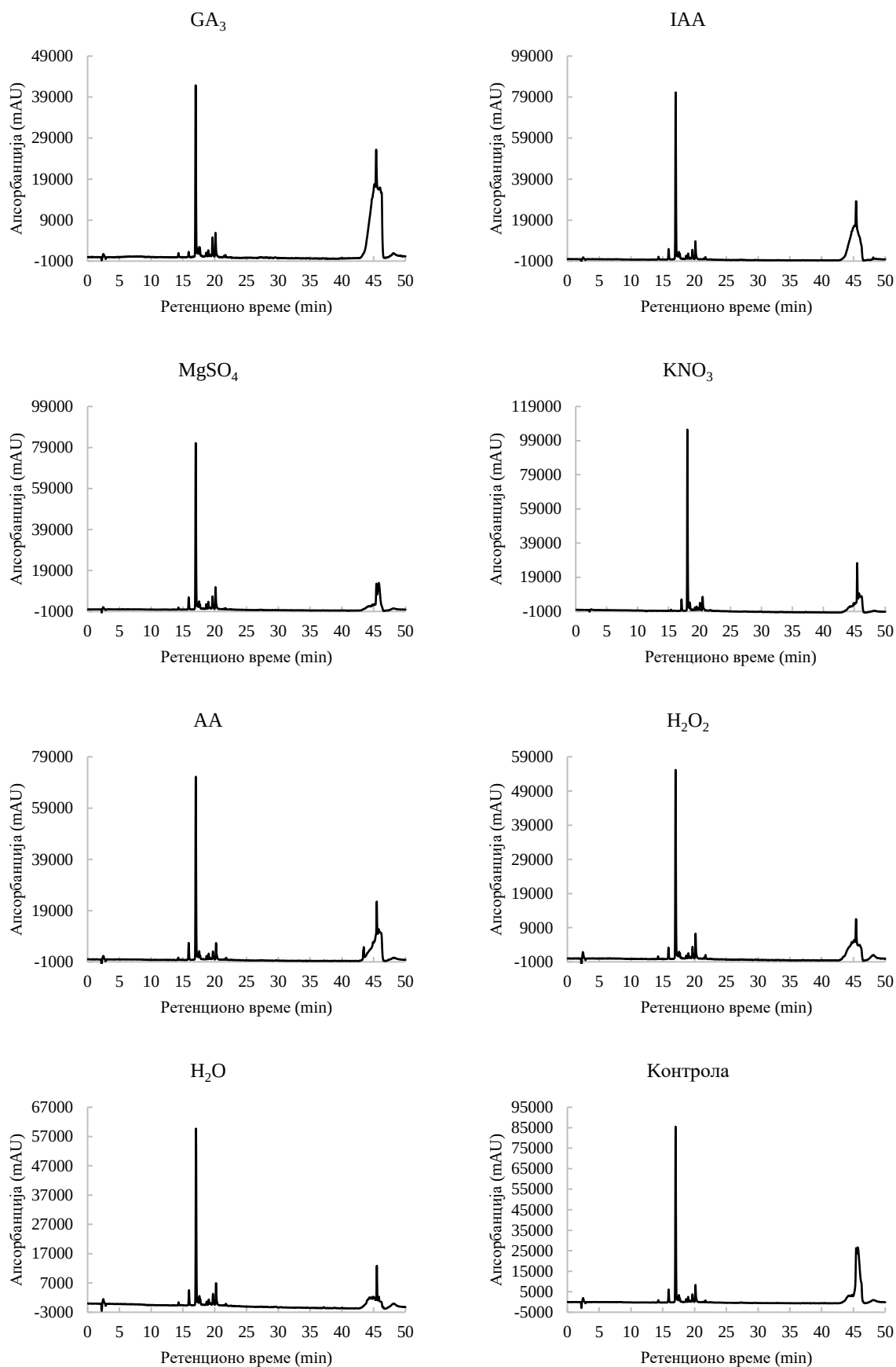


Прилог 5. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 269 nm

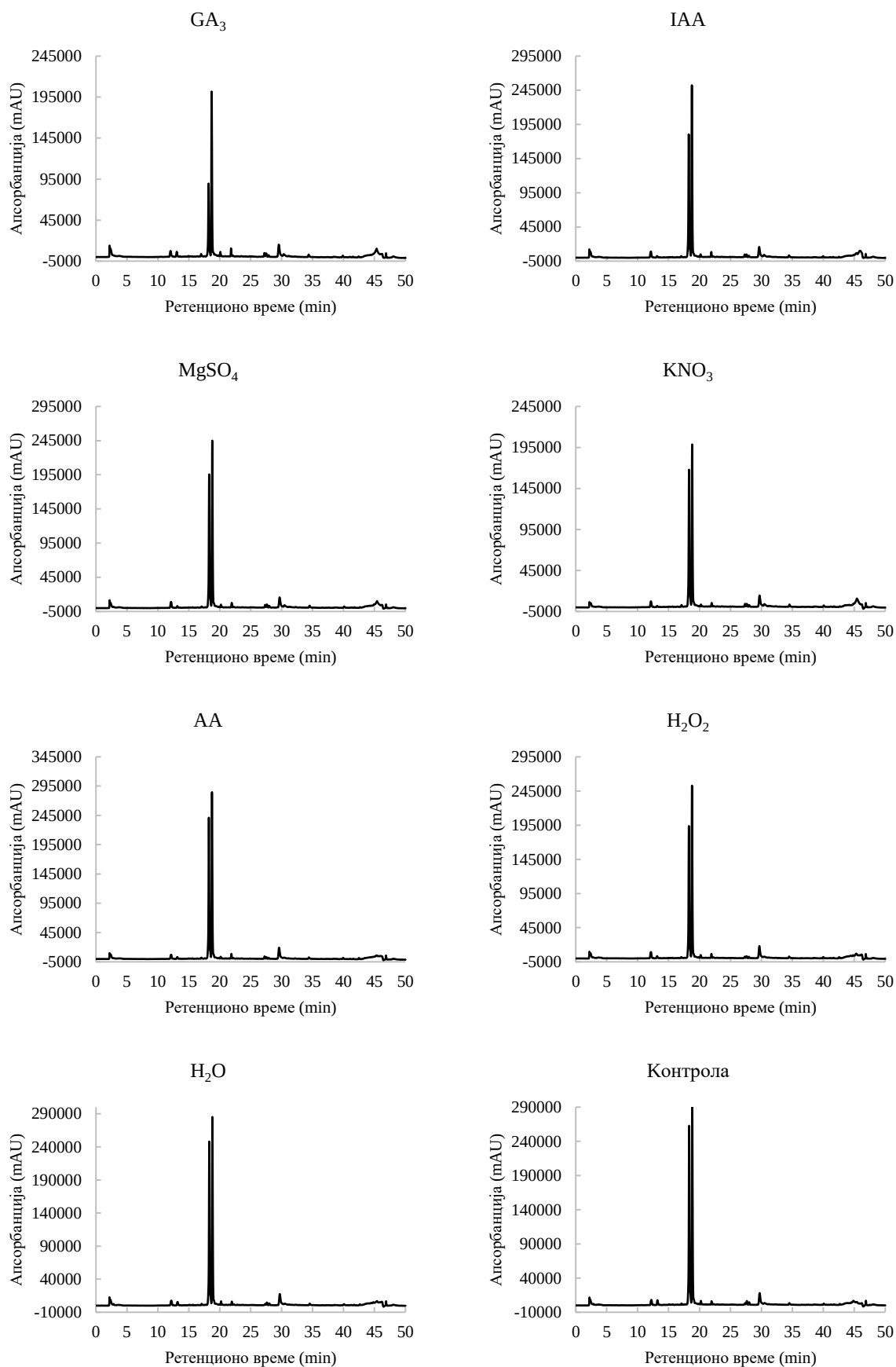


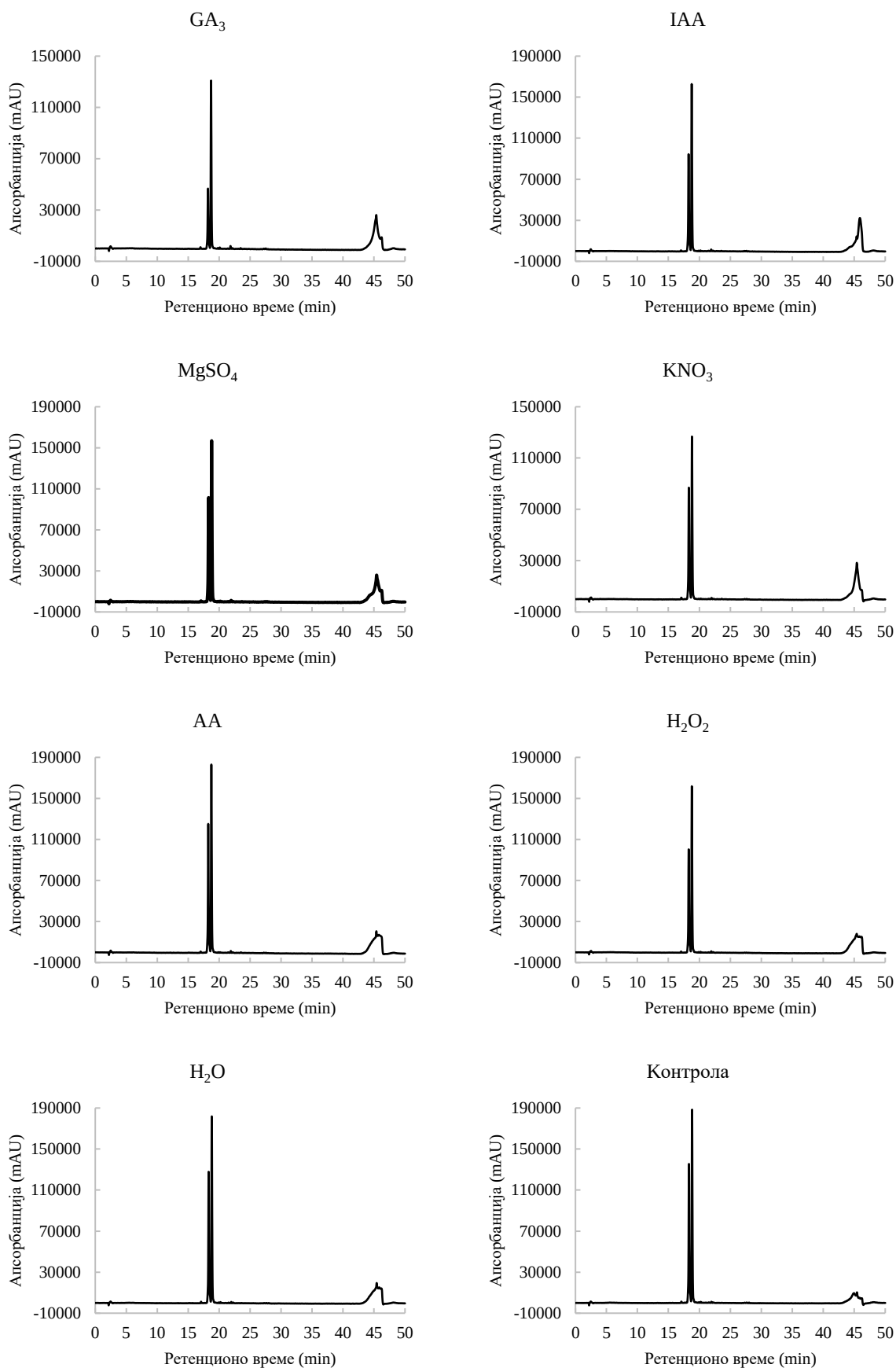
Прилог 6. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 370 nm

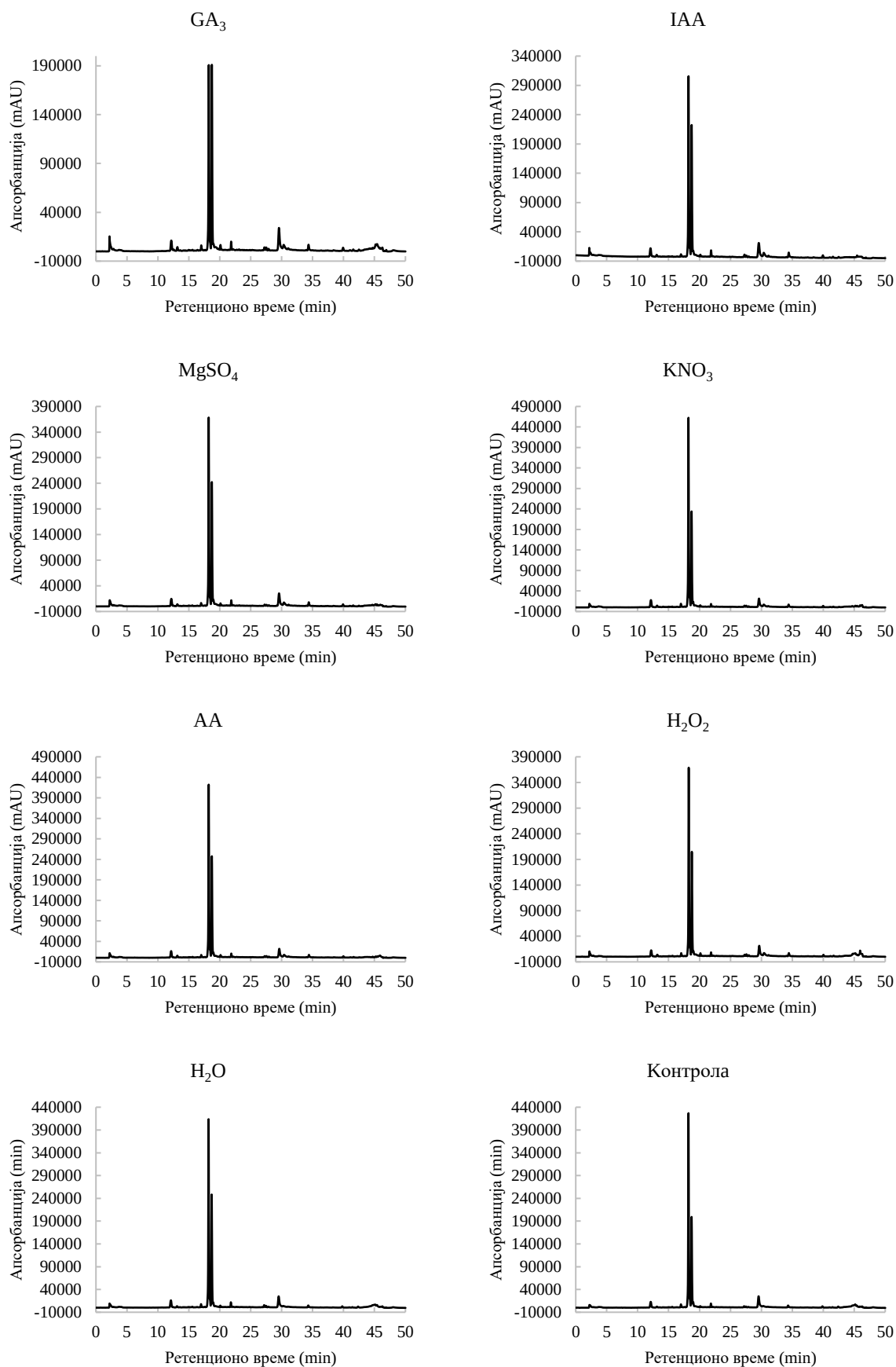
Прилог 7. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца јечма гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 269 nm

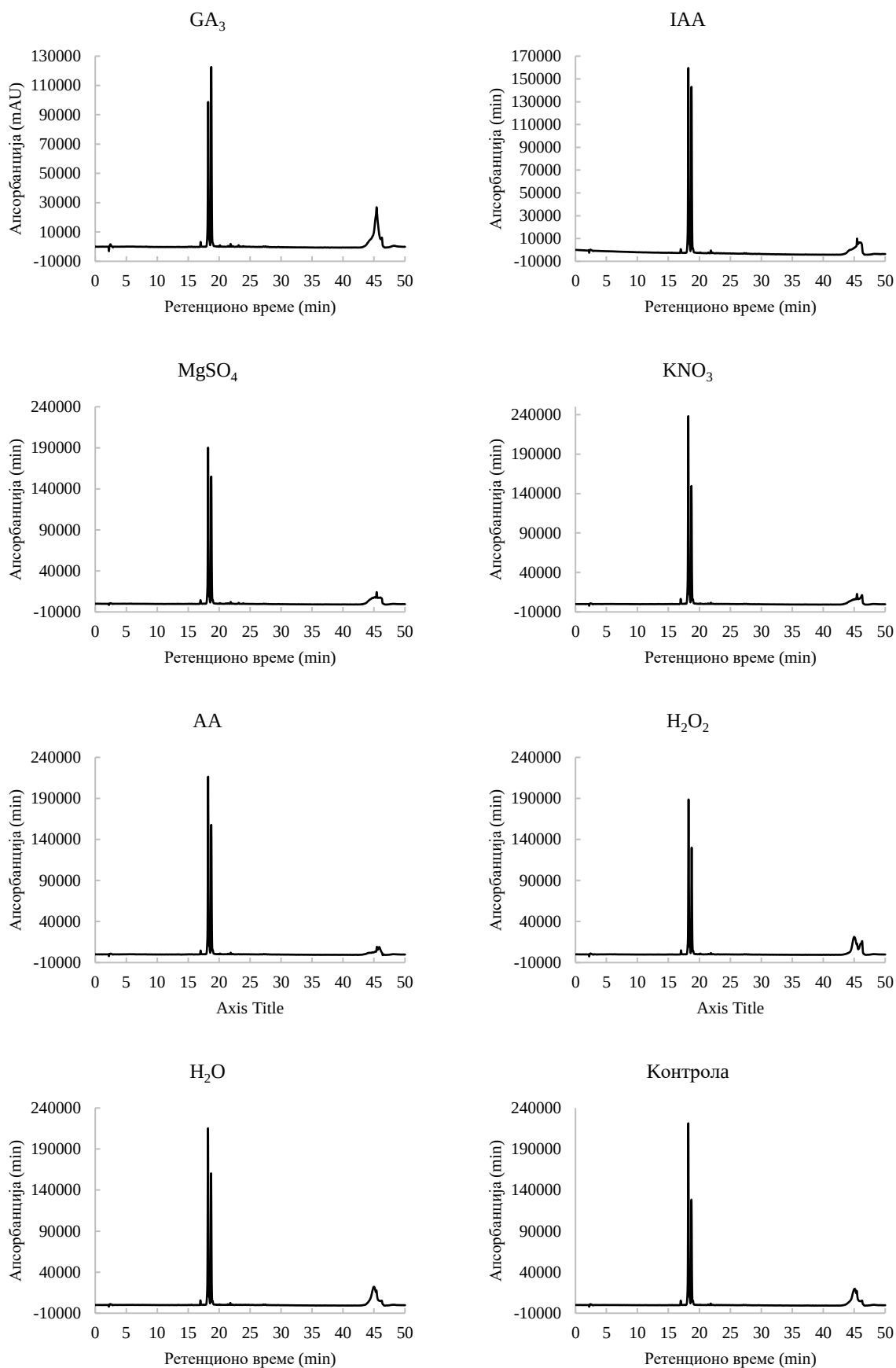
Прилог 8. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца јечма гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 370 nm

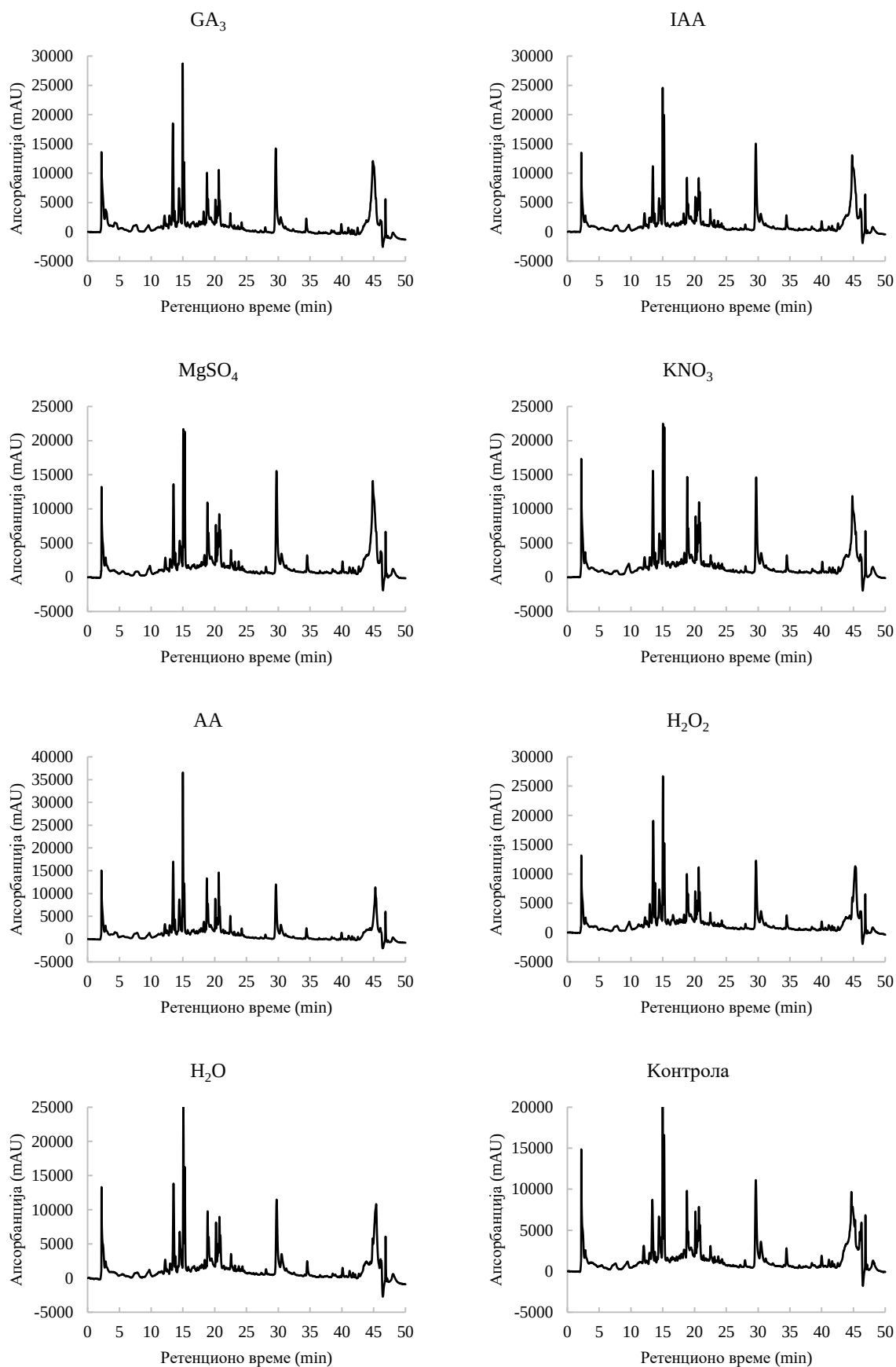
Прилог 9. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 269 nm

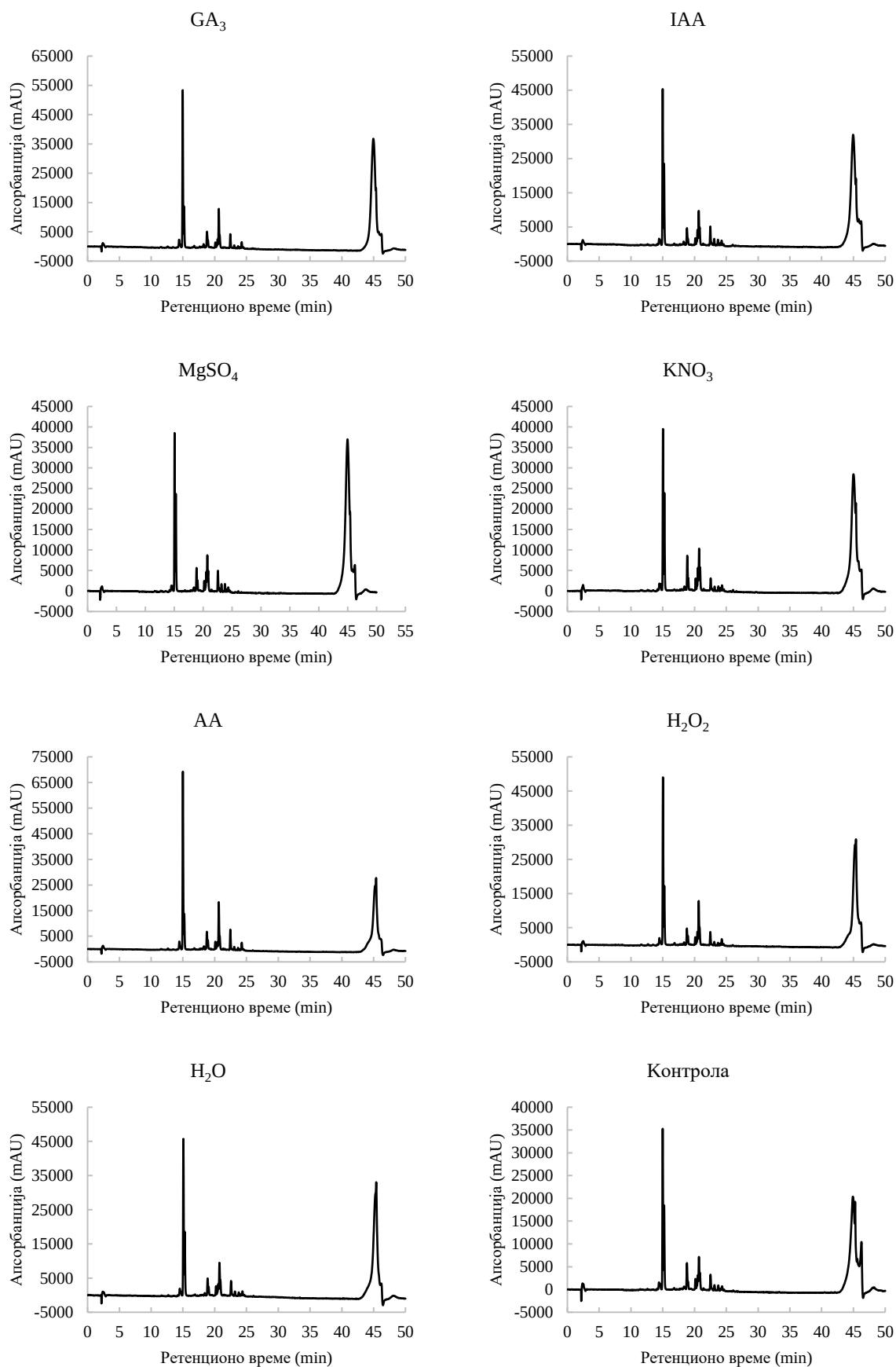


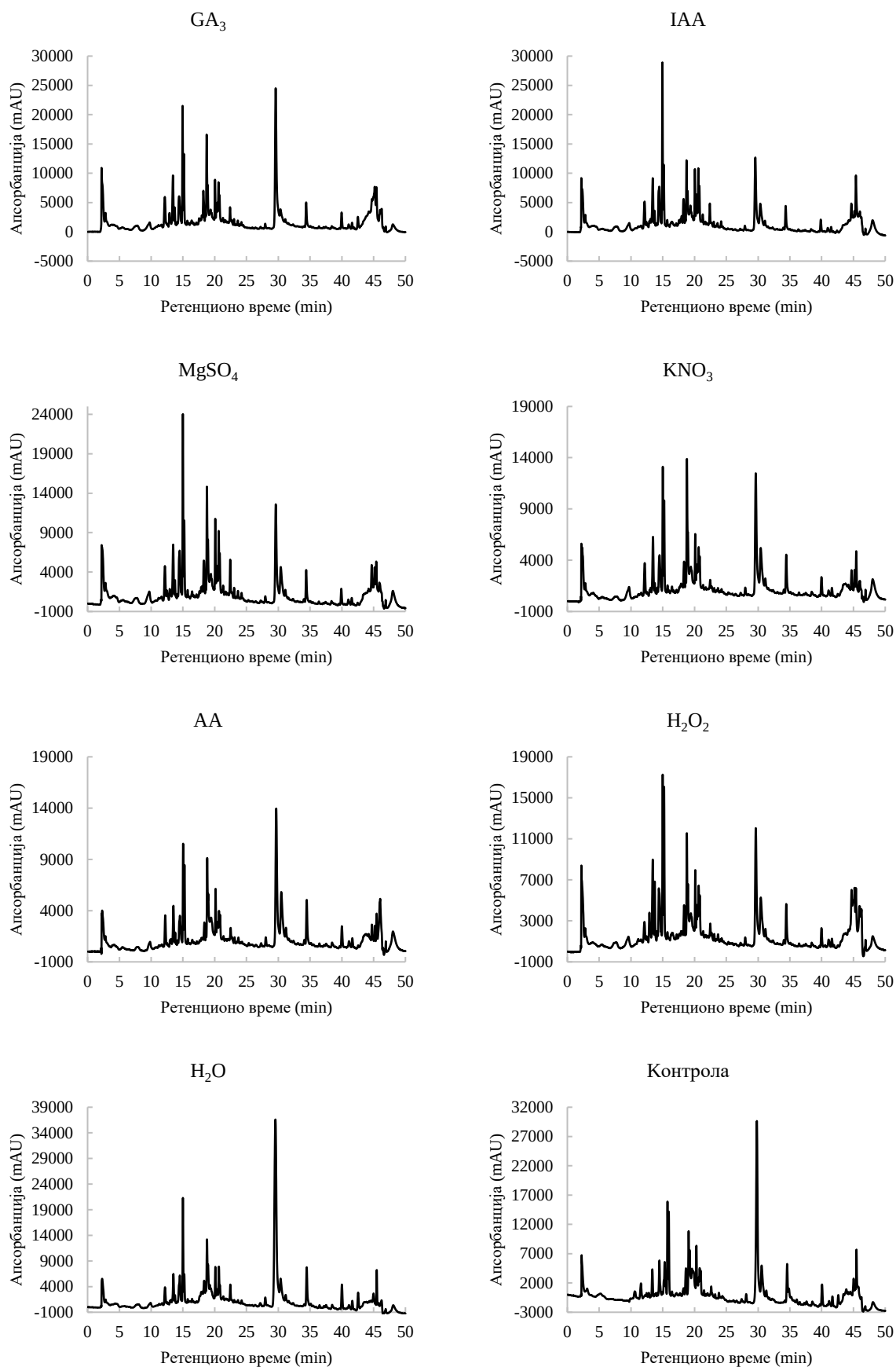
Прилог 10. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 370 nm

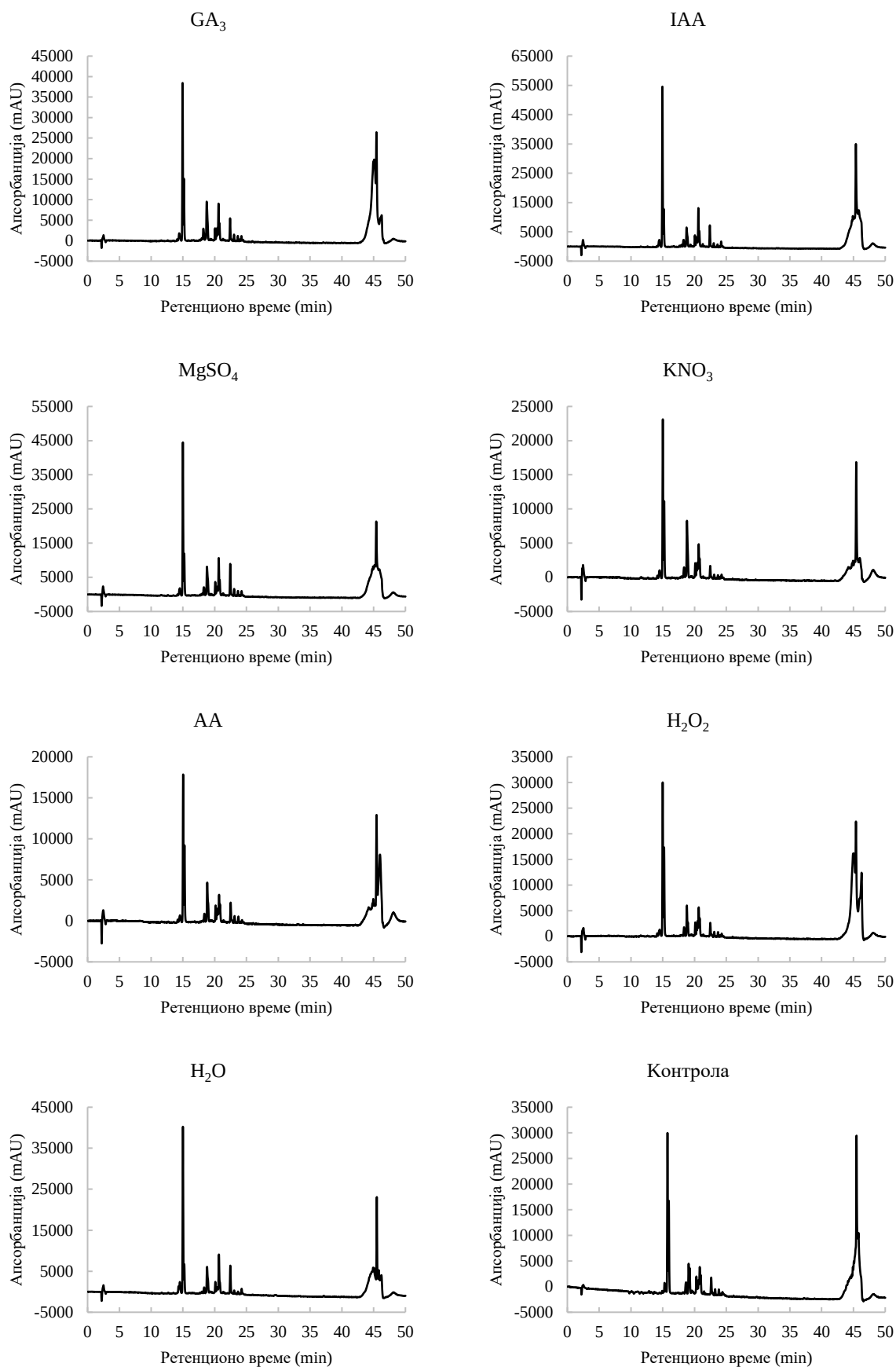
Прилог 11. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца овса гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 269 nm

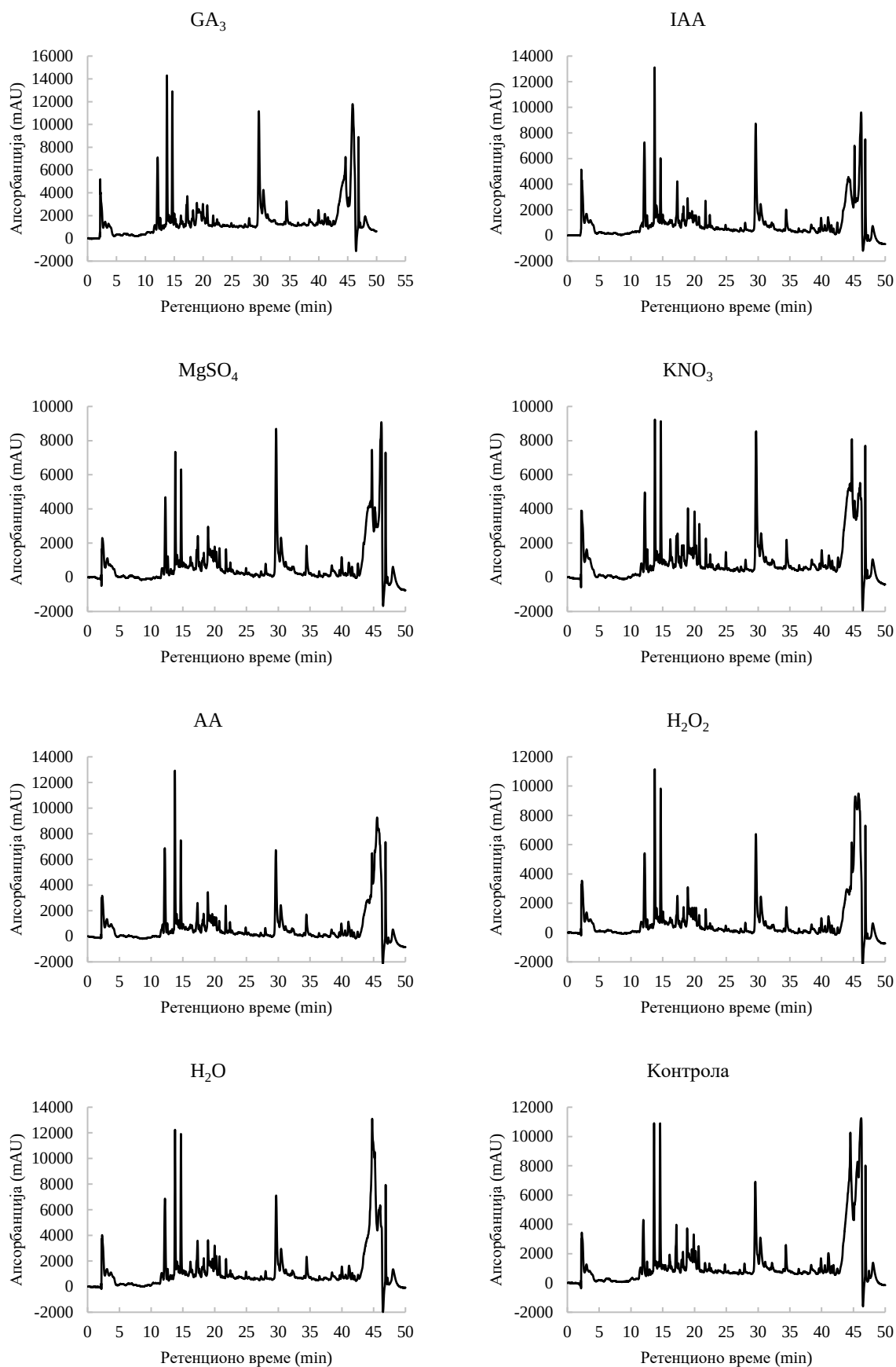
Прилог 12. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца овса гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 370 nm

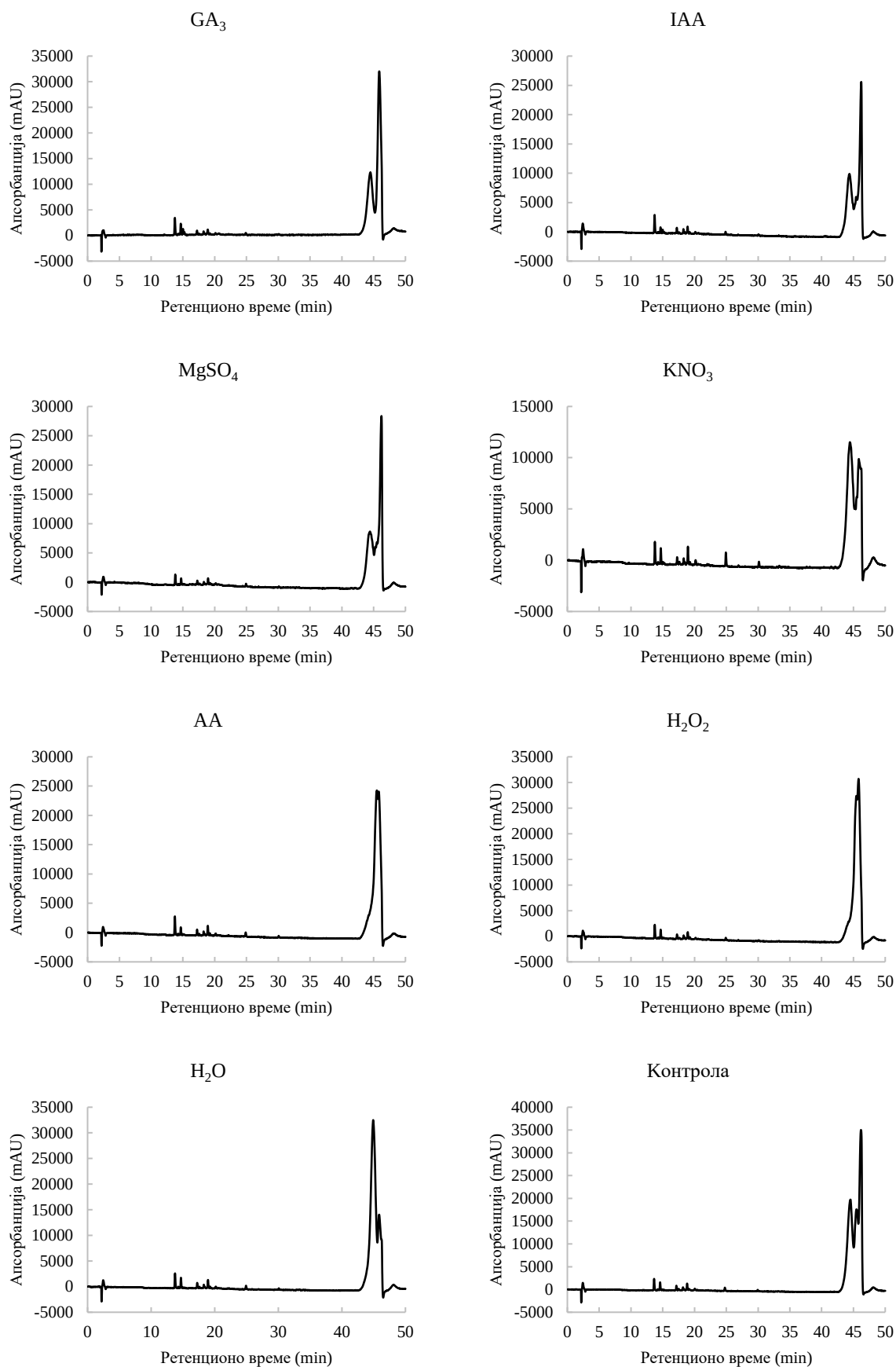
Прилог 13. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 269 nm

Прилог 14. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 370 nm

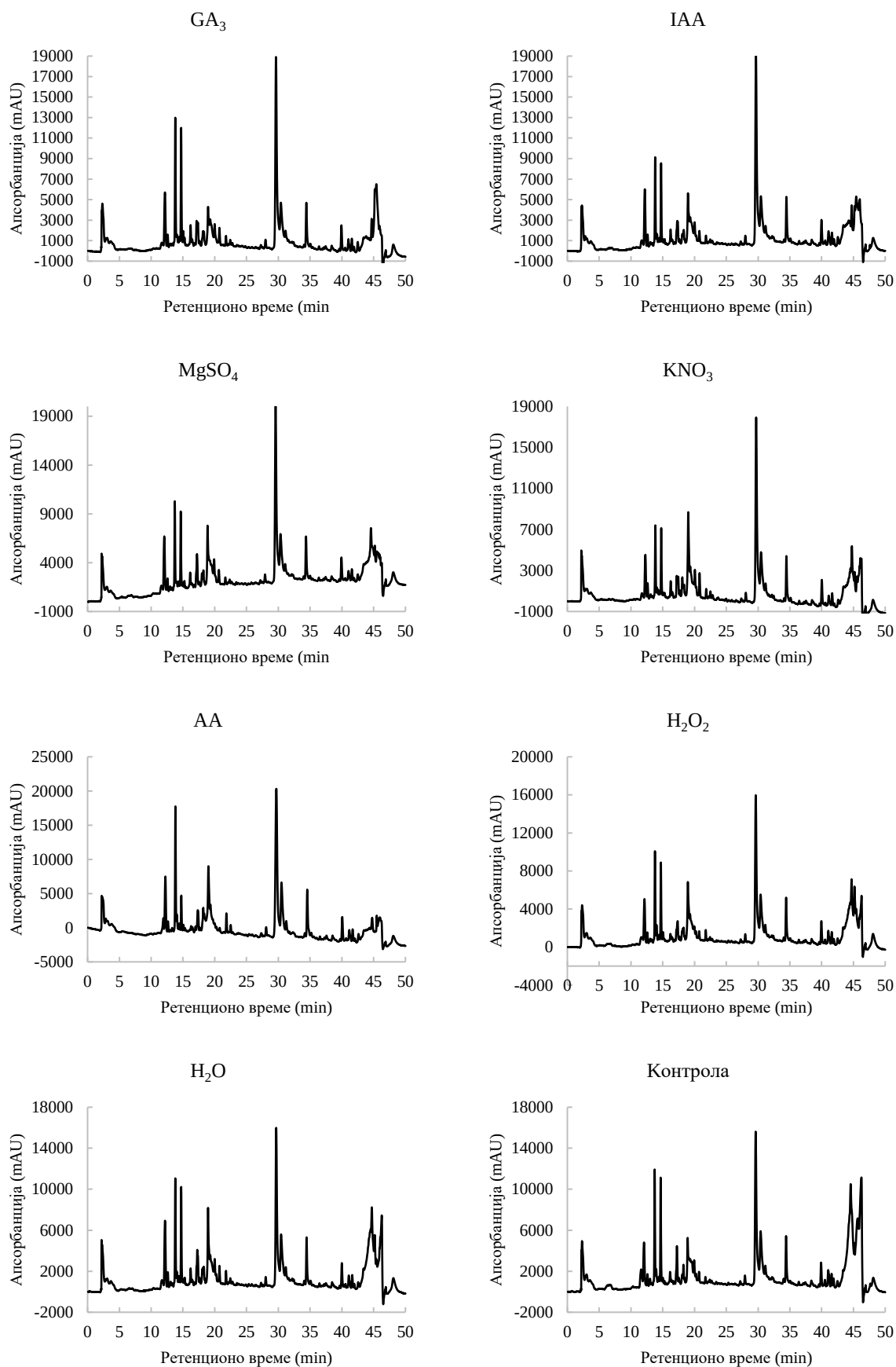
Прилог 15. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца ротквице гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 269 nm

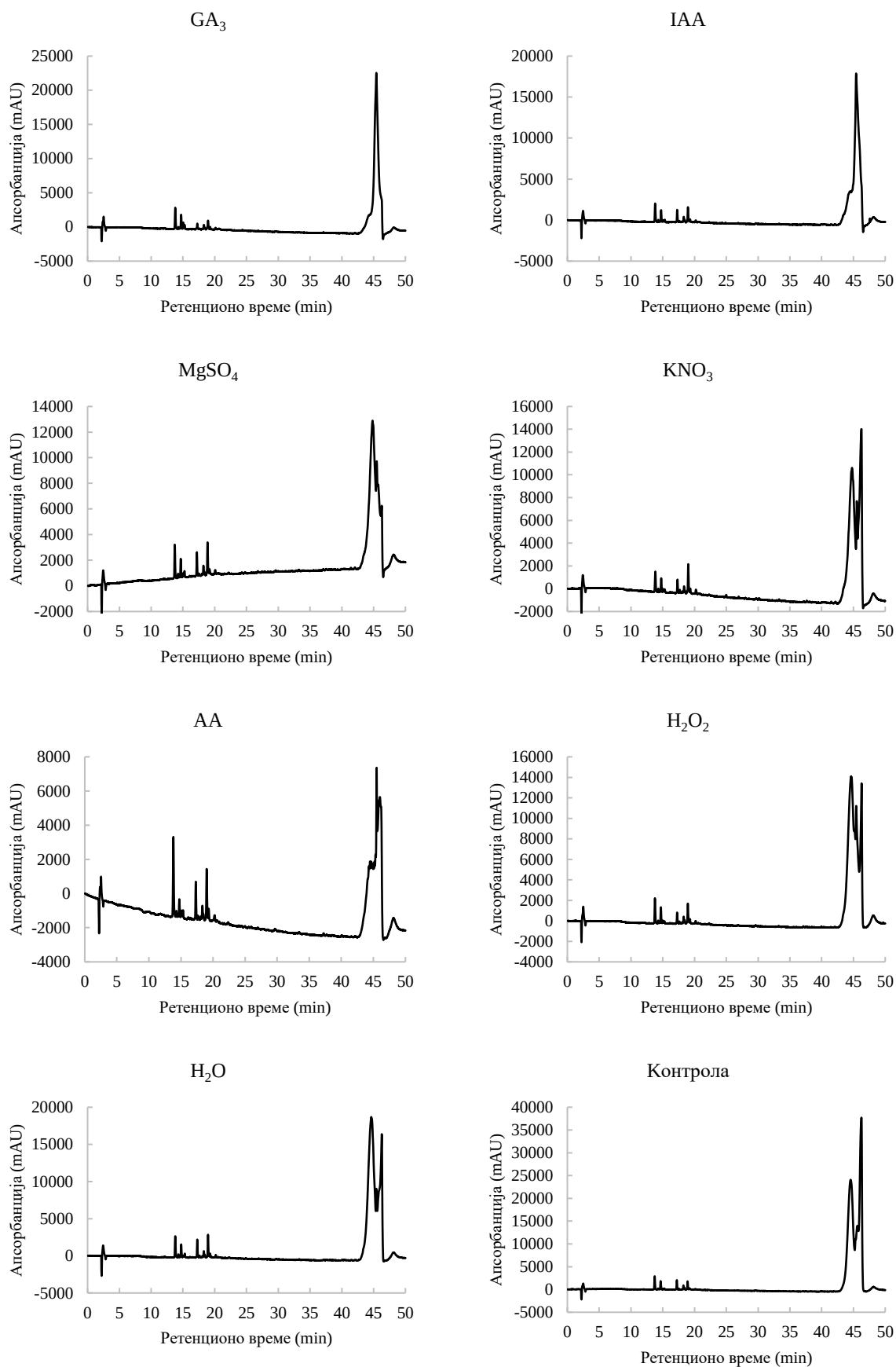
Прилог 16. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца ротквице гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 370 nm

Прилог 17. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 269 nm

Прилог 18. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана на 370 nm

Прилог 19. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца парадајза гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 269 nm



Прилог 20. Хроматограми испитиваних фенолних једињења у екстрактима клијанаца парадајза гајених при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана на 370 nm

ЛИСТА СКРАЋЕНИЦА

$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \times 4\text{H}_2\text{O}$ – амонијум-молибдат
 $^1\text{O}_2$ – синглетни кисеоник
A POX – аскорбат пероксидаза
AA – аскорбинска киселина
ABA – апсцисинска киселина
 AlCl_3 – алуминијум хлорид
ANOVA (eng. *analysis of variance*) – анализа варијанси
ATP – аденозин 3-фосфат
BSA (eng. *bovine serum albumin*) – говеђи серум албумин
 CaCl_2 – калицијум хлорид
CAT – каталаза
Cd – кадмијум
 CH_3CN – ацетонитрил
 CH_3OH – метанол
Chl (a + b) – укупни хлорофил
Chl a – хлорофил a
Chl b – хлорофил b
Co – кобалт
 CO_2 – угљен диоксид
CoA – коензим A
C_x + c – каротеноиди
DANP – 3-десокси-D-хептулозо-7-фосфат
dH₂O – дестилована вода
DHAR – дехидроаскорбат редуктаза
DMAPP – 3,3-диметилалил-пирофосфат
DNK – дезоксирибонуклеинска киселина
DPPH – 1,1-дифенил-2-пикрилхидразил радикал
E4-P – еритроза-4-фосфат
EPSP – 5-енолпирувилшкимат-3-фосфат
Fe-SOD – гвожђе супероксид димутаза
FPP – фарнезил-пирофосфат
G POX – гвајакол пероксидаза
GA – еквивалент галне киселине
GA₃ – гиберелинска киселина
GGPP – геранил-геранил-пирофосфат
GP (eng. *germination percentage*) – проценат клијања
GPP – геранил-пирофосфат
GPX – глутатион пероксидаза
GR – глутатион редуктаза
H₂O₂ – водоник пероксид

HCOOH – мравља киселина
HSP (eng. *heat shock proteins*) – протеини топлотног стреса
IAA – индол-3-сирћетна киселина, ауксин
IPP – изопентенил-пирофосфат
iRNK – информациона RNK
JA – јасмонска киселина
 K^{+} – јони калијума
KCl – калијум хлорид
 KNO_3 – калијум нитрат
LEA (eng. *late embryogenesis abundant*) – протеини касне ембриогенезе
MDA – малондиалдеhid
MDHAR – монодеhidроаскорбат редуктаза
 $MgSO_4$ – магнезијум сулфат
Mn-SOD – манган супероксид дисмутаза
MTG (eng. *mean time to germinate*) – средње време клијања
 Na^{+} – јони натријума
NaCl – натријум хлорид
 $NaHCO_3$ – натријум хидрогенкарбонат
NaOH – натријум хидроксид
NBT (eng. *nitro-blue tetrazolium*) – нитро плаво тетразолијум хлорид
 $O_2^{\bullet -}$ – супероксидни анјонски радикал
 $OH^{\bullet -}$ – хидроксилни радикал
P POX – пирогалол пероксидаза
PAL – фенилаланин амонијум лиаза
PEG – полиетилен гликол
PEP – фосфоенолпируват
Phe – L-фенилаланин
POX – пероксидаза
PSI – фотосистем I
PSII – фотосистем II
PVP – поливинилпиролидон
RG (eng. *rate of germination*) – брзина клијања
RNK – рибонуклеинска киселина
ROS (eng. *reactive oxygen species* - ROS) – реактивне врсте кисеоника
RP-HPLC (eng. *Reversed-phase high-performance liquid chromatography*) – течна хроматографија високих перформанси реверзне фазе
RU – еквивалент рутина
RWC (eng. *relative water content*) – релативни садржај воде
SA – салицилна киселина
SE – стандардна грешка
SK – шикимат киназа
SLVI (eng. *seedling length vigor index*) – вигор индекс дужине клијанаца

SMC (eng. *seed moisture content*) – садржај влаге у семенима

SOD – супероксид дисмутаза

SWVI (eng. *seedling weight vigor index*) – вигор индекс тежине клијанаца

TBA – тиобарбитуратна киселина

TCA – трихлорсирћетна киселина

Trp – L-триптофан

Tyr – L-тирозин

TyrA – тирозин арогенат дехидрогеназа

U – униформност клијања

Zn-SOD – цинк супероксид димутаза

EDTA – етилендиаминотетрасирћетна киселина

$C_{10}H_{10}O_4$ – (2E)-3-(4-Хидрокси-3-метоксифенил)-проп-еноик киселина, ферулна киселина,

$C_{11}H_{12}O_5$ – (2E)-3-(4-Хидрокси-3,5-диметоксифенил)-проп-2-еноик киселина, синапинска киселина

$C_{15}H_{10}O_4$ – 5,7-Дихидрокси флаворон, кризин

$C_{15}H_{10}O_5$ – 4',5,7-Трихидрокси флаворон, апигенин

$C_{15}H_{10}O_7$ – 3,3',4',5,7-Пентахидрокси флаворон, кверцетин

$C_{15}H_{10}O_8$ – 3,3',4',5,5',7-Хексахидрокси флаворон, мирицетин

$C_{15}H_{12}O_5$ – (2S)-4',5,7-Трихидрокси-флаван-4-он, нарингенин

$C_{15}H_{14}O_6$ – (2R,3R)-2-(3,4-Дихидроксифенил)-3,4-дихидро-2Н-хромен-3,5,7-триол, епикатехин

$C_{15}H_{14}O_6$ – (2R,3S)-2-(3,4-Дихидроксифенил)-3,4-дихидро-2Н-хромен-3,5,7-триол, катехин,

$C_{16}H_{18}O_9$ – (1S,3R,4R,5R)-3-[(2E)-3-(3,4-Дихидроксифенил)-проп-2-еноил]-1,4,5-трихидроксициклохексан-1-карбоксилна киселина, хлорогенска киселина

$C_{27}H_{30}O_{16}$ – 3',4',5,7-Тетрахидрокси-3-[α-L-рамнопиранозил-(1→6)-β-D-глуко-пиранозилокси] флаворон, рутин

$C_{27}H_{32}O_{14}$ – (2S)-4',5-Дихидрокси-7-[α-L-рамнопиранозил-(1→2)-β-D-глуко-пиранозилокси]флаван-4-он, нарингин

$C_7H_6O_3$ – 4-Хидрокси бензоева киселина

$C_7H_6O_4$ – 3,4-Дихидрокси бензоева киселина, протокатехулска киселина

$C_7H_6O_4$ – 3,5-Дихидрокси бензоева киселина, α-резорцинска киселина

$C_7H_6O_5$ – 3,4,5-Трихидрокси бензоева киселина, гална киселина

$C_9H_{10}O_5$ – 4-Хидрокси-3,5-диметокси бензоева киселина, сирингинска киселина

$C_9H_8O_3$ – (2E)-3-(4-Хидроксифенил)-проп-еноик киселина, p-кумарна киселина

$C_9H_8O_4$ – 3-(3,4-Дихидроксифенил)-2-пропенска киселина, кафеинска киселина

УВ зраци – ултравиолетни зраци

ЛИСТА СЛИКА

Слика 1.	Приказ типова клијања биљака: хипогеично (а) и епигеично (б)	1
Слика 2.	Схематски приказ клијања прајмираних и непрајмираних семена	4
Слика 3.	Различите технике у оквиру прајминг методе	5
Слика 4.	Пшеница (<i>Triticum aestivum</i> L.)	16
Слика 5.	Јечам (<i>Hordeum vulgare</i> L.)	17
Слика 6.	Овас (<i>Avena sativa</i> L.)	18
Слика 7.	Ротквица (<i>Raphanus sativus</i> L.)	19
Слика 8.	Парадајз (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	20
Слика 9.	Веза између примарног и секундарног метаболизма	21
Слика 10.	Биосинтеза тетрапирила	24
Слика 11.	Хемијска структура хлорофила а и хлорофила б	25
Слика 12.	Генерисање ROS у хлоропластима	27
Слика 13.	Структура каталазе	28
Слика 14.	Структура флавоноида	30
Слика 15.	Структура хидроксициметних киселина (а) и хидроксибензоевих киселина (б)	30
Слика 16.	Третирана семена на почетку експеримента	34
Слика 17.	Клијанци пшенице након инкубације у клима комори у трајњу од 10 дана	34
Слика 18.	Клијанци парадајза након инкубације у клима комори у трајњу од 16 дана	35

ЛИСТА ТАБЕЛА

Табела 1.	Приказ прајминг техника и једињења коришћених у експерименту	33
Табела 2.	Оптимални услови за сепарацију и одређивање фенолних киселина и флавоноида у узорцима биљног материјала	43
Табела 3.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца пшенице гајених при оптималним условима	47
Табела 4.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца пшенице гајених при условима ниске температуре	47
Табела 5.	Концентрација фотосинтетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	49
Табела 6.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	54
Табела 7.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	55
Табела 8.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	56
Табела 9.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	57
Табела 10.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	59
Табела 11.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима пшенице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	61
Табела 12.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца јечма гајених при оптималним условима	65
Табела 13.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца јечма гајених при условима ниске температуре	65
Табела 14.	Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	67

Табела 15.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g ⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g ⁻¹ екстракта) у клијанаима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	72
Табела 16.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g ⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g ⁻¹ екстракта) у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	73
Табела 17.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	74
Табела 18.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	75
Табела 19.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида (μg g ⁻¹ сувог екстракта) у клијанцима јечма гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	77
Табела 20.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида (μg g ⁻¹ сувог екстракта) у клијанцима јечма гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	79
Табела 21.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца овса гајених при оптималним условима	83
Табела 22.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца овса гајених при условима ниске температуре	83
Табела 23.	Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g ⁻¹ SM) у листовима клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	85
Табела 24.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g ⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g ⁻¹ екстракта) у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	90
Табела 25.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g ⁻¹ екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g ⁻¹ екстракта) у клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	91
Табела 26.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	92
Табела 27.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	93
Табела 28.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида (μg g ⁻¹ сувог екстракта) у клијанцима овса гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	95
Табела 29.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида (μg g ⁻¹ сувог екстракта) у клијанцима овса гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	97

Табела 30.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена ротквице при оптималним условима	99
Табела 31.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена ротквице под утицајем ниске температуре	99
Табела 32.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца ротквице гајених при оптималним условима	101
Табела 33.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца ротквице гајених при условима ниске температуре	101
Табела 34.	Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	102
Табела 35.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	108
Табела 36.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	109
Табела 37.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	110
Табела 38.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	111
Табела 39.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	113
Табела 40.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима ротквице гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	115
Табела 41.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена парадајза при оптималним условима	117
Табела 42.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP), средње време клијања (MTG), брзину клијања (RG) и униформност клијања (U) семена парадајза под утицајем ниске температуре	117
Табела 43.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца парадајза гајених при оптималним условима	119
Табела 44.	Утицај прајминг третмана на дужину корена (cm), дужину изданка (cm), свежу и суву масу (mg), вигор индекс дужине (SLVI) и вигор индекс тежине (SWVI) клијанаца парадајза гајених при условима ниске температуре	119

Табела 45.	Концентрација фотосинетичких пигмената (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	121
Табела 46.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	126
Табела 47.	Концентрација укупних фенолних једињења (mg GA g^{-1} екстракта) и укупних флавоноида (mg RU g^{-1} екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	127
Табела 48.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима парадајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	128
Табела 49.	Проценат (%) инхибиције DPPH радикала у клијанцима парадајза гајеним при условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	129
Табела 50.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима парадајза гајеним при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	131
Табела 51.	Квалитативни и квантитативни садржај фенолних киселина и флавоноида ($\mu\text{g g}^{-1}$ сувог екстракта) у клијанцима парадајза гајених у условима ниске температуре у зависности од прајминг третмана	133

ЛИСТА ГРАФИКОНА

Графикон 1.	Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима пшенице	44
Графикон 2.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена пшенице	45
Графикон 3.	Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца пшенице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	48
Графикон 4.	Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана	49
Графикон 5.	Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g^{-1} SM) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана	50
Графикон 6.	Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана	51
Графикон 7.	Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца пшенице у зависности од прајминг третмана	53
Графикон 8.	Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима јечма	62
Графикон 9.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена јечма	63
Графикон 10.	Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца јечма гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	66
Графикон 11.	Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана	67
Графикон 12.	Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g^{-1} SM) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана	68
Графикон 13.	Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана	69
Графикон 14.	Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца јечма у зависности од прајминг третмана	71
Графикон 15.	Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима овса	80
Графикон 16.	Ефекат прајминга на проценат клијања (GP) семена овса	81
Графикон 17.	Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца овса гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	84

Графикон 18.	Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана	85
Графикон 19.	Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g^{-1} SM) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана	86
Графикон 20.	Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана	87
Графикон 21.	Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца овса у зависности од прајминг третмана	89
Графикон 22.	Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима ротквице	98
Графикон 23.	Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца ротквице гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	102
Графикон 24.	Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца ротквице гајених у зависности од прајминг третмана	103
Графикон 25.	Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g^{-1} SM) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана	104
Графикон 26.	Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана	105
Графикон 27.	Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца ротквице у зависности од прајминг третмана	107
Графикон 28.	Ефекат прајминга на садржај влаге у семенима парадајза	116
Графикон 29.	Релативни садржај воде у листу (RWC) (%) клијанаца парадајза гајених при оптималним условима у зависности од прајминг третмана	120
Графикон 30.	Концентрација укупних солубилних протеина (mg g^{-1} SM) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана	121
Графикон 31.	Концентрација малондиалдехида (MDA) (nM g^{-1} SM) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана	122
Графикон 32.	Активност супероксид дисмутазе (SOD) (a) и каталазе (CAT) (b) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана	123
Графикон 33.	Активност аскорбат пероксидазе (A POX) (a), гвајакол пероксидазе (G POX) (b) и пирогалол пероксидазе (P POX) (c) (U mg^{-1} proteina) у листовима клијанаца парадајза у зависности од прајминг третмана	125

Резултати истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације објављени су у следећим публикацијама:

Радови публиковани у врхунском међународном часопису – категорија М₂₁

- **Ќанјевас, М.**, Bojović, B., Ćirić, A., Stanković, M., & Jakovljević, D. (2023). Seed Priming Improves Biochemical and Physiological Performance of Wheat Seedlings under Low-Temperature Conditions. *Agriculture*, 13(1), 2.
- **Ќанјевас, М.**, Jakovljević, D., Todorović, M., Stanković, M., Ćurčić, S., & Bojović, B. (2022). Improvement of germination and early growth of radish (*Raphanus sativus* L.) through modulation of seed metabolic processes. *Plants*, 11(6), 757.

Саопштења на међународним научним скуповима штампана у изводу – категорија М₃₄

- **Ќанјевас, М.**, Jakovljević, D., Ćirić, A., & Bojović, B. (2022). Changes in secondary metabolites content in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings caused by seed priming and cold stress. 4th International Conference on Plant Biology (23rd SPPS Meeting). *Abstract book*, 34. ISBN 978-86-912591-6-7 (SPPS).
- **Ќанјевас, М.**, Jakovljević, D., & Bojović, B. (2022). Wheat (*Triticum aestivum* L.) seed pre-sowing increasing resistance of seedlings to cold stress. 4th International Conference on Plant Biology (23rd SPPS Meeting). *Abstract book*, 82. ISBN 978-86-912591-6-7 (SPPS).
- **Ќањевац, М.**, Бојовић, Б., & Јаковљевић, Д. (2022). Ефекат прајминга семена у повећању отпорности клијанаца пшенице (*Triticum aestivum* L.) на услове хладног стреса. Трећи Конгрес биолога Србије, Златибор, Србија. Књига сажетака, 71. ISBN 978-86-81413-09-8.

Саопштења на националним научним скуповима штампана у изводу – категорија М₆₄

- **Ќанјевас, М.**, Bojović, B., & Jakovljević, D. (2022). Seed priming mediated germination improvement physiological performance of radish (*Raphanus sativus* L.) seedlings. 14th Symposium on the Flora of Southeastern Serbia and Neighboring Regions, Kladovo (SFSES 2022). *Abstract book*, 200. ISBN 978-86-6275-140-9 (FSM).

БИОГРАФИЈА

Милица Кањевац је рођена 05. 12. 1994. године у Сјеници, општина Сјеница, Република Србија, где је и завршила основну школу „Бранко Радичевић“ 2009. године. Средњу медицинску школу са домом ученика „Сестре Нинковић“ у Крагујевцу завршила је 2013. године и исте године уписала Основне академске студије биологије на Природно-математичком факултету у Крагујевцу, у Институту за биологију и екологију. Студије је завршила 18. 09. 2017. године са просечном оценом 9,79 и стекла звање Дипломирани биолог. Мастер академске студије биологије, модул Општа биологија, уписала је школске 2017/18 године. Завршни рад је одбранила 05. 09. 2018. године са оценом 10,00 и завршила овај ниво студија са просечном оценом 9,89, чиме је стекла звање Мастер биолог.

Школске 2018/2019 године уписала је Докторске академске студије Биологије на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу. У звање истраживач-приправник за научну област Биологија у Институту за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу изабрана је 13. 03. 2019. Од 18. 03. 2019. године запослена је на пројекту „Преклиничка испитивања биоактивних супстанци“ (ИИИ 41010) Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије. Школске 2020/2021 била је ангажована у извођењу практичне наставе на Основним академским студијама биологије и екологије на предметима: Физиологија биљака, Екофизиологија биљака и Култура биљних ћелија и ткива. У звање истраживач-сарадник за научну област Биологија у Институту за биологију и екологију Природно-математичког факултета Универзитета у Крагујевцу изабрана је 16. 03. 2022. године. Активно се бави научно-истраживачким радом у области Физиологије биљака.

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Изјављујем да докторска дисертација под насловом:

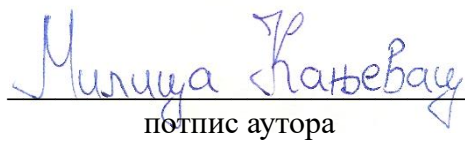
„Ефекат индукованих метаболичких промена у фази клијања семена на физиолошко-биохемијске карактеристике одабраних гајених биљака“

представља *оригинално ауторско дело* настало као резултат *сопственог истраживачког рада*.

Овом Изјавом такође потврђујем:

- да сам *једини аутор* наведене докторске дисертације,
- да у наведеној докторској дисертацији *нисам извршио/ла повреду* ауторског нити другог права интелектуалне својине других лица,

У Крагујевцу, 11. 06. 2024. године,


потпис аутора

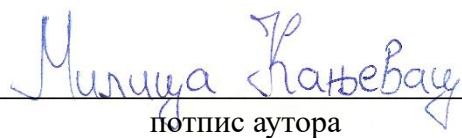
**ИЗЈАВА АУТОРА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Изјављујем да су штампана и електронска верзија докторске дисертације под насловом:

**„Ефекат индукованих метаболичких промена у фази клијања семена на физиолошко-
биохемијске карактеристике одабраних гајених биљака“**

истоветне.

У Крагујевцу, 11. 06. 2024. године,



потпис аутора

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Милица М. Кањевац,

☒

дозвољавам

☐

не дозвољавам

Универзитетској библиотеци у Крагујевцу да начини два трајна умножена примерка у електронској форми докторске дисертације под насловом:

„Ефекат индукованих метаболичких промена у фази клијања семена на физиолошко-биохемијске карактеристике одабраних гајених биљака“

и то у целини, као и да по један примерак тако умножене докторске дисертације учини трајно доступним јавности путем дигиталног репозиторијума Универзитета у Крагујевцу и централног репозиторијума надлежног министарства, тако да припадници јавности могу начинити трајне умножене примерке у електронској форми наведене докторске дисертације путем *преузимања*.

Овом Изјавом такође

☒

дозвољавам

☐

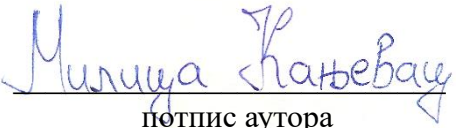
не дозвољавам¹

припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од следећих *Creative Commons* лиценци:

¹ Уколико аутор изабере да не дозволи припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци, то не искључује право припадника јавности да наведену докторску дисертацију користе у складу са одредбама Закона о ауторском и сродним правима.

- 1) Ауторство
- 2) Ауторство - делити под истим условима
- 3) Ауторство - без прерада
- 4) Ауторство - некомерцијално
- ⑤) Ауторство - некомерцијално - делити под истим условима
- 6) Ауторство - некомерцијално - без прерада²

У Крагујевцу, 11. 06. 2024. године,


потпис аутора

² Молимо ауторе који су изабрали да дозволе припадницима јавности да тако доступну докторску дисертацију користе под условима утврђеним једном од *Creative Commons* лиценци да заокруже једну од понуђених лиценци. Детаљан садржај наведених лиценци доступан је на: <http://creativecommons.org.rs/>