



UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

Stefan M. Marković

**Biohemijska karakterizacija izabranih biljnih
vrsta iz rodova *Triticum*, *Avena* i *Triticosecale*
u uslovima toplotnog stresa**

Doktorska disertacija

Kragujevac, 2021.



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF SCIENCE

Stefan M. Marković

**Biochemical characterization of selected
plant species from the genera *Triticum*,
Avena and *Triticosecale* under conditions of
heat stress**

Doctoral Dissertation

Kragujevac, 2021

Autor
Ime i prezime: Stefan M. Marković
Datum i mesto rođenja: 26.03.1990. godine, Smederevska Palanka
Sadašnje zaposlenje: Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju i ekologiju, zvanje - asistent
Doktorska disertacija
Naslov: Biohemijska karakterizacija izabраниh biljnih vrsta iz rodova <i>Triticum</i> , <i>Avena</i> i <i>Triticosecale</i> u uslovima toplotnog stresa
Broj stranica: 157
Broj slika: 21 slika i 36 grafika
Broj bibliografskih podataka: 316
Ustanova i mesto gde je rad izrađen: Prirodno-matematički fakultet Kragujevac
Naučna oblast (UDK): 577.11:633.1(497.11)(043.3) (Biohemija i molekularna biologija, Čelijska biohemija, Žitarice, zrnasti usevi; Istraživanja rađena u Srbiji; Doktorska disertacija)
Mentor: dr Nevena Đukić, vanredni profesor, Prirodno-matematički fakultet, Institut za biologiju i ekologiju, Univerzitet u Kragujevcu
Ocena i obrana
Datum prijave teme: 18.11.2020. (broj odluke – IV-01-832/14)
Broj odluke i datum prihvatanja teme doktorske disertacije: IV-01-94/12; 10.02.2021.
Komisija za ocenu naučne zasnovanosti teme i ispunjenosti uslova kandidata:
1. dr Nevena Đukić , vanredni profesor; Prirodno-matematički fakultet, Univerzitet u Kragujevcu; Uža naučna oblast: Biohemija
2. dr Dragan Živančev , viši naučni saradnik; Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju; Naučna oblast: Biotehničke nauke - prehrambeno inženjerstvo; Naučna disciplina: Tehnologija biljnih proizvoda; Uža naučna disciplina: Kvalitet i bezbednost hrane biljnog porekla
3. dr Jelena Lozo , vanredni profesor; Univerzitet u Beogradu, Biološki fakultet; Uža naučna oblast: Biohemija i molekularna biologija
Komisija za ocenu i odbranu doktorske disertacije:
<hr/> dr Jelena Lozo , redovni profesor; Univerzitet u Beogradu - Biološki fakultet; Uža naučna oblast: Biohemija i molekularna biologija
<hr/> dr Dragan Živančev , viši naučni saradnik; Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju; Naučna oblast: Biotehničke nauke – prehrambeno inženjerstvo; Naučna disciplina: Tehnologija biljnih proizvoda; Uža naučna disciplina: Kvalitet i bezbednost hrane biljnog porekla
<hr/> dr Nataša Joković , vanredni profesor; Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet; Uža naučna oblast: Eksperimentalna biologija i biotehnologija.
Datum odbrane disertacije:

ZAHVALNICA

Prvenstveno želim da izrazim veliku zahvalnost mentorki dr Neveni Đukić, vanrednom profesoru Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu koja me je uvela u svet biohemije. Zahvaljujem joj se na nesebičnom zalaganju i pomoći, velikom trudu i iskrenim savetima tokom izrade ove doktorske disertacije. Želim da joj se zahvalim i što mi je pomogla već od samog početka mog profesionalnog rada, što je svoju posvećenost, pristup naučnom radu i preciznost koju poseduje uspeła da prenese na mene tokom izrade ove disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem dr Jeleni Lozo na pažnji koju je posvetila tokom čitanja ove doktorske disertacije, na korisnim savetima i sugestijama koji su doprineli kvalitetu ove doktorske disertacije.

Iskrenu zahvalnost dugujem dr Draganu Živančevom na pažljivom čitanju doktorske disertacije, na korisnim sugestijama i savetima koji su pomogli da ova doktorska disertacija bude kvalitetnija.

Zahvaljujem se dr Nataši Joković na čitanju disertacije, na korisnim savetima i sugestijama koji su doprineli kvalitetu ove doktorske disertacije.

Posebno se zahvaljujem dr Ivani Momčilović, dr Danijelu Pantelić i Jeleni Rudić na nesebičnoj pomoći, na iskrenim savetima i lepim trenucima tokom zajedničkog rada na Institutu za biološka istraživanja „Siniša Stanković“.

Zahvaljujem se Poljoprivrednoj savetodavnoj i stručnoj službi iz Kraljeva koja mi je omogućila pristup oglednom polju i Nenadu Nešoviću na stručnim savetima koji su olakšali rad na oglednom polju.

Neizmernu zahvalnost dugujem svojoj porodici na velikoj ljubavi, strpljenju, podršci i što su verovali u mene tokom svih ovih godina.

Najiskrenije se zahvaljujem dragim prijateljima na podršci, motivaciji i strpljenju koje su imali tokom izrade disertacije.

Želim da se zahvalim i svojim kolegamicama i kolegama sa Univerziteta u Kragujevcu na razumevanju, kolegijalnosti i podršci.

Biohemijska karakterizacija izabranih biljnih vrsta iz rodova *Triticum*, *Avena* i *Triticosecale* u uslovima toplotnog stresa

Apstrakt

Porast temperature na globalnom nivou negativno utiče na prinos žitarica širom sveta. Istraživanja povezana sa načinom odgovora žitarica na toplotni stres su važna i omogućavaju razumevanje biohemijske osnove toplotne tolerancije kod žitarica. Ona otvaraju mogućnost za korišćenje novih znanja u efikasnom odabiru komercijalnih sorti žitarica kao i mogućnost za kreiranjem novih toplotno-tolerantnih sorti žitarica. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je uticaj toplotnog stresa na različite sorte žitarica i njihov biohemijski i molekularni odgovor u toku tri eksperimentalne godine, sa ciljem širenja fundamentalnih znanja o biohemijskoj osnovi toplotne tolerancije kod žitarica. U toku trogodišnje analize praćen je uticaj toplotnog stresa na veći broj parametara biljnih zaštitnih mehanizama i na elemente prinosa. Utvrđeno je da su antioksidativni i zaštitni mehanizmi bili izraženiji u toku toplijih godina istraživanja (2016. i 2018.) u odnosu na 2017. godinu koja je bila umerenija, što ukazuje da temperatura značajno utiče na analizirane parametre. Na osnovu rezultata utvrđeno je da toplotni stres utiče na pad vrednosti proteina i fotosintetičkih pigmenata u listu žitarica, a dovodi do porasta prolina i malondialdehida. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A, EF-Tu, HSP101 i HSP18 je pokazala da dolazi do značajnog povećanja njihove ekspresije u uslovima toplotnog stresa kod žitarica. U uslovima toplotnog stresa došlo je i do povećanja aktivnosti antioksidativnih enzima. Rezultati ove doktorske disertacije, sugerišu da se analizirane sorte žitarica značajno razlikuju u sposobnosti reagovanja na toplotni stres, što može biti korisno za razvoj sorti primenom biotehnologije i programa oplemenjivanja, kako bi se dobile nove sorte otpornije na visoku temperaturu.

Ključne reči: toplotni stres, žitarice, elongacioni faktori, HSP101, HSP18, prolin, malondialdehid, antioksidativni enzimi, fotosintetički pigmenti, prinos.

Biochemical characterization of selected plant species from the genera *Triticum*, *Avena* and *Triticosecale* under conditions of heat stress**Abstract**

Rising temperatures on global scale are affecting cereal yields worldwide. Research related to cereals respond to heat stress is very important because they provide an understanding of the biochemical basis of heat tolerance in cereals. This research opens the possibility for the use of new knowledge in the efficient selection of commercial varieties of cereals as well as the possibility for the creation of new heat-tolerant cereals varieties. The subject of this doctoral dissertation is the influence of heat stress on different varieties of cereals and their biochemical and molecular response during the three experimental years, with the aim of expanding fundamental knowledge about the biochemical basis of heat tolerance in cereals. During the three years of analysis, the influence of heat stress on several parameters of plant protecting mechanisms and on yield elements was investigated. It was found that antioxidative and protective mechanisms were more induced during the warmer years of research (2016 and 2018) compared to moderate year 2017, which indicates that the temperature significantly affected the analyzed parameters. Based on the results, it was found that heat stress affects the decrease in proteins and photosynthetic pigments in cereal leaves and leads to an increase in proline and malondialdehyde content. Immunoblot analysis of the expression of eEF1A, EF-Tu, HSP101 and HSP18 showed that there is a significant increase in their expression under conditions of heat stress in cereals. Under the conditions of heat stress, there was an increase in the activity of antioxidative enzymes. The results of this doctoral dissertation suggest that the analyzed cereal varieties differ significantly in their ability to respond to heat stress, which could be useful for development of varieties using biotechnology through breeding programs, to obtain new varieties more resistant to high temperatures.

Keywords: heat stress, cereals, elongation factors, HSP101, HSP18, proline, malondialdehyde, antioxidative enzymes, photosynthetic pigments, yield.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Žitarice	3
1.1.1. Pšenica.....	4
1.1.2. Ovas.....	10
1.1.3. Triticale	14
1.2. Uticaj stresa na biljke	17
1.2.1. Toplotni stres.....	19
1.3. Adaptacija biljaka na toplotni stres	23
1.3.1. Proteini toplotnog stresa.....	24
1.3.2. Elongacioni faktori	25
1.3.3. Antioksidativni enzimi	27
1.3.4. Neenzimski antioksidansi.....	29
2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA.....	30
3. MATERIJAL I METODE.....	32
3.1. Biljni materijal i terenski podaci	33
3.2. Meteorološki podaci	34
3.3. Laboratorijske analize	35
3.3.1. Izolacija proteina iz listova.....	35
3.3.2. Određivanje koncentracije ukupnih solubilnih proteina iz listova	36
3.3.3. Elektroforeza i imunoblot analiza	36
3.3.4. Izolovanje ukupnih RNK molekula iz listova žitarica.....	37
3.3.5. Određivanje nivoa ekspresije eEF1A gena metodom kvantitativnog PCR-a (qPCR).....	38
3.3.6. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti antioksidativnih enzima	39
3.3.7. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije prolina	40
3.3.8. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije malondialdehida	41
3.3.9. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije fotosintetičkih pigmenata	41
3.3.10. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije skroba	42
3.3.11. Količina suve mase zrna i lista	42
3.3.12. Elementi prinosa.....	43
3.4. Statistička analiza podataka.....	43

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	44
4.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina	45
4.1.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2016.....	45
4.1.2. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2017.....	47
4.1.3. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2018.....	48
4.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A.....	50
4.2.1. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2016.....	50
4.2.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2017.....	51
4.2.3. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2018.....	52
4.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP101.....	53
4.3.1. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2016.....	54
4.3.2. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2017.....	55
4.3.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2018.....	56
4.4. Imunoblot analiza ekspresije HSP18.....	57
4.4.1. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2016.....	57
4.4.2. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2017.....	58
4.4.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2018.....	59
4.5. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu.....	60
4.5.1. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2016.....	61
4.5.2. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2017.....	62
4.5.3. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2018.....	63
4.6. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena.....	64
4.6.1. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena u toku vegetacione sezone 2017.....	64
4.6.2. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena u toku vegetacione sezone 2018.....	65
4.7. Analiza koncentracije prolina.....	67
4.7.1. Koncentracija prolina u toku vegetacione sezone 2017.....	67
4.7.2. Koncentracija prolina u toku vegetacione sezone 2018.....	69
4.8. Koncentracija malondialdehida.....	72
4.8.1. Koncentracija MDA u toku vegetacione sezone 2017.....	72
4.8.2. Koncentracija MDA u toku vegetacione sezone 2018.....	74
4.9. Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima.....	75
4.9.1. Analiza aktivnosti katalaze.....	76

4.9.2. Analiza aktivnosti askorbat peroksidaze	78
4.9.3. Analiza aktivnosti gvajakol peroksidaze	80
4.10. Analiza sadržaja fotosintetičkih pigmenata.....	82
4.10.1. Analiza sadržaja hlorofila <i>a</i>	82
4.10.2. Analiza sadržaja hlorofila <i>b</i>	85
4.10.3. Analiza sadržaja ukupnog hlorofila.....	89
4.10.4. Analiza sadržaja karotenoida.....	93
4.11. Analiza sadržaja skroba.....	96
4.11.1. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2016.....	96
4.11.2. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2017.....	97
4.11.3. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2018.....	98
4.12. Analiza sadržaja suve mase lista	99
4.12.1. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016	99
4.12.2. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017	100
4.12.3. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018	101
4.13. Analiza sadržaja suve mase zrna	102
4.13.1. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016	102
4.13.2. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017	103
4.13.3. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018	104
4.14. Analiza broja zrna po klasu	105
4.14.1. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016	105
4.14.2. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017	106
4.14.3. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018	107
4.15. Analiza mase suvog zrna po klasu.....	108
4.15.1. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.....	108
4.15.2. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.....	109
4.15.3. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.....	110
4.16. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru.....	111
4.16.1. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2016.....	111
4.16.2. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2017.....	112
4.16.3. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2018.....	113
4.17. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr	114

4.17.1. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2017 .	114
4.17.2. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2018 .	115
5. DISKUSIJA.....	116
5.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina	117
5.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A.....	118
5.3. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu.....	119
5.4. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 i HSP18	119
5.5. Analiza koncentracije prolina.....	120
5.6. Analiza koncentracije malondialdehida	121
5.7. Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima.....	122
5.8. Analiza sadržaja fotosintetičkih pigmenata.....	123
5.9. Analiza sadržaja skroba.....	124
5.10. Analiza elemenata prinosa.....	124
6. ZAKLJUČCI	126
7. LITERATURA	129
8. PRILOZI.....	152

LISTA SKRAĆENICA

ANOVA	analiza varijanse
APX	askorbat peroksidaza
BSA	engl. „bovine serum albumin“, goveđi serum albumin
BSK	broj zrna po klasu
BP	bazni parovi
CAT	engl. „Catalase“, Katalaza
dT	deoksitimidin
dNTP	deoksiribonukleotid trifosfat
EC	engl. „Enzyme Commission number (EC number)“, enzimski (klasifikacioni) broj
ECL	engl. „Enhanced Chemiluminescence“, pojačana hemiluminiscencija
eEF1A	eukariotski elongacioni faktor 1 alfa
EF-Tu	elongacioni faktor Tu
EDTA	etilendiamintetrasirćetna kiselina
GAPDH	gliceraldehid 3-fosfat dehidrogenaza
GDP	guanozin difosfat
GPOX	gvajakol peroksidaza
GR	glutation-reduktaza
GTP	guanozin trifosfat
HSP	engl. „heat shock protein“, protein toplotnog stresa
HRP	engl. „horseradish peroxidase“, peroksidaza rena
HSR	engl. „heat stress response“, odgovor na toplotni stres
IgG	imunoglobulin G
LSD	engl. „least significant difference“, najmanje značajna razlika
MDA	malondialdehid
PVDF	poliviniliden difluorid
PAGE	poliakrilamid gel elektroforeza
ROS	eng. „reactive oxygen species“, reaktivne vrste kiseonika
RT	reverzna transkripcija
rcf	engl. „relative centrifugal force“, relativna centrifugalna sila
rpm	engl. „revolution per minute“, broj obrtaja u minutu
s.m.	sveža masa
sHSP	Proteini toplotnog stresa male molekulske mase
SDS	natrijum dodecil sulfat
SDS-	engl. „sodijum dodecil sulfat“, poliakrilamid gel elektroforeza
SML	suva masa lista
MSZK	masa suvog zrna po klasu
SOD	superoksid dismutaza
TBARS	koncentracija reaktivnih supstanci tiobarbituratne kiseline
TCA	trihlorsirćetna kiselina
TS	toplotni stres
T _m	temperatura topljenja prajmera
T-PBS	engl. „tween 20 - phosphate-buffered saline“, tween 20 - fosfatni pufer
MSSK	masa suvog zrna po klasu
UT	uslovi umerene temperature
qPCR	kvantitativni PCR

LISTA SLIKA

- Slika 1. Evolucionari i genomski odnosi između hlebne pšenice i srodnih divljih trava, sa prikazom klasova i zrna
- Slika 2. Evolucija pšenice od praistorije do pojave hlebne pšenice
- Slika 3. Izgled pšenice (*Triticum aestivum*)
- Slika 4. Klas pšenice. Ogledno polje u okolini Kraljeva
- Slika 5. Morfologija zrna pšenice
- Slika 6. Svetska proizvodnja pšenice u toku 2019. godine, izmereno u tonama
- Slika 7. *Avena sativa*, sorta Jadar
- Slika 8. Izgled metlice ovsa kod različitih oblika *Avena sativa*
- Slika 9. Izgled zrna ovsa
- Slika 10. Svetska proizvodnja ovsa u svetu u toku 2019. godine, izmereno u tonama
- Slika 11. Izgled sorte tritikalea uzgajane na oglednom polju u okolini Kraljeva
- Slika 12. Izgled klasa tritikalea. Sorta Odisej. Ogledno polje u okolini Kraljeva
- Slika 13. Količina proizvodnje tritikalea po zemljama u svetu u toku 2019. godine izražena u tonama
- Slika 14. Različiti tipovi abiotičkog i biotičkog stresa
- Slika 15. Uticaj visoke temperature na biljne organizme
- Slika 17. Struktura karotenoida
- Slika 16. (a) struktura hlorofila a, (b) struktura hlorofila b
- Slika 18. Uloga EF-Tu u translaciji
- Slika 19. Struktura askorbat peroksidaze (zelena boja) u kompleksu sa askorbatom (plava boja), ligandom histidina (crvena boja) u koordinaciji se sa gvožđem hem grupe (takođe crvene boje)
- Slika 20. Struktura prolina
- Slika 21. Izgled oglednog polja u okolini Kraljeva

LISTA GRAFIKA

- Grafik 1. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2016. godini. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljani rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.
- Grafik 2. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2017. godini. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljani rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.
- Grafik 3. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2018. godini. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljani rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.
- Grafik 4. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.
- Grafik 5. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5

- *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 6. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 7. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 8. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 9. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 – *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

- Grafik 10. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.
- Grafik 11. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.
- Grafik 12. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.
- Grafik 13. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.
- Grafik 14. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na

12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar* 4 – *Pobeda*, 5 – *NS40S*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 15. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 µg) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar* 4 – *Pobeda*, 5 – *NS40S*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Grafik 16. Srednja vrednost ekspresije eEF1A gena u 2017. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva merenja ± standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Grafik 17. Srednja vrednost ekspresije eEF1A gena u 2018. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva merenja ± standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Grafik 18. Prosečna vrednost tri merenja koncentracije prolina u toku vegetacione sezone 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u µmol/g sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 19. Prosečna vrednost tri merenja koncentracije prolina u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u µmol/g sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala

slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 20. Prosečna vrednost tri merenja koncentracije MDA u toku vegetacione sezone 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 21. Prosečna vrednost tri merenja koncentracije MDA u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 22. Prosečna vrednost tri merenja aktivnosti katalaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 23. Prosečna vrednost tri merenja aktivnosti askorbat peroksidaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 24. Prosečna vrednost tri merenja aktivnosti gvajakol peroksidaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

Grafik 25. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

- Grafik 26. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 27. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 28. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 29. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 30. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 31. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 32. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 33. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.
- Grafik 34. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su

predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Grafik 35. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Grafik 36. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

LISTA TABELA

- Tabela 1. Srednje mesečne temperature vazduha, sume padavina i relativna vlažnost vazduha u toku vegetacionog perioda (od januara do juna) za tri uzastopne godine (2016., 2017. i 2018. godina) i višegodišnji prosek (1981-2010. god.) na lokalitetu Kraljevo, Srbija.
- Tabela 2. Način označavanja eksperimentalnih godina u odnosu na njihove meteorološke karakteristike.
- Tabela 3. Gen specifični prajmeri i njihove karakteristike
- Tabela 4. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2016. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.
- Tabela 5. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.
- Tabela 6. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.
- Tabela 7. Relativna ekspresija eEF1A gena u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017.
- Tabela 8. Relativna ekspresija eEF1A gena u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2018.
- Tabela 9. Koncentracija prolina u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol}/\text{g}$ s.m. (sveže mase).
- Tabela 10. Koncentracija prolina u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol}/\text{g}$ s.m. (sveže mase).
- Tabela 11. Koncentracija malondialdehida u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol}/\text{g}$ s.m. (sveže mase).
- Tabela 12. Koncentracija malondialdehida u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol}/\text{g}$ s.m. (sveže mase).
- Tabela 13. Aktivnost katalaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).
- Tabela 14. Aktivnost askorbat peroksidaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).
- Tabela 15. Aktivnost gvajakol peroksidaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).

Tabela 16. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Tabela 17. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Tabela 18. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Tabela 19. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima.

Tabela 20. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima.

Tabela 21. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima.

Tabela 22. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima.

Tabela 23. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima.

Tabela 24. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima.

Tabela 25. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Tabela 26. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Tabela 27. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Tabela 28. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Tabela 29. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Tabela 30. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Tabela 31. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2016.

Tabela 32. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2017.

Tabela 33. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2018.

Tabela 34. Prinos žitarica u kilogramima po hektolitru u toku vegetacione sezone 2017.

Tabela 35. Prinos žitarica u kilogramima po hektolitru u toku vegetacione sezone 2018.

1. UVOD

Žitarice predstavljaju važan ekonomski i prehrambeni resurs i svrstavaju se u najvažnije namirnice u svakodnevnoj ljudskoj ishrani (Farooq *et al.*, 2011). Svetska zdravstvena organizacija je propisala preporuke u okviru CINDI vodiča za ishranu prema kome se žitarice i njihovi proizvodi preporučuju kao osnova svakodnevne ishrane (Rađen, 2012). Površina zemljišta na kojoj se žitarice uzgajaju je veća od bilo koje druge površine na kojoj se uzgajaju komercijalne kulture, uključujući kukuruz, pirinač i krompir (Curtis *et al.*, 2002; Tadesse *et al.*, 2016). Osim što sadrže veće količine ugljenih hidrata, proteina i vlakana, žitarice su značajne i zbog svog mineralnog sastava kao i zbog bogatstva vitaminima (B2 - riboflavin, B6 - piridoksin, B5 - pantotenska kiselina, kao i vitamini E, A i u manjim količinama K) (Slavin *et al.*, 1999; Singh *et al.*, 2012). Žitarice i proizvodi od žitarica mogu takođe sadržati niz bioaktivnih supstanci i postoji sve veći interes za potencijalnim zdravstvenim prednostima koje ove supstance mogu pružiti. Žitarice se promovisu kao dobar izvor dijetetskih vlakana, pogotovo β -glukana, koja mogu da olakšaju varenje, stimulišu imuni sistem i mogu da imaju pozitivan efekat u borbi protiv infekcija (Marković *et al.*, 2017; Goodridge *et al.*, 2009). Ispitivanja su poslednjih godina sve više usmerena na lekovite efekte žitarica. Na tom polju je ostvaren napredak i tako se pored nutritivnog i ekonomskog značaja u skorije vreme sve više ističe i značaj lekovitih svojstava žitarica (Adom i Liu, 2002; Asano i McLeod 2002; Thompson, 2009). Zbog njihove velike upotrebe kao i zbog porasta ljudske populacije, od suštinskog je značaja očuvanje i poboljšanje proizvodnje žitarica u budućem periodu (Shewry, 2009).

Zbog klimatskih promena dolazi do smanjenja produktivnosti useva širom sveta. Sve češće se javljaju abiotički faktori koji negativno utiču i na proizvodnju žitarica širom sveta (Ferris *et al.*, 1998; Roy *et al.*, 2011). Suša, niska i visoka temperatura su abiotički faktori koji dovode do stresa kod žitarica uzrokujući smanjenje njihove produktivnosti što bi u budućnosti moglo stvoriti velike probleme (Ciais *et al.*, 2005; Barnabás *et al.*, 2008). Usled globalnog zagrevanja, visoka temperatura postaje alarmantan faktor, jer kod žitarica dovodi do toplotnog stresa (Mahla *et al.*, 2012).

Toplotni stres deluje na rast i razvoj žitarica (Porter i Gawith, 1999) i utiče na njihovu proizvodnju, uzrokujući moguće smanjenje prinosa do čak 71% (Mustafa *et al.*, 2013). Toplotni stres deluje štetno na rast biljaka, metabolizam i funkcionisanje biljne ćelije (Anderson i Sonali, 2004). Fiziološka oštećenja pri toplotnom stresu javljaju se na svim nivoima strukturne organizacije i najviše se ogledaju na molekularnom nivou (Karuppanapandian *et al.*, 2011). Temperature veće od 35 °C smanjuju aktivnost enzima i značajno ograničavaju procese fotosinteze (Griffin *et al.*, 2004). Visoke temperature u biljkama dovode do oksidativnog stresa pri čemu se stvaraju reaktivne vrste kiseonika (ROS) (Suzuki i Mittler, 2006). Pri oksidativnom stresu, povećana koncentracija ROS deluje na lipide i dovodi do lipidne peroksidacije uzrokujući oštećenja na membrani ćelije (Breusegem *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2012), usled čega može doći do ćelijske smrti i biljnog oštećenja (Liu i Huang, 2000; Marcum, 1998). Stres prouzrokovan visokom temperaturom dovodi i do denaturacije proteina (menja se konformacija proteina) i razgradnje hlorofila (Larkindale *et al.*, 2005).

Zbog promene klime, održavanje visokog prinosa je sve veći izazov za modernu poljoprivredu (Gill i Tuteja, 2010).

1.1. Žitarice

Žitarice su jednogodišnje biljke čiji se zrnasti plodovi najčešće koriste za ishranu ljudi i životinja i kao sirovina u prehrambenoj industriji. Optimalna temperatura za razvoj žitarica koja omogućava maksimalni prinos varira između 12 i 25 °C (Zhao *et al.*, 2007; Singh i Sharma, 2017). Plodovi žitarica su bogati ugljenim hidratima, belančevinama, celulozom, mineralnim materijama i vitaminima. Žitarice su izuzetno bogate pre svega ugljenim hidratima. Ugljeni hidrati čine oko 65–75% zrelog zrna pšenice, a slične količine ugljenih hidrata se nalaze i u ostalim vrstama žitaricama. U zrnu pšenice od prisutnih ugljenih hidrata, sa oko 1% ili manje su zastupljeni monosaharidi (glukoza, fruktoza) i disaharidi (saharoza i maltoza), oligosaharidi su zastupljeni sa oko 1%, nalazi se oko 1–2% fruktana, oko 10% polisaharida ćelijskog zida (uglavnom celuloza), dok je skrob najzastupljeniji sa oko 65–75%. Međutim, postoje velike razlike u sadržaju ugljenih hidrata u različitim delovima zrnastih tkiva. Aleuronski i spoljni sloj (perikarp), koji pri mlevenju pšenice čine mekinje, sadrže malo skroba, ali do polovine suve mase čine polisaharidi ćelijskog zida, dok endosperm (glavno skladišno tkivo zrna) sadrži oko 85% skroba i samo 2–3% polisaharida ćelijskog zida (Stone i Morell, 2009; Andersson *et al.*, 2013; Lafiandra *et al.*, 2014). Skrob se sastoji od dve različite vrste polimera: amilopektina i amiloze, prisutnih u odnosu 3:1. Oba polimera su formirana od α -D-glukoze, ali se razlikuju po razgranatosti. Amiloza je linearni molekul, dok je amilopektin razgranat (Đukić, 2013). Razgranatost amilopektina može direktno uticati na karakteristike i funkcionalnost skroba, jer razlike u njihovoj raspodeli duž lanca, načinu grupisanja, kao i sposobnost formiranja dvostruke spiralne konformacije, mogu doprineti kristalnim karakteristikama amilopektina (Jeon *et al.*, 2010). Skrob izolovan iz žitarica koristi se kao sastojak hrane u izvornoj i modifikovanoj formi i ima različite primene u prehrambenoj industriji, posebno kao sredstvo za zgušnjavanje i za zadržavanje vode (Agama-Acevedo *et al.*, 2019). Budući da su kvantitativno najvažniji prehrambeni izvor energije za većinu populacije, ugljeni hidrati imaju posebnu ulogu u energetskom metabolizmu i homeostazi. Žitarice su dominantan izvor ugljenih hidrata u ljudskoj ishrani, pružajući glavni izvor energije i značajno doprinoseći unosu proteina (Lafiandra *et al.*, 2014).

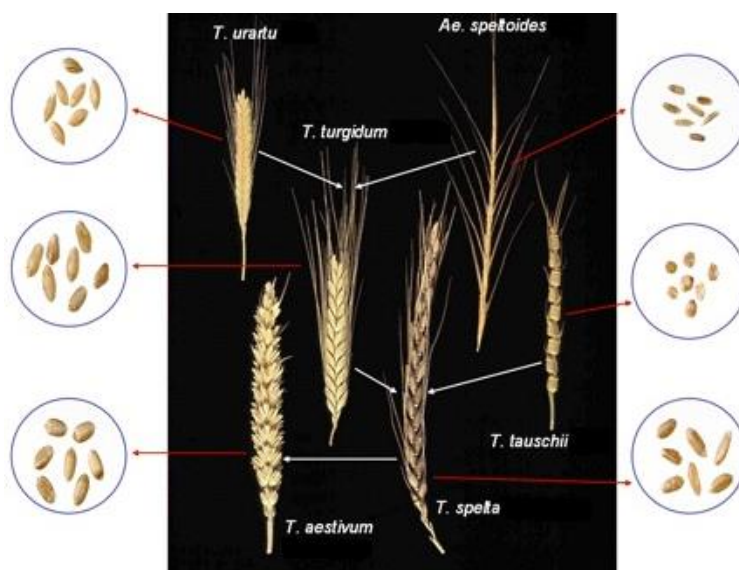
Cvetovi žitarica su skupljeni u cvast, koja se može formirati u vidu klasa ili metlice. Žitarice se klasifikuju na osnovu vegetativnih i generativnih organa na prava (strna žita) i prosolika žita. Strnim žitima pripadaju pšenica (*Triticum sp.*), ovas (*Avena sativa*), ječam (*Hordeum vulgare*), raž (*Secale cereale*) i tritikale (*Triticale*); Grupi prosolikih žita pripadaju kukuruz (*Zea mais*), proso (*Panicum sp.*), sirak (*Andropogon sorghum*, sin. *Sorghum halepense*), pirinač (*Oryza sativa*) i heljda (*Fagopyrum esculentum*). Sve žitarice osim heljde (familija *Polygonaceae*), pripadaju familiji *Poaceae* (Todorović *et al.*, 2003). Obzirom da su u ovoj disertaciji analizirane pšenica, ovas i tritikale, u daljem tekstu detaljnije će biti dat opis ovih vrsta žitarica.

1.1.1. Pšenica

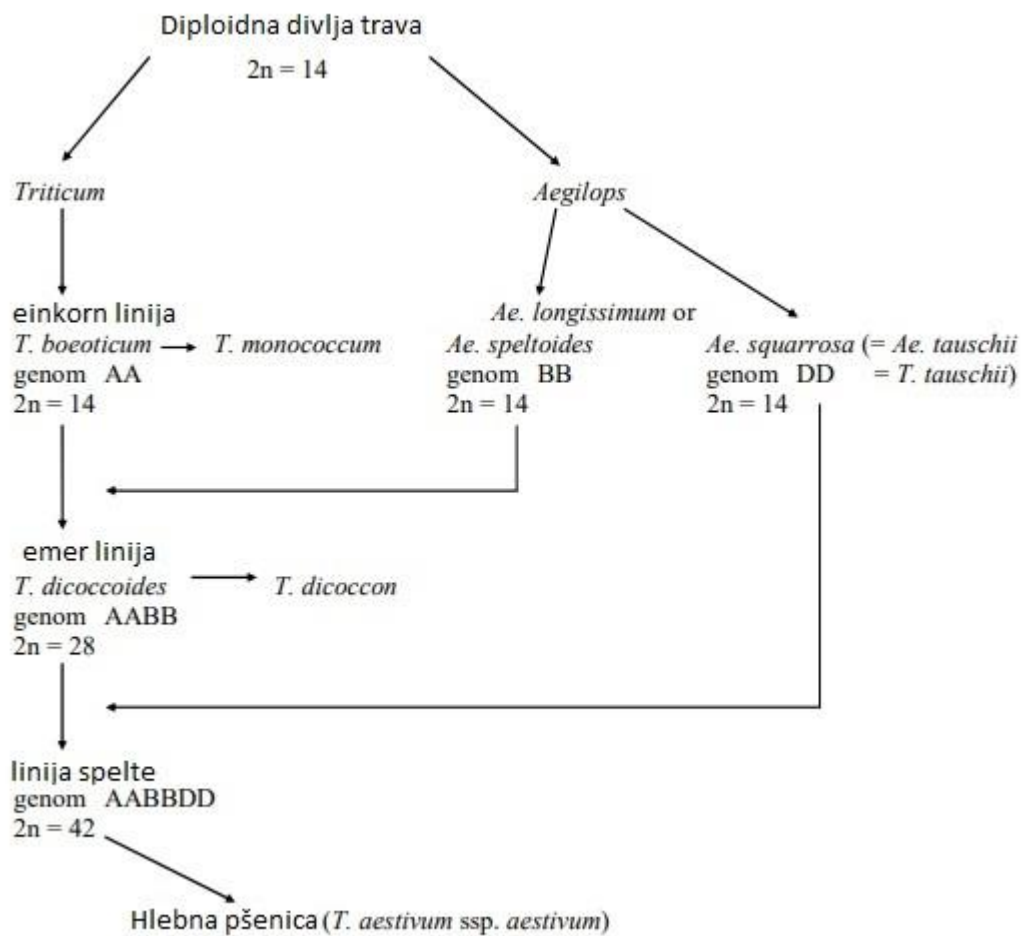
Pšenica je vrsta jednogodišnje trave koja se uzgaja širom sveta zbog zrna koje se koristi u ishrani ljudi i kao sirovina u prehrambenoj industriji. Pšenica pripada redu Poales, a porodici *Poaceae* u koju spadaju i druge važne žitarice (raž, ovas, ječam, kukuruz, pirinač). Pšenica pripada rodu *Triticum* u okviru koga se nalaze brojne vrste pšenice, od kojih su u ljudskoj ishrani kao i u proizvodnji u današnje vreme najzastupljenije vrste *Triticum aestivum* (heksaploidna vrsta – 42 hromozoma) (Slika 1) u narodu poznata još i kao hlebna pšenica i *Triticum durum* (tetraploidna vrsta – 28 hromozoma) poznata još i kao tvrda ili „durum pšenica“ koja se često koristi za izradu testenina (Bennici, 1986).

Prva kultivacija pšenice dogodila se pre oko 10000 godina, kao deo „neolitske revolucije“, kada je zabeležen prelazak sa lova i sakupljanja hrane na ustaljenu poljoprivredu. Ovi najraniji kultivisani oblici bile su diploidne i tetraploidne vrste pšenica i smatra se da potiču iz Jugozapadne Azije.

Najraniji uzgajani oblici pšenice u su izabrani iz divljih populacija od strane ljudi, zbog njihovog boljeg prinosa i drugih kvalitativnih karakteristika. Pripitomljavanje je takođe povezano sa odabirom genetskih osobina koje su ih odvajale od divljih srodnika. Kroz odabir pšenice u prošlosti izdvojile su se dve bitne karakteristike. Prva je gubitak drobljenja klasova u zrelosti (važna osobina za osiguravanje širenja zrna u prirodnim populacijama, ali je štetna za prinos), što je rezultiralo smanjenjem gubitka zrna u žetvi. Druga važna osobina je promena od oblika u kojima su semene ljuske čvrsto vezane za zrno, do oblika pšenice kod kojih su zrna slobodna i lako odvojiva od ljuski (Nalam *et al.*, 2006). Poreklo pšenice dobro je poznato od četrdesetih godina prošlog veka, uglavnom kroz rad Searsa i MacFaddena na Univerzitetu Misuri, Kolumbija (SAD) od 1939. do 1980. godine. Evolucija pšenice započela je kultivacijom diploidne divlje trave, iz koje su nastali rodovi *Triticum* i *Aegilops*. Razvoj roda *Triticum* započeo je kultivacijom divljeg oblika *Triticum boeoticum* iz koje se razvila kultivisana linija *Triticum monococcum* (einkorn linija). Kultivacijom i ukrštanjem potomka *Aegilops speltoides* sa divljom formom *Triticum dicoccoides* doveo je do tetraploidne linije emer (*Triticum turgidum*) iz koje se razvio kultivisani oblik *Triticum dicoccon* (MacFadden i Sears, 1946). Uzgoj pšenice se proširio na Bliski Istok pre oko 9000 godina kada se prvi put pojavila heksaploidna hlebna pšenica (Bonjean i Angus, 2001) (Slika 1).



Slika 1. Evolucioni i genomski odnosi između hlebne pšenice i srodnih divljih trava, sa prikazom klasova i zrna (Modifikovana slika - Snape i Pánková, 2006).



Slika 2. Evolucija pšenice od praistorije do pojave hlebne pšenice (Modifikacija slika - Körber-Grohne, 1988; Sitte *et al.*, 1991; Zeller i Friebe, 1991), preuzete sa OECD, 1999 (Organisation for Economic Co-operation and Development)).

Dok se emer pšenica jasno razvijala iz pripitomljavanja prirodnih populacija, hlebna pšenica se formirala kroz selekciju i uzgoj. Nastala je ukrštanjem gajene emer pšenice sa divljom travom. Smatra se da je razvoj hlebne pšenice započeo ukrštanjem između kultivisane emer pšenice (*Triticum turgidum*) i diploidne divlje trave *Triticum tauschii* (alternativni naziv - *Aegilops tauschii*) pre približno 8.000 godina kada se formirala linija spelte (Brenchley *et al.*, 2012) (Slika 2).

Pšenica je građena od podzemnog dela koga čini korenski sistem i nadzemnog dela sačinjenog od stabla i listova.

Koren pšenice je žiličast i njegova glavna masa se nalazi u oraničnom sloju do 30 cm dubine. Manji deo korena prodire i dublje 1.5 - 2 m u zavisnosti od tipa zemljišta. Razlikuju se primarni i sekundarni koren. Primarni koren se javlja u vreme klijanja kada se razvije četiri do pet korenčića koji rastu direktno iz embriona. Razvojem primarnog korena (klicini koren), formira se primarni korenski sistem koji se može razviti do 2 m dubine i podržavati biljku dok se ne pojave sekundarni (nodijalni) korenčići. Sekundarni koren se razvija kasnije, tek posle nastanka trećeg ili četvrtog lista i na njima se razvijaju u najvećoj meri korenove dlačice. Rast i razvoj korena pšenice zavisi od količine slobodne vode u zemljištu, od temperature, nutrijenata kao i od aeracije zemljišta. Najpovoljnija temperatura za uvećanje korenove mase pšenice je oko 20 °C, dok je optimalna za rast korenova pšenice u granicama od 60 do 70% od poljskog vodenog kapaciteta (Todorović *et al.*, 2003).

Stablo pšenice je cilindrično, centralno i člankovito. Sastavljeno je iz kolenaca (nodija), izduženih članaka između njih (internodija) i listova. Na vršnom članku izbija cvast – klas. Donja internodija je kraća od susedne gornje, srednja po dužini je približno slična susednim internodijama, dok je vršna internodija znatno duža od ostalih i čini čak 30-40% dužine stabla (Kirby, 2002) (Slika 3).

Listovi pšenice su građeni iz lisnog rukavca i lisne ploče. Lisni rukavac obuhvata stabljiku i pričvršćen je za nju lisnim kolencem koje nalaže na stablovo kolence. Na lisnom rukavcu se javljaju izrasline (*ligulae* i *auriculae*) na osnovu kojih se mogu razlikovati vrste pšenica. Lisna ploča je dugačka, linearne građe, sa izraženim srednjim nervom. Broj listova na stablu odgovara broju članaka i kod pšenice su najrazvijeniji gornji i srednji listovi (Tatić i Blečić, 2002).

Cvetovi pšenice su skupljeni u cvast koja je formirana u vidu klasa (Slika 4). Od sorte pšenice zavisi i tip klasića koji može biti rastresit ili zbijen. Klas se sastoji iz vretena koje je člankovito i klasića. Klasići su smešteni na vrhu članka na kojima se nalazi po jedan klasić. Klasić se sastoji od dve pleve i nekoliko cvetova. Cvetovi su postavljeni na vrlo kratkim i tankim vretencima (Todorović *et al.*, 2003).



Slika 3. Izgled pšenice (*Triticum aestivum*). *Icones et descriptiones Graminum austriacorum*, Nikolaus Thomas Host, Schmidt A. i Ibmayr J.



Slika 4. Klas pšenice. Ogledno polje u
okolini Kraljeva.
(foto: Marković Stefan, 2018)

Zrno pšenice je ujedno i plod i može biti različitog oblika, krupnoće i boje što zavisi od vrste i sorte pšenice. Seme se sastoji iz omotača (mekinja), embriona (klica) i endosperma. Najveći deo zrna obuhvata endosperm koji je bogat skrobom i proteinima koji imaju ulogu u ishrani embriona. Na omotaču se razlikuje aleuronski sloj (metabolički aktivan sloj ćelija), omotač ploda (perikarp) i omotač zrna (perisperm) (Kirby, 2002) (Slika 5).

Embrion zauzima mali deo zrna, ali čini njegov najvažniji deo. Klica se sastoji od klicinog štitića (*scutelum*), klicine stabljike (*plumula*), klicinog listića (*coleoptila*) i klicinog korenčića (*radicula*) (Todorović *et al.*, 2003).

U zrnu pšenice embrion se nalazi u stanju mirovanja, tako da su životne funkcije svedene na minimum. Da bi otpočeo rast i razvoj pšenice, odnosno da bi seme klijalo, potrebni su odgovarajuća vlažnost, toplota i aeracija.

U svom životnom ciklusu pšenica prolazi kroz sledeće razvojne faze:

Klijanje i nicanje - pšenica može da klija na temperaturi od 10 °C ali je optimalna temperatura klijanja od 15 do 20 °C uz uslov da seme upije 45 - 50% vode od svoje težine;

Ukorenjivanje - predstavlja razvoj žila i žilica korenovog sistema. Koren pšenice u početku razvoja, raste brže od nadzemnog dela, naročito pri optimalnoj vlažnosti zemljišta;

Bokorenje - predstavlja poseban način podzemnog grananja stabla i stvaranja izdanaka;

Vlatanje - pri završetku bokorenja, članci počinju da se izdužuju, pa se stablo pojavljuje na površini zemljišta kada biljka prelazi u fazu nadzemnog razvoja i rasta stabljike;

Klasanje - faza u kojoj se uočava klas koji počinje da izlazi iz lisnog rukavca;

Cvetanje - nastupa odmah posle klasanja, a manifestuje se rasprskavanjem pojedinih prašnih kesica i oprašivanjem posle čega prašnici izlaze izvan cveta. Ovakav način cvetanja obezbeđuje samooplodnju (pšenica je samooplodna biljka);

Formiranje zrna – nastupa posle oplodnje i traje do mlečnog zrenja. Na kraju faze, zrno dostiže konačnu dužinu. Zrno je još zeleno i sadrži od 65 do 80% vode;

Nalivanje zrna počinje početkom mlečnog stanja do početka voštane zrelosti. U vreme nalivanja intenzivno se povećava težina suve materije zrna. Na kraju faze zrno dostiže svoju maksimalnu masu. Ova etapa se završava kada sadržaj vode u zrnu padne na 40%. U procesu nalivanja, zrno prolazi kroz dva stanja – mlečno i testasto stanje. U mlečnom stanju zrno postiže svoju potpunu dužinu, po boji je zeleno, konzistencija sadržaja zrna je žitko mlečna, a klica postaje primetna. U stanju testa, zrno je puno, sjajno, žućkasto a konzistencija endosperma testasta ili sirasta. Pri pritisku, sadržaj zrna izlazi iz omotača;

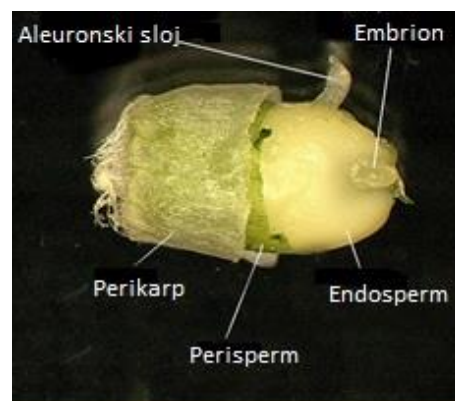
Faza voštane zrelosti - Biljke na kraju voštane zrelosti postaju žute, listovi odumiru, zrno se ne reže noktom ali ostaje trag nokta. Veličina i boja zrna su slični zrnu u punoj zrelosti. Vlažnost zrna je 21-24%.

Puna zrelost - faza nastupa pri sadržaju vode u semenu od 16-17%, koja može da se smanji i do 11% u zavisnosti od vremenskih uslova (Todorović *et al.*, 2003).

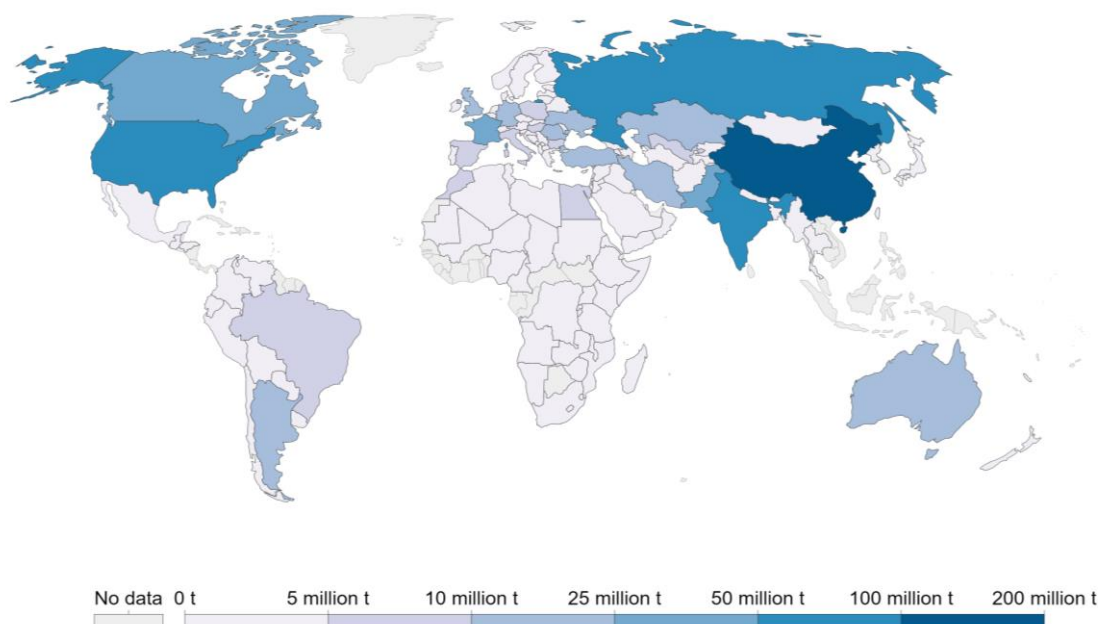
Pšenica ima veliku oblast rasprostranjenija što je čini euritropnom biljkom. Ta osobina je prisutna zahvaljujući izraženom polimorfizmu. Sorte pšenice možemo svrstati u dva osnovna tipa: ozime i jare. Iako je pšenica široko rasprostranjena, oblasti gajenja ozimih i jarih formi pšenice se ne poklapaju. Jara pšenica je malo zastupljena u umerenim klimatskim oblastima i najčešće se gaji u sredinama gde ne uspeva ozima pšenica, pri čemu može da se gaji na visinama do 1300 m. Ozima pšenica za svoj razvoj zahteva blage klimatske uslove, umerene zime i ravnomeran raspored padavina. Iz tog razloga se ozima pšenica najbolje gaji u umerenom klimatskom pojasu. Ozime sorte pšenice imaju duži vegetacioni period od jarih sorti pšenice i ostvaruju veće prinose pa je njihova proizvodnja znatno izraženija od jarih sorti pšenice. Ozima pšenica se može uzgajati do visine od 800 m. Ozime sorte pšenice se seju u jesen i bolje podnose niže temperature, za razliku od jarih sorti koje se seju u proleće (Todorović *et al.*, 2003).

Pšenica je C3 biljka i kao takva uspeva u hladnom okruženju. Pšenica je najzastupljenija u kontinentalnim klimatskim oblastima. Može klijeti na temperaturama ispod 10 °C, ali je najpovoljnija temperatura za njihovo klijanje i nicanje oko 14-20 °C. Zimske sorte pšenice zimskog tipa snažno reaguje na jarifikaciju i zahteva period hladnog vremena kako bi cvetala. U ranim fazama rasta zimske sorte pšenice su otporne na niske temperature (-20 °C), ali se otpornost na mraz postepeno gubi tokom razvoja (Acevedo *et al.*, 2002). U toku vegetacionog perioda pšenica zahteva ravnomerno raspoređene padavine, a najveći prinos i najbolji kvalitet postiže u područjima sa ukupnom količinom padavina od 650 - 750 l/m². Vegetativni period ozime sorte pšenice obuhvata od 280 do 350 dana (Hömmö i Pulli, 1993). Najveće prinose pšenica postiže na plodnim zemljištima koja su obrađena i imaju visok sadržaj organskih materija. Pšenica najuspešnije raste na černozeru i livadskoj crnici sa neutralnim do blago kiselim pH (pH = 6-7) (Todorović *et al.*, 2003).

Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija, svetska proizvodnja pšenice u toku 2019/2020 godine je iznosila 760,6 miliona tona (<http://faostat.fao.org>), čineći je jednom od najzastupljenijih poljoprivrednih kultura na svetu (Slika 6).



Slika 5. Morfologija zrna pšenice. (Modifikacija slike - <https://agronomija.rs/2014/pšenica/>)



Slika 6. Svetska proizvodnja pšenice u toku 2019. godine, izmereno u tonama. (Modifikovana slika - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020))

Hlebna pšenica je u poljoprivrednoj proizvodnji zastupljena sa oko 95%, dok je većina preostalih 5% durum pšenica. U nekim regionima (uključujući Španiju, Tursku, Balkan i Indijski potkontinent) još uvek se uzgajaju male količine ostalih vrsta pšenice (*T. dicocum*, *T. monococum*, *T. spelta*) (Shewry, 2009). Ono što hlebnu pšenicu izdvaja u velikoj meri je dovoljna genetska raznolikost koja omogućava razvoj preko 25000 sorti koje su prilagođene širokom spektru klimatskih sredina (Feldman *et al.*, 1995). Pod uslovom da je na raspolaganju dovoljno vode i mineralnih hranljivih sastojaka i osigurana efikasna kontrola štetočina i patogena, prinosi hlebne pšenice mogu biti oko 10 t/ha, što je iznad proseka u poređenju sa drugim usevima. Hlebna pšenica se može efikasno skladištiti u dugom vremenskom periodu pre konzumacije, pod uslovom da je sadržaj vode ispod približno 15% suve mase i da se kontroliše uticaj štetočina (Shewry, 2009). U zrnu pšenice, voda se nalazi u granicama od 10 do 14%. Sadržaj lipida u zrnu može biti oko 1.5 do 2%. Ugljeni hidrati su zastupljeni sa oko 64-69% i skrob je njihov glavni sastojak. Od ugljenih hidrata zastupljena je u većoj meri maltoza sa oko 10% od ukupnog udela ugljenih hidrata i celuloza koja se nalazi u omotaču ploda i zrna sa udelom od 2-3% (Delcour *et al.*, 2012; Todorović *et al.*, 2003). U zrnu pšenice sadržaj proteina se kreće između 13% i 15%. Od proteina su najznačajniji glijadini i glutenini koji u brašnu dovode do slepljivanja testa, što predstavlja bitnu karakteristiku za pekarsku industriju (Delcour *et al.*, 2012; Živančev *et al.*, 2013). Mineralne materije se nalaze najčešće u količini od 1.7 do 2.0%, a zastupljene su uglavnom u omotaču zrna. Od mineralnih materija su najzastupljeniji fosfor (50%), kalijum (20-30%), kalcijum, magnezijum, silicijum i gvožđe (Todorović *et al.*, 2003). U pšeničnom zrnu se nalaze i antioksidansi poput tokoferola, β -karotena, zeaksantina i luteina (Abdel-Aal *et al.*, 2007).

Pored značaja zrna pšenice, u određenim fazama razvoja zelena biljka pšenice može takođe biti značajna za ljude. Biljka pšenice sadrži visoku koncentraciju minerala, hlorofila, aminokiselina, vitamina i antioksidativnih enzima (Thammana *et al.*, 2016). Istraživanjima je prikazan pozitivni uticaj zelenog soka pšenice ekstrahovanog iz mladih biljaka (Singha *et al.*, 2004; Dey *et al.*, 2006). Zeleni sok pšenice može biti značajan izvor aktivnih supstanci poput aminokiselina, minerala, vitamina, enzima i bioflavonoida poput kvercetina, luteolina i apigenina (Singh *et al.*, 2012). Rezultati brojnih studija pokazuju da zeleni sok pšenice može predstavljati značajnu pomoć u borbi protiv hroničnih oboljenja poput kancera (Dey *et al.*, 2006), hroničnog pankreatitisa (Sharma *et al.*, 2017) i ulceroznog kolitisa (Ben-Arye *et al.*, 2002). Zeleni sok pšenice može predstavljati i dobar izvor antioksidanasa (Kulkarni *et al.*, 2006).

1.1.2. Ovas

Ovas je vrsta trave koja se uzgaja širom sveta i ima veliki privredni značaj zbog zrna koje se koristi u ishrani ljudi, a u današnje vreme u većoj meri za ishranu životinja u čijoj se ishrani pored zrna koristi često i cela stabljika. Ovas pripada redu Poales, porodici Poaceae, rodu *Avena*. Rodu *Avena* pripada veći broj jednogodišnjih i višegodišnjih vrsta.

Jednogodišnje vrste se gaje najčešće za proizvodnju zrna, dok se višegodišnje vrste *Avena elatior* (francuski ljulj) i *Avena fluvescens* (žuti ovsik) gaje kao livadske trave (Todorović *et al.*, 2003).

Jednogodišnje vrste ovasa obuhvataju 16 vrsta, koje možemo svrstati u dve podgrupe: *Denticulatae* i *Aristulatae*.

Denticulatae su jake biljke i imaju zadebljala stabla. Iz ove grupe, vrste imaju 42 hromozoma. *Denticulatae* imaju spoljne plevice koje se završavaju sa dva zupca.

Aristulatae su biljke sa tankim stabljikama. Oblici ovasa iz ove podgrupe koji se uzgajaju imaju 14 hromozoma (*Avena strigosa*), dok divlji oblici imaju 28 hromozoma (*Avena barbata*, *Avena vaviloviana* i *Avena hirtula*). *Aristulatae* imaju spoljne plevice koje završavaju sa dve tanke izrasline (Todorović *et al.*, 2003).

U današnje vreme, gajene vrste ovasa pripadaju u najvećoj meri vrstama *Avena sativa* (Slika 7) i *Avena byzantina*. *Avena sativa* zauzima 90% svih gajenih površina u svetu, dok je *Avena byzantina* rasprostranjena na oko 10% površina.



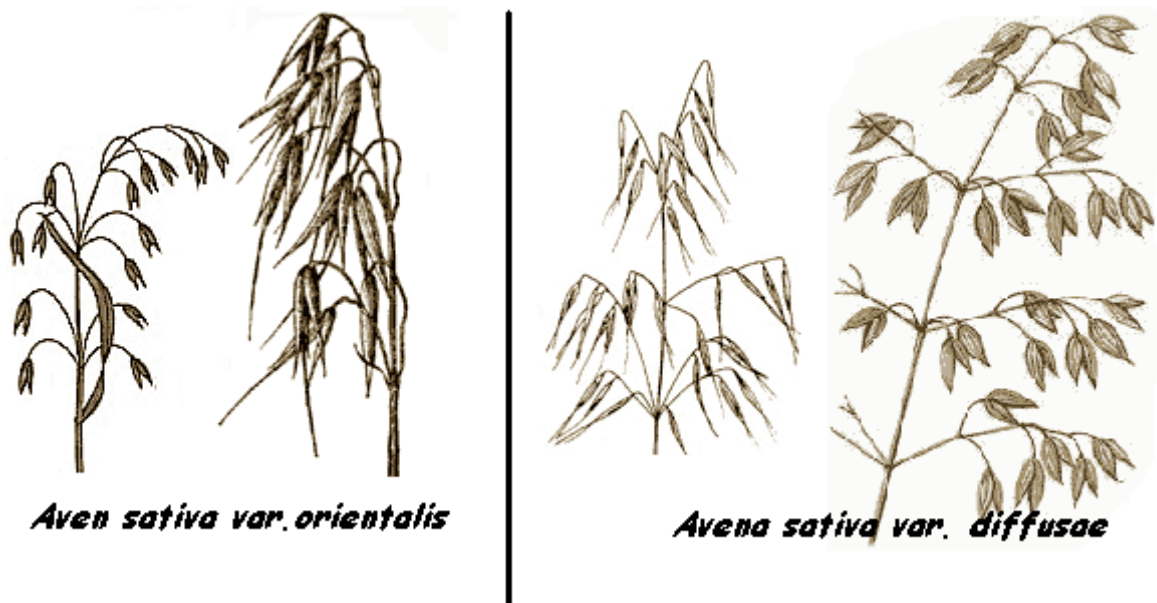
Slika 7. *Avena sativa*, sorta Jadar.
(foto: Marković Stefan, 2018)

Avena sativa L. se prema obliku metlice deli na tri grupe (Slika 8):

Avena sativa var. *diffusae* imaju plevičasta zrna i rastresite metlice. Bočne grančice u metlici su duže i izbijaju u svim pravcima, a metlica može biti zbijena, poluzbijena, razgranata, rastresita i rastresito povijena.

Avena sativa var. *orientalis* ima plavičasto zrno i zbijenu metlicu s kratkim bočnim grančicama koje izbijaju samo s jedne strane metlice.

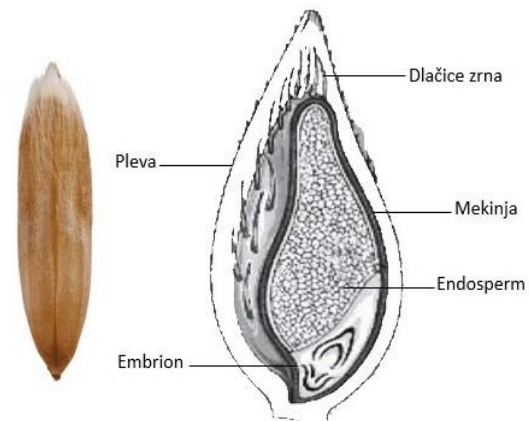
Avena sativa var. *nudae* je golozrni ovas, kod kojeg pri vršidbi zrna ispadaju iz plevica (Todorović *et al.*, 2003).



Slika 8. Izgled metlice ovsa kod različitih oblika *Avena sativa*
(Modifikovana slika - Todorović *et al.*, 2003).

Gajeni heksaploidni ovas (*Avena sativa* L. i *Avena byzantina* C. Koch) klasifikuje se kao sekundarna kultura, tj. izvedena iz primarnih kultivisanih trava korišćenih u praistoriji na prostoru Jugozapadne Azije. Pretpostavlja se da je najstariji detektovani heksaploidni ovas *Avena sterilis* L., rodonačelnik svih ostalih kultivisanih i divljih heksaploidnih vrsta ovsa. Smatra se da su se od *Avena sterilis* formirala dva puta pripitomljavanja: jedan u pravcu formiranja u *Avena sativa*, a jedan u pravcu formiranja *Avena byzantina* (Zhou *et al.*, 1999).

Ovas pripada grupi strnih žita, ali se od njih morfološki razlikuje prvenstveno po građi cvasti, kod koga je cvast formirana u vidu metlice. Ovas se razlikuje i po ligulama, aurikulama i po boji klijanca. Na lisnom rukavcu ovasa ligule su dobro razvijene i na ivicama su nazubljene. Bitna razlika ovasa od ostalih strnih žita je što nema aurikule. Boja klijanca ovasa može biti svetlozelena ili zelena. U klasićima se kod *Avena sativa* var. *diffusae* i *Avena sativa* var. *orientalis* nalazi od 2 do 4 cveta, dok se kod *Avena sativa* var. *nudae* nalazi od 5 do 7 cvetova. Prvi donji cvetovi klasića daju najkrupniji plod, drugi cvet daje sitniji, a treći ukoliko ga ima, daje najsitniji. Pleve su kod ovasa kožaste, bezbojne i široke s mnogim uzdužnim nervima. Zrno ima brazdicu i pokriveno je dlačicama (Todorović *et al.*, 2003) (Slika 9).

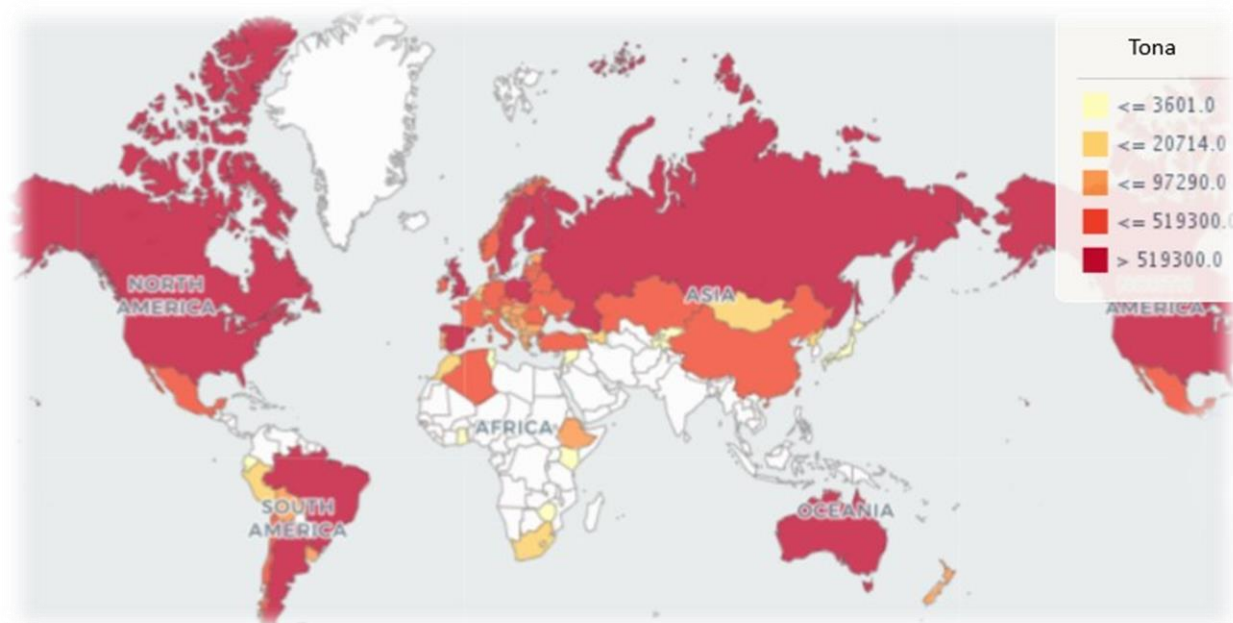


Slika 9. Izgled zrna ovasa
(Modifikacija slike - Butt *et al.*, 2008)

Ovas može dobro da podnosi niske temperature, pa čak i u mlečnoj zrelosti podnosi mrazeve i do $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ova karakteristika ovasa, omogućuje njegovo gajenje i u visoko-planinskim predelima. Ovas je međutim osetljiv na visoke temperature i zato se u današnje vreme najčešće uzgaja u regionima sa umerenom klimom (Todorović *et al.*, 2003).

Ovas je pretežno jari usev i ima malo ozimih formi. Dužina vegetacionog perioda jarog ovasa je oko 70 do 120 dana, dok je kod ozimog oblika dužina vegetacionog perioda veća i traje oko 270 dana. Biološki optimalna temperatura za klijanje ovasa je oko $6\text{ do }12\text{ }^{\circ}\text{C}$, za nicanje i razvoj vegetativnih organa je oko $12\text{ do }16\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok je optimalna temperatura za formiranje generativnih organa, cvetanje, plodonošenje i sazrevanje od $16\text{ do }22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovas je u odnosu na ostala strna žita osetljiviji prema nedostatku vode, a naročito u periodu od vlatanja do razvoja metlice. Prednost ovasa u odnosu na ostala strna žita je što može da se uzgaja i na zemljištima lošijeg kvaliteta (Todorović *et al.*, 2003).

Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija, svetska proizvodnja ovasa u toku 2019. godine je iznosila 23,1 miliona tona (<http://faostat.fao.org>), pri čemu se u svetu izdvaja kao najveći proizvođač Rusija sa proizvedenih 4,4 miliona tona. Među vodećim proizvođačima ovasa je Kanada sa proizvodnjom ovasa od 4,2 miliona tona, a zatim slede Finska i Poljska sa proizvedenih 1,2 miliona tona, Australija sa 1,1 i Velika Britanija sa proizvedenih 1 milion tona ovasa. U Srbiji je u toku 2019. godine proizvedeno oko 56242 tone ovasa (Slika 10).



Slika 10. Svetska proizvodnja ovsa u svetu u toku 2019. godine, izmereno u tonama. (Modifikovana slika - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020))

Ovas (*Avena sativa*) se izdvaja u odnosu na ostale žitarice zbog multifunkcionalne primene i nutritivnog profila. Skorašnjim istraživanjima hrane i ishrane je otkriven značaj njegovih različitih komponenata (Butt *et al.*, 2008). Ovas je bogat izvor proteina, minerala, lipida, β -glukana i flavonoida. Ekstrakti ovsa mogu imati mnoge pozitivne efekte, uključujući antioksidativne, antiinflamatorne, dermatološke, imunomodulatorne, antidijabetičke, gastrointestinalne, hipolipidemijske, neurološke i kardiovaskularne (Al-Snafi, 2015; Singh *et al.*, 2013). Ovas nije pogodan za pravljenje hleba zbog nedostatka glutena pa se iz tog razloga češće koristi kao kaša, ovsene pahuljice ili kao doručak od zdrobljenog ili valjanog ovsa. Kao ovsena kaša, koristi se u raznim pecivima poput kompozitnog hleba napravljenog od mešavine ovsene kaše i pšeničnog brašna (Small, 1999). Ovas je pre svega dobar izvor dijetalnih vlakana, a posebno β -glukana, minerala i drugih hranljivih materija (Marković *et al.*, 2017). Ovsene mekinje su jako važan deo zrna ovsa i sadrže 17,1% proteina, 67,9% ugljenih hidrata, 8,6% masti, 15–22% dijetalnih vlakana, 10,4% β -glukana, 1,3 mg niacina, 171 mg magnezijuma, 6,4 mg gvožđa, 0,17 mg bakra, 441 mg kalijuma i α -tokoferola manje od 0,5 mg (Pinto *et al.*, 2021; Marlett, 1993). Istraživanjima je utvrđeno da viskozna frakcija β -glukana ovsa može dovesti do smanjenja holesterola u krvi kao i do crevne apsorpcije glukoze (Andrade *et al.*, 2015; Othman *et al.*, 2011; Wolever *et al.*, 2010). Smatra se da uključivanje ovsa u svakodnevnu ishranu nije samo važno sa stanovišta ishrane, već i zbog potencijalnih korisnih zdravstvenih efekata (Butt *et al.*, 2008).

1.1.3. Triticale

Triticale kao i druge vrste strnih žita pripada redu Poales i porodici *Poaceae*, a svrstava se u rod *Triticosecale*. Jedna od specifičnosti ove vrste u odnosu na ostala strna žita je njen nastanak, koji se odvio putem hibridizacije između pšenice i raži. Triticale je razvijen da kombinuje povoljne osobine oba roditelja kao što su: snaga rasta, tolerancija na hladnoću i visoka koncentracija proteina od raži i dobre karakteristike pečenja pšeničnog glutena. Triticale generalno dobro podnosi uslove abiotičkog stresa u poređenju sa pšenicom, mada može biti podložan gljivičnim bolestima. Svetska proizvodnja tritikalea je u prethodnim godinama porasla na preko 20 miliona tona godišnje. Uprkos velikim tehnološkim naporima, brašno tritikalea se ne koristi široko u preradi hrane, a većina tritikalea se koristi u ishrani životinja (Furman, 2016).

Vilson A.S. u Škotskoj je 1875. godine prijavio prve hibride pšenice i raži, koristeći pšenicu kao ženskog roditelja. Roditelji su bili heksaploidna pšenica i diploidna raž. Ovi prvi hibridi su bili sterilni. Prvi plodni tritikale dobio je Rimpau V. u Nemačkoj 1888. godine, kao rezultat spontanog udvostručavanja broja hromozoma hibridne biljke slično onom koji je proizveo Vilson. Radom Meistera i saradnika u Rusiji u periodu 1918-1934, su nastavljena istraživanja i usavršavanja tritikalea. Većina modernih sorti tritikalea su heksaploidi. Prvi heksaploidi (AABBRR) su proizvedeni 1938. godine od strane Derzhavin A. ukrštanjem tetraploidne pšenice (AABB) i diploidne raži (RR). Od 1930-ih pa nadalje detaljnim naučnim proučavanjem tritikalea pristupilo je nekoliko grupa naučnika u različitim zemljama, čime su dobijene sorte karakterisane visokom produktivnošću (Stace, 1987). Razvoj tritikalea se nastavio kroz različite programe oplemenjivanja, tako da su dobijene sorte sa sve boljim prinosom koji u optimalnim uslovima uzgoja može biti veći i od 10 t/ha (Hede, 2001) (Slika 11).



Slika 11. Izgled sorte tritikalea uzgajane na oglednom polju u okolini Kraljeva.
(foto: Marković Stefan, 2018)

Tritikale je prvenstveno razvijan kao kultura koja bi obezbedila kvalitet i prinos kao pšenica, a otpornost na bolesti i toleranciju na vremenske uslove kao raž (Stace, 1987). Današnje sorte tritikalea su pogodne za proizvodnju u onim regionima koji nisu optimalni za razvoj pšenice.

Tritikale je značajan kao alternativa pšenici i zato što ima brži početni rast i kraći vegetacioni period. Pogotovo u planinskim područjima, tritikale može predstavljati značajan usev, u situacijama kada je proizvodnja ječma i pšenice nesigurna. Tritikale u poređenju sa ostalim strnim žitima ima često bolju sposobnost uspevanja na zemljištima lošijeg kvaliteta, otpornost na niske temperature i visok potencijal proizvodnje zrna i zelene mase dobrog kvaliteta (Todorović *et al.*, 2003). Tritikale može da sadrži kombinovane hlebne osobine pšenice sa velikim delom prilagodljivih svojstava raži, kao što su otpornost na bolesti, tolerancija na sušu i prilagodljivost surovim uslovima tla. Kao rezultat ukrštanja pšenice i raži, proizvedene sorte se odlikuju širokim adaptivnim opsegom, kao i prilagođavanjem specifičnim za lokaciju. Tritikale se dobro prilagođava u regionima u kojima pšenica ima loše rezultate, kao što su hladna i neplodna tla, izuzetno peskovita zemljišta, tla sa visokim nivoom bora, slana tla, kisela zemljišta, zemljišta sa manjkom mangana i suva tla (Furman, 2004). Sorte tritikalea su mogu dati u proseku prinos oko 6 t/ha i uslovima sredine koji nisu optimalni za uzgoj (Finch *et al.*, 2002). Obzirom da su sorte tritikalea dobro adaptirane na sušu, mogu biti pogodne za predele koji se odlikuju smanjenim vodnim kapacitetom (Havilah, 2002).

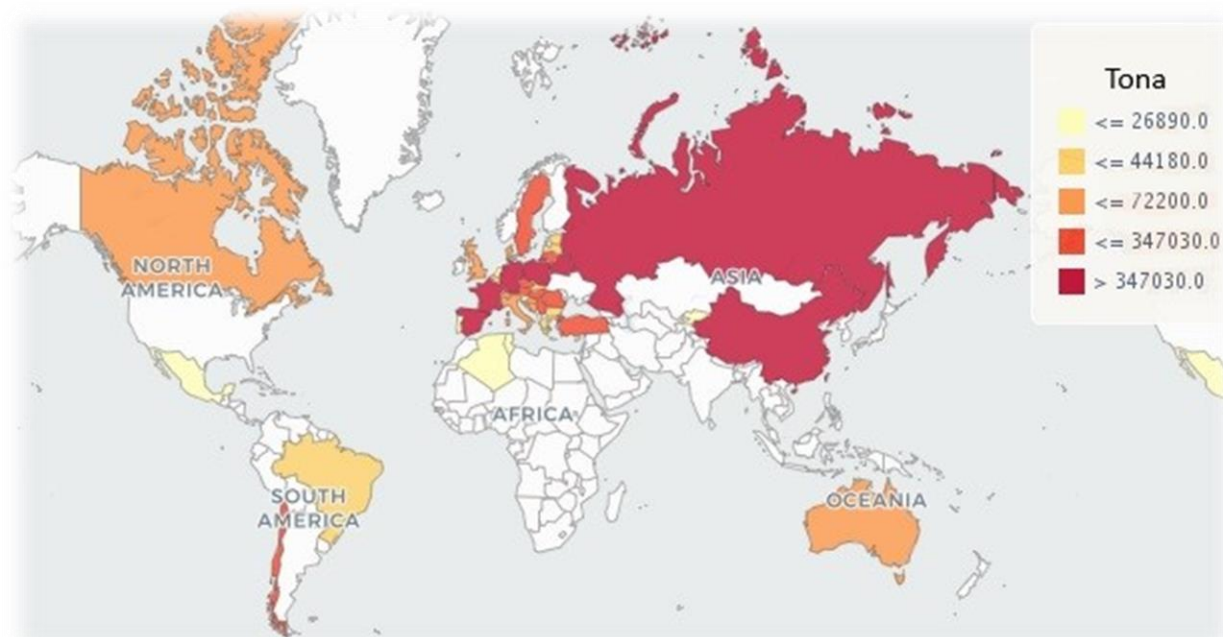
Najčešće korišćene vrste tritikalea su *Triticosecale semisecale* (Mackey) K. Hammer & Filat. – tetraploidni tritikale; *Triticosecale neoblaringhemii* A. Camus – heksaploidni tritikale; *Triticosecale rimpaii* Wittm. – oktaploidni tritikale (Hammer *et al.*, 2011).

Morfologija tritikalea se odlikuje mešavinom karakteristika pšenice i raži od kojih potiče. Cvast tritikalea je formirana sa mnogocvetnim klasićima, koji mogu biti sa dlačicama ili bez njih, crvene ili bele boje. Zrno tritikalea može biti crvene ili bele boje. Tritikale se odlikuje prisustvom ljubičastih koleoptila, ima stablo sa dlačicama ispod klasa, ima izdužene pleve i plevice. Tritikale ima povećan broj klasića u klasu i vrlo često se odlikuje visokim stablom (Todorović *et al.*, 2003) (Slika 12).



Slika 12. Izgled klasa tritikalea. Sorta Odisej. Ogledno polje u okolini Kraljeva. (foto: Stefan Marković, 2018)

Današnje sorte tritikalea se pretežno upotrebljavaju za ishranu životinja, ali se sve više koriste i u proizvodnji brašna za pekarske proizvode kao dodaci pšeničnom brašnu, pa se takvi proizvodi mogu naći često i u prodavnicama zdrave hrane. Sadržaj glutena u brašnu tritikalea je u većini sorti najmanje 20% do 30% manji od sadržaja glutena u pšenici. Temperatura želatinizacije skroba tritikalea slična je temperaturi želatinizacije skroba pšenice. Sorte tritikalea koje se odlikuju mekom teksturu zrna u principu su pogodne za proizvodnju napolitanki ili vafla, ali ne i u komercijalne svrhe (Tiefenbacher, 2017). Belo brašno tritikalea iako u određenim slučajevima može imati više glutena od pšeničnog, odlikuje se slabijom elastičnošću i rastegljivošću pa se iz tog razloga ne koristi samostalno za pripremu peciva, već se češće koristi kao dodatak pšeničnom brašnu (Dubat, 2013). Prilikom vrenja testa brašna dobijenog sa dodatkom tritikalea, aktivnošću enzima α -amilaze, skrob se vrlo brzo pretvara u šećer, zbog čega se dobija hleb slatkog ukusa. Osim upotrebe zrna tritikalea za ishranu životinja i za ishranu ljudi, tritikale se koristi i za proizvodnju skroba, alkohola i pivskog slada. Zelena masa krmnih sorti tritikalea je nežna i sladunjava, zbog čega je jako dobra za ishranu životinja (Todorović *et al.*, 2003). Tritikale je vrsta koja se može koristiti u različite svrhe, a pored ostalih, može se koristiti i za ispašu, za seno i za silažu. Pod odgovarajućim uslovima gajenja, tritikale se može koristiti u ove svrhe i više puta u toku godine (Beck *et al.*, 2020). Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija, svetska proizvodnja tritikalea u toku 2019. godine je iznosila 14,1 miliona tona (<http://faostat.fao.org>), pri čemu se u svetu izdvaja kao najveći proizvođač izdvaja Poljska sa proizvedenih 4,5 miliona tona. Među vodećim proizvođačima tritikalea je Nemačka sa proizvodnjom tritikalea od 2,2 miliona tona, a zatim slede Francuska sa proizvedenih 1,6 miliona tona i Belorusija sa proizvedenih 1,3 milion tona tritikalea. U Srbiji je u toku 2019. godine proizvedeno oko 102231 tona tritikalea (Slika 13).

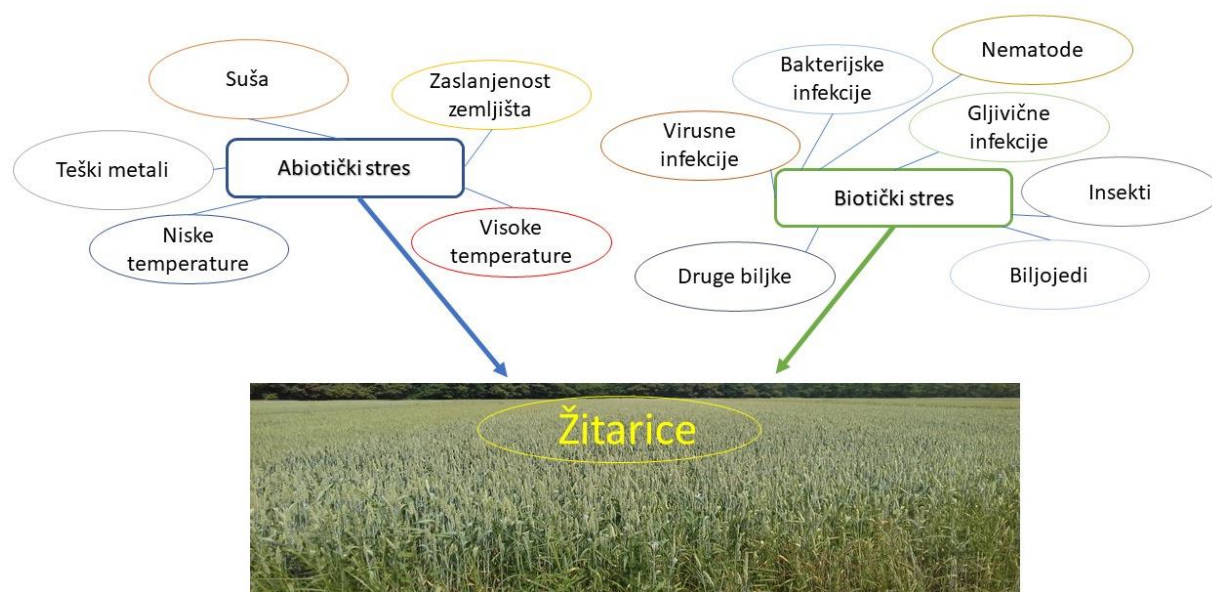


Slika 13. Količina proizvodnje tritikalea po zemljama u svetu u toku 2019. godine izražena u tonama.

(Modifikovana slika - Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020))

1.2. Uticaj stresa na biljke

Kod biljnih organizama, stres izazivaju uglavnom spoljašnji uslovi sredine koji mogu negativno uticati na rast, razvoj ili produktivnost biljaka. Stres kod biljaka obično izazivaju nagle promene u spoljašnjoj sredini, koje dovode najčešće do brojnih metaboličkih disfunkcija. Biljke se mogu oporaviti od nanete štete ako je stres blag ili kratkotrajan, jer je efekat privremen, dok jaki stres sprečava cvetanje, stvaranje zrna, izaziva starenje i dovodi do odumiranja biljaka (Verma *et al.*, 2013). Stres se kod biljaka može klasifikovati u nekoliko vrsta u zavisnosti od brojnih faktora. Prema efektu stresa, stres se kod biljaka može klasifikovati u stres sa pozitivnim efektima ili „Eustres“, i stres sa negativnim efektima ili „Distres“. Ravnoteža između tolerancije i osetljivosti određuje efekat stresa (Kranner *et al.*, 2010). Prema dužini trajanja stresa kod biljaka se stres može klasifikovati u „kratkoročni stres“, gde se biljka može prilagoditi na stres pomoću mehanizama prilagođavanja i popravljanja, i trajni „dugoročni stres“ koji rezultira najčešće značajnom i nepovratnom štetom (Lichtenthaler, 1996). Biljni stres se takođe može klasifikovati u „unutrašnji stres“ koji nastaje u biljnom organizmu i „spoljni stres“ koji nastaje van biljnog organizma. Spoljni i unutrašnji stres se obično nazivaju faktorima stresa (Kranner *et al.*, 2010). Međutim, biljni stres se najčešće deli u dve primarne kategorije i to na abiotički i biotički stres i to prema vrsti faktora koji uzrokuju stres kod biljaka (Slika 14).



Slika 14. Različiti tipovi abiotičkog i biotičkog stresa
(foto: Stefan Marković, 2021)

Biotički stres je spoljni biološki stres koji utiče na biljku. Biotički stres je rezultat interakcije između biljke i drugog živog organizma koji rezultira ili delimičnom štetom koju biljka može da savlada ili značajnom štetom koje biljka ne može preživeti. Gotovo sve vrste živih organizama mogu izazvati biotički stres, uključujući patogene bakterije, gljivice ili viruse, kao i nematode, insekti životinje i druge biljke koji dovode do različitih bolesti i drugih negativnih efekata (Kranner *et al.*, 2010; Verma *et al.*, 2013; Mosa *et al.*, 2017). Uticaj biotičkog stresa može biti usmeren na sve organizacione nivoe biljnog organizma, uključujući molekule, organele, ćelije, tkiva, organe, cele biljke ili čak cele biljne populacije. Biotički stres može uticati na pojedinačne ili na sve navedene nivoe i odgovori na stres se mogu razlikovati

od jednog nivoa do drugog. Iz tog razloga, razumevanje efekata i mehanizama reagovanja na stres zahteva fiziološke, ćelijske i molekularne analize na svim nivoima organizacije biljnog organizma (Peterson *et al.*, 2001).

Svaki biljni organizam ima optimalne uslove rasta koji mu pomažu da se razvija i da upotpuni svoj životni ciklus reprodukcijom. Abiotički stres je rezultat promena u nebiološkim faktorima, uglavnom ekološkim ili nutritivnim, koji utiču na rast, reprodukciju ili život biljke. Kako bi se zaštitila od abiotičkog stresa, biljka mora da aktivira mehanizme zaštite koje pomažu u obnavljanju normalnih životnih uslova ili omogućavaju biljci da umanju štetne posledice promena uzrokovanih abiotičkim stresom (Shao *et al.*, 2009). Abiotički stres izazivaju faktori poput ekstremne temperature, zaslanjenost zemljišta, suša, poplave, prisustvo teških metala, zračenje (Kranner *et al.*, 2010). Abiotički stres kao što su suša, ekstremne temperature, slanost i toksičnost minerala negativno utiču na rast, razvoj, prinos i kvalitet zrna useva i drugih biljaka. Abiotički stres je primarna pretnja da se u narednim decenijama ispuni potrebna poljoprivredna proizvodnja. Biljke smanjuju proces rasta i razvoja tokom stresnih uslova, što na kraju utiče na ukupni prinos. Nepovoljni vremenski uslovi mogu prouzrokovati velike oscilacije u prinosu zrna i značajne gubitke prinosa kod žitarica. Žitarice su izuzetno osetljive na abiotički stres u periodu tokom ranog reproduktivnog razvoja (Sah *et al.*, 2016; Dolferus *et al.*, 2011). Abiotički stres može da inhibira fotosintezu, indukuje promene u sadržaju i sastavu hlorofila i dovede do oštećenja fotosintetičkog aparata (Nayyar i Gupta 2006). Suša dovodi do porasta akumulacije vodonik peroksida kao i do lipidne peroksidacije, smanjenja nivoa askorbata u korenju i listovima u različitim fazama razvoja biljaka (Singh *et al.*, 2011).

Temperatura može biti jedan od najznačajnijih izvora stresa, pri čemu nagle promene temperature mogu rezultirati trajnim oštećenjima kod biljaka (Sazzad, 2007). Temperatura može dovesti do stresa kod biljnih organizama na dva različita načina: stres izazvan niskim i stres izazvan visokim temperaturama (toplotni stres). Ekstremni padovi temperature ispod optimalnog stepena rasta uzrokuju ozbiljne fiziološka i fizička oštećenja na biljkama. Kada temperatura padne ispod nule, stvaranje leda započinje u međućelijskim prostorima. Zbog toga se povećava pritisak na ćelijske zidove i membrane rezultirajući poremećajem ćelija (Olien i Smith, 1977). Druga posledica smrzavanja usled niskih temperatura su povrede nastale smrzavanjem. Promrzline nastaju usled isušivanja ćelija koje se dešava zbog izlaska tečnosti iz ćelija u međućelijski prostor. To se dešava zbog povećanja vodnog potencijala izvan ćelije izazvan stvaranjem leda (Thomashow, 1999). Na molekularnom nivou, hladnoća izaziva oštećenje membrane, lizu ćelija, i produkciju reaktivnih vrsta kiseonika (ROS) (Thomashov 1998; Pearce, 1999).

1.2.1. Toplotni stres

Porast temperature postaje veliki problem koji utiče na rast biljaka i na njihovu produktivnost, posebno kod poljoprivrednih kultura. Visoke temperature se javljaju na globalnom nivou usled klimatskih promena i predstavljaju ozbiljnu pretnju za prinose useva širom sveta (Wang *et al.*, 2018; Mahla *et al.*, 2012). Temperatura je jedan od glavnih izvora stresa kod biljaka i utiče na biljke od klijanja zrna do pune biljne zrelosti (Kranner *et al.*, 2010). Izloženost biljaka visokim temperaturama usporava rast i smanjuje stopu unosa hranljivih sastojaka, dok izlaganje izuzetno visokim temperaturama može rezultirati toplotnim stresom. U zavisnosti od biljne vrste, rast temperature od 10-15 °C iznad tipične temperature za određeno stanište može dovesti do toplotnog stresa (Lipiec *et al.*, 2013). Poremećaji izazvani visokom temperaturom kod žitarica se javljaju na temperaturama iznad 26 °C (Stone i Nicolas, 1994), dok toplotni stres u zavisnosti od vrste nastupa najčešće na temperaturama iznad 30 °C (Djukić *et al.*, 2019). Toplotni stres se često definiše kao porast temperature iznad praga koji biljka može da izdrži u vremenskom periodu koji je dovoljan da nanese nepovratnu štetu rastu i razvoju biljaka (Wahid *et al.*, 2007; Hall, 2001). Štetni efekti toplotnog stresa utiču na ćelijske komponente i metabolizam biljaka. Toplotni stres takođe indukuje morfološke, anatomske, fiziološke i biohemijske promene u biljkama (Zhang *et al.*, 2005, Giaveno i Ferrero, 2003). Kada su biljke izložene toplotnom stresu, procenat klijavosti zrna, fotosintetička efikasnost i prinos opadaju (Gull *et al.*, 2019). Visoke temperature povećavaju brzinu isparavanja vode koje uzrokuje uvenuće i ukoliko je izlaganje visokim temperaturama produženo, dovodi do značajnih oštećenja biljaka ili do biljne smrti. Visoke temperature utiču na vitalnost različitih organa, posebno onih koji su uključeni u reprodukciju i oprašivanje. Utvrđeno je da ekstremne temperature imaju negativan uticaj na oprašivanje kao i na smanjenje održivosti polena, što ograničava oplodnju (Fábián *et al.*, 2019). Za biljke koje se nalaze pod uticajem toplotnog stresa karakteristična je smanjena stopa rasta, koja je praćena smanjenom stopom fotosinteze. Fotosintetička aktivnost je smanjena jer se u uslovima toplotnog stresa javljaju promene primarno na lišću i dolazi do smanjenja fotosintetički aktivne površine. Toplotni stres značajno utiče na ćelijsku deobu kao i na stopu elongacije ćelija koje utiču na veličinu i težinu lista. Toplotni stres utiče i na rast stabljike i dovodi do smanjenja visine biljaka. Paralelno sa rastom korena, toplotni stres može uticati i na smanjenje izdanaka (Prasad i Staggenborg, 2008). Toplotni stres može prouzrokovati vidljiva oštećenja na listovima i grančicama, mogu se javiti opekotine na lišću, granama i stabljikama, a mogu se javiti i promene boje na plodovima (Vollenweider i Gunthardt-Goerg, 2005). Toplotni stres je često povezan sa sušom i manjkom vode u biljkama, što kod biljaka dovodi do pada turgorovog pritiska i smanjene stope biljnog rasta. Kombinacija suše i toplotnog stresa izaziva štetniji uticaj na rast i produktivnost useva nego u slučaju delovanja ovih stresnih faktora pojedinačno (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). Istraživanja sve više pokazuju da čak i kratki periodi izlaganja visokoj temperaturi mogu imati velike negativne uticaje na prinos žitarica (Rezaei *et al.*, 2015). Na molekularnom nivou, toplotni stres dovodi do ekspresije određenih proteina koji se inače ne aktiviraju, modifikuje učestalost transpozicije DNK i uzrokuje denaturaciju proteina (Peterson i Higley, 2000). Visoke temperature dovode do poremećaja proteinske aktivnosti i lipidnih membrana i utiču na aktivnost enzima. Toplotni stres i dugotrajno izlaganje umereno visokim temperaturama mogu rezultirati trajnim oštećenjem ćelija i ćelijskom smrću (Hu *et al.*, 2020). Toplotni stres može uticati na sintezu skroba i saharoze, tako što smanjuje aktivnost saharozne sintetaze, ADP-glukozne pirofosforilaze i invertaze (Rodríguez *et al.*, 2005). Sintaza skroba je veoma osetljiva na toplotni stres usled osetljivosti skrobne sintetaze u razvojnoj fazi zrna pšenice (Viswanathan i Khanna-Chopra R., 2001). U uslovima toplotnog stresa dolazi do smanjenja rezervi ugljenih hidrata što uzrokuje gladovanje biljaka (Djanaguiraman *et al.*, 2009) (Slika 15).



Slika 15. Uticaj visoke temperature na biljne organizme (foto – Stefan Marković, 2021)

Jedna od glavnih posledica delovanja toplotnog stresa je uvećana produkcija reaktivnih vrsta kiseonika (Fábián *et al.*, 2019; Suzuki i Mittler, 2006). ROS, kao što su superoksid, vodonik-peroksid, hidroksilni radikal, peroksilni-radikal, perhidroksil-radikal, aloksilni-radikal, hipohloritna kiselina, ozon i singlentni kiseonik su toksični molekuli sposobni da izazovu oksidativno oštećenje proteina, DNK, lipida i drugih važnih biomolekula (Suzuki i Mittler, 2006; Apel i Hirt, 2004). Formiranje ROS zavisi od intenziteta stresa kao i od fizičko-hemijskih uslova u ćeliji (Blokhina, 2000). Reaktivne vrste kiseonika su atomi, molekuli ili joni koji sadrže jedan ili više nesparenih elektrona što ih čini veoma reaktivnim što im omogućava da reaguju sa drugim biomolekulima čime mogu da dovedu do njihove destabilizacije (Turrens, 2003). U optimalnim uslovima rasta, ROS se uglavnom stvaraju u organelama kao što su hloroplasti, mitohondrije i peroksizomi u količinama koje organizam može lako neutralisati. Međutim, tokom stresa stopa stvaranja ROS je dramatično povišena. U hloroplastima je ograničenje fiksacije ugljen dioksida zajedno sa prekomernim smanjenjem aktivnosti elektron transportnog lanca glavni uzrok proizvodnje ROS. Prekomerno smanjenje aktivnosti elektron transportnog lanca u mitohondrijama takođe je jedan od mehanizama proizvodnje ROS-a tokom stresa (Davidson i Schiestl, 2001). Kada su prisutne veće količine reaktivnih vrsta kiseonika mogu negativno uticati na važne klase bioloških molekula kao što su proteini, nukleinske kiseline i lipidi, čime se menja normalni redoks status i prevazilazi se ukupni ćelijski antioksidativni potencijal čime se javlja povećani oksidativni stres (Sharma *et al.*, 2018; Apel i Hirt, 2004; Phaniendra *et al.*, 2015). Savicka i Škute (2010) su pokazali da dugotrajni stres izazvan visokom temperaturom utiče na prevremenu degradaciju tkiva žitarica promenjenim intenzitetom oksidativnih procesa (povećan nivo ROS i akumulacija proizvoda lipidne peroksidacije). Ukoliko biljni organizam ne dovede do neutralizacije ROS, oni se mogu konvertovati u visoko toksični hidroksilni radikal koji izaziva štetne posledice po ćelijske membrane, pigmente i proteine (Mittler, 2002). Pri oksidativnom stresu, povećana koncentracija ROS deluje na lipide, dovodi do lipidne peroksidacije i uzrokuje oštećenja na membrani ćelije (Breusegem *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2012; Amirjani, 2012).

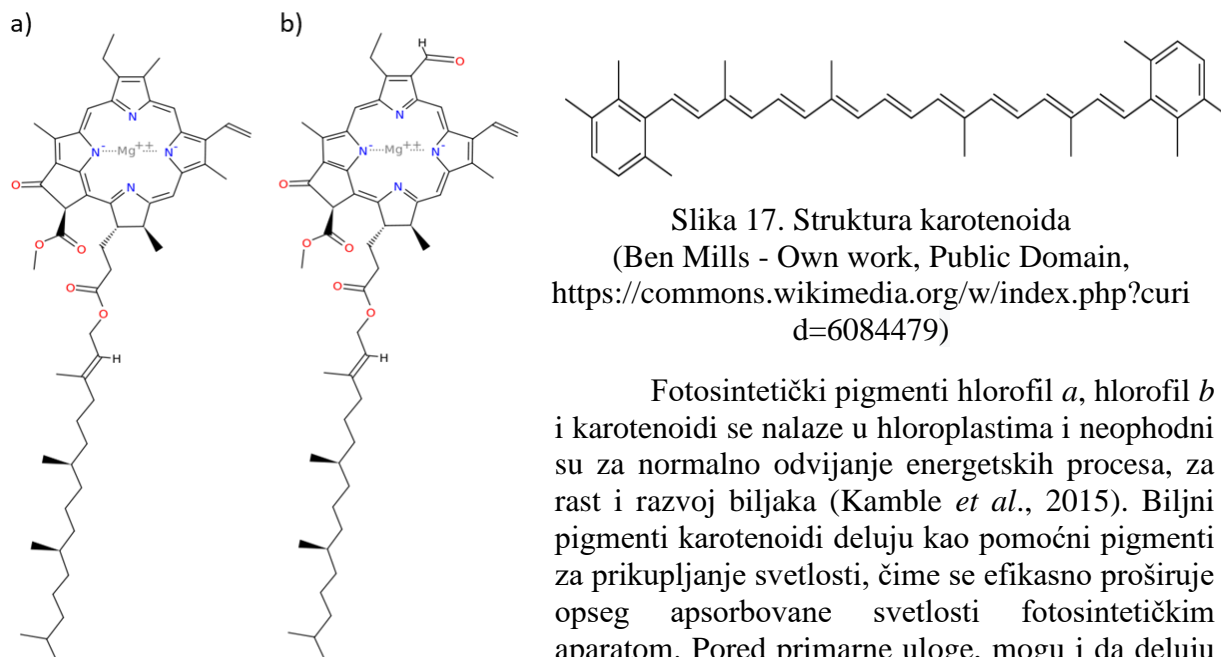
Komponente nezasićenih masnih kiselina membranskih fosfolipida posebno su podložne štetnom delovanju ROS. Proces peroksidacije lipida sastoji se od tri različite faze: inicijacije, propagacije i terminacije (Labudda, 2013). Faza inicijacije lipidne peroksidacije je korak u kome usled oksidativnog stresa nastaje hidroksilni radikal. Hidroksilni radikali ili

superoksidi su jako nestabilni (otpočinju lančanu reakciju) i mogu da reaguju sa metilenskim grupama nezasićenih masnih kiselina, što dovodi do stvaranja vodonik peroksida, lipidnih peroksi radikala i konjugovanih alkadiena čime se otpočinje faza propagacije. Nastali molekuli nisu stabilni i u fazi propagacije lako reaguju u aerobnim uslovima sa molekularnim kiseonikom kada nastaje peroksil radikal masne kiseline. Razgradnjom vodonik peroksida mogu se lako dobiti aldehidi (najčešće malondialdehid, krotonaldehid i akrolein), alkani, lipidni epoksidi i alkoholi. Mnoga od ovih jedinjenja mogu da se odalje od primarnog mesta oštećenja i dovedu do oštećenja ostalih delova ćelije (Smirnoff, 1995; Wang *et al.*, 2009; Jelić, 2019). Kada radikal reaguje sa neradikalom, uvek dolazi do stvaranja drugog radikala, zbog čega se taj proces i naziva „mehanizam lančane reakcije“. Radikalna reakcija prestaje kada dva radikala reaguju međusobno i dovedu do stvaranja neradikalne vrste. To se dešava u slučaju da je koncentracija radikala dovoljno visoka da postoji velika verovatnoća sudara dva radikala (Huang *et al.*, 2002).

Pored značajnog oštećenja koje može da izazove na biljnim organizmima koje je prethodno opisano, Wang i saradnici (2016) su pokazali da lipidna peroksidacija može dovesti i do oštećenja beta glukana kod žitarica. Na štetne efekte lipidne peroksidacije su u velikoj meri osetljive ozime sorte pšenice kod kojih može dovesti do smanjenja prinosa (Marković *et al.*, 2020). Lipidna peroksidacija je najbolji pokazatelj stresa i oštećenja membrane (Taulavuori *et al.*, 2001) i praćena je povećanom koncentracijom malondialdehida (MDA) (Vacca *et al.*, 2004). Malondialdehid je jedan od krajnjih proizvoda uticaja oksidativnog stresa na lipide i dovodi do oštećenja ćelijskih membrana, uključujući promene u esencijalnim svojstvima membrane, kao što su fluidnost, transport jona, gubitak aktivnosti enzima i umrežavanje proteina. Ove promene na kraju rezultiraju odumiranjem ćelija (Sharma P. *et al.*, 2012). Sadržaj MDA se često koristi kao indikator stepena lipidne peroksidacije (Malenčić *et al.*, 2004; Auer *et al.*, 1995).

1.2.1.1. Uticaj toplotnog stresa na fotosintetičke pigmente

Biljni pigmenti čine veliku grupu molekula, u koju spadaju molekuli poput hlorofila, karotenoida, antocijanina i beta-alanina. Svi biološki pigmenti selektivno apsorbuju određene talasne dužine svetlosti dok druge odbijaju (Grotewold, 2006). Osnovna uloga fotosintetičkih pigmenata je apsorpcija svetlosti i njena transformacija u hemijsku energiju kroz proces fotosinteze. Hlorofili apsorbuju svetlost u ljubičasto-plavom i crvenom delu spektra, a zelenu svetlost propuštaju pa otuda imaju zelenu boju, dok karotenoidi apsorbuju svetlost u plavom delu spektra. Hlorofil je po hemijskoj građi porfirinsko jedinjenje izgrađeno od porfirinskog prstena (u čijem se centru nalazi atom magnezijuma) i fitolnog lanca u vidu produžetka. Primarni fotosintetički pigmenti kod viših biljaka su hlorofil *a* i *b*, a pored njih, dosta su značajni i karotenoidi kao pomoćni pigmenti (Richardson *et al.*, 2002). Razlika između hlorofila *a* i *b* se ogleda u tome što je kod hlorofila *a* na poziciji 3 u porfirinskom prstenu metil grupa (CH₃), dok je na istoj poziciji kod hlorofila *b* aldehidna grupa (CHO) (Đukić, 2013) (Slika 16a i 16b). U osnovi strukture karotenoida je polienski lanac koji se sastoji od 9-11 dvostrukih veza i koji se završavaju prstenovima. Ovakva struktura konjugovanih dvostrukih veza dovodi do visokog redukcionog potencijala ili sposobnosti prenosa elektrona kroz molekul (Vershinin, 1999) (Slika 17).



Slika 16. (a) struktura hlorofila a, (b) struktura hlorofila b (David Richfield - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2817720>)

Slika 17. Struktura karotenoida (Ben Mills - Own work, Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6084479>)

faze nalivanja i mlečnog sazrevanja zrna (Feng *et al.*, 2014; Sunita *et al.*, 2018).

Fotosintetička aktivnost biljaka je veoma osetljiva na visoke temperature (Rehman, 2016). Visoka temperatura ima veći uticaj na fotosintetički kapacitet biljaka, posebno kod C3 biljaka (Yang *et al.*, 2006). Na visokim temperaturama najviše su pogođeni procesi koji se odvijaju u tilakoidima čija je membrana jako osetljiva, kao i procesi koji se odvijaju u stromi hloroplasta (Wise *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2018). Zatvaranje stoma u uslovima toplotnog stresa je jedan od razloga koji utiče na smanjenje fotosinteze (Ashraf i Hafeez 2004). Kod pšenice, fotosintetička aktivnost brzo opada pri temperaturama iznad 30 °C, a na temperaturi iznad 38 °C dolazi do njene inhibicije (Al-Khatib i Paulsen, 1984). Ukoliko temperatura pređe ovu granicu ugrožena je struktura tilakoida, a funkcije hloroplasta su poremećene. Toplotni stres može dovesti do oštećenja fotosintetičkog aparata (fotosistem I i fotosistem II), citohroma b6f kompleksa i Rubiska čija je aktivacija smanjena na temperaturama iznad 32,5 °C (Wise *et al.*, 2004; Haldimann i Feler, 2004). Toplota obično uzrokuje reverzibilni gubitak u funkcionalnosti fotosistema II, što se odražava promenom parametra fluorescencije hlorofila i ukazuje da toplota smanjuje fotosintetički kapacitet biljke (Hakue *et al.* 2014). U uslovima toplotnog stresa, inaktivacija ovih bitnih fotosintetičkih komponenata može dovesti do inhibicije različitih redoks i metaboličkih reakcija (Crafts-Brandner i Salvucci, 2002; Mathur *et al.*, 2014). Kada su biljke izložene toplotnom stresu sadržaj hlorofila se smanjuje, što dovodi do starenja listova ili hloroze (Allakhverdiev *et al.*, 2008; Rossi *et al.*, 2017). U uslovima toplotnog stresa dolazi i do poremećaja odnosa hlorofila a i hlorofila b, što dovodi do promena u fosforilaciji i respiraciji (Karim *et al.*, 2000). Pod uticajem temperature, aktivnost hlorofilaze i peroksidaze koje razgrađuju hlorofil dramatično se povećava, što rezultira ozbiljnim smanjenjem nivoa hlorofila (Wang *et al.*, 2018). Generalno, temperature veće od 35 °C smanjuju aktivnost enzima i značajno ograničavaju procese fotosinteze (Griffin *et al.*, 2004). U određenim slučajevima,

razgradnja hlorofila može biti zaštitni odgovor biljaka jer prekomerna svetlosna energija koju apsorbuje hlorofil može ugroziti fotosintezu u biljkama. Karakteristika „niskog sadržaja hlorofila“ kod određenih žitarica povezana je sa njihovom adaptacijom na stres, tako da vrlo nizak sadržaj hlorofila utiče na smanjenu apsorpciju svetlosti listova, što zauzvrat smanjuje potencijalno štetno zagrevanje i efekat visokog sunčevog zračenja (Florence, 1999).

Pad hlorofila je zabeležen kod različitih biljnih vrsta u uslovima toplotnog stresa. Usled toplotnog stresa kod pirinča je došlo do pada vrednosti pigmenata i aktivnosti fotosistema II (Mohammed i Tarpley, 2010). U soji, toplotni stres značajno je smanjio ukupni sadržaj hlorofila (18%), sadržaj hlorofila *a* (7%) i uticao je na odnos hlorofila *a* i *b* (Tan *et al.*, 2011). Xiao-Ling (2001) ispitivao je uticaj toplotnog stresa na fotosintetičke karakteristike kod četiri sorte ozime pšenice (*Triticum aestivum* L.). Rezultati istraživanja su pokazali da je tokom toplotnog stresa došlo do smanjenja efikasnosti primarne konverzije svetlosne energije kao i sadržaja pigmenta (hlorofila i karotenoida). Takođe je došlo i do smanjenja procenta neto stope fotosinteze. Izmereni fotosintetički parametri opadali su sporije kod sorte koja je bila tolerantnija na toplotu od ostalih tokom čitavog perioda toplotnog stresa. Ravnoteža biosinteze i razlaganja hlorofila je presudna za održavanje fotosintetičkog aparata radi unapređenja fotosintetičke efikasnosti, na kraju utičući na razvoj useva kao i na krajnji prinos (Shanshan *et al.*, 2020). Promena vrednosti biljnih pigmenata može biti dobar indikator stresa u biljnim organizmima (Guidi i Degl'Innocenti, 2011).

1.3. Adaptacija biljaka na toplotni stres

Larcher (1995) je klasifikovao sve biljne vrste u tri grupe na osnovu brojnih parametara prilagođavanja na toplotno osetljive, relativno tolerantne na toplotu i toplotno tolerantne. Biljke se tokom čitavog životnog ciklusa, od klijanja do reproduktivne faze, suočavaju sa promenljivim i stresnim okruženjem koje je ponekad nepovoljno za njihov rast i za razvojne procese. Kako su biljke u prirodi sesilni organizmi, morale su da razviju različite mehanizme zaštite kako bi se lakše prilagodile na biotičke i abiotičke faktore stresa. Biljke primaju nadražaje iz spoljašnje sredine koji ih stimulišu, nakon čeka generišu odgovarajuće ćelijske odgovore. To čine pomoću nadražaja koje primaju od senzora smeštenih na ćelijskoj membrani ili u citoplazmi. Nadražaj dovodi do različitih transkripcionih promena koje biljku čine tolerantnom na stres (Gull *et al.*, 2019). Različiti faktori životne sredine (biotički i abiotički) aktiviraju mehanizme zaštite koje su biljke razvile kroz evoluciju. Biljke se mogu od toplotnog stresa zaštititi fenotipskim ili određenim biohemijskim i molekulskim adaptacijama (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). Zatvaranje stoma kako bi se smanjio gubitak vode, povećana gustina stoma i veći ksilem su uobičajene karakteristike izazvane toplotom kod biljaka (Srivastava *et al.*, 2012). Kao jednu od adaptacija na toplotni stres biljke mogu uvijati listove čime smanjuju površinu izloženu sunčevom zračenju. Biljke sa malim listovima takođe imaju veću verovatnoću da izbegnu toplotni stres (Fitter i Hay, 2002). Stresni uslovi sredine pokreću širok spektar biljnih odgovora poput promenjene ekspresije gena, promene ćelijskog metabolizma, promene u stopi rasta (Tiwari *et al.*, 2020). Generalno, biljke preživljavaju u vrućim i suvim sredinama kombinacijom različitih adaptacija (Fitter i Hay, 2002). Kada je temperatura spoljašnje sredine za 5 °C veća od optimalnih uslova za biljku, dolazi do aktivacije karakterističnog skupa ćelijskih i biohemijskih procesa neophodnih za preživljavanje životnih funkcija biljaka u stresnim uslovima (Guy, 1999). Da bi se izborile sa toplotnim stresom, biljke aktiviraju mehanizme za održavanje membranske stabilnosti, uklanjanje ROS-a, proizvodnju antioksidanasa, akumulaciju i podešavanje kompatibilnih rastvorenih supstanci. Svi ovi mehanizmi, koji su regulisani na molekularnom nivou, omogućavaju biljkama da prežive a kod

određenih vrsta i da napreduju u uslovima toplotnog stresa. Dolazi i do promene u organizaciji ćelijskih struktura, uključujući organele, citoskelet i funkcije membrane (Weis i Berry, 1988).

1.3.1. Proteini toplotnog stresa

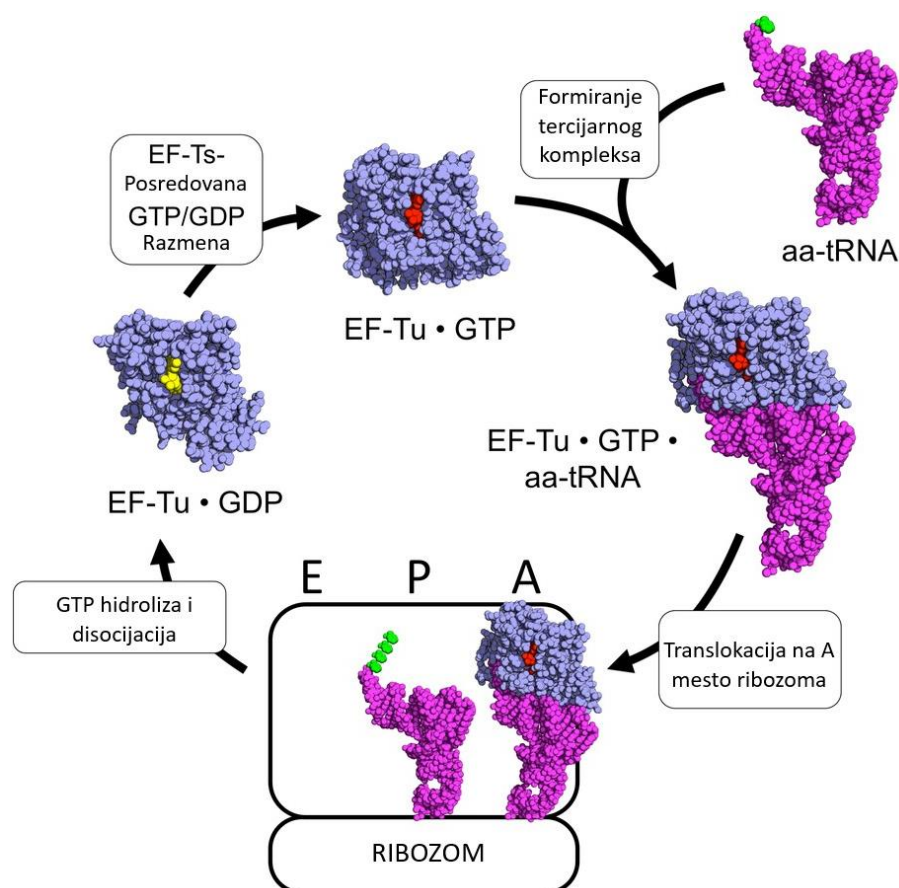
Svi organizmi reaguju na stres u okolini aktiviranjem gena koji kodiraju molekularne šaperone i druge citoprotektivne proteine toplotnog stresa (HSP) u procesu poznatom kao odgovor na toplotni stres (HSR-heat stress response) (Vera *et al.*, 2014). Niz toplotno osetljivih i tolerantnih biljaka pokazalo je različitu ekspresiju velikog broja gena koji uključuju i gene za sintezu proteina toplotnog stresa, gena za faktore transkripcije i druge stres srodne gene. Maksimum transkripcije gena za proteine toplotnog stresa se obično postiže u periodu od 1 do 2 sata od trenutka izlaganja biljaka toplotnom stresu (Rodriguez *et al.*, 2005; Farooq *et al.*, 2011). U uslovima toplotnog stresa dolazi do smanjene sinteze normalnih proteina i pokreće se ubrzana transkripcija i translacija proteina toplotnog stresa (Bray *et al.*, 2000; Young i Elliott, 2002), kao i proizvodnja fitohormona i antioksidanasa (Maestri *et al.*, 2002). U svim organizmima indukcija proteina toplotnog stresa je brza i intenzivna. Biljke sintetizuju proteine toplotnog stresa proporcionalno stepenu toplote i temperatura na kojoj je sintetizovan maksimum proteina toplotnog stresa se menja u zavisnosti od biljne vrste i temperature na kojoj ta vrsta raste (Ahn *et al.*, 2004). Koncentracija određenih proteina toplotnog stresa može dostići 1% ukupnih ćelijskih proteina lista i korena. Najčešće temperature povišene za 10 °C do 15 °C u odnosu na optimalnu temperaturu rasta biljke, indukuju ekspresiju proteina toplotnog stresa (Sun i Montagu, 2002). Da bi biljne ćelije preživele u uslovima stresa važno je da proteini ostanu u njihovoj funkcionalnoj konformaciji i da se spreči agregacija proteina (Usman *et al.*, 2014). U stresnim uslovima, uloga proteina toplotnog stresa je jako važna jer oni funkcionišu kao molekularni šaperoni pospešujući pravilno ponovno savijanje proteina i sprečavaju termičku agregaciju proteina oštećenih usled stresa (Boston *et al.*, 1996; Gupta *et al.*, 2010). Proteini toplotnog stresa se vezuju i stabilizuju termo-nestabilne i denaturisane proteine kako bi ih zaštitili od termičke agregacije (Xu *et al.*, 2011; Morrow i Tanguay, 2012). Proteini toplotnog stresa se grupišu u biljkama u pet klasa na osnovu njihovih molekularnih masa: HSP100 (oko 100 kDa), HSP90 (oko 90 kDa), HSP70 (oko 70 kDa), HSP60 (oko 60 kDa) i proteini toplotnog stresa male molekulske mase (sHSP). Proteini toplotnog stresa male molekulske mase (sHSP) predstavljaju skup proteina u opsegu od 12–40 kDa i relativno tolerantne biljke pokazale su veći sadržaj sHSP u poređenju sa osetljivim vrstama u uslovima toplotnog stresa (Swindell *et al.*, 2007; Hemantaranjan *et al.*, 2014). Sinteza proteina toplotnog stresa u uslovima visoke temperature je povezana sa sticanjem termo tolerancije u biljkama. Biljke, generalno, imaju oko 20 vrsta proteina toplotnog stresa, a može da postoji i do 40 vrsta ovih proteina u jednoj biljnoj vrsti. Različito prisustvo određenih HSP iz navedenih grupa proteina odražava se na prilagođavanje biljaka na toplotni stres (Asthir, 2015). Nasuprot tome, pokazano je da potiskivanje sinteze HSP može dovesti do gubitka termotolerancije na toplotni stres kod biljaka (Howarth i Skot, 1994). Malik i saradnici (1999) su pokazali da se kod sorti šargarepe kod kojih je došlo do ekspresije HSP17.7 toplotno tolerantnije. Relativno tolerantne sorte pokazale su veći sadržaj HSP18 u poređenju sa osetljivim vrstama u uslovima toplotnog stresa (Hemantaranjan *et al.*, 2014). sHSP se značajno akumuliraju za nekoliko sati i pokazuju heterogenu strukturu prema molekularnoj težini, izoelektričnoj tački. Nakon toplotnog stresa, sHSP su prilično stabilni, sa polu-životom od 30-50 sati, što sugerise da sHSP mogu biti takođe važni i za oporavak biljaka (Bhattacharya, 2019). Ekspresija HSP101 u biljkama pirinča rezultirala je značajnim poboljšanjem performansi rasta tokom oporavka od toplotnog stresa (Liu *et al.*, 2011). Pokazalo se da relativno tolerantne sorte žitarica koje održavaju veću katalitičku efikasnost skrob sintetaze na povišenoj temperaturi imaju i veći sadržaj HSP100

(Sumesh *et al.* 2008). Protein HSP101 detektovan je u različitim delovima kukuruza, pri čemu je u uslovima toplotnog stresa došlo do porasta koncentracije HSP101 (Young *et al.*, 2001).

1.3.2. Elongacioni faktori

U poslednjih nekoliko godina, studije su pokazale da elongacioni faktori mogu imati uticaj na razvoj tolerancije na abiotički stres u biljkama (Ristic *et al.*, 2008; Prasad *et al.*, 2011; Fu *et al.*, 2012; Djukić *et al.*, 2019; Marković *et al.*, 2021). Od svih elongacionih faktora, u pogledu zaštite od toplotnog stresa, najčešće su proučavani eEF1A (eukariotski elongacioni faktor 1 alfa) i EF-Tu (elongacioni faktor Tu).

EF-Tu (Elongacioni faktor Tu), pored EF-Ts (Elongacioni faktor Ts) i EF-G (Elongacioni faktor G), jeste jedan od elongacionih faktora koji predstavljaju bitan segment procesa translacije kod sinteze novih proteina na ribozomima (Andersen *et al.*, 2003; Parmeggiani i Nissen, 2006). EF-Tu u kompleksu sa guanozin trifosfatom (GTP-donor energije) pomaže aminoacil-tRNK da se veže za slobodno mesto na ribozomu (LaRiviere *et al.*, 2001). U citoplazmi nakon što se za tRNK veže odgovarajuća aminokiselina, EF-Tu vezuje napunjen tRNK molekul, nakon čega ovaj kompleks odlazi u ribozom. Tu je i ključna uloga EF-Tu, a to je da omogući vezivanje napunjene tRNK za A (aminoacil) mesto u ribozomu. Ovaj kompleks se vezuje na aktivnom mestu u ribozomu i nakon što se antikodon tRNK pravilno veže za kodon iRNK, dolazi do promene oblika EF-Tu i tada se GTP kida ostaje GDP (guanozin difosfat), dolazi do odvajanja EF-Tu, što omogućava otpočinjanje reakcije na ribozomu. Nakon što je izvršio svoju funkciju, EF-Tu se potom priprema za sledeći ciklus, pa se tako GDP mora pomeriti sa njegovog aktivnog mesta. EF-Ts se vezuje za GDP i odvaja GDP od EF-Tu, kako bi mogao da se veže novi molekul GTP-a (Krab i Parmeggiani, 2002). Nakon što ribozom veže aminokiselinu u rastućem polipeptidnom lancu, neophodno je da se nakon toga oslobodi tRNK kako bi se napravilo mesto za sledeću aminokiselinu. Tu ulogu ima EF-G (Rodnina *et al.*, 1997). U kompleksu sa GTP-om, EF-G se vezuje za ribozom na mestu A, što dovodi do pomeranja tRNK na intermedijarnu poziciju A/P (A mesto male ribozomske subjedinice i za P mesto velike subjedinice), dok se tRNK u P (peptidil) mestu pomera u P/E položaj. Usled hidrolize GTP-a od strane EF-G, dolazi do konformacione promene, pri čemu A/P tRNK zauzima P mesto, a P/E tRNK zauzima E (exit-izlaz) mesto i oslobađa se (napušta ribozom). Usled ovih promena, iRNK se pomera za jedan kodon u odnosu na ribozom, a sam EF-G se otkacinje i oslobađa mesto A na ribozomu kako bi otpočeo novi ciklus elongacije (Zavialov *et al.*, 2005, Macvanin *et al.*, 2000) (Slika 18).



Slika 18. Uloga EF-Tu u translaciji (Modifikacija slike – By Awchen - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=56937773>)

Proučavan je potencijalni uticaj i veza EF-Tu sa toplotnom tolerancijom kod biljaka (Prasad *et al.*, 2011, Bukovnik *et al.*, 2009). Kod ozime pšenice je utvrđeno da visoka temperatura dovodi do akumulacije EF-Tu kod zrelih biljaka, pri čemu su na toplotni stres bile otpornije biljke kod kojih je uočena veća koncentracija EF-Tu, što je ukazalo da EF-Tu može imati bitnu ulogu kod biljaka, na njihovo prilagođavanje na toplotni stres (Ristic *et al.*, 2008). Pored uticaja EF-Tu, proučavan je i uticaj eEF1A (Ristic *et al.*, 2009, Bukovnik *et al.*, 2009). Za razliku od EF-Tu koji se u većoj meri akumulirao kod zrelih biljaka (Ristic *et al.*, 2008), pokazalo se da eEF1A ima značajniju ulogu kod mladih biljaka (Bukovnik *et al.*, 2009).

Eukariotski elongacioni faktor translacije 1A (eEF1A), je citosolni protein sa 3 do 10 procenata udela u odnosu na ukupne solubilne proteine u ćeliji. eEF1A (49,174 kDa) je veoma zastupljen protein koji može činiti i do 5% rastvorljivih proteina ekstrakta pšeničnih klica (Chung *et al.*, 2009). eEF1A, poznat i kao EF1 α u kompleksu sa guanozin trifosfatom (donor energije) pomaže aminoacil-tRNA da se veže za slobodno mesto na ribozomu (Browning, 1996; LaRiviere *et al.*, 2001). Lopez-Valenzuela i saradnici (2003) su utvrdili da se u endospermu mogu naći različite izoforme eEF1A, koje se pored kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika, razlikuju i u načinu vezivanja F-aktina. Pored svoje uloge u fazi translacije, eEF1A kao multifunkcionalni protein (Sasikumar *et al.*, 2012) učestvuje i u drugim važnim procesima. eEF1A je bitan za transport molekula iz nukleusa i ima proteolitičku ulogu (Lee *et al.*, 1999; Vera *et al.*, 2014). eEF1A učestvuje u razgradnji N-terminalno blokiranih proteina (Gonen *et al.*, 1994) i deluje u interakciji sa aktinskim filamentima i mikrotubulima kako *in vitro* tako i *in*

vivo, regulišući citoskeletnu organizaciju i ćelijsku morfologiju (Gross *et al.*, 2005). Uloga eEF1A u zaštiti biljaka od abiotičkog stresa opisana je u nekoliko studija (Bukovnik *et al.*, 2009; Djukić *et al.*, 2019). Kao odgovor na deficit vode, utvrđeno je da dolazi do ranog indukovanja eEF1A gena (Ambrosone *et al.*, 2013). Pokazano je da dolazi do značajnog nakupljanja eEF1A u uslovima osmotskog stresa i visokog saliniteta (Costa *et al.*, 2010). Momčilović i saradnici (2016), pokazali su da eEF1A sadrži više izoformi, od kojih su neki indukovani toplotom i mogu biti važni u smanjenju negativnih efekata toplotnog stresa na produktivnost biljaka. Aktiviranjem faktora transkripcije toplotnog šoka 1, eEF1a posreduje u reakciji ćelije na toplotni stres i reguliše ekspresiju proteina toplotnog stresa (Shamovsky *et al.*, 2006; Vera *et al.*, 2014). eEF1A pokazuje aktivnost sličnu šaperonu tokom interakcije sa ne konformisanim proteinima (Hotokezaka *et al.*, 2002), pri čemu svi nalazi sugerišu da eEF1A za vršenje šaperonske funkcije, koristiti drugačije mesto vezivanja od onih koje koristi u translaciji. eEF1A kao molekularni šaperon, štiti proteine od termičke agregacije (Rao *et al.*, 2004) i deluje sprečavajući enzime da se termički nakupljaju, što je utvrđeno *in vitro* (Shin *et al.*, 2009). Biljke sa većom koncentracijom eEF1A do čijeg nakupljanja je došlo tokom toplotnog stresa, bile su otpornije na visoke temperature (Bukovnik *et al.*, 2009).

1.3.3. Antioksidativni enzimi

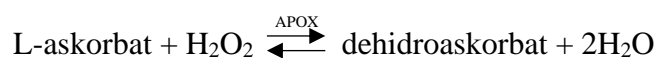
Antioksidativni enzimi su proteini koji učestvuju u katalitičkoj transformaciji reaktivnih vrsta kiseonika i njihovih nusproizvoda u stabilne netoksične molekule, što predstavlja najvažniji odbrambeni mehanizam protiv oštećenja ćelija izazvanog oksidativnim stresom (Sáez i Están-Capell, 2014). Do sinteze antioksidativnih enzima dolazi u stresnim uslovima kada se povećava nivo reaktivnih vrsta kiseonika (ROS) (Ghazi *et al.*, 2007). Među antioksidativnim enzimima koji se aktiviraju kod biljaka, najviše su proučavani enzimi kao što je katalaza (CAT), askorbat peroksidaza (APX), gvajakol peroksidaza (GPOX) i superoksid dismutaza (SOD) (Badawi *et al.*, 2007; Baque *et al.*, 2010; Ibrahim *et al.*, 2013; Antunović, 2013). Pored ove grupe enzima, Ristic i saradnici (2009) su pokazali i značajnu ulogu rubisko aktivaze (RCA) koja može imati uticaj na biljke izložene toplotnom stresu i može biti važna za produktivnost biljaka u stresnim uslovima. Antioksidativni enzimi se kod biljaka aktiviraju na različitim temperaturama u zavisnosti od biljne vrste (Hemantaranjan *et al.*, 2014).

Peroksidaze su porodica izoenzima koji se nalaze u svim biljkama i predstavljaju monomerne glikoproteine koji sadrže hem u svojoj strukturi i koji učestvuju u razgradnji vodonik peroksida (Yoshida *et al.*, 2003). Dve klase peroksidaza su najzastupljenije u biljkama: klasa I i klasa III (Cosio i Dunand, 2009). Askorbat peroksidaza i glutation peroksidaza pripadaju klasi I (Mittler, 2002), dok klasi III pripada gvajakol peroksidaza (Cosio i Dunand, 2009; Mathé *et al.*, 2010).

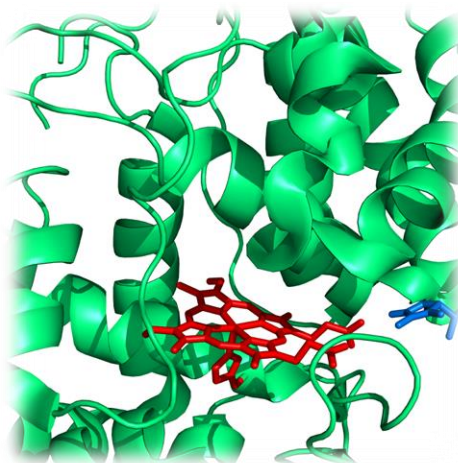
Katalaza (EC 1.11.1.6) je čest enzim koji se nalazi u skoro svim živim organizmima i ima bitnu ulogu u razgradnji vodonik-peroksida do vode i kiseonika, što ovaj enzim čini veoma važnim u zaštiti ćelije od oksidativnog stresa (Chelikani *et al.*, 2004). Katalaza je tetramerni, hemohromoproteidni enzim gde svaka podjedinica sadrži hem grupu za koju je vezan jon Fe^{3+} , kao koenzim. U proteinskom delu svake subjedinice prisutno je 18 aminokiselina. Katalaze su deo antioksidativne zaštite jer zahvaljujući gvožđu u svojoj strukturi, redukuju vodonik-peroksid (Murthy *et al.*, 1981; Gill i Tuteja, 2010; Đukić, 2020). Optimalni pH za delovanje katalaze je približno između pH 6,8 i 7,5 (Aebi, 1984). Od svih antioksidativnih enzima, katalaza je jedan od najaktivniji, pri čemu jedan molekul katalaze može redukovati do 6 miliona molekula vodonik peroksida (Polidoros i Scandalios, 1999).

Askorbat peroksidaza (EC 1.11.1.11) se smatra jednim od najvažnijih enzima za uklanjanje reaktivnih vrsta kiseonika i za zaštitu ćelija od oksidativnog stresa kod viših biljaka.

Enzim askorbat peroksidaza je uključen u uklanjanje vodonik peroksida za koji ima veći afinitet od katalaze i smatra se da ima značajniju ulogu u zaštiti od reaktivnih vrsta kiseonika u uslovima stresa (Gill i Tuteja, 2010). Askorbat peroksidaza katalizuje razgradnju vodonik peroksida koristeći askorbat kao donor elektrona:



Askorbat peroksidaza se može naći u najmanje pet različitih izoformi. Poznate su tilakoidne izoforme (tAPOX), izoforme gliksizoma membrana (gmAPX), izoforme u stromi hloroplasta (sAPX), kao i citosolne forme (cAPX) (Nakano i Asada 1981; Noctor i Foyer, 1998; Gill i Tuteja, 2010).



Slika 19. Struktura askorbat peroksidaze (zelena boja) u kompleksu sa askorbatom (plava boja), ligandom histidina (crvena boja) u koordinaciji se sa gvožđem hem grupe (takođe crvene boje) (Slika – E.L. Raven – sopstveno delo, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=55707336>)

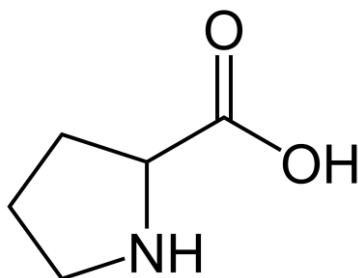
Gvajakol peroksidaza (EC 1.11.1.7) u svojoj strukturi sadrži hem i za svoju aktivnost zahteva prisustvo gvajakola ili piragalola kao donora elektrona. Enzim gvajakol peroksidaza ima veliki broj izoformi pri čemu često broj i koncentracija određene izoforme zavisi od različite ekspresije (Mathé *et al.*, 2010). Gvajakol peroksidaza ima ulogu u mnogim važnim biosintetskim procesima kao što je biosinteza lignina, ima ulogu u razgradnji indol-3-sirćetne kiseline i ima ulogu u odbrani od abiotičkog i biotičkog stresa tako što katalizuje razgradnju vodonik peroksida (Asada, 1999; Sharma *et al.*, 2012). Aktivnost gvajakol peroksidaze može značajno da varira u zavisnosti od biljne vrste i u zavisnosti od izvora stresa (Sharma *et al.*, 2012). Razni stresni uslovi, poput visoke temperature, različitih zagađivača poput teških metala, herbicida, i policikličnih aromatičnih ugljovodonika, uzrokovali su porast aktivnosti gvajakol peroksidaze (Ali *et al.*, 2005; Mishra *et al.*, 2011; Song *et al.*, 2012; Ivanov *et al.*, 2013).

Superoksid dismutaza (EC 1.15.1.1) je enzim koji katalizuje prevođenje superoksidnog radikala do molekularnog kiseonika i vodonik peroksida. Superoksidni radikal nastaje kao nusprodukt metabolizma kiseonika i može dovesti do brojnih ćelijskih oštećenja ukoliko se ne spreči njegovo štetno delovanje. Iz tog razloga je superoksid dismutaza jako važan enzim neophodan u antioksidativnoj zaštiti kod skoro svih živih bića (Hayyan *et al.*, 2016).

1.3.4. Neenzimski antioksidansi

Pored enzimskih antioksidanasa, i neenzimske supstance kao što su askorbinska kiselina, glutation i α -tokoferol mogu imati važnu ulogu u detoksikaciji prouzrokovanoj reaktivnim vrstama kiseonika u aerobnim ćelijama (Alscher *et al.*, 1997). Akumulacija osmolita kao što je prolin, glicin-betain i trehaloza su poznati adaptivni mehanizam kod biljaka protiv uslova abiotičkog stresa, uključujući i visoke temperature. Primena prolina i glicin-betaina značajno je smanjila proizvodnju vodonik peroksida, i dovela je do poboljšanja akumulacije rastvorljivih šećera i dovela je do zaštite biljnog tkiva u razvoju od efekata toplotnog stresa. Međutim, prolin se pokazao kao efikasnija zaštita od glicin-betaina (Rasheed *et al.*, 2011). Bitan faktor adaptacije na toplotni stres jeste akumulacija komponenti sa manjom molekulskom masom, kao što su aminokiseline (Simon-sarkadi *et al.*, 2006), među kojima je veoma važna aminokiselina prolin (Kavi-Kishor *et al.*, 2005).

Prolin je aminokiselina uključena u niz metaboličkih procesa i pored toga što je važan kao stabilizator proteina i osmolit, on učestvuje i u antioksidativnom odgovoru kao jedan od neenzimskih antioksidansa i pomaže u uklanjanju slobodnih radikala (Ashraf i Foolad, 2007). Prolin u uslovima stresa može da deluje kao šaperon niske molekulske težine, pri čemu može da stabilizuje i štiti enzimske strukture i proteine, održavajući integritet membrane i može da utiče na smanjenje štetnih efekata nastalih delovanjem reaktivnih vrsta kiseonika (Hameed *et al.*, 2012). Prolin stabilizuje subcelularne strukture i membrane uključujući fotosistem II (Szabados i Savouré, 2010) i deluje kao inhibitor lipidne peroksidacije. U normalnim fiziološkim uslovima prolin čini manje od 5% slobodnih aminokiselina u biljci, dok ta količina usled stresa može porasti i na preko 80% (Hare i Cress, 1997; Verbruggen i Hermans, 2008). Djukić i saradnici (2021) su pokazali da je došlo do značajnog porasta nivoa prolina kod pšenice u uslovima toplotnog stresa.



Slika 20. Struktura prolina

(NeurOtiker – sopstveno delo, Public Domain,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1636645>)

2. CILJEVI ISTRAŽIVANJA

U narednim godinama predviđa se trend rasta temperature, tako da će njen uticaj biti sve značajniji (Nelson *et al.*, 2010). Porast temperature negativno utiče na poljoprivredne kulture a samim tim i na krajnju proizvodnju, tako da se u narednoj deceniji očekuje smanjenje prinosa žitarica (Wheeler i Braun, 2013; Zhao *et al.*, 2017). Iz tog razloga, istraživanja povezana sa načinom odgovora žitarica na delovanje toplotnog stresa koja omogućavaju razumevanje biohemijske osnove toplotne tolerancije kod žitarica su veoma važna. Ovakva istraživanja otvaraju mogućnost za korišćenje novih znanja u efikasnom odabiru komercijalnih sorti žitarica kao i mogućnost za kreiranjem novih toplotno-tolerantnih sorti žitarica kroz primenu biotehnologije u njihovom oplemenjivanju.

Cilj ove doktorske disertacije je biohemijska karakterizacija različitih vrsta žitarica (pšenice, ovsu i tritikalea), uzorkovanih u toku tri vegetacione sezone na oglednim poljima u okolini Kraljeva, u uslovima toplotnog stresa i uslovima umerene temperature vazduha, kako bi se dobila saznanja o biohemijskoj osnovi toplotne tolerancije kod žitarica.

Iz navedenog opšteg cilja disertacije proizilaze specifični ciljevi:

- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na ekspresiju eukariotskog elongacionog faktora 1A i elongacionog faktora Tu kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na ekspresiju proteina toplotnog stresa HSP101 i HSP18 kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na koncentraciju prolina kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na koncentraciju malondialdehida kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na aktivnost antioksidativnih enzima katalaze, askorbat peroksidaze i gvajakol peroksidaze kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na sadržaj fotosintetičkih pigmenata kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na koncentraciju skroba kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na suhu masu lista i na suhu masu zrna kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na broj i težinu suvog zrna po klasu kod deset različitih sorti žitarica.
- Ispitivanje uticaja toplotnog stresa na konačni prinos u kilogramima po hektaru i kilogramima po hektolitr kod deset različitih sorti žitarica.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. Biljni materijal i terenski podaci

U eksperimentalnim ispitivanjima korišćeno je deset sorti žitarica, od toga osam sorti pšenice (*Triticum aestivum* L.) (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*), jedna sorta tritikalea (*Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) (*Odisej*) i jedna sorta ovsu (*Avena sativa*) (*Jadar*).

Podaci o korišćenim sortama

Simonida: pedigre - NS 63-25/Rodna x NS-3288, zemlja porekla - Srbija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, godina prihvatanja 2003; *Zvezdana*: pedigre - NS 63-27/Stamena x NS rana 5, zemlja porekla - Srbija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, godina prihvatanja 2006; *Pobeda*: pedigre - Sremica/Balkan, zemlja porekla - Jugoslavija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, godina prihvatanja 1990; *NS40S*: pedigre - NA 694/ NSA 88-3141, zemlja porekla - Srbija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, godina prihvatanja 2005; *Nikol*: pedigre - HE-6118/Apache, zemlja porekla - Češka, proizvođač - Limagrain, godina prihvatanja 2008; *Avenu*: pedigre - Alixan/Azimut, zemlja porekla - Francuska, proizvođač - Limagrain, godina prihvatanja 2013; *Ortegas*: zemlja porekla - Nemačka, proizvođač - Strube GmbH & Co. KG, godina prihvatanja 2012; *Hystar*: zemlja porekla - Francuska, proizvođač - Asur Plant Breeding, godina prihvatanja 2014; *Odisej*: zemlja porekla - Srbija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju; *Jadar*: zemlja porekla - Srbija, proizvođač - Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju.

Terenski podaci

Sorte su zasejane na eksperimentalnoj parceli Poljoprivredne savetodavne i stručne službe iz Kraljeva, Centralna Srbija (Slika 21). Eksperimentalno polje se nalazi na 205 m nadmorske visine, 43°47' severne geografske širine i 20°32' istočne geografske širine. Setva je obavljena sredinom oktobra 2016., 2017. i 2018. godine. Eksperiment je postavljen kao dvofaktorijski ogled po metodi randomizovanog potpunog blok dizajna, u pet ponavljanja. Faktori koji su bili obuhvaćeni istraživanjem su sorta pšenice i vegetaciona sezona (prva sezona - 2016., druga sezona - 2017. i treća sezona - 2018.). Gustina setve bila je 500 zrna/m². Tip zemljišta je livadsko-dolinska crnica. U toku svake godine je rađena agrohemijaska analiza zemljišta i na osnovu hemijskog sastava i raspoloživog sadržaja fosfora, kalijuma i azota, primenjeno je mineralno đubrivo (N:P:K 16:16:16). Krajem zime obavljena je prihrana useva. Prihrana je obavljena u jednom navratu sa 250 kg KAN đubriva po hektaru.

Tokom prolećnog dela vegetacije, u fazi drugog kolenca je obavljen tretman protiv jednogodišnjih i višegodišnjih širokolisnih korova kao i tretman protiv bolesti lista i stabla i štetočina (TEZIS 10 g/ha + BONACA EC 0.4 L/ha; AKORD 0.5 L/ha + POLUX 0.2 L/ha).

Listovi korišćeni u eksperimentu, uzorkovani su sa oglednog polja sredinom dana u junu 2016., 2017. i 2018. godine. Sakupljanje listova korišćenih u eksperimentu, vršeno je u danima kada je temperatura vazduha bila između 24-26 °C (umerena temperatura vazduha (normalni fiziološki uslovi za žitarice)), a nakon nekoliko dana sa izmerenim dnevnim temperaturama do 27 °C. Listovi su sakupljeni i u danima kada je temperatura vazduha bila između 34-36 °C, a

nakon nekoliko dana sa temperaturama većim od 30 °C (uslovi visoke temperature koji dovode to toplotnog stresa kod žitarica). Vremenski interval sakupljanja listova između umerenih i visokih temperatura je bio 5-8 dana. Za analizu sa eksperimentalnog polja su sakupljeni listovi zastavičari sa pet različitih biljaka za svaku sortu. Listovi su na eksperimentalnom polju zamrznuti u tečnom azotu i potom su transportovani do laboratorije, gde su čuvani u zamrzivaču na -80 °C do obrade i daljih analiza.



Slika 21. Izgled oglednog polja u okolini Kraljeva
(foto: Marković Stefan, 2018)

3.2. Meteorološki podaci

Centralni deo Srbije odlikuje se umereno-kontinentalnom klimom. Leta su topla i uglavnom je zabeležena neravnomerna količina padavina u toku godine. Meteorološki podaci obezbeđeni su od Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije. Podaci su prikupljeni za Meteorološku opservatoriju Kraljevo (Meteorološki godišnjak meteorološke opservatorije Kraljevo). Meteorološki podaci prikupljeni za period od januara do juna, u toku tri vegetacione sezone (2016., 2017. i 2018. godina) i podaci za višegodišnji proseki (1981-2010 godine) prikazani su u Tabeli 1. U toku perioda Januar/Jun prosečne vrednosti temperature vazduha su iznosile 11,2 °C u toku prve, 9,9 °C u toku druge i 11,3 °C u toku treće godine eksperimenta. Srednje mesečne temperature vazduha za period januar/jun u 2016. i 2018. godini bile su u proseku više za 1,5 °C u odnosu na referentni period od 1981-2010. godine. Ovom temperaturnom povećanju su najviše doprinele temperature tokom meseca aprila, jednom od značajnijih perioda za razvoj žitarica. Temperatura u toku 2017. godine nije bila značajno veća u odnosu na višegodišnji proseki. Padavine su u toku prve i u toku treće sezone bile obilnije sa sumama od 521 mm i 537 mm u poređenju sa drugom sezonom gde su iznosile 353 mm kao i u poređenju sa višegodišnjim prosekom koji je iznosio 369 mm. Relativna vlažnost vazduha u toku prve godine eksperimenta je iznosila 444%, u toku druge 427% i u toku treće godine 471%. Višegodišnji proseki za relativnu vlažnost vazduha je iznosio 430%.

Tabela 1. Srednje mesečne temperature vazduha, sume padavina i relativna vlažnost vazduha u toku vegetacionog perioda (od januara do juna) za tri uzastopne godine (2016., 2017. i 2018. godina) i višegodišnji proseki (1981-2010. god.) na lokalitetu Kraljevo, Srbija.

Period	Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun	Prosek	Suma
Temperatura, °C								
2016	-0,1	8,8	7,8	14,1	15,5	21,3	11,2	67,4
2017	-5,0	4,5	10,3	11,3	16,2	22,4	9,9	59,7
2018	2,7	1,9	6,5	16,6	19,0	20,8	11,3	67,5
1981-2010	0,6	2,6	7,1	11,9	16,7	19,8	9,8	58,7
Padavine, mm								
2016	86	53	158	40	136	49	87	521
2017	22	35	58	82	100	56	59	353
2018	51	81	111	41	84	169	90	537
1981-2010	45	45	53	63	71	92	62	369
Relativna vlažnost, %								
2016	84	72	75	66	76	71	74	444
2017	81	74	65	67	75	65	71	427
2018	87	86	77	70	74	77	79	471
1981-2010	81	75	69	66	69	70	72	430

Na osnovu analiziranih meteoroloških uslova u toku tri eksperimentalne godine, kao i u poređenju sa višegodišnjim prosekom (period od 1981. do 2010. godine), eksperimentalne godine su u Tabeli 2 opisane kao tople ili umereno tople godine, što ukazuje na njihove dominantne meteorološke karakteristike. Označavanje eksperimentalnih godina, istovremeno ukazuje na relativne razlike koje su uočene između eksperimentalnih godina i u poređenju sa višegodišnjim prosekom.

Tabela 2. Način označavanja eksperimentalnih godina u odnosu na njihove meteorološke karakteristike.

2016. godina	Topla godina
2017. godina	Umereno topla godina
2018. godina	Topla godina

3.3. Laboratorijske analize

3.3.1. Izolacija proteina iz listova

U početnom delu izolovanja proteina, listovi zastavičari analiziranih sorti žitarica mase od 500-1000 mg prethodno čuvani na -80 °C, mehanički su usitnjeni u porculanskim avanima (prethodno rashlađenim i sterilisanim) uz korišćenje tečnog azota. U drugom delu izolovanja proteina, izolacija je nastavljena korišćenjem izolacionog pufera [50 mM Tris-HCl (pH 7), 8,2 mM EDTA, 10% (v/v) glicerol, 2% (v/v) polivinilpolipirrolidona, 10 mM β -merkaptotanol i 1,5% (v/v) proteazni inhibitorni koktel za ekstrakte biljnih ćelija i tkiva (Sigma-Aldrich, Sent Luis, Misuri)]. Izolacioni pufer korišćen je u odnosu 1:1 sa biljnim materijalom. Nakon homogenizacije, uzorci su ostavljeni na sobnoj temperaturi da se odlede. Ovako dobijen homogenizovan materijal, prebačen je u mikrotube (Eppendorf, Hamburg, Nemačka), nakon čega je centrifugiran 15 min na 14000 rpm, pri temperaturi od +4 °C, radi uklanjanja suvišnog

materijala. Centrifugiranjem je dobijen talog u kome su se nalazile organele, ćelijski zidovi i supernatant u kome su se nalazili proteini. Supernatant kao sirovi proteinski izolat je alikvotiran, a dobijeni alikvotirani izolati su čuvani na -80 °C.

3.3.2. *Određivanje koncentracije ukupnih solubilnih proteina iz listova*

Koncentracija ukupnih solubilnih proteina iz listova analiziranih sorti žitarica urađena je metodom po Bradfordu (Bradford, 1976). Metoda se zasniva na vezivanju boje Coomassie brilliant blue G-250 za bazne i aromatične ostatke aminokiselina u proteinu, pri čemu se apsorbcioni maksimumom postiže na 595 nm. Za analizu je korišćen komercijalni rastvor Bradford reagensa (Thermo Fisher Scientific, Voltam, Masačusets), koji je spreman za upotrebu i čije mešanje ili razređivanje nije potrebno. Za razvoj boje je neophodno pet minuta inkubacije na sobnoj temperaturi. Uzorci su pre očitavanja razblaženi u Bradford reagensu, pri čemu je svako razblaženje napravljeno u triplikatu. Apsorbanca je očitavana korišćenjem spektrofotometra Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd) (Slika 22), na talasnoj dužini od 595 nm. Napravljena je i serija standardnih proteinskih rastvora od goveđeg serum albumina (BSA, eng. bovine serum albumin; Sigma-Aldrich, Sent Luis, Misuri), očitane su njihove apsorbanca na osnovu kojih je konstruisana standardna kriva. Koncentracije ukupnih solubilnih proteina iz listova analiziranih sorti žitarica utvrđena je na osnovu konstruisane standardne krive. Koncentracija proteina u uzorku izražena je kao µg proteina po µl biljnog ekstrakta. Svaki uzorak je izmeren u tri ponavljanja.

3.3.3. *Elektroforeza i imunoblot analiza*

Za razdvajanje proteina korišćena je tehnika SDS-PAGE (sodijum dodecil sulfat - poliakrilamid gel elektroforeza) gde se proteini razdvajaju na osnovu razlika u njihovoj relativnoj molekulskoj masi. Nakon razdvajanja proteina elektroforezom, korišćena je Imunoblot analiza kojom je moguća detekcija specifičnih proteina pomoću antigen-antitelo reakcije. Navedene metode su korišćene za detekciju eEF1A, EFTu, HSP101 i HSP18 proteina u listovima ispitivanih sorti žitarica.

Elektroforeza

Za razdvajanje proteina elektroforezom korišćeni su 12% poliakrilamidni gel za razdvajanje i 4% poliakrilamidni gel za koncentrisanje. Dobijeni ekstrakti proteina listova ispitivanih sorti žitarica mešani su u odnosu 1:1 sa puferom za pripremu uzoraka prema Laemmli-jevoj metodi (Laemmli, 1970). Prethodno pripremljeni uzorci ispitivanih žitarica koji sadrže 10 µg proteina se nanose na poliakrilamidni gel. Pored uzoraka, na nekim gelovima je nanet standard molekulskih masa proteina (Cruz Marker (Santa Cruz Biotechnology, Teksas, SAD)) (Slika 23). Vertikalna elektroforeza je izvedena na Mini Protean Tetra Cell sistemu (Bio-Rad Laboratories, Kalifornija, SAD) pri voltaži od 150 V, u trajanju od 1h.

Transfer proteina

Po završenoj elektroforezi, urađen je transfer proteina sa gelova na PVDF membrane (poliviniliden difluorid; Bio-Rad Laboratories, Kalifornija, SAD). Pre transfera, membrane su aktivirane potapanjem u metanolu. Transfer proteina sa gelova na membrane, vršen je na

sistemu Criterion Blotter (Bio-Rad Laboratories, Kalifornija, SAD) (Slika 24) pri konstantnoj voltaži od 100 V, u trajanju od 45 min.

Imunoblot analiza

Nakon završenog transfera proteina sa gelova na PVDF membrane, urađena je imunoblot analiza prema Momčilović i Ristić (2007). Blotovi su blokirani potapanjem u 10% rastvoru obranog mleka u T-PBS puferu sa dodatkom 0,05% Tween 20 preko noći na +4 °C. Blotovi su nakon blokiranja prvo isprani sa čistim T-PBS puferom a potom su inkubirani 2 h u rastvoru primarnih antitela, na sobnoj temperaturi. Za imunoblot analizu, korišćena su poliklonalna anti-eEF1A (Bukovnik i sar., 2009), anti-HSP101 (Agrisera, Švedska), anti-HSP18 (Agrisera, Švedska) i anti-EF-Tu (Bhadula *et al.*, 2001) antitela. Anti-eEF1A je razblaženo 1:3000, anti-HSP8 i anti-HSP101 razblažena su u odnosu 1:2000, dok je anti-EF-Tu antitelo razblaženo 1:4000 u 5% rastvoru obranog mleka u T-PBS puferu. Nakon završene inkubacije u primarnim antitelima, blotovi su prvo isprani sa T-PBS puferom a potom su inkubirani 2 h, na sobnoj temperaturi u rastvoru sekundarnog antitela. Korišćena su anti-rabbit IgG-HRP (Sigma-Aldrich, Misuri, SAD) ili Cruz Marker MW Tag-HRP (Santa Cruz Biotechnology, Teksas, SAD) sekundarna antitela. Sekundarno antitelo anti-rabbit IgG-HRP razblaživano je u odnosu 1:20000, dok je sekundarno antitelo Cruz Marker MW Tag-HRP razblaživano u odnosu 1:1000 u 5% rastvoru obranog mleka u T-PBS puferu. Sekundarno antitelo Cruz Marker MW Tag-HRP korišćeno je kod onih blotova na kojima se nalazio Cruz Marker proteinski standard.

Detekcija proteina

Detekcija proteina izvršena je ECL metodom (ECL; eng. „Enhanced Chemiluminescence”, pojačana hemiluminiscencija) prema protokolu Vettermann i saradnika (2002). Pomoću kompjuterskog softvera ImageQuant (verzija 5.2, Molecular Dynamics, Kalifornija, SAD) određen je relativni volumen proteinskih traka.

3.3.4. Izolovanje ukupnih RNK molekula iz listova žitarica

Ukupna količina RNK iz listova analiziranih sorti žitarica, izolovana je modifikovanom metodom prema Chomezynski i Sacchi (1987). Princip ekstrakcije RNK zasnovan je na reakciji fenol/hloroform, što je dovelo do stvaranja vodene faze u kojoj se nalazila ne razgrađena RNK. Biljno tkivo (50 mg) je homogenizovano u tečnom azotu uz dodatak 1 ml TRIzol reagensa (Thermo Fisher Scientific, SAD). Uzorci su vorteksovani 15 sekundi, zatim su inkubirani 5 min na sobnoj temperaturi, nakon čega su centrifugirani 10 min na 4 °C. Supernatant je sipan u novu epruvetu u koju je dodato 200 µl hloroforma i potom je inkubiran 3 minuta na sobnoj temperaturi. Nakon inkubacije supernatant je centrifugiran na 12000 rcf, 15 minuta na 4 °C. Posle centrifugiranja, gornja faza sa RNK slojem je prebačena u novu epruvetu u koju je dodato 500 µl izopropanola. Uzorci su inkubirani na sobnoj temperaturi 10 minuta, a potom su centrifugirani na 12000 rcf, 10 minuta na 4 °C. Supernatant je uklonjen, a talogu u kome se nalazi RNK je dodato 1 ml 75% etanola. Rastvor RNK u etanolu je centrifugiran na 7500 rcf, 5 minuta na 4 °C. Talog sa RNK je sušen na sobnoj temperaturi i potom rastvoren u 50 µl tretirane DEPC Milli-Q vode. Uzorci su nakon ekstrakcije čuvani na -80 °C do analize.

3.3.4.1 Koncentracija i provera kvaliteta izolovane RNK

Koncentracije i provera kvaliteta izolovane RNK su urađeni merenjem na Eppendorf BioPhotometer plus aparatu pri talasnim dužinama od A260/A280 i A260/A230. Provera je urađena kako bi se utvrdila koncentracija izolovane RNK i kako bi se procenila svaka moguća kontaminacija proteinima, organskim rastvaračima, solima, ugljenim hidratima itd.

3.3.4.2. Reverzna transkripcija

Za transkripciju jednolančane RNK u komplementarnu DNK (cDNK), pomoću enzima reverzne transkriptaze, korišćen je cDNK Kit za reverznu transkripciju velikog kapaciteta (Applied Biosystems, Kalifornija, SAD). Reakciona smeša je pravljena prema uputstvu proizvođača i sadržala je 2 μ l 10x RT (reverzna transkripcija) pufera, 0,8 μ l dNTP smeše (deoksiribonukleotid trifosfat, koncentracije 5 mM), 2 μ l oligo-dT (deoksitimidin) prajmera, 12,2 μ l vode, 1 μ l enzima reverzne transkriptaze i 2 μ l izolovanih uzoraka RNK (koncentracija od 1 μ g/ μ l). Uzorci su stavljani u Eppendorf Mastercycler PCR koji je programiran u skladu sa uputstvima proizvođača. Uzorci cDNA čuvani su na -80 °C do analize.

3.3.5. Određivanje nivoa ekspresije eEF1A gena metodom kvantitativnog PCR-a (qPCR)

Svi qPCR (kvantitativni PCR) eksperimenti izvedeni su primenom kvantitativnog sistema u realnom vremenu (Applied Biosystems 7500/7500 Fast Real-Time PCR Software v2.0; Applied Biosystems, Kalifornija, SAD). Sva pojačanja su rađena pomoću SYBR Green PCR Master Mix reagenasa (Applied Biosystems, Kalifornija, SAD). Svaka reakcija (20 μ l reakcione smeše) sadržala je 10 μ l SYBR Green PCR Master Mix, 1 μ l prajmera i 1 μ l reverznog prajmera (5 pmol/ μ l), 2 μ l cDNA i 7 μ l vode bez nukleaze. Uključena je PCR negativna kontrola koja sadrži vodu bez nukleaze umesto cDNA i 2RT kontrola koja sadrži 2RT reakciju umesto cDNA. Uslovi termičkog ciklusa obuhvatali su početni korak denaturacije na 95 °C tokom 10 minuta, praćen sa 40 ciklusa na 95 °C tokom 30 sekundi, na 58 °C tokom 30 sekundi i na 72 °C tokom 30 sekundi. Analiza krive topljenja svakog qPCR sprovedena je nakon svakog ciklusa. Da bismo analizirali rezultate qPCR, koristili smo relativnu kvantitativnu metodu koja se zasniva na utvrđivanju nivoa ekspresije ciljnog gena naspram referentnih gena („housekeeping“ gen). U ovom eksperimentu su analizirane ekspresije GAPDH (kao „housekeeping“, referentni gen) i eEF1A gena. Da bismo izračunali ekspresiju ciljnog gena u odnosu na referentni gen, korišćena je $2^{-\Delta\Delta C_t}$ metoda (Livaka i Schmittgen, 2001; Wong i Medrano, 2005). Genom specifični prajmeri prikazani su u Tabeli 3. Rezultati su izraženi kao srednja vrednost dve nezavisne analize.

Tabela 3. Gen specifični prajmeri i njihove karakteristike

Prajmeri		M	OD _{260nm}	Tm	nmol	BP
GAPDH (Gliceraldehid-3-fosfat dehidrogenaza)	„Forward“ CGTGATGGGTGTCAACGAGA	6,222	5,0	60	24,8	20
	„Reverse“ GCTGCTGGGGATGATGTTCT	6,195	5,5	60	29,9	20
eEF1a (eukariotski elongacioni faktor)	„Forward“ AGGCTGACTGTGCTGTTC	5,522	3,8	56	23,1	18
	„Reverse“ AGATGGGGACGAAGGGA	5,373	4,2	55	22,6	17

M - molekulska masa; Tm - temperatura topljenja prajmera; OD_{260nm} - Količina svetlosti na talasnoj dužini od 260 nm koju će apsorbovati ako se resuspenduje u 1 ml vode; BP - bazni parovi.

3.3.6. Spektrofotometrijsko određivanje aktivnosti antioksidativnih enzima

3.3.6.1. Određivanje aktivnosti katalaze

Aktivnost enzima katalaze je određena spektrofotometrijski, metodom prema Aebi (1984). Metoda se zasniva na praćenju promene apsorbance usled smanjivanja količine vodonik peroksida pri delovanju enzima katalaze.

Reakciona smeša napravljena je neposredno pre merenja enzimske aktivnosti i sadržala je 50 mM kalijum-fosfatnog pufera pH vrednosti 7 i 0,01 M vodonik peroksida koji je dodat neposredno pre očitavanja. U kvarcnu kivetu je odmereno 1920 μ l reakcione smeše, a reakcija je započeta dodavanjem 80 μ l proteinskog ekstrakta. Promena apsorbance je praćena na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.) svakih 10 sekundi u toku jednog minuta na talasnoj dužini od 240 nm. Svaki uzorak izmeren je u tri ponavljanja. Ukupna aktivnost enzima katalaze izračunata je prema obrascu i prikazana je kao promena apsorbance u minuti po gramu sveže mase (min/g s.m.)

$$\text{Aktivnost katalaze (240nm)} = X \times Y \times V_u \times V_f / m \times V_a \text{ [min/g s.m.]}$$

X = srednja vrednost razlika u promeni apsorbance u određenom vremenskom intervalu

Y = faktor potreban za izražavanje promene apsorbance u minuti

V_u = ukupni volumen proteinskog ekstrakta

m = masa sveže biljke u gramima

V_a = volumen merenog alikvota proteinskog ekstrakta

V_f = konačni volumen reakcione smeše i alikvota uzorka u kiveti za merenje

3.3.6.2. Određivanje aktivnosti askorbat peroksidaze

Aktivnost enzima askorbat peroksidaze je određena spektrofotometrijski, metodom prema Nakano i Asada (1981). Metoda se zasniva na praćenju promene apsorbance usled oksidacije askorbinske kiseline pri delovanju enzima askorbat peroksidaze.

Reakciona smeša napravljena je neposredno pre merenja enzimske aktivnosti i sadržala je 0,05 M KH₂PO₄, 0,05 M K₂HPO₄, 0,1 mM EDTA, 5 mM askorbinske kiseline i 12 mM vodonik peroksida (dodat neposredno pre merenja). Reakciona smeša je podešena na pH vrednost 7. U kivetu od kvarcnog stakla sipano je 1940 μ l reakcione smeše, a reakcija je započeta dodavanjem 60 μ l proteinskog ekstrakta. Promena apsorbance praćena je na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.) pri talasnoj dužini od 290 nm svake sekunde u toku jednog minuta. Svaki uzorak izmeren je u tri ponavljanja. Ukupna aktivnost enzima askorbat peroksidaze je prikazana kao promena apsorbance u minutu po gramu sveže mase (min/g s.m.) i izračunata je prema prikazanom obrascu.

$$\text{Aktivnost askorbat peroksidaze (290nm)} = X \times Y \times V_u \times V_f / m \times V_a \text{ [min/g s.m.]}$$

X = srednja vrednost razlika u promeni apsorbance u određenom vremenskom intervalu

Y = faktor potreban za izražavanje promene apsorbance u minuti

V_u = ukupni volumen proteinskog ekstrakta

m = masa sveže biljke u gramima

V_a = volumen merenog alikvota proteinskog ekstrakta

V_f = konačni volumen reakcione smeše i alikvota uzorka u kiveti za merenje

3.3.6.3. Određivanje aktivnosti gvajakol peroksidaze

Enzim gvajakol peroksidaza vrši redukciju vodonik peroksida do vode i u tom procesu koristi gvajakol kao donor elektrona. Gvajakol se oksiduje i prelazi u tetragvajakol.

Aktivnost enzima gvajakol peroksidaze je određena spektrofotometrijski, metodom prema Siegel i Galston (1967). Metoda se zasniva na praćenju promene apsorbance usled oksidacije gvajakola pri delovanju enzima gvajakol peroksidaze pri čemu se formira žuto-smeđi tetragvajakol (Slika 25). Reakciona smeša napravljena je neposredno pre merenja enzimske aktivnosti i sadržala je 5 mM gvajakola, 0,2 M $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \times 12 \text{H}_2\text{O}$, 0,2 M KH_2PO_4 i 5 mM vodonik peroksida koji je dodat neposredno pre merenja. Reakciona smeša je podešena na pH vrednost 5,8. U kivetu od kvarcnog stakla sipano je 1960 μl reakcione smeše, a reakcija je započeta dodavanjem 40 μl proteinskog ekstrakta. Promena apsorbance praćena je na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.) svake sekunde u trajanju od jednog minuta na talasnoj dužini od 470 nm. Svaki uzorak izmeren je u tri ponavljanja. Ukupna aktivnost enzima gvajakol peroksidaze je prikazana kao promena apsorbance u minutu po gramu sveže mase (min/g s.m.) i izračunata je prema obrascu prikazanom za enzim katalazu.

$$\text{Aktivnost gvajakol peroksidaze (470nm)} = X \times Y \times V_u \times V_f / m \times V_a \text{ [min/g s.m.]}$$

X = srednja vrednost razlika u promeni apsorbance u određenom vremenskom intervalu

Y = faktor potreban za izražavanje promene apsorbance u minuti

V_u = ukupni volumen proteinskog ekstrakta

m = masa sveže biljke u gramima

V_a = volumen merenog alikvota proteinskog ekstrakta

V_f = konačni volumen reakcione smeše i alikvota uzorka u kiveti za merenje

3.3.7. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije prolina

Sadržaj prolina je određen spektrofotometrijski prema metodi opisanoj od strane Bates i saradnika (1973). Metoda je zasnovana na reakciji ninhidrina (2,2-Dihidroksi-1,3-indadion) sa ekstrahovanim prolinom pri čemu nastaje obojenje čiji je intenzitet proporcionalan koncentraciji prolina u uzorku.

Biljno tkivo je homogenizovano u porculanskom avanu (prethodno sterilizovanom) sa 3% rastvorom sulfosalicilne kiseline, nakon čega je homogenat profiltriran. Filtratu je dodat ninhidrinski reagens i glacijalna sirćetna kiselina. Nakon homogenizacije, vršena je inkubacija na 100°C u trajanju od 1h.

Reakcija je prekinuta prenošenjem epruveta na led, nakon čega je dodat toluen uz mešanje. Nakon odvajanja toluenskog sloja od vodene faze, sloj toluena s prolinom je izdvojen (Slika 26), prebačen u kivetu i spektrofotometrijski je izmerena apsorbance na talasnoj dužini od 520 nm.

Očitavanje apsorbanci je vršeno na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd). Kao blank, korišćen je čist toluen. Koncentracija prolina je određena iz standardne krive pripremljene sa poznatim koncentracijama prolina, na isti način kao uzorak. Koncentracija prolina predstavljena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase (s.m.). Svaki uzorak je izmeren u tri ponavljanja.

3.3.8. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije malondialdehida

Stepen lipidne peroksidacije je određen spektrofotometrijski metodom prema Heath i Packer (1968), merenjem koncentracije reaktivnih supstanci tiobarbituratne kiseline (malondialdehida - MDA).

Listovi analiziranih sorti žitarica su homogenizovani u porculanskom avanu (prethodno sterilisanom) sa tečnim azotom do pojave finog praha. Ekstrakcija je vršena na 0,2 g izdvojenog fino usitnjenog biljnog materijala kome je dodat 1 ml 0,1% trihlorsirćetne kiseline (TCA), nakon čega je sadržaj centrifugiran (Eppendorf Centrifuga 5418 R; Eppendorf, Hamburg, Nemačka) 5 minuta na 10400 rpm na 4 °C. Izdvojeno je 0,5 ml supernatanta i dodat je 1 ml reagensa za određivanje malondialdehida (0,5% tiobarbituratna kiselina u 20% trihlorsirćetnoj kiselini).

Nakon ekstrakcije dobijeni supernatant je korišćen za spektrofotometrijsko očitavanje na talasnim dužinama od 532 i 600 nm. Očitavanje je vršeno na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.). Kao blank je korišćen čist reagens za određivanje malondialdehida. Koncentracija produkata lipidne peroksidacije izračunata je primenom formule i predstavljena je kao koncentracija reaktivnih supstanci tiobarbituratne kiseline (malondialdehida - MDA) po gramu sveže mase ($\mu\text{mol/g}$ sveže mase). Svaki uzorak je izmeren u tri ponavljanja.

$$\text{TBARS} = [(A_{532} - A_{600})/155] \cdot 1000 \cdot 1.5$$

Gde je:

TBARS - koncentracija reaktivnih supstanci tiobarbituratne kiseline

A 532 - apsorbance očitana na 532 nm

A 600 - apsorbance očitana na 600 nm

155 - ekstinkcijski koeficijent

1000 - 1 μmol u 1000 ml

1.5 - 1.5 ml je reakciona smeša koja je korišćena za očitavanje vrednosti

3.3.9. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije fotosintetičkih pigmenata

Određivanje koncentracije fotosintetičkih pigmenata (hlorofil *a*, hlorofil *b*, ukupni hlorofil i karotenoidi) vršena je spektrofotometrijski metodom prema Đukić (2013).

Ekstrakcija fotosintetičkih pigmenata vršena je pomoću acetona. U porcelanski avan je dodata odgovarajuća količina lista analiziranih sorti žitarica, nakon čega je sipano 5-10 ml acetona i mala količina kvarcnog peska kako bi se pospešila homogenizacija. Homogenizacija je vršena u tamnoj prostoriji zbog fotosenzibilnosti samih pigmenata. Prilikom homogenizacije, dodata je mala količina magnezijum karbonata (MgCO_3) kako bi se sprečilo zakišeljavanje rastvora. Homogenat bogat pigmentima se zatim filtrira u normalni sud od 25 ml koji se dopuni acetonom do ukupne zapremine od 25 ml. Apsorbance fotosintetičkih pigmenata su očitane na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.), na talasnim dužinama od 662 nm, 644 nm i 440 nm. Količine hlorofila *a*, hlorofila *b* i karotenoida izračunate su korišćenjem formule Holm-a (1954) i Wettstein-a (1957) ($\mu\text{g/ml}$):

$$\text{Hlorofil } a = 9,784 \cdot A_{662} - 0,990 \cdot A_{644}$$

$$\text{Hlorofil } b = 21,426 \cdot A_{644} - 4,650 \cdot A_{662}$$

Karotenoidi = $4,695 \cdot A_{440} - 0,268 \cdot (\text{sadržaj hlorofila } a + \text{sadržaj hlorofila } b)$;

A - apsorpcija pri odgovarajućoj talasnoj dužini

Vrednosti 9,784, 0,990, 21,426, 4,650 i 0,268 su molarni koeficijenti apsorpcije prema Holm-u (1954) i Wettstein-u (1957).

Konačni rezultat je dobijen kao srednja vrednost tri nezavisna merenja.

3.3.10. Spektrofotometrijsko određivanje koncentracije skroba

Određivanje koncentracije skroba je vršeno spektrofotometrijski metodom prema Hansen i Moller (1975). Prvo se rastvorljivi šećeri ekstrahuju pomoću etanola, a potom se skrob izoluje pomoću kiseline. Nakon izolacije, antronskom reakcijom se određuje koncentracija skroba.

Izolacija skroba

Skrob je izolovan iz zrna analiziranih sorti žitarica. Korišćena su osušena zrna koja su samlevena do finog praha. Određena količina samlevenih uzoraka je prebačena u kivetu od 10 ml, a izolacija je vršena sa dve serije ispiranja sa 80% etanolom, nakon čega je sadržaj profiltriran. Supernatantu je dodata 1,1% HCl, nakon čega je vršena inkubacija na 100 °C u trajanju od 30 minuta. Nakon inkubacije, rastvor je ohlađen na sobnoj temperaturi, a supernatant je čuvan do daljih analiza.

Antronska reakcija

Antronski reagens je sadržao 1 g antrona rastvorenog u 500 ml 72% sumporne kiseline. Odpipetiran je 1 ml prethodno pripremljenog test uzorka u kivetu od 10 ml, kome je dodato 5 ml ohlađenog antronskog reagensa. Vršena je inkubacija u vodenom kupatilu 11 minuta na 100 °C, nakon čega je reakcija prekinuta na ledu. Apsorbance su očitavane na spektrofotometru Metash 5100B UV-visible (Shanghai Metash Instruments Co., Ltd.) na 630 nm u roku od 1 h. Koncentracija skroba je određena iz standardne krive, koja je konstruisana na osnovu očitane apsorbanse standarda skroba, pripremljenih na isti način kao uzorak. Kao blank je korišćen čist antronski reagens. Konačni rezultat skroba je prikazan kao procenat u odnosu na suhu masu zrna i dobijen je kao srednja vrednost tri nezavisna merenja.

3.3.11. Količina suve mase zrna i lista

Metode određivanja količine suve mase zasnivaju se na sušenju uzoraka do konstantne mase u raznim vrstama sušnica, pod običnim ili smanjenim pritiskom. Sušenje se vrši do konstantne mase, odnosno sve dok se masa ostatka posle sušenja više ne smanjuje. Izračunavanje sadržaja suve mase uzorka se vrši na osnovu razlike u masi uzorka pre i posle sušenja.

Količina suve mase zrna i lista utvrđena je na biljnom uzorku prikupljenom sa pet različitih biljaka za svaku sortu. Kako bi se procenilo nakupljanje suve materije, biljni materijal je prvo sušen na sobnoj temperaturi, nakon čega je osušen u sušnici na 70 °C do konstantne težine. Nakon preliminarne pripreme uzoraka, merenje zrna analiziranih sorti žitarica je vršeno

na analitičkoj vagi sa tačnošću od 0,0001 gram (Radwag AS 220.r2, Radom, Poljska). Na osnovu pet nezavisnih merenja za svaku sortu, izračunate su srednje vrednosti, na osnovu kojih je dobijen konačni procenat suve materije (Sharma *et al.*, 2012).

Procenat suve materije dobijen je prema obrascu:

$$\text{Sadržaj vode} = \frac{a \times 100}{OKU} \%$$

a – razlika u masi posude sa uzorkom pre i posle sušenja
 OKU – odmerena količina svežeg uzorka (g)

3.3.12. Elementi prinosa

Žetva žitarica na eksperimentalnom polju izvršena je u fazi pune zrelosti analiziranih sorti žitarica, krajem juna 2016., 2017. i 2018. godine. Posle žetve, određen je prinos u kilogramima po hektaru, hektolitarska masa, težine suve mase zrna i broj zrna po klasu. Elementi prinosa su utvrđeni na biljnom uzorku prikupljenom sa površine od 1 m², u tri ponavljanja standardnim metodama (Kaluderski i Filipović, 1998).

3.4. Statistička analiza podataka

Statistička analiza podataka izvršena je korišćenjem SPSS programa (IBM SPSS Statistics, Verzija 20, Inc. 1989-2011, International Business Machines Corporation, Njujork, SAD). Analizirani podaci su prikazani kao srednje vrednosti \pm standardna greška. Statistička analiza izvedena je analizom varijansi (ANOVA) sa stepenom značajnosti $p \leq 0,05$, a zatim Fisher-ovim LSD (eng. „least significant difference“) testom radi poređenja grupa, a korišćen je i Newman-Keul's test za utvrđivanje homogenih grupa na nivou značajnosti od $p \leq 0,05$. Takođe je urađen i upareni T test sa stepenom značajnosti $p \leq 0,05$, kako bi se utvrdilo postojanje statistički značajne razlike među određenim analiziranim podacima. Nakon statističke obrade, grafička obrada podataka izvršena je korišćenjem računarskog programa Microsoft Office Excel, verzija 16.13 (Microsoft Corporation, Vašington, SAD).

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

4.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina

Analiza koncentracije ukupnih solubilnih proteina rađena je u listovima zastavičarima deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u uslovima umerenih temperatura vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018..

4.1.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2016.

Rezultati merenja sadržaja ukupnih solubilnih proteina u listu zastavičaru ispitivanih sorti žitarica, prikazani su u Tabeli 4 i Grafiku 1. U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature vazduha u toku vegetacione sezone 2016., sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 9,75 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ do 12,85 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (Tabela 4). Najveći sadržaj proteina među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature vazduha pronađen je u sorti tritikalea *Odisej* sa sadržajem od 12,85 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Među ostalim analiziranim sortama žitarica, visok sadržaj proteina je pronađen i u sortama *Avenu* (11,84 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Simonida* (11,38 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Nikol* (11,09 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Najniži sadržaj proteina je utvrđen u sorti ovsu *Jadar* (9,75 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i sorti pšenice *Hystar* (10,39 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima umerene temperature iznosila je 11,05 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

U uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2016., među analiziranim sortama žitarica sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 3,20 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (kod sorte ovsu *Jadar*) do 7,41 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (kod sorte pšenice *Hystar*). Među ostalim analiziranim sortama žitarica u uslovima toplotnog stresa, visok sadržaj proteina uočen je kod sorti pšenice *Pobeda* (7,25 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Zvezdana* (6,96 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), kod sorte tritikalea *Odisej* (6,79 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i kod sorte pšenice *Ortegas* (6,07 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Sorta kod koje je uočen nizak sadržaj proteina u uslovima toplotnog stresa je sorta pšenice *NS40S* (4,28 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima toplotnog stresa iznosila je 5,90 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

Tabela 4. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2016. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.

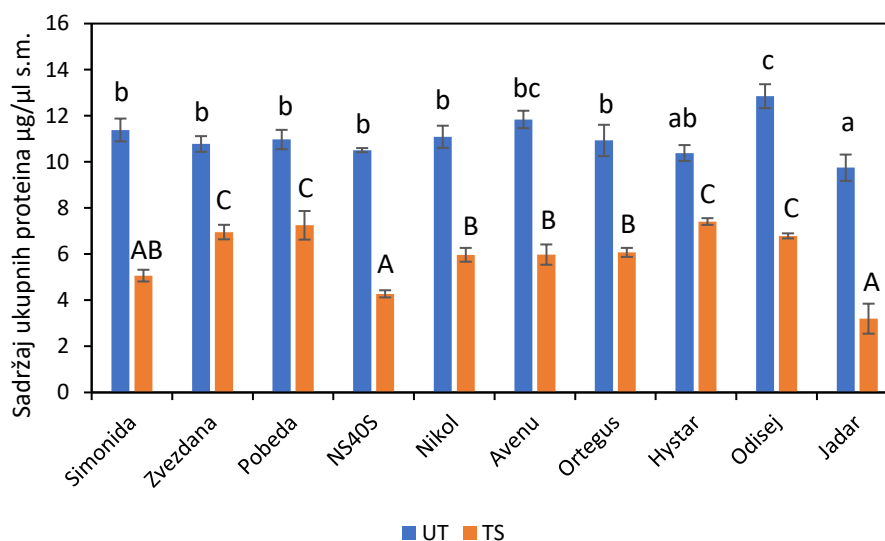
Sorta	UT	TS	Smanjenje proteina, %
<i>Simonida</i>	11,38 ± 0,50	5,07 ± 0,26	55,50
<i>Zvezdana</i>	10,78 ± 0,34	6,96 ± 0,32	35,45
<i>Pobeda</i>	10,97 ± 0,42	7,25 ± 0,62	33,91
<i>NS40S</i>	10,51 ± 0,09	4,28 ± 0,16	59,31
<i>Nikol</i>	11,09 ± 0,48	5,97 ± 0,30	46,17
<i>Avenu</i>	11,84 ± 0,38	5,98 ± 0,44	49,49
<i>Ortegas</i>	10,93 ± 0,68	6,07 ± 0,20	44,42
<i>Hystar</i>	10,39 ± 0,35	7,41 ± 0,15	28,60
<i>Odisej</i>	12,85 ± 0,52	6,79 ± 0,11	47,16
<i>Jadar</i>	9,75 ± 0,57	3,20 ± 0,65	67,17
Prosek	11,05	5,90	46,72

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Na osnovu analize sadržaja proteina uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2016., uočeno je značajno smanjenje vrednosti sadržaja proteina ($p < 0,05$) u toku toplotnog

stresa u poređenju sa sadržajem proteina u uslovima umerene temperature vazduha. Najveće smanjenje sadržaja proteina u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte ovsa *Jadar* (67,17%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja proteina su sorte pšenice *Simonida* (55,50%) i *NS40S* (59,31%). Sorte kod kojih je uočen značajniji pad ukupnih sadržaja proteina su sorte pšenice *Avenu* (49,49%), *Odisej* (47,16%), *Nikol* (46,17%) i *Ortegas* (44,42%). Sorta kod koje je uočen najmanji pad sadržaja proteina je sorta pšenice *Hystar* (28,60%). Sorte kod kojih je uočen takođe manji pad vrednosti sadržaja ukupnih solubilnih proteina su sorte pšenice *Pobeda* (33,91%) i *Zvezdana* (35,45%). Prosečno smanjenje vrednosti sadržaja proteina u toplotnom stresu u poređenju sa umerenom temperaturom vazduha je iznosilo 46,72%.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnih solubilnih proteina dobijenih u toku vegetacione sezone 2016., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa su analizirane pomoću dvofaktorijalne analize varijansi (ANOVA), a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona (Grafik 1). Otkrivene su razlike između ispitivanih sorti pšenice u sadržaju ukupnih solubilnih proteina. U uslovima umerene temperature vazduha, rezultati analize su pokazali da se sorta ovsa *Jadar* statistički značajno ($p < 0,05$) razlikuje u odnosu na sve ostale analizirane sorte žitarica osim sorte pšenice *Hystar*. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena i između sorte tritikalea *Odisej* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *Avenu*. Sorte pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *NS40S*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *Hystar* i sorte tritikalea *Odisej*. Sorta pšenice *Simonida*, statistički se značajno razlikovala u poređenju sa sortama pšenice *NS40S*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *Hystar*, i sorte tritikalea *Odisej*, kao i sa sortom ovsa *Jadar*.



Grafik 1. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2016. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

4.1.2. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2017.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature vazduha u toku vegetacione sezone 2017., sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 10,65 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ do 13,15 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (Tabela 5). Najveći sadržaj proteina među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature vazduha pronađen je u sorti tritikalea *Odisej* sa sadržajem od 13,15 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Među ostalim analiziranim sortama žitarica, visok sadržaj proteina je pronađen i u sortama *Avenu* (12,73 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Simonida* (12,33 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Nikol* (12,08 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Najniži sadržaj proteina je utvrđen u sorti ovsa *Jadar* (10,65 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i sorti pšenice *Hystar* (10,70 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima umerene temperature iznosila je 11,67 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

U uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017., među analiziranim sortama žitarica sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 4,25 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (kod sorte ovsa *Jadar*) do 9,09 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (kod sorte pšenice *Zvezdana*). Među analiziranim sortama žitarica u uslovima toplotnog stresa, visok sadržaj proteina uočen je i kod sorti pšenice *Pobeda* (8,19 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Hystar* (7,87 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Ortegius* (7,08 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Nikol* (7,03 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (7,21 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Sorta kod koje je uočen nizak sadržaj proteina u uslovima toplotnog stresa je sorta pšenice *NS40S* (5,15 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima toplotnog stresa iznosila je 6,84 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

Tabela 5. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.

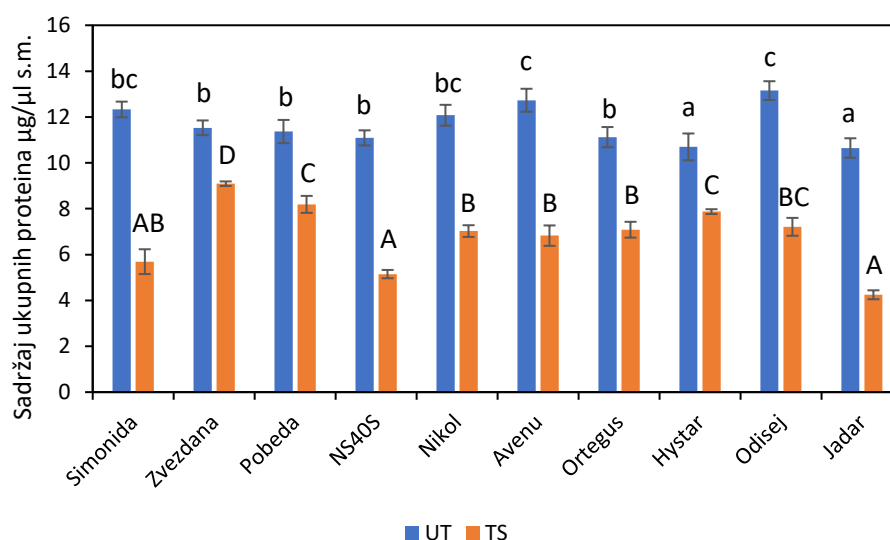
Sorta	UT	TS	Smanjenje proteina, %
<i>Simonida</i>	12,33 \pm 0,34	5,69 \pm 0,54	53,84
<i>Zvezdana</i>	11,53 \pm 0,32	9,09 \pm 0,10	21,16
<i>Pobeda</i>	11,37 \pm 0,51	8,19 \pm 0,37	27,96
<i>NS40S</i>	11,09 \pm 0,33	5,15 \pm 0,18	53,57
<i>Nikol</i>	12,08 \pm 0,46	7,03 \pm 0,26	41,83
<i>Avenu</i>	12,73 \pm 0,50	6,83 \pm 0,45	46,38
<i>Ortegius</i>	11,12 \pm 0,44	7,08 \pm 0,35	36,31
<i>Hystar</i>	10,70 \pm 0,59	7,87 \pm 0,11	26,39
<i>Odisej</i>	13,15 \pm 0,41	7,21 \pm 0,39	45,17
<i>Jadar</i>	10,65 \pm 0,43	4,25 \pm 0,20	60,12
Prosek	11,67	6,84	41,27

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Na osnovu analize sadržaja proteina uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno smanjenje vrednosti sadržaja proteina ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem proteina u uslovima umerene temperature vazduha. Najveće smanjenje sadržaja proteina u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte ovsa *Jadar* (60,12%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja proteina su sorte pšenice *Simonida* (53,84%) i *NS40S* (53,57%). Sorte kod kojih je uočen značajniji pad ukupnih sadržaja proteina su sorta pšenice *Avenu* (46,38%), *Nikol* (41,83%) i sorta tritikalea *Odisej* (45,17%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja proteina su sorte pšenice *Ortegius* (36,31%), *Pobeda* (27,96%) i *Hystar* (26,39%). Sorte kod

koje je uočen najmanji pad sadržaja proteina je sorta pšenice *Zvezdana* (21,16%). Prosečno smanjenje vrednosti sadržaja proteina u toplotnom stresu u poređenju sa umerenom temperaturom vazduha je iznosilo 41,27%.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnih solubilnih proteina dobijenih u toku vegetacione sezone 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa su analizirane pomoću dvofaktorijalne analize varijansi (ANOVA), a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona (Grafik 2). Otkrivene su razlike između ispitivanih sorti pšenice u sadržaju ukupnih solubilnih proteina. U uslovima umerene temperature vazduha, rezultati analize su pokazali da se sorta ovsa *Jadar* i *Hystar* statistički značajno ($p < 0,05$) razlikuju u odnosu na sve ostale analizirane sorte žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena i između sorte tritikalea *Odisej* i sorte pšenice *Avenu* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *NS40S*, *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar* i sorte tritikalea *Odisej*.



Grafik 2. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2017. godini. Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljani rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

4.1.3. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u toku vegetacione sezone 2018.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature vazduha u toku vegetacione sezone 2018., sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 8,61 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ do 12,22 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ (Tabela 6). Najveći sadržaj proteina među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature vazduha pronađen je u sorti tritikalea *Odisej* (12,22 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Među ostalim analiziranim sortama žitarica, visok sadržaj proteina je pronađen i u sortama *Avenu* (11,25 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), *Simonida* (11,05 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Pobeda* (10,89 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Najniži sadržaj proteina je utvrđen u sorti ovsa *Jadar* (8,61 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$), sorti pšenice *NS40S* (10,21 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Hystar* (10,27 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja

vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima umerene temperature iznosila je 10,65 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

U uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2018., među analiziranim sortama žitarica sadržaj ukupnih solubilnih proteina se kretao od 2,57 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ do 6,80 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$. Među analiziranim sortama žitarica u uslovima toplotnog stresa, najveći sadržaj proteina je utvrđen kod sorte pšenice *Hystar* (6,80 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Visok sadržaj proteina uočen je i kod sorti pšenice *Zvezdana* (6,75 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i *Pobeda* (6,71 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Sorta kod koje je uočen nizak sadržaj proteina u uslovima toplotnog stresa je sorta pšenice *Simonida* (4,46 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Najniži sadržaj proteina u uslovima toplotnog stresa je pronađen kod sorte ovsa *Jadar* (2,57 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) i kod sorte pšenice *NS40S* (3,98 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnih solubilnih proteina u uslovima toplotnog stresa iznosila je 5,23 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$.

Tabela 6. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i smanjenje sadržaja proteina izraženo u %.

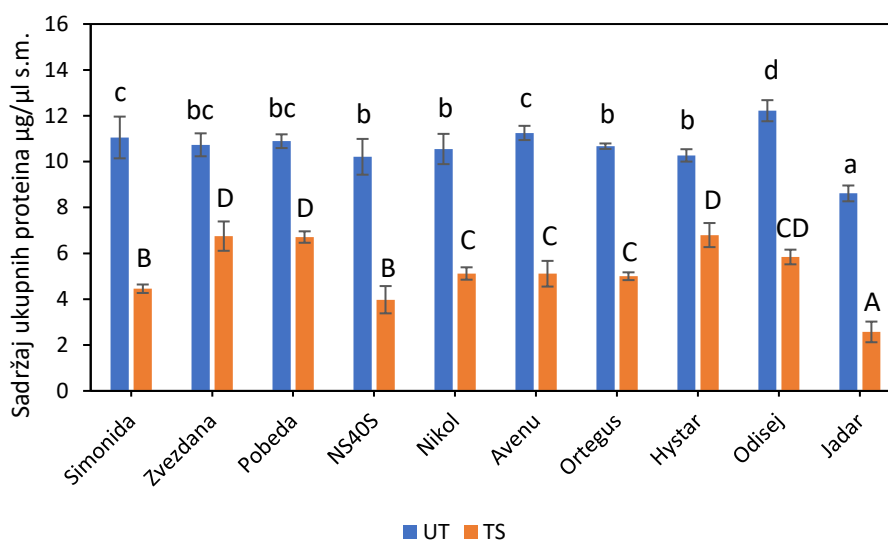
Sorta	UT	TS	Smanjenje proteina, %
<i>Simonida</i>	11,05 \pm 0,91	4,46 \pm 0,19	59,69
<i>Zvezdana</i>	10,73 \pm 0,50	6,75 \pm 0,64	37,11
<i>Pobeda</i>	10,89 \pm 0,30	6,71 \pm 0,25	38,38
<i>NS40S</i>	10,21 \pm 0,78	3,98 \pm 0,60	61,05
<i>Nikol</i>	10,55 \pm 0,66	5,12 \pm 0,27	51,47
<i>Avenu</i>	11,25 \pm 0,31	5,11 \pm 0,56	54,58
<i>Ortegas</i>	10,67 \pm 0,12	5,00 \pm 0,17	53,14
<i>Hystar</i>	10,27 \pm 0,27	6,80 \pm 0,53	33,83
<i>Odisej</i>	12,22 \pm 0,46	5,84 \pm 0,32	52,21
<i>Jadar</i>	8,61 \pm 0,35	2,57 \pm 0,45	70,14
Prosek	10,65	5,23	51,16

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Na osnovu analize sadržaja proteina uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno smanjenje vrednosti sadržaja proteina ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem proteina u uslovima umerene temperature vazduha. Najveće smanjenje sadržaja proteina u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte ovsa *Jadar* (70,14%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja proteina su sorte pšenice *NS40S* (61,05%) i *Simonida* (59,69%). Sorte kod kojih je uočen značajniji pad ukupnih sadržaja proteina su sorta pšenice *Avenu* (54,58%), *Ortegas* (53,14%), *Nikol* (51,47%) i sorta tritikalea *Odisej* (52,21%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja proteina su sorte pšenice *Pobeda* (38,38%) i *Zvezdana* (37,11%). Sorta kod koje je uočen najmanji pad sadržaja proteina je sorta pšenice *Hystar* (33,83%). Prosečno smanjenje vrednosti sadržaja proteina u toplotnom stresu u poređenju sa umerenom temperaturom vazduha je iznosilo 51,16%.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnih solubilnih proteina dobijenih u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa su analizirane pomoću dvofaktorijalne analize varijansi (ANOVA), a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona (Grafik 2). Otkrivene su razlike između ispitivanih sorti pšenice u

sadržaju ukupnih solubilnih proteina. U uslovima umerene temperature vazduha, rezultati analize su pokazali da se sorta ovsa *Jadar* statistički značajno ($p < 0,05$) razlikuje u odnosu na sve ostale analizirane sorte žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena i između sorte tritikalea *Odisej* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *NS40S*, *Hystar*, *Nikol* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. Takođe, sorte pšenice *Avenu* i *Simonida* se nisu međusobno značajno razlikovale. U uslovima toplotnog stresa, sorta ovsa *Jadar* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* se nisu međusobno značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* u poređenju sa sortama pšenice *Zvezdana*, *Pobeda*, *Hystar*, *Simonida* i *NS40S*. Između sorti pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar* nije pronađena značajna razlika kao ni između sorti pšenice *Simonida* i *NS40S*.



Grafik 3. Srednja vrednost koncentracije ukupnih solubilnih proteina u 2018. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

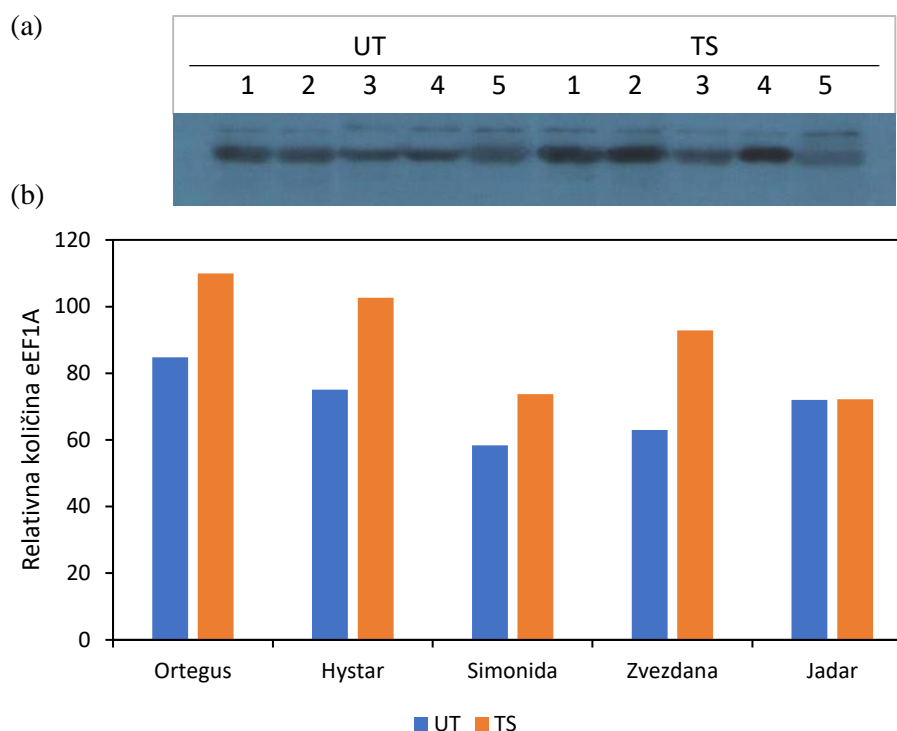
4.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A

Ekspresija eEF1A je ispitivana u listovima zastavičarima pet sorti žitarica (*Ortegas*, *Hystar*, *Simonida*, *Zvezdana* i *Jadar*) u uslovima toplotnog stresa i u uslovima umerenih temperatura vazduha u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018..

4.2.1. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2016.

U toku 2016. godine (Grafik 4a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Simonida* i *Zvezdana* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *Ortegas* i *Hystar* imale niži nivo eEF1A u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo eEF1A u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte

Simonida (Grafik 4b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo eEF1A je uočen kod sorte pšenice *Ortegas*. Visok nivo eEF1A je uočen i kod sorti pšenice *Hystar* i *Zvezdana*. Niži nivo eEF1A je uočen kod sorte pšenice *Simonida*, dok je najmanji nivo eEF1A u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte ovsa *Jadar*.



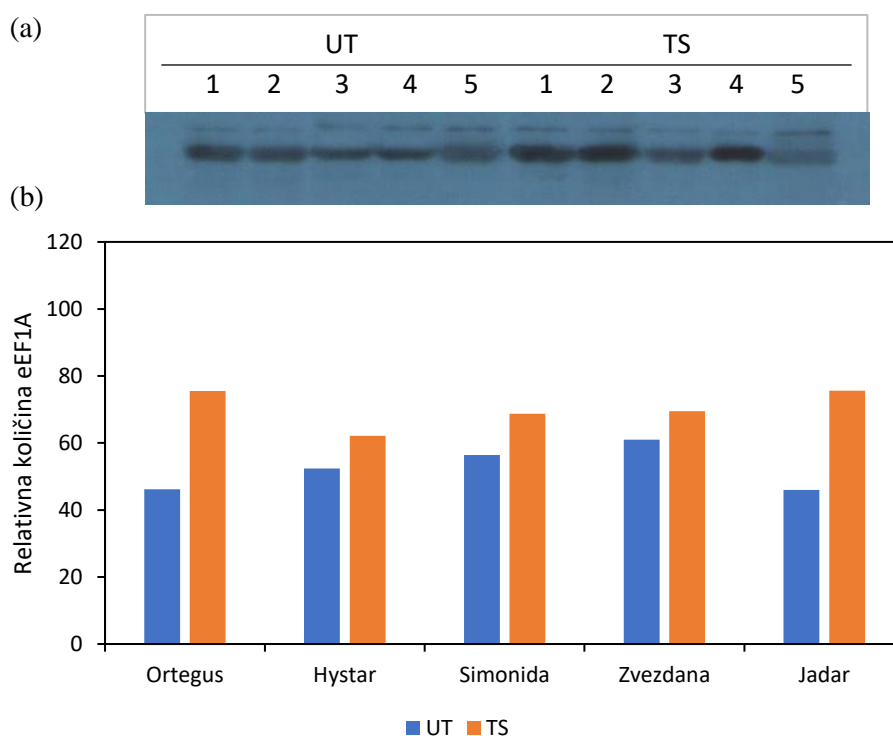
Grafik 4. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uparenim T testom je utvrđen statistički značajan porast eEF1A ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha kod četiri sorte žitarica. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (47%). Veći porast nivoa eEF1A (preko 30%) primećen je kod sorti pšenice *Hystar* i *Ortegas*. Kod sorte pšenice *Simonida* utvrđen je niži porast nivoa eEF1A (ispod 30%), dok kod sorte ovsa *Jadar* nije došlo do značajnog porasta nivoa eEF1A.

4.2.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2017.

U toku 2017. godine (Grafik 5a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorta pšenice *Ortegas* i sorta ovsa *Jadar*, u poređenju sa sortama pšenice *Zvezdana*, *Simonida* i *Hystar* imale niži nivo eEF1A u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo eEF1A u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice *Ortegas*, dok je najveći relativni nivo eEF1A uočen kod sorte pšenice *Zvezdana* (Grafik

5b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo eEF1A je uočen kod sorte ovsa *Jadar*. Visok nivo eEF1A je uočen kod sorti pšenice *Ortegas* i *Zvezdana*. Niži nivo eEF1A je uočen kod sorte pšenice *Simonida*, dok je najmanji nivo eEF1A u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Hystar*.



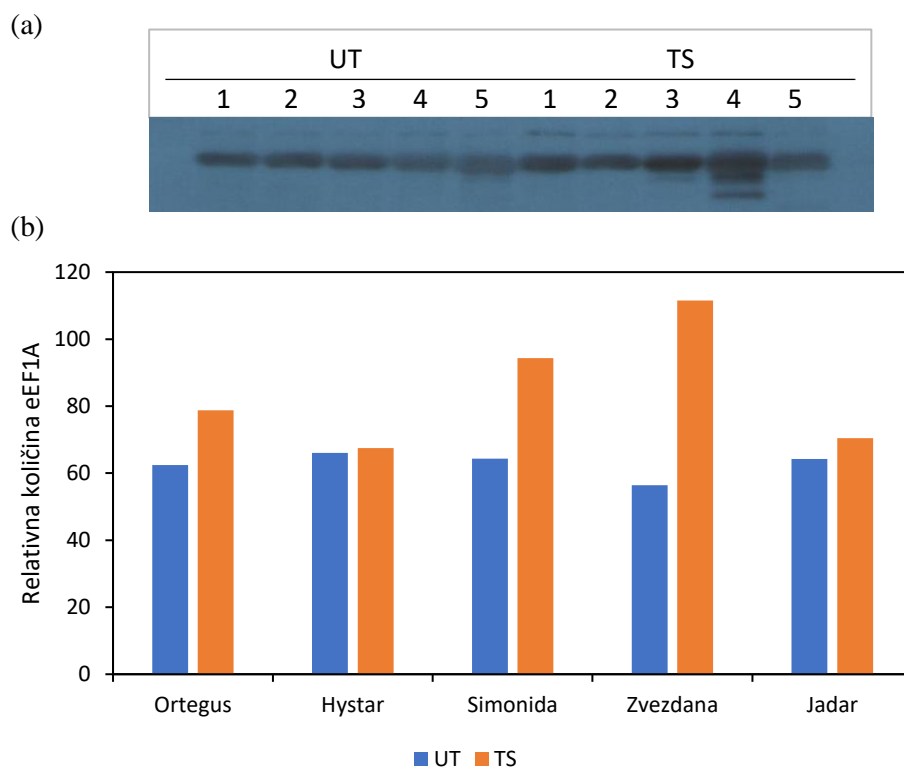
Grafik 5. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uporenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa eEF1A ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Ortegas* i sorte ovsa *Jadar* (veći od 60%). Veći porast nivoa eEF1A (preko 20%) primećen je kod sorte pšenice *Simonida*. Kod sorti pšenice *Hystar* i *Zvezdana* utvrđen je niži porast nivoa eEF1A (ispod 20%).

4.2.3. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A u toku vegetacione sezone 2018.

U toku 2018. godine (Grafik 6a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorta pšenice *Ortegas* i *Zvezdana*, u poređenju sa sortama pšenice, *Simonida*, *Hystar* i sortom ovsa *Jadar* imale niži nivo eEF1A u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo eEF1A u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*, dok je najveći relativni nivo eEF1A uočen kod sorte pšenice *Hystar* (Grafik 5b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo eEF1A je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok nivo eEF1A je uočen kod sorti pšenice *Simonida* i *Ortegas*. Niži nivo eEF1A je uočen

kod sorte ovsas *Jadar*, dok je najmanji nivo eEF1A u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Hystar*.



Grafik 6. Imunoblot analiza eEF1A u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-eEF1A antitelom (a). Relativne količine eEF1A procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine eEF1A u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

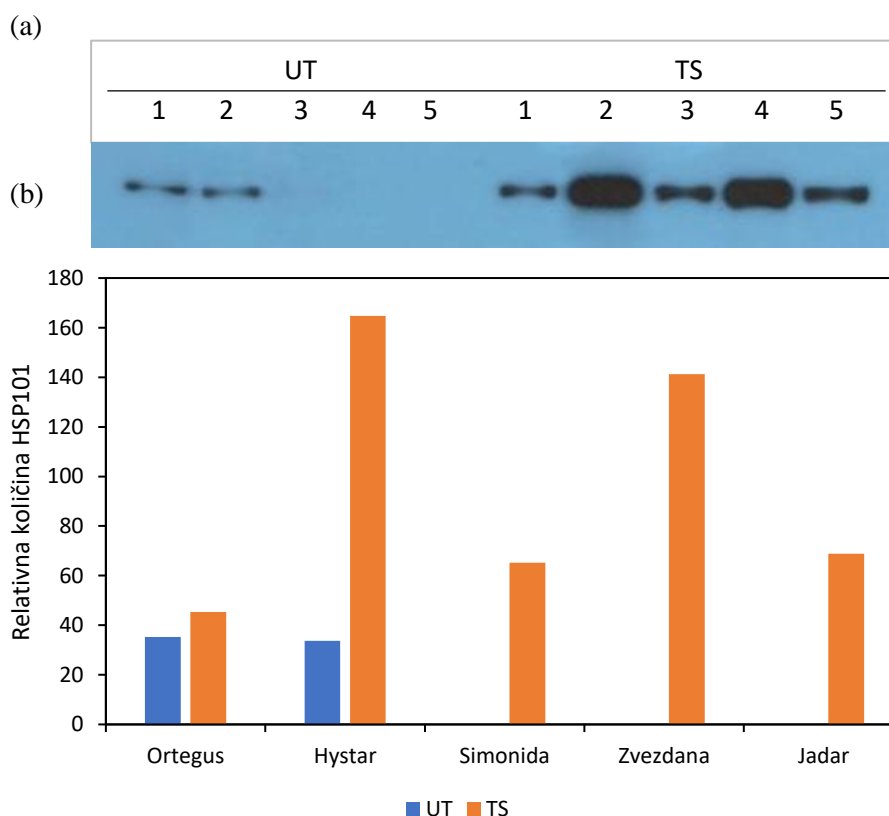
Značajan porast eEF1A u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha utvrđen je kod tri ispitivane sorte pšenice. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (98%). Veći porast nivoa eEF1A (preko 40%) primećen je kod sorte pšenice *Simonida*. Kod sorte pšenice *Ortegas* je uočen porast nivoa eEF1A od preko 20%. Nizak porast nivoa eEF1A (ispod 10%) je uočen kod sorte ovsas *Jadar* i dok je najniži porast nivoa eEF1A uočen kod sorte pšenice *Hystar* (ispod 5%).

4.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP101

Ekspresija HSP101 je ispitivana u listovima zastavičarima pet sorti žitarica (*Ortegas*, *Hystar*, *Simonida*, *Zvezdana* i *Jadar*) u uslovima toplotnog stresa i u uslovima umerenih temperatura vazduha u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018..

4.3.1. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2016.

U toku 2016. godine (Grafik 7a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorta pšenice *Ortegas* i *Hystar* u uslovima umerene temperature vazduha jedine indukovale HSP101. Relativni nivo HSP101 u uslovima umerene temperature vazduha je kod sorte pšenice *Ortegas* bio nešto viši u poređenju sa sortom pšenice *Hystar* (Grafik 7b). U uslovima toplotnog stresa, došlo je do indukcije HSP101 kod svih ispitivanih sorti žitarica. Najveći nivo HSP101 je uočen kod sorte pšenice *Hystar*. Visok nivo HSP101 je uočen i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Niži nivo HSP101 je uočen kod sorte ovasa *Jadar* i kod sorte pšenice *Simonida*, dok je najmanji nivo HSP101 u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Ortegas*.

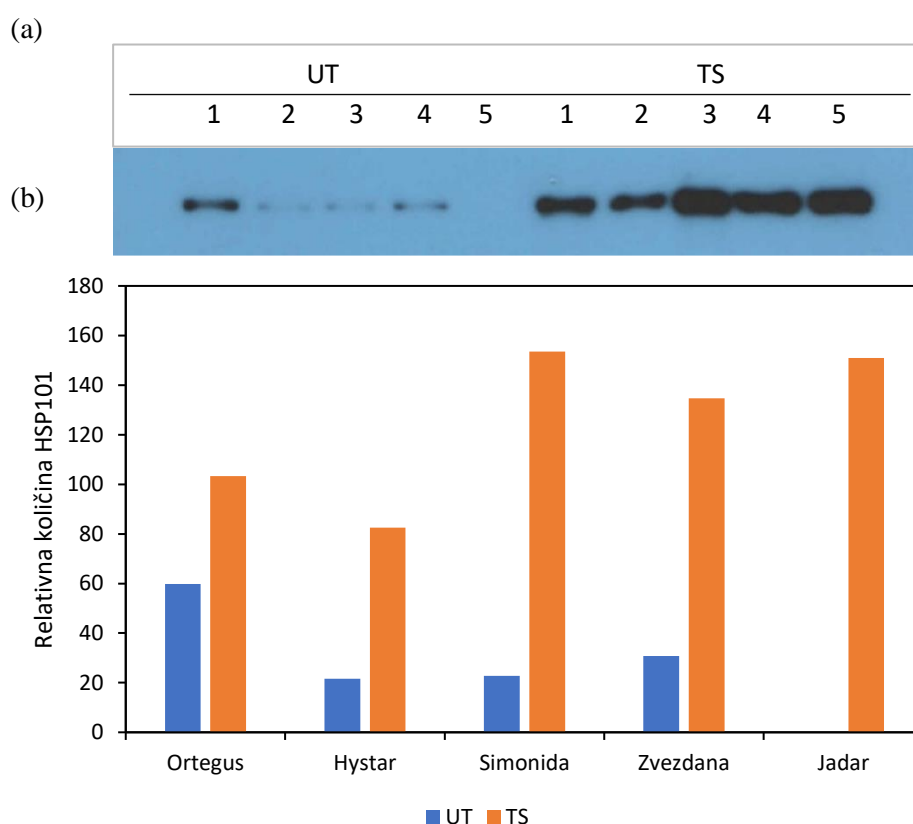


Grafik 7. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uporenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa HSP101 ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok porast nivoa HSP101 primećen je kod sorte pšenice *Hystar* kao i kod sorte pšenice *Simonida* i kod sorte ovasa *Jadar*. Najniži porast nivoa HSP101 je uočen kod sorte pšenice *Ortegas*.

4.3.2. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2017.

U toku 2017. godine (Grafik 8a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Ortegas*, *Hystar*, *Simonida* i *Zvezdana* u uslovima umerene temperature vazduha indukovale HSP101, dok indukcija HSP101 nije uočena kod sorte ovsa *Jadar*. Relativni nivo HSP101 u uslovima umerene temperature vazduha je kod sorte pšenice *Ortegas* bio viši u poređenju sa sortom pšenice *Hystar*, *Simonida* i *Zvezdana* (Grafik 8b). U uslovima toplotnog stresa, došlo je do indukcije HSP101 kod svih ispitivanih sorti žitarica. Najveći nivo HSP101 je uočen kod sorte pšenice *Simonida*. Visok nivo HSP101 je uočen i kod sorte ovsa *Jadar* i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Niži nivo HSP101 je uočen kod sorte i kod sorte pšenice *Ortegas*, dok je najmanji nivo HSP101 u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Hystar*.



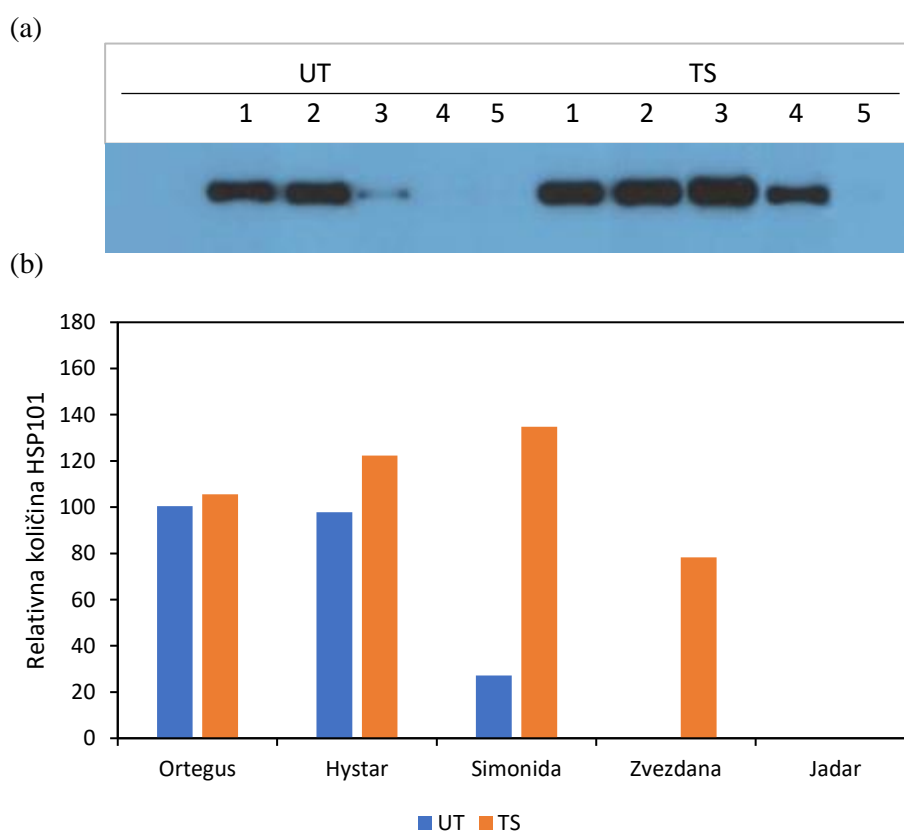
Grafik 8. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uporenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa HSP101 ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte ovsa *Jadar*. Visok porast nivoa

HSP101 primećen je kod sorti pšenice *Simonida* i *Zvezdana*. Kod sorte pšenice *Hystar* je uočen takođe značajan porast nivoa HSP101, dok je najniži porast nivoa HSP101 uočen kod sorte pšenice *Ortegas*.

4.3.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 u toku vegetacione sezone 2018.

U toku 2018. godine (Grafik 9a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Ortegas*, *Hystar*, *Simonida* u uslovima umerene temperature vazduha indukovale HSP101, dok indukcija HSP101 nije uočena kod sorte ovsa *Jadar* i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Relativni nivo HSP101 u uslovima umerene temperature vazduha je kod sorte pšenice *Ortegas* bio viši u poređenju sa sortom pšenice *Hystar* i *Simonida* (Grafik 9b). U uslovima toplotnog stresa, došlo je do indukcije HSP101 kod svih ispitivanih sorti žitarica osim kod sorte ovsa *Jadar*. Najveći nivo HSP101 je uočen kod sorte pšenice *Simonida*. Visok nivo HSP101 je uočen i kod sorte pšenice *Hystar* i *Ortegas*. Niži nivo HSP101 je uočen kod sorte kod sorte pšenice *Zvezdana*.



Grafik 9. Imunoblot analiza HSP101 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP101 antitelom (a). Relativne količine HSP101 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivala, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP101 u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS - toplotni stres.

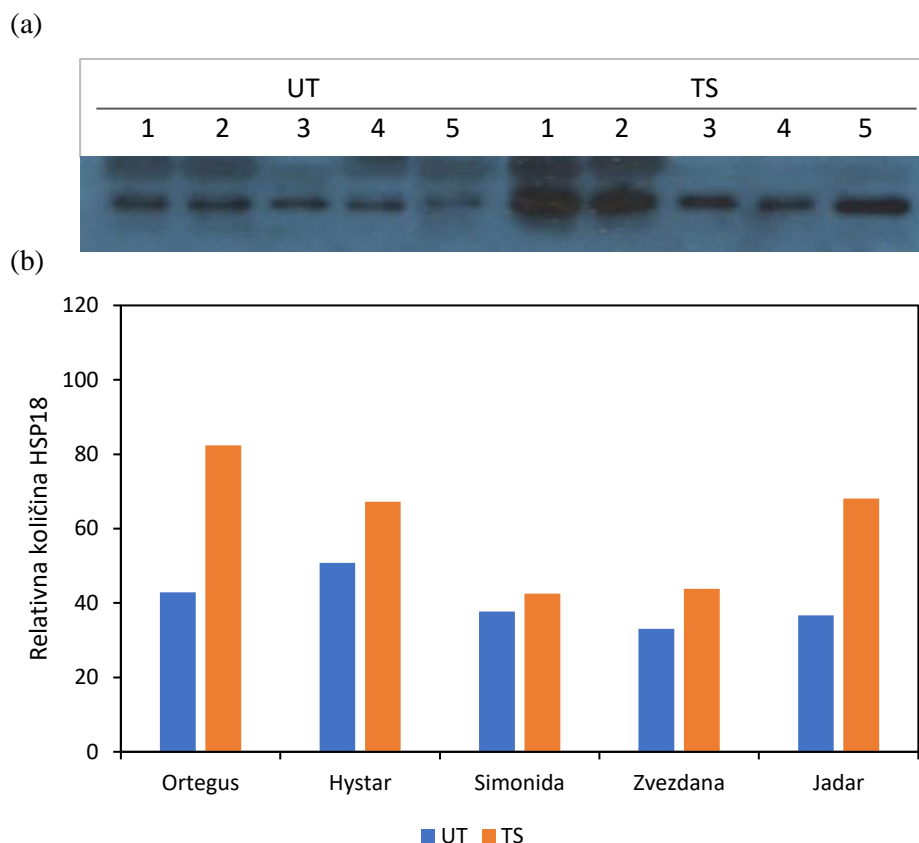
Značajan porast HSP101 u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha kod sorti pšenice *Hystar*, *Simonida* i *Zvezdana*. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok porast nivoa HSP101 primećen je kod sorte pšenice *Simonida*. Kod sorte pšenice *Hystar* je uočen niži porast nivoa HSP101, dok je najniži porast nivoa HSP101 uočen kod sorte pšenice *Ortegas*.

4.4. Imunoblot analiza ekspresije HSP18

Ekspresija HSP18 je ispitivana u listovima zastavičarima pet sorti žitarica (*Ortegas*, *Hystar*, *Simonida*, *Zvezdana* i *Jadar*) u uslovima toplotnog stresa i u uslovima umerenih temperatura vazduha u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018..

4.4.1. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2016.

U toku 2016. godine (Grafik 10a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Ortegas* i *Hystar* u poređenju sa sortom ovsu *Jadar* i sortama pšenice *Simonida* i *Zvezdana* imale viši nivo HSP18 u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo HSP18 u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*, dok je najviši nivo HSP18 uočen kod sorte pšenice *Ortegas* (Grafik 10b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo HSP18 je uočen takođe kod sorte pšenice *Ortegas*. Visok nivo HSP18 je uočen i kod sorte pšenice *Hystar* i kod sorte ovsu *Jadar*. Niži nivo HSP18 je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*, dok je najmanji nivo HSP18 u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Simonida*.

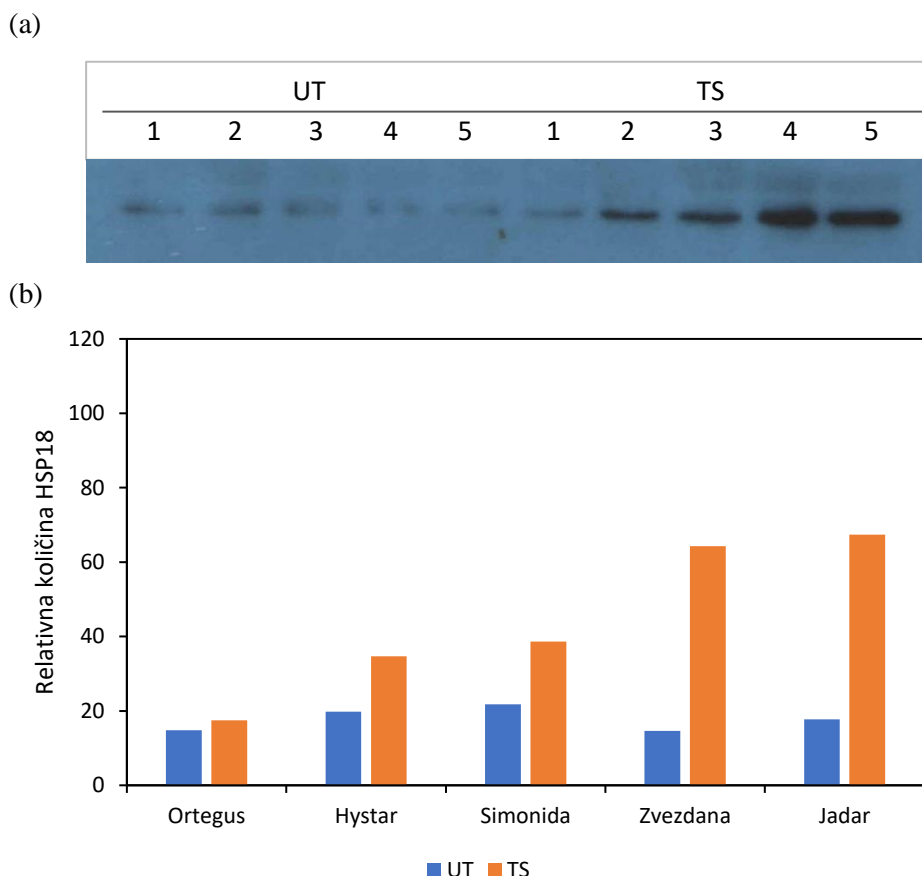


Grafik 10. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dinamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uporenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa HSP18 ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Ortegus* (92%). Visok porast nivoa HSP18 primećen je i kod sorte ovsa *Jadar* (86%). Niži porast nivoa HSP18 (manji od 35%) primećen je kod sorte pšenice *Hystar* kao i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Najniži porast nivoa HSP18 (manji od 15%) je uočen kod sorte pšenice *Simonida*.

4.4.2. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2017.

U toku 2017. godine (Grafik 11a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Simonida* i *Hystar* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *Ortegus* i *Zvezdana* imale viši nivo HSP18 u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo HSP18 u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*, dok je najviši nivo HSP18 uočen kod sorte pšenice *Simonida* (Grafik 11b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo HSP18 je uočen kod sorte ovsa *Jadar*. Visok nivo HSP18 je uočen i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Niži nivo HSP18 je uočen kod sorte pšenice *Simonida* i *Hystar*, dok je najmanji nivo HSP18 u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte pšenice *Ortegus*.



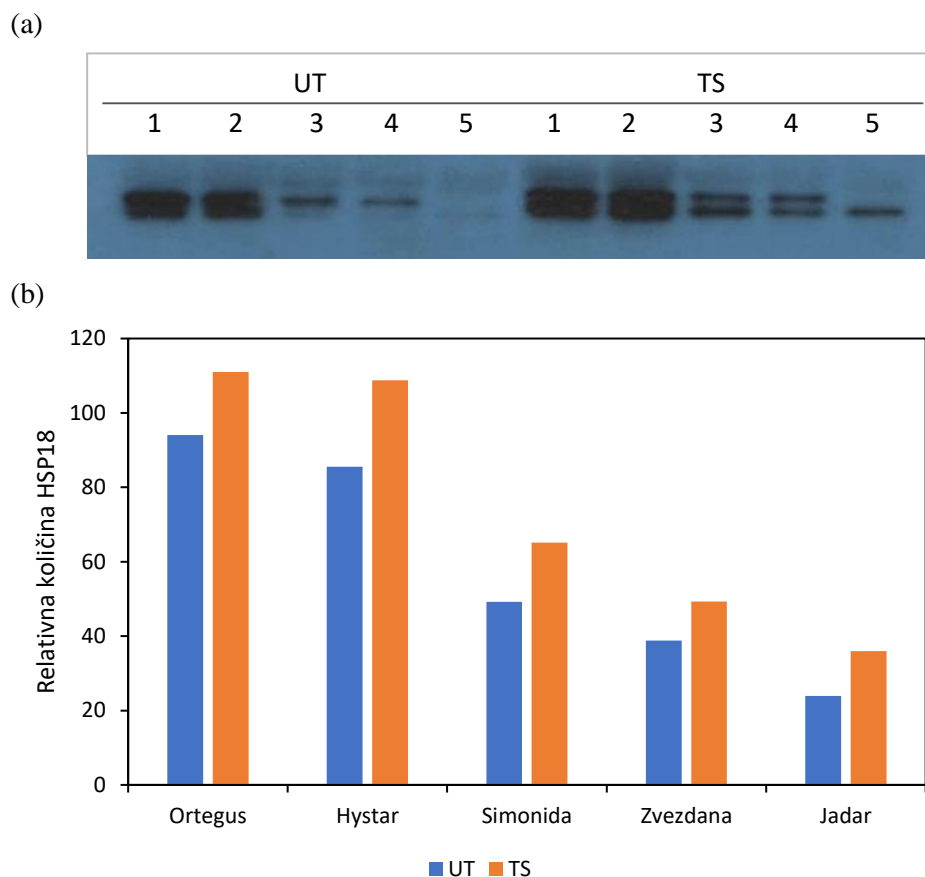
Grafik 11. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Ortegus*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uporenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa HSP18 ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok porast nivoa HSP18 primećen je i kod sorte ovsa *Jadar*. Značajan porast nivoa HSP18 primećen je kod sorte pšenice *Hystar* i *Simonida*. Najniži porast nivoa HSP18 (manji od 20%) je uočen kod sorte pšenice *Ortegus*.

4.4.3. Imunoblot analiza ekspresije HSP18 u toku vegetacione sezone 2018.

U toku 2018. godine (Grafik 12a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Ortegus* i *Hystar* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *Simonida* i *Zvezdana* imale viši nivo HSP18 u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo HSP18 u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice ovsa *Jadar*, dok je najviši nivo HSP18 uočen kod sorte pšenice *Ortegus* (Grafik 12b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo HSP18 je uočen kod sorte pšenice *Ortegus*. Visok nivo HSP18 je uočen i kod sorte pšenice *Hystar*. Niži nivo HSP18 je uočen kod sorte pšenice

Simonida i *Zvezdana* dok je najmanji nivo HSP18 u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte ovsa *Jadar*.



Grafik 12. Imunoblot analiza HSP18 u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti-HSP18 antitelom (a). Relativne količine HSP18 procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnivale, CA). 1 - *Ortegas*, 2 - *Hystar*, 3 - *Simonida*, 4 - *Zvezdana*, 5 - *Pobeda*. Vrednosti relativne količine HSP18 u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Uparenim T testom je utvrđen statistički značajan porast nivoa HSP18 ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte ovsa *Jadar*. Niži porast nivoa HSP18 primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana*, *Hystar* i *Simonida*. Najniži porast nivoa HSP18 (manji od 20%) je uočen kod sorte pšenice *Ortegas*.

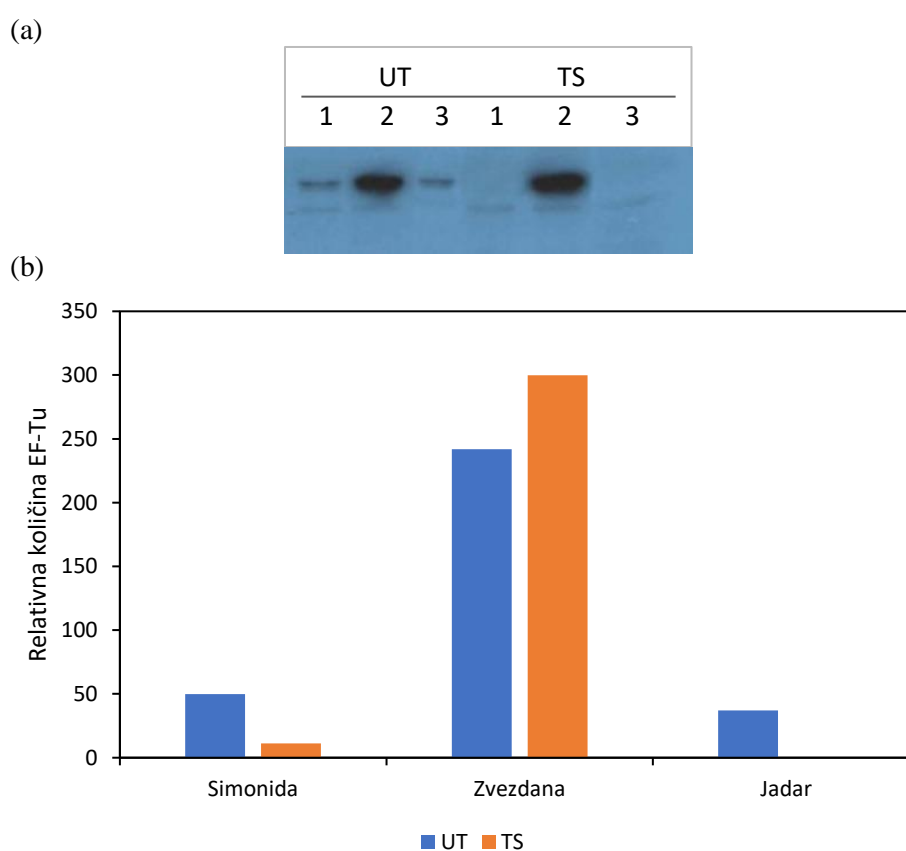
4.5. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu

Ekspresija EF-Tu je ispitivana u listovima zastavičarima tri sorte žitarica (*Simonida*, *Zvezdana* i *Jadar*) u uslovima toplotnog stresa i u uslovima umerenih temperatura vazduha u toku vegetacione sezone 2016.. Ekspresija EF-Tu je ispitivana u listovima zastavičarima pet

sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Jadar*, *Pobeda* i *NS40S*) u uslovima toplotnog stresa i u uslovima umerenih temperatura vazduha u toku vegetacione sezone 2017. i 2018..

4.5.1. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2016.

U toku 2016. godine urađena je analiza relativnog nivoa EF-Tu tri sorte žitarica (Grafik 13a). rezultati Imunoblot analize pokazali su da je sorta pšenice *Zvezdana* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortom pšenice *Simonida* imala viši nivo EF-Tu u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo EF-Tu u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte ovsa *Jadar* (Grafik 13b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo EF-Tu je uočen takođe kod sorte pšenice *Zvezdana*. Nizak nivo EF-Tu je uočen kod sorte pšenice *Simonida*, dok u uslovima toplotnog stresa nije došlo do indukcije EF-Tu kod sorte ovsa *Jadar*.



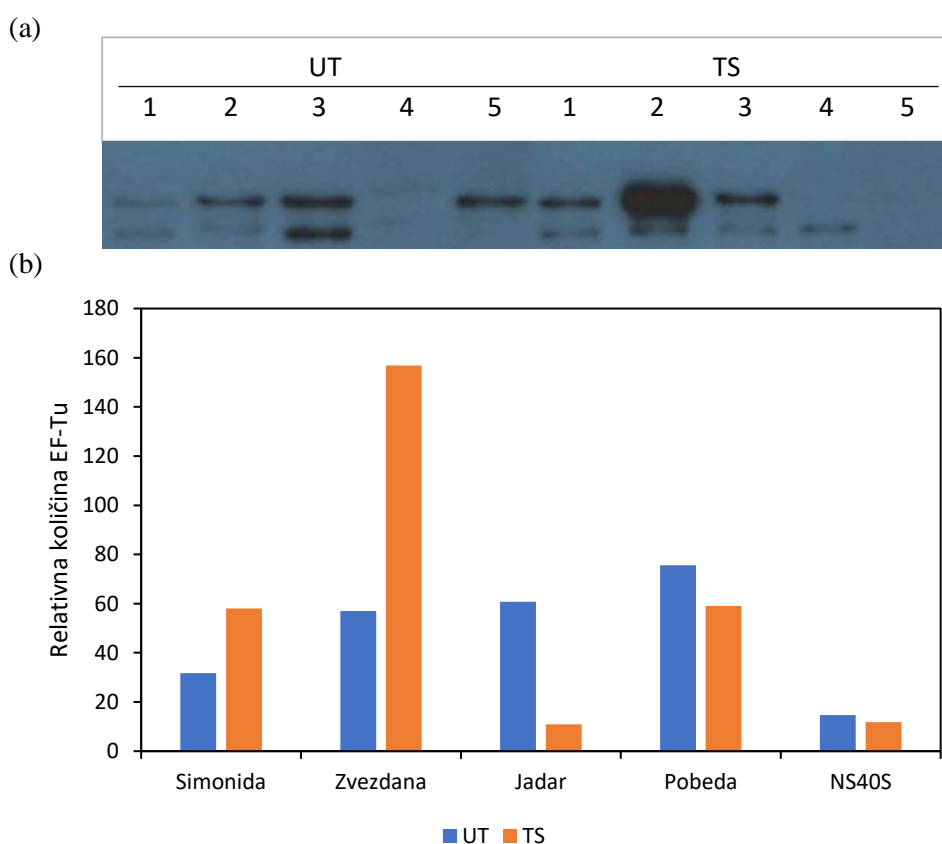
Grafik 13. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2016. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dinamics, Sunnivale, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2016. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Porast nivoa EF-Tu ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočen jedino kod sorte pšenice *Zvezdana*. Kod sorte pšenice

Simonida došlo je do pada nivoa EF-Tu, dok kod sorte ovasa *Jadar* nije došlo do indukcije EF-Tu.

4.5.2. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2017.

U toku 2017. godine (Grafik 14a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Pobeda* i *Zvezdana*, kao i sorta ovasa *Jadar* u poređenju sa sortama pšenice *NS40S* i *Simonida* imale viši nivo EF-Tu u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo EF-Tu u uslovima umerene temperature vazduha je uočen kod sorte pšenice *NS40S*, dok je najviši nivo EF-Tu uočen kod sorte pšenice *Pobeda* (Grafik 14b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo EF-Tu je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok nivo EF-Tu je uočen i kod sorte pšenice *Pobeda* i *Simonida*. Niži nivo EF-Tu je uočen kod sorte pšenice *NS40S*, dok je najmanji nivo EF-Tu u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte ovasa *Jadar*.



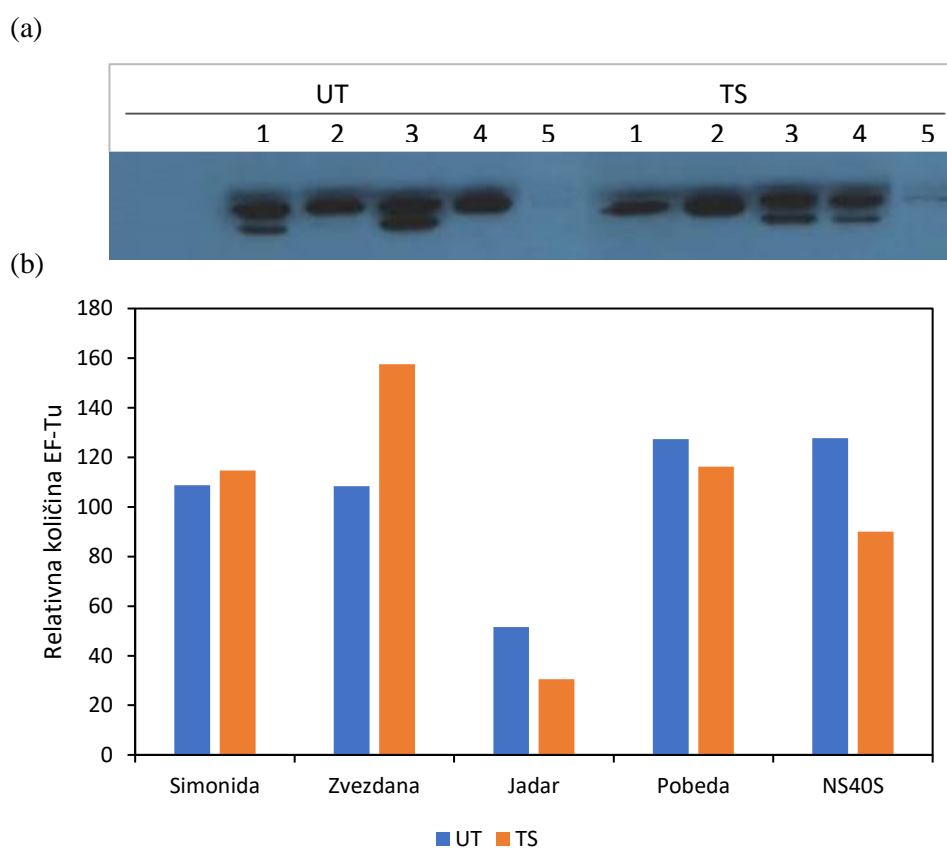
Grafik 14. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2017. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar*, 4 - *Pobeda*, 5 - *NS40S*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2017. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS - toplotni stres.

Značajan porast nivoa EF-Tu ($p < 0,05$) u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha primećen je kod dve sorte pšenice. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok porast nivoa EF-Tu

primećen je i kod sorte pšenice *Simonida*. Kod ostalih ispitivanih sorti žitarica, u uslovima toplotnog stresa je došlo do pada nivoa EF-Tu. Najveći pad je primećen kod sorte ovsa *Jadar*.

4.5.3. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu u toku vegetacione sezone 2018.

U toku 2018. godine (Grafik 15a), rezultati Imunoblot analize pokazali su da su sorte pšenice *Pobeda* i *NS40S* u poređenju sa sortom ovsa *Jadar* i sortama pšenice *Simonida* i *Zvezdana* imale viši nivo EF-Tu u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. Najmanji relativni nivo EF-Tu u uslovima umerene temperature vazduha uočen je kod sorte ovsa *Jadar*, dok je najviši nivo EF-Tu uočen kod sorte pšenice *NS40S* (Grafik 15b). U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo EF-Tu uočen je kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok nivo EF-Tu je uočen i kod sorte pšenice *Simonida* i *Pobeda*. Niži nivo EF-Tu je uočen kod sorte pšenice *NS40S*, dok je najmanji nivo EF-Tu u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte ovsa *Jadar*.



Grafik 15. Imunoblot analiza EF-Tu u listovima pet sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u junu 2018. godine. Proteini su izolovani iz listova zastavičara. Jednake količine proteina (15 μ g) nanete su i razdvojene na 12% SDS-poliakrilamidnim gelovima, a potom prebačene na PVDF membranu i ispitivane anti- EF-Tu antitelom (a). Relativne količine EF-Tu procenjene su određivanjem zapremine opsega pomoću ImageQuant softvera (Molecular Dynamics, Sunnival, CA). 1 - *Simonida*, 2 - *Zvezdana*, 3 - *Jadar* 4 – *Pobeda*, 5 – *NS40S*. Vrednosti relativne količine EF-Tu u 2018. godini su predstavljene histogramom (b). UT - umerena temperatura vazduha, TS – toplotni stres.

Na osnovu analize rezultata, uočen je porast nivoa HSP18 u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Najveći porast u uslovima toplotnog stresa primećen je kod sorte ovsa *Jadar*. Niži porast nivoa HSP18 primećen je kod sorte pšenice

Zvezdana, *Hystar* i *Simonida*. Najniži porast nivoa HSP18 (manji od 20%) uočen je kod sorte pšenice *Ortegas*.

4.6. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena

U toku vegetacione sezone 2017. i 2018., analizirana je genska ekspresija eEF1A gena u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u listu zastavičaru kod četiri sorte pšenice. Ekspresija iRNK za GAPDH, kao gena za održavanje, bila je stabilna, približno jednaka kod svih testiranih sorti pšenice. Iz tog razloga, GAPDH je bio pogodan za izračunavanje relativne ekspresije eEF1A gena u različitim temperaturnim uslovima. Relativna ekspresija iRNK za gen eEF1A predstavljena je u Tabeli 7 i 8. Rezultati pokazuju da je gen eEF1A bio izrazito izražen kod analiziranih sorti u uslovima toplotnog stresa u obe vegetativne sezone (2017. i 2018.), u poređenju sa sortama u uslovima umerene temperature vazduha (Tabela 7 i 8).

4.6.1. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena u toku vegetacione sezone 2017.

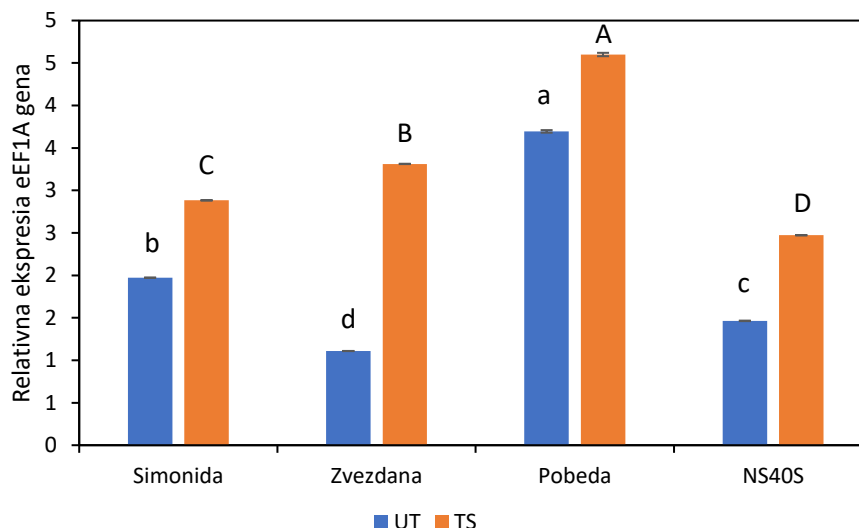
U toku 2017. godine (Tabela 7), rezultati analize pokazali su da je sorta pšenice *Pobeda* u poređenju sa sortama pšenice *NS40S*, *Zvezdana* i *Simonida* imala viši nivo ekspresije eEF1A gena u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo ekspresije eEF1A gena uočen je kod sorte pšenice *Pobeda*. Visok nivo ekspresije eEF1A gena uočen je i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Niži nivo ekspresije eEF1A gena je uočen kod sorte pšenice *Simonida*, dok je najmanji nivo ekspresije eEF1A gena u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte *NS40S*.

Tabela 7. Relativna ekspresija eEF1A gena u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017.

Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	1,972 ± 0,001	2,883 ± 0,003
<i>Zvezdana</i>	1,109 ± 0,001	3,312 ± 0,002
<i>Pobeda</i>	3,695 ± 0,020	4,600 ± 0,020
<i>NS40S</i>	1,464 ± 0,003	2,472 ± 0,002
Prosek	2,06	3,32

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva nezavisna merenja ± standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Srednje vrednosti ekspresije eEF1A gena u 2017. godini predstavljene na Tabeli 7 analizirane su pomoću dvofaktorijalne analize varijansi (ANOVA) a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog opsega sa stepenom značajnosti $p \leq 0,005$ (Grafik 16). Otkrivene su razlike između ispitivanih sorti pšenice u ekspresiji eEF1A gena. U uslovima umerene temperature vazduha, rezultati analize su pokazali statistički značajnu ($p < 0,05$) razliku u ekspresiji eEF1A gena između svih analiziranih sorti. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena i između svih analiziranih sorti žitarica i u uslovima toplotnog stresa. Uparenim T testom je utvrđena statistički značajna razlika ($p < 0,05$) između nivoa ekspresije eEF1A gena u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature.



Grafik 16. Srednja vrednost ekspresije eEF1A gena u 2017. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva merenja \pm standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

4.6.2. Analiza nivoa ekspresije eEF1A gena u toku vegetacione sezone 2018.

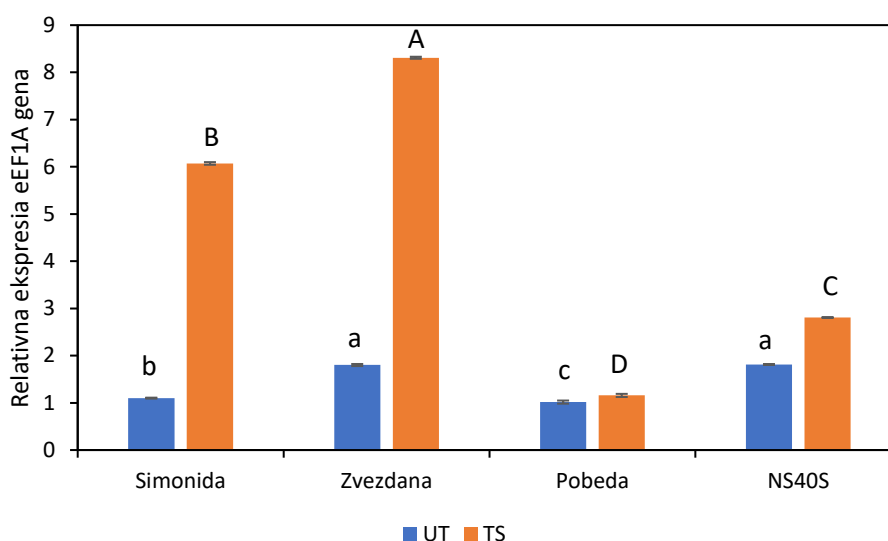
U toku 2018. godine (Tabela 8), rezultati analize pokazali su da je sorta pšenice *NS40S* u poređenju sa sortama pšenice *Pobeda*, *Zvezdana* i *Simonida* imala viši nivo ekspresije eEF1A gena u listu zastavičaru, u uslovima umerene temperature vazduha. U uslovima toplotnog stresa, najveći nivo ekspresije eEF1A gena je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok nivo ekspresije eEF1A gena je uočen i kod sorte pšenice *Simonida*. Niži nivo ekspresije eEF1A gena je uočen kod sorte pšenice *NS40S*, dok je najmanji nivo ekspresije eEF1A gena u uslovima toplotnog stresa uočen kod sorte *Pobeda*.

Tabela 8. Relativna ekspresija eEF1A gena u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2018.

Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	1,100 \pm 0,010	6,071 \pm 0,028
<i>Zvezdana</i>	1,801 \pm 0,022	8,309 \pm 0,022
<i>Pobeda</i>	1,016 \pm 0,033	1,157 \pm 0,033
<i>NS40S</i>	1,812 \pm 0,007	2,807 \pm 0,007
Prosek	1,43	4,59

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva nezavisna merenja \pm standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Srednje vrednosti ekspresije eEF1A gena u 2018. godini predstavljene na Tabeli 8 analizirane su pomoću dvofaktorijalne analize varijansi (ANOVA) a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog opsega sa stepenom značajnosti $p < 0,05$ (Grafik 17). Otkrivene su razlike između ispitivanih sorti pšenice u ekspresiji eEF1A gena. U uslovima umerene temperature vazduha, rezultati analize su pokazali statistički značajnu ($p < 0,05$) razliku u ekspresiji eEF1A gena između sorte pšenice *Simonida* i *Pobeda* sa svim analiziranim sortama pšenice. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) nije utvrđena između sorti pšenice *Zvezdana* i *NS40S*. U uslovima toplotnog stresa pronađena je statistički značajna razlika u ekspresiji eEF1A gena između svih analiziranih sorti žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) između nivoa ekspresije eEF1A gena u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature je pronađena kod sorti pšenice *Simonida* i *Zvezdana*.



Grafik 17. Srednja vrednost ekspresije eEF1A gena u 2018. godini. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost dva merenja \pm standardna greška. Predstavljeni rezultati na histogramu su analizirani pomoću dvofaktorijalne analize varijansi ANOVA, a zatim Fisher-ovim LSD testom višestrukog raspona. Vrednosti označene sa različitim slovima u umerenoj temperaturi (mala slova) i u toplotnom stresu (velika slova) značajno se razlikuju ($p < 0,05$); UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

4.7. Analiza koncentracije prolina

Analiza koncentracije prolina rađena je u listovima zastavičarima deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017. i 2018..

4.7.1. Koncentracija prolina u toku vegetacione sezone 2017.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature vazduha u toku vegetacione sezone 2017., sadržaj prolina se kretao od 0,089 $\mu\text{mol/g}$ do 0,947 $\mu\text{mol/g}$ sveže mase (s.m.) (Tabela 9). Najveći sadržaj prolina među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature pronađen je u sorti pšenice *Zvezdana*, sa sadržajem od 0,947 $\mu\text{mol/g}$ s.m., dok je najniži sadržaj prolina pronađen kod sorte ovsa *Jadar*, sa sadržajem od 0,089 $\mu\text{mol/g}$ s.m.. Kod ostalih analiziranih sorti žitarica, visok sadržaj prolina pri uslovima umerene temperature pronađen je kod sorti pšenice *Pobeda* (0,936 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Ortegas* (0,856 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Simonida* (0,854 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Sorte kod kojih je uočen nizak sadržaj prolina pri uslovima umerene temperature su sorte pšenice *Hystar*, *NS40S* i *Nikol*. Srednja vrednost prolina u uslovima umerene temperature iznosila je 0,661 $\mu\text{mol/g}$ s.m..

U uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017., među analiziranim sortama žitarica, sadržaj prolina se kretao od 0,332 $\mu\text{mol/g}$ s.m. (kod sorte ovsa *Jadar*) do 3,267 $\mu\text{mol/g}$ s.m. (kod sorte pšenice *Zvezdana*) (Tabela 9). Među ostalim analiziranim sortama žitarica u uslovima toplotnog stresa, visok sadržaj prolina uočen je kod sorti pšenice *Pobeda* (3,192 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Avenu* (2,845 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Simonida* (2,772 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Sorte kod kojih je uočen nizak sadržaj prolina u uslovima toplotnog stresa su sorta tritikalea *Odisej* i sorta pšenice *Ortegas*. Srednja vrednost prolina u uslovima toplotnog stresa iznosila je 2,169 $\mu\text{mol/g}$ s.m..

Tabela 9. Koncentracija prolina u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol/g}$ s.m. (sveže mase).

Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	0,854 \pm 0,021	2,772 \pm 0,028
<i>Zvezdana</i>	0,947 \pm 0,028	3,267 \pm 0,067
<i>Pobeda</i>	0,936 \pm 0,017	3,192 \pm 0,095
<i>NS40S</i>	0,555 \pm 0,023	2,337 \pm 0,088
<i>Nikol</i>	0,522 \pm 0,018	2,105 \pm 0,149
<i>Avenu</i>	0,679 \pm 0,052	2,845 \pm 0,025
<i>Ortegas</i>	0,856 \pm 0,027	1,242 \pm 0,022
<i>Hystar</i>	0,514 \pm 0,070	2,264 \pm 0,023
<i>Odisej</i>	0,660 \pm 0,019	1,331 \pm 0,044
<i>Jadar</i>	0,089 \pm 0,010	0,332 \pm 0,018
Prosek	0,661	2,169

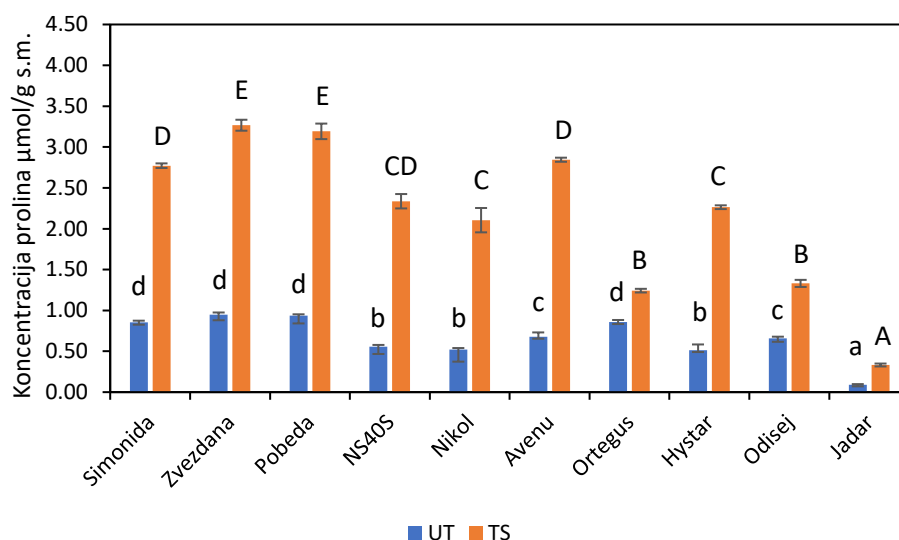
Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Na osnovu analize koncentracije prolina uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno povećanje vrednosti koncentracije prolina ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa koncentracije prolina u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan

porast koncentracije prolina u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2017 je iznosio 1,507 $\mu\text{mol/g s.m.}$ u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte pšenice *Zvezdana* (2,320 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Pobeda* (2,256 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *Avenu* (2,165 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Značajniji porast koncentracije prolina je primećen kod sorti pšenica *Simonida* (1,918 $\mu\text{mol/g s.m.}$), *NS40S* (1,782 $\mu\text{mol/g s.m.}$), *Hystar* (1,749 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *Nikol* (1.583 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Niži porast je primećen kod sorte tritikalea *Odisej* (0.671 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i kod sorte pšenice *Ortegas* (0,386 $\mu\text{mol/g s.m.}$), dok je najniži porast uočen kod sorte ovsa *Jadar* (0,244 $\mu\text{mol/g s.m.}$).

Za prikazane vrednosti koncentracije prolina u vegetacionoj sezoni 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 18). U uslovima umerene temperature, sorte pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda* i *Ortegas* se nisu međusobno statistički značajno razlikovale, dok su se razlikovale u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte ovsa *Jadar* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Avenu* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno statistički značajno razlikovale, dok su bile statistički različite ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar*, se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Zvezdana* i *Pobeda* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Zvezdana* i *Pobeda* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenice *Simonida* i *Avenu* su se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u odnosu na sve sorte žitarica osim u poređenju sa sortom pšenice *NS40S*. Sorte pšenice *Nikol* i *Hystar*, se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Nikol* i *Hystar* u poređenju sa sortama pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *Avenu*, *Ortegas*, sorte tritikalea *Odisej* i sorte ovsa *Jadar*. Sorta pšenice *Ortegas* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti *Ortegas* i *Odisej* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Koncentracija prolina u uslovima toplotnog stresa kod sorte ovsa *Jadar* se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim analiziranim sortama žitarica.



Grafik 18. Srednja vrednost tri merenja koncentracije prolina u toku vegetacione sezone 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.7.2. Koncentracija prolina u toku vegetacione sezone 2018.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature u toku vegetacione sezone 2018., sadržaj prolina se kretao od $0,258 \mu\text{mol/g}$ do $1,046 \mu\text{mol/g}$ s.m. (Tabela 10). Najveći sadržaj prolina među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature pronađen je u sorti pšenice *Zvezdana*, sa sadržajem od $1,046 \mu\text{mol/g}$ s.m., dok je najniži sadržaj prolina pronađen kod sorte ovsa *Jadar*, sa sadržajem od $0,258 \mu\text{mol/g}$ s.m.. Kod ostalih analiziranih sorti žitarica, visok sadržaj prolina pri uslovima umerene temperature pronađen je kod sorti pšenice *Pobeda* ($1,016 \mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Simonida* ($0,953 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Sorte kod kojih je uočen nizak sadržaj prolina pri uslovima umerene temperature su sorte pšenice *Hystar*, *NS40S* i *Nikol*. Srednja vrednost prolina u uslovima umerene temperature iznosila je $0,777 \mu\text{mol/g}$ s.m..

Tabela 10. Koncentracija prolina u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol/g}$ s.m. (sveže mase).

Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	$0,953 \pm 0,027$	$2,941 \pm 0,093$
<i>Zvezdana</i>	$1,046 \pm 0,029$	$3,754 \pm 0,098$
<i>Pobeda</i>	$1,016 \pm 0,014$	$3,294 \pm 0,048$
<i>NS40S</i>	$0,644 \pm 0,019$	$2,514 \pm 0,087$
<i>Nikol</i>	$0,627 \pm 0,025$	$2,555 \pm 0,071$
<i>Avenu</i>	$0,836 \pm 0,013$	$3,169 \pm 0,067$
<i>Ortequs</i>	$0,887 \pm 0,032$	$1,601 \pm 0,043$
<i>Hystar</i>	$0,696 \pm 0,024$	$2,611 \pm 0,084$
<i>Odisej</i>	$0,812 \pm 0,013$	$1,813 \pm 0,034$
<i>Jadar</i>	$0,258 \pm 0,020$	$0,812 \pm 0,066$
Prosek	0,777	2,510

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

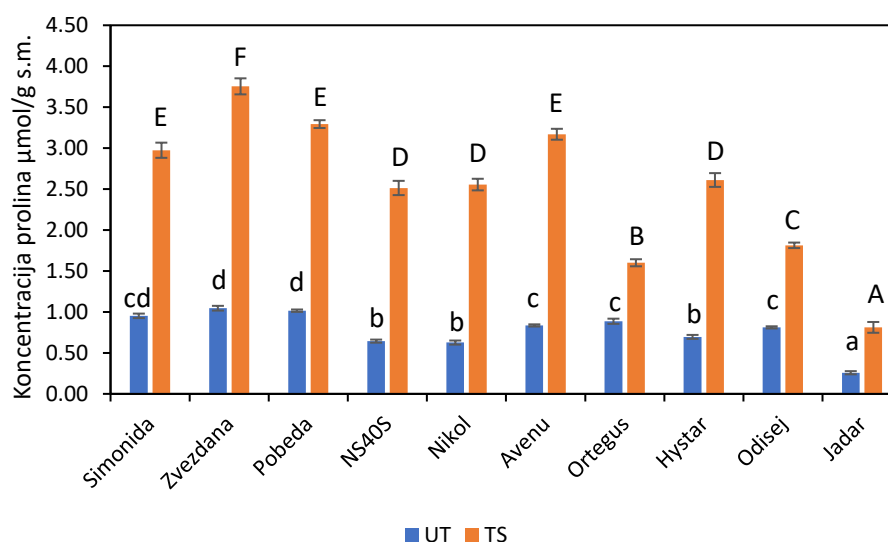
U uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2018., među analiziranim sortama žitarica, sadržaj prolina se kretao od $0,812 \mu\text{mol/g}$ s.m. do $3,754 \mu\text{mol/g}$ s.m. (Tabela 10). Najveći sadržaj prolina u uslovima toplotnog stresa uočen je kod sorte pšenice *Zvezdana* ($3,754 \mu\text{mol/g}$ s.m.), dok je najniži sadržaj prolina pronađen kod sorte ovsa *Jadar* ($0,812 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Među ostalim analiziranim sortama žitarica u uslovima toplotnog stresa, visok sadržaj prolina uočen je kod sorti pšenice *Pobeda* ($3,294 \mu\text{mol/g}$ s.m.), *Avenu* ($3,169 \mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Simonida* ($2,974 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Sorte kod kojih je uočen nizak sadržaj prolina u uslovima toplotnog stresa su sorta tritikalea *Odisej* i sorta pšenice *Ortequs*. Srednja vrednost prolina u uslovima toplotnog stresa iznosila je $2,510 \mu\text{mol/g}$ s.m..

Na osnovu analize koncentracije prolina uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno povećanje vrednosti koncentracije prolina ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa koncentracije prolina u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast koncentracije prolina u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018 je iznosio $1,732 \mu\text{mol/g}$ s.m. u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte pšenice *Zvezdana* ($2,709 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Pobeda* ($2,278 \mu\text{mol/g}$ s.m.), *Avenu* ($2,334 \mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Simonida* ($2,022 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Značajniji porast koncentracije prolina je primećen kod sorti pšenice *Nikol* ($1,929 \mu\text{mol/g}$ s.m.), *Hystar* ($1,915 \mu\text{mol/g}$ s.m.) i *NS40S* ($1,869 \mu\text{mol/g}$ s.m.). Niži porast je primećen kod sorte tritikalea *Odisej* ($1,002 \mu\text{mol/g}$ s.m.) i kod sorte pšenice *Ortequs* ($0,714 \mu\text{mol/g}$ s.m.), dok je najniži porast uočen kod sorte ovsa *Jadar* ($0,554 \mu\text{mol/g}$ s.m.).

Za prikazane vrednosti koncentracije prolina u vegetacionoj sezoni 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 19). U uslovima umerene temperature, sorte pšenice *Avenu*, *Ortequs* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno statistički značajno razlikovale, dok su se razlikovale u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica osim sa

sortom pšenice *Simonida*. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte ovasa *Jadar* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar*, se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana* i *Pobeda* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Zvezdana* i *Pobeda* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *Simonida*.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Zvezdana*, *Ortegas*, sorta tritikalea *Odisej* i sorta ovasa *Jadar*, nisu bile međusobno slične, a značajno su se razlikovale ($p < 0,05$) u odnosu na ostale ispitivane sorte žitarica. Sorte pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenice *Simonida*, *Pobeda* i *Avenu* se nisu međusobno značajno razlikovale. Sorta pšenice *Simonida*, *Pobeda* i *Avenu* su se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u odnosu na sve ostale ispitivane sorte žitarica.



Grafik 19. Srednja vrednost tri merenja koncentracije prolina u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.8. Koncentracija malondialdehida

Analiza koncentracije malondialdehida (MDA) rađena je u listovima zastavičarima deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2017. i 2018..

4.8.1. Koncentracija MDA u toku vegetacione sezone 2017.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature koncentracija MDA se kretala od 1,04 $\mu\text{mol/g}$ do 1,85 $\mu\text{mol/g}$ sveže mase (s.m.) (Tabela 11). Najveći sadržaj MDA među analiziranim sortama žitarica pri uslovima umerene temperature pronađen je u sorti pšenice *Pobeda*, dok je najniži sadržaj MDA pronađen kod sorte pšenice *Ortegas*. Kod ostalih analiziranih sorti žitarica, visoka koncentracija MDA pri uslovima umerene temperature pronađena je kod sorti pšenice *Simonida* (1,68 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Hystar* (1,56 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Nikol* (1,36 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *NS40S* (1,26 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Zvezdana* (1,21 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Srednja vrednost MDA u uslovima umerene temperature iznosila je 1,35 $\mu\text{mol/g}$ s.m..

U uslovima toplotnog stresa u analiziranim sortama žitarica koncentracija MDA je iznosila 2,18 $\mu\text{mol/g}$ s.m. (sorta ovsa *Jadar*) do 3,61 $\mu\text{mol/g}$ s.m. (sorta pšenice *NS40S*) (Tabela 11). Kod ostalih analiziranih sorti žitarica, visoka koncentracija MDA pri uslovima toplotnog stresa pronađena je kod sorti pšenice *Pobeda* (3,36 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Simonida* (3,04 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Nikol* (3,01 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Ortegas* (3,01 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i sorta tritikalea *Odisej* (3,08 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Srednja vrednost MDA u uslovima toplotnog stresa iznosila je 2,93 $\mu\text{mol/g}$ s.m..

Tabela 11. Koncentracija malondialdehida u 2017. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol/g}$ s.m. (sveže mase).

Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	1,68 \pm 0,11	3,04 \pm 0,11
<i>Zvezdana</i>	1,21 \pm 0,10	2,19 \pm 0,20
<i>Pobeda</i>	1,85 \pm 0,09	3,36 \pm 0,10
<i>NS40S</i>	1,26 \pm 0,06	3,61 \pm 0,11
<i>Nikol</i>	1,36 \pm 0,16	3,01 \pm 0,11
<i>Avenu</i>	1,18 \pm 0,03	2,95 \pm 0,12
<i>Ortegas</i>	1,04 \pm 0,09	3,01 \pm 0,04
<i>Hystar</i>	1,56 \pm 0,11	2,83 \pm 0,10
<i>Odisej</i>	1,15 \pm 0,05	3,08 \pm 0,13
<i>Jadar</i>	1,18 \pm 0,08	2,18 \pm 0,05
Prosek	1,35	2,93

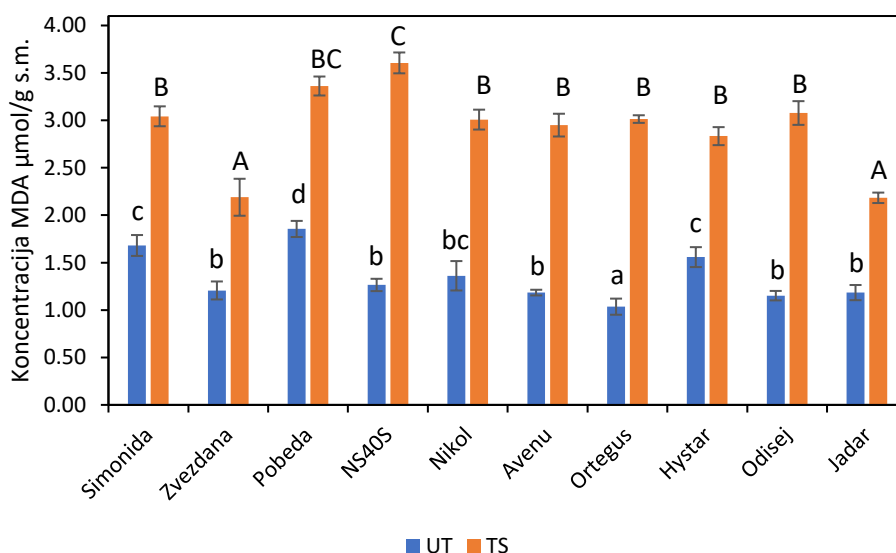
Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT – umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Na osnovu analize koncentracije MDA uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno povećanje vrednosti koncentracije MDA ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa koncentracijom MDA u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast koncentracije MDA u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2017. je iznosio 1,58 $\mu\text{mol/g}$ s.m. u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim

temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte pšenice *NS40S* (2,34 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Visok porast je primećen i kod sorte pšenice *Ortegas* (1,98 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Avenu* (1,77 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Nikol* (1,65 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i kod sorte tritikalea *Odisej* (1,93 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Značajniji porast koncentracije MDA je primećen kod sorti pšenica *Pobeda* (1,51 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), *Simonida* (1,36 $\mu\text{mol/g}$ s.m.) i *Hystar* (1,28 $\mu\text{mol/g}$ s.m.). Niži porast je primećen kod sorte ovsa *Jadar* (1,00 $\mu\text{mol/g}$ s.m.), dok je najniži porast MDA uočen kod sorte pšenica *Zvezdana* (0,98 $\mu\text{mol/g}$ s.m.).

Za prikazane vrednosti koncentracije MDA u vegetacionoj sezoni 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 20). U uslovima umerene temperature, sorte pšenice *Avenu*, *Zvezdana*, *NS40S*, sorta tritikalea *Odisej* i sorta ovsa *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se razlikovale u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *Nikol*. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte pšenice *Ortegas* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je uočena i između sorte pšenice *Pobeda* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Simonida* i *Hystar*, se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Simonida* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *Nikol*.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Zvezdana* i sorta ovsa *Jadar*, nisu bile međusobno različite, i značajno su se razlikovale ($p < 0,05$) u odnosu na ostale ispitivane sorte žitarica. Sorte pšenice *Simonida*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Simonida*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar* i sorta tritikalea *Odisej* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica osim kod sorte pšenice *Pobeda*. Sorta pšenice *NS40S* se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u odnosu na sve ostale ispitivane sorte žitarica.



Grafik 20. Srednja vrednost tri merenja koncentracije MDA u toku vegetacione sezone 2017., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT – umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.8.2. Koncentracija MDA u toku vegetacione sezone 2018.

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature sadržaj MDA se kretao od 0,49 $\mu\text{mol/g s.m.}$ (sorta pšenice *Ortegas*) do 1,23 $\mu\text{mol/g s.m.}$ (sorta pšenice *Hystar*) (Tabela 12). Među analiziranim sortama žitarica, visoka koncentracija MDA pri uslovima umerene temperature pronađena je kod sorte pšenice *Pobeda* (1,16 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *NS40S* (1,09 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Niska koncentracija MDA je pronađena kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,84 $\mu\text{mol/g s.m.}$), sorte ovsa *Jadar* (0,85 $\mu\text{mol/g s.m.}$), sorte tritikalea *Odisej* (0,83 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i kod sorte pšenice *Avenu* (0,76 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Srednja vrednost MDA u uslovima umerene temperature iznosila je 0,92 $\mu\text{mol/g s.m.}$.

U uslovima toplotnog stresa u analiziranim sortama žitarica koncentracija MDA je iznosila 2,52 $\mu\text{mol/g s.m.}$ (sorta pšenice *Zvezdana*) do 3,70 $\mu\text{mol/g s.m.}$ (sorta pšenice *NS40S*) (Tabela 12). Među analiziranim sortama žitarica, visoka koncentracija MDA pri uslovima toplotnog stresa pronađena je kod sorte tritikalea *Odisej* (3,54 $\mu\text{mol/g s.m.}$), kod sorte pšenice *Hystar* (3,42 $\mu\text{mol/g s.m.}$), *Nikol* (3,32 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *Avenu* (3,30 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Niska koncentracija MDA je utvrđena kod sorte pšenice *Ortegas* (2,97 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (2,54 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Srednja vrednost MDA u uslovima toplotnog stresa iznosila je 3,14 $\mu\text{mol/g s.m.}$.

Na osnovu analize koncentracije MDA uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno povećanje vrednosti koncentracije MDA ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa koncentracije MDA u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast koncentracije MDA u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosio 2,23 $\mu\text{mol/g s.m.}$ u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte tritikalea *Odisej* (2,72 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *NS40S* (2,61 $\mu\text{mol/g s.m.}$), *Avenu* (2,53 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *Ortegas* (2,48 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Značajniji porast koncentracije MDA je primećen kod sorti pšenica *Nikol* (2,38 $\mu\text{mol/g s.m.}$), *Hystar* (2,20 $\mu\text{mol/g s.m.}$) i *Simonida* (2,13 $\mu\text{mol/g s.m.}$). Najniži porast uočen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (1,68 $\mu\text{mol/g s.m.}$).

Tabela 12. Koncentracija malondialdehida u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u $\mu\text{mol/g s.m.}$ (sveže mase).

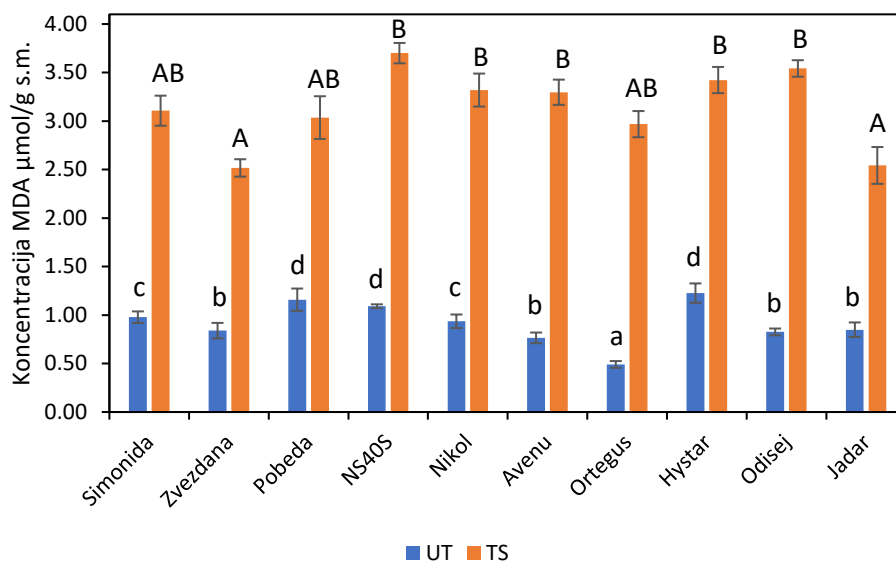
Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	0,98 \pm 0,06	3,11 \pm 0,16
<i>Zvezdana</i>	0,84 \pm 0,08	2,52 \pm 0,09
<i>Pobeda</i>	1,16 \pm 0,12	3,04 \pm 0,22
<i>NS40S</i>	1,09 \pm 0,02	3,70 \pm 0,11
<i>Nikol</i>	0,94 \pm 0,07	3,32 \pm 0,17
<i>Avenu</i>	0,76 \pm 0,06	3,30 \pm 0,13
<i>Ortegas</i>	0,49 \pm 0,04	2,97 \pm 0,14
<i>Hystar</i>	1,23 \pm 0,10	3,42 \pm 0,14
<i>Odisej</i>	0,83 \pm 0,04	3,54 \pm 0,09
<i>Jadar</i>	0,85 \pm 0,08	2,54 \pm 0,19
Prosek	0,92	3,14

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT – umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Za prikazane vrednosti koncentracije MDA u vegetacionoj sezoni 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 21).

U uslovima umerene temperature, sorte pšenice *Avenu*, *Zvezdana*, sorta tritikalea *Odisej* i sorta ovsja *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se razlikovale u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte pšenice *Ortegas* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Pobeda* i *Hystar* se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je uočena između sorte pšenice *Pobeda* i *Hystar* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Simonida* i *Nikol*, se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Simonida* i *Nikol* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Zvezdana* i sorta ovsja *Jadar*, nisu bile međusobno različite, i značajno su se razlikovale ($p < 0,05$) u odnosu na ostale ispitivane sorte žitarica osim sa sortama pšenice *Simonida*, *Pobeda* i *Ortegas*. Sorte pšenice *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Hystar* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Hystar* i sorte tritikalea *Odisej* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica osim sa sortama pšenice *Simonida*, *Pobeda* i *Ortegas*.



Grafik 21. Srednja vrednost tri merenja koncentracije MDA u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT – umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.9. Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima

Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima katalaze, askorbat peroksidaze i peroksidaze rađena je u listovima zastavičarima deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u uslovima umerene temperature vazduha i u

uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.9.1. Analiza aktivnosti katalaze

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature aktivnost katalaze se kretala od 10,99 min/g s.m. (sorta ovsa *Jadar*) do 36,38 min/g s.m. (sorta tritikalea *Odisej*) (Tabela 13). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost katalaze pri uslovima umerene temperature pronađena je kod sorte pšenice *Zvezdana* (31,87 min/g s.m.), *NS40S* (31,68 μ mol/g s.m) i *Ortegas* (29,90 min/g s.m.). Niska aktivnost katalaze je pronađena kod sorte pšenice *Hystar* (17,86 min/g s.m.) i kod sorte pšenice *Avenu* (13,34 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti katalaze u uslovima umerene temperature iznosila je 24,45 min/g s.m..

U uslovima toplotnog stresa u analiziranim sortama žitarica aktivnost katalaze je iznosila 18,86 min/g s.m. (sorta pšenice *Avenu*) do 47,66 min/g s.m. (sorta pšenice *Zvezdana*) (Tabela 13). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost katalaze pri uslovima toplotnog stresa pronađena je kod sorte pšenice *Pobeda* (47,09 min/g s.m.), *Simonida* (43,49 min/g s.m.), *Hystar* (41,28 min/g s.m.) i kod sorte tritikalea *Odisej* (42,53 min/g s.m.). Niska aktivnost katalaze je utvrđena kod sorte ovsa *Jadar* (28,10 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti katalaze u uslovima toplotnog stresa iznosila je 37,39 min/g s.m..

Na osnovu analize aktivnosti katalaze uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno povećanje aktivnosti katalaze ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa aktivnošću katalaze u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast aktivnosti katalaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosio 64,45% u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte ovsa *Jadar* (155,69%). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Hystar* (131,13%) i *Pobeda* (109,66%). Značajniji porast aktivnosti katalaze je primećen kod sorti pšenice *Simonida* (63,56%), *Zvezdana* (49,55%), *Nikol* (49,06%) i *Avenu* (41,38%). Najniži porast uočen je kod sorte pšenice *NS40S* (10,51%).

Tabela 13. Aktivnost katalaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).

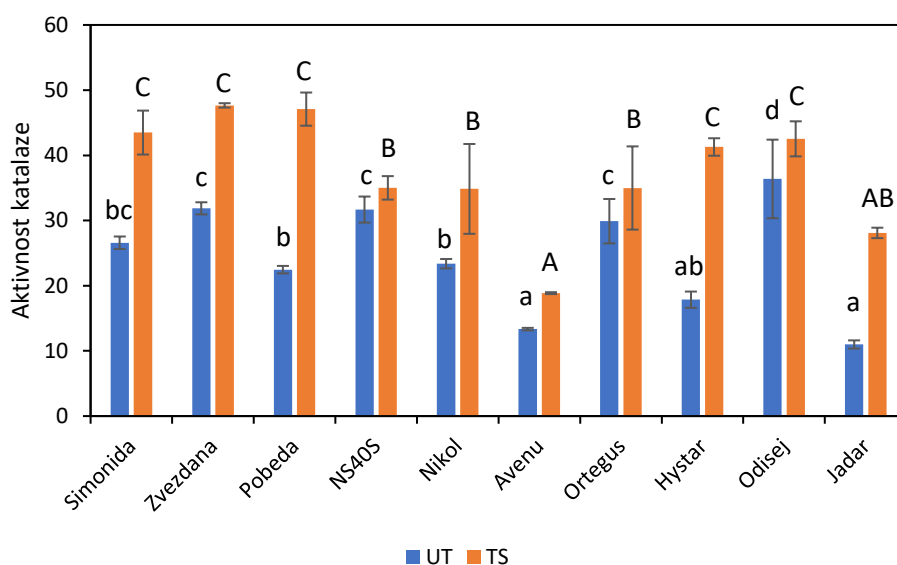
Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	26,59 \pm 0,96	43,49 \pm 3,37
<i>Zvezdana</i>	31,87 \pm 0,93	47,66 \pm 0,34
<i>Pobeda</i>	22,46 \pm 0,57	47,09 \pm 2,55
<i>NS40S</i>	31,68 \pm 2,00	35,01 \pm 1,80
<i>Nikol</i>	23,38 \pm 0,72	34,85 \pm 6,89
<i>Avenu</i>	13,34 \pm 0,19	18,86 \pm 0,15
<i>Ortegas</i>	29,90 \pm 3,41	34,99 \pm 6,39
<i>Hystar</i>	17,86 \pm 1,25	41,28 \pm 1,34
<i>Odisej</i>	36,38 \pm 6,03	42,53 \pm 2,69
<i>Jadar</i>	10,99 \pm 0,63	28,10 \pm 0,80
Prosek	24,45	37,39

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. UT – umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Za prikazane vrednosti aktivnosti katalaze u vegetacionoj sezoni 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 22).

U uslovima umerene temperature, sorta pšenice *Avenu* i sorta ovsa *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte pšenice *Pobeda* i *Nikol* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana*, *NS40S* i *Ortegas* se nisu međusobno statistički značajno razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je pronađena između sorte pšenice *Zvezdana*, *NS40S* i *Ortegas* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta tritikalea *Odisej* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda* i sorta tritikalea *Odisej* nisu bile međusobno različite. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) pronađena je između sorte pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda* i sorte tritikalea *Odisej* u odnosu na sve ostale ispitivane sorte žitarica. Sorte pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Ortegas* se nisu međusobno statistički razlikovale. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *NS40S*, *Nikol* i *Ortegas* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica osim sa sortom ovsa *Jadar*. Sorta pšenice *Avenu* se odlikovala nižom aktivnošću enzima katalaze u uslovima toplotnog stresa i bila je značajno različita ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica.



Grafik 22. Srednja vrednost tri merenja aktivnosti katalaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT – umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.9.2. Analiza aktivnosti askorbat peroksidaze

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature aktivnost askorbat peroksidaze je iznosila 2,43 min/g s.m. (sorta pšenice *Avenu*) do 11,56 min/g s.m. (sorta tritikalea *Odisej*) (Tabela 14). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost askorbat peroksidaze pri uslovima umerene temperature pronađena je kod sorte ovsa *Jadar* (8,26 min/g s.m.), sorte pšenice *Pobeda* (7,45 μmol/g s.m.) i *Nikol* (7,15 min/g s.m.). Niska aktivnost askorbat peroksidaze je pronađena kod sorte pšenice *Hystar* (3,19 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti askorbat peroksidaze u uslovima umerene temperature iznosila je 6,14 min/g s.m..

U uslovima toplotnog stresa u analiziranim sortama žitarica aktivnost askorbat peroksidaze je iznosila 3,48 min/g s.m. (sorta pšenice *Avenu*) do 20,33 min/g s.m. (sorta tritikalea *Odisej*) (Tabela 14). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost askorbat peroksidaze pri uslovima toplotnog stresa pronađena je kod sorte pšenice *Pobeda* (13,77 min/g s.m.), *NS40S* (13,66 min/g s.m.), *Zvezdana* (13,64 min/g s.m.) i *Hystar* (13,20 min/g s.m.). Niska aktivnost askorbat peroksidaze je utvrđena kod sorte pšenice *Ortequs* (4,75 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti askorbat peroksidaze u uslovima toplotnog stresa iznosila je 11,69 min/g s.m..

Na osnovu analize aktivnosti askorbat peroksidaze uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno povećanje aktivnosti askorbat peroksidaze ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa aktivnošću askorbat peroksidaze u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast aktivnosti askorbat peroksidaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosio 105,06% u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte pšenice *Hystar* (314,41%). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Zvezdana* (236,67%) i *NS40S* (131,05%). Značajniji porast aktivnosti askorbat peroksidaze je primećen kod sorti pšenice *Pobeda* (84,78%), *Simonida* (75,10%) i kod sorte tritikalea *Odisej* (75,93%). Najniži porast aktivnosti askorbat peroksidaze uočen je kod sorte pšenice *Ortequs* (2,92%).

Tabela 14. Aktivnost askorbat peroksidaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).

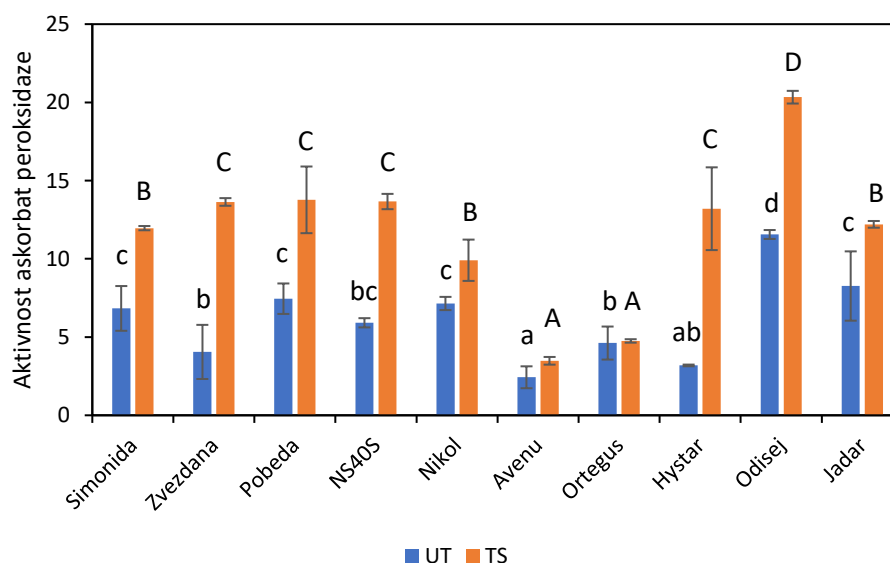
Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	6,83 ± 1,43	11,96 ± 0,14
<i>Zvezdana</i>	4,05 ± 1,73	13,64 ± 0,25
<i>Pobeda</i>	7,45 ± 0,97	13,77 ± 2,13
<i>NS40S</i>	5,91 ± 0,30	13,66 ± 0,49
<i>Nikol</i>	7,15 ± 0,42	9,91 ± 1,32
<i>Avenu</i>	2,43 ± 0,70	3,48 ± 0,25
<i>Ortequs</i>	4,62 ± 1,06	4,75 ± 0,11
<i>Hystar</i>	3,19 ± 0,06	13,20 ± 2,65
<i>Odisej</i>	11,56 ± 0,29	20,33 ± 0,40
<i>Jadar</i>	8,26 ± 2,22	12,20 ± 0,22
Prosek	6,14	11,69

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. UT – umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Za prikazane vrednosti aktivnosti askorbat peroksidaze u vegetacionoj sezoni 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 23).

U uslovima umerene temperature, sorta pšenice *Ortegas* i *Zvezdana* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *Hystar*. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Simonida*, *Pobeda*, *Nikol* i sorte ovsa *Jadar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica izuzev sorte pšenice *NS40S*. Sorta pšenice *Avenu* se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica izuzev sorte pšenice *Hystar*. Sorta tritikalea *Odisej* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica.

U uslovima toplotnog stresa, sorte pšenice *Simonida*, *Nikol* i sorta ovsa *Jadar* nisu bile međusobno različite. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) pronađena je između sorte pšenice *Simonida*, *Nikol* i sorte ovsa *Jadar* u odnosu na sve ostale ispitivane sorte žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S* i *Hystar* se nisu razlikovale na osnovu analiziranih parametara. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenice *Avenu* i *Ortegas* su se značajno razlikovale u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica. Sorta tritikalea *Odisej* odlikovala se višom aktivnošću enzima askorbat peroksidaze u uslovima toplotnog stresa i bila je značajno različita ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica.



Grafik 23. Srednja vrednost tri merenja aktivnosti askorbat peroksidaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT – umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.9.3. Analiza aktivnosti gvajakol peroksidaze

U analiziranim sortama žitarica u uslovima umerene temperature aktivnost gvajakol peroksidaze je iznosila 8,95 min/g s.m. (sorta ovsas *Jadar*) do 22,51 min/g s.m. (sorta pšenice *Ortegas*) (Tabela 15). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost gvajakol peroksidaze pri uslovima umerene temperature pronađena je kod sorte pšenice *Nikol* (22,10 min/g s.m.), *Zvezdana* (21,34 μmol/g s.m.), *Simonida* (20,95 min/g s.m.) i *NS40S* (20,53 min/g s.m.). Niska aktivnost gvajakol peroksidaze je pronađena kod sorte pšenice *Hystar* (15,53 min/g s.m.) i sorte tritikalea *Odisej* (12,77 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti gvajakol peroksidaze u uslovima umerene temperature iznosila je 18,36 min/g s.m..

U uslovima toplotnog stresa u analiziranim sortama žitarica aktivnost gvajakol peroksidaze je iznosila 14,21 min/g s.m. (sorta ovsas *Jadar*) do 34,27 min/g s.m. (sorta tritikalea *NS40S*) (Tabela 15). Među analiziranim sortama žitarica, visoka aktivnost gvajakol peroksidaze pri uslovima toplotnog stresa pronađena je kod sorte pšenice *Avenu* (33,41 min/g s.m.), *Simonida* (30,61 min/g s.m.) i *Nikol* (30,14 min/g s.m.). Niska aktivnost gvajakol peroksidaze je utvrđena kod sorte pšenice *Hystar* (23,45 min/g s.m.) i *Zvezdana* (23,02 min/g s.m.). Srednja vrednost aktivnosti gvajakol peroksidaze u uslovima toplotnog stresa iznosila je 26,54 min/g s.m..

Na osnovu analize aktivnosti gvajakol peroksidaze uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno povećanje aktivnosti gvajakol peroksidaze ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa aktivnošću gvajakol peroksidaze u uslovima umerene temperature vazduha. Prosečan porast aktivnosti gvajakol peroksidaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosio 48.65% u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Najveći porast je primećen kod sorte tritikalea *Odisej* (108.83%). Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Avenu* (75.09%) i *NS40S* (66,95%). Značajniji porast aktivnosti gvajakol peroksidaze je primećen kod sorte ovsas *Jadar* (58,71%) i kod sorti pšenice *Hystar* (51%) i *Simonida* (46,09%). Najniži porast aktivnosti gvajakol peroksidaze uočen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (7,87%) i *Ortegas* (7,78%).

Tabela 15. Aktivnost gvajakol peroksidaze u 2018. godini u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa, izražen u min/g s.m. (sveže mase).

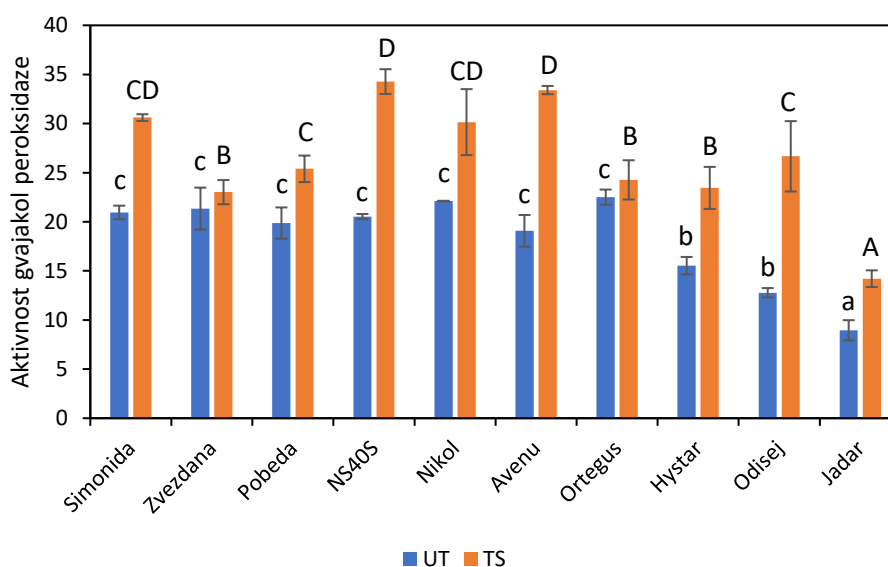
Sorta	UT	TS
<i>Simonida</i>	20,95 ± 0,69	30,61 ± 0,34
<i>Zvezdana</i>	21,34 ± 2,14	23,02 ± 1,23
<i>Pobeda</i>	19,87 ± 1,59	25,39 ± 1,35
<i>NS40S</i>	20,53 ± 0,26	34,27 ± 1,26
<i>Nikol</i>	22,10 ± 0,03	30,14 ± 3,36
<i>Avenu</i>	19,08 ± 1,61	33,41 ± 0,42
<i>Ortegas</i>	22,51 ± 0,77	24,26 ± 2,00
<i>Hystar</i>	15,53 ± 0,89	23,45 ± 2,14
<i>Odisej</i>	12,77 ± 0,48	26,66 ± 3,58
<i>Jadar</i>	8,95 ± 1,03	14,21 ± 0,85
Prosek	18,36	26,54

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. UT - umerena temperatura vazduha; TS – toplotni stres.

Za prikazane vrednosti aktivnosti gvajakol peroksidaze u vegetacionoj sezoni 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Grafik 24).

U uslovima umerene temperature, sorta pšenice *Hystar* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu razlikovale na osnovu analiziranih parametara, dok su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim ispitivanim sortama žitarica. Sorte pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu* i *Ortegas* u uslovima umerene temperature vazduha se nisu razlikovale na osnovu analiziranih parametara. Statistički značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte ovsa *Jadar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

U uslovima toplotnog stresa sorta ovsa *Jadar* se statistički značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana*, *Ortegas* i *Hystar* se nisu međusobno razlikovale značajno. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte pšenice *Zvezdana*, *Ortegas* i *Hystar* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenica *Pobeda* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu značajno razlikovale, ali su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica, izuzev sa sortama pšenice *Simonida* i *Nikol*. Sorte pšenice *NS40S* i *Avenu* su se odlikovale većom aktivnošću gvajakol peroksidaze u uslovima toplotnog stresa i međusobno se nisu značajno razlikovale. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između *NS40S* i *Avenu* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica, izuzev sa sortama pšenice *Simonida* i *Nikol*.



Grafik 24. Srednja vrednost tri merenja aktivnosti gvajakol peroksidaze u toku vegetacione sezone 2018., pri umerenim temperaturnim uslovima i u uslovima toplotnog stresa, izražena je u $\mu\text{mol/g}$ sveže mase. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima u uslovima toplotnog stresa (velika slova) i u uslovima umerene temperature (mala slova) se statistički razlikuju ($p < 0,05$). UT - umerena temperatura vazduha; TS – Toplotni stres.

4.10. Analiza sadržaja fotosintetičkih pigmenata

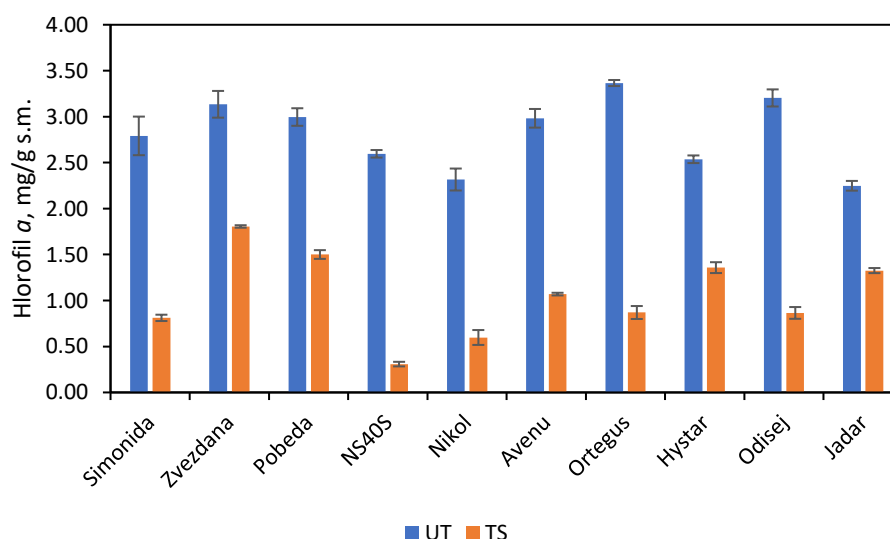
Sadržaj fotosintetičkih pigmenata je ispitivan u listovima zastavičarima deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u uslovima umerene temperature i u uslovima toplotnog stresa u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Vršena je analiza hlorofila *a*, hlorofila *b*, ukupnog hlorofila i karotenoida. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.10.1. Analiza sadržaja hlorofila *a*

4.10.1.1. Analiza sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2016., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 25). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *a* se kretao od 2,25 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ova *Jadar* do 3,37 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Ortegas*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *a* su sorte pšenice *Zvezdana* (3,13 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (3,00 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (3,20 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niži sadržaj hlorofila *a* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (2,79 $\mu\text{g/ml}$) i *Avenu* (2,98 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (2,60 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (2,54 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (2,32 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima umerene temperature je iznosila 2,82 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (1,81 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (1,50 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,50 $\mu\text{g/ml}$) i sorte ova *Jadar* (1,33 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte *Avenu* (1,07 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (0,87 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,81 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,86 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *a* je utvrđena u sorti pšenice *Nikol* (0,60 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,31 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 1,05 $\mu\text{g/ml}$.



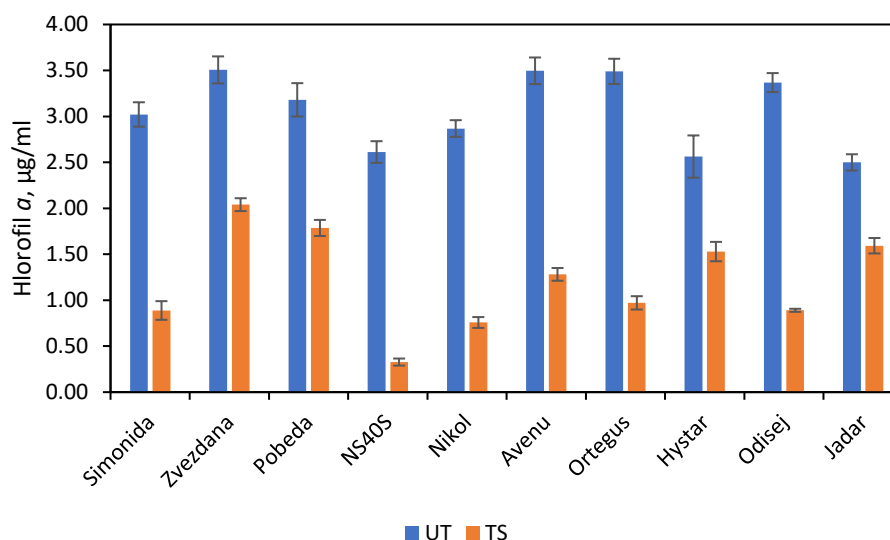
Grafik 25. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Na osnovu analize sadržaja hlorofila *a* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2016., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *a* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *a* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *a* u vegetacionoj sezoni 2016. je iznosila 62,44%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (88,13%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Nikol* (74,19%), *Ortegas* (74,17%), *Simonida* (70,93%) i sorta tritikalea *Odisej* (73,01%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (64,14%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Pobeda* (49,92%) i *Hystar* (46,48%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana* (42,40%) i kod sorte ovsa *Jadar* (41,03%).

4.10.1.2. Analiza sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2017., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 26). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *a* se kretao od 2,50 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 3,51 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *a* su sorte pšenice *Avenu* (3,50 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (3,49 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (3,18 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (3,37 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj hlorofila *a* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (3,02 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (2,87 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (2,61 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (2,56 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima umerene temperature je iznosila 3,06 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (2,04 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (1,79 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,53 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (1,07 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (1,59 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte *Ortegas* (0,97 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,89 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,89 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *a* je utvrđena u sorti pšenice *Nikol* (0,76 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,33 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 1,21 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 26. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

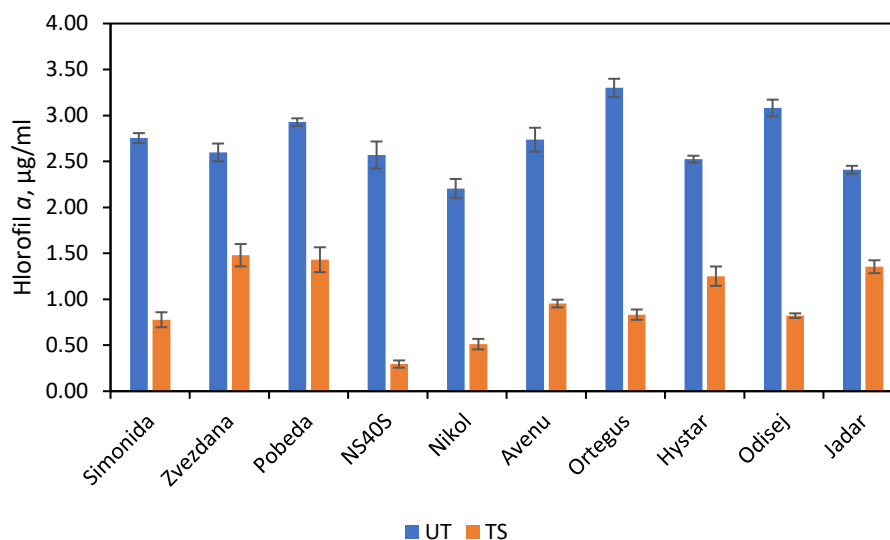
Na osnovu analize sadržaja hlorofila *a* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *a* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *a* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *a* u vegetacionoj sezoni 2017. je iznosila 60,29%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (87,47%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Nikol* (73,58%), *Ortegas* (72,16%), *Simonida* (70,59%) i sorta tritikalea *Odisej* (73,56%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (63,35%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Pobeda* (43,82%) i *Zvezdana* (41,81%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Hystar* (40,33%) i kod sorte ovsa *Jadar* (36,27%).

4.10.1.3. Analiza sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *a* u toku vegetacione sezone 2018., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 27). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *a* se kretao od 2,21 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Nikol* do 3,30 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Ortegas*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *a* su sorte pšenice *Pobeda* (2,93 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (2,75 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (2,74 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (3,08 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj hlorofila *a* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (2,60 $\mu\text{g/ml}$), *NS40S* (2,57 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (2,52 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte ovsa *Jadar* (2,41 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima umerene temperature je iznosila 2,71 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (1,48 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *a* je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (1,43 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,25 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (1,35 $\mu\text{g/ml}$). Niže vrednosti su pronađene kod sorte pšenice *Avenu* (0,95 $\mu\text{g/ml}$) *Ortegas* (0,83 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,78 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte

tritikalea *Odisej* (0,82 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *a* je utvrđena u sorti pšenice *Nikol* (0,51 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,30 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,97 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 27. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *a* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Na osnovu analize sadržaja hlorofila *a* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *a* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *a* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *a* u vegetacionoj sezoni 2018. je iznosila 63,87%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *a* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (88,51%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Nikol* (76,78%), *Ortegus* (74,76%), *Simonida* (71,77%) i sorta tritikalea *Odisej* (73,32%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (65,14%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja hlorofila *a* su sorte pšenice *Pobeda* (51,14%) i *Hystar* (50,41%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *a* je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana* (43,04%) i kod sorte ovsa *Jadar* (43,80%).

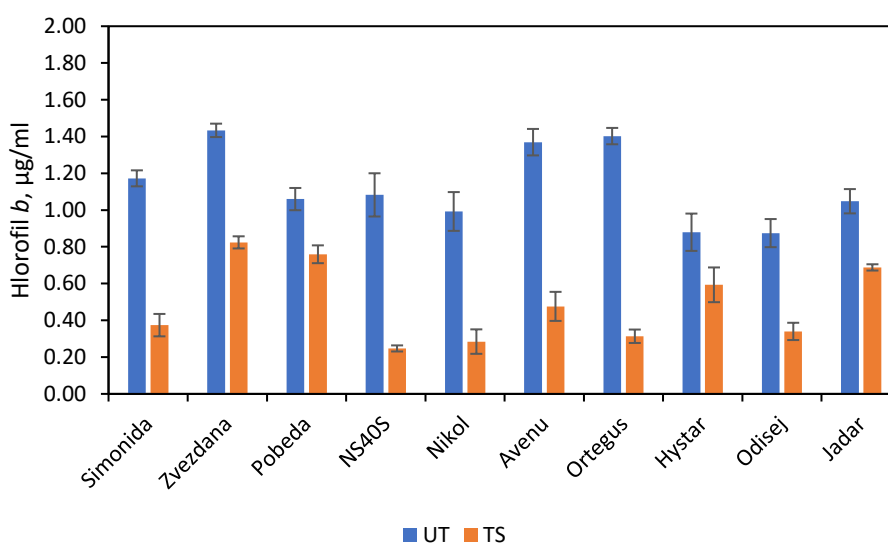
4.10.2. Analiza sadržaja hlorofila *b*

4.10.2.1. Analiza sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2016. u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 28). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *b* se kretao od 0,87 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte tritikalea *Odisej* do 1,43 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *b* su sorte pšenice *Ortegus* (1,40 $\mu\text{g/ml}$) i *Avenu* (1,37 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj hlorofila *b* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (1,17 $\mu\text{g/ml}$), *NS40S* (1,08 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (1,06 $\mu\text{g/ml}$) i sorta ovsa *Jadar* (1,05 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *Nikol* (0,99

$\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (0,88 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima umerene temperature je iznosila 1,13 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,82 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (0,76 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (0,59 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsas *Jadar* (0,69 $\mu\text{g/ml}$). Niža vrednost je pronađena kod sorte pšenice *Avenu* (0,48 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *b* je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (0,37 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (0,31 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,34 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost pronađena je kod sorte pšenice *NS40S* (0,25 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,28 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,49 $\mu\text{g/ml}$.



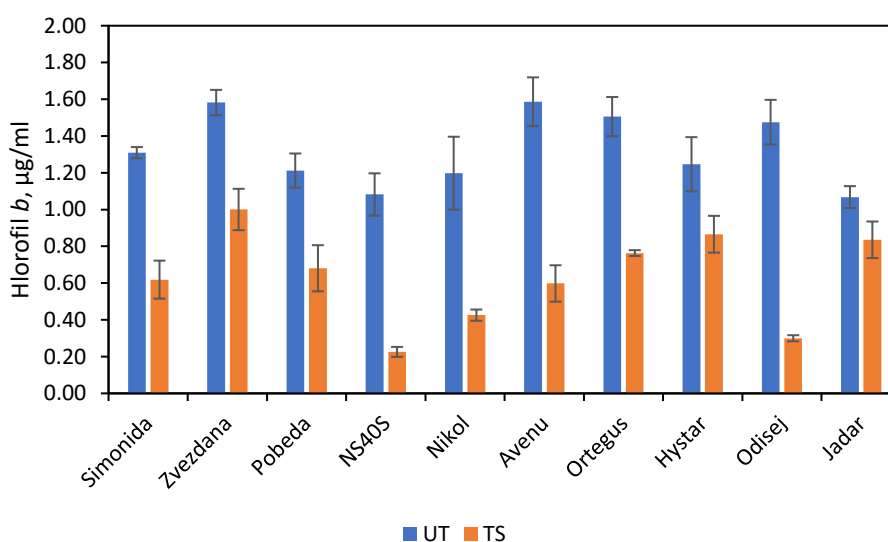
Grafik 28. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Na osnovu analize sadržaja hlorofila *b* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2016., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *b* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *b* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *b* u vegetacionoj sezoni 2016 je iznosila 56,69%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *Ortegas* (77,64%). Sorte kod kojih je takođe uočeno smanjenje sadržaja hlorofila *b* su sorte pšenice *NS40S* (77,16%), *Nikol* (71,33%) i *Simonida* (68,11%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *b* je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (65,24%) i kod sorte tritikalea *Odisej* (61,14%). Sorta kod koje je uočen manji pad sadržaja hlorofila *b* je sorta pšenice *Zvezdana* (42,51%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *b* je uočen kod sorte pšenice *Pobeda* (28,32%), *Hystar* (32,52%) i kod sorte ovsas *Jadar* (34,35%).

4.10.2.2. Analiza sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2017., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 29). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *b* se kretao od 1,07 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 1,59 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Avenu*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *b* su sorte pšenice *Zvezdana* (1,58 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,51 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (1,48 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj hlorofila *b* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (1,31 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,25 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (1,21 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (1,20 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (1,08 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima umerene temperature je iznosila 1,33 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (1 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen i kod sorte pšenice *Hystar* (0,87 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (0,76 $\mu\text{g/ml}$) i sorte ovsa *Jadar* (0,84 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte *Pobeda* (0,68 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,62 $\mu\text{g/ml}$) i *Avenu* (0,60 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *b* je utvrđena u sorti pšenice *Nikol* (0,43 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,23 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,30 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,63 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 29. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

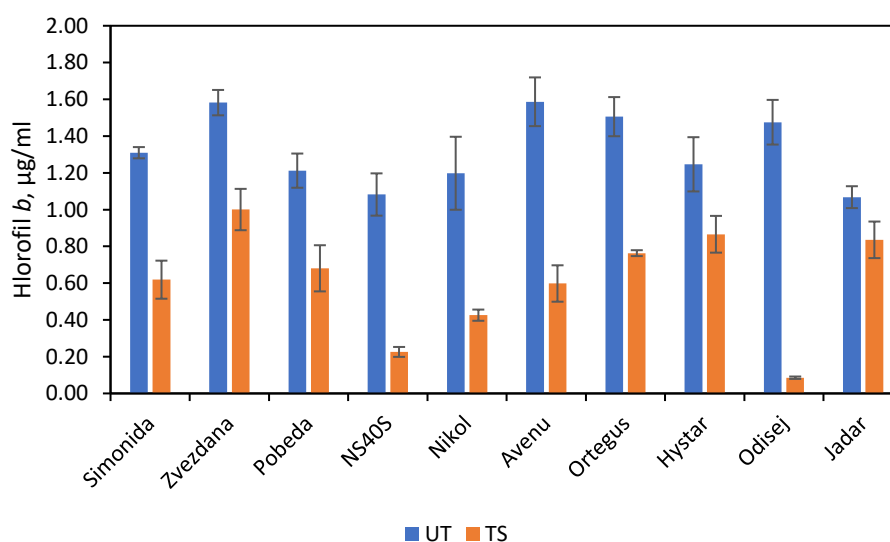
Na osnovu analize sadržaja hlorofila *b* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *b* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *b* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *b* u vegetacionoj sezoni 2017 je iznosila 52,40%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte tritikalea *Odisej* (79,68%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja hlorofila *b* su sorte pšenice *NS40S* (79,13%), *Nikol* (64,46%) i *Avenu* (62,31%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *b* je uočen kod sorte pšenice *Simonida* (52,75%), *Ortegas* (49,31%) i *Pobeda* (43,84%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja hlorofila *b* su sorte

pšenice *Hystar* (30,53%) i *Zvezdana* (36,76%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *b* je uočen kod sorte ovsu *Jadar* (21,74%).

4.10.2.3. Analiza sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja hlorofila *b* u toku vegetacione sezone 2018., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 30). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj hlorofila *b* se kretao od 0,84 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte tritikalea *Odisej* do 1,37 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Ortegas*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem hlorofila *b* su sorte pšenice *Avenu* (1,26 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (1,25 $\mu\text{g/ml}$), *Zvezdana* (1,16 $\mu\text{g/ml}$) i sorta ovsu *Jadar* (1,18 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj hlorofila *b* u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (1,08 $\mu\text{g/ml}$), *NS40S* (1,07 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *Nikol* (0,95 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (0,87 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima umerene temperature je iznosila 1,10 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen kod sorte pšenice *Pobeda* (0,72 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj hlorofila *b* je utvrđen i kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,70 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (0,55 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte pšenice *Avenu* (0,42 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsu *Jadar* (0,43 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost hlorofila *b* je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (0,36 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (0,30 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,32 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost hlorofila *b* je pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,24 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,24 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,43 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 30. Srednja vrednost sadržaja hlorofila *b* u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

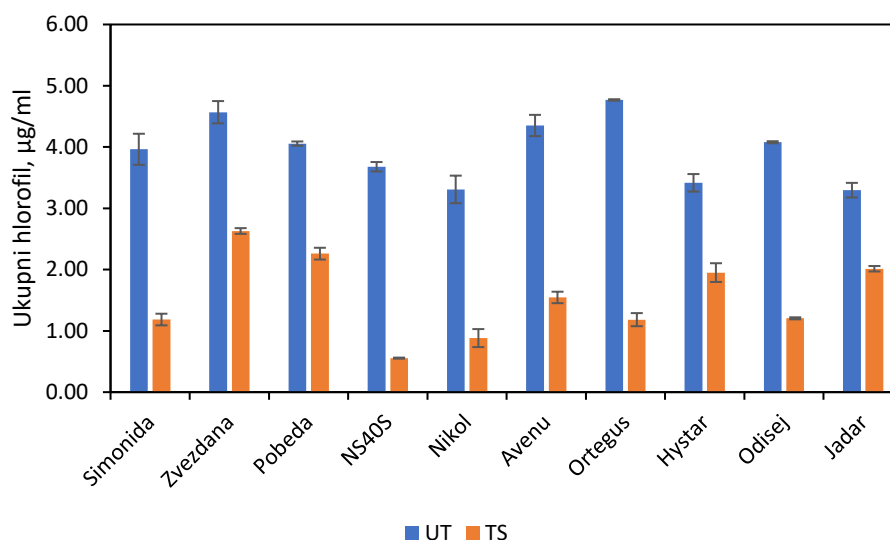
Na osnovu analize sadržaja hlorofila *b* uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno smanjenje sadržaja hlorofila *b* ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem hlorofila *b* u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja hlorofila *b* u vegetacionoj sezoni 2018 je iznosila 63,87%. Najveće smanjenje sadržaja hlorofila *b* u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (88,51%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja hlorofila *b* su sorte pšenice *Nikol* (76,78%), *Ortegas* (74,76%), *Simonida* (71,77%) i sorta tritikalea *Odisej* (73,32%). Malo manji pad vrednosti hlorofila *b* je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (65,14%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja hlorofila *b* su sorte pšenice *Pobeda* (51,14%) i *Hystar* (50,41%). Najmanji pad sadržaja hlorofila *b* je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana* (43,04%) i kod sorte ovsa *Jadar* (43,80%).

4.10.3. Analiza sadržaja ukupnog hlorofila

4.10.3.1. Analiza sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2016., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 31). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj ukupnog hlorofila se kretao od 3,30 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 4,77 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Ortegas*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Zvezdana* (4,57 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (4,35 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (4,06 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (4,08 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Simonida* (3,96 $\mu\text{g/ml}$), *NS40S* (3,68 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (3,42 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Nikol* (3,31 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature je iznosila 3,95 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (2,63 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (2,26 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,95 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (2,01 $\mu\text{g/ml}$). Niža vrednost je pronađena kod sorte pšenice *Avenu* (1,55 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost ukupnog hlorofila je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (1,19 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,18 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (1,20 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost pronađena je kod sorte pšenice *NS40S* (0,56 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,88 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa je iznosila 1,54 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 31. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

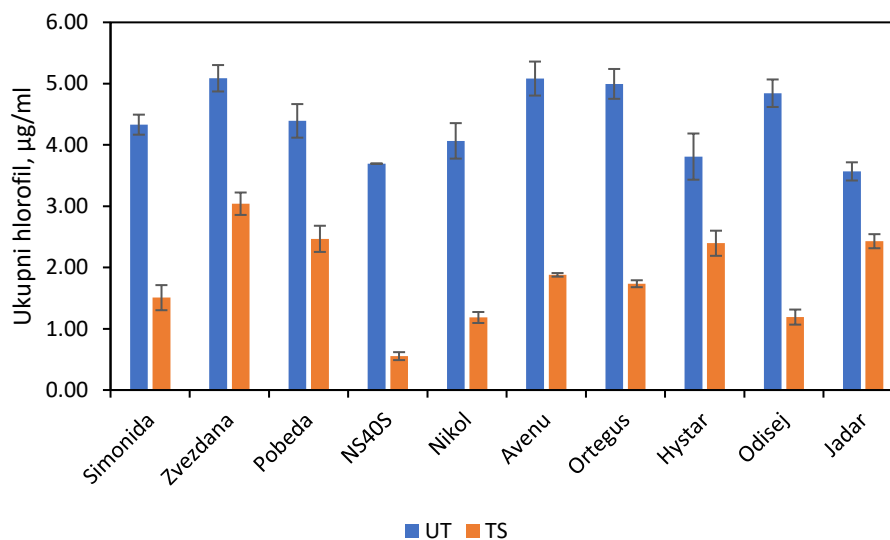
Na osnovu analize sadržaja ukupnog hlorofila uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2016., uočeno je značajno smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja ukupnog hlorofila u vegetacionoj sezoni 2016. je iznosila 60,97%. Najveće smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (84,90%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Ortegus* (75,19%), *Nikol* (73,34%), *Simonida* (70,10%) i kod sorte tritikalea *Odisej* (70,46%). Malo manji pad vrednosti ukupnog hlorofila je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (64,48%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorta pšenice *Pobeda* (44,28%), *Hystar* (42,88%) i *Zvezdana* (42,51%). Najmanji pad sadržaja ukupnog hlorofila je uočen kod sorte pšenice i kod sorte ovsa *Jadar* (38,91%).

4.10.3.2. Analiza sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2017., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 32). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj ukupnog hlorofila se kretao od 3,57 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 5,09 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Avenu* (5,08 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegus* (5 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (4,84 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Pobeda* (4,39 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (4,33 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (4,07 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Hystar* (3,81 $\mu\text{g/ml}$) i *NS40S* (3,69 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature je iznosila 4,39 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (3,04 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (2,47 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (2,40 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (2,43 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže

vrednosti su pronađene kod sorte pšenice *Avenu* (1,88 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,73 $\mu\text{g/ml}$) i *Simonida* (1,51 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost ukupnog hlorofila je utvrđena u sorti pšenice *Nikol* (1,18 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (1,19 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,55 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa je iznosila 1,84 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 32. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

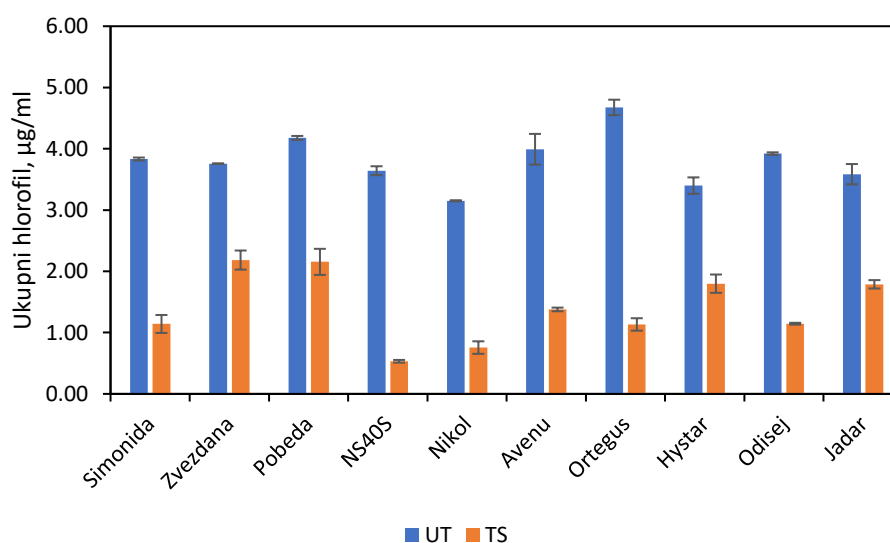
Na osnovu analize sadržaja ukupnog hlorofila uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja ukupnog hlorofila u vegetacionoj sezoni 2017. je iznosila 58,10%. Najveće smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (85,03%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorta pšenice *Nikol* (70,89%) i sorta tritikalea *Odisej* (75,43%). Malo manji pad vrednosti ukupnog hlorofila je uočen kod sorte pšenice *Ortegas* (65,28%), *Simonida* (65,19%) i *Avenu* (63,02%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Pobeda* (43,83%) i *Zvezdana* (40,24%). Najmanji pad sadržaja ukupnog hlorofila je uočen kod sorte ovsa *Jadar* (31,92%) i kod sorte pšenice *Hystar* (37,12%).

4.10.3.3. Analiza sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja ukupnog hlorofila u toku vegetacione sezone 2018., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 33). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj ukupnog hlorofila se kretao od 3,15 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Nikol* do 4,67 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Ortegas*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Pobeda* (4,18 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (3,99 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (3,83 $\mu\text{g/ml}$), *Zvezdana* (3,76 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (3,92 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj ukupnog hlorofila u uslovima umerene

temperature utvrđen je kod sorte pšenice *NS40S* (3,64 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Hystar* (3,40 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (3,59 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature je iznosila 3,81 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (2,18 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj ukupnog hlorofila je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (2,15 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (1,80 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (1,79 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte pšenice *Avenu* (1,38 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost ukupnog hlorofila je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (1,14 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,13 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (1,14 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost ukupnog hlorofila je pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,53 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,76 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa je iznosila 1,40 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 33. Srednja vrednost sadržaja ukupnog hlorofila u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

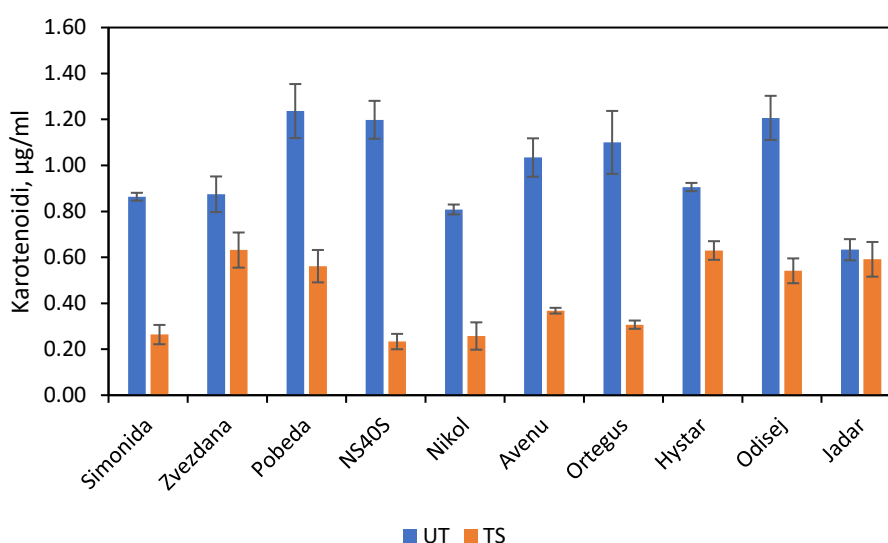
Na osnovu analize sadržaja ukupnog hlorofila uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja ukupnog hlorofila u vegetacionoj sezoni 2018. je iznosila 63,26%. Najveće smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (85,39%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Nikol* (76,01%), *Ortegas* (75,76%), *Simonida* (70,23%) i sorta tritikalea *Odisej* (70,80%). Malo manji pad vrednosti ukupnog hlorofila je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (65,48%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja ukupnog hlorofila su sorte pšenice *Pobeda* (48,41%) i *Hystar* (47,09%) i kod sorte ovsa *Jadar* (50,13%). Najmanji pad sadržaja ukupnog hlorofila je uočen kod sorte pšenice *Zvezdana* (41,88%).

4.10.4. Analiza sadržaja karotenoida

4.10.4.1. Analiza sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2016., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 34). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj karotenoida se kretao od 0,63 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 1,24 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Pobeda*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem karotenoida su sorte pšenice *NS40S* (1,20 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,10 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (1,03 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (1,21 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj karotenoida u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Hystar* (0,91 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,87 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,86 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,81 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima umerene temperature je iznosila 0,99 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,63 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (0,63 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj karotenoida je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (0,56 $\mu\text{g/ml}$), kod sorte ovsa *Jadar* (0,59 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,54 $\mu\text{g/ml}$). Niža vrednost je pronađena kod sorte pšenice *Ortegas* (0,37 $\mu\text{g/ml}$) i *Avenu* (0,31 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost karotenoida je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (0,26 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,26 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost karotenoida pronađena je kod sorte pšenice *NS40S* (0,23 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,44 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 34. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2016. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

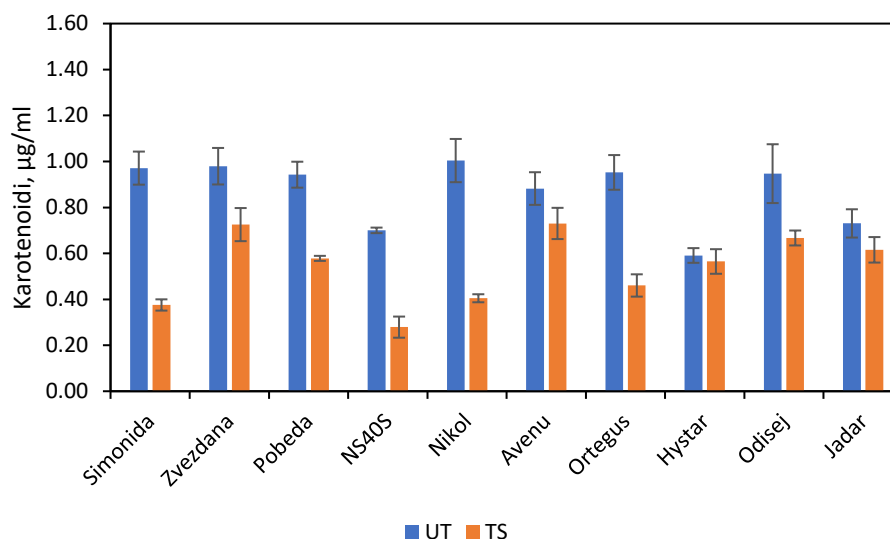
Na osnovu analize sadržaja karotenoida uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2016., uočeno je značajno smanjenje sadržaja ukupnog hlorofila ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem ukupnog hlorofila u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja karotenoida u vegetacionoj sezoni 2016. je iznosila 55,54%. Najveće smanjenje sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *NS40S* (80,53%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja karotenoida su sorte pšenice *Ortegas* (72,10%), *Simonida* (69,46%), *Nikol* (68,13%) i *Avenu* (64,45%). Malo manji pad vrednosti karotenoida je uočen

kod sorte tritikalea *Odisej* (55,15%) i kod sorte pšenice *Pobeda* (54,60%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja karotenoida su sorta pšenice *Hystar* (30,49%) i *Zvezdana* (27,77%). Najmanji pad sadržaja karotenoida je uočen kod sorte pšenice i kod sorte ovsa *Jadar* (6,60%).

4.10.4.2. Analiza sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2017., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 35). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj karotenoida se kretao od 0,59 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Hystar* do 1,00 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Nikol*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale većim sadržajem karotenoida su sorte pšenice *Zvezdana* (0,98 $\mu\text{g/ml}$), *Simonida* (0,97 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (0,95 $\mu\text{g/ml}$), *Pobeda* (0,94 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (0,95 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj karotenoida u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Avenu* (0,88 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (0,70 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (0,73 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima umerene temperature je iznosila 0,87 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najveći sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,73 $\mu\text{g/ml}$) i *Avenu* (0,73 $\mu\text{g/ml}$). Veći sadržaj karotenoida je utvrđen i kod sorte pšenice *Pobeda* (0,58 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (0,56 $\mu\text{g/ml}$), kod sorte tritikalea *Odisej* (0,67 $\mu\text{g/ml}$) i kod sorte ovsa *Jadar* (0,62 $\mu\text{g/ml}$). Nešto niže vrednosti su pronađene kod sorte pšenice *Ortegas* (0,46 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,40 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost karotenoida je utvrđena u sorti pšenice *Simonida* (0,38 $\mu\text{g/ml}$), dok je najniža vrednost pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,28 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa je iznosila 0,54 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 35. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2017. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

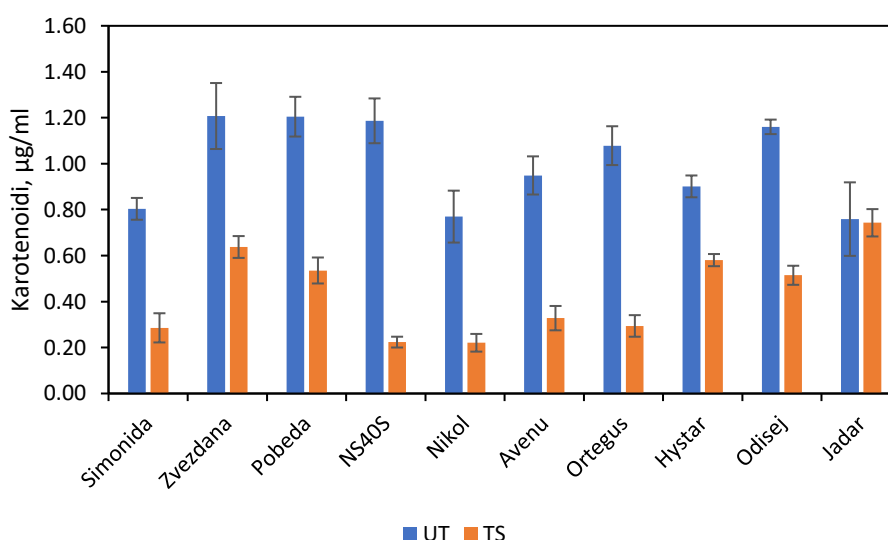
Na osnovu analize sadržaja karotenoida uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2017., uočeno je značajno smanjenje sadržaja karotenoida ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem karotenoida u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja

vrednost pada sadržaja karotenoida u vegetacionoj sezoni 2017. iznosila je 37,92%. Najveće smanjenje sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha je uočeno kod sorte pšenice *Simonida* (61,34%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja karotenoida su *NS40S* (60,15%), *Nikol* (59,69%) i *Ortegas* (51,66%). Malo manji pad vrednosti karotenoida je uočen kod sorte pšenice *Pobeda* (38,64%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja karotenoida su sorte pšenice *Zvezdana* (25,95%), *Avenu* (17,22%) i sorta tritikalea *Odisej* (29,57%). Najmanji pad sadržaja karotenoida je uočen kod sorte ovsa *Jadar* (15,74%) i kod sorte pšenice *Hystar* (4,42%).

4.10.4.3. Analiza sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja karotenoida u toku vegetacione sezone 2018., u uslovima umerene temperature vazduha predstavljene su na histogramu (Grafik 36). U uslovima umerene temperature vazduha sadržaj karotenoida se kretao od 0,76 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte ovsa *Jadar* do 1,21 $\mu\text{g/ml}$ kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se u uslovima umerene temperature vazduha odlikovale višim sadržajem karotenoida su sorte pšenice *Pobeda* (1,20 $\mu\text{g/ml}$), *NS40S* (1,19 $\mu\text{g/ml}$), *Ortegas* (1,08 $\mu\text{g/ml}$) i sorta tritikalea *Odisej* (1,16 $\mu\text{g/ml}$). Niži sadržaj karotenoida u uslovima umerene temperature utvrđen je kod sorte pšenice *Avenu* (0,95 $\mu\text{g/ml}$) i *Hystar* (0,90 $\mu\text{g/ml}$). Nizak sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorti pšenice *Simonida* (0,80 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,77 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima umerene temperature iznosila je 1 $\mu\text{g/ml}$.

U uslovima toplotnog stresa najviši sadržaj karotenoida je utvrđen kod sorte ovsa *Jadar* (0,74 $\mu\text{g/ml}$). Visok sadržaj karotenoida je utvrđen i kod sorte pšenice *Zvezdana* (0,64 $\mu\text{g/ml}$), *Hystar* (0,58 $\mu\text{g/ml}$), i pšenice *Pobeda* (0,54 $\mu\text{g/ml}$) kao i kod sorte tritikalea *Odisej* (0,51 $\mu\text{g/ml}$). Niža vrednost je pronađena kod sorte pšenice *Avenu* (0,33 $\mu\text{g/ml}$). Niska vrednost karotenoida utvrđena je kod u sorti pšenice *Simonida* (0,29 $\mu\text{g/ml}$) i *Ortegas* (0,29 $\mu\text{g/ml}$). Najniža vrednost karotenoida je pronađena kod sorte pšenice *NS40S* (0,22 $\mu\text{g/ml}$) i *Nikol* (0,22 $\mu\text{g/ml}$). Srednja vrednost sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa iznosila je 0,44 $\mu\text{g/ml}$.



Grafik 36. Srednja vrednost sadržaja karotenoida u listovima zastavičarima deset sorti žitarica uzgajanih na eksperimentalnom polju u toku 2018. godine. Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri merenja \pm standardna greška. Uzorci su prikupljeni u uslovima umerene temperature vazduha i u uslovima toplotnog stresa.

Na osnovu analize sadržaja karotenoida uparenim T testom u toku vegetacione sezone 2018., uočeno je značajno smanjenje sadržaja karotenoida ($p < 0,05$) u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem karotenoida u uslovima umerene temperature vazduha. Srednja vrednost pada sadržaja karotenoida u vegetacionoj sezoni 2018. iznosila je 56,46%. Najveće smanjenje sadržaja karotenoida u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha uočeno je kod sorte pšenice *NS40S* (81,16%). Sorte kod kojih je uočen takođe veći pad sadržaja karotenoida su sorte pšenice *Ortegas* (72,74%) i *Nikol* (71,33%). Malo manji pad vrednosti karotenoida je uočen kod sorte pšenice *Avenu* (65,45%) i *Simonida* (64,45%). Sorte kod kojih je uočen manji pad sadržaja karotenoida su sorte pšenice *Pobeda* (55,57%), *Zvezdana* (47,20%), *Hystar* (35,60%) i sorta tritikalea *Odisej* (55,67%). Najmanji pad sadržaja karotenoida je uočen kod sorte ovsa *Jadar* (2,10%).

4.11. Analiza sadržaja skroba

Sadržaj skroba je ispitivan u semenu deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.11.1. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 16. Sadržaj skroba se kretao od 29,98% kod sorte ovsa *Jadar* do 71,07% kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se odlikovale višim sadržajem skroba su sorte pšenice *Hystar* (54,33%), *Avenu* (51,37%) i *Simonida* (50,12%). Nizak sadržaj skroba je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (38,45%) i *Ortegas* (35,26%). Srednja vrednost sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2016. iznosila je 47,16%.

Tabela 16. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Sorta	Skrob %
<i>Simonida</i>	50,12 ± 2,54 bc
<i>Zvezdana</i>	71,07 ± 2,20 d
<i>Pobeda</i>	49,55 ± 1,78 bc
<i>NS40S</i>	38,45 ± 2,46 ab
<i>Nikol</i>	46,71 ± 1,27 b
<i>Avenu</i>	51,37 ± 2,14 bc
<i>Ortegas</i>	35,26 ± 1,99 ab
<i>Hystar</i>	54,33 ± 2,04 c
<i>Odisej</i>	44,77 ± 3,13 b
<i>Jadar</i>	29,98 ± 5,31 a
Prosek	47,16

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Procenat skroba je izražen u odnosu na suhu masu zrna. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti sadržaja skroba u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 16).

Na osnovu analize, utvrđeno je da sorta pšenice *Zvezdana* ima statistički značajno višu vrednost sadržaja skroba ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenice *Hystar* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama *Zvezdana*, *NS40S*, *Nikol*, *Ortegas*, *Odisej* i *Jadar*. Sorta pšenice *Nikol* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama *Hystar*, *Jadar* i *Zvezdana*. Sorta ovsa *Jadar* imala je statistički značajno nižu vrednost sadržaja skroba u poređenju sa skoro svim analiziranim sortama žitarica osim sa sortom pšenice *NS40S* i *Ortegas*.

4.11.2. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 17. Sadržaj skroba se kretao od 31,08% kod sorte ovsa *Jadar* do 72,67% kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se odlikovale višim sadržajem skroba su sorte pšenice *Pobeda* (68,74%), *Hystar* (60,21%), *Nikol* (58,91%) i *Avenu* (56,87%). Nizak sadržaj skroba utvrđen je kod sorte pšenice *NS40S* (44,11%), *Ortegas* (37,48%) i kod sorte tritikalea *Odisej* (46,65%). Srednja vrednost sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2017. iznosila je 52,82%.

Tabela 17. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Sorta	Skrob %
<i>Simonida</i>	51,53 ± 2,40 b
<i>Zvezdana</i>	72,67 ± 3,08 c
<i>Pobeda</i>	68,74 ± 0,24 c
<i>NS40S</i>	44,11 ± 5,12 ab
<i>Nikol</i>	58,91 ± 3,08 b
<i>Avenu</i>	56,87 ± 1,56 b
<i>Ortegas</i>	37,48 ± 1,80 b
<i>Hystar</i>	60,21 ± 3,44 bc
<i>Odisej</i>	46,65 ± 7,65 ab
<i>Jadar</i>	31,08 ± 2,67 a
Prosek	52,82

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Procenat skroba je izražen u odnosu na suhu masu zrna. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti sadržaja skroba u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 17).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Zvezdana* i *Pobeda* nisu međusobno značajno razlikovale. Utvrđena je statistički značajno viša vrednost sadržaja skroba ($p < 0,05$)

kod sorti *Zvezdana* i *Pobeda* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica izuzev sa sortom *Hystar*. Kod sorte ovsa *Jadar* utvrđena je statistički značajno niža vrednost sadržaja skroba i nije se značajno razlikovala sa sortama *Odisej* i *NS40S*, dok se u poređenju sa ostalim sortama značajno razlikovala ($p < 0,05$). Sorte pšenice *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas* i *Simonida* se nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorte *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas* i *Simonida* u poređenju sa sortama *Zvezdana*, *Pobeda* i *Jadar*.

4.11.3. Analiza sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 18. Sadržaj skroba se kretao od 30.80% kod sorte ovsa *Jadar* do 69.81% kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se odlikovale višim sadržajem skroba su sorte pšenice *Simonida* (49,95%), *Avenu* (48,66%) i *Hystar* (48,56%). Nizak sadržaj skroba utvrđen je kod sorte pšenice *NS40S* (33,26%) i *Ortegas* (33,04%). Srednja vrednost sadržaja skroba u toku vegetacione sezone 2018. iznosila je 44,51%.

Tabela 18. Sadržaj skroba u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima u odnosu na suhu masu zrna.

Sorta	Skrob %
<i>Simonida</i>	49,95 ± 0,59 b
<i>Zvezdana</i>	69,81 ± 7,39 c
<i>Pobeda</i>	44,48 ± 2,43 ab
<i>NS40S</i>	33,26 ± 1,55 a
<i>Nikol</i>	43,18 ± 2,33 ab
<i>Avenu</i>	48,66 ± 3,73 b
<i>Ortegas</i>	33,04 ± 3,56 a
<i>Hystar</i>	48,56 ± 2,11 b
<i>Odisej</i>	43,34 ± 4,14 ab
<i>Jadar</i>	30,80 ± 1,78 a
Prosek	44,51

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Procenat skroba je izražen u odnosu na suhu masu zrna. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti sadržaja skroba u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 18).

Na osnovu analize, utvrđeno je da sorta pšenice *Zvezdana* ima statistički značajno višu vrednost sadržaja skroba ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Simonida*, *Avenu* i *Hystar* se nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika ($p < 0,05$) utvrđena je između sorte pšenice *Simonida*, *Avenu* i *Hystar* u poređenju sa sortama *Zvezdana*, *NS40S*, *Ortegas* i *Jadar*. Sorte pšenice *NS40S*, *Ortegas* i sorte ovsa *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale, dok su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa sortom pšenice *Simonida*, *Avenu*, *Hystar* i *Zvezdana*.

4.12. Analiza sadržaja suve mase lista

Sadržaj suve mase lista ispitivan je u listu zastavičaru deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.12.1. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 19. Sadržaj suve mase lista se kretao od 25,29% kod sorte pšenice *NS40S* do 76,67% kod sorte pšenice *Hystar*. Sorte žitarica koje su se odlikovale višim sadržajem suve mase lista su sorte pšenice *Simonida* (51,92%), *Pobeda* (44,66%), *Ortegas* (44,31%) i sorta tritikalea *Odisej* (47,10%). Nizak sadržaj suve mase lista utvrđen je kod sorte pšenice *Zvezdana* (40,19%) i kod sorte ovsa *Jadar* (40,28%). Srednja vrednost sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016. iznosila je 45,52%.

Tabela 19. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima.

Sorta	SML %
<i>Simonida</i>	51,92 ± 0,25 b
<i>Zvezdana</i>	40,19 ± 2,70 b
<i>Pobeda</i>	44,66 ± 0,44 b
<i>NS40S</i>	25,29 ± 3,55 a
<i>Nikol</i>	43,04 ± 1,13 b
<i>Avenu</i>	41,71 ± 0,58 b
<i>Ortegas</i>	44,31 ± 0,66 b
<i>Hystar</i>	76,67 ± 5,09 c
<i>Odisej</i>	47,10 ± 3,53 b
<i>Jadar</i>	40,28 ± 2,04 b
Prosek	45,52

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); SML - suva masa lista.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase lista u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 19).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *NS40S* poseduje statistički značajno nižu vrednost suve mase lista ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorta pšenice *Hystar* poseduje statistički značajno višu vrednost sadržaja suve mase lista ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte žitarica *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Odisej* i *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale.

4.12.2. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 20. Sadržaj suve mase lista se kretao od 34.08% kod sorte pšenice *Pobeda* do 41.03% kod sorte tritikalea *Odisej*. Sorte žitarica koje su se odlikovale višim sadržajem suve mase lista su sorte pšenice *Nikol* (39,07%), *Ortegas* (38,55 $\mu\text{g/ml}$), *Avenu* (38,21%) i *Simonida* (37,74%). Nizak sadržaj suve mase lista je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (34,58%) i kod sorte ovsa *Jadar* (34,67%). Srednja vrednost sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017. iznosila je 37,02%.

Tabela 20. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima.

Sorta	SML %
<i>Simonida</i>	37,74 \pm 1,71
<i>Zvezdana</i>	36,88 \pm 4,34
<i>Pobeda</i>	34,08 \pm 0,14
<i>NS40S</i>	34,58 \pm 1,17
<i>Nikol</i>	39,07 \pm 1,86
<i>Avenu</i>	38,21 \pm 0,13
<i>Ortegas</i>	38,55 \pm 0,30
<i>Hystar</i>	35,41 \pm 1,64
<i>Odisej</i>	41,03 \pm 0,80
<i>Jadar</i>	34,67 \pm 1,31
Prosek	37,02

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja \pm standardna greška. SML - suva masa lista.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase lista u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Na osnovu analize, utvrđeno je da u toku vegetacione sezone 2017., nije bilo statistički značajne razlike među analiziranim sortama žitarica prema sadržaju suve mase lista.

4.12.3. Analiza sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 21. Sadržaj suve mase lista se kretao od 30,67% kod sorte ovsu *Jadar* do 53,19% kod sorte pšenice *Avenu*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim sadržajem suve mase lista su sorta pšenice *Nikol* (41,80%) i kod sorte tritikalea *Odisej* (42,61%). Nizak sadržaj suve mase lista je utvrđen kod sorte pšenice *Pobeda* (37,87%), *NS40S* (36,49%) i *Zvezdana* (36,09%). Srednja vrednost sadržaja suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 39,61%.

Tabela 21. Sadržaj suve mase lista u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima.

Sorta	SML %
<i>Simonida</i>	38,55 ± 3,78 ab
<i>Zvezdana</i>	36,09 ± 0,40 ab
<i>Pobeda</i>	37,87 ± 0,35 ab
<i>NS40S</i>	36,49 ± 0,43 ab
<i>Nikol</i>	41,80 ± 1,82 b
<i>Avenu</i>	53,19 ± 1,47 c
<i>Ortegas</i>	39,95 ± 2,63 b
<i>Hystar</i>	38,89 ± 3,11 ab
<i>Odisej</i>	42,61 ± 0,85 b
<i>Jadar</i>	30,67 ± 0,70 a
Prosek	39,61

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); SML - suva masa lista.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase lista u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 21).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Avenu* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *Nikol*, *Ortegas* i sorta tritikalea *Odisej* se nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti pšenice *Nikol*, *Ortegas* i sorte tritikalea *Odisej* u poređenju sa sortama *Avenu* i *Jadar*.

4.13. Analiza sadržaja suve mase zrna

Sadržaj suve mase zrna je ispitivan kod deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.13.1. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 22. Sadržaj suve mase zrna se kretao od 63,61% kod sorte pšenice *Nikol* do 88,94% kod sorte pšenice *NS40S*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim sadržajem suve mase zrna su sorte pšenice *Zvezdana* (86,70%), *Avenu* (84,62%), *Pobeda* (83,64%) i *Simonida* (82,03%). Nizak sadržaj suve mase zrna je utvrđen kod sorte ovasa *Jadar* (72,56%). Srednja vrednost sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016. je iznosila 79,35%.

Tabela 22. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2016., izražen u procentima.

Sorta	SMZK %
<i>Simonida</i>	82,03 ± 0,70 c
<i>Zvezdana</i>	86,70 ± 1,24 cd
<i>Pobeda</i>	83,64 ± 0,15 c
<i>NS40S</i>	88,94 ± 0,61 d
<i>Nikol</i>	63,61 ± 0,35 a
<i>Avenu</i>	84,62 ± 1,34 c
<i>Ortegas</i>	75,95 ± 2,25 b
<i>Hystar</i>	76,57 ± 1,99 b
<i>Odisej</i>	78,89 ± 1,85 bc
<i>Jadar</i>	72,56 ± 2,34 b
Prosek	79,35

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); SMZK - suva masa zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase zrna u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 22).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Nikol* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte pšenice *NS40S* se takođe značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica izuzev sorte *Zvezdana*. Sorte *Simonida*, *Pobeda* i *Avenu* se nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika je utvrđena između sorti *Simonida*, *Pobeda* i *Avenu* u poređenju sa sortama *Nikol*, *Ortegas*, *Hystar*, *Jadar*, *NS40S* i *Zvezdana*.

4.13.2. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 23. Sadržaj suve mase zrna se kretao od 66,19% kod sorte tritikalea *Odisej* do 77,27% kod sorte *Nikol*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim sadržajem suve mase zrna su sorti pšenice *Pobeda* (75,62%), *Simonida* (74,66%) i *Avenu* (74,46%). Nizak sadržaj suve mase zrna je utvrđen kod sorti pšenice *Hystar* (69,89%) i *Ortegius* (69,88%). Srednja vrednost sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017. je iznosila 72,23%.

Tabela 23. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2017., izražen u procentima.

Sorta	SMZK %
<i>Simonida</i>	74,66 ± 0,55 ab
<i>Zvezdana</i>	71,84 ± 0,21 ab
<i>Pobeda</i>	75,62 ± 1,67 ab
<i>NS40S</i>	70,24 ± 1,06 ab
<i>Nikol</i>	77,27 ± 4,66 b
<i>Avenu</i>	74,46 ± 1,55 ab
<i>Ortegius</i>	69,88 ± 2,02 ab
<i>Hystar</i>	69,89 ± 0,33 ab
<i>Odisej</i>	66,19 ± 0,33 a
<i>Jadar</i>	72,28 ± 0,52 ab
Prosek	72,23

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); SMZK - suva masa zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase zrna u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 23).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Nikol* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa sortom tritikalea *Odisej*. Ostale analizirane sorte žitarica se nisu međusobno značajno razlikovale.

4.13.3. Analiza sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 24. Sadržaj suve mase zrna se kretao od 77,48% kod sorte ovsa *Jadar* do 80,34% kod sorte pšenice *Simonida*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim sadržajem suve mase zrna su sorte pšenice *Ortegas* (80,24%), *Nikol* (80,16%) i *Avenu* (80,15%). Nizak sadržaj suve mase zrna je utvrđen kod sorti pšenice *Pobeda* (77,58%) i *NS40S* (78,91%). Srednja vrednost sadržaja suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 79,41%.

Tabela 24. Sadržaj suve mase zrna u toku vegetacione sezone 2018., izražen u procentima.

Sorta	SMZK %
<i>Simonida</i>	80,34 ± 0,21
<i>Zvezdana</i>	79,81 ± 4,63
<i>Pobeda</i>	77,58 ± 2,24
<i>NS40S</i>	78,91 ± 1,02
<i>Nikol</i>	80,16 ± 0,23
<i>Avenu</i>	80,15 ± 0,36
<i>Ortegas</i>	80,24 ± 3,82
<i>Hystar</i>	79,83 ± 1,46
<i>Odisej</i>	79,60 ± 3,36
<i>Jadar</i>	77,48 ± 5,69
Prosek	79,41

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); SMZK - suva masa zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti sadržaja suve mase zrna u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Na osnovu analize, utvrđeno je da u toku vegetacione sezone 2018., nije bilo statistički značajne razlike među analiziranim sortama žitarica prema sadržaju suve mase zrna.

4.14. Analiza broja zrna po klasu

Broj zrna po klasu je ispitivan kod deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.14.1. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 25. Broj zrna po klasu se kretao od 32 kod sorte pšenice *Simonida* do 53 kod sorte pšenice *Hystar*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim brojem zrna po klasu su sorte pšenice *Nikol* (43), *Pobeda* (40), kod sorte tritikalea *Odisej* (43) i kod sorte ovsa *Jadar* (45). Nizak broj zrna po klasu je utvrđen kod sorte pšenice *Zvezdana* (36), *Avenu* (36) i *NS40S* (36). Srednja vrednost broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016. je iznosila 40.

Tabela 25. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Sorta	BZK
<i>Simonida</i>	32 ± 0,9 a
<i>Zvezdana</i>	36 ± 0,7 ab
<i>Pobeda</i>	40 ± 1,3 ab
<i>NS40S</i>	36 ± 0,9 ab
<i>Nikol</i>	43 ± 3,2 b
<i>Avenu</i>	36 ± 1,9 ab
<i>Ortegas</i>	39 ± 3,5 ab
<i>Hystar</i>	53 ± 2,7 c
<i>Odisej</i>	43 ± 1,7 b
<i>Jadar</i>	45 ± 0,4 b
Prosek	40

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); BZK - broj zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti broja zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 25).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Simonida* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama žitarica *Nikol*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*. Sorte pšenice *Hystar* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama *Nikol*, *Simonida*, *Odisej* i *Jadar*. Sorte žitarica *Nikol*, *Odisej* i *Jadar* se nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika je utvrđena između sorti *Nikol*, *Odisej* i *Jadar* u poređenju sa sortama *Hystar* i *Simonida*.

4.14.2. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 26. Broj zrna po klasu se kretao od 36 kod sorte pšenice *Ortegas* do 50 kod sorte *Nikol*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim brojem zrna po klasu su sorte pšenice *Avenu* (49), *Pobeda* (48) i *Simonida* (48). Nizak sadržaj broja zrna po klasu je utvrđen kod sorte pšenice *NS40S* (43) i kod sorte ovsa *Jadar* (41). Srednja vrednost broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017. je iznosila 45.

Tabela 26. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Sorta	BZK
<i>Simonida</i>	48 ± 1,3 b
<i>Zvezdana</i>	46 ± 2,0 b
<i>Pobeda</i>	48 ± 1,7 b
<i>NS40S</i>	43 ± 0,9 b
<i>Nikol</i>	50 ± 1,7 b
<i>Avenu</i>	49 ± 1,2 b
<i>Ortegas</i>	36 ± 2,5 a
<i>Hystar</i>	45 ± 3,5 b
<i>Odisej</i>	45 ± 2,0 b
<i>Jadar</i>	41 ± 1,2 ab
Prosek	45

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); BZK - broj zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti broja zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 26).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Ortegas* nije značajno razlikovala u poređenju sa sortom ovsa *Jadar*, ali se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Ostale analizirane sorte žitarica se nisu međusobno značajno razlikovale po broju zrna po klasu.

4.14.3. Analiza broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 27. Broj zrna po klasu se kretao od 37 kod sorte tritikalea *Odisej* i kod sorte pšenice *Ortegas* do 46 kod sorte pšenice *Hystar*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim brojem zrna po klasu su sorta pšenice *Zvezdana* (43), *Nikol* (44) i sorta ovsu *Jadar* (45). Nizak broj zrna po klasu je utvrđen kod sorte pšenice *Pobeda* (41) i *Simonida* (41). Srednja vrednost broja zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 42.

Tabela 27. Broj zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Sorta	BSK
<i>Simonida</i>	41 ± 1,2
<i>Zvezdana</i>	43 ± 0,3
<i>Pobeda</i>	41 ± 2,4
<i>NS40S</i>	42 ± 1,5
<i>Nikol</i>	44 ± 5,3
<i>Avenu</i>	42 ± 1,7
<i>Ortegas</i>	37 ± 1,2
<i>Hystar</i>	46 ± 3,6
<i>Odisej</i>	37 ± 1,2
<i>Jadar</i>	45 ± 2,3
Prosek	42.00

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); BZK - broj zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti broja zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Na osnovu analize, utvrđeno je da u toku vegetacione sezone 2018., nije bilo statistički značajne razlike među analiziranim sortama žitarica prema broju zrna po klasu.

4.15. Analiza mase suvog zrna po klasu

Masa suvog zrna po klasu je ispitivana kod deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.15.1. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti težine suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 28. Masa suvog zrna po klasu se kretala od 1,16 g kod sorte pšenice *Simonida* do 1,98 g kod sorte pšenice *Hystar*. Sorta žitarice koja se odlikovala većom težinom suvog zrna po klasu je sorta pšenice *Pobeda* (1,83 g) i sorta tritikalea *Odisej* (1,63 g). Niska masa suvog zrna po klasu je utvrđena kod sorte pšenice *NS40S* (1,24 g). Srednja vrednost težine suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016. je iznosila 1,49 g.

Tabela 28. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2016.

Sorta	MSZK, g
<i>Simonida</i>	1,16 ± 0,02 a
<i>Zvezdana</i>	1,47 ± 0,05 ab
<i>Pobeda</i>	1,83 ± 0,10 bc
<i>NS40S</i>	1,24 ± 0,04 a
<i>Nikol</i>	1,41 ± 0,06 ab
<i>Avenu</i>	1,31 ± 0,01 ab
<i>Ortegas</i>	1,42 ± 0,13 ab
<i>Hystar</i>	1,98 ± 0,08 c
<i>Odisej</i>	1,63 ± 0,13 b
<i>Jadar</i>	1,45 ± 0,03 ab
Prosek	1,49

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); MSZK – masa suvog zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti težine suvog zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 28). Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorte pšenice *Simonida* i *NS40S* značajno razlikuju ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama žitarica *Pobeda*, *Hystar* i *Odisej*. Sorta pšenice *Hystar* se značajno razlikovala ($p < 0,05$) u poređenju sa svim sortama žitarica izuzev sorte pšenice *Pobeda*. Značajna razlika je utvrđena između sorte tritikalea *Odisej* u poređenju sa sortama *Hystar*, *NS40S* i *Simonida*.

4.15.2. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 29. Masa suvog zrna po klasu se kretala od 1,47 g kod sorte ovsa *Jadar* do 2,59 g kod sorti pšenice *Zvezdana* i *Nikol*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većom težinom suvog zrna po klasu su sorte pšenice *Pobeda* (2,40 g), *Hystar* (2,06 g) i *Simonida* (1,91 g). Niska masa suvog zrna po klasu je utvrđena kod sorte pšenice *Ortegas* (1,58 g). Srednja vrednost težine suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017. je iznosila 2,01 g.

Tabela 29. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2017.

Sorta	MSZK
<i>Simonida</i>	1,91 ± 0,15 ab
<i>Zvezdana</i>	2,59 ± 0,06 c
<i>Pobeda</i>	2,40 ± 0,16 bc
<i>NS40S</i>	1,86 ± 0,18 ab
<i>Nikol</i>	2,59 ± 0,13 c
<i>Avenu</i>	1,83 ± 0,08 ab
<i>Ortegas</i>	1,58 ± 0,40 a
<i>Hystar</i>	2,06 ± 0,07 b
<i>Odisej</i>	1,82 ± 0,02 ab
<i>Jadar</i>	1,47 ± 0,04 a
Prosek	2,01

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); MSZK – masa suvog zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti težine suvog zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 29).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorte pšenice *Zvezdana* i *Nikol* značajno razlikuju ($p < 0,05$) u poređenju sa svim analiziranim sortama žitarica izuzev sorte *Pobeda*. Sorta pšenice *Ortegas* i sorta ovsa *Jadar* su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa sortama *Zvezdana*, *Pobeda*, *Nikol* i *Hystar*. Sorta pšenice *Hystar* se značajno razlikovala u poređenju sa sortama *Zvezdana*, *Nikol*, *Ortegas* i *Jadar*.

4.15.3. Analiza mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti mase suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 30. Masa suvog zrna po klasu se kretala od 1,10 g kod sorte ovsu *Jadar* do 2,35 g kod sorte pšenice *Zvezdana*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većom težinom suvog zrna po klasu su sorte pšenice *Nikol* (2,03 g) i *Pobeda* (1,87 g). Niska masa suvog zrna po klasu je utvrđena kod sorti pšenice *NS40S* (1,47 g), *Avenu* (1,47 g) i *Ortegas* (1,39 g). Srednja vrednost težine suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 1,69 g.

Tabela 30. Masa suvog zrna po klasu u toku vegetacione sezone 2018.

Sorta	MSZK
<i>Simonida</i>	1,65 ± 0,01 b
<i>Zvezdana</i>	2,35 ± 0,11 c
<i>Pobeda</i>	1,87 ± 0,06 bc
<i>NS40S</i>	1,47 ± 0,07 ab
<i>Nikol</i>	2,03 ± 0,25 bc
<i>Avenu</i>	1,47 ± 0,02 ab
<i>Ortegas</i>	1,39 ± 0,04 ab
<i>Hystar</i>	1,73 ± 0,21 b
<i>Odisej</i>	1,81 ± 0,23 b
<i>Jadar</i>	1,10 ± 0,03 a
Prosek	1,69

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$); MSZK – masa suvog zrna po klasu.

Za prikazane vrednosti težine suvog zrna po klasu u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 30).

Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Zvezdana* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa skoro svim analiziranim sortama žitarica izuzev sorti pšenice *Pobeda* i *Nikol*. Sorte pšenice *Simonida*, *Hystar* i sorta tritikalea *Odisej* su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) u poređenju sa sortom pšenice *Zvezdana* i sa sortom ovsu *Jadar*. Sorta ovsu *Jadar* se značajno razlikovala u poređenju sa sortama *Hystar*, *Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *Nikol* i *Odisej*.

4.16. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru

Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru je ispitivana kod deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2016., 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.16.1. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2016.

Srednje vrednosti prinosa u toku vegetacione sezone 2016., predstavljene su na Tabeli 31. Prinos se kretao od 2399 kg/ha kod sorte ovsa *Jadar* do 6000 kg/ha kod sorte pšenice *Hystar*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim prinostom su sorte pšenice *Pobeda* (5700 kg/ha), *Ortegas* (4699 kg/ha) i *Zvezdana* (4301 kg/ha). Nizak prinos je utvrđen kod sorti pšenice *NS40S* (3100 kg/ha), *Simonida* (3400 kg/ha) i *Nikol* (3400 kg/ha). Srednja vrednost prinosa kod analiziranih sorti žitarica u toku vegetacione sezone 2016. je iznosila 4020 kg/ha.

Tabela 31. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2016.

Sorta	kg/ha
<i>Simonida</i>	3400 ± 80 c
<i>Zvezdana</i>	4301 ± 82 d
<i>Pobeda</i>	5700 ± 150 f
<i>NS40S</i>	3100 ± 51 b
<i>Nikol</i>	3400 ± 59 c
<i>Avenu</i>	3599 ± 98 c
<i>Ortegas</i>	4699 ± 47 e
<i>Hystar</i>	6000 ± 106 g
<i>Odisej</i>	3600 ± 71 c
<i>Jadar</i>	2399 ± 38 a
Prosek	4020

Rezultati su predstavljani kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti prinosa u vegetacionoj sezoni 2016., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 31). Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta pšenice *Simonida*, *Nikol*, *Avenu* i sorta tritikalea *Odisej* nisu značajno razlikovale međusobno. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između *Simonida*, *Nikol*, *Avenu* i sorta tritikalea *Odisej* u poređenju sa svim ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte žitarica *Hystar*, *Pobeda*, *NS40S*, *Ortegas*, *Zvezdana* i *Jadar* su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) međusobno kao i u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

4.16.2. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti prinosa u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su na Tabeli 32. Prinos se kretao od 2100 kg/ha kod sorte ovsa *Jadar* do 6640 kg/ha kod sorte pšenice *Hystar*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim prinostom su sorte pšenice *Simonida* (6480 kg/ha) i *Avenu* (6120 kg/ha). Nizak prinos je utvrđen kod sorti pšenice *Ortegas* (5440 kg/ha), *Pobeda* (5360 kg/ha) i kod sorte tritikalea *Odisej* (5440 kg/ha). Srednja vrednost prinosa kod analiziranih sorti žitarica u toku vegetacione sezone 2017. je iznosila 5450 kg/ha.

Tabela 32. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2017.

Sorta	kg/ha
<i>Simonida</i>	6480 ± 38 g
<i>Zvezdana</i>	5640 ± 57 d
<i>Pobeda</i>	5360 ± 36 b
<i>NS40S</i>	5520 ± 40 c
<i>Nikol</i>	5760 ± 37 e
<i>Avenu</i>	6120 ± 36 f
<i>Ortegas</i>	5440 ± 33 bc
<i>Hystar</i>	6640 ± 37 h
<i>Odisej</i>	5440 ± 36 bc
<i>Jadar</i>	2100 ± 36 a
Prosek	5450

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti prinosa u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 32). Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorte pšenice *Pobeda*, *Ortegas* i sorta tritikalea *Odisej* nisu značajno razlikovale međusobno. Značajna razlika takođe nije utvrđena između sorti *NS40S*, *Ortegas* i sorte tritikalea *Odisej*. Sorte žitarica *Simonida*, *Zvezdana*, *Nikol*, *Avenu*, *Hystar* i *Jadar* su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) međusobno kao i u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

4.16.3. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti prinosa u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su na Tabeli 33. Prinos se kretao od 2820 kg/ha kod sorte pšenice *Nikol* do 4750 kg/ha kod sorte pšenice *Simonida*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim prinosom su sorte pšenice *Pobeda* (4260 kg/ha), *NS40S* (4110 kg/ha), *Ortegas* (4100 kg/ha) i *Zvezdana* (4060 kg/ha). Nizak prinos je utvrđen kod sorte pšenice *Avenu* (2930 kg/ha), kod sorte tritikalea *Odisej* (2860 kg/ha) i kod sorte ovsa *Jadar* (3870 kg/ha). Srednja vrednost prinosa kod analiziranih sorti žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 3720 kg/ha.

Tabela 33. Prinos žitarica u kilogramima po hektaru u toku vegetacione sezone 2018.

Sorta	kg/ha
<i>Simonida</i>	4750 ± 87 e
<i>Zvezdana</i>	4060 ± 13 cd
<i>Pobeda</i>	4260 ± 140 d
<i>NS40S</i>	4110 ± 52 cd
<i>Nikol</i>	2820 ± 55 a
<i>Avenu</i>	2930 ± 38 a
<i>Ortegas</i>	4100 ± 53 cd
<i>Hystar</i>	3440 ± 44 b
<i>Odisej</i>	2860 ± 36 a
<i>Jadar</i>	3870 ± 49 c
Prosek	3720

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti prinosa u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 33). Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorte pšenice *Nikol*, *Avenu* i sorta tritikalea *Odisej* nisu međusobno značajno razlikovale. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena između sorti *Nikol*, *Avenu* i *Odisej* u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte žitarica *Simonida* i *Hystar* su se značajno razlikovale ($p < 0,05$) međusobno kao i u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica.

4.17. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr

Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr je ispitivana kod deset sorti žitarica (*Simonida*, *Zvezdana*, *Pobeda*, *NS40S*, *Nikol*, *Avenu*, *Ortegas*, *Hystar*, *Odisej* i *Jadar*) u toku vegetacione sezone 2017. i 2018.. Za svaku sortu urađena su tri ponavljanja i rezultat je prikazan kao njihova srednja vrednost.

4.17.1. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2017.

Srednje vrednosti prinosa po hektolitr u toku vegetacione sezone 2017., predstavljene su u Tabeli 34. Prinos po hektolitr se kretao od 52 kg/hL kod sorte ovsa *Jadar* do 72 kg/hL kod sorte pšenice *Simonida*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim prinosom su sorte pšenice *Pobeda* (71 kg/hL), *Hystar* (71 kg/hL), *Ortegas* (70 kg/hL) i *Zvezdana* (70 kg/hL). Nizak prinos je utvrđen kod sorti pšenice *Avenu* (68 kg/hL), *NS40S* (68 kg/hL) i kod sorte tritikalea *Odisej* (68 kg/hL). Srednja vrednost prinosa kod analiziranih sorti žitarica u toku vegetacione sezone 2017. je iznosila 68 kg/hL.

Tabela 34. Prinos žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2017.

Sorta	kg/hL
<i>Simonida</i>	72 ± 2,1 b
<i>Zvezdana</i>	70 ± 1,5 b
<i>Pobeda</i>	71 ± 1,2 b
<i>NS40S</i>	68 ± 1,2 b
<i>Nikol</i>	69 ± 2,3 b
<i>Avenu</i>	68 ± 1,0 b
<i>Ortegas</i>	70 ± 1,2 b
<i>Hystar</i>	71 ± 2,6 b
<i>Odisej</i>	68 ± 1,5 b
<i>Jadar</i>	52 ± 1,5 a
Prosek	68

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti prinosa po hektolitr u vegetacionoj sezoni 2017., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 34). Na osnovu analize, utvrđeno je da se sorta ovsa *Jadar* značajno razlikuje ($p < 0,05$) u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Među ostalim analiziranim sortama žitarica nije utvrđena statistički značajna razlika.

4.17.2. Analiza prinosa žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2018.

Srednje vrednosti prinosa po hektolitr u toku vegetacione sezone 2018., predstavljene su u Tabeli 35. Prinos po hektolitr se kretao od 55 kg/hL kod sorte tritikalea *Odisej* do 75 kg/hL kod sorte pšenice *Simonida*. Sorte žitarica koje su se odlikovale većim prinosom su sorte pšenice *Zvezdana* (73 kg/hL), *Avenu* (71 kg/hL), *Ortegas* (71 kg/hL) i *Hystar* (71 kg/hL). Nizak prinos je utvrđen kod sorte pšenice *Pobeda* (69 kg/hL) i kod sorte ovsa *Jadar* (69 kg/hL). Srednja vrednost prinosa po hektolitr kod analiziranih sorti žitarica u toku vegetacione sezone 2018. je iznosila 70 kg/hL.

Tabela 35. Prinos žitarica u kilogramima po hektolitr u toku vegetacione sezone 2018.

Sorta	kg/hL
<i>Simonida</i>	75 ± 1,2 c
<i>Zvezdana</i>	73 ± 0,9 bc
<i>Pobeda</i>	69 ± 1,2 b
<i>NS40S</i>	70 ± 0,9 bc
<i>Nikol</i>	70 ± 0,9 bc
<i>Avenu</i>	71 ± 1,3 bc
<i>Ortegas</i>	71 ± 1,3 bc
<i>Hystar</i>	71 ± 1,2 bc
<i>Odisej</i>	55 ± 0,9 a
<i>Jadar</i>	69 ± 1,2 b
Prosek	70

Rezultati su predstavljeni kao srednja vrednost tri nezavisna merenja ± standardna greška. Podaci su analizirani ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test. Vrednosti označene različitim slovima se statistički razlikuju ($p < 0,05$).

Za prikazane vrednosti prinosa po hektolitr u vegetacionoj sezoni 2018., izračunata je prosečna vrednost na osnovu tri nezavisna merenja i dobijeni podaci za sorte su upoređeni i analizirani sa ANOVA testom, nakon čega je urađen Fisher-ov LSD test (Tabela 35). Na osnovu analize, utvrđena je statistički značajna razlika ($p < 0,05$) između sorti *Simonida* i *Odisej*. Značajna razlika ($p < 0,05$) je utvrđena i između sorti *Pobeda* i *Jadar* u poređenju sa sortama *Simonida* i *Odisej*.

5. DISKUSIJA

Žitarice se uzgajaju u različitim klimatskim uslovima, pre svega zbog njihove sposobnosti prilagođavanja. Široka adaptabilnost žitarica je moguća zahvaljujući njihovom složenom genomu. Žitarice su pretežno C3 biljke i uspevaju bolje u umerenim klimatskim okruženjima (Acevedo, 2002). Poslednjih godina dolazi do ubrzanih klimatskih promena i zagrevanja koje se dešava na globalnom nivou (Ramanathan i Carmichael, 2008; Stewart *et al.*, 2004). Klimatske promene i porast temperature su globalna pojava koja utiče na fiziološke i biohemijske aktivnosti biljaka, često smanjujući produktivnost useva. Kombinovanim efektom poremećaja koji se javljaju u uslovima toplotnog stresa, pogotovu su pogođene žitarice kod kojih dolazi do smanjenja ukupnog prinosa (Kumar *et al.*, 2012; Asseng *et al.*, 2015). Stres izazvan visokom temperaturom negativno utiče na rast i razvoj žitarica uzrokujući pad prinosa do čak 71% (Porter i Gawith, 1999; Prasad *et al.*, 2008; Mustafa *et al.*, 2013).

U ovoj doktorskoj disertaciji je ispitivan uticaj toplotnog stresa na žitarice i njihov biohemijski i molekularni odgovor u toku tri vegetacione sezone, kako bi se proširila znanja o biohemijskoj osnovi toplotne tolerancije kod žitarica. Eksperimentalne godine 2016. i 2018. su bile toplije u poređenju sa 2017. godinom, što se odrazilo i na parametre koji su praćeni u toku istraživanja. Antioksidativni i zaštitni mehanizmi su bili izraženiji u toku godina istraživanja sa visokom temperaturom (2016., 2018.) u odnosu na 2017. godinu koja je bila temperaturno umerenija.

5.1. Koncentracija ukupnih solubilnih proteina

Koncentracija proteina je važna karakteristika žitarica. Proteini žitarica su osetljivi na stresne uslove sredine, a pogotovo na toplotni stres i na sušu (Ziska *et al.*, 1997; Wardlaw *et al.*, 2002; Gooding *et al.*, 2003; Sindahu *et al.*, 2015). Koncentracije ukupnih solubilnih proteina u toku tri vegetacione sezone (2016., 2017., 2018.), analizirana je u listu deset različitih sorti žitarica. Prosečna koncentracija ukupnih solubilnih proteina u listu ispitivanih žitarica u uslovima toplotnog stresa je bila manja u toku 2016. i 2018. godine (5,23 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$ i 5,90 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$) u poređenju sa 2017. godinom (6,84 $\mu\text{g}/\mu\text{l}$). Na osnovu rezultata dobijenih u toku trogodišnje analize, utvrđeno je da su se sorte pšenice *Simonida* i *NS40S* kao i sorta ovsu *Jadar* izdvojile kao sorte kod kojih je došlo do najvećeg pada koncentracije ukupnih solubilnih proteina u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa koncentracijom ukupnih solubilnih proteina u uslovima umerene temperature vazduha u toku sve tri vegetacione sezone. Prosečan pad vrednosti ukupnih solubilnih proteina je bio najveći kod sorte ovsu *Jadar* i iznosio je 65,81%. Kod sorte pšenice *NS40S* pad vrednosti ukupnih solubilnih proteina je iznosio 57,98% a kod sorte *Simonida* 56,34%. Sorta kod koje je primećen veći pad koncentracije ukupnih solubilnih proteina je sorta pšenice *Avenu*. U sve tri vegetacione sezone, sorte koje su se odlikovale najmanjim padom koncentracije ukupnih solubilnih proteina u uslovima toplotnog stresa su sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar*. Ove sorte su se u uslovima toplotnog stresa odlikovale i najvećom koncentracijom ukupnih solubilnih proteina u toku sve tri vegetacione sezone. Stresni uslovi dovode do smanjenja koncentracije proteina u listu žitarica (Ziska *et al.*, 1997; Wardlaw *et al.*, 2002; Gooding *et al.*, 2003; Sindahu *et al.*, 2015). Toplotni stres utiče na rad mitohondrija, menja ekspresiju proteina i izaziva i smanjenje sinteze ATP-a, što utiče i na gubitak mase zrna. Svaki porast temperature za 1 do 2 °C u odnosu na umerene uslove sredine, utiče na sintezu proteina i smanjuje masu zrna (Poudel *et al.*, 2021). U uslovima toplotnog stresa može doći i do pada vrednosti ukupnog sadržaja proteina u zrnu žitarica (Castro *et al.*, 2007). Na osnovu analize sadržaja proteina uparenim T testom u toku tri vegetacione sezone, uočen je značajan pad vrednosti sadržaja proteina ($p < 0,05$) u listu žitarica u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem proteina u uslovima umerene temperature vazduha. Feng i saradnici

(2014) su takođe utvrdili pad vrednosti ukupnih solubilnih proteina u listu ispitivanih sorti pšenice u uslovima toplotnog stresa.

5.2. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A

Analiza ekspresije eEF1A ispitivana je u toku tri vegetacione sezone (2016., 2017., 2018.) u listu pet sorti žitarica. Na osnovu urađenih analiza i na osnovu dobijenih rezultata, možemo videti da dolazi do akumulacije eEF1A kod svih analiziranih sorti žitarica kako u uslovima umerene temperature tako i u uslovima visoke temperature. Utvrđeno je da se sorta pšenice *Zvezdana* odlikovala najvećim porastom ekspresije eEF1A u toku 2016. i 2018. godine, dok se visokim relativnim nivoom eEF1A odlikovala u sve tri vegetacione sezone u uslovima toplotnog stresa. Sorta pšenice *Ortegas* se takođe odlikovala visokim nivoom eEF1A u toku sve tri sezone u uslovima toplotnog stresa. Niskom ekspresijom i niskim nivoom eEF1A, posebno u toku 2016. i 2018. godine, odlikovala se sorta ovsa *Jadar*. Elongacioni faktor 1A (eEF1A), citosolni protein koji ima centralnu ulogu u fazi translacije, u endospermu se može naći u vidu različitih izoformi, koje se pored kvantitativnih i kvalitativnih karakteristika, razlikuju i u načinu vezivanja F-aktina (Lariviere *et al.*, 2001; Lopez-Valenzuela *et al.*, 2003). eEF1A učestvuje u razgradnji N-terminalno blokiranih proteina, deluje u interakciji sa aktinskim filamentima i mikrotubulima regulišući citoskeletnu organizaciju i ćelijsku morfologiju (Gonen *et al.*, 1994; Gross *et al.*, 2005). eEF1A u uslovima visoke temperature, štiti proteine od termičke agregacije pokazujući aktivnost sličnu šaperonu i kao takav deluje tako što sprečava enzime i druge proteine da se termički nakupljaju (Hotokezaka *et al.*, 2002; Rao *et al.*, 2004; Shin *et al.*, 2009). U reakciji ćelije na toplotni stres eEF1A može pomoći u regulaciji ekspresije proteina toplotnog stresa i može imati važnu zaštitnu ulogu u uslovima stresa kod biljaka (Shamovsky *et al.*, 2006; Chung *et al.*, 2009; Vera *et al.*, 2014). Studije su pokazale da nakupljanje elongacionih faktora može biti veoma značajna biljna zaštita od visokih temperatura (Prasad *et al.*, 2011). Momčilović i saradnici (2016) su pokazali da eukariotski elongacioni faktor 1A može biti indukovano visokom temperaturom i da može biti važan u ublažavanju negativnih efekata toplotnog stresa na produktivnost biljaka. Pokazano je da eEF1A može imati važnu ulogu posebno u pšenici. Biljke sa većom koncentracijom eEF1A do čijeg nakupljanja je došlo tokom toplotnog stresa, bile su otpornije na visoke temperature (Bukovnik *et al.*, 2009). U sve tri eksperimentalne godine (2016., 2017. i 2018.), do porasta akumulacije eEF1A u uslovima visoke temperature u poređenju sa uslovima umerene temperature došlo je kod sorti pšenice *Simonida*, *Zvezdana*, *Hystar* i *Ortegas*, dok kod sorte ovsa *Jadar* nije došlo do porasta u akumulaciji eEF1A jedino u toku 2016. godine. Prosečne vrednosti nivoa eEF1A su bile veće u uslovima stresa u toku 2016. i 2018. godine u odnosu na 2017. godinu. U toku 2017. i 2018. godine, analizirana je i ekspresija eEF1A gena kako bi moglo da se potvrdi da toplotni stres dovodi do povećavanja nivoa ekspresije eEF1A kod analiziranih sorti žitarica. Nivo ekspresije eEF1A gena analiziran je pri umerenoj temperaturi vazduha kao i u uslovima toplotnog stresa. Rezultati su pokazali da je ekspresija eEF1A gena značajno povećana kod analiziranih sorti u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha, pa se može zaključiti da je toplotni stres doveo do povećanog nivoa eEF1A.

5.3. Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu

Analiza ekspresije EF-Tu ispitivana u listu žitarica u toku tri vegetacione sezone. U toku sezone 2016., analize su rađene kod tri sorte žitarice, dok su analize proširene na još dve dodatne sorte u toku 2017. i 2018. godine. Sorta kod koje je zabeležen porast ekspresije EF-Tu u toku sve tri godine u uslovima toplotnog stresa je sorta pšenice *Zvezdana*, koja se odlikovala i najvećim nivoom EF-Tu u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Sorte koje su se takođe odlikovale većim nivoom EF-Tu u uslovima toplotnog stresa u toku 2017. i 2018. godine su sorte pšenice *Simonida* i *Pobeda*. Kod sorte ovsa *Jadar* je u uslovima toplotnog stresa došlo do pada nivoa EF-Tu u toku sve tri eksperimentalne godine. Pad nivoa EF-Tu u uslovima toplotnog stresa je zabeležen i kod sorti pšenice *Pobeda* i *NS40S* u toku 2017. i 2018. godine. Prosečne vrednosti nivoa EF-Tu su bile veće u uslovima stresa u toku 2016. i 2018. godine u odnosu na 2017. godinu. Primarna uloga EF-Tu je da pomaže aminoacil-tRNK da se veže za slobodno mesto na ribozomu (LaRiviere *et al.*, 2001). Osim primarne uloge EF-Tu, proučavan je i potencijalni uticaj i veza EF-Tu sa toplotnom tolerancijom kod biljaka (Prasad *et al.*, 2011, Bukovnik *et al.*, 2009). Ristic i saradnici (2008) su u svojim analizama pokazali da dolazi do akumulacije EF-Tu u uslovima visoke temperature u zrelih biljkama ozime pšenice. Akumulacija EF-Tu je uočena i kod skoro svih analiziranih mladih biljaka pšenice. Akumulacija EF-Tu nije uočena kod jedne analizirane sorte. Sorte koje su se odlikovale većom akumulacijom EF-Tu bile su tolerantnije na toplotni stres. Prasad i saradnici (2011) su vršili analizu ekspresije EF-Tu kod jarih sorti pšenice. Oni su pokazali da je došlo do nakupljanja EF-Tu kod jarih sorti pšenice u uslovima toplotnog stresa. Bukovnik i saradnici (2009) su takođe pokazali povezanost EF-Tu sa otpornošću na toplotni stres kod jare pšenice. Sorta koja se odlikovala boljom tolerancijom na toplotni stres je imala veću ekspresiju EF-Tu. Analize su pokazale da su sorte sa povećanom ekspresijom EF-Tu imale smanjenu termičku agregaciju proteina. Transgene biljke sa povišenim nivoom EF-Tu odlikovale su se manjim oštećenjima fotosintetičkih membrana, povećanom brzinom fiksacije CO₂ i imale su manje vidljivih znakova oštećenja u uslovima toplotnog stresa (Fu *et al.*, 2012). Rezultati studija sugerišu da protein EF-Tu može imati ulogu u toleranciji na toplotu kod žitarica.

5.4. Imunoblot analiza ekspresije HSP101 i HSP18

Analiza ekspresije HSP101 ispitivana je u listu pet sorti žitarica u toku tri vegetacione sezone. Na osnovu rezultata možemo uočiti da je do akumulacije HSP101 došlo kod svih sorti pšenice u toku sve tri sezone. U sve tri sezone, kod sorte pšenice *Zvezdana* uočen je visok porast ekspresije HSP101 u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Visok nivo HSP101 je kod sorte *Zvezdana* uočen u toku 2016. i 2017.. Sorta koja se takođe odlikovala visokim nivoom HSP101 je sorta pšenice *Hystar*, kod koje je visoka ekspresija HSP101 u uslovima toplotnog stresa zabeležena u toku sezone 2016. i 2017.. Sorta ovsa *Jadar* se odlikovala nižom ekspresijom kao i nivoom HSP101 u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Analiza ekspresije HSP18 ispitivana je u listu pet sorti žitarica u toku tri vegetacione sezone. Na osnovu rezultata možemo uočiti da je do akumulacije HSP18 došlo kod svih sorti analiziranih žitarica u toku sve tri sezone. U poređenju sa HSP101, ekspresija HSP18 je u značajnoj meri bila zastupljenija kod sorte ovsa *Jadar* u odnosu na analizirane sorte pšenice. Kod sorte *Jadar* ekspresija ovog proteina bila je visoka u uslovima toplotnog stresa u toku sve tri sezone u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Osim kod ove sorte, visoka ekspresija HSP18 je bila zastupljena i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Visok nivo HSP18 u uslovima toplotnog stresa je uočen i kod sorte pšenice *Ortegas*. Prosečne vrednosti nivoa HSP18 su bile veće u toku 2016. i 2018. godine u odnosu na

2017. godinu. Brojne studije su pokazale da u uslovima toplotnog stresa dolazi do smanjene sinteze normalnih proteina i pokreće se ubrzana transkripcija i translacija proteina toplotnog stresa (Bray *et al.*, 2000; Young i Elliott, 2002). Nguyen i saradnici (1994) su analizirali sorte pšenice uzgajane na 32 do 35 °C, i otkrili su visoko prisustvo informacione RNK koja je odgovorna za kodiranje glavne klase nisko molekulskih HSP. Sharma-Natu i saradnici (2010) su analizirali uticaj povišene temperature na sorte pšenice i utvrdili da je kod sorti pšenice izloženim temperaturama od 3,2-3,6 °C višim od optimalnih došlo do akumulacije HSP18. Takođe su utvrdili da je kod toplotno-tolerantnih sorti došlo do veće akumulacije HSP18 u odnosu na toplotno-senzitivne sorte. Pored HSP18, veći nivo HSP101 na povišenim temperaturama je takođe utvrđen kod toplotno-tolerantnih sorti (Sumesh *et al.*, 2008). Ekspresija HSP101 u biljkama pirinča rezultirala je značajnim poboljšanjem performansi rasta tokom oporavka od toplotnog stresa (Liu *et al.*, 2011). Pokazalo se da relativno tolerantne sorte žitarica koje održavaju veću katalitičku efikasnost skrob sintetaze na povišenoj temperaturi imaju i veći sadržaj HSP100 (Sumesh *et al.* 2008). Protein HSP101 detektovan je u različitim delovima kukuruza, pri čemu je u uslovima toplotnog stresa došlo do porasta koncentracije HSP101 (Young *et al.*, 2001). U stresnim uslovima, uloga proteina toplotnog stresa je jako važna jer oni funkcionišu kao molekularni šaperoni pospešujući pravilno ponovno savijanje proteina i sprečavaju termičku agregaciju proteina oštećenih usled stresa (Boston *et al.*, 1996; Gupta *et al.*, 2010).

5.5. Analiza koncentracije prolina

Koncentracije prolina u toku dve vegetacione sezone (2017., 2018.) je analizirana u listu deset različitih sorti žitarica. Srednja vrednost koncentracije prolina u toku 2017. godine u uslovima umerene temperature iznosila je 0,661 $\mu\text{mol/g s.m.}$, dok je u uslovima toplotnog stresa srednja vrednost koncentracije prolina porasla na 2,169 $\mu\text{mol/g s.m.}$, što predstavlja porast od 1,507 $\mu\text{mol/g s.m.}$. Srednja vrednost prolina u toku 2018. godine u uslovima umerene temperature iznosila je 0,777 $\mu\text{mol/g s.m.}$, dok je u uslovima toplotnog stresa srednja vrednost koncentracije prolina porasla na 2,510 $\mu\text{mol/g s.m.}$, što predstavlja porast od 1,732 $\mu\text{mol/g s.m.}$. U obe vegetacione sezone je uočen značajan rast prolina u svim analiziranim sortama u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenom temperaturom vazduha. Na osnovu rezultata, utvrđeno je da su se sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Avenu* odlikovale najvećom koncentracijom prolina u uslovima toplotnog stresa u toku obe vegetacione sezone. Najveći porast koncentracije prolina u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa u umerenom temperaturom vazduha je primećen kod sorti pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Avenu*. U uslovima toplotnog stresa, najmanja koncentracija prolina je uočena kod sorte pšenice *Ortegus*, sorte tritikale *Odisej* i kod sorte ovsa *Jadar*. Prosečna koncentracija prolina u uslovima toplotnog stresa je bila veća u toku 2018. godine u poređenju sa 2017. godinom. Mnoga istraživanja su pokazala pozitivno dejstvo prolina na biljni metabolizam i zaštitu pri abiotičkom stresu (Martinez *et al.*, 1996; Hare i Cress, 1997; Verbruggen i Hermans, 2008). Prolin se pokazao kao dobar stabilizator proteina i kao osmolit (Sharma i Dubey, 2005; Bozorgmehr i Monhemi, 2015). Prolin učestvuje u antioksidativnom odgovoru kao jedan od neenzimskih antioksidansa i dobar je inhibitor lipidne peroksidacije (Jain *et al.*, 2001; Kumar *et al.*, 2002). Wahid i saradnici (2007) su pokazali da usled toplotnog stresa dolazi do akumulacije prolina kao jedan vid zaštitnog mehanizma kod biljaka. Proizvodnja osmolita poput prolina u uslovima toplotnog stresa dovodi do stabilizacije proteina i stabilizuje strukturu ćelijske membrane (Sung *et al.*, 2003). Prikazan je značaj prolina u antioksidativnoj zaštiti kod biljaka kao i pozitivan efekat prolina na smanjenje stepena lipidne peroksidacije (Sardihi *et al.*, 1995; Ozden *et al.*, 2009). Khan i saradnici (2013) su sprovedli istraživanja u kojima su pratili negativne efekte toplotnog

stresa na fotosintezu kod pšenice. Oni su utvrdili da je biosinteza prolina izazvana toplotnim stresom dovela do povećanja sadržaja prolina za 84,7%, dok je akumulacija prolina u uslovima toplotnog stresa zajedno sa salicilnom kiselinom prosečno povećala akumulaciju prolina za 168,6%. Utvrđeno je da je sadržaj prolina u uslovima normalnim za rast bio značajno viši u toplotno tolerantnim sortama pšenice, u odnosu na sorte pšenice osetljive na toplotu. Relativne promene usled toplotnog stresa pokazale su da je došlo do značajnog povećanja prolina u listu pšenice u odnosu na uslove umerene temperature (Hasan *et al.*, 2007). Ahmed i Hasan (2011) su prikazali da u sortama pšenice koje su otpornije na stresne uslove dolazi do većeg porasta prolina u poređenju sa sortama pšenice koje su osetljive na stresne uslove. Utvrdili su da je sadržaj prolina u biljkama gajenim na temperaturi od 35 °C bio viši u poređenju sa onima koje su gajene na 25 °C. Prosečna vrednost prolina kod pšenice otpornije na stresne uslove, u uslovima stresa se kretala oko 1.953 $\mu\text{mol/g}$, dok se prosečna vrednost prolina kod pšenice koja je osetljiva na stresne uslove, u uslovima stresa kretala oko 1.535 $\mu\text{mol/g}$. Relativna vrednost koncentracije prolina je pokazala da na 35 °C toplotno tolerantne sorte proizvode više nego dvostruko ($> 200\%$) prolina nego na 25 °C. Wang i saradnici (2014), takođe su utvrdili porast vrednosti prolina u listu ispitivanih sorti pšenice u uslovima toplotnog stresa. Istraživanja drugih (Sattar *et al.*, 2020) kao i dobijeni rezultati u ovoj disertaciji ukazuju da toplotni stres dovodi do porasta akumulacije prolina kod žitarica i utiče na njihovu otpornost na toplotni stres.

5.6. Analiza koncentracije malondialdehida

Pokazano je da se u uslovima stresa javlja veća koncentracija reaktivnih vrsta kiseonika i dolazi do povećanja nivoa lipidne koncentracije (Fábián *et al.*, 2019; Suzuki i Mittler, 2006). Produkt i bitan pokazatelj lipidne peroksidacije kao i stepena oštećenja je malondialdehid (MDA) (Kong *et al.*, 2016). U ovoj disertaciji, koncentracije malondialdehida u toku dve vegetacione sezone (2017., 2018.) analizirana je u listu deset različitih sorti žitarica. Srednja vrednost koncentracije malondialdehida u toku 2017. godine u uslovima umerene temperature iznosila je 1,35 $\mu\text{mol/g s.m.}$, dok je u uslovima toplotnog stresa srednja vrednost koncentracije malondialdehida porasla na 2,93 $\mu\text{mol/g s.m.}$, što predstavlja porast od 1,58 $\mu\text{mol/g s.m.}$. Srednja vrednost prolina u toku 2018. godine u uslovima umerene temperature iznosila je 0,92 $\mu\text{mol/g s.m.}$, dok je u uslovima toplotnog stresa srednja vrednost koncentracije prolina porasla na 3,14 $\mu\text{mol/g s.m.}$, što predstavlja porast od 2,23 $\mu\text{mol/g s.m.}$. U obe vegetacione sezone je uočen značajan rast koncentracije malondialdehida u svim analiziranim sortama u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenom temperaturom vazduha. Na osnovu rezultata, može se zaključiti da su se sorte pšenice *NS40S*, *Ortegas* i sorta tritikalea *Odisej* odlikovale najvećim porastom koncentracije malondialdehida u uslovima toplotnog stresa u toku obe vegetacione sezone. U uslovima toplotnog stresa, najmanja koncentracija malondialdehida je uočena kod sorte pšenice *Zvezdana*. Možemo videti na osnovu rezultata da je između ispitivanih sorti žitarica utvrđena značajna razlika u sadržaju MDA u obe vegetacione sezone. Prosečna koncentracija malondialdehida u uslovima toplotnog stresa je bila veća u toku 2018. godine u poređenju sa 2017. godinom. Mnoga istraživanja su potvrdila da stresni uslovi sredine dovode do porasta reaktivne vrste kiseonika i produkta lipidne peroksidacije kod brojnih biljnih vrsta (Kukreja *et al.*, 2005; Razinger *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2008; Sanchez-Rodriguez *et al.*, 2010). Khan i Panda (2008) su učili porast lipidne peroksidacije kod sorte pirinča koja je bila uzgajana u zaslanjenom zemljištu. U uslovima suše i povećane koncentracije soli u zemljištu, došlo je do povećanja sadržaja malondialdehida u sladiću (Pan *et al.*, 2006). Simova-Stoilova i saradnici (2010) su uočili da je slabljenje integriteta membrane i oksidativno oštećenje lipida bilo izraženije kod osetljivih sorti pšenice u uslovima suše. Savicka i Škute (2010) su pokazali u svom istraživanju da dugoročni stres izazvan visokom temperaturom može dovesti do

oksidativnog stresa i inhibicije rasta kod pšenice. Abiotički stres pored oksidativnog stresa, dovodi i do brojnih oštećenja posredovanih lipidnom peroksidacijom. U tim uslovima dolazi do oštećenja hlorofila i smanjenja količine ukupnog hlorofila (Mishra i Singhal, 1992; Chakraborty i Pradhan, 2012; Dhyan *et al.*, 2013). Može doći do oštećenja DNK molekula kao i do oštećenja proteina (Marnett, 1999; Negre-Salvayre *et al.*, 2008). Istraživanje Xu i saradnika (2006) je pokazalo da je sorta koja je toplotno tolerantnija imala niži nivo malondialdehida i odlikovala se manjim nivoom oštećenja hloroplasta u uslovima toplotnog stresa u odnosu na toplotno osetljivu sortu. Uočeno je da je delovanje lipidne peroksidacije bilo najintenzivnije u listovima pšenice (Savicka i Škute, 2010).

5.7. Analiza aktivnosti antioksidativnih enzima

Antioksidativni enzimi učestvuju u katalitičkoj transformaciji reaktivnih vrsta kiseonika i njihovih nusproizvoda u stabilne netoksične molekule, što ih čini jako važnim zaštitnim mehanizmom od oksidativnog stresa (Sáez i Están-Capell, 2014; Caverzan *et al.*, 2016). Aktivnost antioksidativnih enzima katalaze, askorbat peroksidaze i gvajakol peroksidaze u toku vegetacione sezone 2018., je analizirana u listu deset različitih sorti žitarica. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da je aktivnost enzima katalaze u proseku iznosila 24,45 min/g s.m. u uslovima umerene temperature vazduha, dok je aktivnost ovog enzima porasla u uslovima toplotnog stresa na 37,39 min/g s.m.. Kod svih analiziranih sorti je utvrđen značajan porast aktivnosti katalaze u uslovima toplotnog stresa. Najveći porast aktivnosti enzima katalaze je primećen kod sorte ovsa *Jadar*. Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Hystar* i *Pobeda*. Najniži porast aktivnosti uočen kod sorte pšenice *NS40S*. Prosečan porast aktivnosti katalaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018., je iznosio 64,45% u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Na osnovu rezultata utvrđeno je da je aktivnost enzima askorbat peroksidaze u proseku iznosila 6,14 min/g s.m. u uslovima umerene temperature vazduha, dok je aktivnost ovog enzima porasla u uslovima toplotnog stresa na 11,69 min/g s.m.. Kod svih analiziranih sorti je utvrđen značajan porast aktivnosti askorbat peroksidaze u uslovima toplotnog stresa. Najveći porast aktivnosti enzima askorbat peroksidaze je primećena kod sorte pšenice *Hystar*. Visok porast je primećen i kod sorte pšenice *Zvezdana*. Najniži porast aktivnosti askorbat peroksidaze uočen je kod sorte pšenice *Ortegas*. Prosečan porast aktivnosti askorbat peroksidaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018., je iznosio 105,06% u uslovima toplotnog stresa i predstavlja najveći porast aktivnosti među analiziranim enzimima. Na osnovu dobijenih rezultata utvrđeno je da je aktivnost enzima gvajakol peroksidaze u proseku iznosila 18,36 min/g s.m. u uslovima umerene temperature vazduha, dok je aktivnost ovog enzima porasla u uslovima toplotnog stresa na 26,54 min/g s.m.. Kod svih analiziranih sorti je utvrđen značajan porast aktivnosti gvajakol peroksidaze u uslovima toplotnog stresa. Najveći porast aktivnosti enzima gvajakol peroksidaze je primećen kod sorte tritikalea *Odisej*. Visok porast je primećen i kod sorti pšenice *Avenu*. Najniži porast aktivnosti gvajakol peroksidaze uočen kod sorti pšenice *Zvezdana* i *Ortegas*. Prosečan porast aktivnosti gvajakol peroksidaze u analiziranim sortama žitarica u toku vegetacione sezone 2018., je iznosio 48,65% u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa umerenim temperaturnim uslovima. Aktivnost analiziranih enzima je bila uvećana u uslovima toplotnog stresa i varirala je među analiziranim sortama žitarica. Možemo uočiti da je najveća aktivnost katalaze bila u sorti ovsa, kod pšenice je bio najaktivniji enzim askorbat peroksidaza, dok je kod tritikalea bio najaktivniji enzim gvajakol peroksidaza. Aktivnost enzima katalaze, askorbat peroksidaze i gvajakol peroksidaze je dosta proučavana u pogledu zaštite biljaka u uslovima abiotičkog stresa (Badawi *et al.*, 2007; Baque *et al.*, 2010; Ibrahim *et al.*, 2013; Antunović, 2013). Do sinteze ovih ali i drugih antioksidativnih enzima

dolazi kada se povećava nivo reaktivnih vrsta kiseonika (ROS) (Ghazi *et al.*, 2007). Antioksidativni enzimi se kod biljaka aktiviraju na različitim temperaturama u zavisnosti od biljne vrste (Hemantaranjan *et al.*, 2014). Uloga enzima katalaze, askorbat peroksidaze i gvajakol peroksidaze je ispitivana u različitim stresnim uslovima kod biljnih vrsta. Povišena aktivnost katalaze, gvajakol-peroksidaze i superoksid-dismutaze primećene su u uslovima stresa kod biljke *Morinda citrifolia*. Njihova aktivnost dovela je do efikasnog uklanjanja potencijalne opasnosti od vodonik-peroksida (Baque *et al.*, 2010). Utvrđeno je da enzim katalaza igra ključnu ulogu u uklanjanju H₂O₂ u sadnicama krastavaca u uslovima toplotnog stresa (Shi *et al.*, 2006). U nekoliko istraživanja je analizirana uloga aktivnosti različitih antioksidativnih enzima u žitaricama u stresnim uslovima (Spundová *et al.*, 2005; Mishra *et al.*, 2013; Rao *et al.*, 2013; Huseynova *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2008). Varga i saradnici (2012) su pokazali da je kod žitarica aktivan veći broj antioksidativnih enzima, među kojima značajnu aktivnost imaju katalaza, askorbat peroksidaza i gvajakol peroksidaza. Balla i saradnici (2009) pokazali su da nakon izlaganja toplotnom stresu aktivnost antioksidativnih enzima značajno raste u sortama pšenice otpornijim na toplotu. Pokazano je da je aktivnost katalaze u korelaciji sa otpornošću na toplotni stres, kao i sa kapacitetom za sticanje toplotne tolerancije (Zhao *et al.*, 2007; Almeselmani *et al.*, 2009). Sattar i saradnici (2020) su dokazali porast aktivnosti enzima katalaze i askorbat peroksidaze u sortama pšenice u uslovima toplotnog stresa. Wang i saradnici (2014), sprovedi su eksperiment kako bi se utvrdio efekat kratkotrajnog toplotnog stresa na morfo-fiziološke karaktere i antioksidanse u 10 različitih sorti pšenice. Zabeležen je značajan porast aktivnosti katalaze, gvajakol peroksidaze i superoksid dismutaze u uslovima toplotnog stresa, pri čemu je utvrđena veća aktivnost enzima kod toplotno tolerantnih sorti.

5.8. Analiza sadržaja fotosintetičkih pigmenata

Na osnovu analize sadržaja fotosintetičkih pigmenata u listu ispitivanih sorti žitarica u toku tri vegetacione sezone (2016., 2017., 2018.), uočeno je značajno smanjenje sadržaja svih analiziranih pigmenata u toku toplotnog stresa u poređenju sa sadržajem pigmenata u uslovima umerene temperature vazduha. Veći pad fotosintetičkih pigmenata hlorofila *a*, hlorofila *b*, ukupnog hlorofila kao i karotenoida je zabeležen u toku 2016. i 2018. sezone u poređenju sa sezonom 2017. Sorta pšenice *Zvezdana* se odlikovala najboljim karakteristikama u pogledu analiziranih pigmenata i kod nje je zabeležen najmanji pad hlorofila *a*, ukupnog hlorofila i karotenoida u toku toplotnog stresa u poređenju sa ostalim analiziranim sortama žitarica. Kod sorte *Zvezdana* je u proseku bio prisutan i najveći sadržaj fotosintetičkih pigmenata u sve tri sezone u umerenim temperaturnim uslovima. Manji pad hlorofila *b* je primećen kod sorti pšenice *Hystar* i *Pobeda*. Kod sorti pšenice *NS40S* i *Nikol* kao i kod sorte tritikalea *Odisej* uočene su lošije karakteristike u pogledu fotosintetičkih pigmenata u uslovima toplotnog stresa u sve tri vegetacione sezone. Vrednosti fotosintetičkih pigmenata u analiziranim sortama žitarica bili su u uslovima umerene temperature vazduha slični vrednostima koje su u svojim istraživanjima dobili Bojović i Stojanović (2012). U uslovima toplotnog stresa, aktivnost hlorofilaze i hlorofil degradujuće peroksidaze se povećava, što rezultira ozbiljnim smanjenjem nivoa hlorofila (Wang *et al.*, 2018). U istraživanju koje su sprovedi Todorov i saradnici (2003), utvrđeno je da toplotni stres dovodi do smanjenja količine fotosintetičkih pigmenata kod biljke *Arabidopsis thaliana*. Smanjenje sadržaja hlorofila je utvrđeno kod pšenice u uslovima stresa (Sindahu *et al.*, 2015). Sattar i saradnici (2020) su utvrdili značajan pad vrednosti hlorofila u listu analiziranih sorti pšenice u uslovima toplotnog stresa. Značajan pad vrednosti hlorofila u uslovima toplotnog stresa u listu pšenice je utvrđen i u istraživanju koje su sprovedi Prasad i

saradnici (2011). Feng i saradnici (2014) su pokazali da visoka temperatura uzrokuje gubitak sadržaja hlorofila a, hlorofila b i karotenoida u listu zastavičaru u sortama ozime pšenice. Pad vrednosti pigmenata u uslovima toplotnog stresa kod žitarica utvrđen je i u drugim studijama, pri čemu je zabeležen veći pad vrednosti pigmenata kod toplotno senzitivnih sorti žitarica (Ristic *et al.*, 2008; Sharma *et al.*, 2012; Sharma *et al.*, 2015; Sunita *et al.*, 2018). Pad vrednosti pigmenata kod analiziranih sorti žitarica utvrđen je i u ovoj disertaciji i može biti značajan pokazatelj negativnog efekta toplotnog stresa kod žitarica.

5.9. Analiza sadržaja skroba

U ovoj disertaciji, sadržaj skroba je analiziran u zrnu žitarica u toku tri sezone (2016., 2017., 2018.). Prosečna vrednost sadržaja skroba u sve tri sezone je iznosila oko 48% u odnosu na suhu masu zrna. Sorte koje su se odlikovale najvećim sadržajem skroba su sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar*. Najniži sadržaj skroba je utvrđen u sorti ovsa *Jadar* i u sorti pšenice *Ortegas*. Sadržaj skroba je bio viši u toku 2017. godine u poređenju sa 2016. i 2018. godinom. U zrnu pšenice od ukupne količine ugljenih hidrata skrob je najzastupljeniji (Andersson *et al.*, 2013; Lafiandra *et al.*, 2014). Budući da su kvantitativno najvažniji prehrambeni izvor energije za većinu populacije, ugljeni hidrati imaju posebnu ulogu u energetskom metabolizmu i homeostazi, a sadržaj skroba može biti važan pokazatelj kvaliteta zrna žitarica (Lafiandra *et al.*, 2014). Toplotni stres može uticati na kvalitativni sastav zrna žitarica kao i na količinu skroba. Viswanathan i Khanna-Chopra (2001) su utvrdili da je toplotni stres uticao značajno na smanjenje skroba kod sorte pšenice koja nije bila tolerantna na toplotu za razliku od sorte pšenice koja je bila toplotno tolerantna.

5.10. Analiza elemenata prinosa

Utvrđeno je da prosečna temperatura vazduha raste na globalnom nivou i očekuje se da će do kraja ovog veka doći do porasta temperature za 1,8 do 4 °C. Iz tog razloga se smatra da će temperatura u budućem periodu biti jedan od najzastupljenijih izvora stresa za biljne organizme (Tiwari *et al.*, 2020). Temperatura značajno utiče na prinos žitarica i dovodi do smanjenja prinosa na globalnom nivou (Akter i Rafiqul, 2017; Iqbal *et al.*, 2017). Zato je važno utvrditi sorte žitarica koje su toplotno tolerantnije i daju bolje prinose u uslovima toplotnog stresa. U ovoj disertaciji je analiziran veći broj elemenata prinosa u toku tri vegetacione sezone (2016., 2017., 2018.). Na osnovu rezultata utvrđeno je da je sadržaj suve mase lista u proseku iznosio 40,72%. Sorte koje su se odlikovale većim procentom suve mase lista u toku tri vegetacione sezone su sorte pšenice *Hystar* i *Avenu*. Najniži procenat suve mase u toku tri vegetacione sezone su imale sorta pšenice *NS40S* i sorta ovsa *Jadar*. Sadržaj suve mase zrna je u proseku iznosio 77% u toku tri vegetacione sezone. Sorte koje su se odlikovale višim procentom suve mase zrna su sorte pšenice *Zvezdana* i *Avenu*. Niži procenat suve mase zrna su sadržale sorta ovsa *Jadar* i sorta tritikalea *Odisej*. U sve tri godine prosečan broj zrna u klasu bio je 42. U toku 2017. godine je broj zrna u klasu bio veći u odnosu na 2016. i 2018. godinu. Najveći broj zrna u klasu je utvrđen kod sorte pšenice *Hystar*, dok je najmanji broj zrna u klasu utvrđen u sorti pšenice *Ortegas*. Masa suvog zrna u klasu iznosila je u proseku 1,73 g. U toku 2017. godine masa suvog zrna u klasu je bila veća u odnosu na 2016. i 2018. godinu. Sorte koje su se odlikovale najvećom prosečnom masom suvog zrna u klasu su sorte pšenice *Zvezdana* i *Pobeda*. Najniža prosečna masa suvog zrna u klasu utvrđena je u sorti pšenice *Ortegas* i kod sorte ovsa *Jadar*. Jedan od najbitnijih pokazatelja prinosa žitarica jeste prinos ostvaren u kilogramima po hektaru. Prosečna vrednost prinosa u kilogramima po hektaru iznosila je 4397

kg/ha. Prosečan prinos u kg/ha bio je najveći u toku 2017. godine. Sorte koju se odlikovale većim prinosom u kg/ha su sorte pšenice *Hystar*, *Pobeda*, *Simonida* i *Zvezdana*. Najmanji prinos u kg/ha utvrđen je kod sorte ovsa *Jadar*. Utvrđen je i prinos u kilogramima po hektolitr. Hektolitarska masa kao težina standardne zapremine zrna, dobar je pokazatelj čvrstoće i nalivenosti zrna i predstavlja bitan kvalitativni parametar kod žitarica. Hektolitarska masa je važan pokazatelj fizičkog kvaliteta zrna žitarica i koristi se kao pokazatelj potencijalnog prinosa brašna žitarica u mlinarskoj industriji (Manley *et al.*, 2009). Prinos u kg/hL je u proseku iznosio 69 kg/hL u toku dve vegetacione sezone (2017 i 2018). Sorte koje su se odlikovale većom hektolitarskom masom su sorte pšenice *Zvezdana* i *Pobeda*. Sorte kod koje je utvrđena manja hektolitarska masa su sorte tritikalea *Odisej* i sorta ovsa *Jadar*.

U istraživanju koje su sprovedi Wang i saradnici (2014), toplotni stres je značajno smanjio suhu masu izdanaka, suhu masu korena, dužinu izdanaka i dužinu korena kod svih ispitivanih sorti pšenice. Sadržaj hlorofila i indeks stabilnosti membrane su se smanjili, dok se sadržaj prolina povećao u termički obrađenim biljkama. Prasad i saradnici (2011) su proučavali uticaj temperature i suše na prolećne sorte pšenica. Utvrdili su da je visoka temperatura prouzrokovala smanjenje ukupnog broja zrna za 56% kao i njihovu masu za 25%. Uticaj suše je doveo do sličnih rezultata, pa je tako broj zrna spao za 48% a njihova masa za 35%. Viswanathan i Khanna-Chopra (2001) su takođe utvrdili da je toplotni stres značajno uticao na smanjenje mase zrna kod ispitivanih sorti pšenice.

Eksperimentalne godine 2016. i 2018. su se odlikovale većom temperaturom, dok je 2017. godina bila temperaturno umerenija godina. Prvi dani sa uslovima visoke temperature ($t > 30$ °C) u sve tri eksperimentalne godine su zabeleženi u toku juna. Prema rezultatima ove doktorske disertacije, antioksidativni i zaštitni mehanizmi su bili izraženiji u toku toplijih godina istraživanja (2016., 2018.) u odnosu na 2017. godinu, što ukazuje da temperatura značajno utiče na sve analizirane parametre. Rezultati su pokazali da toplotni stres utiče na nivo ukupnih solubilnih proteina, dovodi do nakupljanja eEF1A, EF-Tu, HSP101, utiče i na nivo HSP18. Toplotni stres različito utiče na promenu sadržaja prolina kod analiziranih sorti žitarica, dovodi do pada vrednosti fotosintetičkih pigmenata, smanjuje vrednosti elemenata prinosa i utiče na sadržaj skroba. U svim analiziranim parametrima, toplotni stres je uticao različito na analizirane sorte žitarica. Obzirom na trend porasta temperature poslednjih godina uočava se potreba za bolje adaptiranim sortama žitarica na povišene temperature. Potrebno je razviti sorte koje bi u nepovoljnim klimatskim uslovima davale iste ili veće prinose. Dobijeni rezultati sugerišu da se analizirane sorte žitarica značajno razlikuju u sposobnosti reagovanja na toplotni stres, što bi moglo biti korisno za razvoj tolerantnijih sorti žitarica primenom biotehnologije i kroz programe oplemenjivanja.

6. ZAKLJUČCI

Na osnovu trogodišnjeg ispitivanja i na osnovu dobijenih rezultata u ovoj doktorskoj disertaciji, mogu se prikazati sledeći zaključci:

Visoka temperatura je negativno uticala na sadržaj ukupnih solubilnih proteina u listu ispitivanih žitarica u toku sve tri eksperimentalne godine. Utvrđen je pad koncentracije ukupnih solubilnih proteina u listu ispitivanih žitarica u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Utvrđena varijabilnost u koncentraciji ukupnih solubilnih proteina između ispitivanih sorti žitarica, a utvrđena je varijabilnost i u padu koncentracije ukupnih solubilnih proteina između ispitivanih sorti žitarica. Sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar*, koje su se odlikovale većom otpornošću na toplotni stres, odlikovale su se i manjim padom koncentracije ukupnih solubilnih proteina u uslovima visoke temperature.

Imunoblot analiza ekspresije eEF1A je pokazala da dolazi do značajnog povećanja ekspresije ovog elongacionog faktora u uslovima toplotnog stresa u listu ispitivanih sorti žitarica i da porast akumulacije eEF1A u uslovima visoke temperature može značajno varirati među sortama. Ekspresija eEF1A je bila značajnija kod sorti pšenica *Zvezdana* i *Hystar* koje su pokazale veću otpornost na toplotni stres. Analizom ekspresije eEF1A gena, utvrđeno je da je upravo toplotni stres doveo do ekspresije eukariotskog elongacionog faktora 1A. U toku 2017. godine nakupljanje eEF1A u poređenju sa rezultatima dobijenim u toku 2016. i 2018. godine je bilo manje i u uslovima visoke i u uslovima umerene temperature.

Imunoblot analiza ekspresije EF-Tu je pokazala da dolazi do ekspresije ovog elongacionog faktora u uslovima toplotnog stresa. Značajnija ekspresija EF-Tu u uslovima toplotnog stresa je bila prisutna u sve tri eksperimentalne godine jedino kod sorte pšenice *Zvezdana*, a kod sorte *Simonide* u toku dve eksperimentalne godine. Kod ostalih sorti ekspresija EF-Tu nije bila značajna u uslovima toplotnog stresa. U toku 2017. godine nakupljanje EF-Tu u poređenju sa rezultatima dobijenim u toku 2016. i 2018. godine je bilo manje i u uslovima visoke i u uslovima umerene temperature.

Imunoblot analiza ekspresije HSP101 je pokazala da dolazi do značajnog povećanja ekspresije ovog proteina u uslovima toplotnog stresa u listu ispitivanih sorti žitarica. Pokazano je takođe da postoji značajna razlika u nakupljanju HSP101 između analiziranih sorti žitarica. Ekspresija HSP101 je bila značajnija kod sorte pšenice *Zvezdana*, koja je pokazala veću otpornost na toplotni stres.

Imunoblot analiza ekspresije HSP18 je pokazala da dolazi do značajnog povećanja ekspresije ovog proteina u uslovima toplotnog stresa u listu ispitivanih sorti žitarica. Ekspresija HSP18 je bila značajnija kod sorte ovasa *Jadar* u poređenju sa ostalim sortama žitarica. U toku 2017. godine nakupljanje HSP18 u poređenju sa rezultatima dobijenim u toku 2016. i 2018. godine je bilo manje i u uslovima visoke i u uslovima umerene temperature.

Analiza prolina pokazala je da dolazi do značajnog povećanja koncentracije prolina kod ispitivanih sorti žitarica u uslovima toplotnog stresa u poređenju sa uslovima umerene temperature vazduha. Na osnovu rezultata, utvrđeno je da su se sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Avenu* odlikovale najvećom koncentracijom prolina u uslovima toplotnog stresa kod kojih je uočen i najveći porast koncentracije prolina u uslovima toplotnog stresa. Na osnovu istraživanja može se zaključiti da toplotni stres dovodi do porasta akumulacije prolina kod žitarica i utiče na njihovu otpornost na toplotni stres.

Aktivnost antioksidativnih enzima je bila zabeležena u svim analiziranim sortama žitarica. Njihova aktivnost je uvećana značajno kada su biljke bile izložene toplotnom stresu. Aktivnost katalaze je bila zastupljenija kod sorte ovsa, aktivnost askorbat peroksidaze je bila veća kod pšenice, dok je gvajakol peroksidaza bila najaktivnija kod sorte tritikalea.

Koncentracija malondialdehida je porasla u uslovima toplotnog stresa kod svih analiziranih sorti žitarica, što ukazuje da su sorte bile izložene značajnom stresu. Koncentracija malondialdehida je bila manje izražena kod sorti koje su se odlikovale većom aktivnošću antioksidativnih mehanizama poput prolina, antioksidativnih enzima, elongacionih faktora i HSP-a čime je potvrđena njihova značajna uloga u biljnoj zaštiti od štetnog delovanja lipidne peroksidacije.

Sadržaj fotosintetičkih pigmenata je bio osetljiv na toplotni stres, i zabeležen je pad njihove koncentracije kada su biljke bile izložene toplotnom stresu. Na osnovu vrednosti fotosintetičkih pigmenata u uslovima umerene temperature vazduha kao i na osnovu vrednosti pigmenata u toplotnom stresu, može se zaključiti da je najveću fotosintetičku aktivnost pokazala sorta pšenice *Zvezdana*, kod koje je zabeležen i najmanji pad vrednosti pigmenata u uslovima toplotnog stresa.

Sadržaj skroba je značajno varirao između analiziranih sorti žitarica u sve tri eksperimentalne godine. Sorte koje su se odlikovale najvećim sadržajem skroba su sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda* i *Hystar*, dok je najmanji sadržaj skroba utvrđen u sorti ovsa *Jadar* i u sorti pšenice *Ortegas*. Sadržaj skroba bio je veći u toku 2017. godine u poređenju sa 2016. i 2018. godinom.

Analizirani elementi prinosa su bili veći kod sorti *Zvezdana*, *Simonida* i *Hystar*, sorti koje su se odlikovale većom otpornošću na toplotni stres.

Na osnovu svih analiziranih parametara u toku tri eksperimentalne godine, može se zaključiti da su sorte pšenice *Zvezdana*, *Pobeda*, *Hystar* i *Simonida* bile otpornije na toplotni stres u odnosu na ostale analizirane sorte žitarica. Kao osetljive na toplotni stres su se pokazale sorte pšenice *NS40S*, *Nikol*, *Ortegas* i sorta ovsa *Jadar*.

Rezultati ove doktorske disertacije, sugerišu da se analizirane sorte žitarica značajno razlikuju u sposobnosti reagovanja na toplotni stres, što bi moglo biti korisno za razvoj sorti primenom biotehnologije i programa oplemenjivanja žitarica, kako bi se dobile sorte otpornije na visoku temperaturu.

7. LITERATURA

- Acevedo E., Silva P., Silva H. (2002): Bread wheat, Improvement and Production, Wheat growth and physiology. Editors: Curtis B.C., Rajaram S., Gómez-Macpherson H., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rim, Italija.
- Abdel-Aal E.S., Young J.C., Rabalski I., Hucl P., Fregeau-Reid J. (2007): Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 787–94.
- Adom K.K., Liu R.H. (2002): Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 6182–7.
- Ambrosone A., Di Giacomo M., Leone A., Grillo M.S., Costa A. (2013): Identification of early induced genes upon water deficit in potato cell cultures by cDNA-AFLP. *J. Plant. Res.*, 126: 169–178.
- Amirjani M. (2012): Estimation of wheat responses to “high” heat stress. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture* 6: 222-233.
- Andrade E.F., Lobato R.V., de Araújo T.V., Zangerônimo M.G., de Sousa R.V., Pereira L.J. (2015): Effect of beta-glucans in the control of blood glucose levels of diabetic patients: a systematic review. *Nutricion Hospitalaria*, 31: 170-177.
- Andersen G.R., Nissen P., Nyborg J. (2003): Elongation factors in protein biosynthesis. *Trends in Biochemical Sciences*, 28: 434-441.
- Anderson A.J., Sonali P.R. (2004): Protein aggregation, Radical scavenging capacity, and stability of Hydrogen Peroxide Defense system in heat stressed Vinca and sweet pea leaves. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129: 54-59.
- Andersson A.A.M., Andersson R., Piironen V., Lampi A.M., Nyström L., Boros D., Fras A., Gebruers K., Courtin C.M., Delcour J.A., Rakszegi M., Bedo Z., Ward J.L., Shewry P.R., Åman P. (2013): Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the HEALTHGRAIN diversity screen. *Food Chem.*, 136:1243–1248.
- Antunović J. (2013): Utjecaj ekstremnog zasušivanja na biokemijske i fiziološke značajke klijanaca ječma (*Hordeum vulgare* L.) uzgojenih pri slabom i jakom osvjetljenju. Doktorski rad, Osijek, 2013.
- Ahn Y.J., Claussen K., Zimmerman J.L. (2004): Genotypic differences in the heat shock response and thermotolerance in four potato cultivars. *Plant Sci.*, 166: 901-911.
- Ahmed J.U. Hasan M.A. (2011): Evaluation of seedling proline content of wheat genotypes in relation to heat tolerance. *Bangladesh J. Bot.*, 40: 17-22.
- Apel K., Hirt H. (2004): Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annu Rev Plant Biol.*, 55: 373–399.
- Aebi H. (1984): Catalase *in vitro*. *Methods in Enzymology*, 105: 121-126.
- Alscher G.R., Donahue L.J., Cramer L.C. (1997): Reactive oxygen species and antioxidants: relationship in green cells. *Physiologia Plantarum*, 100: 224-233.
- Al-Snafi A.E. (2015): The nutritional and therapeutic importance of *Avena sativa* - an overview. *International Journal of Phytotherapy*, 5: 48-56.
- Al-Khatib K., Paulsen G.M. (1984): Mode of high temperature injury to wheat during grain

- development. *Physiol Plantarum.*, 61: 363–368.
- Allakhverdiev S.I., Kreslavski V.D., Klimov V.V., Los D.A., Carpentier R., Mohanty P. (2008): Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynth. Res.*, 98: 541–550.
- Almeselmani M., Deshmukh P.S., Sairam R.K. (2009): High temperature stress tolerance in wheat genotypes: Role of antioxidant defence enzymes. *Acta Agron. Hungar.*, 57: 1–14.
- Ali M.B., Hahn E.J., Paek K.Y. (2005): Effects of temperature on oxidative stress defense systems, lipid peroxidation and lipoxygenase activity in *Phalaenopsis*. *Plant Physiol. Biochem.*, 43: 213–223.
- Asano T., McLeod R.S. (2002): Dietary fibre for the prevention of colorectal adenomas and carcinomas. *Cochrane Database Systematic Review 2*: CD003430.
- Asada K. (1999): The waterwater cycle in chloroplasts: scavenging of active oxygens and dissipation of excess photons. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50: 601e639.
- Asseng S., Ewert F., Zhu Y. (2015): Rising temperatures reduce global wheat production. *Nature Climate Change*, 5: 143–147.
- Ashraf M., Hafeez M. (2004): Thermotolerance of pearl millet and maize at early growth stages: Growth and nutrient relations. *Biol. Plant.*, 48: 81–86.
- Ashraf M., Foolad M.R. (2007): Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environ Exp Bot*, 59:206-216.
- Asthir B. (2015): Protective mechanisms of heat tolerance in crop plants. *Journal of Plant Interactions*, 10: 202-210.
- Akter N., Rafiqul-Islam M. (2017): Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 37: 37
- Auer T., Khoschsorur G.A., Rabl H., Iberer F., Petutschnigg B. et al. (1995): Detection of lipid peroxidation products by malondialdehyde (MDA-TBA reaction) in organ transplantation. *Transplant Proc.*, 27: 2749-2751.
- Agama-Acevedo E., Flores-Silva P.C., Bello-Perez L.A. (2019): Chapter 3 - Cereal Starch Production for Food Applications, Editor(s): Clerici M.T.P.S., Schmiele M., *Starches for Food Application*, Academic Press, Pages 71-102.
- Balla K., Bencze S., Janda T., Veisz O. (2009): Analysis of heat stress tolerance in winter wheat. *Acta Agron. Hungar.*, 57: 437–444.
- Baque, A.M., Lee E.J., Paek, K.Y. (2010): Medium salt strength induced changes in growth, physiology and secondary metabolite content in adventitious roots of *Morinda citrifolia*: the role of antioxidant enzymes and phenylalanine ammonia lyase. *Plant Cell Rep*, 29: 685–694.
- Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. (1973): Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39: 205–207.
- Barnabás B., Jäger K., Fehér A. (2008): The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, cell & environment*, 31: 11–38.

- Badawi G.H., Tahir I.S.A., Nakata N., Tanaka K. (2007): Induction of some Antioxidant Enzymes in Selected Wheat Genotypes. African Crop Science Conference Proceedings. 8.
- Bhattacharya A. (2019): Chapter 3 - Chapter 3 - Effect of High Temperature on Protein Metabolism in Plants, Editor(s): Bhattacharya A., Effect of High Temperature on Crop Productivity and Metabolism of Macro Molecules. Academic Press, Pages 1-114.
- Beck P., Jennings J., Rogers J. (2020): Chapter 8 - Management of pastures in the upper south: The I-30 and I-40 Corridors, Editor(s): Monte Rouquette, Glen E. Aiken, Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures, Academic Press, Pages 189-226.
- Bennici A. (1986): Durum Wheat (*Triticum durum* Desf.). In: Bajaj Y.P.S. (eds) Crops I. Biotechnology in Agriculture and Forestry, vol 2. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ben-Arye E., Goldin E., Wengrower D., Stamper A., Kohn R., Berry E. (2002): Wheat Grass Juice in the Treatment of Active Distal Ulcerative Colitis: A Randomized Double-blind Placebo-controlled Trial. Scand J Gastroenterol., 37: 444-449.
- Bradford M.M. (1976): A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry, 72: 248–254.
- Breusegem F.V., Vranova E., Dat J.F., Inze D. (2001): The role of active oxygen species in plant signal transduction. Plant Science, 161: 405-414.
- Brenchley, R., Spannagl, M., Pfeifer, M. *et al.* (2012): Analysis of the bread wheat genome using whole-genome shotgun sequencing. Nature, 491: 705–710.
- Bray E.A., Bailey-Serres J., Weretilnyk E. (2000): Responses to abiotic stresses. In Biochemistry and Molecular Biology of Plants (eds B.Buchanan, W.Gruissem & R.Jones), pp. 1158–1203. ASPB, Rockville, MD, USA.
- Browning K.S. (1996): The plant translational apparatus. Plant Mol Biol, 32: 107–144.
- Blokhina O. (2000): Anoxia and Oxidative Stress: Lipid Peroxidation, Antioxidant Status and Mitochondrial Functions in Plant. Academic dissertation. Helsinki. 79 p.
- Butt M.S., Tahir-Nadeem M., Khan M.K.I., Shabir R., Butt M.S. (2008): Oat: unique among the cereals. Eur J Nutr, 47:68–79.
- Bukovnik U., Fu J., Bennett M., Prasad P.V.V., Ristic Z. (2009): Heat tolerance and expression of protein synthesis elongation factors, EF-Tu and EF-1a, in spring wheat. Functional Plant Biology, 36: 234–241.
- Boston R.S., Viitanen P.V., Vierling E., (1996): Molecular chaperones and protein folding in plants. Plant Mol. Biol. 32: 191-222.
- Bojović B., Stojanović J. (2005): Chlorophyll and carotenoid content in wheat cultivars as a function of mineral nutrition. Arch. Biol. Sci., 57: 283-290.
- Bonjean A.P., Angus W.J. (2001): Origin of cultivated wheat, The world wheat book: a history of wheat breeding, Paris, FranceLavoisier Publishing, 3-56.

- Bozorgmehr M.R., Monhemi H. (2015): How Can a Free Amino Acid Stabilize a Protein? Insights from Molecular Dynamics Simulation. *Journal of Solution Chemistry*, 44: 45–53.
- Caverzan A., Casassola A.B., Patussi S. (2016): Antioxidant responses of wheat plants under stress. *Genetics and Molecular Biology*, 39: 1-6.
- Castro M., Peterson C.J., Rizza M.D., Dellavalle P.D., Vazquez D., Ibanez V., Ross A. (2007): Influence of heat stress on wheat grain characteristics and protein molecular weight distribution. In: *Wheat Production in Stressed Environment*. pp. 365–371. Buck, H. T., Nisi, J. E., and Salomon, N. Eds., Springer, Netherlands.
- Chakraborty U., Pradhan B. (2012): Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H₂O₂ accumulation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 24: 117-130.
- Chelikani P., Fita I., Loewen P.C. (2004): Diversity of structures and properties among catalases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61: 192–208.
- Chomezynski P., Sacchi N. (1987): Single-step method of RNA isolation by acid guanidinium thiocyanate-phenol-chloroform extraction. *Analytical Biochemistry* 162: 156-159.
- Chung E., Cho C.W., So H.A., Yun B.H., Lee J.H. (2009): Differential expression of soybean SLT1100 gene encoding translation elongation factor 1A by abiotic stresses. *J Plant Biotechnol.*, 36: 255–260.
- Crafts-Brandner S J., Salvucci M. E. (2002): Sensitivity of photosynthesis in a C₄ plant, maize, to heat stress. *Plant Physiol.*, 129: 1773-1780.
- Ciais P.H., Reichstein M., Viovy N., Granier A., Ogée J., Allard V., Aubinet M., Buchmann N., Bernhofer C., Carrara A., Chevallier F., De noblet N., Friend A.D., Friedlingstein P., Grünwald T., Heinesch B., Keronen P., Knohl A., Krinner G., Loustau D., Manca G., Matteucci G., Miglietta F., Ourcival J.M., Papale D., Pilegaard K., Rambal S., Seufert G., Soussana J.F., Sanz M.J., Schulze E.D., Vesala T., Valentini R. (2005): Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437: 529-533.
- Cosio C., Dunand C. (2009): Specific functions of individual class III peroxidase genes. *Journal of Experimental Botany*, 60: 391–408.
- Costa A., Di Giacomo M., Massarelli I., De Palma M., Leone A., Grillo M.S. (2010): Isolation, characterization and expression of an elongation factor 1a gene in potato (*Solanum tuberosum*) cell cultures. *Plant Biosyst.*, 144: 618–625.
- Curtis B.C., Rajaram S., Gómez Macpherson (2002): Bread wheat: improvement and production. eds: Curtis, B.C., Rajaram S., Gómez Macpherson. Publisher: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Davidson J.F., Schiestl R.H. (2001): Mitochondrial respiratory electron carriers are involved in oxidative stress during heat stress in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Cell Biol.*, 21: 8483–8489.

- Dolferus R., Ji X., Richards R.A. (2011): Abiotic stress and control of grain number in cereals, *Plant Science*, 181: 331-341.
- Dhyani K., Ansari M.W., Rao Y.R., Verma R.S., Shukla A., Tuteja N. (2013): Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. *Plant Signaling & Behavior*, 8: 6 e24564.
- Dubat A., CHAPTER 12 - Whole-Kernel Mixolab Testing for Different Cereals, Editor(s): Arnaud Dubat, Cristina M. Rosell, Eimear Gallagher, In *American Associate of Cereal Chemists International, Mixolab*, AACC International Press, 2013, Pages 85-88.
- Dey S., Sarkar R., Ghosh P., Khatun R., Ghorai K., Choudhari R., Ahmad R., Gupta P., Mukopadhyaya S., Mucopadhyaya A. (2006): Effect of Wheat grass Juice in supportive care of terminally ill cancer patients - A tertiary cancer centre Experience from India. *Journal of Clinical Oncology*, 18: 8634.
- Delcour J.A., Joye I.J., Pareyt B., Wilderjans E., Brijs K., Lagrain B. (2012): Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products. *Annual Review of Food Science and Technology*, 3: 469–92.
- Djanaguiraman M., Sheeba J.A., Devi D.D., Bangarusamy U. (2009): Cotton leaf senescence can be delayed by nitrophenolate spray through enhanced antioxidant defense system. *J. Agron. Crop Sci.*, 195: 213–224.
- Đukić N. (2013): Eksperimentalna biohemija, praktikum. Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac.
- Đukić N. (2020): Uvod u enzimologiju. Univerzitet u Kragujevcu, Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac.
- Djukić, N., Knežević, D., Pantelić, D., Živančević, D., Torbica, A., Marković, S. (2019): Expression of protein synthesis elongation factors in winter wheat and oat in response to heat stress. *Journal of Plant Physiology*, 240: 153015.
- Fábián A., Sáfrán E., Szabó-Eitel G., Barnabás B., Jäger K. (2019): Stigma Functionality and Fertility Are Reduced by Heat and Drought Co-stress in Wheat. *Front. Plant Sci.* 10: 244.
- Farooq J., Khaliq I., Ali M.A., Kashif M., Ali Q., Rehman A., Naveed M., Nazeer W., Farooq A. (2011): Inheritance pattern of yield attributes in spring wheat at grain filling stage under different temperature regimes. *Australian Journal of Crop Science* 5: 1745-1753.
- Ferris R., Ellis R.H., Wheeler T.R., Hadley P. (1998): „Effect of High Temperature Stress at Anthesis on Grain Yield and Biomass of Field-grown Crops of Wheat“. *Annals of Botany*, 82: 631–639.
- Feldman M.S.J., Simmonds N.W. (1995): *Wheats, Evolution of crop plants*. Longman Scientific and Technical, Harlow, Velika Britanija.
- Feng B., Liu P., Li G., Dong S. T., Wang F. H., Kong L. A., Zhang J. W. (2014): Effect of Heat Stress on the Photosynthetic Characteristics in Flag Leaves at the Grain-Filling Stage of Different Heat-Resistant Winter Wheat Varieties. *J. Agro. Crop. Sci.*, 200: 143–155.

- Finch H.J.S., Samuel A.M., Lane G.P.F. (2002): 12 - Cereals, Editor(s): H.J.S. Finch, A.M. Samuel, G.P.F. Lane, In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Lockhart and Wiseman's Crop Husbandry Including Grassland (Eighth Edition), Woodhead Publishing, Pages 259-302.
- Fitter A.H., Hay R.K.M. (2002): Environmental Physiology of Plants. 3rd ed. Academic Press; London, UK.
- Florence H.M.T. (1999): Loss of chlorophyll with limited reduction of photosynthesis as an adaptive response of Syrian barley landraces to high-light and heat stress. *Functional Plant Biology*, 26: 569-578.
- Fu J., Momcilovic I., Prasad P.V.V. (2012): Roles of Protein Synthesis Elongation Factor EF-Tu in Heat Tolerance in Plants. *Journal of Botany*, Article ID 835836, 8 pages.
- Furman B.J. (2004): Triticale, Editor(s): Colin Wrigley, *Encyclopedia of Grain Science*, Elsevier, Pages 298-303.
- Furman B.J. (2016): Triticale, Reference Module in Food Science, Elsevier.
- Giaveno C., Ferrero J. (2003): Introduction of tropical maize genotypes to increase silage production in the central area of Santa Fe, Argentina. *Crop Breed. Appl. Biotechnol.* 3: 89-94.
- Gill S.S., Tuteja N. (2010): Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48: 909-930.
- Griffin J.J., Ranney, T.G., Phar D.M. (2004): Heat and drought influence photosynthesis and water relations, and soluble carbohydrates of two ecotypes of redbud (*Cercis canadensis*). *Journal of American Society for Horticultural Science* 129: 497-502.
- Grotewold, E. (2006). "The Genetics and Biochemistry of Floral Pigments". *Annual Review of Plant Biology*. 57: 761–780.
- Gross S.R., Kinzy T.G. (2005): Translation elongation factor 1A is essential for regulation of the actin cytoskeleton and cell morphology. *Nature Structural and Molecular Biology*, 12: 772–778.
- Goodridge H.S., Wolf A.J., Underhill D.M. (2009): Beta-glucan recognition by the innate immune system. *Immunol Rev.* 230: 38-50.
- Gonen H., Smith C.E., Siegel N.R. et al. (1994): Protein synthesis elongation factor EF-1 α is essential for ubiquitin- dependent degradation of certain N(α)-acetylated proteins and may be substituted for by the bacterial elongation factor EF-Tu. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 7648–7652.
- Gooding M.J., Ellis R.H., Shewry P.R., Schofield J.D. (2003): Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science*, 37: 295–309.
- Guidi L., Degl'Innocenti E. (2011): Imaging of Chlorophyll a Fluorescence: A Tool to Study Abiotic Stress in Plants; *Abiotic Stress in Plants, Mechanisms and Adaptations*, Editor: Shanker A. and Venkateswarlu B., Published by InTech, Rijeka, Croatia. pp 3-20.
- Gull A., Lone A.A., Wani N.I. (2019): Biotic and Abiotic Stresses in Plants, Alexandre Bosco de Oliveira, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85832.

- Gupta S.C., Sharma A., Mishra M., Mishra R., Chowdhuri D.K. (2010): Heat shock proteins in toxicology: how close and how far?. *Life Sci.*, 86:377–384.
- Guy C. (1999): The influence of temperature extremes on gene expression, genomic structure, and the evolution of induced tolerance in plants. In *Plant Responses to Environmental Stresses* (ed. Lerner H.R.), Marcel Dekker, New York, NY, USA. pp. 497–548.
- Hall A.E. (2001): *Crop Responses to Environment*. CRC Press, LLC, Boca Raton, FL.
- Haldimann P., Feller U. (2004): Inhibition of photosynthesis by high temperature in oak (*Quercus pubescens* L.) leaves grown under natural conditions closely correlates with a reversible heat-dependent reduction of the activation state of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant, Cell & Environment*, 27: 1169-1183.
- Hammer K., Filatenko A.A., Pistrick K. (2011): Taxonomic remarks on *Triticum* L. and \times *Triticosecale* Wittm., *Genet Resour Crop Evol.*
- Hameed A., Goher M., Iqbal N. (2012): Heat stress—induced cell death, changes in antioxidants, lipid peroxidation and protease activity in wheat leaves. *J Plant Growth Regln*, 31: 283–291
- Hare P.D., Cress W.A. (1997): Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regulation*, 21: 79–102.
- Hansen J., Moller I. (1975): Percolation of Starch and Soluble Carbohydrates from Plant Tissue for Quantitative Determination with Anthrone. *Analytical biochemistry* 68: 87-94.
- Havilah E.J. (2002): Forages and pastures, *Annual Forage and Pasture Crops – Species and Varieties*, Editor(s): Hubert Roginski, *Encyclopedia of Dairy Sciences*, Elsevier, Pages 1131-1142.
- Haque M.S., Kjaer K.H., Rosenqvist E., Sharma D.K., Ottosen C.O. (2014): Heat stress and recovery of photosystem II efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars acclimated to different growth temperatures. *Environmental and Experimental Botany*, 99: 1-8.
- Hasan M.A., Ahmed J.U., Bahadur M., Haque M.M., Sikder S. (2007): Effect of late planting heat stress on membrane thermostability, proline content and heat susceptibility index of different wheat cultivars. *J. NatnScLFoundation Sri Lanka* 35 (2). Department of Crop Botany, Hajee Mohammad Danesh Science and Technology University, Dinajpur, Bangladesh; pp. 109-117.
- Hasanuzzaman M., Nahar K., Mahabub-Alam M., Roychowdhury R., Fujita M. (2013): Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14: 9643-9684.
- Heath R.L., Packer L. (1968): Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives in Biochemistry and Biophysics*, 125: 189-198.
- Hede A.R. (2001): A New Approach to Triticale Improvement. *Research Highlights of the CIMMYT Wheat Program 1999–2000*. Mexico, Mexico City. Corporate Communications International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). pp. 21–26.

- Hemantaranjan A., Nishant-Bhanu A., Singh M.N., Yadav D.K., Patel P.K. (2014): Heat stress responses and thermotolerance. *Adv. Plant Agric. Res.*, 1: 1-10.
- Hayyan M., Hashim M.A., Al Nashef I.M. (2016): Superoxide Ion: Generation and Chemical Implications. *Chem. Rev.*, 116: 3029–3085.
- Holm G. (1954): Chlorophyll mutations in barley. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 4: 457-471.
- Hömmö L. i Pulli S. (1993): Winterhardiness of some winter wheat (*Triticum aestivum*), rye (*Secale cereale*), triticale (*Triticosecale*) and winter barley (*Hordeum vulgare*) cultivars tested at six locations in Finland. *Agric. Sci. Finl.*, 2: 311-327.
- Hotokezaka Y., Többen U., Hotokezaka H., van Leyen K., Beatrix B., Smith D.H., Nakamura T., Wiedmann M. (2002): Interaction of the eukaryotic elongation factor 1A with newly synthesized polypeptides. *Journal of Biological Chemistry*, 277: 18545–18551.
- Howarth C.J., Skot K.P. (1994): Detailed characterization of heat shock protein synthesis and induced thermotolerance in seedlings of *Sorghum bicolor*. *L. J. Exp. Bot.*, 45: 1353-1363.
- Hu S., Ding Y., Zhu C. (2020): Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants. *Front. Plant Sci.*, 11: 375.
- Huseynova I.M., Aliyeva D.R., Aliyev J.A. (2014): Subcellular localization and responses of superoxide dismutase isoforms in local wheat varieties subjected to continuous soil drought. *Plant Physiol Biochem*, 81: 54-60.
- Huang H.Y., Appel L.J., Croft K.D., Miller E.R., Mori T.A., Puddey I.B. (2002): Effects of vitamin C and vitamin E on in vivo lipid peroxidation: results of a randomized controlled trial. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76: 549–555.
- Ibrahim M.M., Alsahli A.A., Al-Ghamdi A.A. (2013): Cumulative abiotic stresses and their effect on the antioxidant defense system in two species of wheat, *Triticum durum* desf and *Triticum aestivum* L. *Archives of Biological Sciences*, 65: 1423–1433.
- Ivanov S., Shopova E., Kerchev P., Sergiev I., Miteva L., Polizoev D., Alexieva V. (2013): Long-term impact of sublethal atrazine perturbs the redox homeostasis in pea (*Pisum sativum* L.) plants. *Protoplasma*, 250: 95-102.
- Iqbal M., Raja N.I., Yasmeen F., Hussain M., Ejaz M., et al. (2017): Impacts of Heat Stress on Wheat: A Critical Review. *Adv Crop Sci Tech.*, 5: 251.
- Jain M., Mathur G., Koul S., Sarin N. (2001): Ameliorative effects of proline on salt stress-induced lipid peroxidation in cell lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Cell Reports*, 20: 463–468.
- Jelić M. (2019): Ispitivanje 8-hidroksi-2-deoksiguanozina, produkata lipidne peroksidacije i aktivnosti antioksidativnih enzima kod prekanceroznih lezija i u karcinomu grlića materice. Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Novi Sad, Srbija.
- Jeon J.S., Ryoo N., Hahn T.R., Walia H., Nakamura Y. (2010): Starch biosynthesis in cereal endosperm. *Plant Physiol. Biochem.*, 48: 383–392.

- Kaluđerški G., Filipović N. (1998): Metode ispitivanja kvaliteta žita, brašna i gotovih proizvoda, Novi Sad, Zavod za tehnologiju žita i brašna.
- Karim M.A., Fracheboud Y., Stamp P. (2000): Effect of high temperature on seedling growth and photosynthesis of tropical maize genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 184: 217-223.
- Karuppanapandian T., Jun-Cheol M., Changsoo K., Kumariah M., Wook K. (2011): Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction and scavenging mechanisms. *Australian Journal of Crop Science* 5: 709-725.
- Kamble P.N., Giri S.P., Mane R.S., Tiwana A. (2015): Estimation of chlorophyll content in young and adult leaves of some selected plants. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, 5: 306–310.
- Kavi-Kishor P.B., Sangam S., Amrutha R.N., Sri Laxmi P., Naidu K.R., Rao K.R.S.S., Rao S., Reddy K.J., Theriappan P., Sreenivasulu N. (2005): Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. *Current Science* 88: 424-438.
- Khan M.H., Panda S.K. (2008): Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress, *Acta Physiol. Plant.* 30: 81e89.
- Khan M.I., Iqbal N., Masood A., Per T., Khan N.A. (2013): Salicyl acid alleviates adverse effect oh feat stress on photosynthesis through changes in proline production and ethylene formation. *Plant Signaling & Behavior*, 8: 11.
- Kukreja S., Nandval A.S., Kumar N., Sharma S.K., Unvi V., Sharma P.K. (2005): Plant water status, H₂O₂ scavenging enzymes, ethylene evolution and membrane integrity of *Cicer arietinum* roots as affected by salinity. *Biol. Plant.*, 49: 305e308.
- Kumar R., SairamVeerabhadra Rao K., Srivastava G.C. (2002): Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*, 163: 1037-1046.
- Kumar R.R., Goswami S., Sharma S.K., Singh K., Gadpayle K.A., Kuma N., Rai G.K., Singh M., Rai R.D. (2012): Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 4: 83-91.
- Kulkarni S.D., Tilak J.C., Acharya R., Rajurkar N.S., Devasagayam T.P.A., Reddy A.V.R. (2006): Evaluation of the Antioxidant Activity of Wheatgrass (*Triticum aestivum* L.) as a Function of Growth under Different Conditions. *Phytother. Res.*, 20: 218-227.
- Kirby E. (2002): Botany of the wheat plant. Urednici: Curtis B., Rajaram S., Macpherson H. Bread wheat, improvement and production. FAO, Rim, Italija.
- Krab I.M., Parmeggiani A. (2002): Mechanisms of eEF-Tu, a pioneer GTPase. *Progress in Nucleic Acids Research*, 71: 513-551.
- Kranner I., Minibayeva F.V., Beckett R.P., Seal C.E. (2010): What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. *New Phytol.* 188: 655–673.

- Kong W., Liu F., Zhang C. *et al.* (2016): Non-destructive determination of Malondialdehyde (MDA) distribution in oilseed rape leaves by laboratory scale NIR hyperspectral imaging. *Sci Rep* 6: 35393.
- Kong L., Wang F., Si J., Feng B., Zhang B., Li S., Wang Z. (2014): Increasing in ROS levels and callose deposition in peduncle vascular bundles of wheat (*Triticum aestivum* L.) grown under nitrogen deficiency. *J Plant Interact.*, 8: 109-116.
- Labudda M. (2013): Lipid peroxidation as a biochemical marker for oxidative stress during drought. An effective tool for plant breeding. E-wydawnictwo, Poland, <http://www.e-wydawnictwo.eu/Document/DocumentPreview/3342>.
- Larcher W. (1995): *Physiological Plant Ecology; Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany.
- LaRiviere J.F., Wolfson D.A., Uhlenbeck C.O. (2001): Uniform Binding of Aminoacyl-tRNAs to Elongation Factor Tu by Thermodynamic Compensation. *Science*, 294: 165-168.
- Larkindale J., Hall J.D., Knight M.R., Vierling E. (2005): Heat stress phenotypes of *Arabidopsis* mutants implicate multiple signaling pathways in the acquisition of thermotolerance. *Plant Physiology* 138: 882–897.
- Lafiandra D., Riccardi G., Shewry P.R. (2014): Improving cereal grain carbohydrates for diet and health. *Journal of cereal science*, 59: 312–326.
- Laemmli U.K. (1970): Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227: 680–685.
- Lee S., Neumann M., Stearman R., Stauber R., Pause A., Pavlakis G.N., Klausner R.D., (1999): Transcription-dependent nuclear-cytoplasmic trafficking is required for the function of the von Hippel-Lindau tumor suppressor protein. *Molecular and Cellular Biology*, 19: 1486–97.
- Lichtenthaler H.K. (1996): Vegetation stress: an introduction to the stress concept in plants. *J Plant Physiol* 148: 4–14.
- Livaka K.J., Schmittgen T.D. (2001): Analysis of Relative Gene Expression Data Using Real-Time Quantitative PCR and the 2- $\Delta\Delta$ CT Method. *Methods*, 25: 402-408.
- Lipiec J., Doussan C., Nosalewicz A., Kondracka K. (2013): Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *Int. Agrophys.*, 27: 463-477.
- Liu X., Huang B. (2000): Heat Stress Injury in Relation to Membrane Lipid Peroxidation in Creeping Bentgrass. *Crop Science*, 40: 2.
- Liu X., Hua X., Guo J., Qi D., Wang L., Liu Z., Jin Z., Chen S., Liu G. (2008): Enhanced tolerance to drought stress in transgenic tobacco plants overexpressing VTE1 for increased tocopherol production from *Arabidopsis thaliana*. *Biotec. Lett.*, 30: 1275e1280.
- Liu H.C., Liao H.Y., Charng Y.Y. (2011): The role of class A1 heat shock factors (HSFA1s) in response to heat and other stresses in *Arabidopsis*. *Plant Cell Environ.*, 34: 738–751.
- Lopez-Valenzuela A.J., Gibbon B.C., Hughes P.A., Dreher T.W., Larkinse B.A. (2003): EF1A Isoforms Change in Abundance and Actin-Binding Activity during Maize Endosperm

- Development. *Plant Physiology*, 133: 1285-1295.
- MacFadden E.S., Sears E.R. (1946): The origin of *Triticum spelta* and its free-threshing hexaploidy relatives. *J. Hered.* 37: 81-89 i 4: 107-116.
- Macvanin M., Johanson U., Ehrenberg M., Hughes D. (2000): Fusidic acid-resistant EF-G perturbs the accumulation of ppGpp. *Molecular Microbiology*, 37: 98-107.
- Maestri E., Klueva N., Perrotta C., Gulli M., Nguyen T., Marmioli N. (2002): Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. *Journal of Plant Molecular Biology* 48: 667–681.
- Mahla R., Madam S., Munjal R., Behl R.K. (2012): Heat-induced oxidative stress and changes in protein profile in wheat cultivars. *Quality assurance and safety of crops and foods* 4: 137.
- Malenčić Dj., Vasić D., Popović M., Dević D. (2004): Antioxidant systems in sunflower as affected by oxalic acid. *Biologia Plantarum*, 48: 243–247.
- Malik M.K., Slovin J.P., Hwang C.H., Zimmerman J.L. (1999): Modified expression of a carrot small heat shock protein gene, Hsp17.7, results in increased or decreased thermotolerance. *Plant J.*, 20: 89-99.
- Manley M., Engelbrecht M.L., Williams P.C., Kidd M. (2009): Assessment of variance in the measurement of hectolitre mass of wheat, using equipment from different grain producing and exporting countries. *Biosystems Engineering*, 103: 176-186.
- Marnett L.J. (1999): Lipid peroxidation—DNA damage by malondialdehyde. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 424: 83-95.
- Martinez C.A., Maestria M., Lani E.G. (1996): In vitro salt tolerance and proline accumulation in Andean potato (*Solanum spp.*) differing in frost resistance. *Plant Science*, 116: 177-184.
- Marković S., Živančev D., Horvat D., Torbica A., Jovankić J., Djukić N. (2021): Correlation of elongation factor 1A accumulation with photosynthetic pigment content and yield in winter wheat varieties under heat stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166: 572-581.
- Marković S., Đukić N., Knežević D., Leković S. (2017): Divergence of barley and oat varieties according to their content of β -glucan. *J. Serb. Chem. Soc.* 82: 379–388.
- Marković S., Petrović M., Djukić N. (2020): Variability of malondialdehyde content and yield elements in *Triticum aestivum* L. under heat stress conditions. *Kragujevac Journal of Science* 42: 45-54.
- Marcum K.B. (1998): Cell membrane thermostability and whole-plant heat tolerance of Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 38: 1214-1218.
- Marlett J.A. (1993): Comparisons of dietary fiber and selected nutrient compositions of oat and other grain fractions. In: Wood P.J. (ed) *Oat bran*. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, pp 49–82.
- Mathé C., Barre A., Jourda C., Dunand C. (2010): Evolution and expression of class III peroxidases. *Arch Biochem Biophys*, 500: 58–65.
- Mathur S., Agrawal D., Jajoo A. (2014): Photosynthesis: response to high temperature stress. *J.*

- Photochem. Photobiol. B Biol., 137: 116–126.
- Mishra R.K., Singhal G.S. (1992): Function of Photosynthetic Apparatus of Intact Wheat Leaves under High Light and Heat Stress and Its Relationship with Peroxidation of Thylakoid Lipids. *Plant Physiology*, 98: 1-6.
- Mishra S., Jha A.B., Dubey R.S. (2011): Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings. *Protoplasma*, 248:565-77.
- Mishra A.K., Rai R., Agrawal S.B. (2013): Individual and interactive effects of elevated carbon dioxide and ozone on tropical wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with special emphasis on ROS generation and activation of antioxidant defence system. *Indian J Biochem Biophys.*, 50: 139-49.
- Mittler R. (2002): Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci.*, 7: 405–410.
- Momčilović I., Ristić Z. (2007): Expression of chloroplast protein synthesis elongation factor, EF-Tu, in two lines of maize with contrasting tolerance to heat stress during early stages of plant development. *Journal of plant physiology* 164:90–99.
- Momčilović I., Pantelić D., Zdravković-Korać S., Oljača J., Rudić J., Fu J. (2016): Heat-induced accumulation of protein synthesis elongation factor 1A implies an important role in heat tolerance in potato. *Planta*, 244: 671-679.
- Mohammed A.R., Tarpley L. (2010): Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Eur. J. Agron.*, 33: 117–123.
- Morrow G., Tanguay R.M. (2012): Small heat shock protein expression and functions during development. *Int J Biochem Cell Biol.*, 44: 1613–1621.
- Mosa K.A., Ismail A., Helmy M. (2017): Introduction to Plant Stresses. In: *Plant Stress Tolerance*. Springer Briefs in Systems Biology. Springer, Cham.
- Mustafa H.S.B., Batool N., Ali Q., Farooq J., Ilyas N., Mahmood T., Ali G.M., Shehzad A. (2013): Comprehensive overview for developing drought tolerant transgenic wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of agrobiolgy*, 30: 55–69.
- Murthy M.R., Reid T.J., Sicignano A., Tanaka N., Rossmann M.G. (1981): Structure of beef liver catalase. *Journal of Molecular Biology*, 152: 465-499.
- Nakano Y., Asada K. (1981): Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant Cell Physiology*, 22: 867-880.
- Nalam V.J., Vales M.I., Watson C.J.W., Kianian S.F., Riera-Lizarazu O. (2006): Map-based analysis of genes affecting the brittle rachis character in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 112: 373-381
- Nayyar H., Gupta D. (2006): Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 58: 106–113.
- Nelson G.C., Rosegrant M.W., Palazzo A., Gray I., Ingersoll C., Robertson R., Tokgoz S., Zhu T., Sulser T.B., Ringler C., Msangi S., You L. (2010): Food Security, Farming, and

- Climate Change to 2050: Scenarios, Results, Policy Options, IFPRI Research Monograph, International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Negre-Salvayre A., Coatrieux C., Ingueneau C., Salvayre R., (2008): Advanced lipid peroxidation end products in oxidative damage to proteins. Potential role in diseases and therapeutic prospects for the inhibitors. *British Journal of Pharmacology*, 153: 6-20.
- Nguyen H.T., Joshi C.P., Kluev N., Weng J., Hendershot K.L., Blum A. (1994): The heat-shock response and expression of heat-shock proteins in wheat under diurnal heat stress and field conditions. *Aust. J. Plant Physiol.*, 21: 857–867.
- Noctor G., Foyer C.H. (1998): A re-evaluation of the ATP: NADPH budget during C3 photosynthesis. A contribution from nitrate assimilation and its associated respiratory activity?. *J. Exp. Bot.*, 49: 1895e1908.
- Olien C.R., Smith M.N. (1977): Ice adhesions in relation to freeze stress. *Plant Physiol* 60: 499–503.
- Othman R.A., Moghadasian M.H., Jones P.J. (2011): Cholesterol-lowering effects of oat β -glucan. *Nutrition Reviews*, 69: 299-309.
- Ozden M., Demirel U., Kahraman A. (2009): Effects of proline on antioxidant system in leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.) exposed to oxidative stress by H₂O₂. *Scientia Horticulturae*, 119: 163-168.
- Parmeggiani A., Nissen P. (2006): Elongation factor Tu-targeted antibiotics: Four different structures, two mechanisms of action. *FEBS Letters*, 580: 4576–4581.
- Pan Y., Wu L.J., Yu Z.L. (2006): Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis*). *Plant Growth Regul.* 49: 157e165.
- Peterson J.D., Umayam L.A., Dickinson T., et al (2001): The comprehensive microbial resource. *Nucleic Acids Res* 29: 123–125.
- Peterson R.K.D., Higley L.G. (2000): *Biotic Stress and Yield Loss*, 1st edn. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Pearce R.S. (1999): Molecular analysis of acclimation to cold. *Plant Growth Regul*, 29: 47–76.
- Pinto D., Cádiz-Gurrea M.L., Silva A.M., Delerue-Matos C., Rodrigues F., Chapter 25 - Cosmetics—food waste recovery, Editor(s): Charis M. Galanakis, *Food Waste Recovery (Second Edition)*, Academic Press, 2021, Pages 503-528.
- Prasad P.V.V., Staggenborg S.A. (2008): Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. In: Ahuja L.H., Saseendran S.A. (eds), *Response of crops to limited water: Understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. Advances in Agricultural Systems Modeling Series 1*. ASA-CSSA, Madison, Wisconsin; pp 301-355.
- Prasad P.V.V., Pisipati S.R., Momčilovic I., Ristic Z. (2011): Independent and Combined Effects of High Temperature and Drought Stress During Grain Filling on Plant Yield

- and Chloroplast EF-Tu Expression in Spring Wheat. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 197: 430–441.
- Phaniendra A., Jestadi D.B., Periyasamy L. (2015): Free radicals: properties, sources, targets, and their implication in various diseases. *Indian J. Clin. Biochem.*, 30: 11-26.
- Polidoros N.A., Scandalios J.G., (1999): Role of hydrogen peroxide and different classes of antioxidants in the regulation of catalase and glutathione S-transferase gene expression in maize (*Zea mays* L.), *Physiol. Plant.* 106: 112e120.
- Porter J.R., Gawith M. (1999): Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10: 23–36.
- Poudel H., Bhattarai B., Khanal B., Pandey D., Poudel K., Dhungana M., Pandey R., Dhungana S. (2021): Effect of Heat Stress in Wheat: A Review. *Agriculture and Environment*, 2: 63-69.
- Rađen Slavica (2012): “Ishrana – uloga u unapređenju zdravlja i prevenciji bolesti”. Medija centar “Odbrana” Beograd, p. 103-113.
- Ramanathan V., Carmichael G. (2008): Global and regional climate changes due to black carbon. *Nature Geosci.*, 1: 221–227.
- Rasheed R., Wahid A., Farooq M., Hussain I., Basra S.M.A. (2011): Role of proline and glycine betaine pretreatments in improving heat tolerance of sprouting sugarcane (*Saccharum* sp.) buds. *Plant Growth Regul.*, 65: 35–45.
- Rao D., Momcilovic I., Kobayashi S., Callegari E., Ristic Z. (2004): Chaperone activity of recombinant maize chloroplast protein synthesis elongation factor, EF-Tu. *European Journal of Biochemistry*, 271: 3684–3692.
- Rao A., Ahmad S., Sabir S., Awan S., Shah A., Abbas S., Shafique S., Khan F., Chaudhary A. (2013): Potential Antioxidant Activities Improve Salt Tolerance in Ten Varieties of Wheat (*Triticum aestivum* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 4: 69-76.
- Razinger J., Dermastia M., Koce J.D., Zrimec A. (2008): Oxidative stress in duckweed (*Lemna minor* L.) caused by short-term cadmium exposure, *Environ. Poll.*, 153: 687e694.
- Rehman A. (2016): Photosynthesis under heat stress. Editor: Pessaraki M. In book: *Handbook of Photosynthesis* (pp.697-701), Third Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Rezaei E.E., Webber H., Gaiser T., Naab J., Ewert F. (2015): Heat stress in cereals: Mechanisms and modelling. *European Journal of Agronomy*, 64: 98-113.
- Rossi S., Burgess P., Jespersen D., Huang B. (2017): Heat-induced leaf senescence associated with chlorophyll metabolism in bentgrass lines differing in heat tolerance. *Crop Sci.*, 57: S–169.
- Rodnina M.V., Savelsbergh A., Katunin V.I., Wintermeyer W. (1997): Hydrolysis of GTP by elongation factor G drives tRNA movement on the ribosome. *Nature*, 385: 37-41.
- Rodríguez M., Canales E., Borrás-Hidalgo O. (2005): Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotechnol. Appl.*, 22: 1–10.
- Roy S.J., Tucker E.J., Tester M. (2011): „Genetic analysis of abiotic stress tolerance in crops“. *Curr Opin Plant Biol* 14: 232-239.

- Richardson A.D., Duigan, G., Berlyn P. (2002): An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. *New Phytologist*, 153: 185-194.
- Ristic Z., Bukovnik U., Momčilović I., Fu J., Prasad P.V.V. (2008): Heat-induced accumulation of chloroplast protein synthesis elongation factor, EF-Tu, in winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, 165: 192-202.
- Ristic Z., Momčilović I., Bukovnik U., Prasad P.V.V., Fu J., DeRidder B.P., Elthon T.E., Mladenov N. (2009): Rubisco activase and wheat productivity under heat-stress conditions. *Journal of Experimental Botany*, 60: 4003–4014.
- Sah S.K., Reddy K.R., Li J. (2016): Abscisic Acid and Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. *Frontiers in Plant Science* 7:571.
- Sasikumar A.N., Perez W.B., Kinzy T.G. (2012): The many roles of the eukaryotic elongation factor 1 complex. *WIREs RNA*, 3: 543–555.
- Sanchez-Rodriguez E., Rubio-Wilhelmi M.M., Cervilla L.M., Blasco B., Rios J.J., Rosales M.A., Romero L., Ruiz J.M. (2010): Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. *Plant Sci.*, 178: 30e40.
- Saradhi P.P., Alia Arora S., Prasad K.V.S.K. (1995): Proline Accumulates in Plants Exposed to uv Radiation and Protects Them against uv-Induced Peroxidation. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 209: 1-5.
- Savicka M., Škute N. (2010): Effects of high temperature on malondialdehyde content, superoxide production and growth changes in wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) *Ekologija*, 56: 26–33.
- Sáez G.T., Están-Capell N. (2014): Antioxidant Enzymes. In: Schwab M. (eds) *Encyclopedia of Cancer*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Sattar A., Sher A., Ijaz M., Ul-Allah S., Rizwan M.S., Hussain M., et al. (2020): Terminal drought and heat stress alter physiological and biochemical attributes in flag leaf of bread wheat. *Plos One* 15: e0232974.
- Sazzad K. (2007): Exploring plant tolerance to biotic and abiotic stresses. Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Sharma P., Dubey R.S. (2005): Modulation of nitrate reductase activity in rice seedlings under aluminium toxicity and water stress: role of osmolytes as enzyme protectant. *Journal of Plant Physiology*, 162: 854-864.
- Sharma D.K., Andersen S.B., Ottosen C.O., Rosenqvist E. (2012): Phenotyping of wheat cultivars for heat tolerance using chlorophyll a fluorescence. *Functional Plant Biology* 39, 936-947.
- Sharma N.K., Singh R.J., Kumar K. (2012): Dry matter accumulation and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) under poplar (*Populus deltoides*) Based Agroforestry System. *International Scholarly Research Notices*, 359–673.
- Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessaraki M. (2012): Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. *Journal of Botany*, 1–26.

- Sharma D.K., Andersen S.B., Ottosen C.-O., Rosenqvist E. (2015): Wheat cultivars selected for high Fv/Fm under heat stress maintain high photosynthesis, total chlorophyll, stomatal conductance, transpiration and dry matter. *Physiol Plantarum*, 153: 284-298.
- Sharma S., Rana S.V., Nada R., Malhotra S., Rana S., Bhasin D.K., Rana S.V. (2017): Wheatgrass (*Triticum Aestivum*): An Effective Antioxidant in L-Arginine Induced Chronic Pancreatitis Model of Rat: A Dose Dependent Study. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, 3: 1.
- Shao H.B., Chu L.Y., Jaleel C.A., et al (2009): Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants—biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. *Crit Rev Biotechnol* 29: 131–151.
- Sharma-Natu P., Sumesh K.V., Ghildiyal M.C. (2010): Heat shock protein in developing grains in relation to thermotolerance for grain growth in wheat. *J. Agron. Crop Sci.*, 196: 76–80.
- Sharma D., Rachhoya H.K., Sharma M., Agarwal R. (2018): Effect of Rising Temperature Stress on Growth and Physiology of Domestic Crops of Rajasthan, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 7: 1426-1440.
- Shamovsky I., Ivannikov M., Kandel E.S., Gershon D., Nudler E. (2006): RNA-mediated response to heat shock in mammalian cells. *Nature*, 440: 556–560.
- Shanshan H., Yanfei D., Cheng Z. (2020): Sensitivity and Responses of Chloroplasts to Heat Stress in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 11: 375.
- Shewry P.R. (2009): Wheat. *Journal of Experimental Botany*, 60: 1537–1553.
- Shi Q., Bao Z., Zhu Z. Ying Q., Qian Q. (2006): Effects of Different Treatments of Salicylic Acid on Heat Tolerance, Chlorophyll Fluorescence, and Antioxidant Enzyme Activity in Seedlings of *Cucumis sativa* L.. *Plant Growth Regul*, 48: 127–135.
- Shin D., Moon S.J., Park S.R., Kim B.G., Byun M.O. (2009): Elongation factor 1a from *A. thaliana* functions as molecular chaperone and confers resistance to salt stress in yeast and plants. *Plant Sci.*, 177: 156–160.
- Siegel B.Z., Galston W. (1967): The peroxidase of *Pisum sativum*. *Plant Physiology*, 42: 221–226.
- Sindahu P., Saharma A., Priya P. (2015): Total chlorophyll and total protein content in wheat (*Triticum aestivum*) grown under arsenic stress. *International Journal of Recent Scientific Research*, 6: 5072-5075.
- Simon-sarkadi L., Kocsy G., Várhegyi Á., Galiba G., De ronde J.A. (2006): Stress-induced changes in the free amino acid composition in transgenic soybean plants having increased proline content. *Biologia plantarum* 50: 793-796.
- Simova-Stoilova L., Vaseva I., Grigorova B., Demirevska K., Feller U. (2010): Proteolytic activity and cysteine protease expression in wheat leaves under severe soil drought and recovery, *Plant Physiol. Biochem.*, 48: 200e206.

- Singh S., Gupta A.K., Kaur N. (2011): Differential Responses of Antioxidative Defence System to Long-Term Field Drought in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Genotypes Differing in Drought Tolerance. *J. Agronomy & Crop Science*, 198: 185–195.
- Singh N., Verma P., Pandey B.R. (2012): Therapeutic Potential of Organic *Triticum aestivum* L. (Wheat Grass) in Prevention and Treatment of Chronic Diseases: An Overview. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 4: 10-14.
- Singh R., De S., Belkheir A. (2013): *Avena sativa* (Oat), A Potential Nutraceutical and Therapeutic Agent: An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 2, 126-144.
- Singh S.P., Sharma V. (2017): In silico studies of conformation changes in wheat heat shock proteins. *MOJ Proteomics Bioinform.*, 5: 00149.
- Singha V., Prince J., Selvendirana K., Mumtaz B.S., Padmavathia R., Sakthisekarana D. (2004): Protective role of Apigenin on the status of lipid peroxidation and anti-oxidant defence against hepatocarcinogenesis in Wis-tar albino rats. *Phytomedicine*, 11: 309-314.
- Slavin J.L., Martini M.C., Jacobs Jr D.R., Marquart L. (1999): Plausible mechanisms for the protectiveness of whole grains. *American Journal of Clinical Nutrition* 70: 459-463.
- Small E. (1999): New crops for Canadian agriculture. In: Janick J. (ed) *Perspectives on new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, pp 15–52.
- Smirnoff N. (1995): Antioxidant systems and plant response to the environment. In: *Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation*. Bios Scientific Publishers, Oxford, UK, 217–243.
- Snape, J., Pánková, K. (2006): *Triticum aestivum* (wheat). In: Marquart L., Jacobs D.R., McIntosh G.H., Poutanen K., Reicks M. (eds.). *Encyclopedia of life sciences*. John Wiley & Sons Ltd.
- Song H., Wang Y.S., Sun C.C., Wang Y.T., Peng Y.L., Cheng H. (2012): Effects of pyrene on antioxidant systems and lipid peroxidation level in mangrove plants, *Bruguiera gymnorhiza*. *Ecotoxicology*, 21: 1625-32.
- Srichaikul B., Bunsang R., Samappito S., Butkhup S., and Bakker G., (2011): Comparative study of chlorophyll content in leaves of Thai *Morus alba* Linn. *Species. Plant Science Research*, 3: 17-20.
- Srivastava S., Pathak A.D., Gupta P.S., Shrivastava A.K., Srivastava A.K. (2012): Hydrogen peroxide-scavenging enzymes impart tolerance to high temperature induced oxidative stress in sugarcane. *J Environ Biol.*, 33: 657-61.
- Spundová M., Slouková K., Hunková M., Nauš J. (2005): Plant shading increases lipid peroxidation and intensifies senescence-induced changes in photosynthesis and activities of ascorbate peroxidase and glutathione reductase in wheat. *Photosynthetica*, 43:403-409.
- Stace, C.A. (1987): Triticale: a case of nomenclatural mistreatment. *Taxon*, 36: 445-452.

- Stewart I., Cayan D., Dettinger M. (2004): Changes in snowmelt runoff timing in western North America under a business as usual' climate change scenario. *Climatic Change*, 62: 217-232.
- Stone P.J., Nicolas M.E. (1994): Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. *Aust. J. Plant. Physiol.*, 21: 887-900.
- Stone B., Morell M.K. (2009): Carbohydrates. In: Khan K., Shewry P.R., editors. *Wheat: Chemistry and Technology*. fourth ed. American Association of Cereal Chemists; St Paul, MN: pp. 299–362.
- Sumesh K.V., Sharma-Natu P., Ghildiyal M.C. (2008): Starch synthase activity and heat shock protein in relation to thermal tolerance of developing wheat grains. *Biol Plant.*, 52: 749–753.
- Sun W., Montagu M.V. (2002): Small heat shock proteins and stress tolerance in plants. *Biochem. Biophys. Acta*, 1577: 1-9.
- Sung D.Y., Kaplan F., Lee K.J., Guy C.L. (2003): Acquired tolerance to temperature extremes. *Trends Plant Sci.* 8:179-87.
- Sunita S., Kirpa R., Pooja R., Renu M. (2018): Effect of Terminal High Temperature on Chlorophyll Content and Normalized Difference Vegetation Index in Recombinant Inbred Lines of Bread Wheat. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7: 1174-1183.
- Suzuki N., Mittler R. (2006): Reactive oxygen species and temperature stresses: A delicate balance between signaling and destruction. *Physiologia Plantarum*, 126: 45-51.
- Szabados L., Saviouré A. (2010): Proline: a multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15: 89-97.
- Swindell W.R., Huebner M., Weber A.P. (2007): Transcriptional profiling of Arabidopsis heat shock proteins and transcription factors reveals extensive overlap between heat and non-heat stress response pathways. *BMC Genomics*, 8:125.
- Tadesse W., Amri A., Ogbonnaya F.C., Sanchez-Garcia M., Sohail Q., Baum M. (2016): Wheat. In book: *Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement*, eds: Mohar Singh and Hari D. Upadhyaya. pp: 81-124 Elsevier Inc.
- Tatić B., Blečić V. (1984): *Sistematika i filogenija viših biljaka*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, Srbija.
- Tan W., Meng Q.W., Brestic M., Olsovska K., Yang X. (2011): Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. *J. Plant Physiol.*, 168: 2063–2071.
- Taulavuori E., Hellström E.K., Taulavuori K., Laine K. (2002): Comparison of two methods used to analyse lipid peroxidation from *Vaccinium myrtillus* (L.) during snow removal, reacclimation and cold acclimation. *Journal of Experimental Botany* 52: 2375-80.
- Thammana M., Sreerangam S., Nambaaru S. (2016): A mini review on wheatgrass. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 68: 423–432.

- Thompson L.U. (2009): Antioxidants and hormone-mediated health benefits of whole grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 34: 473-497.
- Thomashow M.F. (1999): Plant cold acclimation: Freezing Tolerance Genes and Regulatory Mechanisms. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol* 50: 571–599.
- Thomashow M.F. (1998): Role of cold-responsive genes in plant freezing tolerance. *Plant Physiol*, 118: 1–8.
- Tiefenbacher K.F. (2017): Chapter Two - Technology of Main Ingredients—Water and Flours, Editor(s): Karl F. Tiefenbacher, Wafer and Waffle, Academic Press, Pages 15-121.
- Tiwari S., Patel A., Singh M., Prasad S.M. (2020): Chapter 2 - Regulation of temperature stress in plants, Editor(s): Tripathi D.K., Singh V.P., Chauhan D.K., Sharma S., Prasad S.M., Dubey N.K., Ramawat N., *Plant Life Under Changing Environment*, Academic Press, Pages 25-45.
- Todorov D.T., Karanov E.N., Smith A.R., Hall M.A. (2003): Chlorophyllase activity and chlorophyll content in wild type and *eti 5* mutant of *Arabidopsis thaliana* subjected to low and high temperatures. *Biol. Plant.* 46, 633–636.
- Todorović J., Lazić B., Komljenović I. (2003): Ratarsko povrtarski priručnik. Urednik: Gazibarić Z., Izdavač: Grafomark, Laktaši, Bosna i Hercegovina. ISBN: 99938-36-20-6
- Turrens J.F. (2003): Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *The Journal of Physiology*, 552: 335–44
- Usman M.G., Rafii M.Y., Ismail M.R., Malek M.A., Latif M.A., Oladosu Y. (2014): Heat shock proteins: functions and response against heat stress in plants. *Int. J. Sci. Tech. Res.*, 3: 204-218.
- Vacca R.A., Pinto M.C.D., Valenti D., Passarella S., Maria E., Gara L.D. (2004): Production of reactive oxygen species, alteration of cytosolic ascorbate peroxidase, and impairment of mitochondrial metabolism are early events in heat shock induced programmed cell death in tobacco Bright Yellow 2 cells. *Plant Physiology* 134: 1100-1112.
- Varga B., Janda T., László E., Veisz O. (2012): Influence of abiotic stresses on the antioxidant enzyme activity of cereals. *Acta Physiol Plant*, 34: 849–858.
- Verma S., Nizam S., Verma P.K. (2013): Biotic and Abiotic Stress Signaling in Plants. In: Sarwat M., Ahmad A., Abdin M. (eds) *Stress Signaling in Plants: Genomics and Proteomics Perspective*, Volume 1. Springer, New York, NY.
- Vettermann C., Jäck H.M., Mielenz D. (2002): A colloidal silver staining-destaining method for precise assignment of immunoreactive spots in two-dimensional protein patterns. *Analytical Biochemistry*, 308: 381–387.
- Vera M., Pani B., Griffiths L.A., Muchardt C., Abbott C.M., Singer R.H., Nudler E. (2014): The translation elongation factor eEF1A1 couples transcription to translation during heat shock response. *eLife*, 3: e03164.
- Verbruggen N., Hermans C. (2008): Proline accumulation in plants: a review. *C. Amino Acids*, 35: 753–759.

- Vershinin A. (1999): Biological functions of carotenoids - diversity and evolution. *BioFactors*, 10: 99–104.
- Viswanathan C., Khanna-Chopra R. (2001): Effect of Heat Stress on Grain Growth, Starch Synthesis and Protein Synthesis in Grains of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Varieties Differing in Grain Weight Stability. *J. Agronomy & Crop Science*, 186: 1-7.
- Vollenweider P., Gunthardt-Goerg M.S. (2005): Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in foliage. *Environ. Pollut.* 137: 455-465.
- Zavialov A.V., Haurlyuk V.V., Ehrenberg M. (2005): Splitting of the posttermination ribosome into subunits by the concerted action of RRF and EF-G. *Molecular Cell*, 18: 675-686.
- Zhang J.H., Huang W.D., Liu W.P., Pan Q.H. (2005): Effects of temperature acclimation pretreatment on the ultrastructure of mesophyll cells in young grape plants (*Vitis vinifera* L. cv. Jingxiu) under crosstemperature stresses. *J. Integr. Plant Biol.*, 47: 959-970.
- Zhao H., Dai T.B., Jing Q., Jiang D., Cao W.X. (2007): Leaf senescence and grain filling affected by post-anthesis high temperatures in two different wheat cultivars. *Plant Growth Regul.*, 51: 149–158.
- Zhao C., Liu B., Piao S., Wang X., Lobell D.B., Huang Y., Huang M., Yao Y., Bassu S., Ciais F., Durand J.L., Elliott J., Ewert F., Janssens I.A., Lis L., Lint E., Liu Q., Martre P., Müller C., Peng S., Peñuelas J., Ruane A.C., Wallach D., Wang T., Wu D., Liu Z., Zhu Y., Zhu Z., Asseng S. (2017): Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *PNAS* 114 (35) 9326-9331.
- Zhou X., Jellen E.N., Murph J.P. (1999): Progenitor Germplasm of Domesticated Hexaploid Oat. *Crop Science*, 39: 1208-1214.
- Ziska L.H., Namuco O., Moya T., Quilang J. (1997): Growth and yield response of field-grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. *Agronomy Journal*, 89: 45–53.
- Živančev R.D., Nikolovski B.G., Torbica A.M., Mastilović J.S., Đukić N.H. (2013): LAB-ON-A-CHIP method uncertainties in determination of high – molecular - weight glutenin subunits. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 19: 553-561.
- Xiao-Ling X. (2001): Effect of Heat Stress on Photosynthetic Characteristics of Different Green Organs of Winter Wheat During Grain-filling Stage. *J Integr Plant Biol*, 43: 571-577.
- Xu S., Li J., Zhang X., Wei H., Cui L. (2006): Effects of heat acclimation pretreatment on changes of membrane lipid peroxidation, antioxidant metabolites, and ultrastructure of chloroplasts in two cool-season turfgrass species under heat stress. *Environ. Exp. Bot.* 56, 274–285.
- Xu Y., Zhan C., Huang B. (2011): Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. *Int. J. Proteomics*, 11: 529648.
- Wahid A., Gelani S., Ashraf M., Foolad M.R. (2007): Heat tolerance in plants: an overview. *Environ. Exp. Bot.*, 61: 199–223.

- Wardlaw I.F., Blumenthal C., Larroque O., Wrigley C.W. (2002): Contrasting effects of chronic heat stress and heat shock on kernel weight and flour quality in wheat. *Functional Plant Biology*, 29: 25–34.
- Wang J.Z., Wang Y., Li J.L. (2009): Growth, lipid peroxidation and photosynthesis in two tall fescue cultivars differing in heat tolerance. *Biologia Plantarum*, 53: 237-242.
- Wang Z.Y., Li F.M., Xiong Y.C., Xu B.C. (2008): Soil-water threshold range of chemical signals and drought tolerance was mediated by ROS homeostasis in winter wheat during progressive soil drying. *J Plant Growth Regul.*, 27: 309-319.
- Wang C., Wen D., Sun A., Han X., Zhang J., Wang Z., Yin Y. (2014): Changes in antioxidant enzyme activity and gene expression in response to high temperature stress in wheat seedlings. *J Cereal Sci.*, 60: 653-659.
- Wang Q.L., Chen J.H., He N.Y., Guo F.Q. (2018): Metabolic reprogramming in chloroplasts under heat stress in plants. *Int. J. Mol. Sci.*, 19: 849.
- Wang L.J., Mäkelä N., Maina N.H., Lampi A.M., Sontag-Strohm T. (2016): Lipid oxidation induced oxidative degradation of cereal beta-glucan. *Food Chemistry*, 197: 1324-1330.
- Wheeler T., von Braun J. (2013): Climate change impacts on global food security. *Science*, 341: 508–513.
- Wettstein D. (1957): Chlorophyll letale und der submikroskopische Formwechsel der Plastiden. *Experimental Cell Research*, 12: 427– 434.
- Weis E., Berry J.A. (1988): Plants and high temperature stress. In *Plants and Temperature* (eds S.P.Long & F.I.Woodward), pp. 329–346. Company of Biologists Ltd, Cambridge, UK.
- Wise R.R., Olson A.J., Schrader S.M., Sharkey T.D. (2004): Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. *Plant Cell Environ.*, 27: 717–724.
- Wong M.L., Medrano J.F. (2005): Real-time PCR for mRNA quantitation. *Biotechniques*, 39: 75-85.
- Wolever T.M.S., Tosh S.M., Gibbs A.L., Brand-Miller J., Duncan A.M., Hart V., Lamarche B., Thomson B.A., Duss R., Wood P.J. (2010): Physicochemical properties of oat β -glucan influence its ability to reduce serum LDL cholesterol in humans: a randomized clinical trial. *American Society for Nutrition*, 92: 723-732.
- Yang X., Chen X., Ge Q., Li B., Tong Y., Zhang A., Li Z., Kuang T., Lu C. (2006): Tolerance of photosynthesis to photoinhibition, high temperature and drought stress in flag leaves of wheat: A comparison between a hybridization line and its parents grown under field conditions. *Plant Sci.*, 171: 389-97.
- Yoshida K., Kaothien P., Matsui T., Kawaoka A., Shinmyo A. (2003): Molecular biology and application of plant peroxidase genes. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 60: 665-70.
- Young T.E., Ling J., Geisler-Lee C.J., Tanguay R.L., Caldwell C., Gallie D.R. (2001): Developmental and Thermal Regulation of the Maize Heat Shock Protein, HSP101. *Plant Physiology*, 127: 777–791.

- Young R.A., Elliott T.J. (2002): Stress proteins, infection and immune surveillance. *Cell*, 59: 5-8.
- Young John Andrew (1991): The photoprotective role of carotenoids in Higher plants. *Physiologia plantarum*, 83: 702-708.

8. PRILOZI

Prilog 1.

Plant Physiology and Biochemistry 166 (2021) 572–581



Contents lists available at ScienceDirect

Plant Physiology and Biochemistry

journal homepage: www.elsevier.com/locate/plaphy

Correlation of elongation factor 1A accumulation with photosynthetic pigment content and yield in winter wheat varieties under heat stress conditions

Stefan M. Marković^a, Dragan Živančev^b, Daniela Horvat^c, Aleksandra Torbica^d, Jovana Jovankić^b, Nevena H. Djukić^a

^a University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Radoja Domanovica 12, 34000, Kragujevac, Serbia

^b Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, 21000, Novi Sad, Serbia

^c Agricultural Institute Osijek, Agrochemical Laboratory, Južno Predgrađe 17, 31000, Osijek, Croatia

^d University of Novi Sad, Institute of Food Technology, Bulevar Cara Lazara 1, 21000, Novi Sad, Serbia

ARTICLE INFO

Keywords:
Carotenoids
Chlorophyll
eEF1A
Heat stress
Triticum aestivum

ABSTRACT

Heat stress is one of the most important environmental factors that influences wheat growth and development, leading to significant losses in grain yield and has become a significant detrimental factor for worldwide wheat production. In recent years, several studies suggested that eukaryotic elongation factor 1A (eEF1A), may contribute to heat tolerance in plants, therefore the aim of this study was: to investigate the accumulation of eEF1A in wheat under conditions of moderate and high air temperatures; to determine the amount of photosynthetic pigments and to determine the yield traits; and to examine whether there is a correlation between eEF1A accumulation, photosynthetic pigments, and yield in different wheat varieties. The results showed that heat stress induced accumulation of eEF1A significantly different among wheat varieties and showed that varieties with a higher accumulation of eEF1A under heat stress are characterized by a smaller decrease in the photosynthetic pigments. A correlation between higher accumulation of eEF1A under heat stress and yield traits was found. Analyzed parameters from two growing seasons, indicated that the higher accumulation of eEF1A and a smaller decrease in photosynthetic pigments distinguishes the varieties more resistant to heat stress. The analysis of the molecular mechanisms by immunoblot, under conditions of high and moderate air temperatures in two growing seasons, aims to develop agricultural strategy and develop wheat varieties tolerant to heat stress.

1. Introduction

Wheat is one of the most important crops used for human consumption worldwide and is especially important in temperate climate regions (Shewry, 2009). The area of land on which wheat is grown is larger than any other commercial crop, including corn, rice, and potatoes (Curtis et al., 2002; Tadesse et al., 2016). Wheat is important because their products contain a range of bioactive substances that can have health benefits (Thompson, 2009). Since it is a very important crop, it is essential to preserve and improve its production. In recent decades global warming has caused climate changes, which has led to a

significant decline in crop productivity. High temperature or heat stress is one of the strongest climatic factors affecting wheat growth, development, and yield (Asseng et al., 2011, 2015; Semenov and Shewry, 2011). In wheat, daily temperatures above 30 °C cause stress which can cause damage to plants at the molecular level, especially when it occurs during reproductive, grain-filling or grain milk maturation phases. (Gibson and Paulsen, 1999; Prasad et al., 2011). High temperature stress leads to protein denaturation (changing protein conformation), cell membrane damage, and chlorophyll degradation (Larkindale et al., 2005). Photosynthetic pigments chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and carotenoids are found in chloroplasts and are essential for the normal

Abbreviations: Chl, chlorophyll; Caro, Carotenoids; ECL, enhanced chemiluminescence; eEF1A, eukaryotic elongation factor 1A; EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid; GAPDH, Glyceraldehyde-3-Phosphate Dehydrogenase; HM, hectoliter mass; HT, high air temperature; LSD, least significant difference; MT, moderate air temperature; PVDF, polyvinylidene difluoride; SDS-PAGE, sodium dodecyl sulphate–polyacrylamide gel electrophoresis.

* Corresponding author.

E-mail address: stefan.markovic@pmf.kg.ac.rs (S.M. Marković).

<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.035>

Received 17 January 2021; Received in revised form 14 June 2021; Accepted 18 June 2021

Available online 22 June 2021

0981-9428/© 2021 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Prilog 2.

UDC 575.630

<https://doi.org/10.2298/GENSR2101219M>

Original scientific article

**HEAT-INDUCED ACCUMULATION OF PROLINE AND YIELD COMPONENTS
IN GENETICALLY DIVERGENT CEREAL VARIETIES**Stefan M. MARKOVIĆ^{1*}, Desimir KNEŽEVIĆ², Nenad M. NEŠOVIĆ³,
Nevena H. DJUKIĆ¹¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology,
Kragujevac, Serbia² University of Priština, Faculty of Agriculture, Kosovska Mitrovica, Lešak, Serbia³ Agricultural Extension Service Kraljevo Ltd., Kraljevo, Serbia.

Marković S., D. Knežević, N. Nešović, N. Djukić (2021). *Heat-induced accumulation of proline and yield components in genetically divergent cereal varieties*. - Genetika, Vol 53, No.1, 219 -233.

Growth and development of cereals is affected by abiotic factors, particularly by high temperature. An important factor in plant adaptation to abiotic stress can be the proline accumulation. Proline is an amino acid involved in a series of metabolic processes and is important as a protein stabilizer, osmolyte and antioxidant. The aim of this experiment was to determine the effect of high temperature on the proline content and yield elements in different cereal varieties during two vegetative seasons. For the investigation, plant material of 8 genetically divergent winter wheat varieties, 1 variety of triticale and 1 oat variety were used. Samples were collected in days with moderate midday air temperatures of 24-26°C in the milk stage and after a few days in the same phenological stage, in conditions of high midday air temperatures of 34-36°C. Proline accumulation was determined spectrophotometrically. Statistical analyses of data were done in the SPSS program. The results during the first experimental year showed that under moderate air temperature conditions proline content was 0.661 $\mu\text{mol g}^{-1}$ fresh plant, and in the second experimental year 0.777 $\mu\text{mol g}^{-1}$ fresh plant. Under conditions of heat stress during the first year, the content of proline increased to 2.169 $\mu\text{mol g}^{-1}$ fresh plant, and in the second experimental year the average content was 2.510 $\mu\text{mol g}^{-1}$ fresh plant, which confirms the increase of proline accumulations under heat stress. Compared with other cereal varieties, wheat varieties Zvezdana, Pobeda, Simonida and Avenu were characterized by higher contents of proline in conditions of heat stress in both vegetative seasons. Statistical

Corresponding author: Stefan Marković, University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology, Radoja Domanovića 12, 34000, Kragujevac, Serbia. E-mail: stefan.markovic@pmf.kg.ac.rs; Phone: +381 34 336223.

Prilog 3.

Marković *et al.*, 2020Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci. ISSN 2071-7024)
Vol.44 (2): 7647-7656 <https://doi.org/10.35759/JAnmPlSci.v44-2.4>

Effect of genotype and phenological stages on the accumulation rate of dry matter in wheat

Stefan M. Marković^{1*}, Desimir Knežević², Nevena H. Djukić¹¹ University of Kragujevac, Faculty of Science, Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Republic of Serbia² University of Pristina, Faculty of Agriculture, 38219, Lešak, Kosovo and Metohia, Republic of Serbia*Corresponding author: Stefan M. Marković², e-mail: stefan.markovic90@pmf.kg.ac.rs**Key words:** nutritional quality, wheat, genotypes, dry matter**Publication date** 31/05/2020, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

1 SUMMARY

Considering that wheat occupies a primary place in human food, it is important to find varieties of wheat that, in addition to their high yields, are characterized by high nutritive and mineral qualities. The aim of this study was to determine dry matter content in genetically divergent wheat varieties, to identify varieties with a higher dry matter content, as well as to determine the accumulation rate of dry matter in different phenological phases. The highest increase in the amount of dry matter occurred in the phase of seed filling (16.31%). The fastest accumulation of dry matter for a period of one week was recorded in the phenological phase of milk maturation. Based on the results, it was concluded that phenological phase of seed filling is an important period of the wheat development for the accumulation of dry matter. The amount of accumulated dry matter depends on the variety of wheat. Varieties with higher amount of accumulated dry matter can be possibly used for selection and hybridization.

2 INTRODUCTION

Dry matter of plant is the mass of a completely dry plant and represents all plant components excluding water. Approximately 70% of wheat grain dry weight is made of starch (Jaiswal *et al.*, 2017) and includes also low protein content (Ayub *et al.*, 2013), fats, vitamins, minerals, antioxidants and is an essential and nutritious part of the wheat. The content of grain dry matter is an important criterion for assessing the quality of cereals (Moshatai and Gharineh, 2012). The content of dry matter and the rate of accumulation, in wheat seed depends on several factors. The percentage of dry matter can depend on the genotype of plant species and the phenological phase in which the genotype is (Fisher and Fowler, 1975; Atta *et al.*, 2004). In the booting stage, about 21% of dry matter can be found in the barley, 22% in wheat, 14% in rice and 18% in oat, while in the further development of cereals, the percentage of dry matter can increase significantly (Coskun *et al.*,

2014). Period of sowing (Ehdaie and Waines, 2001; Mirosavljević *et al.*, 2018) and preceding crops (Kumar *et al.*, 2013), can influence dry matter content in cereals. The harvest period can be also an important for accumulation of dry matter in wheat seed. A delayed period of harvest can lead to the accumulation of a larger amount of dry matter (Ayub *et al.*, 2013). Papakosta and Gagianas (1990) have shown that for the accumulation of dry matter in wheat seed is important a period before the phenological phase of flowering and that if during this period there is a greater accumulation of dry matter, more dry matter will be transferred to the grain at later stages of the development of wheat. The amount of dry matter can also depend on the sowing method. Studies shown that the higher density of sowing leads to an increase in dry matter (Arduini *et al.*, 2006, Fang *et al.*, 2010). The rate of accumulation of dry matter depends on the variety of the wheat and the chemical

Prilog 4.

Kragujevac J. Sci. 42 (2020) 45-54.UDC 577.115:58.036:582.542.11
*Original scientific paper***VARIABILITY OF MALONDIALDEHYDE CONTENT
AND YIELD ELEMENTS IN *Triticum aestivum* L.
UNDER HEAT STRESS CONDITIONS****Stefan Marković*, Marija Petrović, Nevena DJukić***University of Kragujevac, Faculty of Science, Department of Biology and Ecology,
Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia*

*Corresponding author; E-mail: stefan.markovic@pmf.kg.ac.rs

(Received May 15, 2020; Accepted June 06, 2020)

ABSTRACT. Heat stress has a significant effect on the growth and development of cereals and affects cereals production by reducing the total yield. High temperatures in plants lead to oxidative stress, which creates reactive oxygen species that are specific to cause damage to the cell membrane. Due to the action of reactive oxygen species, lipid peroxidation can occur. For that reason, it is important to find cultivars that are more resistant to the harmful effects of heat stress and thus enable higher productivity. The aim of this study was to determine the effect of heat stress on the degree of lipid peroxidation and yield elements in leaves of 10 wheat cultivars, in order to select cultivars more resistant to heat stress. The degree of lipid peroxidation was determined spectrophotometrically by measuring the concentration of reactive substances of thiobarbiturate acid (mainly malondialdehyde - MDA). The cultivar Renesansa with the largest increase in MDA in conditions of high air temperature (2.848 $\mu\text{mol/g}$ fw) was also characterized by the lowest yield (2870 kg/ha). On the other hand, the cultivar Talas with the smallest increase in MDA content (1800 $\mu\text{mol/g}$ fw) in conditions of high air temperature showed significantly higher yield (3830 kg/ha). In this paper was shown that lipid peroxidation has a significant effect on yield reduction in the investigated wheat cultivars. Cultivars Talas, Apač, Hyfi, Mila and Salasar were characterized as cultivars more resistant to heat stress with higher yields. These results suggest that wheat cultivars were significantly different in their ability to respond to heat stress, which could be useful for the development of tolerant wheat cultivars in the breeding programs.

Key words: wheat, heat stress, MDA, lipid peroxidation, yield.

INTRODUCTION

Cereals are an important economic and food resource that's the one of the most important nutrition in the daily human diet (FAROOQ *et al.*, 2011). Abiotic factors are the dominant stress source in higher plants (KHAMSSI *et al.*, 2011) and affect the amount of all cereals produced, which could create food supply problems in the future (CIAIS *et al.*, 2005; BARNABÁS *et al.*, 2008). Due to global warming, heat stress is becoming one of the most

Prilog 5.

Journal of Plant Physiology 240 (2019) 153015



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Plant Physiology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jplph

Expression of protein synthesis elongation factors in winter wheat and oat in response to heat stress



Nevena Djukić^{a,*}, Desimir Knežević^b, Danijel Pantelić^c, Dragan Živančević^d, Aleksandra Torbica^e, Stefan Marković^a

^a University of Kragujevac, Faculty of Science, Radoja Domanovića 12, Kragujevac, Serbia

^b University of Priština, Faculty of Agriculture, Kosovska Mitrovica, Kopaonicka bb, Lešak, Kosovo and Metohia, Serbia

^c University of Belgrade, Institute for Biological Research "Siniša Stanković", Bul. Despoja Stefana 142, Belgrade, Serbia

^d Institute of Field and Vegetable Crops, Maksima Gorkog 30, Novi Sad, Serbia

^e University of Novi Sad, Institute for Food Technology, Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad, Serbia

ARTICLE INFO

Keywords:

Elongation factors
Abiotic stress
Triticum aestivum L.
Avena sativa L.
Cereal physiology
Molecular mechanisms

ABSTRACT

The aim of our work was to examine the expression and accumulation of EF-Tu and eEF1A in grain filling stage of five genotypes of winter wheat and one oat genotype in conditions of heat stress. In addition, the correlation between accumulation of elongation factors eEF1A and EF-Tu, and yield components of cereals in the field was investigated. Flag leaf protein samples were analyzed by immunoblotting. Flag leaves were collected under conditions of moderate (23 °C; MT) and high air temperature (38 °C; HT) in a field experiment. After the harvest, grain yield was determined. The yield components, the weight of dry seed and grains number per spike, were assessed in the stage of full physiological maturity of investigated cultivars. Obtained results revealed a difference in the level of EF-Tu accumulation both under conditions of moderate air temperatures and conditions of heat stress among investigated cultivars. Cultivar Zvezdana was the only one that showed increase in EF-Tu accumulation under HT (25%) compared to MT. Immunoblot analysis indicated that the highest increase of eEF1A accumulation (43%) in relation to moderate temperature was detected in cultivar Talas. A significant, positive, linear correlation was found between the expression of eEF1A and small grains productivity under heat-stress conditions.

1. Introduction

Over the last few decades, we have witnessed the accelerated climate changes and warming which occur at the global level (Ramanathan and Carmichael, 2008; Stewart et al., 2004). These changes have negative effects on plant growth and development, reproduction, and yield (Sadras and Dreccer, 2015; Ramegowda and Senthil-Kumar, 2015; Nelson et al., 2009; Hatfield and Prueger, 2011a). Temperature increase can lead to disturbances in the metabolism and functioning of the plant cell. During the vegetation period, plants are exposed to different conditions of the environment in which they are located, which affects their growth and development. Temperature is also a primary factor affecting the rate of plant development. Each stage of plants growth and development is characterized by active temperatures, i.e. temperatures which enable plants to transit into the following development stage. The optimum temperature for plant growth (or any physiological and biochemical process) is temperature or narrow

temperature range at which plant growth advances at its fastest rate (Hatfield and Prueger, 2011b; Hatfield and John, 2015). Each plant species has its own particular optimum temperature (Hatfield and Prueger, 2011b; Barlow et al., 2015), and regarding cereals it is often specific for the cultivar as well (Mishra et al., 2017). The optimal temperature during reproductive and grain filling stage of wheat development that allows maximum yields varies between 12 and 22 °C (Dupont and Altenbach, 2003; Zhao et al., 2007; Singh and Sharma, 2017). Conversely, temperatures greater than 30 °C during grain filling are known to reduce kernel mass in wheat (Wardlaw, 1994). High temperatures in the stages of grain forming and grain filling can reduce the period from ear emergence to maturation stage and are responsible for changes in grain filling (Jaiswal et al., 2017). This forced maturation affects the quality of the grain and lowers the yield of small grains. The optimum temperature and moderate humidity are also necessary for the earlier stages of phenological development of wheat. High temperature, apart from morphological, also causes physiological, biochemical and

* Corresponding author.

E-mail address: nevena@kg.ac.rs (N. Djukić).

<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153015>

Received 8 March 2019; Received in revised form 20 June 2019; Accepted 20 June 2019

Available online 29 July 2019

0176-1617/ © 2019 Published by Elsevier GmbH.

BIBLIOTEČKA DOKUMENTACIJA



UNIVERZITET U KRAGUJEVCU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET



INSTITUT ZA BIOLOGIJU I EKOLOGIJU

Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija

KLJUČNA DOKUMENTACIJA

Redni broj	
Tip zapisa	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada	Doktorska disertacija
Autor	Stefan M. Marković
Mentor	Prof. dr Nevena Đukić
Naslov rada	Biohemijska karakterizacija izabranih biljnih vrsta iz rodova <i>Triticum</i> , <i>Avena</i> i <i>Triticosecale</i> u uslovima toplotnog stresa
Jezik publikacije	Srpski (latinica)
Jezik izvoda	Srpski
Zemlja publikacije	Republika Srbija
Godina publikacije	2021.
Izdavač	Autorski reprint
Mesto i adresa	Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija
Naučna oblast	Biologija
Naučna disciplina (UDK)	577.11:633.1(497.11)(043.3) (Biohemija i molekularna biologija, Čelijska biohemija, Žitarice, zrnasti usevi; Istraživanja rađena u Srbiji; Doktorska disertacija)
Predmetna odrednica/ključne reči	toplotni stres, žitarice, elongacioni faktori, HSP101, HSP18, prolin, malondialdehid, antioksidativni enzimi, fotosintetički pigmenti, prinos.
Čuva se	U biblioteci Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu, R. Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Srbija
Važna obaveštenja	
Izvod	
<p>Porast temperature na globalnom nivou negativno utiče na prinos žitarica širom sveta. Istraživanja povezana sa načinom odgovora žitarica na toplotni stres su veoma važna i omogućavaju razumevanje biohemijske osnove toplotne tolerancije kod žitarica. Ona</p>	

otvaraju mogućnost za korišćenje novih znanja u efikasnom odabiru komercijalnih sorti žitarica kao i mogućnost za kreiranjem novih toplotno-tolerantnih sorti žitarica. Predmet istraživanja ove doktorske disertacije je uticaj toplotnog stresa na različite sorte žitarica i njihov biohemijski i molekularni odgovor u toku tri eksperimentalne godine, sa ciljem širenja fundamentalnih znanja o biohemijskoj osnovi toplotne tolerancije kod žitarica. U toku trogodišnje analize praćen je uticaj toplotnog stresa na veći broj parametara biljnih zaštitnih mehanizama i na elemente prinosa. Utvrđeno je da su antioksidativni i zaštitni mehanizmi bili izraženiji u toku toplijih godina istraživanja (2016. i 2018.) u odnosu na 2017. godinu koja je bila umerenija, što ukazuje da temperatura značajno utiče na analizirane parametre. Na osnovu rezultata utvrđeno je da toplotni stres utiče na pad vrednosti proteina i fotosintetičkih pigmenata u listu žitarica, a dovodi do porasta prolina i malondialdehida. Imunoblot analiza ekspresije eEF1A, EF-Tu, HSP101 i HSP18 je pokazala da dolazi do značajnog povećanja njihove ekspresije u uslovima toplotnog stresa kod žitarica. U uslovima toplotnog stresa došlo je i do povećanja aktivnosti antioksidativnih enzima. Rezultati ove doktorske disertacije, sugerišu da se analizirane sorte žitarica značajno razlikuju u sposobnosti reagovanja na toplotni stres, što bi moglo biti korisno za razvoj sorti primenom biotehnologije i programa oplemenjivanja, kako bi se dobile nove sorte otpornije na visoku temperaturu.

Datum prihvatanja teme od strane NNV	27.01.2021.
Datum odbrane	
Članovi komisije	<p>dr Jelena Lozo, redovni profesor; Univerzitet u Beogradu - Biološki fakultet</p> <p>dr Dragan Živančev, viši naučni saradnik; Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju</p> <p>dr Nataša Joković, vanredni profesor; Univerzitet u Nišu, Prirodno-matematički fakultet</p>

LIBRARY DOCUMENTATION



UNIVERSITY OF KRAGUJEVAC
FACULTY OF SCIENCE



DEPARTMENT OF BIOLOGY AND ECOLOGY

Radoja Domanovića 12, 34000 Kragujevac, Serbia

KEY WORDS DOKUMENTATION

Accession number	
Type of record	Textual material, printed
Contents code	PhD thesis
Author	Stefan M. Marković
Mentor	Prof. dr Nevena Đukić
Title	Biochemical characterization of selected plant species from the genera <i>Triticum</i> , <i>Avena</i> and <i>Triticosecale</i> under conditions of heat stress
Language of text	Serbian (Roman)
Language of abstract	Serbian (Roman) / English
Country of publication	Republic of Serbia
Publication year	2021.
Publisher	Copyright reprint
Publisher place	Radoja Domanovića 12 34000 Kragujevac, Serbia
Scientific field	Biology
Scientific discipline (UDK)	577.11: 633.1 (497.11) (043.3) (Biochemistry and molecular biology, Cellular biochemistry, Cereals, grain crops; Research done in Serbia; Doctoral thesis)
Key words	heat stress, cereals, elongation factors, HSP101, HSP18, proline, malondialdehyde, antioxidative enzymes, photosynthetic pigments, yield.
Holding data	In library of Faculty of Science, University of Kragujevac, 34000 Kragujevac, Republic of Serbia, R. Domanovića 12
Note	
Abstract	
Rising temperatures on global scale are affecting cereal yields worldwide. Research	

related to cereals respond to heat stress is very important because they provide an understanding of the biochemical basis of heat tolerance in cereals. This research opens the possibility for the use of new knowledge in the efficient selection of commercial varieties of cereals as well as the possibility for the creation of new heat-tolerant cereals varieties. The subject of this doctoral dissertation is the influence of heat stress on different varieties of cereals and their biochemical and molecular response during the three experimental years, with the aim of expanding fundamental knowledge about the biochemical basis of heat tolerance in cereals. During the three years of analysis, the influence of heat stress on several parameters of plant protecting mechanisms and on yield elements was investigated. It was found that antioxidative and protective mechanisms were more induced during the warmer years of research (2016 and 2018) compared to moderate year 2017, which indicates that the temperature significantly affected the analyzed parameters. Based on the results, it was found that heat stress affects the decrease in proteins and photosynthetic pigments in cereal leaves and leads to an increase in proline and malondialdehyde content. Immunoblot analysis of the expression of eEF1A, EF-Tu, HSP101 and HSP18 showed that there is a significant increase in their expression under conditions of heat stress in cereals. Under the conditions of heat stress, there was an increase in the activity of antioxidative enzymes. The results of this doctoral dissertation suggest that the analyzed cereal varieties differ significantly in their ability to respond to heat stress, which could be useful for development of varieties using biotechnology through breeding programs, to obtain new varieties more resistant to high temperatures.

Accepted by Scientific Board on	27.01.2021.
Defended on	
Commission	<p>dr Jelena Lozo, full professor; University of Belgrade - Faculty of Biology</p> <p>dr Dragan Živančev, senior research associate; The Institute of Field and Vegetable Crops, the National Institute of the Republic of Serbia</p> <p>dr Nataša Joković, assistant professor; University of Nis, Faculty of Science</p>

Biografija



Stefan M. Marković je rođen 26. marta 1990. godine u Republici Srbiji. Diplomirao je na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu (Osnovne akademske studije), studijska grupa ekologija (2012). Na Prirodno-matematičkom fakultetu u Kragujevcu je završio i Master akademske studije ekologije i odbranio je master rad pod nazivom „Sličnost sorti ječma i ovsu prema sadržaju beta glukana“ u 2014. godini, nakon čega upisuje Doktorske akademske studije. U zvanje istraživača pripravnika izabran je 2015. godine na Institutu za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu. U zvanje asistenta izabran je 2016. godine na Prirodno-matematičkom fakultetu, Univerziteta u Kragujevcu gde je trenutno zaposlen. Kao koordinator biohemijskog odeljenja učestvovao je na projektu

„Popularizacija ekologije u ruralnim područjima Kragujevca“ za 2016. godinu, finansirana od strane Fonda za zaštitu životne sredine i održivi razvoj grada Kragujevca (rukovodilac projekta: Kragujevačko društvo za ekološka istraživanja). Svoj naučno-istraživački rad započeo je 2014. godine u laboratoriji za biohemiju Instituta za biologiju i ekologiju, Prirodno-matematičkog fakulteta, Univerziteta u Kragujevcu. Tokom svog naučno-istraživačkog rada stekao je teorijska znanja o savremenim tehnikama i metodama, koje nalaze primenu u eksperimentalnim biohemijskim istraživanjima i osposobljen je za upotrebu bioloških pojmova i samostalno korišćenje stručne literature. Istraživanja Stefana Markovića su u oblasti biohemije, u okviru koje proučava mehanizme adaptacije biljnih vrsta na uslove stresa, analizira nutritivnu vrednost biljaka, biomolekule i dijetalna vlakana. Istraživanje uključuje i proučavanje proteina toplotnog stresa, ugljenih hidrata, lipida, enzima i drugih važnih biomolekula uključujući aminokiseline i antioksidanse. Autor je ili koautor na 23 bibliografske jedinice, od kojih je 7 objavljeno u časopisima na SCI listi.

Образац I

ИЗЈАВА АУТОРА О ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

Ја, Марковић Стефан, изјављујем да докторска дисертација под насловом:

Биохемијска карактеризација изабраних биљних врста из родова Triticum, Avena и Triticosecale у условима топлотног стреса

која је одбрањена на Природно-математичком факултету Универзитета у Крагујевцу 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,
- да умножени примерак докторске дисертације у штампаној и електронској форми у чијем се прилогу налази ова Изјава садржи докторску дисертацију неоветну одбрањеној докторској дисертацији.

У Крагујевцу 16.08.2021. године.



потпис аутора

Образац 2

ИЗЈАВА АУТОРА О ИСКОРИШЋАВАЊУ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕЈа, Марковић Стефан,

дозвољавам

не дозвољавам

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

Биохемијска карактеризација изабраних биљних врста из родова *Triticum*, *Avena* и *Triticosecale* у условима топлотног стреса

која је одбрањена на Природно-математичком факултету

Универзитета у Крагујевцу, 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

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.

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

- 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, 16.08.2021. 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/>