

# Varijabilnost svojstava klijavosti *Triticum* spp. u uvjetima abiotskog stresa

---

Halt, Tea

Master's thesis / Diplomski rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:*

**Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:118371>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-26**



Sveučilište Josipa Jurja  
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet  
agrobiotehničkih  
znanosti Osijek**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek - Repository of the Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tea Halt

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**VARIJABILNOST SVOJSTAVA KLIJAVOSTI *Triticum* spp. U UVJETIMA  
ABIOTSKOG STRESA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2021.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tea Halt

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**VARIJABILNOST SVOJSTAVA KLIJAVOSTI *Triticum* spp. U UVJETIMA  
ABIOTSKOG STRESA**

**Diplomski rad**

**Osijek, 2021.**

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA  
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tea Halt

Diplomski studij Bilinogojstvo

Smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

**VARIJABILNOST SVOJSTAVA KLIJAVOSTI *Triticum* spp. U UVJETIMA  
ABIOTSKOG STRESA**

**Diplomski rad**

Povjerenstvo za ocjenu i obranu diplomskog rada:

1. prof. dr. sc. Sonja Vila, predsjednik
2. dr. sc. Sunčica Kujundžić, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Sonja Petrović, član

**Osijek, 2021.**

## SADRŽAJ:

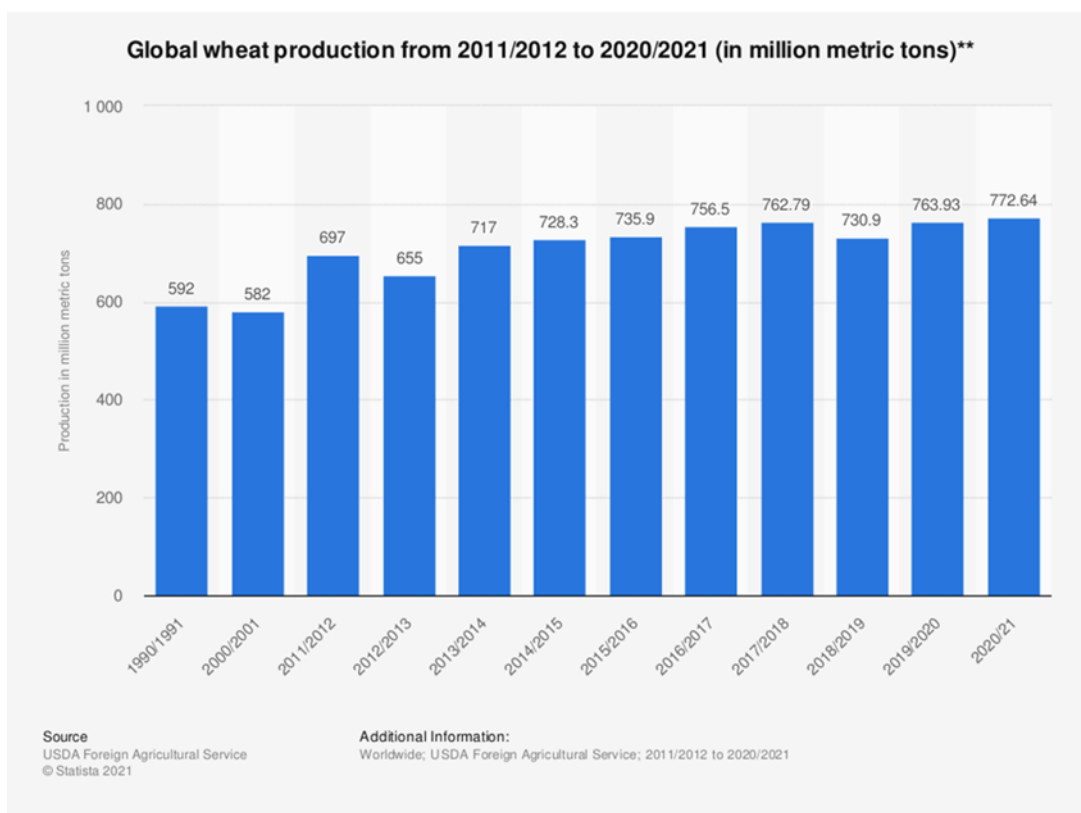
1. UVOD .....	1
1.1. Cilj istraživanja .....	3
2. PREGLED LITERATURE .....	4
2.1. Podrijetlo i rasprostranjenost vrsta roda <i>Triticum</i> .....	5
2.2. Agroekološki uvjeti proizvodnje pšenice .....	7
2.3. Stres kod pšenice.....	8
3. MATERIJAL I METODE .....	12
3.1. Biljni materijal.....	12
3.2. Laboratorijski pokus .....	12
3.2.1. Priprema i sterilizacija sjemena.....	13
3.2.2. Priprema NaCl otopina .....	14
3.2.3. Naklijavanje sjemena .....	15
3.2.4. Mjerenje ispitivanih svojstava .....	16
3.3. Statistička obrada podataka .....	18
4. REZULTATI .....	19
5. RASPRAVA.....	30
6. ZAKLJUČAK .....	33
7. POPIS LITERATURE.....	34
8. SAŽETAK.....	38
9. SUMMARY .....	39
10. POPIS TABLICA .....	40
11. POPIS SLIKA .....	41
12. POPIS GRAFIKONA .....	42

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

BASIC DOCUMENTATION CARD

## 1. UVOD

Pšenica (*Triticum aestivum* L.) je naša najznačajnija krušarica i kao takva dugo vremena je predmetom stručne i znanstvene analize s različitih stajališta (Kovačević i Rastija, 2014.). Pripada jednogodišnjim biljkama roda *Triticum* iz porodice *Poaceae* (trave). Najprije se uzgajala u Aziji i južnoj Europi odakle se proširila na druge kontinente. Prema arheološkim nalazima, uzgajala se u Iraku 6500 god. pr. Kr., u Egiptu i Kini 5000 do 6000 god. pr. Kr., a u srednjoj Europi i na Balkanu 4000 do 5000 god. pr. Kr. (<https://www.enciklopedija.hr/>). U početku je nazvana Einkorn (*T. monococcum*) te je genetski opisana kao diploid koji sadrži dvije skupine kromosoma (<https://www.yara.co.uk/>). Danas pšenica pripada jednim od najznačajnijih ratarskih usjeva i jedna je od najrasprostranjenijih žitarica u svijetu. U tržišnoj godini 2019./2020. ukupna proizvodnje pšenice u svijetu iznosila je više od 763 milijuna tona (<https://www.statista.com/>) (Slika 1), od čega je najveći proizvođač Kina, čija je proizvodnja u 2020. godini iznosila 134,25 tisuća tona, što čini 20,66 % svjetske proizvodnje pšenice. Pored Kine, pet najvećih proizvođača pšenice u svijetu su: Indija, Rusija, Sjedinjene Američke Države te Kanada (<https://knoema.com>).



Slika 1. Globalna proizvodnja pšenice kroz godine

(<https://www.statista.com>)

U Republici Hrvatskoj pšenica zauzima drugo mjesto kao najpopularnija uzgajana kultura u razdoblju od 2012. do 2016. godine s udjelom od 28,7 %. Prema podacima Ministarstva poljoprivrede u 2017. godini požnjeveno je 116.150 ha na kojima je proizvedeno 682.322 tona pšenice, a prirod po hektaru bio je 5,9 tona. U petogodišnjem razdoblju od 2012. do 2016. godine prosječno je proizvedeno 873.251 tona pšenice te je time proizvodnja u 2017. godini manja za 21,9 % u odnosu na petogodišnji prosjek (<https://poljoprivreda.gov.hr/ratarstvo/197>).

Vrste roda *Triticum* razvrstane su u nekoliko kategorija ovisno o broju kromosoma ili prema različitim morfološkim svojstvima. Prema broju kromosoma podijeljene su na diploidnu ( $2n = 14$ ), tetraploidnu ( $2n = 28$ ) i heksaploidnu ( $2n = 42$ ) pšenicu, a prema načinu uzgoja, vrste i sorte pšenice dijele se u dvije osnovne skupine i to na ozimu i jaru. U svijetu ozima pšenica zauzima veće površine i u prosjeku daje veće prinose od jare i njezin je opći ekonomski značaj veći (<https://www.agroklub.com/>). Sije se u jesen, ima dužu vegetaciju, jače busanje te duže trajanje stadija jarovizacije i svjetlosnog stadija. Manje je otporna prema suši i visokim temperaturama i ima slabiju kvalitetu zrna od jare pšenice. Uzgaja se u područjima s blagom i umjereno kontinentalnom klimom s rasponom uzgoja na sjevernoj polutki od  $16^\circ$  do  $60^\circ$  sjeverne geografske širine. Jara pšenica uzgaja se u manje povoljnim uvjetima, kraće je vegetacije te bolje podnosi sušu i visoke temperature pa se uzgaja u suhim kontinentalnim oblastima (Kovačević i Rastija, 2014.).

Najznačajnije vrste pšenice su *Triticum aestivum* (heksaploid) koja se naziva obična ili meka pšenica te *Triticum durum* (tetraploid) koja se naziva i tvrda pšenica (Kovačević i Rastija, 2014.). Meka pšenica je jednogodišnja žitarica čija visina varira od 50 do 150 cm te uglavnom služi za proizvodnju brašna, dok se tvrda pšenica koristi za proizvodnju tjestenine (<https://hrv.healthycatchups.com/>).

Pšenica ima određene agroekološke uvjete uzgoja, a sam prinos ovisi o tome u kojoj su mjeri ti uvjeti tijekom vegetacije bili zadovoljeni (Kovačević i Rastija, 2014.). Za samo klijanje i nicanje pšenice potrebna je temperatura između  $14^\circ\text{C}$  i  $20^\circ\text{C}$  i pri njoj niče za 5-7 dana. Ukoliko su temperature niže, od  $7^\circ\text{C}$  do  $8^\circ\text{C}$ , pšenica će niči za 17-20 dana, a pri nižim temperaturama klijanje je usporenije. Tijekom vegetacije zahtjeva 500-700 mm pravilno raspoređenih oborina (<https://www.savjetodavna.hr/>). Veća količina oborina u razdoblju od klasanja do zriobe povećava hektolitarsku masu zrna, masu 1000 zrna, krupnoću zrna te povoljno utječe na opći izgled zrna (<https://www.agroklub.com>).

Ako neki od uvjeta nisu zadovoljeni kultivar može doći u stanje stresa, što na kraju dovodi do smanjenja prinosa. Abiotski stres kao što je suša, slanost tla, visoke i niske temperature te nedostatak hranjivih tvari primarni su okolišni čimbenici koji negativno utječu na uzgoj pšenice, dok su biotski stresovi prvenstveno uzrokovani različitim patogenima (gljivičnim, virusnim, bakterijskim), koji mogu dovesti do truljenja biljke te težih oštećenja (Gull i sur., 2018.).

### 1.1. Cilj istraživanja

Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati varijabilnost svojstava klijavosti različitih vrsta roda *Triticum* u uvjetima abiotskog stresa, te utvrditi potencijalne izvore tolerantnosti na stres unutar roda *Triticum*.



## 2. PREGLED LITERATURE

Pšenica (*Triticum aestivum* L.) je jednogodišnja biljka roda *Triticum* iz porodica trava (*Poaceae*). To je vrsta s naglašenim polimorfizmom te ima širok areal rasprostiranja. Postoji veliki broj sorti i ozimih i jarih formi, ali se uzgojno područje te dvije forme ne poklapa (Rapčan, 2014.). Osnovne razlike između ozime i jare pšenice su prema vremenu sjetve. Ozima pšenica se sije u jesen te prezimljuje u fazi od nicanja do busanja, dok se jara sije u proljeće. Ozima pšenica ima veće i stabilnije prinose zrna po godinama, jače busanje te duže trajanje stadija jarovizacije i svjetlosnog stadija (<https://www.agroklub.com>).

Uzgojno područje ozime pšenice pripada blagoj i umjereno kontinentalnoj klimi te se uzgaja na sjevernoj polutki u rasponu od 16° do 60° sjeverne geografske širine. Jara pšenica ograničena je na područja u kojima ozima pšenica ne može prezimiti uslijed niskih temperatura. Kraće je vegetacije te bolje podnosi sušu i visoke temperature pa se kao takva uzgaja u suhim kontinentalnim područjima. Uzgaja se na nadmorskim visinama do 4000 m (Azija), 3800 m (Južna Amerika), 2800 m (Sjeverna Amerika), odnosno 2700 m (Europa, južna Afrika). Uglavnom se uzgaja na područjima s oštrom zimom gdje su zimske temperature ispod praga tolerancije za ozimu pšenicu (Kovačević i Rastija, 2014.).

Pšenica se godišnje uzgaja na oko 215 milijuna hektara, a njezina potrošnja svake godine raste (<https://wheat.org/wheat-in-the-world/>). Izvoz pšenice u cijelom svijetu prema zemljama iznosio je procijenjenih 44,8 milijardi dolara u 2020. godini, što je 22,8 % više u odnosu na međunarodnu prodaju pšenice od 2016. godine, kada je globalni izvoz pšenice procijenjen na 36,5 milijardi dolara. Vrijednost globalnog izvoza pšenice porasla je za 10,7 % od 2019. do 2020. godine, a najveći izvoznici su Rusija, SAD i Kanada. S kontinentalne perspektive, europske su zemlje opskrbile više od polovice svjetskog izvoza pšenice tijekom 2020. godine s isporukama u iznosu od 25,5 milijardi dolara ili 56,9 % ukupne globalne prodaje (<https://www.worldstopexports.com/>).

Globalna potrošnja pšenice zabilježila je blagi porast u prošloj godini s više od 759 milijuna potrošenih tona što je povećanje u odnosu na 747 milijuna tona potrošenih u 2019./2020. godini. Pretpostavlja se da će godišnja stopa rasta potrošnje pšenice iznositi 4,1 % u razdoblju između 2021. - 2026. godine (<https://www.mordorintelligence.com/>). Hrvatska pripada najoptimalnijoj zoni uzgoja pšenice, pa se tako pšenica posljednjih 15-ak godina sije na oko 180 000 ha i postiže prosječan prinos od oko 4 t/ha (Rapčan, 2014.).

## 2.1. Podrijetlo i rasprostranjenost vrsta roda *Triticum*

Pšenica je jedan od prvih usjeva koji je domesticiran prije više od 10 000 godina na Bliskom istoku te je nakon toga proširen Starim svijetom. Izvorno je iz jugozapadne Azije s područja poznatoga kao Plodni polumjesec, a u neolitskom razdoblju uzgoj se počinje širiti i dalje. Uzgajana je u Iraku, Maloj Aziji, Kini i Egiptu, a prije oko 5000 godina uzgajana je u istočnom dijelu Europe (<https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Wheat>). Rimljani su u I. stoljeću donijeli pšenicu u Njemačku, a u Ameriku je dospjela nakon njenog otkrića, dok je u Australiju pšenica dospjela još kasnije (Kovačević i Rastija, 2014.).

Pšenica je jednogodišnja biljka roda *Triticum* iz porodica trava (*Poaceae*). Sastoji se od klasastog skupnog cvata, koji se pojedinačno sastoji od sjedećih klasića sastavljenih od 3 do 7 cvjetova. Rodu pripadaju 22 vrste od kojih su mnoge poznate već od davnine kao kulturne biljke. Pšenica je najvažnija žitarica za proizvodnju kruha jer se oko 70 % stanovništva svijeta hrani pšeničnim kruhom (<https://www.enciklopedija.hr/>).

Postoje mnogi taksonomski sustavi klasifikacije koji se koriste za vrste pšenice, što izaziva zabunu i kontroverzu među istraživačima. Problem kod roda *Triticum* javlja se zbog procesa zvanog alopoliploidija (poliploidna jedinka koja ima kromosomski set sastavljen od dva ili više kromosomskih setova izvedenih više ili manje od različitih vrsta) (<https://www.merriam-webster.com/dictionary/allopolyploid>), a razlog tome su brze promijene u genomu pšenice uzrokovane genetskim i epigenetskim promjenama, te spore i postepene evolucijske promjene tijekom životnog ciklusa biljke (Duba i sur., 2018.). Rod *Triticum* je prvi puta klasificirao Linnaeus 1753. godine, a predloženi taksonomski sustav se bazirao na lako raspoznatljivim morfološkim svojstvima. Vrste pšenice su bile klasificirane prema jednostavnim karakteristikama kao što su vrijeme sjetve ili morfologija biljaka. Prema klasifikaciji po Mac Key-u organizmi su sistematizirani prema njihovim evolucijskim poveznicama, pa se tako pšenica na osnovu broja kromosoma dijeli u tri skupine - diploidna ( $2n = 14$ ), tetraploidna ( $2n = 28$ ) i heksaploidna ( $2n = 42$ ) pšenica, a prema pljevičavosti zrna na one s obuvenim ili golim zrnom (Kovačević i Rastija, 2014.).

Prema Duba i sur. (2018.) jedna od prvih domesticiranih vrsta pšenice bila je tetraploidni divlji Emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides*) koji je predak modernim tetraploidnim i heksaploidnim *Triticum* vrstama. Divlja je vrsta koja je izvorno sa Bliskog istoka, a pretpostavlja se da je domesticiran između 8500. i 10000. prije nove ere. Domesticirani Emmer spontano je hibridizirao s divljim genotipom pod nazivom kozja trava

(*Aegilops tauschii*, genom DD) te je proizveden heksplodni pir (*Triticum spelta*, genom AABBDD) (Rahman i sur., 2020.).

Divlji Emmer (*Triticum dicoccoides*) je jednogodišnja, pretežito samooplodna vrsta koja ima veliki izduženi klas slično durum pšenici. Ima dva homologna seta kromosoma (BBAA), koji su se pojavili zbog spontane hibridizacije dviju diploidnih vrsta: *Triticum urartu* (AA) te *Aegilops speltoides* (BB) (Duba i sur., 2018.).

Dva najvjerojatnija načina razvoja divljeg Emmer-a bila su: 1) međuvrsna hibridizacija i zatim udvostručavanje kromosoma u sterilnom hibridu i 2) križanje nereduciranih roditeljskih gameta koje su formirale tetraploidnu pšenicu (Rahman i sur., 2020.).

Durum pšenica (*T. turgidum* spp. *durum*) rezultat je ekstenzivne oplemenjivačke prakse koja uključuje efekt „uskog grla“ i protok gena iz *T. turgidum* ssp. *dicoccoides*. U Europu i Sjevernu Afriku uvedena je s Bliskog istoka tijekom neolitskog razdoblja, te se dalje širila do Egipta i susjednih država (Duba i sur., 2018.). Durum je alotetraploid (AABB genom) sa ukupno 28 kromosoma, koji je nastao intergenus hibridizacijom i poliploidizacijom dviju diploidnih vrsta trava: *T. urartu* (AA genom) i diploidne vrste (BB genom) srodne s *Aegilops speltoides* (Kubaláková i sur., 2005.).

Prema OECD (2006.) evolucija pšenice započela je s nepoznatim diploidom iz kojeg su nastali rodovi *Triticum* i *Aegilops* diploidnom divergencijom. Razvoj roda *Triticum* započeo je s Einkorn linijom (genom AA) koja se razvila u kultivirani oblik *T. monococcum* iz divljeg oblika *T. boeoticum*.

Linija Einkorn obuhvaća divlju vrstu *T. boeoticum* i različite kozje trave, koje su prvo bile klasificirane kao rod *Aegilops*, a nakon toga mnogi su ih genetičari klasificirali u rod *Triticum*. Jedina domesticirana vrsta u ovoj grupi je diploidni Einkorn (*T. monococcum*) (OECD, 2006.).

Linija Emmer uključuje samo tetraploidne hibride s genomom AABB. Kultivirani oblik *T. dicoccon* se razvio od divljeg oblika *T. dicoccoides* (OECD, 2006.).

Kod linije Spelta pretpostavlja se da genom A izvorno potječe iz Einkorna (*T. monococcum*), a genom D od kozje trave (*T. tauschii* = *Ae. squarrosa* = *Ae. tauschii*). Podrijetlo genoma B još uvijek je nejasno, ali postoji pretpostavka da pripada potomcima ili precima *Ae. speltoides* (OECD, 2006.).

## 2.2. Agroekološki uvjeti proizvodnje pšenice

Pšenica ima određene potrebe prema agroekološkim uvjetima, a prinos zrna i njegova kvaliteta ovise o tome u kojoj su mjeri ti uvjeti tijekom vegetacije bili zadovoljeni. Najpovoljnija temperatura za klijanje i nicanje pšenice je 14-20°C. Pri takvim temperaturama period od sjetve do nicanja traje 5-7 dana. Kod temperature 7-8°C pšenica niče za 17-20 dana, a pri nižim temperaturama klijanje i nicanje je još sporije. Kad pšenica razvije 2-3 lista, ako je dobro ishranjena i ukorijenjena te je prošla period kaljenja, može podnijeti temperature i do -25°C, a prekrivena snježnim pokrivačem i niže (<https://www.savjetodavna.hr/>).

Fotoperiodizam predstavlja reakciju biljaka na duljinu dnevnog osvjetljenja promjenom intenziteta i brzine vegetativnog i generativnog razvoja. Značajna je pojava za reprodukciju kod mnogih viših biljaka (<https://www.enciklopedija.hr/>). Pšenica pripada skupini biljaka dugog dana, te joj je potrebno više od 14 sati dnevnog osvjetljenja da bi donijela plod. Svjetlosni stadij poklapa se s početkom i prvom polovicom vlatanja, te se tada razvijaju začeci koljenaca klasa (Rapčan, 2014.).

Za bolji prinos i kvalitetu zrna, pšenica zahtjeva od 500 do 700 mm pravilno raspoređenih oborina, a količina vlage kritična je u razdoblju vlatanja i formiranja zrna (<https://www.savjetodavna.hr/>). Optimalna vlažnost tla trebala bi iznositi oko 65-80 % poljskog vodnog kapaciteta, dok bi minimalna vlažnost tijekom klijanja trebala biti ispod 30 % punog vodnog kapaciteta (Kovačević i Rastija, 2014.). Nicanje je prva kritična faza u kojemu pšenica traži određenu količinu vode, a ukoliko je u ovoj fazi nema nicanje će biti neujednačeno. Druga kritična faza u pogledu vode je kraj busanja i početak vlatanja. U tome periodu dolazi do formiranja klasića, pa nedostatak vode u ovoj fazi dovodi do smanjenja duljine klasa te smanjenja broja klasića. U prvih nekoliko dana vlatanja nedostatak vode rezultira smanjenim brojem zrna na klasu, a u fazi klasanja i cvatnje dolazi do povećanja broja neplodnih klasića (Rapčan, 2014.).

Sam transpiracijski koeficijent pšenice ovisi o nekoliko čimbenika kao što su zasićenost tla vodom, reakcija tla, temperatura, gnojidba, kultivar i fenofaza te varira u rasponu od 235 do 755 (Kovačević i Rastija, 2014.).

Pšenica može rasti na mnogim vrstama tla, ali najbolje uspijeva na dobro dreniranim ilovastim ili glinenim tlima. Dvije velike prijetnje za rast pšenice su loša drenaža tla i visoka razina kiselosti tla. Velika količina aluminija koja se obično nalazi u kiselim tlima otrovna

je za pšenicu. Neki od elemenata neophodnih za rast koje osigurava tlo su dušik, fosfor, kalij, sumpor, cink, bakar, bor, mangan, željezo i magnezij. Od njih je dušik potreban u najvećoj količini jer je sastavni dio svih bjelančevina u biljci. Pšenici je potrebno i mnogo fosfora, koji većinom završava u zrnu. Ostali nutrijenti iz tla potrebni su u manjim količinama, ali svi moraju biti prisutni za zdrav rast i boju biljaka (<https://kids.britannica.com/>).

Prema Vitosh (1994.) pšenica raste najbolje kada je pH između 6 i 7. Uzgoj pšenice na pH ispod 6 najčešće dovodi do nedostatka magnezija, sporije mineralizacije organskog dušika, smanjenja dostupnosti fosfora, te povećanja mogućnosti trovanja aluminijem i magnezijem. Ako se pšenica uzgaja na tlima sa pH većim od 7 može doći do manjka mangana.

### 2.3. Stres kod pšenice

Prema Grime (2006.) stres se definira kao fenomen koji ograničava produktivnost usjeva te smanjuje biomasu. Biljke se neumorno susreću sa širokim spektrom ekoloških stresova koji ograničavaju poljoprivrednu produktivnost, a otpornost na stres je značajan preduvjet za uspješnu proizvodnju pšenice u sve zahtjevnijim agroekološkim uvjetima. Ako stres prijeđe granicu tolerancije biljke, posljedice mogu dovesti do smanjenja rasta, smanjenja prinosa te trajnog oštećenja.

Faktori stresa uglavnom su podijeljeni u dvije kategorije: biotski i abiotski stres. Biotski stres potječe iz interakcije između organizama, dok abiotski stres ovisi o interakciji između organizama i okoliša. Biotski stresovi prvenstveno su uzrokovani različitim patogenima (gljivičnim, virusnim, bakterijskim) koji mogu dovesti do truljenja biljke te težih oštećenja. Abiotski stres kao što je suša, slanost tla, visoke i niske temperature te nedostatak hranjivih tvari primarni su okolišni čimbenici koji negativno utječu na proizvodnju pšenice u svijetu. Abiotski stres može trajno ograničiti izbor usjeva i poljoprivrednu proizvodnju na velikim poljoprivrednim površinama, pa je tako kontroliranje abiotskih stresova jedan od najvažnijih izazova s kojima se suočava poljoprivreda ([http://tlo-i-biljka.eu /](http://tlo-i-biljka.eu/)).

Među različitim vrstama abiotskog stresa koji utječu na pšenicu najčešći su visoke temperature, vlaga, suša i slanost tla (Raza i sur., 2019.).

Pšenica je jedna od biljnih vrsta koja je izrazito osjetljiva na toplinski stres, a pogotovo u određenim fazama fiziološkog rasta. Toplinski stres uzrokovan visokim temperaturama se opisuje kao porast temperature zraka iznad određenog praga u određenome vremenskom

razdoblju dovoljnom da napravi nepopravljivu štetu na usjevu. Stres uzrokovan visokim temperatura djeluje na klijanje zrna i razvoj biljke. Negativno utječe na stanice embrija, a nepravilno klijanje može utjecati na rast biljke. Visoke temperature negativno djeluju na produktivnost smanjenjem prinosa zrna (53,57 %) (Poudel i Poudel, 2020.).

Prema Zhao i sur. (2017.) za svako povećanje temperature od 1°C dolazi do globalnog gubitka prinosa od  $6,0 \pm 2,9$  %.

Prema Akter i Islam (2017.) temperatura okoline od oko 45°C ozbiljno utječe na embrionalne stanice pšenice što smanjuje prinos uslijed smanjenog klijanja i nicanja. Toplinski stres uglavnom utječe na meristem biljke, potječe starenje biljke te otpadanje listova pri čemu dolazi do smanjenja postotka fotosinteze. Temperature od 28°C do 30°C mogu promijeniti trajanje rasta smanjujući klijanje sjemena i rokove zrelosti.

Prema Dahakal i sur. (2021.) povišena temperatura uzrokuje promjenu strukture kloroplasta, smanjenje sadržaja klorofila, a enzimi kloroplasta se inaktiviraju što može dovesti do smanjenja fotosinteze usjeva.

Ekstremni pad temperature ispod optimalnih stupnjeva uzrokuje teška mehanička i fizička oštećenja biljaka. Niske temperature uzrokuju stvaranje pritiska u staničnim stijenkama što rezultira teškim staničnim poremećajima (Mosa i sur., 2017.).

Fuller i sur. (2007.) ispitivali su tolerantnost pšenice na niske temperature tijekom faze nicanja klasa. Utvrdili su da pšenica dobro podnosi temperature do - 5°C, ali sve niže od toga dovodi to teških oštećenja biljke.

Sušni stres manifestira se nedostatkom vode što uzrokuje značajne promjene morfoloških, biokemijskih, fizioloških i morfoloških svojstava. Sve ove izmjene otežavaju rast biljaka u svim životnim fazama, a jačina negativnih učinaka ovisi o specifičnosti stresa i lokalnoj klimi. Temperaturni stres dovodi do sterilnosti polena, smanjenja asimilacije ugljikova dioksida i poboljšanja fotorespiracije (Dahakal i sur., 2021.).

Slanost tla ogromna je ekološka prijetnja svjetskoj proizvodnji hrane i održivosti poljoprivrede. Pripada skupini abiotskih stresova koji smanjuju rast i produktivnost većine usjeva, a pšenica nije iznimka. Solni stres je rezultat prisutnosti prekomjernih količina soli topljivih u vodi, poput natrijeva sulfata ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), natrijeva nitrata ( $\text{NaNO}_3$ ), natrijeva klorida ( $\text{NaCl}$ ), natrijevih karbonata ( $\text{NaHCO}_3$  i  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), kalijeva sulfata ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ), kalcijeva sulfata ( $\text{CaSO}_4$ ), magnezijeva sulfata ( $\text{MgSO}_4$ ) i magnezijeva klorida ( $\text{MgCl}_2$ ). Većina ovih

soli važne su za biljku i pomažu pri njezinom rastu i metabolizmu, međutim mogu postati toksični ukoliko su prisutni u velikim koncentracijama (Mosa i sur., 2017.).

Slanost tla može izazvati ionski i osmotski stres. Kao posljedica tih primarnih učinaka često dolazi i do oksidativnog stresa. Solni stres može dovesti do akumulacije slobodnih radikala kisika (ROS) koji su štetni za biljnu stanicu pri visokim koncentracijama i uzrokuju oksidativna oštećenja membranskih lipida, proteina i nukleinskih kiselina (Mosa i sur., 2017.).

Solni stres povezan je sa smanjenim postotkom klijavosti, smanjenim rastom, promijenjenim reproduktivnim ponašanjem, promijenjenom enzimskom aktivnošću, poremećenom fotosintezom, oštećenjem strukture staničnih komponenata, hormonskom neravnotežom i oksidacijskim stresom (Hasanuzzaman i sur., 2017). Pri niskim koncentracijama soli prinosi su blago pogođeni ili uopće nisu pogođeni. Kako se koncentracije povećavaju, prinosi se kreću prema nuli, jer većina biljaka, uključujući većinu usjeva biljaka, neće rasti u uvjetima visoke koncentracije soli (Carrillo i sur., 2011.).

Pšenica je kultura koja donekle podnosi solni stres, a same posljedice ovisi od faze rasta do jačine stresa. Klijanje je jedan od najvažnijih procesa u životnom ciklusu biljaka, a solni stres u ovoj fazi uvelike utječe na brzinu klijanja. Veće koncentracije soli u ovoj fazi stvaraju niži osmotski potencijal klijavog medija koji sprječava imbibiciju vode sjemena, stvara neravnotežu u normalnim aktivnostima enzima odgovornih za metabolizam nukleinskih kiselina i proteina, uzrokuje hormonalnu neravnotežu i pogoršava zalihe hranjivih tvari za sjemenku. Solni stres značajno utječe na pšenicu u fazi rasta. Duljina korijena i izdanka, visina biljaka, površina lista i broj klasića samo su neki od parametara na koje utječe solni stres (Hasanuzzaman i sur., 2017).

Kalhoru i sur. (2016.) istraživali su utjecaj solnog stresa na rast pšenice (*Triticum aestivum* L.), gdje je tlo umjetno zaslanjeno određenim koncentracijama soli. Uočeno je da je povećanjem saliniteta došlo do smanjenja visine biljaka, duljine klasa, broja klasića i mase 1000 zrna.

Datta i sur. (2009.) proveli su istraživanje na pet genotipova pšenice pri različitim koncentracijama soli (25, 50, 75, 100, 125, 150 mM NaCl). Zabilježili su trend smanjenja sadržaja bjelančevina u listovima s povećanjem koncentracije soli. Zabilježeno je postupno smanjenje ukupne razine klorofila u lišću u usporedbi s kontrolom kod svih genotipova, te povećana razina akumulacije prolina.

Tolerancija na solni stres poligeno je svojstvo tj. regulirano je s većim brojem gena. Izbacivanje  $\text{Na}^+$ , zadržavanje citosolnog  $\text{K}^+$  i održavanje  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  homeostaze, osmotsko podešavanje, učinkovitost transpiracije i poboljšani antioksidativni obrambeni sustav su vitalni za bolje performanse biljaka pod solnim stresom (Hasanuzzaman i sur., 2017.).

Usvojeni su različiti pristupi za poboljšavanje performansi biljaka pod solnim stresom: introdukcija gena, selekcija kvalitetnijih genotipova te poboljšavanje usjeva konvencionalnim metodama oplemenjivanja (Hasanuzzaman i sur., 2017.).

Prema Colmer i sur. (2006.) postoje značajne varijacije u toleranciji na solni stres među pripadnicima *Triticeae*, a porodica čak sadrži i određeni broj halofita. Halofiti pokazuju određenu mogućnost izbacivanja  $\text{Na}^+$ , a u nekim slučajevima i izbacivanja  $\text{Cl}^-$  čak i pri relativno većim koncentracijama soli. Autori navode da postoji mogućnost hibridizacije nekoliko divljih vrsta *Triticeae* s durum i krušnom pšenicom.



### 3. MATERIJAL I METODE

#### 3.1. Biljni materijal

Istraživanje je provedeno na sedam genotipova pšenice, odnosno sedam različitih vrsta (podvrsta) roda *Triticum*. Od sedam genotipova pšenice četiri su heksaploidna (*T. spelta*, *T. sphaerococcum*, *T. compactum*, *T. aestivum*), dva tetraploidna (*T. dicoccoides*, *T. durum*), a jedan je diploidan (*T. monococum*) (Tablica 1). Za pokus je korišteno sjeme požeto u istoj vegetacijskoj godini izabrano na temelju veličine i uniformnosti.

Tablica 1. Genotipovi korišteni u istraživanju

Oznaka genotipa	Naziv	Broj kromosoma
1	<i>T. monococum</i>	Diploid 2n=14
2	<i>T. dicoccoides</i>	Tetraploid 2n=28
3	<i>T. spelta</i>	Heksaploid 2n=42
4	<i>T. durum</i>	Tetraploid 2n=28
5	<i>T. sphaerococcum</i>	Heksaploid 2n=42
6	<i>T. compactum</i>	Heksaploid 2n=42
7	<i>T. aestivum</i>	Heksaploid 2n=42

#### 3.2. Laboratorijski pokus

Pokus je postavljen sa sedam genotipova i četiri tretmana u tri ponavljanja. Tretmani su se sastojali od tri različite koncentracije NaCl (50 mM NaCl, 100 mM NaCl, 150 mM NaCl), te kontrole za koju je korištena destilirana voda (Tablica 2). Korišteno je 50 zrna svakog genotipa po tretmanu i repeticiji.

Tablica 2. Opis i oznake tretmana korištenih u istraživanju

Oznaka tretmana	Opis
K	kontrola (destilirana voda)
A	50 mM NaCl
B	100 mM NaCl
C	150 mM NaCl

### 3.2.1. Priprema i sterilizacija sjemena

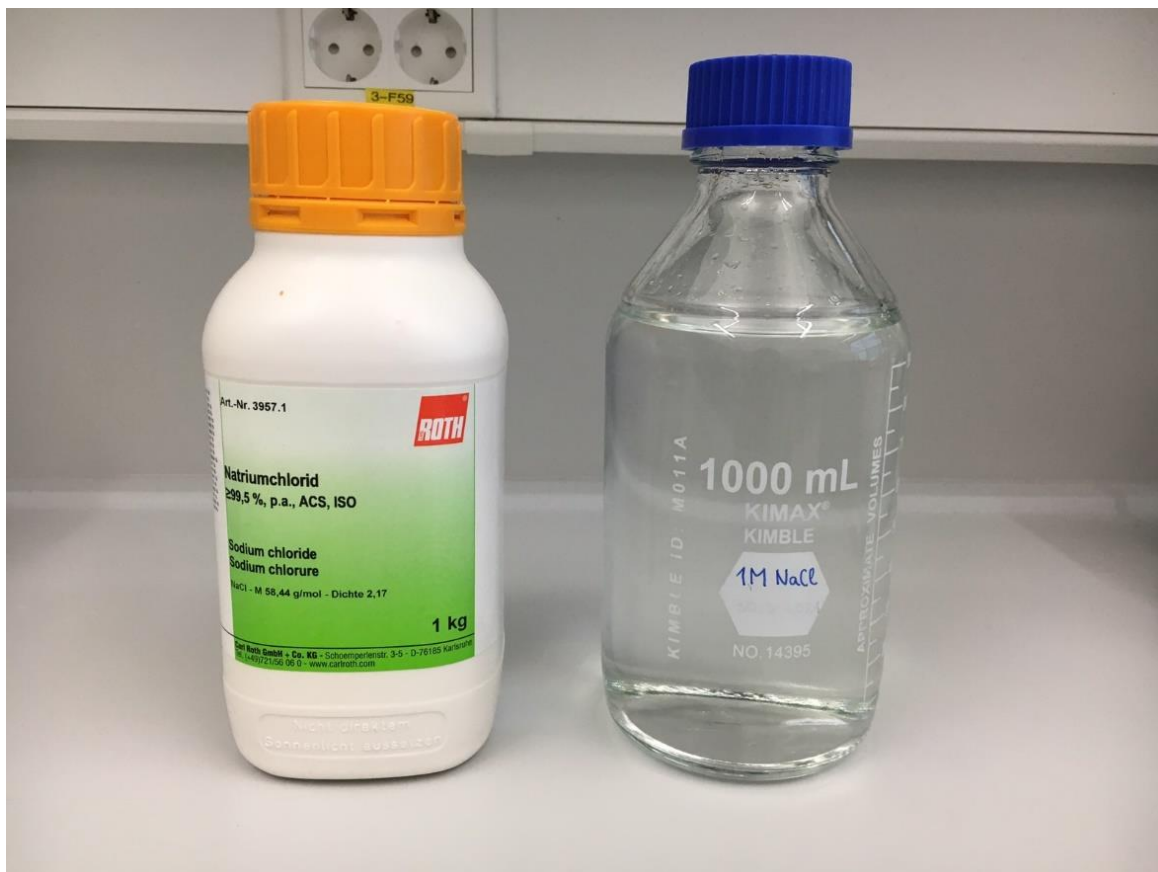
Prije pokusa sjeme je pet dana bilo na temperaturi od 4°C kako bi se prekinula dormantnost sjemena. Sjeme je prije naklijavanja dezinficirano 1 % otopinom natrijevog hipoklorita (NaOCl) u trajanju od 3 min, nakon čega je tri puta isprano destiliranom vodom i pušteno da se osuši na zraku (Slika 2).



Slika 2. Priprema sjemena za sterilizaciju (foto: T. Halt)

### 3.2.2. Priprema NaCl otopina

Kako bi se pripremile NaCl otopine različite koncentracije prvo je bilo potrebno pripremiti 1M NaCl, koji je dobiven otapanjem 58,44 g NaCl u 1L destilirane vode (Slika 3).

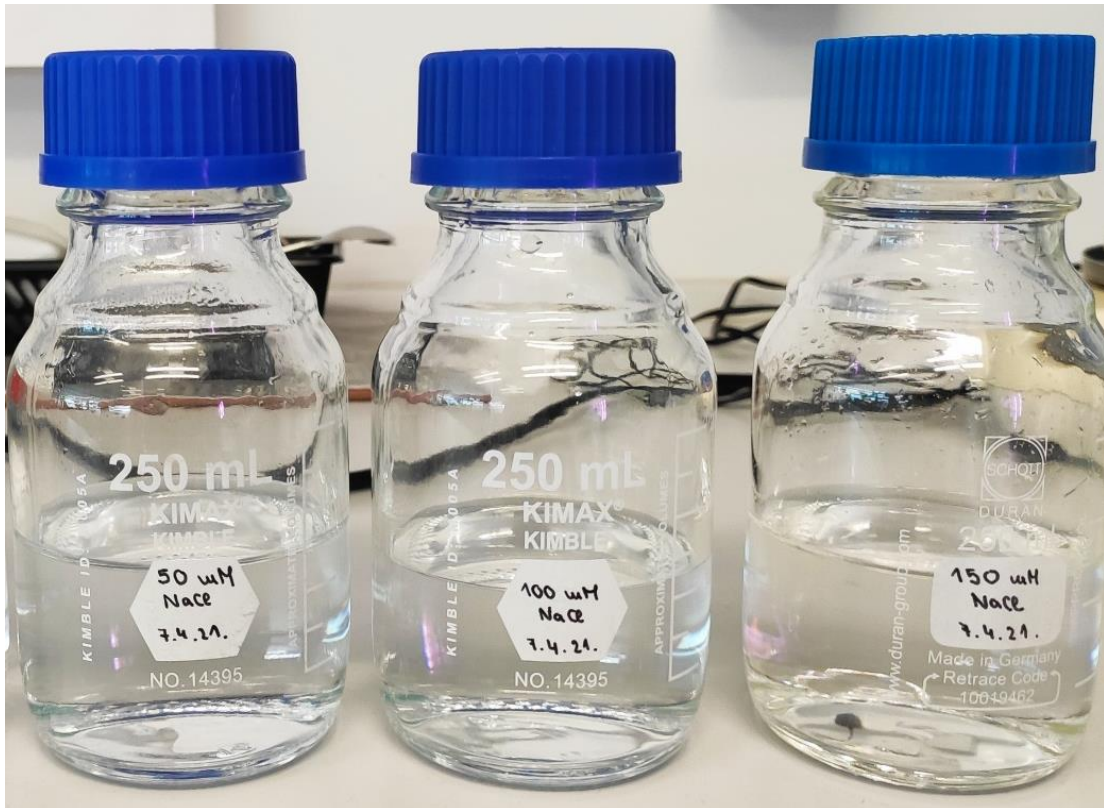


Slika 3. Priprema otopine 1M NaCl

(foto: T. Halt)

Iz 1M NaCl pripremljene su otopine različitih koncentracija (Slika 4) na sljedeći način:

- 50 mM NaCl (za 2000 ml) = 100 ml 1M NaCl + 1900 ml H<sub>2</sub>O
- 100 mM NaCl (za 2000 ml) = 200 ml 1M NaCl + 1800 ml H<sub>2</sub>O
- 150 mM NaCl (za 2000 ml) = 300 ml 1M NaCl + 1700 ml H<sub>2</sub>O

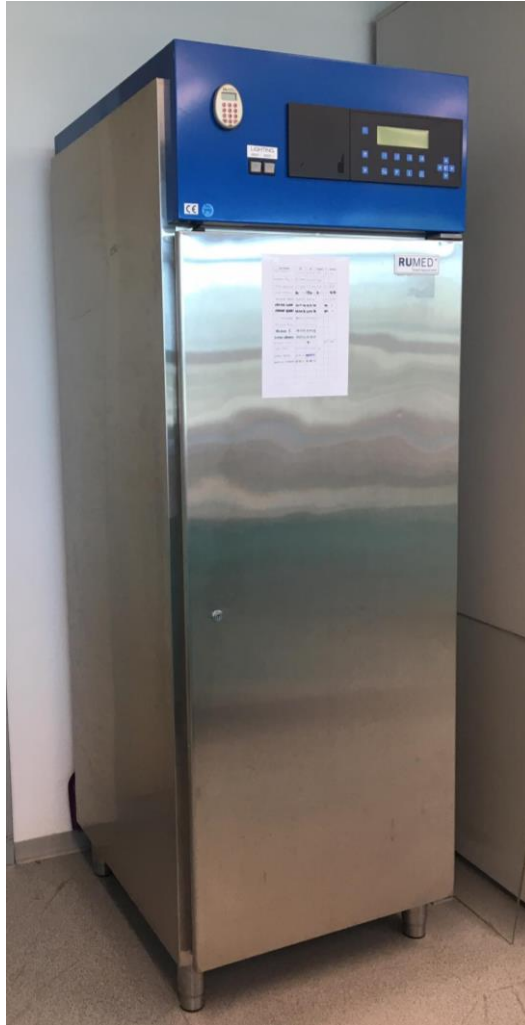


Slika 4. Otopine NaCl korištene u istraživanju

(foto: T. Halt)

### 3.2.3. Naklijavanje sjemena

Za naklijavanje sjemena korištena je metoda rolanog filter papira (Munktell, 580 x 580 mm, 80 g/qm). Svaki filter papir namočen je sa 66 mL otopine (NaCl tretmani) ili destilirane vode (kontrola). Nakon što je na papir postavljeno 50 zrna papir je zarolan i stavljen u označenu najlonsku vrećicu kako ne bi došlo do gubitka vlažnosti. Rolani filter papiri sa sjemenom nasumično su postavljeni u klima komoru (Rubarth Apparate, Cooled Incubator Type 3501) u okomitom položaju, na temperaturu od 22°C bez svjetlosti (Slika 5).



Slika 5. Klima komora korištena za naklijavanje sjemena  
(foto: T. Halt)

#### 3.2.4. Mjerenje ispitivanih svojstava

Tijekom istraživanja određena su sljedeća svojstva:

- energija klijanja (%)
- ukupna klijavost (%)
- duljina glavnog korjenčića (mm)
- duljina izdanka (mm)
- svježa masa biljčica (g)
- suha masa biljčica (g)

Nakon četiri dana određena je energija klijanja (Slika 6). Kao početak klijanja uzimala se pojava koleoptile duljine minimalno 2 mm. Nakon osam dana određena je ukupna klijavost. Osmi dan izmjerena su i morfološka svojstva klijanaca (na uzorku od 20 nasumično odabranih biljaka). Pomoću ravnala izmjerene su duljina glavnog korjenčića i duljina izdanka. Svježa masa biljčica određena je pomoću precizne laboratorijske vage.



Slika 6. Određivanje energije klijanja

(foto: T. Halt)

Kako bi se odredila suha masa biljčica, uzorci su stavljeni u sušionik (Instrumentaria d.o.o., Zagreb, Hrvatska; ST-05) na temperaturu od 75°C gdje su sušeni do konstantne mase, nakon čega su izvagani pomoću precizne laboratorijske vage (Slika 7).



Slika 7. Sušenje uzoraka na temperaturi od 75°C

(foto: T. Halt)

### 3.3. Statistička obrada podataka

Na prikupljenim podacima provedena je statistička obrada primjenom računalnih programa Excel i SAS® Enterprise Guide®. Izračunate su mjere opisne statistike te je provedena dvosmjerna analiza varijance, kao i Post hoc test (LSD test).

#### 4. REZULTATI

U Tablici 3 prikazane su mjere opisne statistike za ispitivana svojstva klijavosti po pojedinim genotipovima.

Najmanja prosječna vrijednost za svojstvo energije klijanja zabilježena je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najveća kod genotipova 3 (*T. spelta*) i 7 (*T. aestivum*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo energije klijanja zabilježen je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najmanji kod genotipa 5 (*T. sphaerococcum*). Za svojstvo ukupne klijavosti najmanja prosječna vrijednost zabilježena je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najveća kod genotipa 3 (*T. spelta*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo ukupne klijavosti zabilježen je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najmanji kod genotipa 3 (*T. spelta*).

Za svojstvo duljine korjenčića najmanja prosječna vrijednost zabilježena je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najveća kod genotipa 3 (*T. spelta*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo duljine korjenčića zabilježen je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najmanji kod genotipa 3 (*T. spelta*). Najmanja prosječna vrijednost za svojstvo duljine izdanka zabilježena je kod genotipa 7 (*T. aestivum*), a najveća kod genotipa 2 (*T. dicoccoides*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo duljine izdanka zabilježen je kod genotipa 4 (*T. durum*), a najmanji kod genotipa 2 (*T. dicoccoides*).

Najmanja prosječna vrijednost za svojstvo svježe mase biljčica zabilježena je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najveća kod genotipa 3 (*T. spelta*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo svježe mase biljčica zabilježen je kod genotipa 6 (*T. compactum*), a najmanji kod genotipa 3 (*T. spelta*). Najmanja prosječna vrijednost za svojstvo suhe mase biljčica zabilježena je kod genotipa 2 (*T. dicoccoides*), a najveća kod genotipa 4 (*T. durum*). Najveći koeficijent varijacije za svojstvo suhe mase biljčica zabilježen je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najmanji kod genotipa 5 (*T. sphaerococcum*).



Tablica 3. Mjere opisne statistike ispitivanih svojstava

Svojstvo	Oznaka genotipa	Srednja vrijednost	Standardna devijacija	Varijanca	Minimum	Maximum	Koeficijent varijacije (%)
Energija klijanja (%)	1	76,33	16,00	255,88	44,00	94,00	20,96
	2	84,33	10,68	114,06	64,00	94,00	12,66
	3	97,00	3,77	14,18	90,00	100,00	3,88
	4	93,00	9,09	82,55	70,00	100,00	9,77
	5	95,83	2,33	5,42	92,00	100,00	2,43
	6	94,83	7,00	49,06	76,00	100,00	7,39
	7	97,00	2,63	6,91	92,00	100,00	2,71
Ukupna klijavost (%)	1	82,83	12,49	155,97	60,00	98,00	15,08
	2	91,33	5,99	35,88	76,00	96,00	6,56
	3	99,17	1,34	1,79	96,00	100,00	1,35
	4	98,50	1,93	3,73	94,00	100,00	1,96
	5	98,67	1,78	3,15	94,00	100,00	1,80
	6	99,00	1,35	1,82	96,00	100,00	1,36
	7	98,67	1,56	2,42	96,00	100,00	1,58
Duljina korjenčica (mm)	1	92,75	30,31	918,72	49,50	138,10	32,68
	2	109,55	16,04	257,33	90,90	142,00	14,64
	3	142,98	18,55	344,22	110,20	166,25	12,98
	4	141,35	38,12	1453,44	89,70	195,50	26,97
	5	100,03	17,47	305,11	70,05	124,45	17,46
	6	122,05	28,50	812,35	74,35	168,05	23,35
	7	133,13	37,51	1407,25	85,75	187,75	28,18
Duljina izdanka (mm)	1	76,88	28,21	795,57	27,65	109,10	36,69
	2	105,89	21,95	481,72	75,20	133,75	20,73
	3	100,30	24,37	594,14	68,20	132,00	24,30
	4	68,10	26,78	717,43	32,40	103,75	39,33
	5	65,06	17,75	315,13	38,40	87,75	27,29
	6	89,83	29,82	889,13	43,70	131,00	33,19
	7	61,22	18,53	343,40	35,15	90,25	30,27
Svježa masa biljčica (g)	1	2,20	0,35	0,12	1,55	2,62	15,98
	2	2,75	0,39	0,15	1,98	3,24	14,05
	3	4,30	0,41	0,17	3,56	4,89	9,56
	4	3,70	0,73	0,53	2,62	4,47	19,74
	5	2,95	0,47	0,23	2,04	3,46	16,11
	6	3,17	0,68	0,46	1,98	3,86	21,49
	7	3,28	0,45	0,20	2,53	3,86	13,80
Suha masa biljčica (g)	1	0,35	0,05	0,00	0,29	0,44	12,90
	2	0,34	0,03	0,00	0,30	0,39	8,20
	3	0,64	0,05	0,00	0,58	0,72	7,77
	4	0,71	0,05	0,00	0,63	0,79	7,54
	5	0,45	0,03	0,00	0,41	0,49	6,33
	6	0,44	0,03	0,00	0,37	0,48	7,55
	7	0,64	0,05	0,00	0,58	0,74	8,07

Analizom varijance utvrđen je statistički značajan utjecaj genotipa, tretmana i interakcije genotip x tretman na sva ispitivana svojstva. Rezultati analize varijance ispitivanih svojstava prikazani su u Tablici 4.

Tablica 4. Rezultati analize varijance ispitivanih svojstava

<b>Svojstvo</b>	<b>Izvor</b>	<b>DF</b>	<b>Sredina kvadrata</b>	<b>F vrijednost</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Energija klijanja</b>	Genotip	6	746,7143	40,94	<.0001
	Tretman	3	938,2222	51,44	<.0001
	G x T	18	109,5926	6,01	<.0001
<b>Ukupna klijavost</b>	Genotip	6	465,0794	56,13	<.0001
	Tretman	3	172,1111	20,77	<.0001
	G x T	18	70,6667	8,53	<.0001
<b>Duljina korjenčića</b>	Genotip	6	4821,2134	67,46	<.0001
	Tretman	3	15454,2410	216,25	<.0001
	G x T	18	562,1058	7,87	<.0001
<b>Duljina izdanka</b>	Genotip	6	3797,3685	71,91	<.0001
	Tretman	3	13340,1107	252,62	<.0001
	G x T	18	140,2345	2,66	0,0028
<b>Svježa masa biljčica</b>	Genotip	6	5,4899	180,53	<.0001
	Tretman	3	5,5871	183,72	<.0001
	G x T	18	0,1172	3,86	<.0001
<b>Suha masa biljčica</b>	Genotip	6	0,2799	388,04	<.0001
	Tretman	3	0,0242	33,55	<.0001
	G x T	18	0,0016	2,16	0,0145

U Tablici 5 prikazani su rezultati Post-hoc (LSD) testa za efekt genotipa. Za ispitivano svojstvo energije klijanja nisu utvrđene statistički značajne razlike između genotipova 3, 5, 6 i 7 te genotipova 4, 5 i 6, dok su se genotipovi 1 i 2 značajno razlikovali od svih ostalih. Za svojstvo ukupne klijavosti nije utvrđena statistički značajna razlika između genotipova 3, 4, 5, 6 i 7, dok su se genotipovi 1 i 2 značajno razlikovali od svih ostalih. Za svojstvo duljine korjenčića nisu utvrđene statistički značajne razlike samo između genotipova 3 i 4. Za ispitivano svojstvo duljine izdanka nisu utvrđene statistički značajne razlike između

genotipova 2 i 3, 4 i 5 te 5 i 7. Genotipovi 1 i 6 značajno su se razlikovali od svih ostalih u pogledu duljine izdanka. Za svojstvo svježe mase biljčica nisu utvrđene statistički značajne razlike samo između genotipova 6 i 7. Za svojstvo suhe mase biljčica nisu utvrđene statistički značajne razlike između genotipova 1 i 2, 3 i 7, 5 i 6. Genotip 4 značajno se razlikovao od svih ostalih u pogledu suhe mase biljčica.

Tablica 5. Rezultati Post-hoc testa (LSD) za efekt genotipa

Oznaka genotipa	Energija klijanja	Ukupna klijavost	Duljina korjenčića	Duljina izdanka	Svježa masa biljčica	Suha masa biljčica
1	76,33 <sup>d</sup>	82,83 <sup>c</sup>	92,75 <sup>f</sup>	76,88 <sup>c</sup>	2,20 <sup>f</sup>	0,35 <sup>d</sup>
2	84,33 <sup>c</sup>	91,33 <sup>b</sup>	109,55 <sup>d</sup>	105,89 <sup>a</sup>	2,75 <sup>e</sup>	0,34 <sup>d</sup>
3	97,00 <sup>a</sup>	99,17 <sup>a</sup>	142,98 <sup>a</sup>	100,30 <sup>a</sup>	4,30 <sup>a</sup>	0,64 <sup>b</sup>
4	93,00 <sup>b</sup>	98,50 <sup>a</sup>	141,35 <sup>a</sup>	68,10 <sup>d</sup>	3,70 <sup>b</sup>	0,71 <sup>a</sup>
5	95,83 <sup>ab</sup>	98,67 <sup>a</sup>	100,03 <sup>e</sup>	65,06 <sup>de</sup>	2,95 <sup>d</sup>	0,45 <sup>c</sup>
6	94,83 <sup>ab</sup>	99,00 <sup>a</sup>	122,05 <sup>c</sup>	89,83 <sup>b</sup>	3,17 <sup>c</sup>	0,44 <sup>c</sup>
7	97,00 <sup>a</sup>	98,67 <sup>a</sup>	133,13 <sup>b</sup>	61,22 <sup>e</sup>	3,28 <sup>c</sup>	0,64 <sup>b</sup>

\* srednje vrijednosti koje se statistički značajno razlikuju ( $p < 0,05$ ) prikazane su različitim slovima

U Tablici 6 prikazani su rezultati Post-hoc testa (LSD) za efekt tretmana. Za svojstvo energije klijanja kao i svojstvo ukupne klijavosti nisu utvrđene statistički značajne razlike između tretmana A i B, dok su se tretmani K i C značajno razlikovali od svih ostalih. Za svojstvo duljine korjenčića i duljine izdanka utvrđene su statistički značajne razlike između svih ispitivanih tretmana. Kod svojstva svježe mase biljčica nisu utvrđene statistički značajne razlike između tretmana K i A, dok su se tretmani B i C značajno razlikovali od svih ostalih. Kod suhe mase biljčica nisu utvrđene statistički značajne razlike između tretmana B i C, dok su se tretmani K i A značajno razlikovali od svih ostalih ispitivanih tretmana.

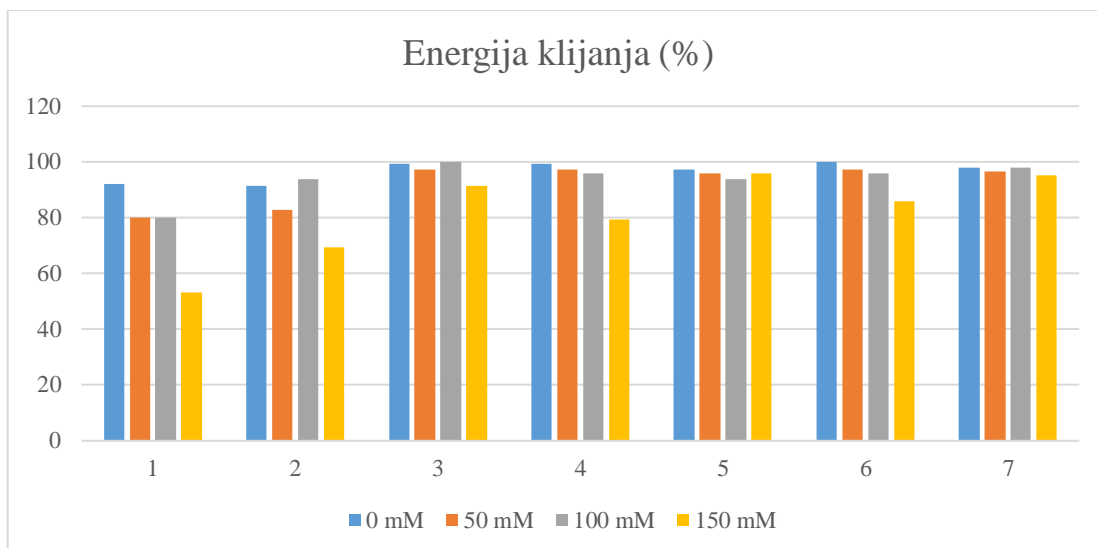
Tablica 6. Rezultati Post-hoc testa (LSD) za efekt tretmana

Oznaka tretmana	Energija klijanja	Ukupna klijavost	Duljina korjenčića	Duljina izdanka	Svježa masa biljčica	Suha masa biljčica
<b>K</b>	96,76 <sup>a</sup>	98,19 <sup>a</sup>	150,06 <sup>a</sup>	104,7 <sup>a</sup>	3,60 <sup>a</sup>	0,47 <sup>c</sup>
<b>A</b>	92,48 <sup>b</sup>	96,29 <sup>b</sup>	132,44 <sup>b</sup>	96,54 <sup>b</sup>	3,52 <sup>a</sup>	0,50 <sup>b</sup>
<b>B</b>	94,00 <sup>b</sup>	95,90 <sup>b</sup>	111,32 <sup>c</sup>	74,47 <sup>c</sup>	3,18 <sup>b</sup>	0,53 <sup>a</sup>
<b>C</b>	81,52 <sup>c</sup>	91,43 <sup>c</sup>	87,23 <sup>d</sup>	48,45 <sup>d</sup>	2,47 <sup>c</sup>	0,55 <sup>a</sup>

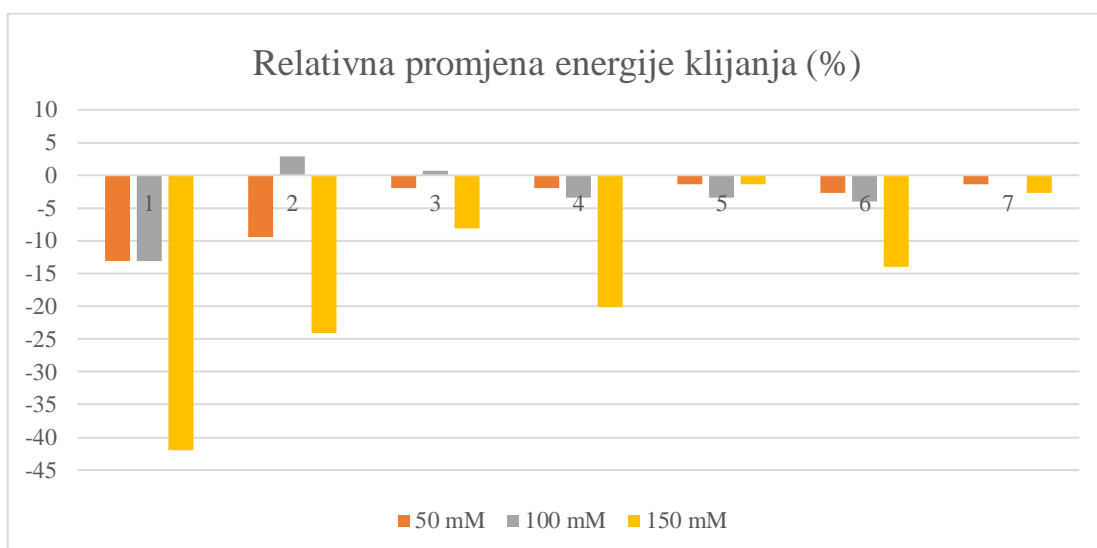
\* srednje vrijednosti koje se statistički značajno razlikuju ( $p < 0,05$ ) prikazane su različitim slovima

Na Grafikonu 1 prikazan je utjecaj različitih koncentracija NaCl na energiju klijanja ispitivanih genotipova. Iz Grafikona je vidljivo da je postotak energije klijanja svih genotipova bio najveći pri koncentraciji 0 mM NaCl, izuzev genotipa 2 (*T. dicoccoides*), koji je imao najveću energiju klijanja pri koncentraciji 100 mM NaCl. Svi genotipovi, osim genotipa 5 (*T. sphaerococcum*), imali su najmanju energiju klijanja pri koncentraciji NaCl od 150 mM. Na Grafikonu 2 prikazan je utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu energije klijanja. Iz istoga je vidljivo da je pri koncentraciji NaCl od 150 mM genotip 1 (*T. monococum*) imao najveći relativni pad vrijednosti energije klijanja, a slijedi ga genotip 2 (*T. dicoccoides*). Kod genotipova 5 (*T. sphaerococcum*) i 7 (*T. aestivum*) uočen je najmanji pad energije klijanja pri istoj koncentraciji. Koncentracija NaCl od 100 mM imala je stimulativan učinak na energiju klijanja genotipa 2 (*T. dicoccoides*).

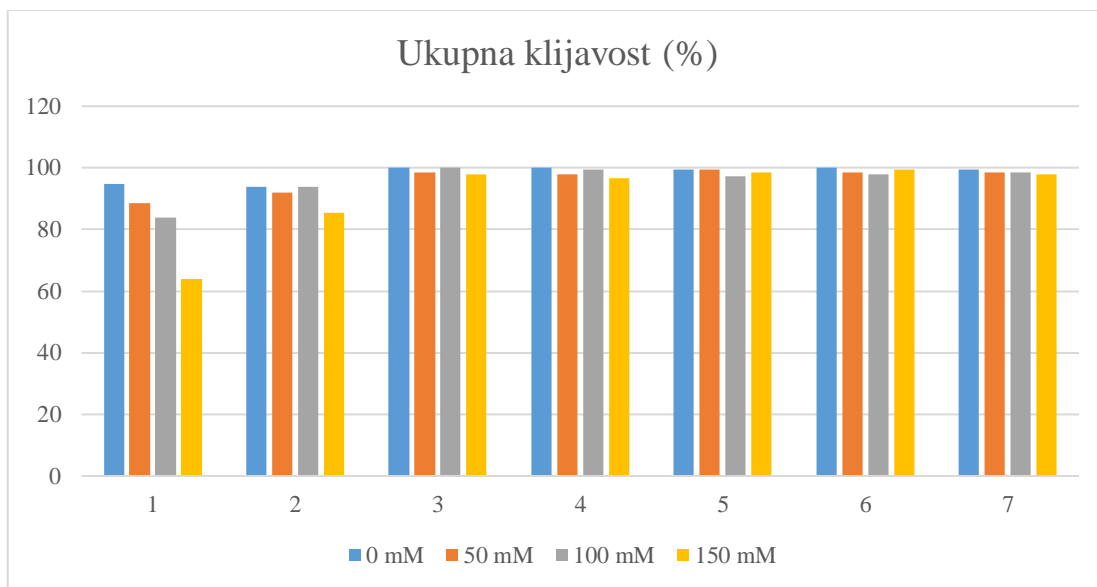
Grafikon 3 prikazuje utjecaj različitih koncentracija NaCl na ukupnu klijavost ispitivanih genotipova. Iz njega je vidljivo da je najmanje vrijednosti ukupne klijavosti, pri svim koncentracijama NaCl, imao genotip 1 (*T. monococum*), a nakon njega genotip 2 (*T. dicoccoides*). Za genotip 1 (*T. monococum*) utvrđeno je najveće relativno smanjenje ukupne klijavosti, pri koncentraciji NaCl od 150 mM (Grafikon 4). Najmanje smanjenje ukupne klijavosti, pri istoj koncentraciji, imali su genotipovi 5 (*T. sphaerococcum*) i 6 (*T. compactum*).



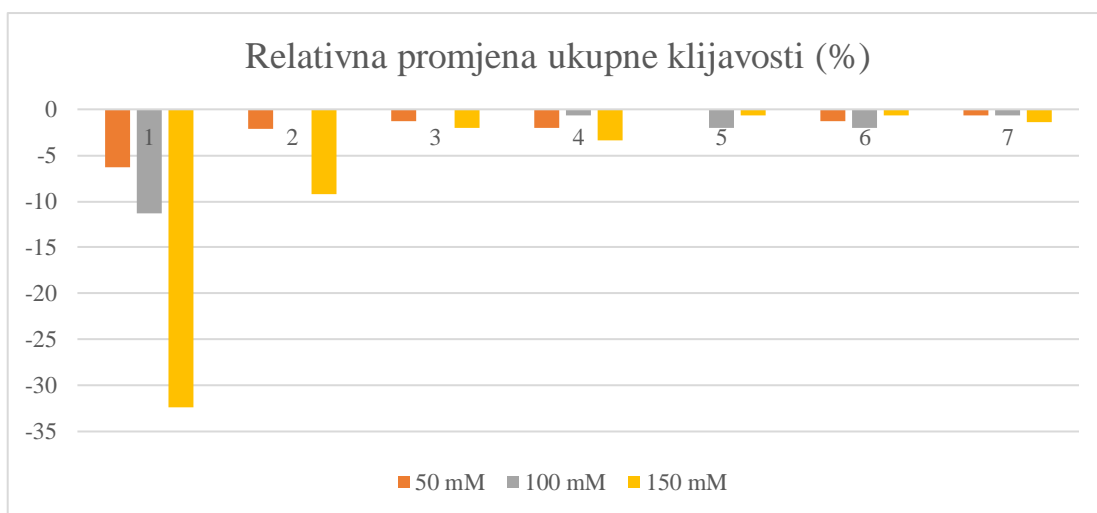
Grafikon 1. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na energiju klijanja ispitivanih genotipova



Grafikon 2. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu energije klijanja

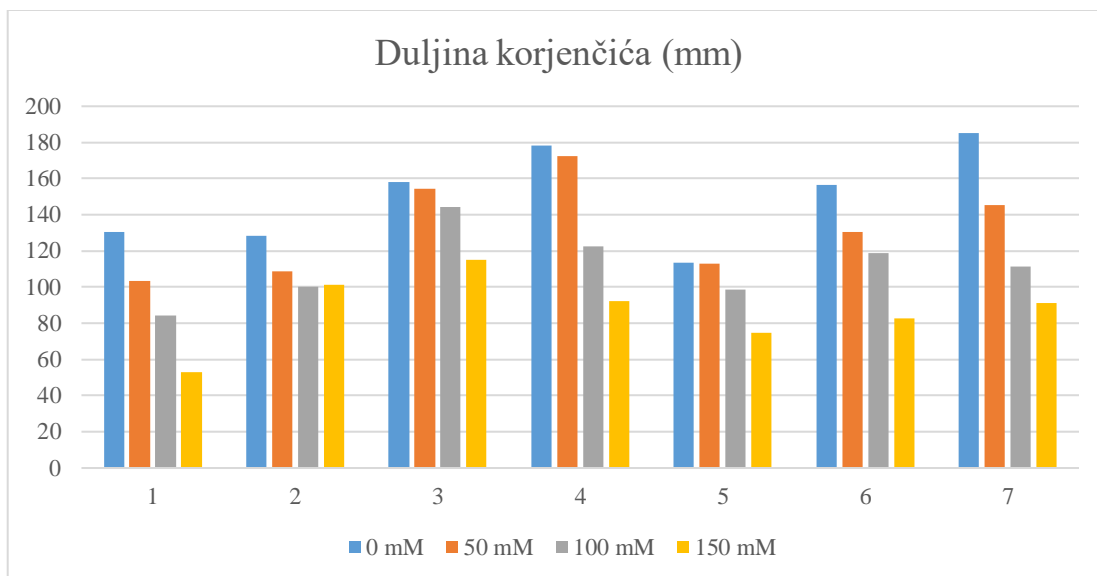


Grafikon 3. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na ukupnu klijavost ispitivanih genotipova

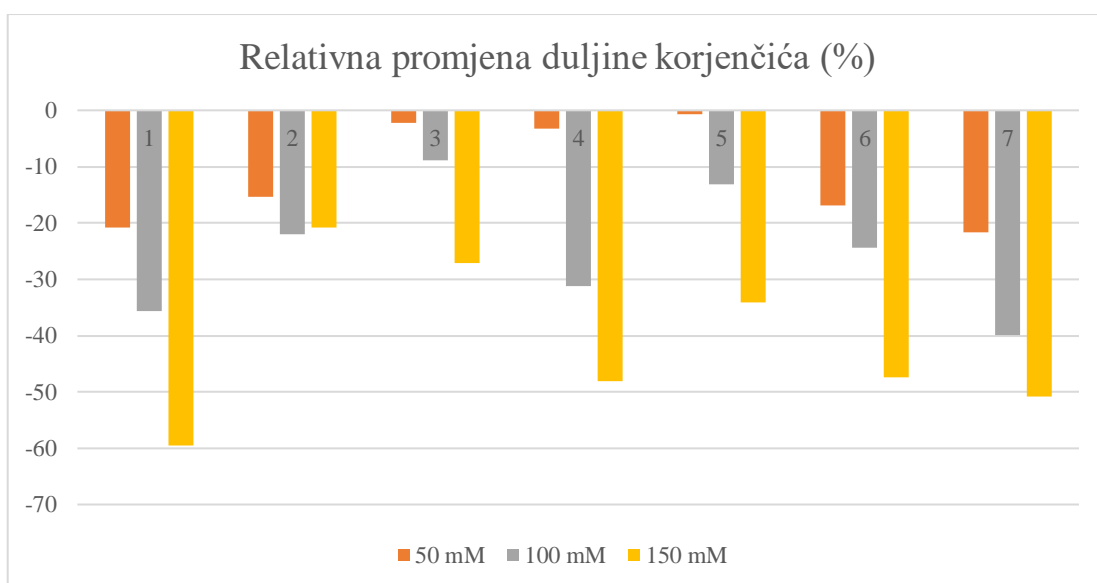


Grafikon 4. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu ukupne klijavosti

Grafikon 5 prikazuje utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu korjenčića ispitivanih genotipova. Iz njega je vidljivo da je duljina korjenčića bila najveća kod genotipa 7 (*T. aestivum*) pri koncentraciji 0 mM. Najveća duljina korjenčića pri koncentraciji 50 mM zabilježena je kod genotipa 4 (*T. durum*), dok je pri koncentraciji 100 mM kao i pri koncentraciji 150 mM najveća duljina korjenčića zabilježena kod genotipa 3 (*T. spelta*). Pri koncentraciji NaCl od 150 mM, najveće relativno smanjenje duljine korjenčića zabilježeno je kod genotipa 1 (*T. monococum*), a najmanje kod genotipova 2 (*T. dicoccoides*) i 3 (*T. spelta*) (Grafikon 6).

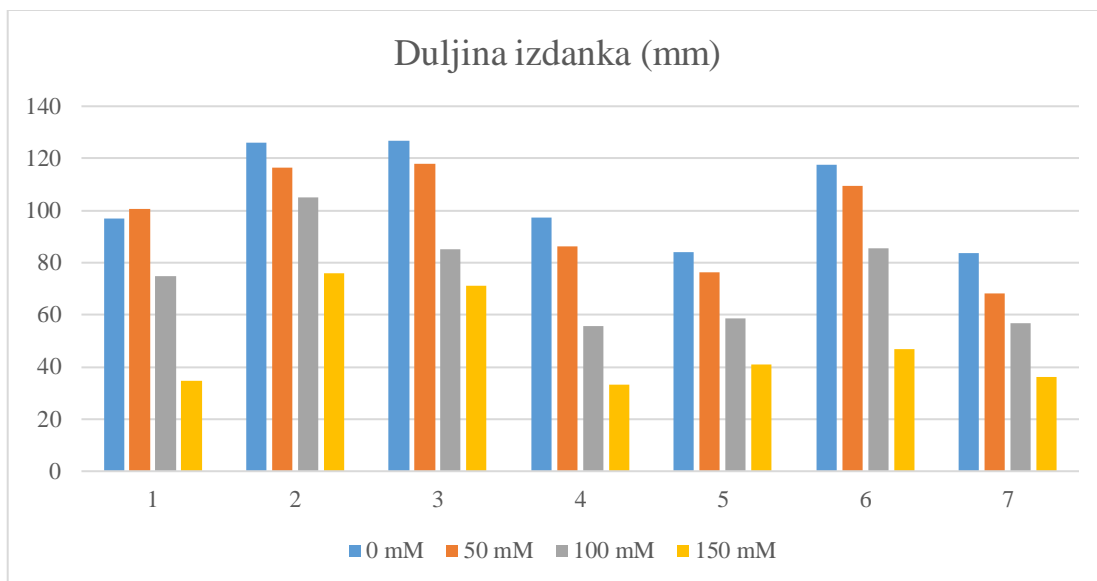


Grafikon 5. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu korjenčića ispitivanih genotipova

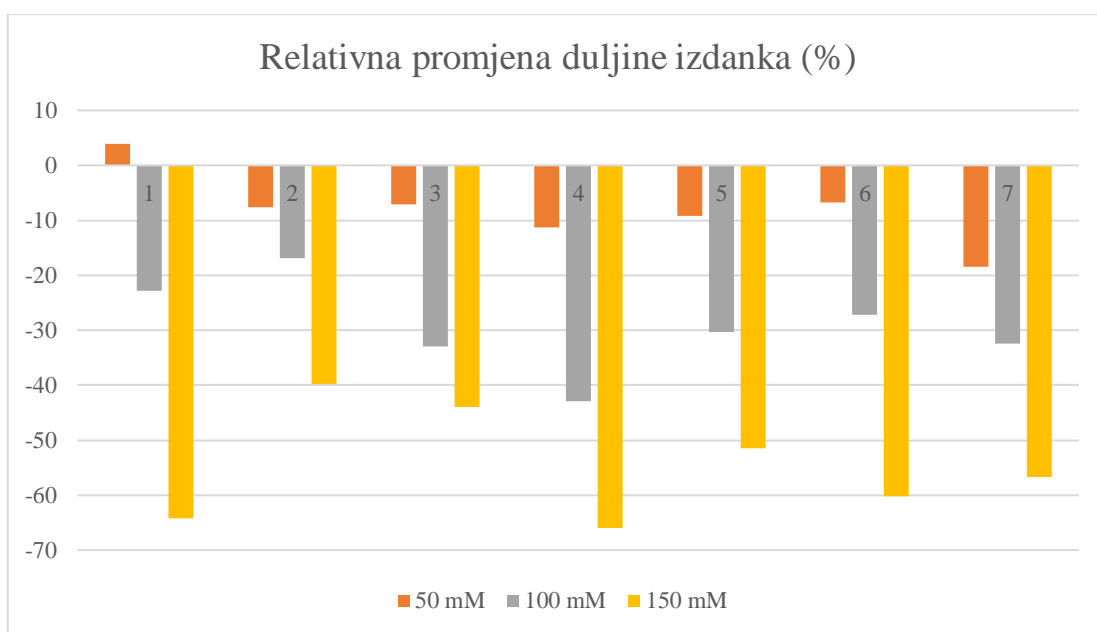


Grafikon 6. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu duljine korjenčića

Na Grafikonu 7 prikazan je utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu izdanka. Kod svih genotipova povećanjem koncentracije NaCl uočen je pad vrijednosti duljine izdanka. Izuzetak je genotip 1 (*T. monococum*) kod kojega je koncentracija od 50 mM imala blago stimulativan učinak, što je vidljivo i iz Grafikona 8. Najmanje relativno smanjenje duljine izdanka, pri koncentraciji NaCl od 150 mM, imali su genotipovi 2 (*T. dicoccoides*) i 3 (*T. spelta*)



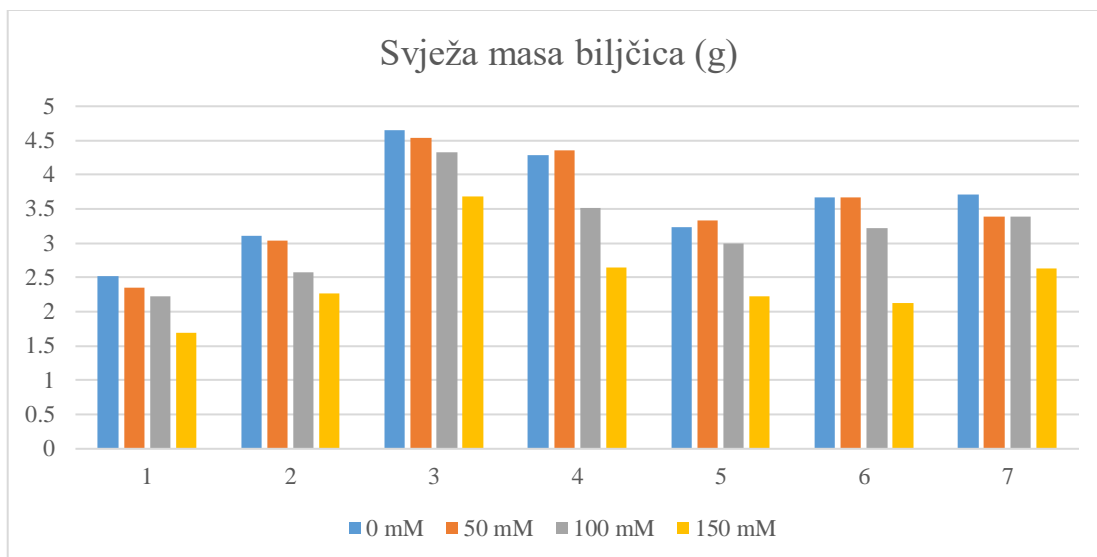
Grafikon 7. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu izdanka ispitivanih genotipova



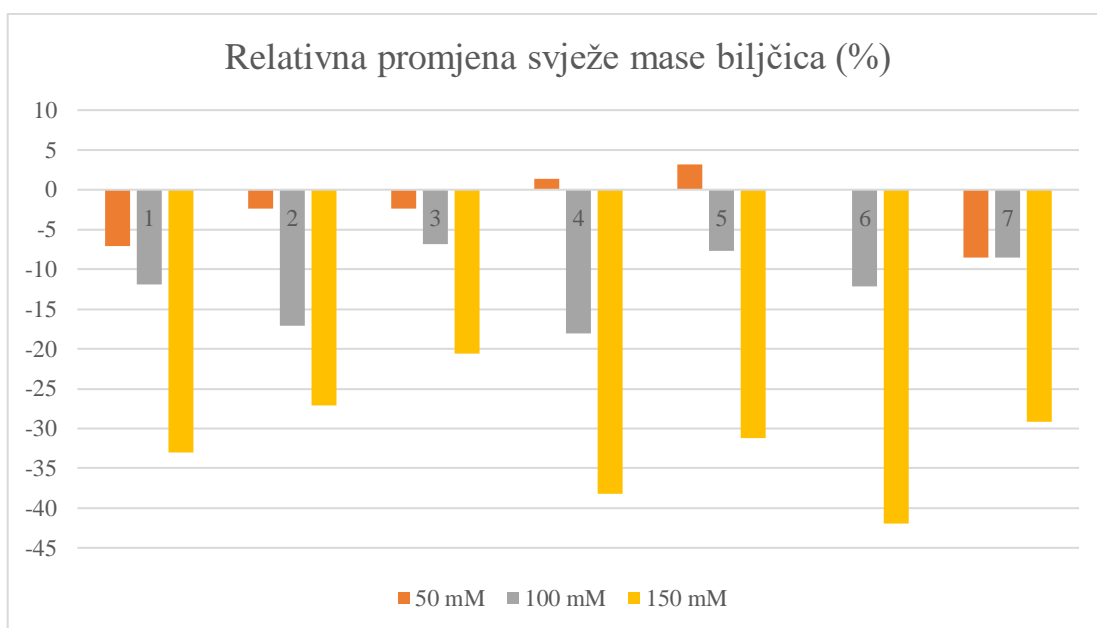
Grafikon 8. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu duljine izdanka

Na Grafikonu 9 prikazan je utjecaj različitih koncentracija NaCl na svježu masu biljčica. Iz istoga je vidljivo da je najveća svježa masa biljčica, pri svim koncentracijama NaCl, zabilježena kod genotipa 3 (*T. spelta*), a najmanja kod genotipa 1 (*T. monococcum*). Kod genotipova 4 (*T. durum*) i 5 (*T. sphaerococcum*) uočeno je blago stimulatívno djelovanje koncentracije NaCl od 50 mM. Najmanje relativno smanjenje svježe mase biljčica zabilježeno je kod genotipa 3 (*T. spelta*) (Grafikon 10).





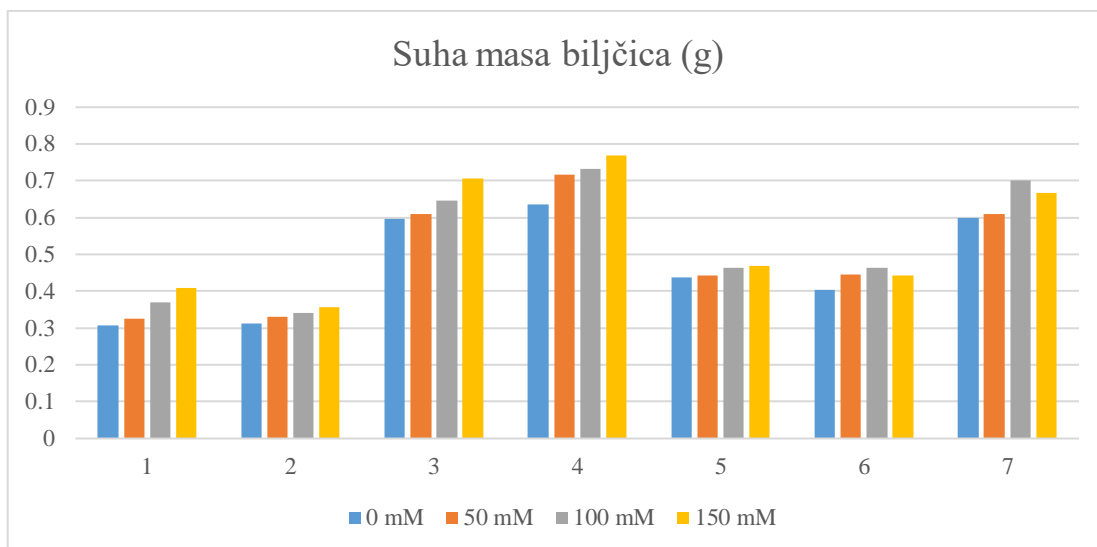
Grafikon 9. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na svježu masu biljčica ispitivanih genotipova



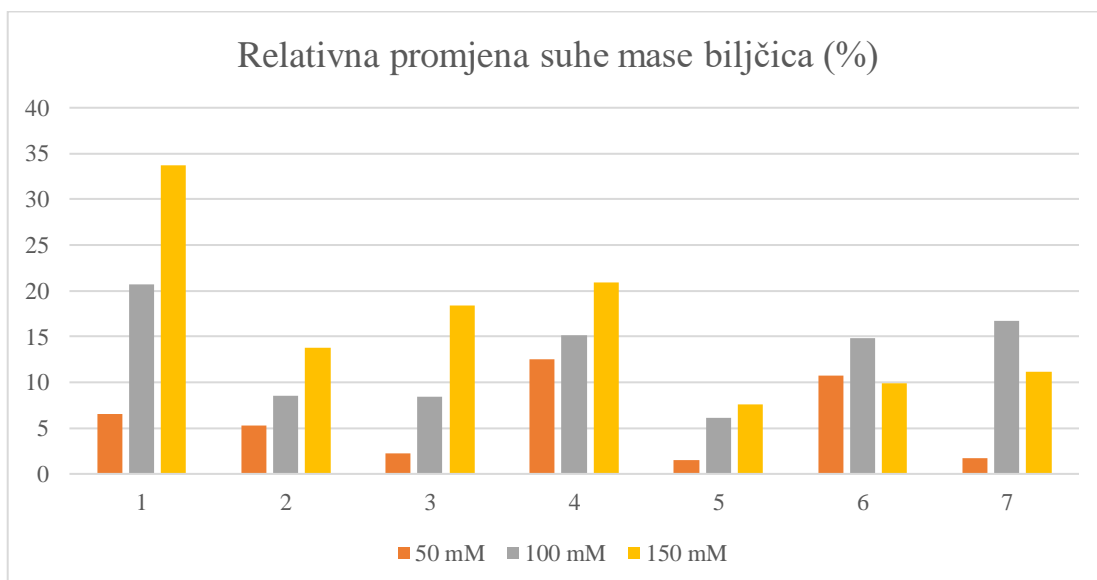
Grafikon 10. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu svježe mase biljčica

Na Grafikonu 11 prikazan je utjecaj različitih koncentracija NaCl na suhu masu biljčica. Iz njega je vidljivo da se kod većine genotipova povećanjem koncentracije NaCl povećavala i suha masa. Iznimka su genotipovi 6 (*T. compactum*) i 7 (*T. aestivum*) kod kojih je najveća suha masa biljčica zabilježena pri koncentraciji od 100 mM. Najveće vrijednosti suhe mase, pri svim koncentracijama NaCl, zabilježene su kod genotipa 4 (*T. durum*), a najmanje kod

genotipa 2 (*T. dicoccoides*). Iz Grafikona 12 vidljivo je da je genotip 1 (*T. monococum*) imao najveće relativno povećanje suhe mase biljčica, pri koncentraciji NaCl od 150 mM, a genotip 5 (*T. sphaerococcum*) najmanje povećanje, pri istoj koncentraciji.



Grafikon 11. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na suhu masu biljčica ispitivanih genotipova



Grafikon 12. Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu suhe mase biljčica

## 5. RASPRAVA

Slanost tla jedan je od najopasnijih abiotskih stresova koji ograničava rast i produktivnost usjeva u cijelome svijetu. Brojna su istraživanja otkrila utjecaj solnog stresa na različite kultivare pšenice, među kojima su neki tolerantniji od drugih na efekt solnog stresa. Solni stres rezultat je prisutnosti prekomjernih količina soli topljivih u vodi. Iako je većina ovih soli od velike važnosti za biljku i njen rast i razvoj, velike koncentracije istih mogu biti toksične za biljku (Mosa i sur., 2017.). Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati varijabilnost svojstava klijavosti različitih vrsta roda *Triticum* u uvjetima abiotskog stresa, te utvrditi potencijalne izvore tolerantnosti na stres unutar roda *Triticum*.

U našem istraživanju bio je uočljiv utjecaj saliniteta na različite genotipove pšenice. Povećana koncentracija soli imala je negativan utjecaj na većinu ispitivanih svojstva klijavosti, a isti se povećavao zajedno s povećanjem koncentracije NaCl. Izuzetak je bilo svojstvo suhe mase biljčica, čija se vrijednost povećavala s povećanjem koncentracije NaCl. Također, utvrđeno je da genotip, tretman i njihova interakcija imaju značajan utjecaj na sva ispitivana svojstva.

Hussain i sur. (2013.) su provodili slično istraživanje na tri različita genotipa pšenice pri različitim koncentracijama soli, te su potvrdili da je povećanje koncentracije NaCl negativno utjecalo na klijanje genotipova pšenice. Utvrđene su značajne razlike između različitih razina saliniteta kao i različitih genotipova pšenice, s obzirom na sve ispitivane parametre rasta klijanca. Povećanje saliniteta ne samo da je smanjilo postotak klijavosti, već je odgodilo početak klijanja kod svih genotipova pšenice.

Ali i sur. (2019.) proveli su istraživanje u kojem su proučavali utjecaj različitih koncentracija NaCl na 11 svojstava i 14 genotipova pšenice. Utvrdili su značajnu varijabilnost ispitivanog biljnog materijala u pogledu reakcije na solni stres. Uočeno je da se postotak klijavosti smanjivao s povećanjem koncentracije NaCl. Također, autori navode da je najveće variranje utvrđeno za svojstva duljine klijanaca, svježe mase i suhe mase.

Fellahi i sur. (2019.) procjenjivali su utjecaj solnog stresa na pšenicu u fazi klijanja. Ispitivanje je provedeno na 20 genotipova krušne pšenice (*Triticum aestivum* L.), koji su podvrgnuti različitim koncentracijama NaCl (50, 100, 150 mM). Rezultati analize varijance pokazali su značajan utjecaj genotipa, saliniteta i interakcije genotip x salinitet na sva ispitivana svojstva, što je u skladu s našim istraživanjem. Također, navode da su razlike

između osjetljivih i tolerantnih genotipova bile najvidljivije pri umjerenim (100 mM) i visokim (150 mM) koncentracijama soli.

Ibrahim i sur. (2015.) su ispitali svojstva klijavosti različitih genotipova pšenice pod utjecajem solnog stresa. Istraživanje su provodili na šest različitih genotipova pšenice koji su bili podvrgnuti različitim koncentracijama NaCl (0, 50, 100, 150, 200 i 250 mM NaCl). Prema njihovom istraživanju najmanji postotak klijanja zabilježen je pri koncentraciji NaCl od 250 mM. Pad klijavosti pripisali su kombiniranom učinku osmotskog tlaka i toksičnosti soli.

Datta i sur. (2009.) istraživali su utjecaj solnog stresa na pet sorti pšenice koje su tretirane s različitim koncentracijama soli (25, 50, 75, 100, 125, 150 mM.). Utvrdili su da je klijavost bila značajno pogođena solnim stresom, te da se postotak klijanja smanjio kod koncentracija NaCl od 125 mM pa nadalje. Stopa klijanja kultivara pšenice bila je značajno pogođena koncentracijama NaCl od 75 mM pa nadalje.

Kod pojedinih genotipova uočeno je da niske koncentracije soli mogu imati i stimulirajući utjecaj na određena svojstva. Tako je kod genotipa *T. dicoccoides* koncentracija NaCl od 100 mM djelovala pozitivno na energiju klijanja, a koncentracija od 50 mM na duljinu izdanka genotipa *T. monococum* te svježiu masu biljčica kod genotipova *T. durum* i *T. sphaerococcum*.

Kod genotipova *T. monococum* i *T. dicoccoides* uočeno je najveće smanjenje energije klijanja i ukupne klijavosti u uvjetima stresa, dok su se genotipovi *T. spelta*, *T. sphaerococcum* i *T. aestivum* izdvojili kao oni kod kojih je to smanjenje bilo najmanje. Genotipovi *T. dicoccoides*, *T. spelta* i *T. sphaerococcum* pokazali su najmanje smanjenje vrijednosti duljine korjenčića, duljine izdanka i svježie mase biljčica u uvjetima solnog stresa. Iz rezultat je vidljivo da su genotipovi s najvećim koeficijentima varijacije imali i najveće redukcije svojstava, a oni s najmanjim koeficijentima najmanje redukcije. Također, uočeno je da su razlike između ispitivanih genotipova pšenice ovisile o ispitivanom svojstvu.

Aslan i sur. (2016.) uspoređivali su razinu otpornosti na solni stres krušne i einkorn pšenice. Biljni materijal sastojao se od 12 genotipova krušne pšenice (*Triticum aestivum* L.) i 10 genotipova einkorn pšenice (*Triticum monococum*). Sjeme je bilo podvrgnuto različitim koncentracijama NaCl od 0 M, 0,05 M, 0,10 M, 0,15 M, 0,20 M, 0,25 M, i 0,30 M. Utvrdili su da salinitet narušava sposobnost klijanja sjemena te smanjuje prinos. Također, utvrđeno

je da su sorte krušne pšenice otpornije na solni stres u odnosu na sorte einkorn pšenice, najvjerojatnije zbog razlika u njihovom geografskom podrijetlu.

Fellahi i sur. (2019.) navode da je odgovor različitih genotipova pšenice na solni stres varirao unutar svakog ispitivanog svojstva kao i između svojstava. To zapravo ukazuje na variranje tolerantnosti između različitih genotipova s obzirom na različita svojstva koja su korištena kao selekcijski kriterij. Određeni kultivar može biti tolerantan ili osjetljiv ovisno o svojstvu koje se koristi kao klasifikacijski kriterij, što ukazuje na složenost nasljeđivanja tolerantnosti na salinitet.

Xie i sur. (2020.) proučavali su utjecaj solnog stres na genotipove pšenice različite razine ploidnosti. Došli su do zaključka da s povećanom razinom ploidnosti kod genotipova pšenice raste i njihova tolerancija na solni stres, što se dijelom podudara s našim rezultatima istraživanja.

Rauf i sur. (2010.) istraživali su utjecaj različitih solnih režima na pšenicu. U istraživanju su koristili zrna različitih vrsta pšenice (*T. monococum*, *T. turgidum*, *T. uruta*, *T. sphaerococum*, *T. aestivum*, *T. durum*). Utvrđena je statistički značajna pozitivna korelacija između razine ploidnosti i morfoloških svojstava u uvjetima solnog stresa, odnosno, vrijednosti morfoloških svojstava povećavale su se s brojem i tipovima genoma. Vrsta *T. sphaerococum* imala je najveće srednje vrijednosti većine ispitivanih svojstava u uvjetima solnog stresa.

Ali i sur. (2019.) navode da istraživanja ovakvoga tipa poboljšavaju razumijevanje genetske vrijednosti pojedinih genotipova pšenica u uvjetima solnog stresa te pridonose oplemenjivačkim programima za razvoj kultivara pšenice otpornih na solni stres.

U budućnosti bi istraživanje trebalo proširiti na način da se u njega uključi veći broj različitih genotipova iste vrste kako bi se dodatno ispitala ne samo varijabilnost između različitih vrsta nego i varijabilnost unutar pojedinih vrsta roda *Triticum*, te dobili precizniji podatci o otpornosti različitih vrsta roda *Triticum* na solni stres. Također, otpornost pojedinih vrsta na solni stres trebalo bi ispitati i u poljskim uvjetima, ali i na molekularnoj razini, kako bi dobili cjelovitiju sliku ovoga kompleksnog problema.

## 6. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenog laboratorijskog istraživanja može se zaključiti sljedeće:

- Utvrđeno je značajno variranje ispitivanih svojstava klijavosti kako između različitih genotipova tako i između različitih razina tretmana
- Analizom varijance utvrđen je statistički značajan utjecaj genotipa, tretmana i njihove interakcije na sva ispitivana svojstva
- Kod većine genotipova, povećanjem koncentracije NaCl opadale su vrijednosti energije klijanja, ukupne klijavosti, duljine korjenčića, duljine izdanka i svježe mase biljčica
- Kod svih genotipova, povećanjem koncentracije NaCl došlo je i do povećanja suhe mase biljčica
- Koncentracije NaCl od 50 mM i 100 mM imale su blago stimulativan utjecaj na pojedina svojstva klijavosti kod određenih genotipova, dok isto nije uočeno kod koncentracije NaCl od 150 mM
- *T. spelta* i *T. sphaerococcum* izdvojili su se kao genotipovi kod kojih je većina ispitivanih svojstva pokazala minimalno variranje u uvjetima solnog stresa

## 7. POPIS LITERATURE

1. Akter, N., Islam, M. R. (2017.): Heat stress effects and management in wheat. A review. *Agronomy for sustainable development*, 37(5): 1-17.
2. Ali, M. A., Nada, A. A., Marwa, A. E., Nehal, G. A., Omnia, M. K., Ahmed, M. A., Galal, A. R. E., Haitham, M. A. E. (2019.): Evaluation capability of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salinity (NaCl) stress as a systematic tolerance assessment at seed germination and early growth stage under laboratory conditions. *Asian Journal of Research in Biosciences*, 1(2): 65-77.
3. Aslan, D., Zencirci, N., Etöz, M., Ordu, B., Bataw, S. (2016.): Bread wheat responds salt stress better than einkorn wheat does during germination. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40(5): 783-794.
4. Carillo, P., Annunziata, M. G., Pontecorvo, G., Fuggi, A., Woodrow, P. (2011.): Salinity stress and salt tolerance. *Abiotic stress in plants—Mechanisms and adaptations*, 1: 21-38.
5. Colmer, T. D., Flowers, T. J., Munns, R. (2006.): Use of wild relatives to improve salt tolerance in wheat. *Journal of experimental botany*, 57(5): 1059–1078.
6. Dahakal, A., Adhikari, C., Manandhar, D., Bhattarai, S., Shrestha, S. (2021.): Effect of Abiotic Stress in Wheat: A Review. *Reviews In Food And Agriculture*, 2(2): 69-72.
7. Datta, J., Nag, S., Banerjee, A., Mondal, N. (2009.): Impact of salt stress on five varieties of Wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 13: 93-97.
8. Duba, G., Duba, A., Wachowska, U., Wiwart, M. (2018.): The Never-Ending Story of the Phylogeny and Taxonomy of Genus *Triticum* L. *Russian Journal of Genetics*, 54: 1429-1437.
9. Fellahi, Z., Zaghdoudi, H., Bensaadi, H., Boutalbi, W., Hannachi, A. (2019.): Assessment of Salt Stress Effect on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars at Seedling Stage. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 84: 347-355.
10. Fuller, M. P., Fuller, A. M., Kaniouras, S., Christophers, J., Fredericks, T. (2007.): The freezing characteristics of wheat at ear emergence. *European Journal of Agronomy*, 26(4): 435-441.

11. Grime, J. P. (2006.): Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. John Wiley & Sons.
12. Gull, A., Lone, A. A., Wani, N. U. I. (2018.): Biotic and Abiotic Stresses in Plants. Abiotic and Biotic Stress in Plants, doi:10.5772/intechopen.85832.
13. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Rahman A., Anee, T., Alam, M., Bhuiyan, T. F. (2017.): Approaches to enhance salt stress tolerance in wheat. Wheat improvement, management and utilization, 151-187.
14. Hussain, S., Khaliq, A., Matloob, A., Wahid, M., Afzal, I. (2013.): Germination and Growth Response of Three Wheat Cultivars to NaCl Salinity. Soil and Environment, 32: 36-43.
15. Ibrahim, M. E., Zhu, X., Zhou, G., Nimir, N. (2015.): Comparison of Germination and Seedling Characteristics of Wheat Varieties from China and Sudan under Salt Stress. Agronomy Journal, 108(1): 85-92.
16. Kalhor, N., Rajpar, I., Kalhor, S., Ali, A., Raza, S., Ahmed, M., Kalhor, F., Ramzan, M., Wahid, F. (2016.): Effect of salts stress on the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). American Journal of Plant Sciences, 7(15): 2257.
17. Kovačević, V., Rastija, M. (2014.): Žitarice. Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
18. Kubaláková, M., Kovárová, P., Suchánková, P., Cíhalíková, J., Bartos, J., Lucretti, S., Watanabe, N., Kianian, S. F., Dolezel, J. (2005.): Chromosome sorting in tetraploid wheat and its potential for genome analysis. Genetics, 170(2): 823–829.
19. Mosa, K. A., Ismail, A., Helmy, M. (2017.): Plant stress tolerance: an integrated omics approach. Cham, Switzerland, Springer.
20. OECD (2006.): Section 7 - Bread Wheat (*TRITICUM AESTIVUM*). In: Safety Assessment of Transgenic Organisms, Volume 1: OECD Consensus Documents, OECD Publishing, Paris.
21. Poudel, P. B., Poudel, M. R. (2020.): Heat stress effects and tolerance in wheat: A review. Journal of Biology and Today's World, 9(3): 1-6.



22. Rahman, S., Islam, S., Yu, Z., She, M., Nevo, E., Ma, W. (2020.): Current Progress in Understanding and Recovering the Wheat Genes Lost in Evolution and Domestication. *International journal of molecular sciences*, 21(16): 5836.
23. Rapčan, I. (2014.): Bilinogojstvo - Sistematika, morfologija i agroekologija važnijih ratarskih kultura. Poljoprivredni fakultet Osijek.
24. Rauf, S., Adil, S., Naveed, A., Munir, H. (2010.): Response of wheat species to the contrasting saline regimes. *Pak J Bot*, 42(5): 3039-3045.
25. Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., Xu, J. (2019.): Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review. *Plants*, 8(2): 34.
26. Vitosh, M. L. (1994.): Wheat fertility and fertilization. Michigan State University Extension.
27. Xie, X., Zhao, F., Zheng, Y., Sang, L., Zhang, P., Jiang, J., Cao, G. (2020.): Identification of Tolerance of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) With Different Ploidy under Salt Stress. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 598(1): 012074. IOP Publishing.
28. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Asseng, S. (2017.): Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35): 9326-9331.
29. <https://knoema.com/atlas/topics/Agriculture/Crops-Production-Quantity-tonnes/Wheat-production> (15.6.2021.)
30. <https://poljoprivreda.gov.hr/ratarstvo/197> (15.6.2021.)
31. <https://hrv.healthycatchups.com/mjagkie-sorta-pshenicy.html> (15.6.2021.)
32. <https://www.agroklub.com/sortna-lista/zitarice/psenica-108/> (20.6.2021.)
33. <https://wheat.org/wheat-in-the-world/> (20.6.2021.)
34. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-wheat-market-growth-and-trends> (20.6.2021.)

35. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=50972> (25.6.2021.)
36. <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=20273> (25.6.2021.)
37. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/allopolyploid> (8.7.2021.)
38. <https://kids.britannica.com/students/article/wheat/277720> (8.9.2021.)
39. <http://tlo-i-biljka.eu/> (8.9.2021.)
40. <https://www.newworldencyclopedia.org/entry/Wheat> (8.9.2021.)
41. <https://www.yara.co.uk/crop-nutrition/wheat/wheat-historical-development/> (8.9.2021.)
42. <https://www.statista.com/statistics/1094056/total-global-rice-consumption/> (8.9.2021.)
43. <https://www.worldstopexports.com/wheat-exports-country/> (8.9.2021.)

## 8. SAŽETAK

Solni stres pripada skupini abiotskih stresova koji smanjuju rast i produktivnost većine usjeva, a pšenica nije iznimka. Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati varijabilnost svojstava klijavosti različitih vrsta roda *Triticum* u uvjetima abiotskog (solnog) stresa. Istraživanje je provedeno na sedam vrsta (podvrsta) roda *Triticum*, koje su tretirane različitim koncentracijama NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM i 150 mM). Za naklijavanje sjemena korištena je metoda rolanog filter papira. Ispitivana su sljedeća svojstva: energija klijanja, ukupna klijavost, duljina glavnog korjenčića, duljina izdanka, svježa masa biljčica i suha masa biljčica. Istraživanjem je utvrđeno značajno variranje ispitivanih svojstava klijavosti kako između različitih genotipova tako i između različitih razina tretmana. Analizom varijance utvrđen je statistički značajan utjecaj genotipa, tretmana i njihove interakcije na sva ispitivana svojstva klijavosti. Kod većine genotipova, povećanjem koncentracije NaCl opadale su vrijednosti energije klijanja, ukupne klijavosti, duljine korjenčića, duljine izdanka i svježe mase biljčica, dok je za svojstvo suhe mase biljčica uočen suprotan trend. *T. spelta* i *T. sphaerococcum* izdvojili su se kao genotipovi kod kojih je većina ispitivanih svojstva pokazala minimalno variranje u uvjetima solnog stresa.

**Ključne riječi:** abiotski stres, solni stres, svojstva klijavosti, *Triticum*

## 9. SUMMARY

Salt stress belongs to the group of abiotic stresses that reduce the growth and productivity of most crops, and wheat is no exception. The aim of this study was to examine the variability of germination properties of different species of the genus *Triticum* under conditions of abiotic (salt) stress. The study was conducted on seven species (subspecies) of the genus *Triticum*, which were treated with different concentrations of NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM and 150 mM). The rolled filter paper method was used for seed germination. The following traits were examined: germination energy, total germination, main root length, shoot length, plant fresh and dry mass. The research revealed a significant variation of the examined germination traits both between different genotypes and between different levels of treatment. Analysis of variance revealed a statistically significant influence of genotype, treatment and their interaction on all examined traits. In most genotypes, the values of germination energy, total germination, root length, shoot length and plant fresh mass decreased with increasing NaCl concentration, while the opposite trend was observed for the plant dry mass. *T. spelta* and *T. sphaerococcum* were marked as genotypes in which most of the examined traits showed minimal variation under salt stress conditions.

**Key words:** abiotic stress, salt stress, germination traits, *Triticum*

## 10. POPIS TABLICA

<b>Br.</b>	<b>Naziv tablice</b>	<b>Str.</b>
Tablica 1.	Genotipovi korišteni u istraživanju	12
Tablica 2.	Opis i oznake tretmana korištenih u istraživanju	13
Tablica 3.	Mjere opisne statistike ispitivanih svojstava	20
Tablica 4.	Rezultati analize varijance ispitivanih svojstava	21
Tablica 5.	Rezultati Post-hoc testa (LSD) za efekt genotipa	22
Tablica 6.	Rezultati Post-hoc testa (LSD) za efekt tretmana	23

## 11. POPIS SLIKA

<b>Br.</b>	<b>Naziv slike</b>	<b>Str.</b>
Slika 1.	Globalna proizvodnja pšenice kroz godine	1
Slika 2.	Priprema sjemena za sterilizaciju	13
Slika 3.	Priprema otopine 1M NaCl	14
Slika 4.	Otopine NaCl korištene u istraživanju	15
Slika 5.	Klima komora korištena za naklijavanje sjemena	16
Slika 6.	Određivanje energije klijanja	17
Slika 7.	Sušenje uzoraka na temperaturi od 75°C	18

## 12. POPIS GRAFIKONA

<b>Br.</b>	<b>Naziv grafikona</b>	<b>Str.</b>
Grafikon 1.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na energiju klijanja ispitivanih genotipova	24
Grafikon 2.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu energije klijanja	24
Grafikon 3.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na ukupnu klijavost ispitivanih genotipova	25
Grafikon 4.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu ukupne klijavosti	25
Grafikon 5.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu korjenčića ispitivanih genotipova	26
Grafikon 6.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu duljine korjenčića	26
Grafikon 7.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na duljinu izdanka ispitivanih genotipova	27
Grafikon 8.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu duljine izdanka	27
Grafikon 9.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na svježu masu biljčica ispitivanih genotipova	28
Grafikon 10.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu svježe mase biljčica	28
Grafikon 11.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na suhu masu biljčica ispitivanih genotipova	29
Grafikon 12.	Utjecaj različitih koncentracija NaCl na relativnu promjenu suhe mase biljčica	29

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku

Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

Sveučilišni diplomski studij Bilinogojstvo, smjer Oplemenjivanje bilja i sjemenarstvo

Diplomski rad

Varijabilnost svojstava klijavosti *Triticum* spp. u uvjetima abiotskog stresa

Tea Halt

### Sažetak:

Solni stres pripada skupini abiotskih stresova koji smanjuju rast i produktivnost većine usjeva, a pšenica nije iznimka. Cilj ovoga istraživanja bio je ispitati varijabilnost svojstava klijavosti različitih vrsta roda *Triticum* u uvjetima abiotskog (solnog) stresa. Istraživanje je provedeno na sedam vrsta (podvrsta) roda *Triticum*, koje su tretirane različitim koncentracijama NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM i 150 mM). Za naklijavanje sjemena korištena je metoda rolanog filter papira. Ispitivana su sljedeća svojstva: energija klijanja, ukupna klijavost, duljina glavnog korjenčića, duljina izdanka, svježa masa biljčica i suha masa biljčica. Istraživanjem je utvrđeno značajno variranje ispitivanih svojstava klijavosti kako između različitih genotipova tako i između različitih razina tretmana. Analizom varijance utvrđen je statistički značajan utjecaj genotipa, tretmana i njihove interakcije na sva ispitivana svojstva klijavosti. Kod većine genotipova, povećanjem koncentracije NaCl opadale su vrijednosti energije klijanja, ukupne klijavosti, duljine korjenčića, duljine izdanka i svježe mase biljčica, dok je za svojstvo suhe mase biljčica uočen suprotan trend. *T. spelta* i *T. sphaerococcum* izdvojili su se kao genotipovi kod kojih je većina ispitivanih svojstava pokazala minimalno variranje u uvjetima solnog stresa.

**Rad je izrađen pri:** Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek

**Mentor:** dr.sc. Sunčica Kujundžić

**Broj stranica:** 42

**Broj grafikona i slika:** 19

**Broj tablica:** 6

**Broj literaturnih navoda:** 43

**Broj priloga:** -

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Ključne riječi:** abiotski stres, solni stres, svojstva klijavosti, *Triticum*

**Datum obrane:**

**Stručno povjerenstvo za obranu:**

1. prof. dr. sc. Sonja Vila, predsjednik
2. dr. sc. Sunčica Kujundžić, mentor
3. izv. prof. dr. sc. Sonja Petrović, član

**Rad je pohranjen u:** Knjižnica Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Vladimira Preloga 1.



## BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek

Graduate thesis

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

University Graduates studies Plant production, course Plant breeding and seed technology

Variability in germination traits of *Triticum* spp. under abiotic stress conditions

Tea Halt

### Abstract:

Salt stress belongs to the group of abiotic stresses that reduce the growth and productivity of most crops, and wheat is no exception. The aim of this study was to examine the variability of germination properties of different species of the genus *Triticum* under conditions of abiotic (salt) stress. The study was conducted on seven species (subspecies) of the genus *Triticum*, which were treated with different concentrations of NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM and 150 mM). The rolled filter paper method was used for seed germination. The following traits were examined: germination energy, total germination, main root length, shoot length, plant fresh and dry mass. The research revealed a significant variation of the examined germination traits both between different genotypes and between different levels of treatment. Analysis of variance revealed a statistically significant influence of genotype, treatment and their interaction on all examined traits. In most genotypes, the values of germination energy, total germination, root length, shoot length and plant fresh mass decreased with increasing NaCl concentration, while the opposite trend was observed for the plant dry mass. *T. spelta* and *T. sphaerococcum* were marked as genotypes in which most of the examined traits showed minimal variation under salt stress conditions.

**Thesis performed at:** Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek

**Mentor:** Sunčica Kujundžić, PhD

**Number of pages:** 42

**Number of figures:** 19

**Number of tables:** 6

**Number of references:** 43

**Number of appendices:** -

**Original in:** Croatian

**Key words:** abiotic stress, salt stress, germination traits, *Triticum*

**Thesis defended on date:**

### Reviewers:

1. prof. Sonja Vila, PhD, chairman

2. Sunčica Kujundžić, PhD, mentor

3. prof. Sonja Petrović, PhD, member

**Thesis deposited at:** Library, Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Josip Juraj Strossmayer

University of Osijek, Vladimira Preloga 1.