

Utjecaj vodnog i solnog stresa na rast i morfološka svojstva zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Panišić, Tajana

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:151:732131>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



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](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tajana Panišić

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda

Modul Bilinogojstvo

**Utjecaj vodnog i solnog stresa na rast i morfološka svojstva
zelene salate (*Lactuca sativa* L.)**

Završni rad

Osijek, 2024.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Tajana Panišić

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda

Modul Bilinogojstvo

**Utjecaj vodnog i solnog stresa na rast i morfološka svojstva
zelene salate (*Lactuca sativa* L.)**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu Završnog rada:

1. Antonija Strilić, mag. ing. agr., mentor
2. doc. dr. sc. Alka Turalija
3. dr. sc. Boris Ravnjak

Osijek, 2024.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda, modul Bilinogojstvo

Završni rad

Tajana Panišić

Utjecaj vodnog i solnog stresa na rast i morfološka svojstva zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Sažetak: Zelena salata (*Lactuca sativa* L.) je jedna od najrasprostranjenijih vrsta lisnatog povrća u svijetu. Pripada porodici Cichoriaceae te rodu *Lactuca*. Može se uzgajati u zaštićenom prostoru, kao i na otvorenom, a najveći proizvođači zelene salate u svijetu su Kina, SAD, Indija, Španjolska, Italija i Japan. Proizvodnja zelene salate suočena je s brojnim izazovima koji su često povezani s okolišnim čimbenicima. Značajan utjecaj na rast i razvoj zelene salate imaju vodni i solni stres. Vodni stres uzrokovan nedostatkom vode se javlja kada je količina vode u tkivu ili stanici biljke manja od količine vode u stanju optimalne hidratiziranosti, dok je solni stres uzrokovan povećanim salinitetom vode za navodnjavanje ili nakupljanjem iona soli u oraničnom sloju tla, odnosno u uzgojnom mediju. Navedeni stresni čimbenici mogu značajno utjecati na rast i morfološka svojstva uzrokujući smanjenje fotosintetske učinkovitosti i vodnog potencijala biljke, osmotske prilagodbe, smanjenje biomase, odbacivanje lišća, venuće biljke i pad prinosa. Istraživanja razina tolerantnosti različitih kultivara zelene salate na vodni i solni stres zauzimaju važnu ulogu u ostvarenju visokih prinosa.

Ključne riječi: vodni stres, solni stres, zelena salata, morfološka svojstva

26 stranica, 9 slika, 2 tablice, 3 grafikona, 59 literaturnih navoda

Završni rad je pohranjen u Knjižnici Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek i u digitalnom repozitoriju završnih i diplomskih radova Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Plant production

BSc Thesis

Effect of water and salt stress on growth and morphological parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.)

Summary Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most widespread types of leafy vegetables in the world. It belongs to the Cichoriaceae family and the *Lactuca* genus. It can be grown in greenhouses and on open fields, and the largest producers of lettuce in the world are China, the USA, India, Spain, Italy, and Japan. Lettuce production is faced with numerous challenges that are often related to environmental factors. Water and salt stress significantly influence the growth and development of lettuce. Water stress caused by a lack of water occurs when the amount in the plant's tissue or cell is less than that in a state of optimal hydration. At the same time, salt stress is caused by increased salinity of irrigation water or the accumulation of salt ions in the arable soil layer, i.e., in the growing medium. Those stress factors can significantly affect growth and morphological properties, causing a decrease in the plant's photosynthetic efficiency and water potential, osmotic adjustments, reduction of biomass, rejection of leaves, wilting of the plant, and drop in yield. Research on the tolerance levels of different lettuce cultivars to water and salt stress plays an important role in achieving high yields.

Key words: water stress, salt stress, lettuce, morphological traits

26 pages, 9 pictures, 2 tables, 3 charts, 59 references

BSc Thesis is archived in Library of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek and in digital repository of Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek.

SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PROIZVODNJA ZELENE SALATE U HRVATSKOJ I SVIJETU | 3 |
| 3. MORFOLOGIJA I SVOJSTVA ZELENE SALATE | 5 |
| 4. AGROEKOLOŠKI UVJETI UZGOJA ZELENE SALATE | 7 |
| 4.1. Odnos zelene salate prema temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka | 7 |
| 4.2. Sjetva, sadnja i berba zelene salate | 8 |
| 4.3. Odnos zelene salate prema vodi..... | 9 |
| 4.4. Odnos zelene salate prema svjetlosti..... | 10 |
| 5. UTJECAJ VODNOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE (<i>Lactuca sativa</i> L.) | 11 |
| 5.1. Pozitivan učinak kontroliranog deficita vode | 14 |
| 6. UTJECAJ SOLNOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE (<i>Lactuca sativa</i> L.) | 16 |
| 7. ZAKLJUČAK | 20 |
| 8. POPIS LITERATURE | 21 |

1. UVOD

Poljoprivreda je među najstarijim ljudskim djelatnostima, a može se definirati kao gospodarska djelatnost koja se bavi proizvodnjom tvari za prehranu ljudske populacije i ishranu stoke. Proizvodnja bilja zauzima važno mjesto u ukupnoj poljoprivrednoj proizvodnji, a izložena je brojnim nepovoljnim utjecajima uzrokovanim okolišnim čimbenicima i živim organizmima. Arora (2019.) ističe kako su pozitivan trend porasta stanovništva i potreba za hranom uzrokovali intenziviranje poljoprivredne proizvodnje uz značajnu upotrebu sredstava za zaštitu bilja, mineralnih gnojiva i iskorištavanje vodnih resursa. Nadalje, autor ističe kako je porast broja stanovnika i poljoprivredne proizvodnje, uzrokovao deforestaciju i prenamjenu šuma u poljoprivredne površine čime se povećao ugljični otisak, odnosno količina ukupne emisije stakleničkih plinova. Prema podacima Food and agriculture organisation (FAO) iz 2021. godine, oko dvije trećine emisije stakleničkih plinova uzrokovano je aktivnostima koje uključuju poljoprivrednu proizvodnju, a vodeće svjetske države tog nepovoljnog trenda su Kina, Indonezija, Sjedinjene Američke Države, Brazil i Indija. Obzirom na navedene posljedice poljoprivredne proizvodnje, znanstvenici i stručnjaci, nizom istraživanja i aktivnosti, naglašavaju važnost provođenja poljoprivrednih procesa na održiv i ekološki prihvatljiv način, kako bi se ublažio štetni utjecaj klimatskih promjena na biljnu proizvodnju. Značajni izazovi prisutni u biljnoj proizvodnji su vodni stres, koji može biti uzrokovan viškom ili manjkom vode tijekom razdoblja vegetacije te solni stres, koji se javlja zbog prekomjerne akumulacije soli u zoni korijenovog sustava biljke, čime se značajno smanjuju plodnost i kvaliteta tla (Mokrani i sur., 2020.). Kurunc (2021.) ističe kako su vodni i solni stres prisutni u gotovo svim područjima uzgoja zelene salate. Autor naglašava kako postoje brojna istraživanja navedene problematike uz ponekad kontradiktorne rezultate vezane uz odgovor biljaka na stres. Razlog tome mogu biti različite razine tolerantnosti kultivara korištenih u istraživanjima, ali i različiti uvjeti uzgoja (pH reakcija tla, gnojidba, temperatura zraka, relativna vlažnost zraka, itd.).

Abiotski stres može se definirati kao djelovanje neživih okolišnih čimbenika fizikalnog ili kemijskog porijekla na elemente rasta i razvoja biljke. Navedeni stresni čimbenici su uz temperaturne ekstreme najznačajniji stresni čimbenici abiotskog porijekla. Prema Rodríguez i sur. (2005.) nepovoljni uvjeti poput suše, solnog stresa i ekstremnih temperatura uzrokuju slična oštećenja na biljnoj stanici što se očituje morfološkim, fiziološkim, biokemijskim i molekularnim promjenama na biljnim organima, a Shah i sur. (2018.) naglašavaju kako je

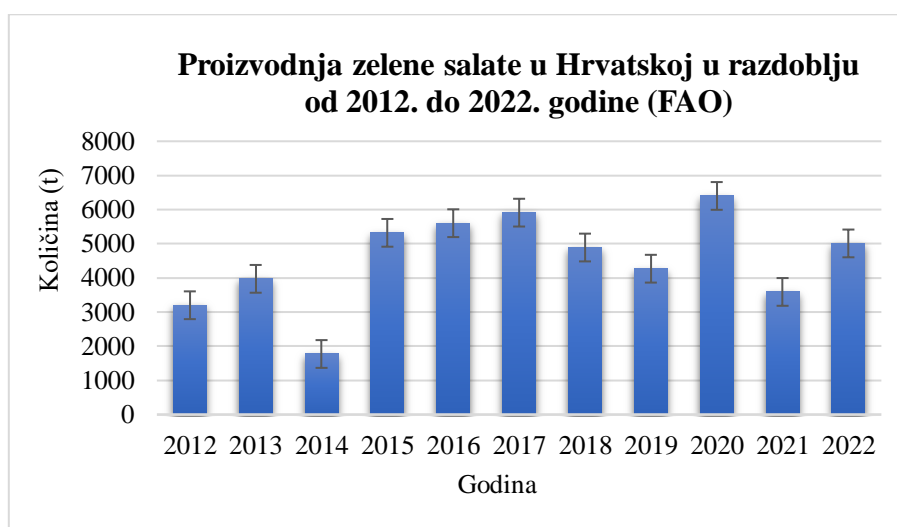
povrće iznimno osjetljivo na navedene nepovoljne čimbenike. Povrće zauzima važno mjesto u ljudskoj prehrani radi bogate nutritivne vrijednosti odlikovane visokim udjelom vitamina C, folata, antioksidativnih spojeva i vlakana (Kim i sur., 2016.).

Gospodarskom podjelom može se razvrstati na lisnato, korjenasto, lukovičasto, cvjetno i plodovito, a jedna od najzastupljenijih i ekonomski najvažnijih vrsta lisnatog povrća je zelena salata (*Lactuca sativa* L.) (Domac, 1994.). Prema Nikolić (2019.), prihvaćeni hrvatski i narodni nazivak iste biljne vrste je obična salata, no zbog prepoznatljivosti i učestalosti korištenja naziva „zelena salata“ u svakodnevnom govoru, u radu će se koristiti nazivak „zelena salata“.

Ayyogari i sur. (2014.) ističu kako negativan utjecaj suše i akumulacije soli u uzgojnom mediju ili tlu značajno smanjuje sadržaj vode u listovima, odnosno nutritivnu kvalitetu lisnatog povrća te kako su navedeni stresori izravne nuspojave aktualnih klimatskih promjena. Adhikari i sur. (2021.) ističu važnost istraživanja sa svrhom identifikacije tolerantnih genotipova zelene salate kako bi se proučila njihova morfološka i fiziološka svojstva uslijed izloženosti vodnom i solnom stresu. Osim navedenih negativnih utjecaja vodnog stresa na zelenu salatu, važno je naglasiti kako je primjena kontroliranog umjerenog vodnog stresa jedan od načina za ublažavanje narušavanja kakvoće zelene salate nakon berbe (Paim i sur., 2020.). Navedena istraživanja mogu omogućiti bolje poznavanje potreba zelene salate za agroekološkim čimbenicima što pospješuje komercijalnu proizvodnju i kvalitetu prinosa.

2. PROIZVODNJA ZELENE SALATE U HRVATSKOJ I SVIJETU

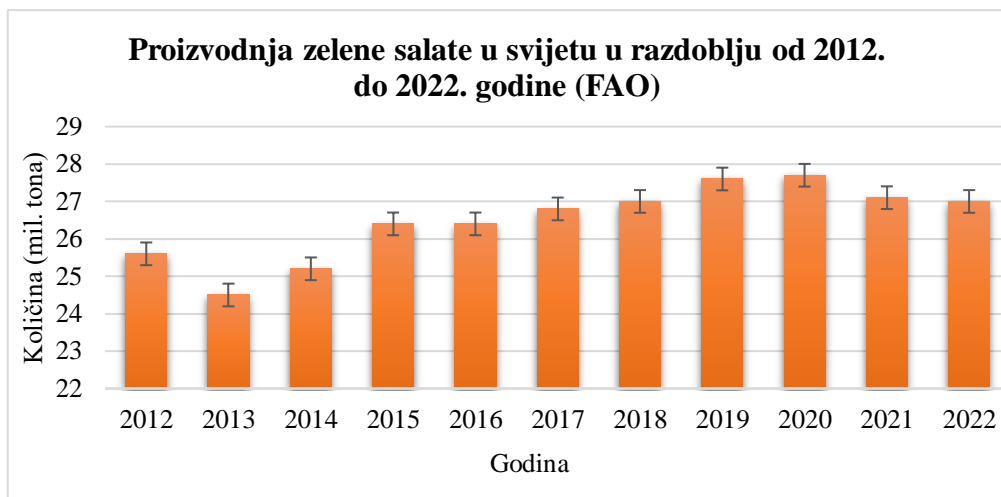
Zelena salata može se uzgajati na otvorenom i u zaštićenim prostorima, a prema podacima Food and agriculture organisation (FAO), u Hrvatskoj je prosječna proizvodnja zelene salate za desetogodišnje razdoblje od 2012. do 2022. godine iznosila 4 540 tona (Grafikon 1.), dok je prosjek površina na kojoj je proizvedena zelena salata u istom razdoblju 236 hektara. Prema navedenim podacima može se zaključiti kako je prosječan prinos za navedeno razdoblje bio 19,23 t/ha, dok Paradžiković (2009.) ističe kako je optimalan prinos zelene salate od 27 do 35 t/ha. Navedeni podaci ukazuju na prostor u poboljšanju postojeće proizvodnje u Hrvatskoj.



Grafikon 1. Proizvodnja zelene salate u Hrvatskoj u razdoblju od 2012. do 2022. godine (FAO)

Prema podacima prikazanim Grafikonom 1. vidljivo je da je tijekom 2020. godine ostvarena najveća ukupna proizvodnja zelene salate od gotovo 6,5 tisuća tona. Najmanja količina proizvedene salate zabilježena je 2014. godine. Najveća zabilježena površina namijenjena za proizvodnju zelene salate zabilježena je 2016. godine, dok je 2014. godine površina na kojoj se proizvodila zelena salata iznosila tek 95 hektara.

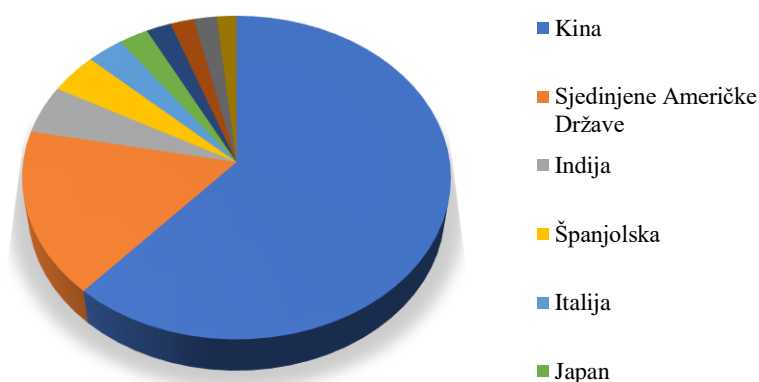
Prema podacima FAO-a, na svjetskoj razini je u istom razdoblju zelena salata proizvedena na prosječno 1,21 milijuna hektara. Najveći proizvođač salate na svijetu je Kina, s prosječnom proizvodnjom od 14 milijuna tona u istom razdoblju. Slijede Sjedinjene američke države (SAD) s proizvodnjom od gotovo 4 milijuna tona i Indija s nešto više od milijun tona proizvedene salate.



Grafikon 2. Proizvodnja zelene salate u svijetu u razdoblju od 2012. do 2022. godine (FAO)

Tijekom 2020. godine je zabilježena je proizvodnja od gotovo 28 milijuna tona, što je najveći iznos za promatrano desetogodišnje razdoblje. Također, usporedbom podataka za Hrvatsku i podataka za svjetsku proizvodnju, vidljivo je da je tijekom 2020. godine zabilježena najveća proizvodnja u Hrvatskoj, kao i u svijetu.

Grafikon 3. prikazuje vodeće svjetske proizvođače zelene salate u razdoblju od 2012. do 2022. godine. Iz Grafikona je vidljivo kako više od polovice proizvodnje salate na svjetskoj razini zauzima Kina.



Grafikon 3. Prikaz najvećih svjetskih proizvođača zelene salate u razdoblju od 2012. do 2022. godine (FAO)

Najveći proizvođači u Europi su Španjolska, Italija i Turska.

3. MORFOLOGIJA I SVOJSTVA ZELENE SALATE

Zelena salata (*Lactuca sativa* L.) je vrsta zelenog lisnatog povrća koje se ubraja u kategoriju najčešće konzumiranog povrća u svijetu čiji je ekonomski potencijal iznimno značajan (Damerum i sur., 2020.; Simko i sur., 2014.). Prema Nikolić (2019.) samooplodna je biljka reda Asterales, pripada porodici Cichoriaceae te rodu *Lactuca*. Značaj zelene salate za ljudsku prehranu određen je visokim sadržajem antioksidansa, prvenstveno vitamina C i polifenola, kao i vlakana (Shatilov i sur., 2019.).

Ukoliko se uzgaja za sjeme, onda vegetacija traje dvije godine, a najčešće se uzgaja kao jednogodišnja kultura. Ima vretenast i dobro razvijen korijen čija je masa smještena u plitkom površinskom sloju tla na dubini od 20 do 35 cm. Promjer korijena odgovara promjeru rozete s listovima (Parađiković, 2009.). Stabljika se sastoji od nodija i internodija. U prvoj vegetativnoj fazi internodiji su jako skraćeni. U drugoj, generativnoj fazi stabljika se naglo izdužuje i grana, te dosegne visinu i do 1,5 m završavajući sitnim glavičastim cvatovima. Prema Simko i sur. (2014.) lišće u početku vegetativne faze tvori rozetu, sjedeće je, ovalno i okruglo, više ili manje nazubljeno što ovisi o sorti salate, kao boja i struktura listova (Slika 1.). U Tablici 1. prikazani su različiti varijeteti i njihove karakteristike.



Slika 1. Raznolikost oblika i boja listova zelene salate

Izvor: Simko i sur. (2014.)

Tablica 1. Varijeteti zelene salate i njihove karakteristike

| Varijetet | Karakteristike |
|--|---|
| Salata glavatica (<i>L. sativa</i> L. var. <i>capitata</i>) | Salata glavatica tijekom svoje vegetacije formira glavicu savijanjem i preklapanjem vanjskih listova, dok unutrašnji rastu unutar glavice. Vanjski listovi su veće površine i tamnije boje u odnosu na unutrašnje koji su sitniji i svijetlo zelene boje. Najpoznatiji tipovi salata glavatica su maslenke (Slika 2.) i kristalke (Slika 3.). |
| Lisnata salata (<i>L. sativa</i> L. var. <i>crispa</i>) | Lisnata salata ima rozetu lišća ravnog, nazubljenog ili urezanog lista. Lisna površina može biti glatka ili naborana, od zelene do smeđocrvene boje. Uzgajaju se i sorte za rezanje lisne rozete ili za otkidanje pojedinačnih listova (<i>L. sativa</i> var. <i>secalina</i>). |
| Salata romana (<i>L. sativa</i> L. var. <i>romana</i>) | Salata romana razvija izduženu glavicu. |
| Salata stablašica (<i>L. sativa</i> L. var. <i>angustana</i>) | Salata stablašica razvija jestivu stabljiku visine do 35 cm. |
| Dugolisna salata (<i>L. sativa</i> L. var. <i>longifolia</i>) | Dugolisna salata ima glatko lišće na uskoj, uspravnoj rozeti, s jako izraženim srednjim rebrom. |

Izvor: (Parađiković, 2009.)



Slika 2. Salata glavatica – maslenka

Izvor:

<https://www.agroportal.hr/povrtlarstvo/345>

07



Slika 3. Salata glavatica – kristalka

Izvor:

<https://pseno.hr/trgovina/sjeme/povrce/salata-kristalka-melvine/>

Usporedbom dvaju najzastupljenijih kultivara unutar salata glavatica, maslenki i kristalki, može se zaključiti kako postoji značajna razlika u morfologiji listova. Kristalke imaju nazubljene i oštre listove, dok su listovi maslenki glatki i meki.

4. AGROEKOLOŠKI UVJETI UZGOJA ZELENE SALATE

Klimatske promjene uzrokuju čestu pojavu ekstremnih vremenskih uvjeta što negativno utječe na biljnu proizvodnju i predstavlja prijetnju sigurnosti hrane. Odgovarajuće agrotehničke prakse u biljnoj proizvodnji imaju važnu ulogu u očuvanju svih segmenata okoliša i povećanju organske tvari tla, čime se omogućuje stabilnost proizvodnje bilja (Testani i sur., 2020.). Prema Wallace i sur. (2012.) neodgovarajući klimatski uvjeti tijekom uzgoja zelene salate značajno pridonose nestabilnosti u prinosu i kvaliteti. Budući da je zelena salata brzorastuća biljka kratkog proizvodnog ciklusa, vrlo je zahtjevna prema specifičnim klimatskim uvjetima, vodi i hranjivim tvarima (Santosh i sur., 2017.).

4.1. Odnos zelene salate prema temperaturi i relativnoj vlažnosti zraka

Prema temperaturnim zahtjevima povrtna kultura se dijele na mezofilne i termofilne. Mezofilne povrtna kulture počinju nicali pri niskim temperaturama zraka, već od 1°C do 3°C, stoga se sjetva odvija u rano proljeće, dok se sjetva termofilnih biljaka odvija kasnije. Termofilnim biljkama za klijanje sjemena potrebna je minimalna temperatura zraka od 10°C i više, dok su optimalne temperature zraka za rast između 20°C i 30°C. Zelena salata je biljka koja se bolje razvija pri uvjetima hladnije do umjerene klime, stoga je najpovoljnije vrijeme za uzgoj na otvorenom u proljeće i jesen kada temperature nisu visoke. Minimalna temperatura zraka potrebna za optimalan razvoj je 10°C. Sjeme počinje klijati već pri temperaturi zraka od 5°C do 6°C, dok je optimalna temperatura za klijanje od 14°C do 20°C. Zhao i sur., (2022.) ističu kako su za optimalan rast i razvoj zelene salate najpovoljnije temperature zraka između 25°C i 35°C.

Važan okolišni čimbenik je i relativna vlaga zraka (Rvz), a prema Ahmed i sur. (2020.) povoljna Rvz za rast i razvoj zelene salate je od 70% do 80%. Prema Ojeda i sur. (2012.) okolišni čimbenici poput relativne vlage zraka, temperature i intenziteta svjetlosti značajno utječu na sve razvojne faze zelene salate, od klijanja i nicanja pa do generativne faze.

Proizvodnja zelene salate moguća je u zaštićenim prostorima, odnosno plastenicima ili staklenicima, te na otvorenom. Visoke temperature u zaštićenim prostorima mogu izazvati prekomjerno zagrijavanje listova biljke, smanjenje asimilacije i porast intenziteta disanja što može uzrokovati smanjenje prinosa. Osim toga, visoke temperature zraka uz visok intenzitet svjetlosti mogu uzrokovati uvijanje listova, slabiji razvoj glavice, uranjeni razvoj cvjetne stabljike i smanjeni prinos (Shaban i sur., 2016.).

4.2. Sjetva, sadnja i berba zelene salate

Salata se pretežno uzgaja presadnicama do razvijanja prva tri do četiri lista (Slika 4.) i tada se sadi (Slika 5.). Sadnja zelene salate može se obavljati ručno, ukoliko se sadi na manjoj površini, i mehanizirano (Slika 6.). Jednako vrijedi i za berbu koja se obavlja kada glavice postignu željeni oblik i masu (Slika 7.). Glavice se tada trebaju čuvati na temperaturi od 1 do 2 °C pri relativnoj vlažnosti zraka od 95% (Parađiković, 2009.).



Slika 4. Presadnica zelene salate

Izvor:

<https://www.agroklub.com/agro galerija/>



Slika 5. Ručna sadnja zelene salate

Izvor:

<https://living.vecernji.hr/media/img/3c/f1/5ca82480b1ba6208653a.jpeg>



Slika 6. Mehanizirana sadnja zelene salate

Izvor:

https://www.agroklub.com/agro galerija



Slika 7. Mehanizirana berba zelene salate

Izvor:

<https://www.ortomec.com/wp-content/uploads/2021/03/>

4.3. Odnos zelene salate prema vodi

Voda je jedan od najvažnijih kemijskih spojeva na Zemlji bez kojeg život ne bi bio moguć. U biljkama voda ima značajne uloge: služi kao otapalo, prenosi hranjive tvari od korijena do ostalih biljnih organa, neophodna je za proces fotosinteze i brojne metaboličke procese, biljkama služi za rashlađivanje u uvjetima visokih temperatura i održavanje turgora. Lisnato povrće, pa tako i zelena salata, je osjetljivo na nedostatak vode, odnosno sušu (Sorrentino i sur., 2019.). Zelena salata ima visoke zahtjeve za vodom tijekom razdoblja vegetacije. Potrebe za vodom ovise o različitim faktorima kao što su faze vegetacijskog rasta i razvoja, te klimatski čimbenici.

Marković i sur. (2021.) svojim istraživanjem potvrđuju prethodne navode. Naime, navodnjavanjem salate sustavom „kap po kap“, autori su utvrdili pozitivan utjecaj navodnjavanja na broj listova po glavici, gdje je najveći zabilježen broj izmjeren na tretmanu s najvećim neto obrokom navodnjavanja. Navodnjavanje zelene salate sustavom „kap po kap“ (Slika 8.) može imati pozitivan utjecaj na prinos jer zelena salata razvija korijen u plitkom sloju tla, a navedenom metodom se sadržaj vode u tlu može održavati u optimalnim vrijednostima.

Shams i sur. (2013.) ističu, kako je sustav za navodnjavanje „kap po kap“ učinkovitiji i ekonomičniji u odnosu na ostale sustave navodnjavanja.



Slika 8. Navodnjavanje zelene salate sustavom kap po kap

Izvor: <https://www.shutterstock.com/image-photo/>

Proizvodnja zelene salate na otvorenom zahtjeva od 75% do 80% maksimalnog vodnog kapaciteta u prvim fazama razvoja biljke, dok tijekom razdoblja formiranja glavice salati odgovara vrijednost od 60% do 65%.

Tomić (1988.) navodi kako je maksimalni vodni kapacitet je najveća količina vode koju neko tlo može primiti, odnosno stanje vlažnosti tla kod kojega su sve pore tla ispunjene vodom. Zelena salata vodu usvaja iz tla pomoću korijenovog sustava. Glavna masa korijena se nalazi u površinskom sloju gdje je voda nestabilna i nedostatna zbog čega je biljka jako osjetljiva na prekid i promjenu u opskrbi vodom. Tijekom vegetacije navodnjavanje se provodi prema potrebi. Uzgajanje zelene salate u zaštićenim prostorima najčešće podrazumijeva primjenu agrotehničke mjere navodnjavanja. Ukoliko je prisutna, suvišna voda u tlu može uzrokovati pojavu bolesti, štetnika i korova.

4.4. Odnos zelene salate prema svjetlosti

Svjetlost, kao i voda, ima iznimno važnu ulogu u rastu zelene salate, posebice tijekom početnih razvojnih faza klijanja i nicanja biljaka. S obzirom da je salata biljka dugog dana tako su i zahtjevi prema svjetlosti visoki. Budući da salata ima sitno sjeme koje se sije vrlo plitko, potrebna je dovoljna količina svjetlosti kako bi započelo nicanje. Suprotno tome, duga izloženost biljke svjetlosti izaziva prorastanje cvjetne stabljike. Zaštitom zelene salate od prejakog intenziteta svjetlosti, primjenom mreža za zasjenjivanje, Shaban i sur. (2016.) su utvrdili smanjenje transpiracije i povećanu učinkovitost kod usvajanja vode što ukazuje na osjetljivost zelene salate na visok intenzitet svjetlosti. Za razliku od suviška svjetlosti, nedostatak svjetlosti kao i uzgoj zelene salate u gustom sklopu, izazivaju usporeni rast, izduživanje stabljike i nekompaktne glavice.

Zhou i sur. (2019.) su provedenim istraživanjem, čiji je cilj bio utvrditi učinke intenziteta svjetlosti i temperature na fotosintetsku sposobnost i prinos zelene salate, utvrdili kako svjetlost, temperatura i njihova interakcija imaju značajan utjecaj na složeni proces fotosinteze, sadržaj klorofila u listovima i prinos zelene salate. Autori ističu kako je intenzitet svjetlosti tijekom rasta zelene salate imao važnu ulogu u fotosintetskoj aktivnosti. Nizak intenzitet svjetlosti utjecao je na smanjenje aktivnosti enzima fotosintetske asimilacije ugljika tijekom fotosinteze čime se smanjuje fotosintetska učinkovitost i biomasa. Zaključno, preporučuju raspon intenziteta svjetlosti od 350 do 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ pri temperaturi od 15 °C. Miao i sur. (2023.) naglašavaju kako kvaliteta i intenzitet svjetlosti te fotoperiodizam imaju ključnu ulogu u rastu zelene salate, osiguravajući biljkama energiju. Primjenom adekvatnog intenziteta svjetlosti kod uzgoja lisnatog povrća, moguće je smanjiti štetne utjecaje prejakog intenziteta svjetlosti koji može uzrokovati opekline na listovima, čime se narušava ekonomska vrijednost povrća.

5. UTJECAJ VODNOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE (*Lactuca sativa* L.)

Abiotski stres izazvan nedostatkom vode danas predstavlja jedan od najvećih izazova u biljnoj proizvodnji. Liu i sur. (2018.) ističu kako je nedostatak vode jedan od najznačajnijih izazova poljoprivredne proizvodnje na globalnoj razini. Razlog tomu su sve učestalije pojave intenzivnih i dugotrajnih razdoblja suše koja su praćena natprosječno visokim temperaturama zraka te nepravilnim rasporedom oborina tijekom razdoblja vegetacije. Procjenjuje se da je danas 60 % obradivih površina u svijetu zahvaćeno negativnim posljedicama suše (FAO, 2015.) pri čemu se ističe kako je navedena površina udvostručena u odnosu na prethodnih četrdeset godina te da je problem izraženiji u zemljama s intenzivnom poljoprivrednom proizvodnjom (FAO, 2021.). Park i sur. (2023.) navode kako će na globalnoj razini uzlazni trend suše i visokih temperatura uzrokovati otprilike 20% niže urode glavnih poljoprivrednih kultura. Najznačajnije agrotehničke mjere za ublažavanje negativnih posljedica suše su navodnjavanje vodom zadovoljavajuće kvalitete i odabir tolerantnih genotipova.

Vodni stres može se javiti i uslijed suviška vode što također nepovoljno djeluje na rast biljke. Suvišna voda je ona voda koja premašuje potrebe biljke za vodom, a suvišak vode u tlu javlja se kada su mikro i makropore tla ispunjene vodom što uzrokuje nastanak anaerobnih uvjeta. Može se javiti uslijed obilnih oborina ili prekomjernog navodnjavanja. Ukoliko navedeno stanje vlažnosti tla potraje, može doći do ozbiljnih oštećenja usjeva. Tablica 2. prikazuje negativne posljedice suvišne vode na tlo i biljku.

Tablica 2. Utjecaja suviška vode na tlo i biljku

| Utjecaj suvišne vode na tlo | Utjecaj suvišne vode na biljke |
|---------------------------------|---|
| Narušena fizikalna svojstva tla | Smanjenje procesa nitrifikacije i usvajanja dušika |
| Narušena kemijska svojstva tla | Onemogućeno djelovanje mikroorganizama |
| Pojava erozije | Povoljni uvjeti za razvoj bolesti te pojavu korova i štetnika |
| Anaerobni uvjeti | Venuće biljke |

Izvor: <https://www.agroklub.com/ratarstvo/provođenje-mjera-nakon-povlačenja-vode/13831/>

Prema Nurliana i sur. (2022.) abiotški stres uzrokovan nedostatkom vode jedan je od najučestalijih ograničavajućih čimbenika te skupine. Može biti uzrokovan nedostatkom oborine, odnosno nedostatkom vode u tlu kao i okolišnim čimbenicima koji uzrokuju gubitke vode evaporacijom i transpiracijom. Pojačana evaporacija i transpiracija se mogu javiti uslijed visokih temperatura i vjetera. Odgovor biljaka na stres uzrokovan nedostatkom vode ovisi o fazi razvoja i biljnoj vrsti. Tomić (1988.) navodi, kako je poljski vodni kapacitet količina vode koju tlo u prirodnim uvjetima, nakon obilnog vlaženja i poslije gravitacijskog procijeđivanja, može maksimalno zadržati. Autori ističu, kako je zelena salata osjetljiva na sušu zbog korijenovog sustava koji se razvija u plitkom sloju tla te naglašavaju, kako zahtijeva visok sadržaj vode u uzgojnom mediju ili tlu (više od 95% od poljskog vodnog kapaciteta, PVK). Ukoliko je sadržaj vode u tlu od 75% do 90% od PVK, zelena salata može doživjeti blagi vodni stres, a ako je sadržaj vode u tlu manji od 50% od PVK, biljke će doživjeti izraženi vodni stres.

Sayyari i sur. (2013.) ističu kako stres uzrokovan sušom uzrokuje povećanu stopu transpiracije, što uzrokuje pad sadržaja vode u biljnoj stanici. Ukoliko se sadržaj vode u tlu spusti na 30% do 40% od vrijednosti PVK biljke mogu doživjeti drastično smanjenje svježe nadzemne mase i kakvoće prinosa. Uslijed navedenih uvjeta fiziološki se procesi ne mogu odvijati optimalno jer biljka usporava metabolizam s ciljem preživljavanja stresnih uvjeta izazvanih sušom.

Stagnari i sur. (2016.) su pregledom dosadašnjih istraživanja o utjecaju vodnog stresa na usjeve istaknuli, kako je kod zelene salate u četvrtom tjednu vegetativnog razvoja, izložene blagom vodnom stresu, uočena povećana koncentracija ukupnih fenola i antioksidativnog kapaciteta što je važan mehanizam povećanja tolerantnosti na navedeni stres. Fenolni spojevi najčešće su pohranjeni u vakuolama epidermalnih stanica i stanica zapornica te u subepidermalnim stanicama listova i izdanaka (Lattanzio i sur., 2008.). Jedna od ključnih uloga fenolnih spojeva je obrambena, u uvjetima kao što je suša. Tada fenolni spojevi štite biljku od oksidativnih oštećenja.

Kizil i sur. (2012.) su utvrdili da je smanjenje vodnog stresa uzrokovalo povećanje prinosa zelene salate. Najveća razina vodnog stresa utvrđena je kod biljaka koje su navodnjavane najmanjim obrocima navodnjavanja (33% od maksimalnog kapaciteta za vodu). Nadalje, utvrdili su negativan utjecaj nedostatka vode na morfološke karakteristike poput mase glavice, promjera i visine biljke te broja listova po biljci. Također, promjene u morfoloiji

listova, uzrokovane nedostatkom vode, rezultirale su estetskim promjenama te smanjenjem koncentracije klorofila *a* i *b* te karotenoida.

Prema istraživanju Liu i sur. (2018.) zelena salata izložena vodnom stresu pokazuje značajno smanjenje površine listova. To je rezultat smanjenog produljenja stanica zbog nedostatka vode, što rezultira razvojem manjih listova. Površina lista izravno je povezana s fotosintetskom aktivnošću, pa smanjenje površine listova rezultira i smanjenjem fotosintetske aktivnosti biljke. Uz smanjenje površine, dolazi i do smanjenja debljine listova. Stomatalna provodljivost se smanjuje kao odgovor na vodni stres, a to je adaptivni mehanizam biljke za smanjenje transpiracije i gubitka vode. Međutim, smanjenje stomatalne provodljivosti također ograničava unos CO₂, što dodatno smanjuje intenzitet fotosinteze (Chaves i sur., 2003.). Visina biljke je još jedna morfološka karakteristika koja može biti narušena pod utjecajem vodnog stresa. Biljke koje rastu u uvjetima nedostatka vode imaju kraće stabljike i manju visinu zbog smanjenog produljenja stanica. Zhang i sur. (2017.) su utvrdili da vodni stres smanjuje rast stabljike zelene salate za više od 30% u usporedbi s kontrolnim biljkama uzgajanim u optimalnim uvjetima. Osim morfoloških promjena na listovima i stabljici, vodni stres također utječe na ukupnu biomasu biljke. Smanjenje fotosinteze i poremećaji u metabolizmu dovode do manje akumulacije suhe tvari, što se očituje kroz smanjenu biomasu biljke.

Prema istraživanju Hsiao (2000.), vodni stres može smanjiti ukupnu biomasu zelene salate od 20% do 50%, ovisno o intenzitetu i trajanju. Morfološke promjene uslijed vodnog stresa na zelenoj salati uključuju smanjenje površine i debljine listova, visine biljke te ukupne biomase. Ove promjene su rezultat adaptivnih mehanizama biljke na smanjenje transpiracije i održavanje osmotskog potencijala, ali također dovode do smanjenja fotosintetske efikasnosti biljke, što ostavlja negativne posljedice na prinos i kvalitetu.

Prema rezultatima istraživanja Cabillo (2019.) vodni stres ima značajan utjecaj na visinu biljke, broj listova, masu i koncentraciju klorofila *b*. Slika 9. prikazuje biljke navodnjavane optimalnim obrocima navodnjavanja (oznaka T0) i biljke izložene različitim razinama vodnog stresa (T1 = suša, T2 = suvišak vode, T3 = suša; suvišak vode, T4 = suvišak vode; suša). Rezultati ukazuju na značajan utjecaj vodnog stresa na razvoj biljaka.



Slika 9. Utjecaj vodnog stresa na rast i morfologiju zelene salate

Izvor: Cabillo (2019.)

5.1. Pozitivan učinak kontroliranog deficita vode

Kontrolirani deficit vode može imati pozitivan učinak na kvalitetu i prinos zelene salate, kao i na povećavanje trajnosti glavica salate nakon berbe. Problematika održavanja svježine i kakvoće salate nakon berbe je jedan od najčešćih problema u proizvodnji (Damerum i sur., 2020.). Primjenom kontroliranog deficita vode u određenim fazama rasta može se potaknuti akumulacija fenolnih spojeva i antioksidanasa, čime se povećava nutritivna vrijednost povrća, odnosno otpornost povrća na nepovoljne stresne uvjete.

Stagnari i sur. (2016.) također ističu kako kontrolirani deficit vode ima utjecaj na povećanje koncentracije ukupnih fenola i antioksidativnog kapaciteta kod biljaka izloženih niskim razinama vodnog stresa. Ova metoda može poboljšati učinkovitost korištenja vode i dovesti do pozitivnih promjena u rastu i razvoju biljaka izloženih stresu. Smanjenjem količine dostupne vode tijekom neosjetljivih faza rasta, biljka razvija korijenov sustav u dubljim slojevima tla, što omogućava bolje iskorištavanje vode.

Prema istraživanju Katerji i sur. (2008.), zelena salata uzgajana pod uvjetima kontroliranog deficita vode pokazala je veću učinkovitost korištenja vode u usporedbi s biljkama koje su uzgajane u uvjetima optimalnog navodnjavanja. Ovo je posebno važno u područjima sa smanjenom dostupnošću vode za navodnjavanje.

Prema istraživanju Lopez i sur. (2006.), kontrolirani deficit vode može povećati koncentraciju šećera i vitamina C u listovima zelene salate. Povećana koncentracija ovih spojeva može poboljšati nutritivnu vrijednost i organoleptička svojstva. Primjena navedene mjere također može smanjiti rizik od pojave bolesti koje su povezane s prekomjernim navodnjavanjem, kao što su gljivične infekcije. Smanjenjem vlažnosti tla i površine listova, smanjuje se povoljno okruženje za razvoj patogena (Stoll i sur., 2008.). Nadalje, biljke često

pokazuju povećanu učinkovitost fotosinteze ukoliko su izložene navedenom deficitu (Chaves i sur., 2009.) što je rezultat bolje regulacije stomata i povećane koncentracije CO₂ u međustaničnim prostorima listova, što može poboljšati fotosintetsku aktivnost i smanjiti gubitak vode.

Smanjenjem količine vode koja se koristi za navodnjavanje smanjuje se iscrpljivanje vodnih resursa i negativan utjecaj na okoliš. Ekonomičnija upotreba vode također smanjuje troškove proizvodnje, što je važno za održivu poljoprivrednu praksu (Fererres i Soriano, 2007.). Ova tehnika može biti posebno korisna u regijama gdje je voda oskudan resurs i gdje poljoprivrednici moraju balansirati između potrebe za navodnjavanjem i očuvanja vodnih resursa. Zbog svojih brojnih prednosti, kontrolirani deficit vode predstavlja značajan korak prema održivoj i učinkovitoj proizvodnji bilja.

Istraživanje Paim i sur. (2020.) potvrđuje prethodne navode. Autori tvrde kako je kontrolirani deficit vode jedna od strategija kojom je moguće povećati sadržaj funkcionalnih spojeva u biljkama. Osim toga, ističu kako biljke izložene blagom vodnom stresu (80% od maksimalnog kapaciteta tla za vodu) imaju veću dugotrajnost nakon berbe. Biljke izložene navedenom tretmanu su pokazale bolje parametre kvalitete u pogledu većeg sadržaja karotenoida, klorofila, kafeinske kiseline i većeg ukupnog sadržaja antioksidansa.

6. UTJECAJ SOLNOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE (*Lactuca sativa* L.)

U biljnoj proizvodnji se kao sve veći problem ističe prekomjerna akumulacija soli, odnosno solni stres, što je posebice izraženo na navodnjavanim površinama. Martinez-Beltran i Manzur (2005.) navode kako je problem zaslanjenosti poljoprivrednih tala zabilježen na 833 milijuna hektara diljem svijeta. Naime, kako biljka usvaja vodu koja sama po sebi sadrži određenu količinu soli, soli u tlu se akumuliraju i otežavaju usvajanje vode. Pored toga, uslijed klimatskih promjena raste potreba za vodnim resursima čiji je najveći potrošač biljna proizvodnja, a obzirom na to da su vodni resursi ograničeni, sve češća je primjena voda umanjene kakvoće koja radi nepovoljnog kemijskog sastava ima štetne posljedice po biljku, tlo, ali i sam sustav za navodnjavanje. Prvenstveno se ističe štetno djelovanje soli, kao i natrijevih iona u pogledu koncentracije te nepovoljnog odnosa s drugim ionima kao što su kalij, kalcij i magnezij. U uvjetima zaslanjenosti dolazi do nakupljanja natrijevih iona (Na^+) i iona klorida (Cl^-) u biljnom tkivu što uzrokuje osmotski stres, smanjenje vodnog potencijala biljke te ometanja brojnih metaboličkih procesa. Navedeno će ovisiti o kvaliteti vode za navodnjavanje, metodi navodnjavanja i drenaži.

Prema Shrivastava i Kumar (2015.) tlo ili uzgojni medij se može definirati kao zaslanjeno ukoliko je električna vodljivost (EC) u zoni korijena viša od 4 dS/m, što je približno 40 mM NaCl-a. Navedene vrijednosti uzrokuju smanjenje prinosa kod većine usjeva iako određeni usjevi negativno reagiraju i na niže koncentracije soli.

Azarmi-Atajan i Sayyari-Zohan (2020.) navode, kako je zelena salata umjereno tolerantna na solni stres do 1,3 dS/m, dok Adhikari i sur. (2021.) navode kako salata uspješno raste pri vrijednosti EC od 1,3 do 2,0 dS/m.

Prema istraživanju Azarmi Atajan i Sayyari-Zohan (2020.), zelena salata izložena solnom stresu pokazuje značajno smanjenje površine listova. Smanjenje površine listova može biti posljedica osmotskog stresa koji sprječava normalno produljenje stanica. Time se smanjuje ukupna fotosintetska površina, što izravno utječe na smanjenje fotosinteze i rasta biljke. Osim smanjenja površine listova, solni stres može dovesti i do promjena u teksturi i boji listova. Listovi često postaju deblji i tamniji zbog povećane koncentracije soli unutar stanica, što rezultira nakupljanjem osmolitika kao što su prolini i šećeri. Ove promjene mogu biti adaptivni mehanizmi za održavanje osmotskog potencijala i zaštitu od oksidativnog stresa uzrokovanog solima (Shrivastava i Kumar, 2015.).

Visina biljke također je pod utjecajem solnog stresa. Biljke koje rastu u zaslanjenim uvjetima često imaju kraće stabljike i nižu visinu zbog smanjenog produljenja stanica i poremećaja u hormonalnoj ravnoteži. Osim morfoloških promjena na listovima i stabljici, solni stres također utječe na ukupnu biomasu biljke. Solni stres uzrokuje osmotski stres i ionsku toksičnost, što dovodi do smanjenja rasta korijena i ukupne biomase.

Prema istraživanju Munns i Tester (2008.), solni stres može smanjiti ukupnu biomasu zelene salate za 30% do 50%, ovisno o intenzitetu i trajanju stresa. Morfološke promjene uslijed solnog stresa na zelenoj salati uključuju smanjenje površine listova, visine biljke te ukupne biomase. Ove promjene rezultat su adaptivnih mehanizama biljke na osmotski stres i ionsku toksičnost, ali također dovode do smanjenja fotosintetske efikasnosti i rasta biljke, što ima negativne posljedice na prinos i kvalitetu zelene salate.

Prilikom izloženosti solnom stresu, biljke doživljavaju niz fizioloških promjena koje omogućuju adaptaciju i preživljavanje u nepovoljnim uvjetima. Jedan od primarnih fizioloških odgovora na solni stres je osmotska prilagodba. Biljke akumuliraju osmolitike kao što su prolina, betaini i šećeri kako bi smanjile osmotski potencijal i održale turgor stanica.

Shin i sur. (2020.) su istraživali utjecaj različitih koncentracija natrijevog klorida (NaCl) u vodi za navodnjavanje na parametre fluorescencije klorofila i prolina te antioksidativnu aktivnost presadnica izloženih solnom stresu. Otopine su se sastojale od slijedećih koncentracija NaCl: 0 (kontrola), 50, 100, 200, 300 i 400 mM. Utvrđen je značajan negativan utjecaj solnog stresa na čimbenike rasta i razvoja (svježa i suha masa korijena, duljina epikotila, broj, duljina, širina i površina lista) već pri koncentraciji NaCl-a od 100 mM. Nadalje, utvrđen je značajan negativan učinak povišene koncentracije soli na fluorescenciju klorofila, fitokemijske komponente i antioksidativnu aktivnost pri čemu je najveće zabilježeno odstupanje zabilježeno kod sadržaja prolina pri čemu je približno 32 puta veća koncentracija prolina zabilježena kod biljaka tretiranih koncentracijom od 400 mM NaCl-a u odnosu na kontrolni tretman. Navedeni rezultati ukazuju na proporcionalno povećanje sadržaja prolina s povećanjem saliniteta.

Ashraf i Foolad (2007.) navode kako se prolina akumuliraju u velikim količinama u listovima zelene salate izložene solnom stresu, što pomaže u održavanju osmotske ravnoteže i zaštiti staničnih struktura od oštećenja. Solni stres također utječe na ionsku homeostazu kojom se održava niska razina natrijevih iona unutar citoplazme.

Tester i Davenport (2003.) navode da je povećanje K^+/Na^+ omjera ključno za održavanje funkcije stanice i metabolizma u uvjetima solnog stresa. Antioskidativna obrana je još jedan važan fiziološki odgovor na solni stres. Solni stres inducira proizvodnju reaktivnih kisikovih radikala koji mogu uzrokovati oksidativna oštećenja komponenti stanice. Kako bi se zaštitila od ovih oštećenja, u biljci se aktiviraju enzimski i neenzimski antioksidativni sustavi.

Enzimi poput superoksid dismutaze (SOD), katalaze (CAT) i peroksidaze (POD) imaju ključnu ulogu u neutraliziranju reaktivnih oblika kisika (ROS) i smanjenju oksidativnog stresa (Mittler, 2002.). Fotosinteza je jedan od fizioloških procesa koji je značajno narušen solnim stresom. Smanjena stomatalna provodljivost i povećana akumulacija soli u listovima dovode do smanjenja fotosintetske efikasnosti.

Suprotno prethodnim navodima, istraživanje Garrido i sur. (2014.) potvrđuje kako umjereni solni stres poboljšava produktivnost, fitokemijske i strukturne promjene te kvalitetu salate nakon berbe. Autori ističu kako je elastičnost lista povećana kod svih tretmana solnog stresa u odnosu na kontrolni tretman što je uzrokovano proširenjem staničnih stjenki. Navedene prilagodbe su korisne jer smanjuju dehidraciju i održavaju optimalni turgor zelene salate tijekom solnog stresa.

Bartha i sur. (2015.) ističu kako je jedan od najštetnijih čimbenika u procesu poljoprivredne proizvodnje zaslanjenost poljoprivrednih površina, s naglaskom na navodnjavane površine. Postoji niz prilagodbi i rješenja navedene problematike, a jedno je u odabiru tolerantnijih kultivara. Sukladno tome, proveli su istraživanje koristeći pet različitih kultivara uzgajanih hidroponskim sustavom proizvodnje u Hoaglandovoj otopini. Biljke su izložene solnom stresu, koncentracije 50 i 100 mM NaCl, 21 dan nakon presađivanja, te je po završetku vegetacije izmjerena svježa nadzemna masa i sadržaj suhe tvari u istoj, svježa masa korijena te sadržaj prolina u biljkama. Provedenom statističkom analizom utvrđeno je značajno smanjenje svježe nadzemne mase kod svih pet kultivara. Solni stres nije inhibirao rast korijena, nego je imao stimulirajuće djelovanje, osim kod kultivara Asparagina. Suha nadzemna masa bila je najveća kod biljaka tretiranih s 50 mM NaCl. Sadržaj prolina proporcionalno je rastao sa povećanjem količine NaCl. Najveća koncentracija prolina zabilježena je na kultivaru Paris Island, na tretmanu sa 100 mM NaCl što ukazuje na mogućnost uzgoja navedenog kultivara u područjima sa zaslanjenim poljoprivrednim površinama, dok je kultivar Asparagina zabilježen kao najosjetljiviji u provedenom istraživanju.

Fiziološki odgovori zelene salate na solni stres uključuju osmotsku prilagodbu putem akumulacije osmolitika, regulaciju ion homeostaze, aktivaciju antioksidativnih sustava i smanjenje fotosintetske efikasnosti. Ove prilagodbe omogućuju biljci da preživi i raste u uvjetima visokih koncentracija soli, iako s reduciranim prinosom i kvalitetom. Simptomi na biljci izloženoj solnom stresu su slični simptomima koje biljke pokazuju uslijed dugotrajne suše. Upravo zbog toga važno je poznavati sve karakteristike uzgajane kulture, kao i njezine granice tolerantnosti na navedene stresore.

7. ZAKLJUČAK

Biljna proizvodnja, pa tako i proizvodnja povrća, izložena je brojnim čimbenicima koji mogu negativno utjecati na rast, razvoj i u konačnici prinos uzgajanih kultura. Jedna od najrasprostranjenijih i ekonomski najzastupljenijih vrsta lisnatog povrća je zelena salata koju karakterizira razvoj korijenovog sustava u plitkom sloju tla, zbog čega je osjetljiva na promjene stanja vlažnosti tla. Osim na nedostatak vode, zelena salata je osjetljiva na povišenu koncentraciju soli u vodi za navodnjavanje i tlu. Brojna istraživanja ukazuju na negativne učinke nedostatka vode na morfologiju i rast zelene salate, a neki od značajnijih su: negativan utjecaj nedostatka vode na prinos, masu glavice, promjer i visinu biljke (Kizil i sur. (2012.)). Liu i sur. (2018.) su utvrdili smanjenje lisne površine i fotosintetske aktivnosti kod biljaka izloženih vodnom stresu. U istraživanju Hsiao (2000.) je utvrđen negativan utjecaj vodnog stresa na ukupnu biomasu zelene salate, dok Munns i Fester (2008.) ističu kako solni stres također negativno utječe na ukupnu biomasu iste biljne vrste. Azarmi Atajan i Sayyari-Zohan (2020.) naglašavaju kako je u njihovom istraživanju utvrđeno značajno smanjenje lisne površine kod biljaka izloženih povišenim koncentracijama soli.

Adhikari i sur. (2021.) tvrde da zelena salata uspješno raste pri vrijednosti EC od 1,3 do 2 dS/m, a Garrido i sur. (2014.) ističu kako umjereni solni stres poboljšava produktivnost zelene salate i kvalitetu glavica nakon berbe.

Kako bi se umanjio štetni utjecaj navedenih abiotičkih stresnih čimbenika, važno je proučiti gornju granicu tolerancije zelene salate na vodni i solni stres. Poznavanjem razine tolerancije biljke moguće je ostvariti visoke i kvalitetne prinose uz optimalan utrošak vode za navodnjavanje.

8. POPIS LITERATURE

1. Adhikari, B., Olorunwa, O. J., Wilson, J. C., Barickman, T. C. (2021): Morphological and physiological response of different lettuce genotypes to salt stress. *Stresses*, 1(4), 285-304.
2. Agrokлуб (2014.): Provođenje mjera nakon povlačenja vode. <https://www.agroklub.com/ratarstvo/provođenje-mjera-nakon-povlačenja-vode/13831/> (Datum pristupa: 12.09.2024.)
3. Ahmed, H. A., Yu-Xin, T., Qi-Chang, Y. (2020): Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review. *South African Journal of Botany*, 130, 75-89.
4. Arora, N. K. (2019): Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2(2), 95-96.
5. Ashraf, M., Foolad, M. R. (2007): Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59(2), 206-216.
6. Ayyogari, K., Sidhya, P., Pandit, M. K. (2014): Impact of climate change on vegetable cultivation-a review. *International Journal of Agriculture, Environment and Biotechnology*, 7(1), 145-155.
7. Azarmi-Atajan, F., Sayyari-Zohan, M. H. (2020): Alleviation of salt stress in lettuce (*Lactuca sativa* L.) by plant growth-promoting rhizobacteria. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 3, 67-78.
8. Bartha, C., Fodorpataki, L., Martinez-Ballesta, M. D. C., Popescu, O., Carvajal, M. (2015): Sodium accumulation contributes to salt stress tolerance in lettuce cultivars. *Journal of applied botany and food quality-angewandte botanik*, 88, 42-48.
9. Cabillo, C. M. (2019): Biomass production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under water stress. *Int. J. Sci. Eng. Res*, 10(12), 928-935.
10. Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. (2003): Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264.
11. Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J. P., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Carvalho, I., Faria, T., Santos, T. (2009): How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*, 103(4), 551-560.
12. Damerum, A., Chapman, M. A., Taylor, G. (2020): Innovative breeding technologies in lettuce for improved post-harvest quality. *Postharvest biology and technology*, 168, 111266.

13. Domac R. (1994): Flora Hrvatske, priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb, Zagreb, 1-504.
14. Fereres, E., Soriano, M. A. (2007): Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159.
15. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO (2015.): The Impact Disasters on Agriculture and Food Security. <https://www.fao.org/publications/home/fao-flagship-publications/the-impact-of-disasters-on-agriculture-and-food-security/en> (Datum pristupa: 5.6.2024.).
16. Food and agriculture organization of the united nations (FAO) (2021.): A rapid review of drought risk mitigation measures. Integrated drought management. Rome, Italy.
17. Food and agriculture organisation, FAO. Faostat, statistički podaci. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> (Datum pristupa: 05.06.2024.).
18. Food and agricultural organisation, FAO (2021.): Food systems account for more than one third of global greenhouse gas emissions. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1379538/> (04.06.2024.).
19. Garrido, Y., Tudela, J. A., Marín, A., Mestre, T., Martínez, V., Gil, M. I. (2014): Nutritional quality of commercial lettuce varieties of *Lactuca sativa* L. exposed to salt stress and postharvest conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 91, 1-10.
20. Hsiao, T. C. (2000): Physiological responses to moderate water stress. *Plant production and environment*. Elsevier, 347-369.
21. Katerji, N., Mastrorilli, M., Rana, G. (2008): Water use efficiency of crops cultivated in the Mediterranean region: Review and analysis. *European Journal of Agronomy*, 28(4), 493-507.
22. Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., Waterland, N. L. (2016): Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19-34.
23. Kizil, Ü., Genç, L., İnalpulat, M., Şapolyo, D., Mirik, M. (2012): Lettuce (*Lactuca sativa* L.) yield prediction under water stress using artificial neural network (ANN) model and vegetation indices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 99(4), 409–418.
24. Kurunc, A. (2021): Effects of water and salinity stresses on growth, yield, and water use of iceberg lettuce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(13), 5688-5696.

25. Lattanzio, V., Kroon, P.A., Quideau, S., Treutter, D. (2008.): Plant Phenolics–Secondary Metabolites with Diverse Functions. Recent Advances in Polyphenol Research. Daayf, F., Lattanzio, V. (ur.). Oxford, Wiley-Blackwell, 1–35.
26. Liu, C. J., Wang, H. R., Wang, L., Han, Y. Y., Hao, J. H., Fan, S. X. (2018.): Effects of different types of polyamine on growth, physiological and biochemical nature of lettuce under drought stress. IOP Publishing, 185, 1, 012010.
27. Lopez, A., Garcia, C., Sanchez, M., Martinez, J. (2006): Controlled water deficit enhances sugar and vitamin C concentrations in lettuce leaves. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 81(5), 921-926.
28. Marković, M., Šoštarčić, J., Avreljo, A., Kapular, K., Ravlić, M., Dadić, M., Josipović, M., Japundžić-Palenkić, B., Atilgan, A. (2021): Yield and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars as affected by irrigation. U: International Congress on Agriculture in Alanya, Agriculture in the World (ICAAW2021), Firat, A. ; Atilgan, A. ; Burak, S., Alanya: Alanya Alaadin Keykubat University, Antalya, Turkey, 168-176.
29. Martinez-Beltran, J., Manzur, C. L. (2005): Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem. U: Proceedings of the International Salinity Forum, Water Science and Policy Center, Riverside, 311-313.
30. Miao, C., Yang, S., Xu, J., Wang, H., Zhang, Y., Cui, J., Zhang, H., Jin, H., Lu, P., He, L., Yu, J., Zhou, Q., Ding, X. (2023): Effects of light intensity on growth and quality of lettuce and spinach cultivars in a plant factory. Plants, 12(18), 3337.
31. Mokrani, S., Nabti, E. H., Cruz, C. (2020): Current advances in plant growth promoting bacteria alleviating salt stress for sustainable agriculture. Applied Sciences, 10(20), 7025.
32. Mittler, R. (2002): Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science, 7(9), 405-410.
33. Munns, R., Tester, M. (2008): Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681.
34. Nikolić T. (2019): Flora Croatica – vaskularna flora Republike Hrvatske, Volumen 4. Ekскурzijska flora. Alfa d.d., Zagreb, v-x, 3-664.
35. Nurliana, S., Fachriza, S., Hemelda, N. M., Yuniati, R. (2022.): Chitosan application for maintaining the growth of lettuce (*Lactuca sativa*) under drought condition. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, Bristol, 980, 1, 012013.

36. Ojeda, A. D., Ligarreto, G. A., Martínez, O. (2012): Effects of environmental factors on the morphometric characteristics of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomía Colombiana*, 30(3), 351-358.
37. Paim, B. T., Crizel, R. L., Tatiane, S. J., Rodrigues, V. R., Rombaldi, C. V., Galli, V. (2020): Mild drought stress has potential to improve lettuce yield and quality. *Scientia Horticulturae*, 272, 109578.
38. Paradžiković, N. (2009): *Opće i specijalno povrćarstvo*. Sveučilište u Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
39. Park, S., Shi, A., Meinhardt, L. W., Mou, B. (2023): Genome-wide characterization and evolutionary analysis of the AP2/ERF gene family in lettuce (*Lactuca sativa*). *Scientific Reports*, 13(1), 21990.
40. Rodríguez, M., Canales, E., Borrás-Hidalgo, O. (2005): Molecular aspects of abiotic stress in plants. *Biotecnología Aplicada*, 22(1), 1-10.
41. Santosh, D. T., Reddy, R. G., Tiwari, K. N. (2017): Effect of drip irrigation levels on yield of lettuce under polyhouse and open field condition. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 6(7), 1210-1220.
42. Sayyari, M., Ghavami, M., Ghanbari, F., Kordi, S. (2013): Assessment of salicylic acid impacts on growth rate and some physiological parameters of lettuce plants under drought stress conditions. *Journal of Applied and Environmental Biological Sciences*, 3(4), 5-12.
43. Shaban, N. T., Tzvetkova, N., Cherkez, R., Parvanova, P. (2016): Evaluation of response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to temperature and light stress. *Acta Agrobotanica*, 69(2).
44. Shah, L. R., Sharma, A., Nabi, J., Rathore, J. P. (2018): Breeding approaches for abiotic stress management in vegetable crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3), 1023-1028.
45. Shams, A. S., Abd El-Rahman, H. M., El-Ramady, H. R. (2013): Evaluation of integrated nutrient management practices for lettuce production under drip irrigation system. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(3), 2223-2231.
46. Shatilov, M. V., Razin, A. F., Ivanova, M. I. (2019.): Analysis of the world lettuce market. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing 395, 1, 012053.

47. Shrivastava, P., Kumar, R. (2015): Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, 22(2), 123-131.
48. Shin, Y. K., Bhandari, S. R., Jo, J. S., Song, J. W., Cho, M. C., Yang, E. Y., Lee, J. G. (2020): Response to salt stress in lettuce: Changes in chlorophyll fluorescence parameters, phytochemical contents, and antioxidant activities. *Agronomy*, 10(11), 1627.
49. Simko, I., Hayes, R. J., Mou, B., McCreight, J. D. (2014.): Lettuce and spinach. Yield gains in major US field crops, 33, 53-85.
50. Sorrentino, M., Colla, G., Roupael, Y., Panzarov, K., Trnka, M. (2019.): Lettuce reaction to drought stress: Automated high-throughput phenotyping of plant growth and photosynthetic performance. U: XI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates and I International Symposium on Nettings, A. P. Papadopoulos H. H. van der Veen S. M. K. Smith E. K. H. van der Meer, International Society for Horticultural Science (ISHS): Leuven, Belgija 133-142.
51. Stagnari, F., Galieni, A., Pisante, M. (2016): Drought stress effects on crop quality. *Water stress and crop plants: a sustainable approach*, 2, 375-392.
52. Stoll, M., Dehne, H. W., Schubert, K. (2008): Effects of soil moisture and leaf wetness on the development of plant diseases. *Plant Pathology*, 57(3), 292-305.
53. Testani, E., Montemurro, F., Ciaccia, C., Diacono, M. (2020): Agroecological practices for organic lettuce: effects on yield, nitrogen status and nitrogen utilisation efficiency. *Biological Agriculture & Horticulture*, 36(2), 84-95.
54. Tester, M., Davenport, R. (2003): Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Annals of Botany*, 91(5), 503-527.
55. Tomić, F. (1988.): Navodnjavanje. Zagreb: Savez poljoprivrednih inženjera i tehničara Hrvatske i Fakultet poljoprivrednih znanosti sveučilišta u Zagrebu.
56. Wallace, R. W., Wszelaki, A. L., Miles, C. A., Cowan, J. S., Martin, J., Roozen, J., Inglis, D. A. (2012): Lettuce yield and quality when grown in high tunnel and open-field production systems under three diverse climates. *HortTechnology*, 22(5), 659-668.
57. Zhou, J., Li, P., Wang, J., Fu, W. (2019): Growth, photosynthesis, and nutrient uptake at different light intensities and temperatures in lettuce. *HortScience*, 54(11), 1925-1933.

58. Zhang, X., Liu, W., Wang, Y., Li, J. (2017): Impact of water stress on stem growth and physiological parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.). Journal of Agricultural Science, 155(6), 1120-1130.
59. Zhao, X., Sui, X., Zhao, L., Gao, X., Wang, J., Wen, X., Li, Y. (2022): Morphological and physiological response mechanism of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to consecutive heat stress. Scientia Horticulturae, 301, 111112.