

# Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka abiotskog stresa na rast i morfološka svojstva salate ( *Lactuca sativa* L.)

---

Špoljarić, Zvonimir

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:151:421358>

*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

Zvonimir Špoljarić

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda

Modul Bilinogojstvo

**Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka abiotskog 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

Zvonimir Špoljarić

Sveučilišni prijediplomski studij Poljoprivreda

Modul Bilinogojstvo

**Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka abiotskog 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, član
3. doc. dr. sc. Jurica Jović, član

Osijek, 2024.

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

---

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

Završni rad

Zvonimir Špoljarić

### Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka abiotskog stresa na rast i morfološka svojstva zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

**Sažetak:** Zelena salata (*Lactuca sativa* L.) je široko rasprostranjena povrtlarska kultura koju karakterizira bogata nutritivna vrijednost zahvaljujući visokom sadržaju vode, karotenoida, vitamina C i E te raznih sekundarnih metabolita koji imaju pozitivan utjecaj na zdravlje ljudi. Može se uzgajati kao jednogodišnja ili dvogodišnja biljka, a zahvaljujući kratkom vegetacijskom ciklusu te specifičnim morfološkim karakteristikama osjetljiva je na abiotске stresne čimbenike prisutne tijekom rasta i razvoja. Abiotски stresni čimbenici mogu značajno utjecati na nutritivnu vrijednost, morfološke karakteristike i elemente prinosa zelene salate. Brojna istraživanja ukazuju na mogućnost smanjenja štetnih utjecaja navedenih čimbenika primjenom mikoriznih pripravaka u biljnoj proizvodnji, odnosno uzgoju zelene salate. Prema brojnim dosadašnjim istraživanjima, mikoriza, zahvaljujući simbiotskoj vezi između korijena biljke i hife gljiva, ima pozitivan utjecaj na rast i razvoj biljaka, kvalitetu prinosa i tla. Primjenom mikoriznih pripravaka u uzgoju zelene salate moguće je povećati tolerantnost biljaka na nepovoljne abiotске čimbenike čime se ostvajuju stabilniji i kvalitetniji prinosi uz doprinos u poboljšanju fizikalno-kemijskih svojstava tla i održivosti poljoprivredne proizvodnje.

**Ključne riječi:** abiotски stres, zelena salata, mikoriza, održiva poljoprivredna proizvodnja

26 stranica, 9 slika, 1 grafikon, 50 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 mycorrhiza on growth and morphological parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) under abiotic stress

**Summary:** Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a widespread vegetable crop characterised by a rich nutritional value due to its high content of water, carotenoids, vitamins C and E and various secondary metabolites that positively impact human health. It can be grown as an annual or biennial plant. Due to its short vegetation cycle and specific morphological traits, it is sensitive to abiotic stress factors present during growth and development. Abiotic stress factors can significantly affect lettuce's nutritional value, morphological traits and yield elements. Numerous studies indicate the possibility of reducing the harmful effects of the mentioned factors by applying mycorrhizal fungi preparations in plant production, i.e. growing lettuce. According to multiple previous studies, mycorrhiza, with the help of the symbiotic relationship between plant roots and fungal hyphae, positively influences the growth and development of plants, yield and soil quality. By applying mycorrhizal preparations in the cultivation of lettuce, it is possible to increase the tolerance of plants to harmful abiotic factors, which results in more stable and better yields with a contribution to improving the physical and chemical properties of the soil and the sustainability of agricultural production.

**Key words:** water stress, salt stress, lettuce, sustainable agriculture

26 pages, 9 pictures, 1 chart, 50 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. ZELENA SALATA ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	3
3. ABIOTSKI STRES U BILJNOJ PROIZVODNJI.....	7
3.1. <i>Abiotiski stres uzrokovan visokom temperaturom – toplinski stres</i> .....	8
3.2. <i>Abiotiski stres uzrokovan niskom temperaturom</i> .....	9
3.3. <i>Abiotiski stres uzrokovan nedostatkom vode</i> .....	11
3.4. <i>Abiotiski stres uzrokovan povišenim salinitetom</i> .....	12
3.5. <i>Abiotiski stres uzrokovan sadržajem teških metala u tlu</i> .....	13
4. UČINKOVITOST MIKORIZE U UBLAŽAVANJU UČINAKA ABIOTSKOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE ( <i>Lactuca sativa</i> L.).....	15
4.1. <i>Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka visokih temperatura na zelenu salatu</i> ..	15
4.2. <i>Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka niskih temperatura na zelenu salatu</i> ....	16
4.3. <i>Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka nedostatka vode na zelenu salatu</i> .....	16
4.4. <i>Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka saliniteta na zelenu salatu</i> .....	18
4.5. <i>Uloga mikorize u ublažavanju učinaka teških metala na zelenu salatu</i> .....	19
5. ZAKLJUČAK .....	21
6. POPIS LITERATURE.....	22

## 1. UVOD

Poljoprivredna proizvodnja obuhvaća niz djelatnosti kojima se proizvodi hrana za ljudsku populaciju i životinje. Važna grana poljoprivredne proizvodnje je biljna proizvodnja unutar koje značajno mjesto zauzima povrćarstvo. Može se definirati kao grana poljoprivrede koja se bavi uzgojem raznih vrsta povrća, u zaštićenim prostorima i na otvorenom, s ciljem dobivanja proizvoda visoke kvalitete i prinosa. Cjelokupan proces proizvodnje povrća uključuje planiranje agrotehničkih mjera poput pripreme zemljišta, odnosno medija za rast i razvoj biljaka, sadnju ili sjetvu, kao i primjenu odgovarajućih tehnika navodnjavanja, gnojidbe, kontrole štetnika i redovite njege kako bi se osigurala željena kvaliteta i optimalan prinos povrća. Komercijalnom proizvodnjom povrća u Hrvatskoj se bavi oko 39 tisuća gospodarskih subjekata, uglavnom obiteljskih poljoprivrednih gospodarstava, što je gotovo četvrtina svih poljoprivrednih gospodarstava, ali se proizvodnja odvija na svega devet tisuća hektara, što je samo 1% od ukupno korištenih oraničnih površina Republike Hrvatske (Matotan, 2023.). Povrtne vrste pripadaju botaničkim porodicama kao što su *Solanaceae* (pomoćnice), *Brassicaceae* (krstašice), *Apiaceae* (štitarke), *Cucurbitaceae* (tikvenjače), *Fabaceae* (mahunarke), *Chenopodiaceae* (lobodnjače) i *Asteraceae* (glavočike). U porodicu glavočika ubrajaju se lisnate povrtne vrste, a najzastupljenija je zelena salata (*Lactuca sativa* L.). Znanstveno prihvaćeni nazivak za navedenu biljnu vrstu u Republici Hrvatskoj je obična salata (Nikolić, 2019.) no u tekstu ovog rada će se koristiti nazivak zelena salata, prema Domac (1994.), zbog učestalog korištenja u svakodnevnom govoru. Može biti jednogodišnja ili dvogodišnja vrsta, ovisno o svrsi uzgoja. Plod zelene salate je glavica koja nastaje savijanjem listova koji se razvijaju iz skraćene stabljike. S obzirom na vrijeme sjetve, odnosno sadnje, postoje ljetne i zimske sorte (Matotan, 2004.).

Prema Lazarević i Poljak (2019.) biljna proizvodnja suočava se s brojnim izazovima, a neki od njih su okolišni čimbenici koji mogu negativno utjecati na uzgoj bilja stoga se definiraju kao stresni čimbenici. Dijele se na biotske (korovi, bolesti i štetnici) i abiotske. Abiotski stresni čimbenici mogu biti uzrokovani nedostatkom vode, visokim temperaturama (toplinski stres), niskim temperaturama (hlađenje i smrzavanje), salinitetom te nedostatkom kisika. Autori navode kako je koncept stresa usko povezan s tolerantnošću, odnosno sposobnošću biljke za optimalnim rastom i razvojem uslijed prisutnosti stresnih čimbenika, stoga je stresne čimbenike važno proučavati s aspekta razine tolerantnosti koju uzgajana kultura posjeduje. Stres uzrokovan nedostatkom vode ubraja se u najznačajnije i najučestalije abiotske čimbenike (Farooq i sur., 2012.), a jedan od načina sprječavanja

pojave abiotskog stresa uzrokovanog nedostatkom vode je navodnjavanje. Navodnjavanje je važna agrotehnička mjera kojom se biljkama osigurava dovoljna količina vode tijekom razdoblja vegetacije, a pravilno navodnjavanje zahtijeva detaljnu analizu klimatskih uvjeta određenog područja, budući da su oni podloga za određivanje osnovnih elemenata navodnjavanja (Marković i sur., 2022.). Slijedom navedenog moguće je provoditi optimalno navodnjavanje kojim se povećava učinkovitost same mjere i ostvaruju visoki prinosi, uz pravilno gospodarenje vodnim resursima. Prema Pokos (2014.) učinkovito navodnjavanje podrazumijeva: ujednačenu distribuciju vode ovisno o biljnoj vrsti, mogućnost navodnjavanja noću radi sprječavanja temperaturnog šoka za biljke, optimalno korištenje struje i vode pomoću automatske regulacije sustava, uštedu vremena i radne snage te maksimalnu izdržljivost sustava tijekom svih vremenskih prilika. Kod neodgovarajuće primjene navedene agrotehničke mjere povećava se osjetljivost biljaka na bolesti, dolazi do ispiranja hraniva, povećanja koncentracija otopljenih soli u uzgojnom mediju ili tlu, kao i povećanja troškova poljoprivredne proizvodnje. Bogunović i sur. (2018.) navode, kako su neke mjere zaštite od pojave saliniteta: primjena gipsa, fertirigacija gnojivima bez klorida, odnosno uz dodatak nitratne i sulfatne kiseline, dodatak nitrata, kalcija, kalija, fosfora i salicilne kiseline te primjenom biofertilizatora. Uz navedene stresne čimbenike, značajne negativne utjecaje na rast i razvoj bilja ima stres uzrokovan visokom, odnosno niskom temperaturom. Postoje brojne izravne i neizravne mjere sprječavanja utjecaja abiotskog stresa na biljke, a jedna od njih je primjena mikoriznih pripravaka u uzgoju bilja. Prema Bonfante i Anca (2009.) pojam “mikoriza” dolazi od grčkih riječi za gljivu i korijen, a opisuje mnogo raznovrsnih poveznica između korijena biljaka i hifa gljiva. Zahvaljujući visokoj razini genetičke i fiziološke raznolikosti, mikorize mogu živjeti u raznovrsnim okolišnim uvjetima i sredinama. Mikorize predstavljaju simbiozu između korijena biljke i gljiva gdje hife gljiva povećavaju sposobnost korijena za usvajanjem vode i mineralnih tvari (Begum, 2019.). Osim toga, autor ističe, kako hife gljiva pozitivno utječu na fiksaciju atmosferskog CO<sub>2</sub>, ubrzavaju razgradnju organske tvari u tlu te povećavaju dostupnost i translokaciju različitih hranjivih tvari. Prema Duc i sur. (2018.) primjenom mikoriza se biljkama povećava tolerantnost na negativne stresne čimbenike prisutne tijekom razdoblja vegetacije. Autori također zaključuju, kao i Begum (2019.), kako mikoriza osigurava veću sposobnost adsorpcije hranjivih tvari što rezultira boljim rastom i razvojem biljke. Navedeni benefiti primjene mikoriznih pripravaka u biljnoj proizvodnji ukazuju na važnost istraživanja vezana uz primjenu mikoriza u svrhu smanjenja štetnosti abiotških čimbenika na biljke, ostvarenja stabilnih i visokih prinosa te održivosti poljoprivredne proizvodnje.

## 2. ZELENA SALATA (*Lactuca sativa* L.)

Zelena salata je jednogodišnja ili dvogodišnja biljka koju karakterizira velika genetska varijabilnost (Hassan i sur., 2021.). Zahvaljujući relativno kratkoj vegetaciji može se uzgajati tijekom cijele godine te je prikladna za plodored (Li i sur., 2022.). Plodored je sustav uzgoja ratarskih i povrtarskih kultura po određenom redosljedu, odnosno smjenjivanjem. Korijen biljke (Slika 1.) je vretenast i razgranat, pri čemu se najveći dio korijena nalazi u plitkom sloju tla, otprilike na dubini oko 30 cm. U vegetativnoj fazi, stabljika je kratka i sastoji se od skraćениh internodija iz kojih raste lišće formirajući rozetu, dok se u generativnoj fazi stabljika naglo produžava i grana te može narasti od 30 cm do jednog metra (Slika 2.) završavajući se malim glavičastim cvatovima. Cvjetovi salate (Slika 3.) su sastavljeni u glavicu koja je obavijena pricvjetnim listovima dok je plod salate roška, odnosno ahenij u kojemu se nalaze sjemenke ovalnoga i izduženog oblika.



Slika 1. Korijen zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Izvor: <https://bitly.cx/u3jVn>



Slika 2. Stabljika zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Izvor: <https://www.gardenary.com/blog/is-it-okay-to-eat-bolting-lettuce>





Slika 3. Cvjetovi zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Izvor: <https://garden.org/plants/view/77401/Lettuces-Lactuca-sativa/>

Listovi zelene salate rastu iz središnje stabljike, sjedeći su i tvore rozetu, a mogu biti nježni i glatki, te široki s mnogim naborima (Slika 4.). Boja listova može biti tamno do svijetlozelene boje, a postoje sorte s crvenkastim ili smeđim listovima koji su karakteristični za kultivar hrastov list koji se ubraja u kristalke (Slika 5.).



Slika 4. Listovi zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

Izvor: Špoljarić, Z. (2023.)



Slika 5. Smeđa boja lista zelene salate (*Lactuca sativa* L.)

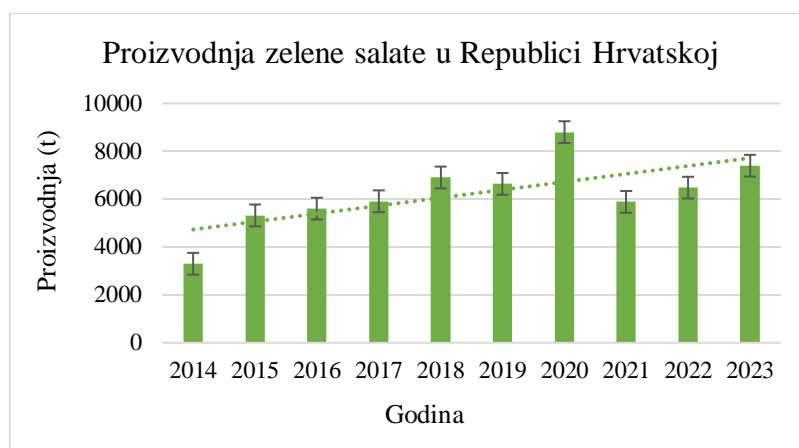
Izvor: <https://zdravipinklec.hr/files/2021/03/crveni-hrastov-list.jpeg>

Sedam glavnih skupina kultivara zelene salate podijeljenih prema fenotipskim karakteristikama (Rodenburg i Basse, 1960.):

- Putarice ili maslenke – salate glavatice s mekim i nježnim listovima
- Kristalke – salate glavatice s debelim, hrskavim listovima izražene lisne nervature
- Dugolisne salate – salate duguljastih, visokih glavica s izraženom srednjom žilom
- Lisnate salate – salate za rezanje, ne formiraju glavicu nego otvorenu rozetu
- Stablašica – salate s debelom stabljikom koja može biti visoka od 25 do 30 cm
- Salate Romana - salate s izduženom glavicom
- Uljana salata – zbog gorkih listova kultivari uljanih salata se ne konzumiraju svježi nego se proizvode zbog ulja iz sjemenki

Ovisno o fazama razvoja biljke, postoje različiti zahtjevi za vodom, hranivima i temperaturom. Prema Yavuz i sur. (2021.) zelena salata je osjetljiva na nedostatak vode zbog plitko razvijenog korijenovog sustava. Optimalne temperature prilikom uzgoja salate ne bi trebale biti niže od 5°C niti više od 30°C jer se na taj način usporava rast i razvoj biljke, a uslijed dugotrajnog izlaganja niskim ili visokim temperaturama biljke prestaju s razvojem (Rotim i Buntić, 2021.). Zelena salata je kultura koja tijekom vegetacije zahtijeva veliku količinu kalija (K), te optimalnu raspoloživost kalcija (Ca) i magnezija (Mg). Tijekom zimskog uzgojnog ciklusa istaknute su potrebe za većom količinom fosfora (P) koji je vrlo važan za tolerantnost salate na niže temperature. Promatrajući potrebe za mikroelementima, kod uzgoja zelene salate važno je osigurati dovoljne količine mangana (Mn) i cinka (Zn). Ribeiro i sur. (2019.) ističu kako primjena organskih gnojiva ima prednost u odnosu na primjenu mineralnih gnojiva zbog čestog porasta cijena i mogućnosti onečišćenja okoliša mineralnim gnojivima. Autori naglašavaju kako zelena salata, zbog kratkog vegetacijskog ciklusa, zahtijeva velike količine elemenata ishrane bilja, s naglaskom na dušik, a primjenom organskih gnojiva mogu se poboljšati i fizikalne, kemijske i biološke karakteristike tla.

Proizvodnja zelene salate u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2014. do 2023. godine prikazana je Grafikonom 1. (Državni zavod za statistiku, DZS). U promatranom desetogodišnjem razdoblju, tijekom 2020. godine uzgojena je najveća količina zelene salate od gotovo 9 tisuća tona dok je najmanja količina proizvedene salate zabilježena 2014. godine i iznosila je tek 3,3 tisuće tona. Nadalje, u posljednje tri godine promatranog razdoblja proizvedeno je gotovo 20 tisuća tona zelene salate od čega je gotovo 14 tisuća tona namijenjeno za tržište, a ostatak za vlastitu upotrebu.



Grafikon 1. Proizvodnja zelene salate u Republici Hrvatskoj u razdoblju od 2014. do 2023. godine (DZS)

Prema podacima Food and agriculture (FAO) u razdoblju od 2012. do 2022. godine zelena salata je uzgajana na 13,34 milijuna hektara na svjetskoj razini.

### 3. ABIOTSKI STRES U BILJNOJ PROIZVODNJI

Jedna od aktualnih tematika brojnih znanstvenih i stručnih istraživanja je utjecaj stresnih čimbenika na biljnu, odnosno ukupnu poljoprivrednu proizvodnju. Pejić i Šatović (2022.) naglašavaju kako rastuće temperature zraka i promjene vodnih režima utječu na sve životne procese biljaka kao sesilnih organizama, stoga su od iznimne važnosti spomenuta znanstvena istraživanja. Stresni čimbenici mogu biti uzrokovani antropogenim utjecajem ili prirodnim pojavama koje odstupaju od prosjeka, kao što su dugotrajna suša, razdoblja popraćena temperaturama višim ili nižim od prosjeka i slično. Na pojavnost stresnih čimbenika koji ograničavaju poljoprivrednu proizvodnju uvelike utječu aktualne klimatske promjene. Autori također ističu kako se u pojedinim područjima mogu očekivati značajne promjene u postojećim klimatskim profilima što će uvelike utjecati na poljoprivrednu proizvodnju. Abiotški stres čine nepovoljni utjecaji kemijskih i fizikalnih okolišnih čimbenika na biljke neživoga porijekla.

Kako bi se smanjio utjecaj nepovoljnih abiotških čimbenika na biljke, odnosno kako bi se povećala tolerantnost biljaka, važno je proučiti i spoznati mehanizme otpornosti biljaka na morfološkoj, molekularnoj i biokemijskoj razini. Isto tako, potrebno je poznavanje karakteristika abiotških stresnih čimbenika i načina na koje oni nepovoljno utječu na cilj poljoprivredne proizvodnje (prinos). Prema Mantri i sur. (2012.) potrebno je potpuno razumijevanje fizioloških i molekularnih mehanizama odgovora biljaka na abiotške stresove kako bi se povećala produktivnost poljoprivredne proizvodnje.

Prema Čavar Zeljković i sur. (2023.) zelena salata, kao jedno od najčešće konzumiranog lisnatog povrća u svijetu, uslijed izloženosti stresnim okolišnim čimbenicima prolazi kroz brojne fiziološke i biokemijske promjene koje posljedično utječu na razine primarnih i sekundarnih metabolita, čime se smanjuje nutritivna vrijednost i kvaliteta usjeva. Autori naglašavaju važnost istraživanja abiotškog stresa kao značajne prijetnje prinosu i kvaliteti usjeva zelene salate. Francini i Sebastiani (2019.) navode kako abiotški stres može uzrokovati smanjenje prinosa od 50 do 70 %, a ističu kako su najčešći uzročnici niska temperatura, toplinski stres, suša, salinitet, manjak nutrijenata te visok ili nizak intenzitet svjetlosti (Slika 6.).



Slika 6. Potencijalni uzročnici abiotskog stresa koji mogu smanjiti prinos i kvalitetu usjeva

Izvor: Francini i Sebastiani (2019.)

### 3.1. Abiotski stres uzrokovan visokom temperaturom – toplinski stres

Visoke temperature mogu izazvati toplinski stres, što dovodi do uvenuća biljke i oštećenja lista te smanjenog prinosa. Toplinski stres može utjecati na morfološke, fiziološke i biokemijske promjene koje smanjuju fotosintezu i na taj način ograničavaju rast i produktivnost biljaka. Slika 7. prikazuje oštećenja nastala na listovima zelene salate uslijed visokih temperatura (Cahn i Smith, 2022.). Biljke se toplinskom stresu mogu prilagoditi na nekoliko načina, a oni se baziraju na smanjenju primanja svjetlosne energije i na njezinoj refleksiji uvijanjem listova, smanjenjem lisne površine, sintezom voštanih prevlaka, rastom dlačica na listu, vertikalnim rastom listova i slično.



Slika 7. Oštećenja na listovima od visokih temperatura

Izvor: Cahn i Smith (2022.)

Prema Siddique i sur. (2018.) nepovoljni okolišni čimbenici poput visoke temperature, niske temperature, saliniteta, prisutnosti teških metala i suše zauzimaju značajnu ulogu u organičavanju rasta i razvoja biljke.

Shema 1. prikazuje nepovoljne učinke stresa uzrokovanog visokom temperaturom na biljke.



Shema 1. Negativni učinci toplinskog stresa na biljke

Izvor: Siddique i sur (2018.)

Mantri i sur. (2012.) ističu kako stres uzrokovan visokom temperaturom, uz sušu, visok salinitet i nisku temperaturu, smanjuje produkciju biomase i prinos do 70% od potencijalnog prinosa što označava prijetnju za sigurnost dovoljne količine hrane.

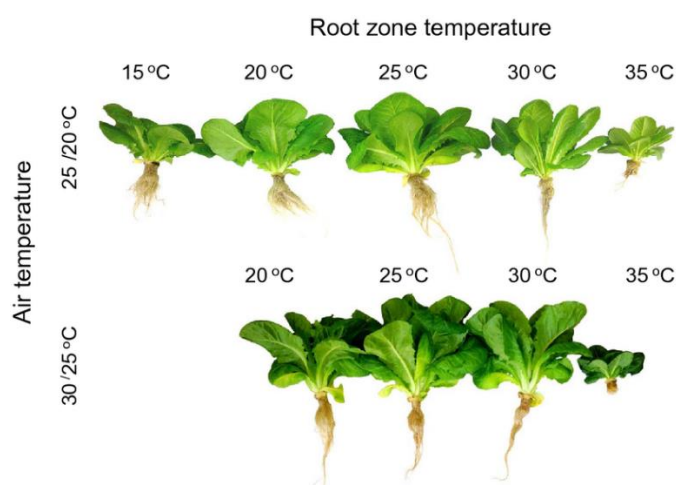
### 3.2. Abiotski stres uzrokovan niskom temperaturom

Yadav (2010.) naglašava kako abiotski stres uzrokovan niskim temperaturama označava značajnu prijetnju kod proizvodnje hrane zbog pojave raznih simptoma kao što su slabo klijanje, zakržljale sadnice, klorozu i/ili nekrozu listova i njihov smanjeni rast. Osim toga, autor naglašava kako niske temperature negativno utječu na reproduktivni sustav biljaka. Prema Lazarević i Poljak (2019.) niske temperature se mogu definirati kao temperature koje nisu pogodne za rast, ali su više od temperatura kod kojih dolazi do stvaranja leda. Stres uzrokovan niskim temperaturama uzrokuje usporavanje rasta, promjenu boje listova te pojavu lezija na listovima. Također, dolazi do inhibicije fotosinteze, sinteze proteina i procesa staničnog disanja.

Boo i sur. (2011.) su proveli istraživanje kako bi utvrdili pozitivne učinke niske temperature i uvjeta uzgoja na enzimatsku aktivnost i sadržaj antioksidansa kod zelene salate. Zaključili su kako niske temperature uzrokuju povećanje sadržaja antocijanina i produkcije polifenola,

kao i povećanje sadržaja antioksidansa, što potvrđuje pozitivno djelovanje niskih temperatura na biljke, no navedeni rezultati mogu biti različiti kod različitih kultivara.

Yamori i sur. (2022.) naglašavaju kako je upravo temperatura jedan od ključnih čimbenika koji utječu na rast biljaka i ostvarivanje željenih prinosa. Temperature zraka i zone korijenovog sustava mogu značajno utjecati na navedene parametre, stoga su autori proveli istraživanje kako bi utvrdili utjecaje navedenih temperatura na rast, fiziološke parametre i fotosintetske karakteristike salate. Primijenjena su dva temperaturna tretmana s temperaturama zraka 30/25 i 25/20°C (dan/noć) i pet temperaturnih tretmana primijenjenih na zonu korijenovog sustava od 15, 20, 25, 30 i 35°C. Rezultati istraživanja su pokazali kako je maksimalni rast biljaka salate veći pri temperaturama zraka od 30/25°C nego pri 25/20°C. Biljke tretirane režimom 30/25°C ostvarile su veću stopu asimilacije CO<sub>2</sub>, stomatalnu provodljivost, brzinu prijenosa elektrona, itd. Istraživanje je pokazalo kako je optimalna temperatura zone korijenovog sustava pod izravnim utjecajem temperature zraka što ukazuje na potrebu korištenja rashladnih sustava kod proizvodnje salate pomoću praćenja temperature zraka, u uvjetima kada je navedena temperatura višlja od optimalne. Slika 8. prikazuje različit stupanj razvijenosti zelene salate uslijed dva režima temperature zraka i temperature zone korijenovog sustava. Na slici je vidljivo kako su biljke izložene temperaturi zraka 25/20°C i temperaturi zone korijenovog sustava od 15 i 35°C najslabije razvijene. Osim toga, biljke izložene režimu temperature zraka 30/25°C i temperaturi zone korijenovog sustava od 35°C pokazuju vrlo slabu razvijenost što ukazuje na veću tolerantnost zelene salate na niske nego na visoke temperature.



Slika 8. Razvijenost zelene salate uslijed različitih temperaturnih režima

Izvor: Yamori i sur. (2022.)

### 3.3. Abiotski stres uzrokovan nedostatkom vode

Kao što je prethodno navedeno, nedostatak vode, odnosno suša, je jedan od najznačajnijih abiotskih stresnih čimbenika prisutnih u biljnoj proizvodnji (Huey i sur., 2020.). Biljke su nizom prilagodbi razvile mehanizme otpornosti na nepovoljne uvjete koji se javljaju uslijed nedostatka vode u tlu ili nekom drugom uzgojnom mediju, a prema Lazarević i Poljak (2019.) neke od njih su:

- Smanjenje lisne površine - smanjenjem sadržaja vode u biljci dolazi do pada turgorskog tlaka u stanicama, zbog čega se smanjuje volumen stanica kao i njihov rast i elastičnost staničnih stijenki. Navedene pojave dovode do razvijanja listova smanjene lisne površine. Na taj način se ostvaruje slabija transpiracija, odnosno gubitak vode pa se može zaključiti kako je to prvi mehanizam obrane biljke od nedostatka vode
- Odbacivanje lišća – osim smanjenja lisne površine, ukoliko se stres uzrokovan nedostatkom vode nastavi, biljka odbacuje list zbog pojačane sinteze etilena koji uzrokuju ubrzano starenje lišća
- Pojačani rast korijena – razvoj korijena i nadzemnog dijela biljke pod utjecajem je ravnoteže između količine usvojene vode putem korijena i fotosintetske aktivnosti nadzemnog dijela. Tijekom razdoblja suše, korijen se razvija u dublje slojeve tla budući da su gornji slojevi isušeni
- Pritvaranje puči – jedan od najvažnijih mehanizama kojim se smanjuje transpiracija, odnosno gubitak vode
- Osmotska prilagodba – proces akumulacije otopljenih tvari u stanicama čime se smanjuje vodni potencijal stanice i omogućuje usvajanje vode
- Zadebljanje kutikule – deblja kutikula smanjuje ulazak CO<sub>2</sub> u list čime se smanjuje intenzitet fotosinteze

Kvaliteta i dostupnost vodnih resursa su značajni problemi današnje poljoprivredne proizvodnje stoga se novim pristupima nastoji smanjiti navedene probleme. Jedan od načina je primjenom smanjenog ili deficitarnog navodnjavanja čime se biljkama dodaje samo onoliko vode koliko je potrebno za optimalan rast i razvoj, ovisno o fazi razvoja. Na taj se način vodni resursi koriste savjesno i precizno. Istraživanje Demir i sur. (2022.) pokazuje kako je zelena salata osjetljiva na nedostatak vode. Autori su utvrdili značajan utjecaj nedostatka vode na visinu glavice, promjer stabljike i broj listova po biljci. Zaključili su



kako primjena deficitnog navodnjavanja kod uzgoja lisnatog povrća nije pravilan izbor zbog smanjenog prinosa i kvalitete proizvoda. Pokos (2014.) također ističe kako se zelena salata ubraja u biljke osjetljive na nedostatak vode.

Senyigit i Kaplan (2013.) su proveli istraživanje kako bi utvrdili utjecaj različitih količina vode za navodnjavanje na prinos i parametre kakvoće zelene salate. Biljke su navodnjavane nadzemnim sustavom kap po kap, sa šest različitih obroka navodnjavanja. Autori su utvrdili kako je prinos zelene salate rastao povećanjem količine vode za navodnjavanje no kada je količina vode za navodnjavanje premašila potrebe biljaka za vodom, došlo je do smanjenja prinosa. Navedeni rezultati ukazuju na važnost preciznog izračuna elemenata navodnjavanja kako bi se vodnim resursima upravljalo racionalno i maksimaliziralo prinos.

### **3.4. Abiotski stres uzrokovan povišenim salinitetom**

Salinitet je jedan od najozbiljnijih ograničavajućih čimbenika poljoprivredne proizvodnje. Prema Carillo i sur. (2011.) gotovo 45 milijuna hektara navodnjavanih površina je izloženo povišenim razinama saliniteta, a zbog istog problema se čak 1,5 milijuna hektara poljoprivrednog zemljišta gubi svake godine.

Parihar i sur. (2015.) ističu kako je više od 6% zemljišta na svijetu ugroženo zbog povišenog sadržaja soli. Negativni utjecaji saliniteta na biljke su različiti: javlja se oksidativni stres, vodni stres, toksični utjecaj iona ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ), promjena nutritivne vrijednosti utjecajem na metaboličku aktivnost biljke, smanjenje diobe stanica, inhibicija fotosinteze itd. Dugotrajnim izlaganjem solnom stresu biljke prolaze kroz ionski stres čime dolazi do ubrzanog starenja i opadanja listova te smanjenja ukupne fotosintetske aktivnosti.

Podjela uzroka saliniteta (Parihar i sur., 2015.):

1. Prirodni (primarni) uzrok saliniteta – rezultat je prirodne akumulacije iona soli kroz dulje razdoblje u tlu ili podzemnim vodama. Uzrokuju ga dva prirodna procesa, a jedan je trošenje matičnih stijena koje sadrže topive soli (kloridi natrija, kalcija, magnezija te u manjoj mjeri sulfati i karbonati) koje je uzrokovano vremenskim čimbenicima. Drugi prirodni proces koji uzrokuje povišen salinitet je taloženje oceanskih soli djelovanjem vjetra i kiše, najčešće se radi o natrijevom kloridu.
2. Sekundarni (antropogeni) uzrok saliniteta – rezultat je ljudske aktivnosti koje mijenjaju hidrološku ravnotežu između vode primijenjene navodnjavanjem, odnosno oborinom i vode koju biljke iskoriste. Najčešći uzročnici su zamjena višegodišnje

vegetacije s jednogodišnjim usjevima i navodnjavanje vodom smanjene kvalitete, odnosno vodom koja sadrži povećane koncentracije otopljenih soli. Osim toga, neučinkoviti drenažni sustavi također nepovoljno utječu na nakupljanje soli u tlu.

Miceli i sur. (2003.) zelenu salatu svrstavaju u skupinu umjereno osjetljivih biljaka na povišene koncentracije soli u uzgojnom mediju ili tlu. Autori su proveli istraživanje koje je sadržavalo navodnjavanje biljaka otopinama NaCl različitih vrijednosti električne vodljivosti (EC), kako slijedi: 1,6, 2,6, 3,6 i 4,6 mS/cm. Pregledom rezultata utvrdili su kako je povećanje zaslanjenosti vode za navodnjavanje uzrokovalo smanjenje broja listova po biljci, s naglaskom kako je najveći broj listova zabilježen na tretmanu s najmanjom koncentracijom NaCl-a u vodi, odnosno kod tretmana EC = 1,6 mS/cm. Kod istog tretmana izmjerena je i najveća masa glavice. Zabilježeno je smanjenje prinosa od 51,5% kod biljaka izloženih tretmanu EC = 4,6 mS/cm u odnosu na kontrolni tretman čiji je EC = 0,8 mS/cm. Zaključno, autori naglašavaju kako EC vrijednosti kod uzgoja zelene salate ne bi trebale prelaziti 3,6 mS/cm.

Xu i Mou (2015.) ističu kako je zelena salata relativno osjetljiva na solni stres. Autori su proveli istraživanje na 178 kultivara zelene salate (56 puterica, 39 kristalki, 35 salata romana, 33 lisnatih salata i 15 divljih vrsta) te su utvrdili značajnu varijabilnost u pogledu tolerantnosti na solni stres. Navedeni podaci ukazuju na mogućnost uzgajivača za izborom kultivara odgovarajućih razina tolerantnosti i prostor oplemenjivačima kod kreiranja novih kultivara.

### **3.5. Abiotski stres uzrokovan sadržajem teških metala u tlu**

Prema Tuteja i sur. (2016.) abiotski stres može biti uzrokovan povišenim sadržajem teških metala u tlu, što izravno smanjuje genetski potencijal usjeva. Teški metali prisutni u povećanim koncentracijama predstavljaju ozbiljan ekološki problem, a osim što utječu na biljnu proizvodnju, imaju negativan utjecaj na zdravlje ljudi. Autori ističu kako do pojave povećane koncentracije teških metala dolazi zbog industrije i neadekvatne poljoprivredne prakse. Neadekvatno provedene agrotehničke mjere mogu uzrokovati nakupljanje kadmija (Cd), bakra (Cu), cinka (Zn), nikla (Ni), kobalta (Co), kroma (Cr), olova (Pb) i arsena (As).

Neke od neadekvatnih mjera koje mogu uzrokovati nakupljanje navedenih teških metala su:

- Nekontrolirano i dugotrajno korištenje fosfatnih gnojiva, pesticida i ostalih kemijskih sredstava

- Navodnjavanje vodom narušene kakvoće (otpadna voda, kanalizacijska voda, voda iz industrijske proizvodnje)
- Taloženje nakon izgaranja ugljena
- Rezidue metalurške industrije i otpad iz talionica

## **4. UČINKOVITOST MIKORIZE U UBLAŽAVANJU UČINAKA ABIOTSKOG STRESA NA RAST I MORFOLOŠKA SVOJSTVA ZELENE SALATE (*Lactuca sativa* L.)**

Biljna proizvodnja izložena je brojnim abiotским stresnim čimbenicima koji ograničavaju pravilan rast i razvoj biljaka te ispunjenje njihovog punog genetskog potencijala. Održivost poljoprivredne proizvodnje, između ostaloga, ovisi o razini tolerantnosti biljaka na navedene stresne čimbenike. Osim vlastite tolerantnosti koju biljke stječu mehanizmima adaptacije, većina biljaka u prirodi uspostavlja simbiozu s arbuskularnim mikoriznim gljivama koje biljkama pomažu u ostvarenju veće razine tolerancije na navedene stresore (Kapoor i sur., 2012.). Autori ističu kako je arbuskularna mikoriza simbiotska veza između korijena biljke i gljive iz odjeljka *Glomeromycota* gdje oba simbionta imaju mutualnu korist od navedenih interakcija. Mikorizne gljive poboljšavaju usvajanje hraniva, vode, rast i tolerantnost biljaka na biotske i abiotiske stresne čimbenike, dok je gljivama biljka domaćin neophodna za rast i reprodukciju. U cijelom ekosustavu više od 80% biljnih vrsta ovisi o simbiozi između korijena biljke i gljive.

### **4.1. Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka visokih temperatura na zelenu salatu**

Kako bi utvrdili mehanizam kojim arbuskularne mikorize povećavaju tolerantnost zelene salate na stres izazvan visokim temperaturama, Yan i sur. (2021.) su proveli istraživanje gdje su promatrani učinci mikoriznih gljiva *Funneliformis mosseae* na strukturu kloroplasta, fotosintetske pigmente te fluorescenciju klorofila salate uzgajane na temperaturama od 25°C, odnosno 35°C. Znanstvenici su utvrdili oštećenja tilakoida, smanjeni sadržaj klorofila i neto fotosintezu kod salate uzgajane bez prisutnosti arbuskularnih mikoriza kod biljaka izloženih temperaturi od 35°C. Također, utvrdili su kako su sadržaj klorofila *a* i klorofila *b*, neto stopa fotosinteze i intenzitet transpiracije, kod biljaka inokuliranih mikoriznim gljivama *Funneliformis mosseae*, porasli za 4,5%, 4,5%, 7,7% i 5,9%, kako slijedi. Autori ističu kako je procjena učinaka mikoriznih pripravaka na anatomiju lista, fotosintetske pigmente i fluorescenciju klorofila zelene salate izložene stresu uzrokovanom visokom temperaturom, vrlo važna za daljnja istraživanja i razumijevanje mehanizama primjene arbuskularnih mikoriznih gljiva u svrhu povećanja tolerantnosti zelene salate na navedeni stres. Visoka temperatura je uzrokovala značajna oštećenja biljnih stanica no arbuskularne mikorize su ublažile stres što je dovelo do većeg sadržaja klorofila u listovima, čime je omogućena veća

stopa neto fotosinteze i bolji rast biljaka. Svojim istraživanjem su utvrdili povećanu tolerantnost zelene salate inokulirane arbuskularnim mikorizama na visoke temperature u odnosu na biljke koje nisu inokulirane.

#### **4.2. Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka niskih temperatura na zelenu salatu**

Nekoliko istraživanja potvrđuje da različito povrće inokulirano s arbuskularnim mikorizama pokazuje bolje elemente rasta i razvoja od povrća koje nije inokulirano, u hladnim klimatskim uvjetima, odnosno pri izloženosti niskim temperaturama. Prema Malhi i sur. (2021.) niske temperature mogu negativno utjecati na biljni metabolizam, ishranu, fotosintetsku aktivnost, vodni potencijal i disanje. Kod biljaka inokuliranih arbuskularnim mikorizama utvrđen je pozitivan utjecaj na stvaranje fotosintetskih pigmenata, ugljikohidrata i šećera te pojačavanje enzimske aktivnosti i posljedično, rasta i razvoja biljaka. Autori navode nekoliko učinaka arbuskularnih mikoriza na biljke izložene niskim temperaturama: održavanje ravnoteže vlažnosti, povećanje sadržaja sekundarnih metabolita, povećanje sposobnosti zadržavanja i učinkovitosti vode, povećanje fotosintetske i enzimske aktivnosti, aktivacija antioksidativnih obrambenih mehanizama te akumulacija zaštitnih molekula.

Baslam i sur. (2013.) su proveli istraživanje na dva kultivara zelene salate, uzgajana u ljetnom i zimskom ciklusu, te su utvrdili da zelena salata uzgajana u zimskom vegetacijskom ciklusu pokazuje bolje parametre prinosa u usporedbi s ljetnim, no primjenom arbuskularnih mikoriza moguće je ostvariti dodatno poboljšanje rasta i nutritivne kvalitete zelene salate uzgajane tijekom zimskog ciklusa. Utvrdili su da primjena mikoriza ima pozitivan učinak na akumulaciju proteina u obje sorte salate uzgajane tijekom zime.

#### **4.3. Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka nedostatka vode na zelenu salatu**

Garg i Chandel (2011.) ističu kako arbuskularne mikorize imaju pozitivan utjecaj na povećanje tolerantnosti zelene salate izložene stresu uzrokovanom nedostatkom vode, odnosno suši.

Malhi i sur. (2021.) ističu da je simbioza arbuskularnih mikoriza neophodna za uspješnu proizvodnju povrća, jer značajno doprinosi povećanju otpornosti biljaka na sušu. Ova simbioza pozitivno utječe na unos i transport vode unutar biljaka, što dovodi do održivosti fizioloških procesa biljke i poticanju rasta.

Arbuskularne mikorize djeluju kao biognojiva, bioprotektori, bioregulatori i poboljšivači biljne ishrane. Ovi čimbenici doprinose cjelokupnom zdravlju biljke i njenoj sposobnosti da se učinkovito razvija i raste u sušnim uvjetima.

Ruiz i sur. (2016.) su proveli istraživanje kako bi utvrdili utjecaj arbuskularne mikorize na poboljšanje tolerancije zelene salate na sušu. U istraživanju su primijenjena 3 različita tretmana navodnjavanja, odnosno optimalno navodnjavanje, umjereni vodni stres i značajan vodni stres. Promatrane su neinokulirane biljke i inokulirane biljke s arbuskularnim mikorizama *Rhizophagus irregularis*. Autori su utvrdili da se stupanj kolonizacije korijena sa *Rhizophagus irregularis* povećavao s porastom biljaka. Suša je imala značajan utjecaj na smanjenje biljne biomase, međutim primjena *Rhizophagus irregularis* omogućila je bolji rast zelene salate kod sva tri tretmana navodnjavanja. Zelena salata na kojoj je primijenjen tretman s *Rhizophagus irregularis* je pod utjecajem suše akumulirala veće količine abscizinske kiseline (ABA) u usporedbi sa salatama bez *Rhizophagus irregularis*. Abscizinska kiselina (ABA) je fitohormon koji je ključan za rast i razvoj biljaka, a općenito je povezan s reakcijom biljke na abiotički stres (Christmann i sur., 2006.). Zaključno, Ruiz i sur. (2016.) ističu kako simbioza arbuskularnih mikoriza i korijena zelene salate smanjuje štetni utjecaj suše na biljke.

Goshki i sur. (2021.) su analizirali utjecaj mikoriznih pripravaka na zelenu salatu izloženu vodnom stresu, proučavajući fiziološka svojstva biljaka. Mjerili su ukupni sadržaj klorofila *a* i *b*, maksimalnu učinkovitost fotosustava II, aktivnost katalaze, relativni sadržaj vode u listovima, te sadržaja fosfora i kalija u listovima, kao i prinosa salate. Proveli su tri različita tretmana navodnjavanja 100 %, 75 % i 50 % od PVK. Zelenu salatu inokulirali su mikoriznim pripravcima koji sadrže tri vrste arbuskularnih mikoriza: *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae* i *Glomus fasciculatum*. Zaključili su da mikorizni pripravci poboljšavaju kapacitet fotosinteze, adsorpciju kalija i fosfora, povećavaju sintezu biljnih pigmenata i relativni sadržaj vode u listovima, te su rezultirali većim prinosom zelene salate u usporedbi s biljkama koje nisu bile inokulirane mikorizom. Istraživanje je pokazalo kako primjena mikoriza kod biljaka izloženih vodnom stresu povećava njihovu tolerantnost na vodni stres. Autori također naglašavaju kako primjena mikoriznih pripravaka može biti jedno od rješenja za ostvarenje održive poljoprivredne proizvodnje.

#### 4.4. Učinkovitost mikorize u ublažavanju učinaka saliniteta na zelenu salatu

Prema Jahromi i sur. (2008.), arbuskularne mikorizne gljive pomažu biljci domaćinu u adsorpciji hranjivih tvari i vode te poboljšavaju toleranciju biljaka na abiotičke štetne čimbenike. Autori navode kako je dokazan pozitivan utjecaj arbuskularnih mikoriznih pripravaka na tolerantnost povišenog saliniteta tla kod raznih biljaka domaćina kao što su kukuruz, djetelina, rajčica, krastavac i zelena salata. Proveli su dva istraživanja od kojih je prvo *in vitro* istraživanje kojim su analizirali učinke 0, 50 i 100 mM NaCl-a na razvoj i sporulaciju *Glomus intraradices*. Drugo istraživanje uključivalo je procjenu učinaka mikorize na ekspresiju gena povezanih sa solnim stresom kod zelene salate. Utvrdili su da *Glomus intraradices* pokazuje umjerenu otpornost na povišeni salinitet jer nije došlo do smanjenja razvoja hifa pri sadržaju soli od 50 mM NaCl-a. Također, rezultati istraživanja su pokazali da su biljke inokulirane s *Glomus intraradices* ostvarile veću tolerantnost na solni stres.

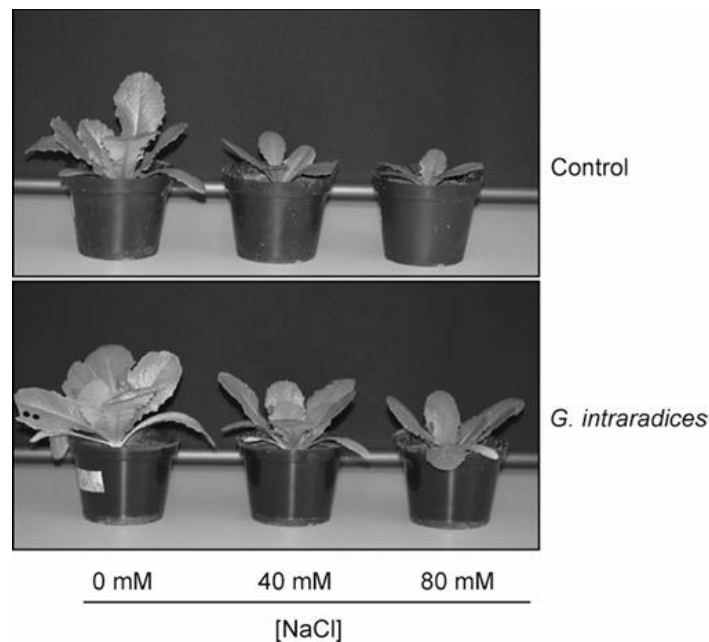
Santander i sur. (2020.) su proveli istraživanje kako bi utvrdili utjecaj arbuskularnih mikoriznih gljiva na ublažavanje negativnog utjecaja saliniteta na zelenu salatu. U istraživanju je korišteno dva različita kultivara salate, tri vrste arbuskularnih mikoriza i tri tretmana saliniteta. Mikorizni pripravci su uzrokovali povećanu aktivnost antioksidativnih enzima što je bilo u korelaciji sa smanjenim oksidativnim stresom i povećanim rastom biljaka. Osim toga, biljke kod kojih su primijenjeni mikorizni pripravci su pokazale promjenu profila fenolnih spojeva proizvedenih u listovima salate smanjujući njihovu sintezu u uvjetima izloženosti solnom stresu dok je kod biljaka bez mikorize zabilježen visok stupanj sinteze fenolnih spojeva koji mogu biti povezani sa starenjem i odumiranjem listova. Navedeni zaključci ukazuju na to da se primjenom mikoriznih pripravaka u biljnoj proizvodnji smanjuje štetni utjecaj povišene koncentracije soli u tlu (ili vodi).

Kako bi utvrdili utjecaj arbuskularne mikorize *Glomus intraradices* na kolonizaciju korijena i proizvodnju strigolaktona pod utjecajem povišenog saliniteta kod uzgoja zelene salate, Aroca i sur. (2013.) su proveli istraživanje u kojemu su primijenjene tri različite koncentracije soli (0 mM (kontrola), 40 mM i 80 mM NaCl). Autori su usporedili tolerantnost biljaka na povišeni salinitet kod biljaka inokuliranih mikorizom *Glomus intraradices* i biljaka koje nisu inokulirane. Strigolaktoni su signalne molekule koje biljka otpušta kako bi potaknula hife gljiva na grananje u smjeru korijena. Autori su analizirali biljnu masu, stomatsku provodljivost, učinkovitost fotosistema II, sadržaj apsicizinske kiseline ABA i proizvodnju fitohormona. Biljke imaju dva fotosistema ključna za proces

fotosinteze - fotosistem I i II. U reakcijskom središtu fotosistema II nalazi se molekula klorofila *a* koja maksimalno apsorbira crvenu svjetlost. Učinkovitost fotosistema II je bila narušena u oba tretmana solnog stresa ali je kod biljaka tretiranih arbuskularnim mikorizama utvrđena veća učinkovitost.

Autori su utvrdili povećane razine ABA u korijenu biljaka koje nisu inokulirane arbuskularnim mikorizama. Utvrdili su da arbuskularne mikorize *Glomus intraradices* smanjuju negativne utjecaje povišenog saliniteta na zelenu salatu poboljšavanjem fizioloških karakteristika biljaka, omogućavajući im bolji rast u nepovoljnim uvjetima.

Slika 9. prikazuje usporedbu fenotipskih karakteristika biljaka koje nisu inokulirane i inokuliranih biljaka izloženih različitim razinama solnog stresa. Biljke koje nisu inokulirane su slabije razvijene, što je posebno istaknuto kod tretmana koji sadrži 80 mM NaCl-a, dok su kod istog tretmana biljke inokulirane arbuskularnim mikorizama pokazale bolje fenotipske karakteristike.



Slika 9. Usporedba neinokuliranih i inokuliranih biljaka zelene salate pri različitim tretmanima solnog stresa

Izvor: Aroca i sur. (2013.)

#### 4.5. Uloga mikorize u ublažavanju učinaka teških metala na zelenu salatu

Haradean i sur. (2019.) naglašavaju kako je bioremedijacija, proces uklanjanja zagađivača iz okoliša pomoću određenog biološkog sustava, održiv način koji bi mogao riješiti navedenu



problematiku. Jedan od najzastupljenijih teških metala prisutnih u tlima je cink, a često se uz njega nalaze i olovo, arsen i živa. Autori su proveli istraživanje s ciljem proučavanja mogućnosti bioremedijacije pomoću biljaka zelene salate inokulirane mikorizama s ciljem smanjenja sadržaja cinka u tlu. U istraživanju, tlo je prvo sterilizirano kako bi se eliminirali svi prisutni mikroorganizmi, čime su stvoreni kontrolirani uvjeti za testiranje različitih tretmana. Ukupno je provedeno šest tretmana s različitim kombinacijama mikoriznih pripravaka. Prvi tretman obuhvaćao je samo sterilizirano tlo, što je služilo kao osnovna kontrolna grupa. Drugi tretman uključivao je sterilizirano tlo s dodatkom jednog mikoriznog pripravka, dok je na trećem korištena mješavina mikoriznih pripravaka. Ostali tretmani sadržavali su iste uvjete kao i prethodni ali uz dodatak cinka (0,4 g cinkovog klorida po kilogramu tla). Na taj su način istraživači mogli usporediti učinke tretmana sa i bez prisutnosti cinka, analizirajući kako mikoriza utječe na rast zelene salate i na apsorpciju cinka iz tla. Zaključili su da su biljke koje su tretirane samo cinkom imale usporeniji rast. Rezultati su pokazali da primjena mikoriza dovodi do smanjenja koncentracije cinka u biljci i smanjenog sadržaja cinka u tlu nakon berbe. Autori sugeriraju da prisutnost mikoriznih pripravaka pomaže u rastu zelene salate štiteći je od inhibicijskih ili toksičnih razina cinka.

U istraživanju koje su proveli Kubna i sur. (2014.) ispitan je utjecaj dodatka komposta na arbuskularne mikorize i nakupljanje teških metala u zelenoj salati uzgojenoj na tlu visokog sadržaja teških metala. Pokus je proveden u posudama. Pripremljeno je osam varijanti tla s različitim koncentracijama teških metala, s dodatkom komposta i bez njega. Teški metali koje su koristili za istraživanje su olovo (Pb), kadmij (Cd) i cink (Zn). Najveće smanjenje sadržaja teških metala u biljkama zabilježeno je kod istovremene primjene komposta i mikorize, od 10% do 50% u usporedbi s tretmanima bez komposta. Autori zaključuju da dodatak komposta značajno poboljšava kolonizaciju mikoriza na korijenu zelene salate u tlu s većim sadržajem teških metala. Utvrdili su kako je primjernom arbuskularnih mikoriza u kombinaciji s kompostom moguće smanjiti unos teških metala olova i kadmija u zelenoj salati i sugeriraju da se primjenom mikoriza i komposta mogu smanjiti negativni utjecaji teških metala u tlima koja su zagađena.

## **5. ZAKLJUČAK**

Proizvodnja zelene salate suočena je s brojnim abiotским stresnim čimbenicima koji mogu negativno utjecati na elemente i kakvoću prinosa. Neki od najznačajnijih abiotских stresnih čimbenika su povišena koncentracija soli u vodi za navodnjavanje, odnosno klima, vodni stres, toplinski stres, stres uzrokovan niskim temperaturama i zagađenost okoliša teškim metalima. Brojna istraživanja usmjerena su na tematiku vezanu uz povećanje razine tolerantnosti zelene salate na navedene nepovoljne čimbenike, a jedan od ekološki prihvatljivih i održivih načina je primjena mikoriznih pripravaka u proizvodnji bilja, odnosno zelene salate. Pregledom dostupne literature utvrđeno je kako mikoriza pozitivno djeluje na mehanizme tolerantnosti zelene salate na abiotски stres osiguravajući stabilan i visok prinos pri nepovoljnim uvjetima rasta.

## 6. POPIS LITERATURE

1. Aroca, R., Ruiz-Lozano, J. M., Zamarreño, Á. M., Paz, J. A., García-Mina, J. M., Pozo, M. J., López-Ráez, J. A. (2013.): Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. *Journal of Plant Physiology*, 170, 47– 55.
2. Baslam, M., Garmendia, I., Goicoechea, N. (2013.): The arbuscular mycorrhizal symbiosis can overcome reductions in yield and nutritional quality in greenhouse-lettuces cultivated at inappropriate growing seasons. *Scientia Horticulturae*, 164, 145-154.
3. Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Zhang, L. (2019.): Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in plant science*, 10, 1068.
4. Boo, H. O., Heo, B. G., Gorinstein, S., Chon, S. U. (2011.): Positive effects of temperature and growth conditions on enzymatic and antioxidant status in lettuce plants. *Plant Science*, 181(4), 479-484.
5. Bogunović, I., Kisić, I., Mesić, M., Zgorelec, Ž., Šestak, I., Perčin, A., Bilandžija, D. (2018.): Održive mjere gospodarenja tlom u ekološkoj poljoprivredi za klimatske uvjete mediteranske Hrvatske. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 147.
6. Bonfante, P., Anca, I. A. (2009.): Plants, mycorrhizal fungi, and bacteria: a network of interactions. *Annual review of microbiology*, 63(1), 363-383.
7. Cahn, M., Smith, R.: Keeping cool season vegetables cool during heat waves, Salinas Valley Agriculture. 08.09.2022. <https://ucanr.edu/blogs/SalinasValleyAgriculture/index.cfm?tagname=heat%20stress> (Datum pristupa: 11.07.2024.)
8. 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.
9. Christmann A., Moes D., Himmelbach A., Yang Y., Tang Y., Grill E. (2006.): Integration of abscisic acid signalling into plant responses. *Plant Biology*, 8, 314–325.
10. Čavar Zeljković, S., Štefelová, N., Hron, K., Doležalová, I., Tarkowski, P. (2023.): Preharvest abiotic stress affects the nutritional value of lettuce. *Agronomy*, 13(2), 398.
11. Demir, H., Kaman, H., Sönmez, İ., Mohamoud, S. S., Polat, E., Üçok, Z. (2022.): Yield, quality and plant nutrient contents of lettuce under different deficit irrigation conditions. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 21(1), 115-129.

12. Domac R. (1994): Flora Hrvatske, priručnik za određivanje bilja. Školska knjiga, Zagreb, Zagreb, 1-504.
13. Državni zavod za statistiku (DZS). Biljna proizvodnja. (Datum pristupa: 24.06.2024.). <https://podaci.dzs.hr/hr/podaci/poljoprivreda/>
14. Duc, N. H., Csintalan, Z., Posta, K. (2018.): Arbuscular mycorrhizal fungi mitigate negative effects of combined drought and heat stress on tomato plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 132, 297-307.
15. Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A., Siddique, K. H. M. (2012.): Drought stress in plants: an overview. *Plant responses to drought stress: From morphological to molecular features*, 1-33.
16. Food and Agriculture Organisation (FAO). Faostat, crops and livestock products. (Datum pristupa: 24.06.2024.). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
17. Francini, A., Sebastiani, L. (2019.): Abiotic stress effects on performance of horticultural crops. *Horticulturae*, 5(4), 67.
18. Garg, N., Chandel, S. (2011.): Arbuscular Mycorrhizal Networks: Process and Functions. *Sustainable Agriculture*, 907– 930.
19. Goshki, G. M., Abdollahi, F., Lari, S. A. (2021.): Effect of Mycorrhiza Fertilizer on Physiological Traits and Economical Yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) under Water Stress Conditions. *Journal of Vegetables Sciences, Spring & Summer*, 5(1), 157-173.
20. Hassan, M. N., Mekkawy, S. A., Mahdy, M., Salem, K. F., Tawfik, E. (2021.): Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68, 3055-3079.
21. Haradean, J. A., Ralph-Epps, T., Whiteacre, Z., Neumann, S., Becker, D. M. (2019.): Mixtures of Mycorrhizal Fungi Improve Growth of *Lactuca Sativa* and Reduce Levels of Zinc in Contaminated Soil. *Fine Focus*, 5(1), 65–74.
22. Huey, C. J., Gopinath, S. C., Uda, M. N. A., Zulhaimi, H. I., Jaafar, M. N., Kasim, F. H., Yaakub, A. R. W. (2020.): Mycorrhiza: a natural resource assists plant growth under varied soil conditions. *3 Biotech*, 10, 1-9.
23. Jahromi, F., Aroca, R., Porcel, R., Ruiz-Lozano, J. M. (2008.): Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microbial ecology*, 55, 45-53.
24. Kapoor, R., Evelin, H., Mathur, P., Giri, B. (2012.): Arbuscular mycorrhiza: approaches for abiotic stress tolerance in crop plants for sustainable agriculture. In *Plant acclimation to environmental stress*. New York, NY: Springer New York, 359-401.

25. Kubna, D., Elbl, J., Ploszek, L., Nsanganwimana, F. (2014.): Effect of compost amendment on arbuscular mycorrhiza in relation to bioavailability of heavy metals in contaminated soils. U: Zbornik radova MendelNet konferencije, Ondřej Polák, Radim Cerkal, Petr Škarpa (ur.), Sveučilište u Brnu, Češka, 278-282.
26. Lazarević, B., Poljak, M. (2019.): Fiziologija bilja. Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, 110.
27. Li, Q., Gao, H., Zhang, X., Ni, J., Mao, H. (2022.): Describing lettuce growth using morphological features combined with nonlinear models. *Agronomy*, 12(4), 860.
28. Mantri, N., Patade, V., Penna, S., Ford, R., Pang, E. (2012.): Abiotic stress responses in plants: present and future. *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*, 1-19.
29. Malhi, G. S., Kaur, M., Kaushik, P., Alyemeni, M. N., Alsahli, A. A., Ahmad, P. (2021.): Arbuscular mycorrhiza in combating abiotic stresses in vegetables: An eco-friendly approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1465-1476.
30. Marković, M., Spičić, M., Josipović, M., Sudarić, A., Matoša Kočar, M., Barač, Ž., Japundžić Palenkić, B., Stanisavljević, A., Bošnjak, D., Kojić, A. (2022.): Osnovni elementi navodnjavanja soje (*Glycine max.*(L.) Merr.) ovisno o klimatskim uvjetima i rokovima sjetve. *Glasnik zaštite bilja*, 45(4.), 48-56.
31. Matotan, Z. (2004.): *Suvremena proizvodnja povrća*, Globus, Zagreb.
32. Matotan, Z.: Uspješna proizvodnja povrća u Hrvatskoj. 15.11.2023. <https://gospodarski.hr/rubrike/povrcarstvo-rubrike/uspjesna-proizvodnja-povrca-u-hrvatskoj/> (Datum pristupa: 30.6.2024.)
33. Miceli, A., Moncada, A., D'anna, F. (2003.): Effect of salt stress in lettuce cultivation. U: *International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment*. *Acta Horticulturae* 609, 371-375.
34. Nikolić T. (2019): *Flora Croatica – vaskularna flora Republike Hrvatske*. Volumen 4. *Ekскурzijska flora*. Alfa d.d., Zagreb, v-x, 3-664.
35. Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V. P., Prasad, S. M. (2015.): Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental science and pollution research*, 22, 4056-4075.
36. Pejić, I., Šatović, Z. (2022.): *Molekularno oplemenjivanje bilja*. Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, Zagreb, 198.
37. Pokos, V. (2014.). *Navodnjavanje u povrcarstvu i cvjećarstvu*. *Glasnik zaštite bilja*, 37(4), 21-29.

38. Ribeiro, R. R., Torres, J. L. R., Orioli-Junior, V., Charlo, H. C. D. O., Vieira, D. M. D. S. (2019.): Growth analysis of green-leaf lettuce under different sources and doses of organic and mineral fertilization. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(2), 237-247.
39. Rodenburg, C. M., Basse, H. (1960.): Varieties of lettuce: an international monograph. Instituut voor de Veredeling van Tuinbouwgewassen. Wageningen, 228.
40. Rotim, N., Buntić, M. (2021.): Proizvodnja salate u zaštićenom prostoru. *Glasnik zaštite bilja*, 44(4.), 13-19.
41. Ruiz-Lozano, J. M., Aroca, R., Zamarreño, Á. M., Molina, S., Andreo-Jiménez, B., Porcel, R., García-Mina, J. M., Ruyter-Spira, C., López-Ráez, J. A. (2016.): Arbuscular mycorrhizal symbiosis induces strigolactonebiosynthesis under drought and improves drought tolerance in lettuce and tomato. *Plant, Cell and Environment*, 39, 441–452.
42. Santander, C., Ruiz, A., García, S., Aroca, R., Cumming, J., Cornejo, P. (2020.): Efficiency of two arbuscular mycorrhizal fungal inocula to improve saline stress tolerance in lettuce plants by changes of antioxidant defense mechanisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1577-1587.
43. Senyigit, U., Kaplan, D. (2013.): Impact of different irrigation water levels on yield and some quality parameters of lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia* cv.) under unheated greenhouse condition. *Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich*, 2(4), 97-102.
44. Siddique A, Kandpal G, Kumar P. (2018.): Proline Accumulation and its Defensive Role Under Diverse Stress Condition in Plants: An Overview. *Journal of Pure And Applied Microbiology*, 12(3), 1655-1659.
45. Tuteja, N., Gill, S. S. (2016.): Abiotic stress response in plants. John Wiley & Sons.
46. Xu, C., Mou, B. (2015.): Evaluation of lettuce genotypes for salinity tolerance *HortScience*, 50(10), 1441-1446.
47. Yadav, S. K. (2010.): Cold stress tolerance mechanisms in plants. A review. *Agronomy for sustainable development*, 30(3), 515-527.
48. Yamori, N., Levine, C. P., Mattson, N. S., Yamori, W. (2022.): Optimum root zone temperature of photosynthesis and plant growth depends on air temperature in lettuce plants. *Plant Molecular Biology*, 110(4), 385-395.
49. Yan, Z., Ma, T., Guo, S., Liu, R., Li, M. (2021.): Leaf anatomy, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of lettuce as influenced by arbuscular mycorrhizal fungi under high temperature stress. *Scientia Horticulturae*, 280, 109933.

50. Yavuz, N., Seymen, M., Kal, Ü. (2021.): Impacts of water stress and harvest time on physio-biochemical characteristics of lettuce. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 14(2), 61-77.