

## **Utjecaj rizobakterije *Azospirillum brasilense* na rast i sadržaj makrohraniva u listu kod kontejnerskog uzgoja podloga trešnje**

The influence of *Azospirillum brasilense* on growth and leaf macronutrient composition of pot-grown sweet cherry rootstocks

Š. Kolega, G. Fruk, Š. Marčelić, T. Kos

### SAŽETAK

Trešnja je popularna vrsta koštičavog voća, posebice za svježju potrošnju. Podloge SL 64, MaxMa 14 i Gisela 5 pokazuju dobru prilagodljivost za različita područja uzgoja. Rizobakterije u tlu potiču rast biljaka te izravno ili neizravno utječu na razvoj biljke. Vrsta *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg i Döbereiner, 1978., pozitivno pridonosi rastu biljke. Utjecaj *A. brasilense* na kontejnerski uzgojene podloge koštičavih vrsta do sada je nedovoljno istražen. Ciljevi rada su utvrditi vegetativni rast, indeks sadržaja klorofila (CCI) i makrohraniva u lišću podloga trešnje kao rezultat zalijevanja sadnica podloge rizobakterijom. Ispitan je utjecaj mikrobiološkog gnojiva AZOS (*A. brasilense*,  $10^6$  CFU g<sup>-1</sup>) na vegetativni rast, indeks sadržaja klorofila (CCI) i sadržaj makrohraniva u lišću sadnica podloga trešnje SL 64, MaxMa 14 i Gisela 5 u kontejnerskom uzgoju. Poljski pokus u slučajnom bloknom rasporedu (n=3) uključivao je tretmane: T1 (mjesečno zalijevanje, 1,12 g L<sup>-1</sup>), T2 (dvomjesečno) i kontrolu T0. Uzorci listova su prikupljeni i analizirani u laboratoriju. Podaci su obrađeni dvosmjernom analizom varijance (ANOVA), dok je značajnost razlika između srednjih vrijednosti utvrđena Duncanovim testom (p<0,05). Na temelju dobivenih rezultata vidljivo je da su T1 i T2 značajno povećali poprečni presjek debla (103,8 i 101,5 mm<sup>2</sup>), sadržaj N (1,83 % i 1,72 %), uz značajno smanjenje sadržaja Ca (1,26 % i 1,21 %) u odnosu na kontrolu. Podloga SL 64 ostvarila najveći TCSA (124,5 mm<sup>2</sup>), a MaxMa 14 najviši N (1,86 %). Ovo je prvo istraživanje utjecaja *A. brasilense* na podloge trešnje u poljskim uvjetima koje otkriva specifične interakcije genotipa i tretmana, potvrđujući potencijal PGPRa za smanjenje mineralnih gnojiva u kontejnerskom uzgoju.

Ključne riječi: AZOS, CCI, Gisela 5, inokulacija, makrohraniva, MaxMa 14, poprečni presjek, SL 64

## ABSTRACT

Sweet cherry is a popular stone fruit, particularly for fresh consumption. SL 64, MaxMa 14 and Gisela 5 are rootstocks with good adaptability to different production areas. Plant growth-promoting rhizobacteria directly or indirectly affect plant development. *Azospirillum brasilense* contributes positively to plant growth. The influence of *A. brasilense* on pot-grown stone fruit rootstocks has been insufficiently investigated. The aim of the work was to determine the vegetative activity, chlorophyll content index (CCI) and leaf macronutrient composition of three cherry rootstocks due to the application of *A. brasilense*. The study investigated the effect of the microbial fertilizer AZOS (*A. brasilense*,  $10^6$  CFU g<sup>-1</sup>) on vegetative growth, chlorophyll content index (CCI), and leaf macronutrient content of pot-grown cherry rootstocks SL 64, MaxMa 14, and Gisela 5. The field experiment was conducted using a randomized complete block design with three replications. Treatments included monthly (T1, 1.12 g L<sup>-1</sup>), bi-monthly (T2), and control (T0) applications. Leaf samples were collected and analyzed in the laboratory. Data were analyzed using two-way ANOVA, and the significance of differences between mean values was determined by Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ ). Based on the obtained results, T1 and T2 increased TCSA (103.8 and 101.5 vs. 93.9 mm<sup>2</sup>), CCI (T×R interaction,  $P < 0.05$ ), N content (1.83 and 1.72 vs. 1.53%) and reduced Ca (1.26 and 1.21 vs. 1.35%). SL 64 showed highest TCSA (124.5 mm<sup>2</sup>) and MaxMa 14 highest N (1.86%). This was first field study documenting *A. brasilense* genotype-specific effects on cherry rootstocks, validating PGPR potential to reduce mineral fertilizer use in pot production.

Keywords: AZOS, CCI, Gisela 5, inoculation, macronutrients, MaxMa 14, SL 64, TCSA

## UVOD

Podloga ima ključnu ulogu u regulaciji vegetativnog rasta, ishrane i adaptacije sadnice jer direktno utječe na razvoj cijepljene sorte i apsorpciju hranjivih tvari. Sadni materijal za nove nasade trešanja uglavnom dolazi iz stranih komercijalnih rasadnika koji koriste podloge slabije bujnosti i prilagodljive većem rasponu proizvodnih uvjeta. Dobar odabir podloge poboljšava ukorjenjivanje, otpornost na patogene, apsorpciju hraniva i toleranciju na stresne uvjete (Gainza i sur., 2015.), te regulira vegetativni rast, bujnost, prinos i kvalitetu ploda (Szot i Meland, 2001.; Miljković i sur., 2002.; Čmelik i sur., 2004.; Duralija i sur., 2007.).

Klonske podloge odabrane kroz programe oplemenjivanja polako zamjenjuju zastarjele sjemenjake u integriranoj i ekološkoj voćarskoj proizvodnji (Granatstein i Kupferman, 2008.).

Podloga trešnje koja se često koristi u voćnjacima diljem Mediterana je Santa Lucia 64 - SL 64 (*Prunus mahaleb* L.), srednje bujna, te pogodna za suha i vapnena tla, (CTIFL, 2014.). Dobro se ukorjenjuje u tlo, no osjetljiva je na teška tla i asfiksiju korijena (Miljković i sur., 2002.).

Podloga koja također jasno pokazuje pozitivna svojstva u različitim uzgojnim uvjetima je MaxMa<sup>®</sup> 14 (*Prunus mahaleb* × *Prunus avium*) (Perry, 1985.). U usporedbi s podlogom SL 64, MaxMa 14 je slabije bujnosti, ističe se razgranatom i dubokom korijenovom mrežom (Miljković i sur., 2002.) dok sorte na njoj ranije prorode i daju visok i stalan prirod. Podloga tolerira širi raspon tala u odnosu na SL 64 (CTIFL, 2014.).

Nadalje, za gusti sklop u intenzivnim nasadima sade se sadnice uzgojene na slabo bujnim podlogama, među kojima prevladava Gisela<sup>®</sup> 5 (*P. cerasus* × *P. canescens*) (Vujović i sur., 2012) koja zahtijeva svježa i plodna tla, ali i redovito navodnjavanje (Miljković i sur., 2002.).

Danas, intenzivna rasadničarska proizvodnja zahtijeva bolju kvalitetu sadnog materijala, uz potrebu smanjenja mineralnih gnojiva, potaknuli su interes za održivom tehnologijom uzgoja (Eşitken i sur., 2005.). Općenito, u održivoj poljoprivrednoj praksi naglasak je stavljen na upotrebu različitih bioloških, mikrobioloških i biotehničkih formulacija koji imaju mogućnost oporavljanja mikrobiološki osiromašenih tala (du Jardin, 2015). Poznato je da upotreba mikrobioloških gnojiva koja sadrže korisne mikroorganizme umjesto sintetskih kemikalija poboljšava razvoj biljke putem opskrbe hranivima i doprinosi produktivnosti tla (O'Connell, 1992.). Mikrobiološka inokulacija biljaka važna je za poticanje njihovog rasta u nepovoljnim ekološkim uvjetima (Malusa i sur., 2007.; Głuszek i sur., 2021.). Isto tako, uzgoj biljke u ograničenom prostoru kao što su sadni kontejneri na neki je način stresan za sadnicu zbog ograničenosti prostora za normalan razvoj korijena i njegovoj podložnosti temperaturnim oscilacijama, te brzog ocjeđivanja dodane vode.

Rizobakterije koje potiču rast biljaka (PGPR) pomažu biljci usvojiti potrebna hraniva putem biološke fiksacije N, povećane topljivosti teško dostupnih spojeva fosfata, sekvestracije željeza i biosinteze fitohormona (Cassán i sur., 2014.). Njihove interakcije s biljkom domaćinom, ali i samom rizosferom vitalne su za razvoj biljke, ali i za očuvanje okoliša (Prasad i sur., 2019.). PGPR iz roda *Azospirillum* sposobne su kolonizirati korijen biljke i povoljno utjecati na njezin rast. Ovaj rod uglavnom inficira travne vrste i žitarice (Ribeiro i sur., 2022.; Abd El-Lattief, 2024.), ali vidljiv je i njihov povoljan učinak na višegodišnje

vrste (Abd-Ella, 2006.; Vettori i sur., 2010.; Zaghoul i Ennab, 2015.; Singh i sur., 2024.). Istraživanja su pokazala kako se PGPR *A. brasilense* može koristiti kao mikrobiološko gnojivo u kombinaciji s drugim gnojivima u programima ishrane voćaka (Abd-Ella, 2006; Singh i sur., 2024.). Istraživanja o njenom samostalnom učinku uglavnom su usmjerena na rast biljke u kontroliranim uvjetima (Vettori i sur., 2010.). Inokulirane reznice podloga GF 677 (*P. persica* x *P. amygdalus*) i Mr.S 2/5 (*P. cerasifera* x *P. spinosa*) u kontroliranim uvjetima pokazale su značajne razlike u broju nodija, duljini i masi svježe stabljike, te masi svježeg korijena (Russo i sur., 2008.; Vettori i sur., 2010.). Međutim, u poljskim uvjetima, rezultati pokazuju pozitivan utjecaj *A. brasilense* na rast jagode, bijelog duda i šećerne jabuke (*Annona squamosa* L.) (Sudhakar i sur., 2000.; Salazar i sur., 2012.; Singh i sur., 2024.). U takvim uvjetima učinkovitost rizosferne kolonizacije biljke ovisit će o brojnim čimbenicima u poljoprivrednom ekosustavu, među kojima su tip tla, pH reakcija, salinitet, vlažnost, klimatski uvjeti lokacije i sadržaj hraniva u tlu koji bitno utječu na učinkovitost mikroorganizama (Dobbelaere i sur., 2001.; Omar i sur., 2009.). Primjena PGPR u rasadničarskoj proizvodnji voćnih podloga, bilo da se radi o uzgoju sadnica u kontejnerima ili u tlu je još uvijek nedovoljno istražena.

Brojna istraživanja ukazuju na potencijal PGPR u djelomičnoj ili potpunoj zamjeni mineralnih gnojiva. Osim što doprinose obnovi degradiranih tala, PGPR mogu inducirati otpornost biljaka na biotičke i abiotičke stresove (Dobbelaere i sur., 2001.; Omar i sur., 2009.). Ovakva vrsta pristupa mogla bi zadovoljiti sadašnje standarde održivosti.

Analiza utjecaja *A. brasilense* na vegetativni rast, indeks sadržaja klorofila i sadržaj makrohraniva u listovima zalijevanih podloga uzgojenim u kontejnerima do sada nije zabilježena. Stoga je cilj ovog rada bio ispitati utjecaj primjene *A. brasilense* u različitim vremenskim intervalima na vegetativni rast, indeks sadržaja klorofila, sadržaj makrohraniva (dušika, fosfora, kalija, kalcija i magnezija) u listovima sadnica podloga SL 64, MaxMa 14 i Gisela 5 uzgojenih u kontejnerima. Drugi cilj rada bio je ispitati utjecaj intervala primjene *A. brasilense* na dinamiku vegetativnog rasta u četiri razvojne faze.

## MATERIJALI I METODE

Pokus u poljskim uvjetima postavljen je 2022. godine na otoku Ugljanu (44° 5' 23.103" N, 15° 11' 1.806" E) u Zadarskoj županiji. U 12-litarske kontejnere s komercijalnim supstratom (Klassman TS3) posađene su bezvirusne jednogodišnje sadnice podloga trešnje SL 64, MaxMa 14 i Gisela 5, nabavljene u komercijalnom rasadniku. Početne vrijednosti supstrata iznosile su pH 5,5–6,0

te EC 1,0–1,5 mS cm<sup>-1</sup>, sukladno deklaraciji proizvođača. Ukupno 270 sadnica (90 po podlozi) raspoređeno je na površini od 120 m<sup>2</sup> prema slučajnom bloknom raspoređu s tri ponavljanja (Slika 1), pri čemu je svako ponavljanje obuhvaćalo 10 biljaka. Sukladno tome, svaki tretman (T0, T1 i T2) proveden je na ukupno 30 sadnica po pojedinoj podlozi kroz sva tri ponavljanja. U tretmanima je korišteno mikrobiološko gnojivo AZOS<sup>®</sup> (Reforestation Technologies International, SAD) koje sadrži *A. brasilense* (10<sup>6</sup> CFU g<sup>-1</sup>). U tretmanu T0 koji je predstavljao kontrolu sadnice su zalijevane kišnicom. U tretmanu T1 sadnice su jednom mjesečno zalijevane suspenzijom preparata AZOS u dozi od 1,12 g L<sup>-1</sup>, dok su u tretmanu T2 sadnice dvomjesečno zalijevane suspenzijom preparata AZOS (u 1 L vode) u dozi od 1,12 g L<sup>-1</sup>. Sadnice su tretirane tijekom 7 mjeseci vegetacije u razdoblju od ožujka do rujna. Tijekom rasta sve sadnice bile su zaštićene od bolesti i štetnika prema praksi integrirane zaštite bilja te su navodnjavane sustavom kap po kap sukladno dobroj proizvođačkoj praksi (2 puta tjedno).

T0 SL64	T1 Gisela 5	T0 Gisela 5	T2 MaxMa 14	T1 SL64	T0 SL64	T2 Gisela 5	T1 Gisela 5	T0 MaxMa 14
T2 Gisela 5	T2 SL64	T1 SL64	T0 SL64	T2 Gisela 5	T1 Gisela 5	T0 Gisela 5	T2 SL64	T2 MaxMa 14
T1 MaxMa 14	T0 MaxMa 14	T2 MaxMa 14	T1 MaxMa 14	T0 Gisela 5	T2 SL64	T1 MaxMa 14	T0 MaxMa 14	T1 SL64

**Slika 1. Randomizirani blok dizajn pokusa. Svaka ćelija predstavlja 10 biljaka, odnosno jedno ponavljanje.**

**Figure 1 Randomized block experimental design. Each cell represents 10 plants, i.e., one replication.**

#### Karakteristike vegetativnog rasta

Poprečni presjek debla svake sadnice određen je na kraju vegetacije mjerenjem dva okomita promjera na deblu 5 cm iznad korijenovog vrata pomoću digitalne pomične mjerke, te je izračunat odgovarajućom formulom i izražen u mm<sup>2</sup> (Westwood i Roberts, 1970.). Rast provodnice u visinu praćen je kroz četiri različite fenološke faze prema BBCH skali (34 – 93) (Meier, 2001.).

#### Indeks sadržaja klorofila (CCI)

Vrijednosti indeksa sadržaja klorofila izmjerene su početkom srpnja pomoću mjerača sadržaja klorofila CCM-200 (Opti-Sciences, Inc. SAD). Mjerenje je provedeno na pet potpuno razvijenih zdravih listova iz središnjeg dijela provodnice. Vrijednosti CCI mjerene su u jutarnjim satima (8:00 do 9:00). Srednja vrijednost izračunata je za svaku biljku i određena kao CCI (Ranjbar i sur., 2019.).

### Analiza makrohraniva u lišću

Potpuno razvijeni listovi bez vidljivih oštećenja ubrani su krajem srpnja sa središnjeg dijela provodnice. Prije slanja na analizu listovi su uprosječeni za svako ponavljanje, te stavljeni u prethodno izvagane i označene papirnate vrećice. Masa svježe ubranih listova za svaki uzorak bila je u prosjeku 6,50 g. Listovi osušeni na zraku su transportirani u Laboratorij Zavoda za ishranu bilja Agronomskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U laboratoriju su uzorci listova sušeni na 105°C., a nakon sušenja uzorci su izvagani na preciznoj vagi, te je za svaki uzorak izračunat postotak suhe tvari kao omjer svježe i suhe mase lista. Potrebna količina izmrvljenog uzorka razgrađena je u digestoru (MILESTONE 1200 Mega Microwave Digester) s koncentriranim kiselinama HNO<sub>3</sub> i HClO<sub>4</sub>. Nakon razgradnje, pomoću spektrofotometra određena je koncentracija fosfora u listu (kao P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Nadalje, pomoću plamenog fotometra određena je koncentracija kalija u listu (kao K<sub>2</sub>O), dok su atomskim apsorpcijskim spektrometrom određene koncentracije Ca i Mg (AOAC, 2015). Konačno, modificiranom Kjeldahl metodom određen je ukupni sadržaj N u listu (BS EN 13654-1:2001.).

### Statistička analiza podataka

Podaci su obrađeni u statističkom programu Statistica 14.0.0 (TIBCO, SAD). Utjecaj faktora (tretman i podloga) te njihova interakcija na promatrane parametre ispitani su dvosmjernom analizom varijance (ANOVA). Za analizu razlika testiranih parametara između tri podloge u različitim tretmanima korišten je Duncanov test višestrukih raspona. ( $P \leq 0,05$ ).

## REZULTATI I RASPRAVA

### Poprečni presjek debla (TCSA)

Rezultati istraživanja utjecaja *A. brasilense* na poprečni presjek debla podloga trešnje u kontejnerima prikazani u tablici 1 ukazuju na statistički značajne razlike između tretmana, pri čemu su T1 i T2 povećali poprečni presjek debla u usporedbi s kontrolom, dok istovremeno nije bilo značajnih razlika između mjesečne (T1) i dvomjesečne (T2) primjene *A. brasilense*.

**Tablica 1. Poprečni presjek debla (mm<sup>2</sup>) sadnica triju različitih podloga trešnje zalijevanih mikrobiološkim gnojivom AZOS tijekom 2022.**

**Table 1 TCSA (mm<sup>2</sup>) of three different roostocks watered with microbiological fertilizer AZOS in 2022**

Tretman (T) / Treatment	Poprečni presjek debla / TCSA (mm <sup>2</sup> )
T1	103,83 ± 2,90 <sup>a</sup>
T2	101,53 ± 2,47 <sup>a</sup>
T0	93,9 ± 2,36 <sup>b</sup>
F-vrijednost / F-value	9,84
<i>P</i>	<0,0001
Podloga (R) / Rootstock	
Gisela 5	79,92 ± 1,30 <sup>c</sup>
MaxMa 14	95,15 ± 1,45 <sup>b</sup>
SL 64	124,46 ± 2,32 <sup>a</sup>
F-vrijednost / F-value	181,11
<i>P</i>	<0,0001
T x R	
F-vrijednost / F-value	1,37
<i>P</i>	0,25

a,b,c. – predstavljaju statistički značajne razlike između srednjih vrijednosti za svaki faktor dobivenih dvosmjernom ANOVA-om i Duncanovim testom uz  $P \leq 0,001$ .

a,b,c – represent statistically significant differences between mean values for each factor obtained by two-way ANOVA and Duncan's test at  $P \leq 0,001$ .

Prema tablici 1., sadnice podloge SL 64 ostvarile su najveći TCSA (124,5 mm<sup>2</sup>, za 31 % veći od sadnica podloge MaxMa 14 i 56 % veći od sadnica podloge Gisela 5), dok su sadnice podloge Gisela 5 ostvarile najmanji TCSA na kraju vegetacije (79,9 mm<sup>2</sup>). Dobiveni su rezultati očekivano potvrdili razlike u bujnosti podloga nakon jedne godine uzgoja u uvjetima rasadnika (Miljković i sur., 2002.; Santos i sur., 2006.; Zec i sur., 2017.; Aras i Keles, 2019.; Bujdosó i sur., 2019.).

Ovakav trend rasta je u skladu s prijašnjim istraživanjima koja ističu genotip podloge kao ključnu odrednicu bujnosti sadnice (Akçay i sur., 2008.; Aglar i Yıldız, 2021.; Świerczyński, 2023.). Površina poprečnog presjeka važan je pokazatelj bujnosti stabla te osim o podlozi, ovisi i o agroekološkim uvjetima uzgoja i korištenim agrotehničkim zahvatima (Lanauskas i sur., 2012.), ali i primjeni određenih poboljšivača rasta (Al-Hadethi i sur., 2017.). Učinak inokulacije *A. brasilense* na poprečni presjek sadnice može se povezati s proizvodnjom regulatora rasta biljaka od strane rizobakterije. Prema literaturi, *A. brasilense* sintetizira auksine, citokinine i gibereline (De Campos i sur., 2006.; Castillo i sur., 2015.; Singh i sur., 2024.), fitohormone koji stimuliraju vegetativni rast (Aslantaş i sur., 2007.; Davies, 2010.) poboljšanjem usvajanja hraniva (Glick, 1995.). Osim toga, prema Sorce i sur. (2002.) tip podloge iz roda *Prunus* ima različit utjecaj na stopu transporta auksina i citokinina kroz biljku. Pojedini autori istraživali su primjenu *A. brasilense* na podlogama roda *Prunus*, pri čemu je zabilježen pozitivan učinak na vegetativni rast. U podlogama GF 677 i Mr.S 2/5 došlo je do značajnog povećanja duljine stabljike i broja nodija (Russo i sur., 2008.; Vettori i sur., 2010.).

### Dinamika rasta provodnice

Na temelju prikazanih rezultata u tablici 2. utvrđeno je kako je prisutnost rizobakterije *A. brasilense* utjecala samo na početni rast provodnice kod svih podloga. U sve četiri fenofaze mjerenja duljine provodnice utvrđene su značajne razlike između podloga. Takve razlike u arhitekturi provodnice mogu imati važne naznake na njezin razvoj u juvenilnoj fazi (Aras i Keles, 2019.) i pripremu debla podloge za cijepljenje.

Kod mjerenja u BBCH 34 fenofazi uočeno je da su sadnice podloge Gisela 5 imale značajno veću duljinu provodnice što potvrđuje navod o ranijem kretanju rasta slabo bujnih podloga (Demirsoy i sur., 2022.). Takav se trend nije nastavio, već je u kasnijim fazama do izražaja došao genotip podloge, te su značajno najveće duljine izmjerene na sadnicama najbujnije podloge SL 64.

**Tablica 2. Duljina provodnice (cm) sadnica triju različitih podloga trešnje mjerena u 4 različite fenofaze tijekom 2022.**

**Table 2 Central leader length (cm) in three different rootstocks measured in 4 BBCH stages in 2022.**

Tretman (T) / Treatment	BBCH 34	BBCH 39	BBCH 91	BBCH 93
T1	17,23 ± 0,94 <sup>a</sup>	56,53 ± 1,59	66,95 ± 1,92	69,59 ± 2,11
T2	17,48 ± 0,96 <sup>a</sup>	58,26 ± 1,57	66,40 ± 1,96	72,61 ± 2,26
T0	14,91 ± 0,91 <sup>b</sup>	57,20 ± 1,54	66,07 ± 2,00	69,89 ± 2,26
F-vrijednost / F-value	16,88	1,16	0,24	0,97
<i>P</i>	<0,0001	0,32	0,78	0,38
Podloga (R) / Rootstock				
Gisela 5	24,37 ± 0,76 <sup>a</sup>	59,28 ± 1,20 <sup>b</sup>	60,57 ± 1,21 <sup>b</sup>	60,57 ± 1,21 <sup>b</sup>
MaxMa 14	8,92 ± 0,64 <sup>c</sup>	44,78 ± 1,52 <sup>c</sup>	55,65 ± 1,90 <sup>c</sup>	62,89 ± 2,28 <sup>b</sup>
SL 64	16,34 ± 0,59 <sup>b</sup>	67,83 ± 0,94 <sup>a</sup>	83,02 ± 1,30 <sup>a</sup>	88,39 ± 1,64 <sup>a</sup>
F-vrijednost / F-value	112,64	319,51	344,98	76,85
<i>P</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T x R				
F-vrijednost / F-value	2,07	1	2,37	0,98
<i>P</i>	0,09	0,41	0,53	0,42

a,b,c. – predstavljaju statistički značajne razlike između srednjih vrijednosti za svaki faktor dobivenih dvosmjernom ANOVA-om i Duncanovim testom uz  $P \leq 0,001$ .

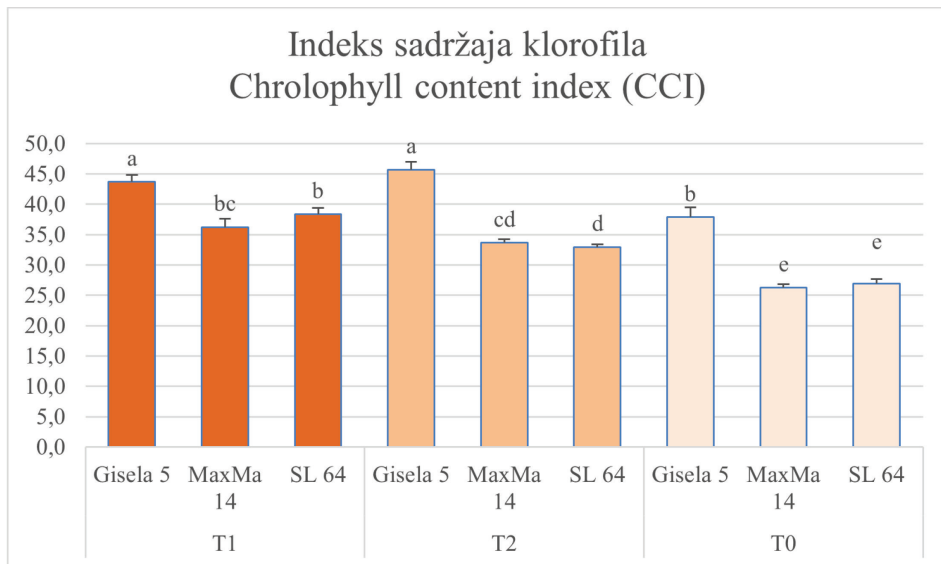
a,b,c – represent statistically significant differences between mean values for each factor obtained by two-way ANOVA and Duncan's test at  $P \leq 0,001$ .

Dinamika rasta provodnice kroz različite fenofaze pokazala je pozitivnu reakciju porasta sadnica nakon prve tri inokulacije, dok je u kasnijim fazama rasta izostao utjecaj tretmana. Može se pretpostaviti da je inokulacija ubrzala diobu i izduživanje stanica u početnoj fazi vegetativnog rasta. Međutim, ovaj učinak značajan u kasnijim fazama (BBCH 39, 91 i 93) može se pripisati genotipskom utjecaju podloga, zasićenju fitohormona i smanjenoj rizosfernoj kolonizaciji nakon višestrukih inokulacija.

Također, interakcija između tretmana i podloge nije bila statistički značajna što ukazuje kako su efekti mikrobiološkog gnojiva na rast bili konzistentni bez obzira na podlogu, te kako su oba faktora zasebno doprinijela sveukupnom rastu sadnice, posebice u početnoj fazi. U praktičnoj primjeni, rasadničari mogu očekivati korisno povećanje provodnice bez obzira na bujnost podloge što omogućuje dobivanje kvalitetnog materijala za cijepljenje.

### Indeks sadržaja klorofila (CCI)

Grafikon 1. prikazuje utjecaj interakcije faktora na indeks sadržaja klorofila (CCI) u listovima podloga. Tretmani zalijevanja mikrobiološkim gnojivom značajno su povećali CCI u svim sadnicama podloga u odnosu na kontrolu što ukazuje na poboljšanje fotosintetske aktivnosti biljaka. Dobiveni rezultati ukazuju na pozitivan učinak inokulacije na fiziološki odgovor sadnica.



**Grafikon 1. Interakcija tretmana i podloge na indeks sadržaja klorofila u listu sadnica različitih podloga trešnje ( $F=3,41$ ,  $p<0,01$ )**

**Figure 1 Treatment and rootstock interaction in leaf CCI of three different rootstocks ( $F=3.41$ ,  $p<0.01$ )**

Povećanje CCI može biti posljedica poboljšane dostupnosti N i stimulacije sinteze fitohormona (Hayat i sur., 2010.; Cassán i sur., 2020.), Nadalje, rizobakterije mogu utjecati na povećanje učinkovitosti fotosinteze u listu i povećanje proizvodnje ugljikohidrata, što zauzvrat potiče vegetativni rast (Yu i sur., 2014.). Slični su učinci zabilježeni kod drugih kultura, gdje su rizobakterije poboljšale fotosintezu i prirast (Okon, 1985; Ahemad i Kibret, 2014.). Autori De Silva i sur. (2000.) navode kako primjena rizobakterije *Pseudomonas fluorescens* [(Flügge 1886.) Migula, 1895.] povećava lisnu površinu i promjer stabljike vrste *Vaccinium corymbosum* L. Značajne varijacije među podlogama

sugeriraju kako pojedine podloge mogu pospješiti fotosintetsku aktivnost kroz uspješniji unos hraniva. Ovo opažanje je u skladu s prethodnim istraživanjem koje je povezaloo odabir podloge s povećanom razinom klorofila u listu i fotosintetskom aktivnošću (Jiménez i sur., 2007.). Interakcija između dva faktora dodatno naglašava kako utjecaj rizobakterije na klorofil ovisi o specifičnim karakteristikama pojedine podloge (Kolega i sur., 2024.).

### Sadržaj makrohraniva u lišću

U tablici 3 je prikazan sadržaj makrohraniva (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca i Mg) u listovima podloga tretiranim dozama AZOS-a u različitim vremenskim intervalima. Rezultati pokazuju značajno povećanje sadržaja N u listovima tretiranih sadnica što upućuje da *A. brasilense* poboljšava unos određenih hraniva, posebice onih koji su povezani s procesom fotosinteze (Vendruscolo i Lima, 2021.) te bi mogle biti odgovorne za povećani sadržaj N u tretiranim biljkama s obzirom na to da je jedini drugi izvor N bila početna količina u supstratu (Eşitken i sur., 2003., 2006.). Nadalje, sadržaj Ca je značajno smanjen u tretiranim sadnicama u odnosu na kontrolu.

Tretman T1 u interakciji s podlogom smanjio je sadržaj suhe tvari u listu sadnica podloge MaxMa 14. Sadržaj P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O i Mg kod svih tretmana je na optimalnoj razini, jedino je Ca u svim tretmanima na razini ispod optimalne (Leece, 1975.). Brojna su istraživanja provedena kako bi se utvrdio utjecaj PGPR na folijarnu ishranjenost biljaka (Eşitken i sur., 2003.; Shirkot i Sharma, 2005.; Eşitken i sur., 2006.; Orhan i sur., 2006.; Pirlak i sur., 2007.; Karakurt i Aslantaş, 2010.; Ahemad i Kibret, 2014.). Tako su Eşitken i sur. (2003.) otkrili da primjena rizobakterija utječe na sadržaj N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Ca i Mg u listovima marelica, a Shirkot i Sharma (2005.) na sadržaj N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O u listovima jabuka. Nadalje, Eşitken i sur. (2006.) otkrili su da su tretmani rizobakterijama povećali sadržaj N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> i K<sub>2</sub>O u listovima trešnje, dok se sadržaj Ca i Mg u tretmanima nije povećao. Isto tako, Świerczyński i sur. (2019.) naglašavaju kako primjena rizobakterija u kombinaciji s ostalim bioaktivnim tvarima nije utjecala na koncentraciju makroelemenata u listovima cijepljenih sadnica trešnje. Pretpostavlja se da viši sadržaj N u svim sadnicama tretiranim s *A. brasilense* rezultat sposobnosti fiksacije kao što je objavljeno u prethodnim radovima (Rao i Dass, 1989.; Döbereiner, 1997.).

**Tablica 3. Mineralni sastav listova sadnica triju različitih podloga trešnje zalijevanih mikrobiološkim gnojivom AZOS tijekom 2022.**

**Table 3 Leaf mineral composition in three different rootstocks watered with microbiological fertilizer AZOS in 2022.**

Tretman (T) Treatment	ST (%) DW (%)	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Ca (%)	Mg (%)
T1	39,70 ± 0,90	1,83 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,59 ± 0,04	2,49 ± 0,16	1,26 ± 0,09 <sup>b</sup>	0,57 ± 0,08
T2	39,20 ± 1,06	1,72 ± 0,08 <sup>a</sup>	0,57 ± 0,03	2,44 ± 0,17	1,21 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,59 ± 0,08
T0	39,34 ± 0,97	1,53 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,58 ± 0,05	2,63 ± 0,13	1,35 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,06
F-vrijednost F-value	0,78	15,86	0,09	1,75	5,50	2,67
P	0,48	0,0001	0,91	0,20	0,01	0,09
Podloga (R) Rootstock						
Gisela 5	41,78 ± 1,02 <sup>a</sup>	1,46 ± 0,04 <sup>c</sup>	0,61 ± 0,05	3,05 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,06 ± 0,06 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>b</sup>
MaxMa 14	39,61 ± 1,86 <sup>b</sup>	1,92 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,52 ± 0,03	2,14 ± 0,11 <sup>c</sup>	1,37 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,04 <sup>a</sup>
SL 64	35,85 ± 1,15 <sup>c</sup>	1,70 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,61 ± 0,02	2,38 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,40 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,66 ± 0,03 <sup>a</sup>
F-vrijednost F-value	61,31	37,26	1,72	39,54	40,01	77,49
P	<0,0001	<0,0001	0,21	<0,0001	<0,0001	<0,0001
T x R						
F-vrijednost F-value	3,91	4,60	0,92	1,30	4,46	1,92
P	0,02	0,01	0,47	0,31	0,01	0,15

<sup>1</sup> ST – masa suhe tvari, DW – dry weight

<sup>2</sup> a,b,c. – predstavljaju statistički značajne razlike između srednjih vrijednosti za svaki faktor dobivenih dvosmjernom ANOVA-om i Duncanovim testom uz  $P \leq 0,001$ .

<sup>2</sup> a,b,c – represent statistically significant differences between mean values for each factor obtained by two-way ANOVA and Duncan's test at  $P \leq 0,001$ .

Podloga je značajno utjecala na suhu tvar te sadržaj N, K<sub>2</sub>O, Ca i Mg u listu, odnosno značajne razlike u pogledu sadržaja makrohraniva su opažene među različitim podlogama. Primjerice, sadnice podloge MaxMa 14 imale su značajno najveći sadržaj N, ključnog elementa u sintezi proteina i sveukupnoj aktivnosti metabolizma. Naprotiv, sadnice podloge Gisela 5 pokazale su značajno niži sadržaj N, Ca i Mg koji su ključni sa stabilnost stanične stijenke i enzimatsku aktivnost, no kod istih je zabilježen značajno viši sadržaj K<sub>2</sub>O.

Takve razlike u profilu hraniva ovisno o podlozi zabilježene su u prethodnim radovima, naglašavajući ulogu korijena u usvajanju i distribuciji hraniva (Neilsen i Kappel, 1996.; Melakeberhan i sur., 2001.). Općenito, podloga utječe na koncentraciju hranjivih tvari u listovima i stabljici (Gainza i sur., 2015.). U literaturi ne postoje podatci o optimalnim koncentracijama makroelemenata u listu triju istraženih *Prunus* spp. podloga, te su kao referentne vrijednosti mineralnog sastava uzete u obzir vrijednosti listova trešnje (*P. avium*) (Leece, 1975.). Prema tim vrijednostima, sadržaj N u listovima sadnica podloga MaxMa 14 i Gisela 5 bio je niži od optimalnog za trešnju, dok je manjak N bio izraženiji u listovima podloge SL 64. Za sve tri podloge, prema literaturnim podacima, vrijednosti sadržaj  $P_2O_5$  bio je na optimalnoj razini (Leece, 1975.). Najniži sadržaj  $K_2O$  je u listovima sadnica podloge MaxMa 14, s vrijednostima nižim od optimalnih. Za ostale dvije podloge  $K_2O$  je unutar normalnih vrijednosti. Uspoređujući utvrđene vrijednosti Ca u listu trešnje s referentnim vrijednostima (1,6 do 3,0 %), sadržaj Ca u listovima u svim trima tretmanima je ispod granice optimalnih vrijednosti. Nadalje, u svim podlogama Ca je niži od optimalne vrijednosti, dok je Mg u svim podlogama na optimalnoj razini (Leece, 1975.). Niski  $K_2O$  kod podloge MaxMa 14 ukazuje da pojedine podloge mogu biti osjetljive na nedostatak u tlima siromašnima kalijem (Moreno i sur., 1996.). Isto tako, prema Ystaas i Frøynes (1998.) u listovima sorti Stella i Ulster na podlozi Gisela 5,  $K_2O$  je niži od vrijednosti u ovom istraživanju. Naprotiv, istovremeno su vrijednosti  $P_2O_5$ , Ca i Mg bile približno jednake.

Jiménez i sur. (2007.) navode veći sadržaj Ca u lišću stabala sorti Van i Stark Hardy Giant na podlogama MaxMa 14 i SL 64 u odnosu na podlogu Gisela 5 što je u skladu s izmjerenim rezultatima sadržaja Ca. Podloga Gisela 5 također je imala niže vrijednosti određenog Mg nego SL 64 što je isto u skladu s rezultatima istraživanja na sadnicama podloga i na okulantima (Jiménez i sur., 2007.). Nedostatak Ca može biti potaknut nepovoljnim uvjetima uzgoja, npr. suša, što utječe na smanjeno kretanje elementa u suspenziji tla (Pilbeam i Morley, 2007.). U ovom istraživanju viljdiv je i antagonistički odnos Ca i Mg što je u skladu s istraživanjem Gluhić i sur. (2009.).

Pozitivni efekti tretmana rizobakterijom na nekoliko parametara ističu potencijalne koristi integriranja prakse s izborom podloga. Dok je većina istraživanja prvenstveno fokusirana na direktan utjecaj podloge na rast (De Salvador i sur., 2005.; Moreno i sur., 2001.), provedeno istraživanje sugerira da kombiniranje mikrobiološkog gnojiva s prikladnom podlogom može dodatno optimizirati pripremu sadnice za cijepljenje.

U konačnici, provedenim istraživanjem sugerira se kako odabir prave podloge može biti jednako važno kao i pridržavanje postulata gnojidbe kod uzgoja sadnica. Kombinirani utjecaj na vegetativni rast, sadržaj klorofila i status makrohraniva u lišću naglašava složeno međudjelovanje između genetskih čimbenika i agrotehničkih zahvata u proizvodnji snažnijih sadnica podloga trešnje. Integrirani pristup temeljen na izboru podloge i optimizaciji gnojidbe potvrđen je u ranijim istraživanjima provedenima na razvijenim voćnim sadnicama (Jiménez i sur., 2004.a; Jiménez i sur., 2004.b; Akçay i sur., 2008.; Aglar i Yıldız, 2021.). Istovremeno, takav pristup pruža praktične smjernice za povećanje produktivnosti sadnog materijala kroz primjenu odgovarajućih podloga i precizno prilagođenih strategija gnojidbe (Świerczyński i Stachowiak, 2012.; Grzyb i sur., 2014.).

## ZAKLJUČAK

Rezultati provedenog istraživanja pokazali su da izbor podloge značajno utječe na fenotip sadnica trešnje te njihov nutritivni status. Konkretno, zabilježeno je da su podloge različite bujnosti statistički značajno utjecale na rast stabljike (poprečni presjek i provodnicu), indeks klorofila i sadržaj makrohraniva (N, K<sub>2</sub>O, Ca i Mg) u listovima. Primjena mikrobiološkog gnojiva sa rizobakterijom *A. brasilense* dodatno je poboljšala rast sadnica. Tretmani T1 i T2 značajno su povećali rast provodnice u BBCH 34 fazi, poprečni presjek debla sadnice i sadržaj N u listova u odnosu na kontrolu čime je potvrđeno da korišteno mikrobiološko gnojivo može smanjiti ograničavajuće čimbenike ishrane prilikom uzgoja sadnica i doprinijeti rastu zdravijih podloga.

## LITERATURA

- ABD EL-LATTIEF, E. A. (2024.): Use of *Azospirillum* and *Azotobacter* bacteria as biofertilizers in cereal crops: A review. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 134(28), 36–44.  
<http://euroasiapub.org/http://www.euroasiapub.org>
- ABD-ELLA, E. E.-S. K. (2006.): Effect of biofertilization on reducing chemical fertilizers, vegetative growth, nutritional status, yield and fruit quality of Arabi pomegranate trees. *J.Agric.&Env.Sci.Alex.Univ.,Egypt*, 5(3).  
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:38657905>

- AGLAR, E., YILDIZ, K. (2021.): Influence of Rootstocks (Gisela 5, Gisela 6, MaxMa, SL 64) on Performance of '0900 Ziraat' Sweet Cherry. *J Basic Appl Sci*, 10, 60–66. <https://doi.org/10.6000/1927-5129.2014.10.09>
- AHEMAD, M., KIBRET, M. (2014.): Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. *Journal of King Saud University - Science*, 26(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2013.05.001>
- AKÇAY, M. E., FIDANCI, A., BURAK, M. (2008.): Growth and yield of some sweet cherry cultivars grafted on "Gisela® 5" rootstock. *Acta Horticulturae*, 795 PART 1, 277–281. <https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2008.795.38>
- AL-HADETHI, M. E. A., AL-DULAIMI, A. S. T., ALMASHHADANI, B. M. K. (2017.): Influence of Biofertilizers on Growth and Leaf Mineral Content in Peach Transplants. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 10(9), 90–93. <https://doi.org/10.9790/2380-1009019093>
- AOAC. (2015.). Official Methods of Analysis. In *Association of Official Analytical Chemists: Vol. 18th Edition* (pp. 806–814). AOAC. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>
- ARAS, S., KELES, H. (2019.). Evaluation of Leaf Properties of Eight Cherry Cultivars Grafted onto Maxma 14 Rootstock. *Journal of Agricultural Studies*, 7(2), 144. <https://doi.org/10.5296/jas.v7i3.15270>
- ASLANTAŞ, R., ÇAKMAKÇI, R., ŞAHİN, F. (2007.). Effect of plant growth promoting rhizobacteria on young apple tree growth and fruit yield under orchard conditions. *Scientia Horticulturae*, 111(4), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.016>
- BUJDOSÓ, G., MAGYAR, L., HROTKÓ, K. (2019.). Long term evaluation of growth and cropping of sweet cherry (*Prunus avium* L.) varieties on different rootstocks under Hungarian soil and climatic conditions. *Scientia Horticulturae*, 256. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108613>
- CASSÁN, F., CONIGLIO, A., LÓPEZ, G., MOLINA, R., NIEVAS, S., DE CARLAN, C. L. N., DONADIO, F., TORRES, D., ROSAS, S., PEDROSA, F. O., DE SOUZA, E., ZORITA, M. D., DE-BASHAN, L., MORA, V. (2020.): Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. *Biology and Fertility of Soils*, 56(4), 461–479. <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>

- CASSÁN, F., VANDERLEYDEN, J., SPAEPEN, S. (2014.): Physiological and Agronomical Aspects of Phytohormone Production by Model Plant-Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR) Belonging to the Genus *Azospirillum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, 33(2), 440–459.  
<https://doi.org/10.1007/s00344-013-9362-4>
- CASTILLO, P., MOLINA, R., ANDRADE, A., VIGLIOCCO, A., ALEMANO, S., CASSÁN, F. D. (2015.): Phytohormones and Other Plant Growth Regulators Produced by PGPR: The Genus *Azospirillum*. In Y. and C. C. M. Cassán Fabricio Dario and Okon (Ed.), *Handbook for Azospirillum: Technical Issues and Protocols* (pp. 115–138). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-06542-7_7)
- CTIFL. (2014.): Porte-Greffe - Porte-greffe et variétés du cerisier.  
[https://varietes\\_cerise.ctifl.fr/fiche/porte-greffe/SAINTE\\_LUCIE\\_64](https://varietes_cerise.ctifl.fr/fiche/porte-greffe/SAINTE_LUCIE_64)
- ČMELIK, Z., DRUŽIĆ, J., DURALIJA, B., BENČIĆ, D. (2004.): Influence of clonal rootstocks on growth and cropping of “Lapins” sweet cherry. *Acta Horti*, 658, 125–128. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.658.16>
- DAVIES, P. J. (2010.): The Plant Hormones: Their Nature, Occurrence, and Functions. *Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, 1–15.  
[https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2686-7_1)
- De CAMPOS, S. B., WURDIG ROESCH, L. F., BODANESE ZANETTINI, M. H., PEREIRA PASSAGLIA, L. M. (2006.): Relationship between in vitro enhanced nitrogenase activity of an *Azospirillum brasilense* Sp7 mutant and its growth-promoting activities in situ. *Current Microbiology*, 53(1), 43–47.  
<https://doi.org/10.1007/s00284-005-0191-y>
- DE SALVADOR, F. R., DI TOMMASO, G., PICCIONI, C., BONOFILIO, P. (2005.): Performance of new and standard cherry rootstocks in different soils and climatic conditions. *Acta Horticulturae*, 667, 191–200.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.28>
- DE SILVA, A., PATTERSON, K., ROTHROCK, C., MOORE, J. (2000.): Growth promotion of highbush blueberry by fungal and bacterial inoculants. *HortScience*, 35(7), 1228–1230. <https://doi.org/10.21273/hortsci.35.7.1228>
- DEMIRSOY, H., DEMIRSOY, L., LANG, G. A. (2022.): Research on spring frost damage in cherries. *Horticultural Science*, 49(2), 89–94.  
<https://doi.org/10.17221/91/2021-HORTSCI>

- DÖBEREINER, J. (1997.): Biological nitrogen fixation in the tropics: Social and economic contributions. *Soil Biol Biochem* 29 (5–6): 771–774.  
doi:10.1016/S0038-0717(96)00226-X
- DOBBELAERE, S., CROONENBORGH, A., THYS, A., PTACEK, D., VANDERLEYDEN, J., DUTTO, P., LABANDERA-GONZALEZ, C., CABALLERO-MELLADO, J., AGUIRRE, J. F., KAPULNIK, Y., BRENER, S., BURDMAN, S., KADOURI, D., SARIG, S., OKON, Y. (2001.): Responses of agronomically important crops to inoculation with *Azospirillum*. *Funct Plant Biol*, 28(9), 871. <https://doi.org/10.1071/PP01074>
- DU JARDIN, P. (2015.): Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- DURALIJA, B., ARKO, B., ZLATKO, Č., JEMRIĆ, T., ŠINDRAK, Z. (2007.): Influence of cultivar and rootstock on sweet cherry fruit cracking (in Croatian). *Pomol Croat*, 13(2), 97–106.
- EŞITKEN, A., KARLIDAG, H., ERCISLI, S., TURAN, M., SAHIN, F. (2003.): The effect of spraying a growth promoting bacterium on the yield, growth and nutrient element composition of leaves of apricot (*Prunus armeniaca* L. cv. Hacihaliloglu). *Aust J Agric Res* 54 (4): 377–380. doi:10.1071/AR02098
- EŞITKEN, A., KARLIDAG, H., ŞAHIN, F. (2005.): Potential use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in organic apricot production. *International Conference on Environmentally Friendly Fruit Growing, 2005*, 90–97.
- EŞITKEN, A., PIRLAK, L., TURAN, M., SAHIN, F. (2006.): Effects of floral and foliar application of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrition of sweet cherry. *Sci Hortic* 110 (4): 324–327.  
doi:10.1016/j.scienta.2006.07.023
- GAINZA, F., OPAZO, I., GUAJARDO, V., MEZA, P., ORTIZ, M., PINOCHET, J., MUÑOZ, C. (2015.): Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75, 6–16. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000300002>
- GLICK, B. R. (1995.): The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology*, 41(2), 109–117.  
<https://doi.org/10.1139/M95-015>

- GLUSZEK, S., SAS-PASZT, L., DERKOWSKA, E., SUMOROK, B., SITAREK, M. (2021.): Influence of various biofertilizers on root growth dynamics in sweet cherry (*Prunus avium* L.) cv. "Vanda." *Horticultural Science*, 48(3), 105–116. <https://doi.org/10.17221/119/2020-HORTSCI>
- GRANATSTEIN, D., KUPFERMAN, E. (2008.): Sustainable horticulture in fruit production. *Acta Horticulturae*, 767, 295–308. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.767.31>
- GRZYB, Z. S., PIOTROWSKI, W., SAS, L. (2014.): Treatments Comparison of Mineral and Bio Fertilizers in the Apple and Sour Cherry Organic Nursery. *Journal of Life Sciences*, 8, 889–898. <https://doi.org/10.17265/1934-7391/2014.11.005>
- HAYAT, R., ALI, S., AMARA, U., KHALID, R., AHMED, I. (2010.): Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: A review. *Annals of Microbiology*, 60(4), 579–598. <https://doi.org/10.1007/s13213-010-0117-1>
- JIMÉNEZ, S., GARÍN, A., ALBÁS, E. S., BETRÁN, J. A., GOGORCENA, Y., MORENO, M. A. (2004.a): Effect of Several Rootstocks on Fruit Quality of 'Sunburst' Sweet Cherry. *Acta Horticulturae*, 658, 353–358. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.658.51>
- JIMÉNEZ, S., GARÍN, A., GOGORCENA, Y., BETRÁN, J. A., MORENO, M. A. (2004.b): Flower and Foliar Analysis for Prognosis of Sweet Cherry Nutrition: Influence of Different Rootstocks. *Journal of Plant Nutrition*, 27(4), 701–712. <https://doi.org/10.1081/PLN-120030376>
- JIMÉNEZ, S., PINOCHET, J., GOGORCENA, Y., BETRÁN, J. A., MORENO, M. A. (2007.): Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Scientia Horticulturae*, 112(1), 73–79. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2006.12.010>
- KARAKURT, H., ASLANTAŞ, R. (2010.): Effects of some plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) strains on plant growth and leaf nutrient content of apple. *J Fruit Ornament Plant Res*, 18, 101–110.
- KOLEGA, Š., KOS, T., ZORICA, M., MARCELIĆ, Š., FRUK, G. (2024.): Substrate Properties, Vegetative Growth, Chlorophyll Content Index and Leaf Mineral Content of Sweet Cherry Maiden Trees as Affected by Rootstock and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria. *Sustainability*, 17(1), 158. <https://doi.org/10.3390/su17010158>

- LANAUSKAS, J., USELIS, N., KVIKLYS, D., KVIKLIENĖ, N., BUSKIENĖ, L. (2012.): Rootstock effect on the performance of sweet cherry cv. Lapins. *Hort. Sci. (Prague)*, 2, 55–60. <https://doi.org/10.17221/50/2011-HORTSCI>
- LEECE, D. (1975.): Diagnostic leaf analysis for stone fruit. 5. Sweet cherry. *Aust J Exp Agric* 15 (72): 118. doi:10.1071/EA9750118
- MALUSA, E., SAS-PASZT, L., POPINSKA, W., ZURAWICZ, E. (2007.): The Effect of a Substrate Containing Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Rhizosphere Microorganisms (*Trichoderma*, *Bacillus*, *Pseudomonas* and *Streptomyces*) and Foliar Fertilization on Growth Response and Rhizosphere pH of Three Strawberry Cultivars. *Int J Fruit Sci*, 6(4), 25–41. [https://doi.org/10.1300/J492v06n04\\_04](https://doi.org/10.1300/J492v06n04_04)
- MEIER, U. (2001.): *Growth stages of mono- and dicotyledonous plants*. BBCH Monograph, Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- MELAKEBERHAN, H., BIRD, G. W., JONES, A. L. (2001.): Soil pH Affects Nutrient Balance in Cherry Rootstock Leaves. *HortScience*, 36(5), 916–917. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.36.5.916>
- MILJKOVIĆ, I., ČMELIK, Z., VRSALJKO, A. (2002.): Podloge za trešnju (in Croatian). *Pomol Croat*, 8(1–4), 115–134.
- MORENO, M. A., ADRADA, R., APARICIO, J., BETRÁN, S. (2001.): Performance of ‘Sunburst’ sweet cherry grafted on different rootstocks. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(2), 167–173. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511345>
- MORENO, M. A., MONTAÑÉS, L., TABUENCA, M. C., CAMBRA, R. (1996.): The performance of Adara as a cherry rootstock. *Sci Hortic* 65 (1): 85–91. doi:10.1016/0304-4238(95)00862-4
- NEILSEN, G., KAPPEL, F. (1996.): “Bing” Sweet Cherry Leaf Nutrition is Affected by Rootstock. *HortScience*, 31(7), 1169–1172. <https://doi.org/https://doi.org/10.21273/HORTSCI.31.7.1169>
- O’CONNELL, P. F. (1992.): Sustainable Agriculture—a Valid Alternative. *Outlook on Agriculture*, 21(1), 5–12. <https://doi.org/10.1177/003072709202100103>
- OKON, Y. (1985.): *Azospirillum* as a potential inoculant for agriculture. *Trends in Biotechnology*, 3(9), 223–228. [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(85\)90012-5](https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90012-5)

- OMAR, M. N. A., OSMAN, M. E. H., KASIM W. A., ABD EL-DAIM I. A. (2009.): Improvement of Salt Tolerance Mechanisms of Barley Cultivated Under Salt Stress Using *Azospirillum brasilense*. In Ashraf M., M. Ozturk, Athar H. R. (Eds.), *Salinity and Water Stress: Improving Crop Efficiency* (pp. 133–147). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9065-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9065-3_15)
- ORHAN, E., EŞİTKEN, A., ERCISLI, S., TURAN, M., SAHIN, F. (2006.): Effects of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, growth and nutrient contents in organically growing raspberry. *Sci Hortic* 111 (1): 38–43. doi: 10.1016/j.scienta.2006.09.002
- PERRY, R. L. (1985.): Progress with cherry rootstocks. *Compact Fruit Tree*, 8, 107–108.
- PILBEAM, D. J., MORLEY, P. S. (2007.): Calcium. In: Handbook of Plant Nutrition (Barker V.A., Pilbeam J.D., eds), CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, pp. 121–144.
- PIRLAK, L., TURAN, M., SAHIN, F., EŞİTKEN, A. (2007.): Floral and Foliar Application of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) to Apples Increases Yield, Growth, and Nutrient Element Contents of Leaves. *Journal of Sustainable Agriculture* 30 (4): 145–155. doi:10.1300/J064v30n04\_11
- PRASAD, M., SRINIVASAN, R., CHAUDHARY, M., CHOUDHARY, M., JAT, L. K. (2019.): Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) for Sustainable Agriculture. In *PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture* (pp. 129–157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815879-1.00007-0>
- RANJBAR, A., IMANI, A., PIRAIVTLOU, S. P., ABDOOSI, V. (2019.): Effects of drought stress on almond cultivar's responses grafted on different rootstocks. *Journal of Nuts*, 10(1), 9–24. <https://doi.org/10.22034/jon.2019.664206>
- RAO, A. V., DASS, H. C. (1989.): Growth of fruit plants as influenced by nitrogen fixing bacteria. *Ann Arid Zone* 28 (1 & 2): 143–147.
- RIBEIRO, V. P., GOMES, E. A., DE SOUSA, S. M., DE PAULA LANA, U. G., COELHO, A. M., MARRIEL, I. E., DE OLIVEIRA-PAIVA, C. A. (2022.): Co-inoculation with tropical strains of *Azospirillum* and *Bacillus* is more efficient than single inoculation for improving plant growth and nutrient uptake in maize. *Arch Microbiol*, 204(2).

- RUSSO, A., VETTORI, L., FELICI, C., FIASCHI, G., MORINI, S., TOFFANIN, A. (2008.): Enhanced micropropagation response and biocontrol effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 on *Prunus cerasifera* L. clone Mr.S 2/5 plants. *Journal of Biotechnology*, 134(3–4), 312–319. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2008.01.020>
- SALAZAR, S. M., LOVAISA, N. C., GUERRERO-MOLINA, M. F., RAGOUT, A. L., KIRSCHBAUM, D. S., DÍAZ-RICCI, J. C., PEDRAZA, R. O. (2012.): Fruit yield of strawberry plants inoculated with *Azospirillum brasilense* RLC1 and REC3 under field conditions. *Revta. Agron. N. O. Argent.*, 32(January), 63–66.
- SANTOS, A., SANTOS-RIBEIRO, R., CAVALHEIRO, J., CORDEIRO, V., LOUSADA, J. L. (2006.): Initial growth and fruiting of ‘Summit’ sweet cherry (*Prunus avium*) on five rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(3), 269–277. <https://doi.org/10.1080/01140671.2006.9514416>
- SHIRKOT, C. K., SHARMA, N. (2005.). Growth promotion of apple seedlings by plant growth promoting rhizobacterium (*Bacillus megaterium*). *Acta Horticulturae*, 696, 157–162. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.696.26>
- SINGH, Y., BHATNAGAR, P., SINGH, J., KUMAR SHARMA, Y., SINGH BISHT, Y., ARYA, C. K., SINGH RATHORE, B. (2024.): The Contribution of *Azospirillum brasilense* and Vermicompost to Improving Plant Growth Characteristics, Yield Variables, Physical Characteristics and Maintaining Sustainable Agriculture in Custard Apple cv. “Balanagar.” *Appl Fruit Sci*. <https://doi.org/10.1007/S10341-024-01086-9>
- SORCE, C., MASSAI, R., PICCIARELLI, P., LORENZI, R. (2002.): Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 93, 333–342.
- SUDHAKAR, P., CHATTOPADHYAY, G. N., GANGWAR, S. K., GHOSH, J. K. (2000.): Effect of foliar application of *Azotobacter*, *Azospirillum* and *Beijerinckia* on leaf yield and quality of mulberry (*Morus alba*). *J Agri Sci*, 134(2), 227–234. <https://doi.org/10.1017/S0021859699007376>

- ŚWIERCZYŃSKI, S. (2023.): Influence of the propagation method of three semidwarf rootstocks on the growth and activity of the physiological processes of maiden sweet cherry trees in a nursery. *Acta Sci Pol-Hortoru*, 22(4), 47–66. <https://doi.org/10.24326/ASPHC.2023.5024>
- ŚWIERCZYŃSKI, S., BOROWIAK, K., BOSIACKI, M., URBANIAK, M., MALINOWSKA, A. (2019.): Estimation of the growth of ‘Vanda’ maiden sweet cherry trees on three rootstocks and after application of foliar fertilization in a nursery. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 18 (1): 109–118. doi:10.24326/asphc.2019.1.11
- ŚWIERCZYŃSKI, S., STACHOWIAK, A. (2012.): Usefulness of four rootstocks and mycorrhization treatment in production of sweet cherry maiden trees in a nursery. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 11, 149–159. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:84600814>
- SZOT, I., MELAND, M. (2001.): Influence of rootstocks on size distribution and fruit quality of sweet cherry cultivars. *International Agrophysics*, 15(3), 207–214. <http://www.international-agrophysics.org/Influence-of-rootstocks-on-size-distribution-and-fruit-quality-of-sweet-cherry-cultivars,106848,0,2.html>
- VENDRUSCOLO, E. P., LIMA, S. F. DE. (2021.): The *Azospirillum* genus and the cultivation of vegetables. A review. *BASE*, 4, 236–246. <https://doi.org/10.25518/1780-4507.19175>
- VETTORI, L., RUSSO, A., FELICI, C., FIASCHI, G., MORINI, S., TOFFANIN, A. (2010.): Improving micropropagation: Effect of *Azospirillum brasilense* Sp245 on acclimatization of rootstocks of fruit tree. *Journal of Plant Interactions*, 5(4), 249–259. <https://doi.org/10.1080/17429145.2010.511280>
- VUJOVIĆ, T., CEROVIĆ, R., RUŽIĆ, D. (2012.): Ploidy level stability of adventitious shoots of sour cherry ‘Čačanski Rubin’ and Gisela 5 cherry rootstock. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 111(3), 323–333. <https://doi.org/10.1007/s11240-012-0197-7>
- WESTWOOD, M. N., ROBERTS, A. N. (1970.): The Relationship Between Trunk Cross-sectional Area and Weight of Apple Trees1. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 95(1), 28–30. <https://doi.org/10.21273/JASHS.95.1.28>

- YSTAAS, J., FRØYNES, O. (1998.): The influence of eleven cherry rootstocks on the mineral leaf content of major nutrients in Stella and Ulster sweet cherries. *Acta Hortic* (468): 367–372. doi:10.17660/ActaHortic.1998.468.45
- YU, X., LIU, X., ZHU, T. H. (2014.): Walnut growth and soil quality after inoculating soil containing rock phosphate with phosphate-solubilizing bacteria. *ScienceAsia*, 40(1), 21–27. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2014.40.021>
- ZAGHLOUL, A., ENNAB, H. (2015.): Comparative effect of one synthetic biostimulants and microbial biostimulant (*Azospirillum lipoferum*) on yield and quality of Washington Navel orange fruits. *Journal of Plant Production*, 6(11), 1861–1876. <https://doi.org/10.21608/jpp.2015.52114>
- ZEC, G., ČOLOVIĆ, V., MILATOVIĆ, D., ČOLIĆ, S., VULIĆ, T., ĐORĐEVIĆ, B., ĐUROVIĆ, D. (2017.): Rootstock influence on vigour and generative potential of young sweet cherry trees. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 71(2), 137–141. <http://aspace.agrif.bg.ac.rs/handle/123456789/6125>

**Napomena:**

Istraživanje je sufinancirano sredstvima Odjela za ekologiju, agronomiju i akvakulturu Sveučilišta u Zadru

**Adresa autora – Author's address**

Šimun Kolega, e-mail: [skolega@unizd.hr](mailto:skolega@unizd.hr)  
Šime Marčelić, e-mail: [simemarcelic@unizd.hr](mailto:simemarcelic@unizd.hr)  
Tomislav Kos, e-mail: [tkos@unizd.hr](mailto:tkos@unizd.hr)  
Sveučilište u Zadru,  
Odjel za ekologiju, agronomiju i akvakulture,  
Trg kneza Višeslava 9,  
23000 Zadar

**Primljeno – received:**  
17.07.2025.

**Revidirano – revised:**  
18.02.2026.

**Prihvaćeno – accepted:**  
28.02.2026.

Goran Fruk, e-mail: [gfruk@agr.hr](mailto:gfruk@agr.hr)  
Sveučilište u Zagrebu  
Agronomski fakultet,  
Svetošimunska cesta 25,  
10000 Zagreb

