

# **Biološki test s četiri biljne vrste za procjenu pogodnosti vermikomposta i komposta kao uzgojnog medija**

Bioassay with Four Test Plants for Evaluation of Compost and Vermicompost Suitability as a Growing Medium

**Lončarić, Z., Novaković, I., Perić, K., Nemet, F., Ravnjak, B., Tkalec Kojić, M., Pravdić, G., Gansberger, M., Uzelac, I., Božić, V., Vinković, T.**

**Poljoprivreda / Agriculture**

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<https://doi.org/10.18047/poljo.30.2.4>



**Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Poljoprivredni institut Osijek**

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Agricultural Institute Osijek

# BIOLOŠKI TEST S ČETIRI BILJNE VRSTE ZA PROCJENU POGODNOSTI VERMIKOMPOSTA I KOMPOSTA KAO UZGOJNOGA MEDIJA

Lončarić, Z. <sup>(1)</sup>, Novaković, I. <sup>(1)</sup>, Perić, K. <sup>(2)</sup>, Nemet, F. <sup>(1)</sup>, Ravnjak, B. <sup>(1)</sup>, Tkalec Kojić, M. <sup>(1)</sup>, Pravdić, G. <sup>(1)</sup>, Gansberger, M. <sup>(1)</sup>, Uzelac, I. <sup>(1)</sup>, Božić, V. <sup>(2)</sup>, Vinković, T. <sup>(1)</sup>

Izvorni znanstveni rad  
Original scientific paper

## SAŽETAK

*Cilj ovoga istraživanja bio je biološkim testom i uobičajenim fizikalno-kemijskim analizama utvrditi pogodnost komposta i vermikomposta za upotrebu kao komponenata supstrata za uzgoj presadnica četiriju različitih biljnih vrsta (kres salata — *Lapidium sativum* L., krastavac — *Cucumis sativus* L., ječam — *Hordeum vulgare* L. i pšenoraž — *xTriticosecale* Wittmack). Dodatni cilj bio je utvrditi hoće li se dodatkom različitih koncentracija amonijskoga dušika (400 i 600 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) postići fitostimulativni ili fitotoksični učinak na istraživane testne biljke. Osnovna hipoteza bila je da postoji razlika u pogodnosti uzgoja različitih presadnica na kompostu, vermikompostu i njihovim smjesama s komercijalnim supstratom te da postoji razlika u pogodnosti testnih biljaka za evaluaciju kvalitete komposta. Istraživani kompost i vermikompost proizvedeni su iz biljnih ostataka nakon održavanja i uređivanja zelenih javnih površina. Analizirani kompost i vermikompost su stabilna i zrela organska gnojiva s povišenim pH vrijednostima i specifičnom gustoćom. Snižavanje pH vrijednosti i nasipne gustoće može se postići miješanjem s kiselim tresetnim supstratom. Utvrđene su značajne razlike između testnih biljaka, pri čemu je ječam bio dominantan u pogledu visine i nadzemne mase, a krastavac je imao nešto duži korijen. S druge strane, kres salata bila je značajno inferiorna glede navedenih svojstava. Istraživani kompost i vermikompost mogu uspješno poslužiti kao komponenta za smjesu s komercijalnim supstratom u omjeru 1:1, to jest kao zamjena 50 % komercijalnoga supstrata. Zalijevanje presadnica otopinama amonijskoga dušika (otopine amonijeva karbonata) povećalo je nadzemnu masu i visinu ječma i pšenoraži, a učinak na masu i visinu krastavca i kres salate nije bio konzistentan. Suprotan je učinak na duljinu korijena, uz redukciju korijena krastavca i pšenoraži, a bez značajnoga učinka na korijen ječma i kres salate. U biološkim testovima trebalo bi se koristiti ječmom i kres salatoma, a u nekim slučajevima i krastavcem, dok se nije potrebno koristiti pšenoražju ako se koristimo ječmom kao testnom biljkom. Ječam je najpogodnija testna biljka za utvrđivanje pozitivnoga učinka otopine amonijaka, a krastavac je najpogodniji za testiranje niskih (nedovoljnih) količina amonijskoga oblika dušika. Kres salata najpogodnija je biljna vrsta za utvrđivanje fitotoksičnosti supstrata.*

**Ključne riječi:** kompost, vermikompost, ječam, pšenoraž, krastavac, kres salata, amonijski N

## UVOD

Uzgoj presadnica za hortikulturnu proizvodnju rezultira sve intenzivnijom eksploatacijom tresetišta i posljedničnom degradacijom ekosustava, smanjenjem biološke raznolikosti i dodatnom emisijom stakleničkih plinova uslijed razgradnje tresetne organske mase. Stoga su porasle potrebe i interesi za alternativnim rješenjem

Prof. dr. sc. Zdenko Lončarić, Izabela Novaković, mag. ing. agr., Franjo Nemet, mag. ing. agr., dr.sc. Boris Ravnjak, doc.dr.sc. Monika Tkalec Kojić, Gabriela Pravdić, mag. ing. agr., Maja Gansberger mag. ing. agr., Ivona Uzelac, mag. ing. agr., prof. dr. sc. Tomislav Vinković, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Croatia; Katarina Perić, mag. ing. agr., Vinko Božić, mag. ing. agr. — Poljoprivredni institut Osijek, Južno predgrađe 17, 31000 Osijek, Croatia

(Barkham, 1993., Buckland, 1993., Robertson, 1993.). Potencijalno rješenje jest upotreba komposta i/ili vermikomposta kao zamjena za tresetne supstrate bilo u potpunosti ili u smjesama, ovisno o utvrđenoj pogodnosti za uzgoj presadnica. Prema rezultatima istraživanja i zaključcima istraživača (Miller i Metting, 1992., Inbar i sur., 1993., Epstein, 1997., Raviv, 1998., Raviv i sur., 2002., Vukobratović i sur., 2018.), više je očitih prednosti upotrebe komposta kao alternative upotrebi tresetnih supstrata. Prvo, različiti organski ostatci iz poljoprivrednih i šumarskih djelatnosti predstavljaju kvalitetnu sirovinu za proizvodnju komposta. Pored toga, otpadne tvari često organizacijski i financijski opterećuju proizvodnju, a njihova transformacija u kvalitetan proizvod pridonosi održivosti poljoprivredne proizvodnje, razvoju ekološke poljoprivrede (Pugelnik i sur., 2024.), očuvanju okoliša, stvaranju dodane vrijednosti i kružnoj ekonomiji gospodarstva. Kvalitetni zreli komposti i vermikomposti povećavaju brojnost i aktivnost korisnih mikroorganizama u tlu, a time mogu značajno smanjiti pojavnost patogena u tlu. Zbog toga su organska gnojiva, uz mikrobiološke pripravke, česta alternativa upotrebi mineralnih gnojiva i pesticida (Kristek i sur., 2023.). Navedeno nas podsjeća da su kvalitetni komposti poželjnih svojstava vrlo korisni, ali nedovoljno kvalitetni komposti mogu povećati opterećenje tla i okoliša i/ili biti fitotoksični. Primjena organskih gnojiva nužna je u sustavu ekološke proizvodnje kako bi se postigao visok prinos i kvaliteta, posebno na tlima slabije plodnosti (Pospišil i Pospišil, 2021.). Hoće li učinak pojedinih svojstava tla biti inhibicijski ili koristan ovisi o mnogim čimjiteljima okoliša i osjetljivosti biljne vrste na toksičnost (Žalac i sur., 2022.). Tako, primjerice, nezreli kompost može mikrobiološki imobilizirati značajne količine mineralnoga dušika i tako smanjiti rast presadnica, dok zreli kompost povećava raspoloživost dušika za presadnicu (Jespersen i Willumsen, 1993., Williams i Nelson, 1992.). Zbog takvih je različitosti značajno utvrditi kvalitetu komposta, koju najčešće ocjenjujemo kao zrelost (Epstein, 1997., Bernal i sur., 1998., Wang i sur., 2004., Zhu, 2006.) i stabilnost (Chodak i sur., 2001., Brewer i Sullivan, 2003.), a za tu svrhu razvijeni su različiti testovi klijavosti i biološki testovi s uzgojem različitih biljaka (Bernal i sur., 1998., Epstein, 1997., Wang i sur., 2004., Zhu, 2006., Lončarić i sur., 2009a, Lončarić i sur., 2009b, Vukobratović i sur., 2018.). Najčešće se kao indikatori zrelosti komposta koriste C/N i  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnosi, ali za tumačenje potencijalne fitotoksičnosti koriste se i pH, konduktivitet te sadržaj fitotoksičnih komponenata, na primjer organskih kiselina, amonijskoga N, etilen-oksida, fenola, soli, teških metala i ostataka pesticida. Za utvrđivanje moguće fitotoksičnosti supstrata na različite biljne vrste najpogodnijim se pokazao biološki test, te su razvijeni i različiti sustavi evaluacije rezultata bioloških testova. Tako je razvijeno vrlo praktično tumačenje može li kompost i/ili vermikompost zamijeniti određeni dio tresetnoga supstrata u smjesi komposta i supstrata u omjerima 1:1 i 1:3 (Barral i Paradelo, 2011.). Smatra se da biljke podnose kompost kada nema vidljive kloroze ili nekroza na biljkama i kada je produkcija svježih tvari biljaka na supstratu s 25 % komposta (smjesa u omjeru 1:3) najmanje 90 % u usporedbi s kontrolnim supstratom. Ako je ovaj uvjet zadovoljen, kompostom se

možemo koristiti i kao gnojivom. Kada se u smjesama s 50 % komposta (smjesa u omjeru 1:1) ostvari masa testne biljke najmanje 90 % u usporedbi s referentnim supstratom, kompostom se također možemo koristiti i kao komponentom supstrata, to jest kao zamjenom 50 % tresetnoga supstrata u smjesama za uzgoj presadnica, ali i u gnojivima biljaka koje zahtijevaju primjenu kvalitetnijega komposta (Barral i Paradelo, 2011.).

Cilj ovoga istraživanja bio je biološkim testom i uobičajenim fizikalno-kemijskim analizama utvrditi pogodnost komposta i vermikomposta za upotrebu kao komponenta supstrata za uzgoj presadnica četiriju različitih biljnih vrsta. Dodatni je cilj bio utvrditi hoće li se dodatkom različitih koncentracija amonijskoga dušika (400 i 600 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) postići fitostimulativni ili fitotoksični učinak na istraživane testne biljke. Osnovna hipoteza na početku rada bila je da postoji razlika u pogodnosti uzgoja različitih presadnica na supstratima komposta, vermikomposta i njihovim smjesama s komercijalnim supstratom te da postoji razlika u pogodnosti testnih biljaka za evaluaciju kvalitete komposta.

## MATERIJAL I METODE

Istraživanja su provedena u laboratorijskim uvjetima uz kontrolu osvjetljenja i temperature u prostorima Fakulteta agrobiotehničkih znanosti Osijek kako bi se na temelju bioloških pokazatelja evaluirala pogodnost komposta, vermikomposta i njihovih smjesa kao supstrata na uzgoj presadnica.

### Supstrati za biološki test

U istraživanju je korišteno pet različitih supstrata, pri čemu su kompost i vermikompost pripremljeni kao čist supstrat ili kao smjesa s komercijalnim supstratom u volumnome omjeru 1:1. Kompost, vermikompost i komercijalni supstrat poslužili su za pripremu pet različitih supstrata:

1. komposta;
2. vermikomposta;
3. komercijalnoga supstrata;
4. smjese komposta/ komercijalnoga supstrata u omjeru 1:1 (v/v); te
5. smjese vermikomposta/ komercijalnoga supstrata u omjeru 1:1 (v/v).

Kompost i vermikompost dobiveni su kompostiranjem (u kamarama s povremenim miješanjem) ili vermikompostiranjem iste smjese biljnih ostataka od održavanja i uređivanja zelenih javnih površina. Smjesu su uglavnom činili suhi listovi listopadnoga drveća i košene trave te u manjoj mjeri drvenasti dijelovi grmova i drveća uz primjese tla (zbog načina prikupljanja biljnih ostataka). Istraživani komercijalni supstrat jest onaj na bazi bijeloga kiselog treseta kojim se uobičajeno koristimo u hortikulturnoj proizvodnji presadnica.

Supstrati su preneseni za sjetvu testnih biljaka u stiroporne kontejnere sa 100 g supstrata po sjetvenome mjestu, uz dodatak potrebne količine vode ili otopine  $\text{NH}_4\text{-N}$  za optimalnu vlažnost.

### Testne biljke u biološkome testu

Kao testne biljke korištene su kres salata (*Lepidium sativum* L.), krastavac (*Cucumis sativus* L.), ječam (*Hordeum vulgare* L.) i pšenoraž ili tritikala (*xTriticosecale* Wittmack).

Za sjetvu je korišteno dvanaest stiropornih kontejnera s četrdeset sjetvenih mjesta. Svaki je sjetveni kontejner sadržavao osam sjetvenih mjesta za svaki od pet različitih supstrata, a svako sjetveno mjesto predstavljalo je pojedinačno ponavljanje, uz ukupno šezdeset tretmana (5 različitih supstrata x 4 testne vrste x 3 otopine za zalijevanje).

U svaki kontejner individualno je obavljena sjetva jedne vrste testne biljke na svih pet različitih supstrata. Kontejneri su nakon sjetve postavljeni na stalno mjesto uzgoja u kontroliranim uvjetima (*walk-in* komora), na kojem je kontrolirana dužina osvjetljenja i temperatura.

### Otopine za zalijevanje

Za postavljanja i provedbe pokusa u kontrolnim uzorcima za postizanje početne optimalne vlažnosti korištena je deionizirana voda za zalijevanje tijekom rasta testnih biljaka, a u ostalim uzorcima su za pripremu supstrata i zalijevanje korištene dvije različite otopine amonijskoga dušika (u obliku amonijeva karbonata):

1. deionizirana voda;
2. otopina 1 koncentracije 400 mg/L NH<sub>4</sub>-N (oznaka SOL 1); te
3. otopina 2 koncentracije 600 mg/L NH<sub>4</sub>-N (oznaka SOL 2).

### Uzgoj presadnica

Biljkama je tijekom rasta u sjetvenim kontejnerima (28 dana) svaki drugi dan dodavana jednaka količina vode ili odgovarajuće otopine, tako da je u svaki sjetveni kontejner kontinuirano dodavana ista otopina (voda, otopina 1 ili otopina 2), od nicanja do dvadeset osmoga dana. Sve presadnice su nakon dvadeset osam dana iz komore prenesene u laboratorij, a sve biljke isprane su u mlakoj vodi kako bi se s korijena uklonio ostatak supstrata. Potom su obavljena biometrička mjerenja sljedećih pokazatelja rasta testnih biljaka: visina testne biljke, duljina korijena, nadzemna masa biljke i broj izniknutih biljaka.

### Analize supstrata za uzgoj presadnica

Laboratorijske analize supstrata obuhvatile su analize fizikalnih, kemijskih i bioloških svojstava.

#### Analiza fizikalnih svojstava komposta

Analiza fizikalnih svojstava supstrata obuhvatila je postotni udio suhe tvari i vode te sadržaj organske tvari i pepela. Supstrati su za analizu pripremljeni u skladu s europskom normom EN 13040 prosijavanjem kroz seriju sita promjera otvora 20, 25 i 40 mm (EN, 2007.). Ukupan sadržaj vode i suhe tvari u supstratima određeni su također u skladu s europskom normom EN 13040 (EN, 2007.) sušenjem 100 g svježih tvari supstrata na 103 ± 2 °C do konstantne mase.

Sadržaj pepela i organske tvari u supstratu određeni su prema europskoj normi za analizu poboljšivača i medija za uzgoj EN 13039 (EN, 2011.b).

### Analiza kemijskih svojstava komposta

Analizirana kemijska svojstva su sljedeća: pH vrijednost, električni konduktivitet (EC), C/N odnos i odnos mineralnih oblika N (amonijskoga i nitratnoga oblika N).

Vrijednosti pH supstrata izmjerene su elektrometrijski s pomoću pehametra prema europskoj normi EN 13037: 2011 (EN, 2011.a) u suspenziji svježega supstrata u vodi u omjeru 1:5 v/v (uzorak : voda). Električni konduktivitet također je izmjeren u istoj suspenziji prema europskoj normi EN 13038: 2009 (EN, 2009.). Sadržaj organskoga ugljika u uzorcima supstrata izmjeren je nakon razaranja suhoga uzorka supstrata mokrim postupkom s K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> i koncentriranom H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na bloku za razaranje na 135 °C (Vukobratović i sur., 2018.). C/N odnos izračunan je s pomoću podataka ukupnoga ugljika i dušika. Sadržaj amonijskoga i nitratnoga dušika određen je prema metodi EN 13652:2001 (EN, 2001., Béline, 2002., Martinez, 2002., Moldes i sur., 2007.), to jest destilacijom svježega uzorka.

### Analiza bioloških svojstava

Intenzitet disanja utvrđen je prema metodi TMECC 05.08-b (Thompson, 2001.) mjerenjem količine ugljikova dioksida izdvojenoga mikrobiološkom aktivnošću svježih uzoraka supstrata nakon 48 sati inkubacije na sobnoj temperaturi (25 °C).

### Statistička obrada podataka

Rezultati svih analiza i mjerenja statistički su obrađeni analizom varijance s pomoću programskoga paketa SAS 9.3. (SAS Institute Inc., New York) i korelacijama u Microsoftovu *Excelu*. Statističke značajnosti utvrđene su testom ANOVA. Usporedbe srednjih vrijednosti i izračuni najmanje značajne razlike obavljene su s pomoću Fisherova LSD testa (*Least Significant Differences*) na razini signifikantnosti P < 0,05. Uspoređene su srednje vrijednosti svih tretmana (supstrati, otopine i testne biljne vrste) na razini cijeloga pokusa, ali i različitost utjecaja supstrata i otopina na svaku pojedinu testnu vrstu. Značajna razlika između srednjih vrijednosti u prikazanim tablicama obilježena je u skladu s Duncanovim slovnim označavanjem, u kojem obilježene srednje vrijednosti koje se međusobno ne razlikuju sadrže isto slovo.

## REZULTATI I RASPRAVA

Analizama supstrata utvrđene su najveće vrijednosti nasipne gustoće, pH, konduktiviteta i sadržaja pepela u kompostu (tablica 1), a najniže vrijednosti u komercijalnome supstratu. U kompostu je utvrđena nasipna gustoća 0,75 g/cm<sup>3</sup>, pH vrijednost 8,67, a konduktivitet (EC) 2,39 mS/cm. Sadržaj pepela bio je 73,50 %, organske tvari 26,50 %, a C/N odnosa 10,28. Odnos NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N iznosio je 0,015, uz intenzitet disanja 0,28 mg CO<sub>2</sub>/g ST/dan. U vermikompostu su utvrđene nešto niže vrijednosti nasipne gustoće (0,67 g/cm<sup>3</sup>), pH vrijednosti (8,53), konduktiviteta (0,765 mS/cm) i pepela (65,71 %). Utvrđeni su nešto veći C/N (14,27) i NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N (0,019) odnosi uz veći intenzitet disanja (1,03 mg CO<sub>2</sub>/g ST/dan). U komercijalnome supstratu (tablica 1) utvrđene su najniže vrijednosti nasipne gustoće (0,42 g/cm<sup>3</sup>), pH (6,37) i

konduktiviteta (0,42 mS/cm). Sadržaj pepela bio je 7 %, organske tvari 93 %, a C/N odnosa 34,73. Odnos  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  iznosio je 2,08.

Kemijska svojstva komposta koriste se za evaluaciju zrelosti (Bernal i sur., 1998., Epstein, 1997., Wang i sur., 2004., Zhu, 2006., Lončarić i sur., 2009a, Lončarić i sur., 2009b, Vukobratović i sur., 2013., Vukobratović i sur., 2018.) kao mjerilo neutralizacije fitotoksičnosti komposta. S druge strane, stabilnost komposta odnosi se na otpornost organske tvari na daljnju razgradnju (Brewer i Sullivan, 2003.), na stopu biološke aktivnosti koja se obično mjeri kao aerobni omjer disanja (ADAS, 2005.). Sazrijevanjem komposta amonijski oblik dušika, organske kiseline i drugi međuprodukti razgradnje organske tvari kao fitotoksične komponente transformiraju se u spojeve koji ne će inhibirati klijanje, rast korijena ili izdan-

ka (Lončarić i sur., 2015.). Različiti supstrati u različitim stupnjevima zrelosti odlikuju se fizikalnim, kemijskim i biološkim svojstvima, koja na razvoj i rast presadnica mogu utjecati fitotoksično ili fitostimulativno. Yeager i sur. (2007.) navode širok raspon poželjnih vrijednosti nasipne gustoće supstrata za proizvodnju presadnica (0,19 – 0,70 g/cm<sup>3</sup>). U ovome je istraživanju utvrđena nasipna gustoća vermikomposta unutar navedenoga raspona (0,67), dok je gustoća komposta manje pogodna za uzgoj presadnica jer je nešto veća (0,75), ukazujući na moguć negativan učinak na rast presadnica. Gustoća komercijalnoga supstrata je 0,42, te bi u smjesama s kompostom i vermikompostom trebao djelovati pozitivno, smanjujući gustoću smjese značajno ispod gornje granice optimalnoga raspona.

**Tablica 1. Fizikalna i kemijska svojstva komposta, vermikomposta i komercijalnog supstrata**

Table 1. The physical and chemical properties of compost, vermicompost, and commercial substrate

Svojstvo / Properties	Kompost /Compost	Vermikompost / Vermicompost	Komercijalni supstrat / Commercial substrate
Nasipna gustoća / Bulk density ( $L_0$ g/cm <sup>3</sup> )	0,75	0,67	0,42
pH (1:5 v/v)	8,67	8,53	6,37
EC mS/cm	2,39	0,77	0,424
Pepeo / Ash (%)	73,50	65,71	7,00
Organska tvar / Organic matter (%)	26,50	34,29	93,00
CN odnos / CN ratio	10,28	14,27	34,73
$\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$	0,015	0,019	2,08
Disanje (mg CO <sub>2</sub> /g ST/dan) / Respiration (mg CO <sub>2</sub> /g DM/day)	0,28	1,03	

Utvrdene pH vrijednosti komposta i vermikomposta su iznad 8,5 (tablica 1), to jest značajno iznad optimalnih 5,2 – 6,3 (Abad i sur., 2001.) i blizu gornje granice prihvatljivih vrijednosti 5,5 – 9,0 (Monaghan i sur., 2017.), pa je moguć negativan učinak na klijanje i rast presadnica, posebno na vrste osjetljive na alkalnu reakciju. Slično kao i u pogledu nasipne gustoće, komercijalni supstrat će zbog niže pH vrijednosti (6,37) smanjiti pH vrijednost u smjesama s kompostom ili vermikompostom, uz očekivan pozitivan učinak na uzgoj presadnica u usporedbi s uzgojem u čistome kompostu ili vermikompostu.

Konduktivitet ili električna vodljivost (EC) supstrata trebala bi biti 0,75 – 3,49 mS/cm (Abad i sur. (2001.) ili dapače do 5 mS/cm, kao gornja granica za supstrate za uzgoj presadnica u kontejnerima (Vukobratović i sur., 2018.). Prema utvrđenim vrijednostima EC-a (tablica 1), kompost i vermikompost ne bi trebali imati fitotoksičan učinak. Istovremeno, s obzirom na to da je EC ujedno i pokazatelj količine topivih kationa i aniona (Galić i sur., 2021), viši EC komposta može značiti i veću koncentraciju vodotopivih hraniva negoli u vermikompostu, a posebice u konvencionalnome supstratu.

Intenzitet disanja koristi se kao pokazatelj stabilnosti komposta (Chodak i sur., 2001.), a prema utvrđenim su vrijednostima i kompost (0,28 mg CO<sub>2</sub>/g ST/dan) i vermikompost (1,03) vrlo stabilni. Očekivati je da su bez neugodnoga mirisa, bez nastavka intenzivne mikrobiološke razgradnje te bez fitotoksičnoga učinka.

Optimalnim CN odnosom komposta smatramo 25 – 35 (Nemet i sur., 2021, Guo i sur., 2012.), a kod visokokvalitetnih komposta 20 (Zhu, 2006.), 19 (Kumar i sur., 2010.) ili 15 (Huang i sur., 2004.), ovisno o kompostnim smjesama. U oba analizirana supstrata utvrđen je značajno niži CN odnos (kompost 10,28 i vermikompost 14,27), što znači da su prema tome pokazatelju kompost i vermikompost zreli i da tijekom uzgoja presadnica možemo očekivati mobilizaciju N u oblike pristupačne biljkama, a ne treba očekivati mikrobiološku imobilizaciju N (Brust, 2019.).

Utvrdjen je vrlo visok udio pepela u kompostu (73,5 %) i nešto manji u vermikompostu (65,7%). Visok udio pepela može biti posljedica velikoga udjela suhih listova u smjesi za kompostiranje te mogućih primjesa tla zbog načina prikupljanja biljnoga otpada. Rahman i sur. (2020.) navode da je udio pepela nakon kompostiranja smjese suhih i zelenih listova bio preko 49 %, dok Larney i sur. (2005.) za 3007 uzoraka stajskih gnojiva i komposta navode prosjek od 46,5 % pepela, uz maksimalan udio pepela od 86,0 %. Analiza sadržaja pepela provedena je prema metodi EN 13039 (EN, 2011.b) uz žarenje na 450 °C. Matthiessen i sur. (2005.) navode da pri nižim temperaturama žarenja sva organska tvar možda nije spaljena, što dovodi do precijenjenoga sadržaja pepela u kompostima ili stajskim gnojivima. U navedenom istraživanju sadržaj pepela u kompostu žarenjem na različitim temperaturama bio je u rasponu 66,2 do 75,7 %.

Prag zrelosti organskih gnojiva prema  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnosu je 0,16, to jest sazrijevanje komposta i proces

nitrifikacije su završeni ako je omjer  $< 0,16$ , i tada je 6,25 ili više puta više nitratnoga negoli amonijskoga oblika dušika (Brinton, 2000.). S obzirom na to da je i u kompostu (0,015) i u vermikompostu (0,019)  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnos značajno manji od 0,16, možemo zaključiti da su i prema tome kriteriju oba organska gnojiva zrela.

Zaključno, prema utvrđenim pokazateljima, kompost je zreliji od vermikomposta jer ima 28 % niži CN odnos i 26 % niži  $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$  odnos, ali je manje pogodno svojstvo 11,9 % veća nasipna gustoća i nešto viši pH. Dapače, kompost ima 210 % više topivih soli od vermikomposta, što, ovisno o vrsti presadnice i vrsti topivih soli, može biti fitostimulativno ili fitotoksično.

Prosječna je visina svih biljaka u cijelome pokusu dvadeset osam dana nakon sjetve bila 14,93 cm, a najviše su bile biljke ječma (26,73 cm) te statistički značajno niže (22,54) biljke pšenoraži, neovisno o vrsti tretmana i otopini za zalijevanje (grafikon 1). Međutim, utvrđena je vrlo velika razlika između ječma i pšenoraži u odnosu na krastavac i kres salatu, jer su biljke krastavca i kres salate bile prosječno oko pet puta niže (5,44 i 5,03 cm), a između prosječne visine krastavca i kres salate nije bilo značajnih razlika.

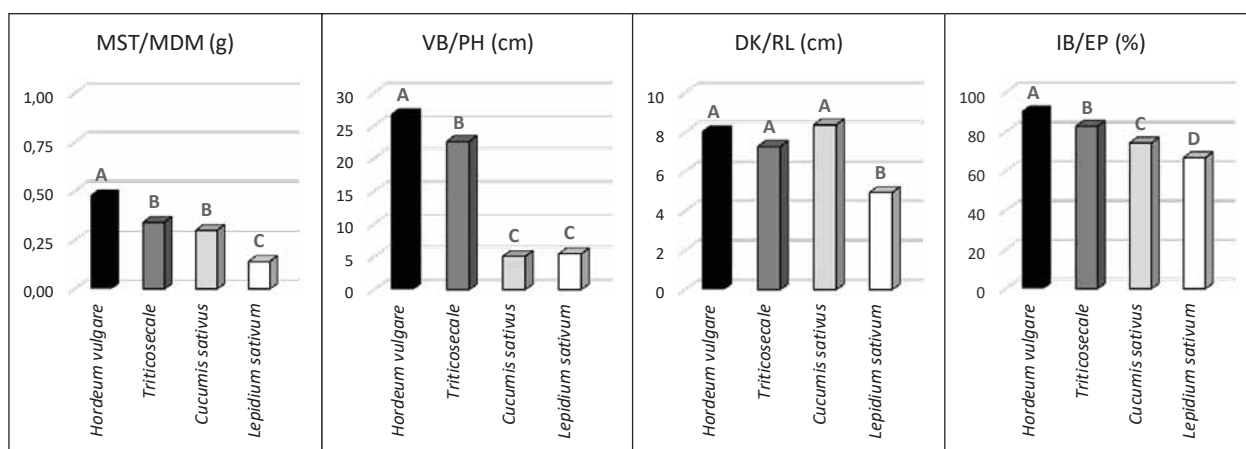
Značajno su drukčiji rezultati prosječnih duljina korijena, jer je najduža bila duljina korijena krastavca (8,36 cm), zatim ječma (8,04) i pšenoraži (7,26 cm), a razlike između navedenih vrsta nisu bile značajne. Jedino je utvrđena

statistički značajno kraća duljina korijena kres salate (4,92 cm) u odnosu na preostale tri vrste testnih biljaka. U pokusu je prosječna duljina korijena svih biljaka bila 7,14 cm.

Najveća je prosječna nadzemna masa suhe tvari biljke utvrđena za ječam (0,48 g), a statistički značajno manja za pšenoraž (0,34 g) i krastavac (0,30 g), između kojih nije bilo značajnih razlika. Značajno najmanja prosječna masa suhe tvari utvrđena je za kres salatu (0,14 g).

U skladu s već navedenim parametrima, i najveći je postotak izniknutih biljaka utvrđen za ječam (90,4 %), a slijede pšenoraž (82,7) i krastavac (74,2), dok je najmanji postotak izniknutih biljaka utvrđen kod kres salate (66,7 %). Prema postotku izniknutih biljaka, sve četiri testne vrste međusobno su se značajno razlikovale (grafikon 1).

Zaključno, utvrđene su značajne razlike između testnih biljaka s ječmom dominantnim prema svim svojstvima, a jedino je krastavac imao nešto duži korijen, ali ne značajno. S druge je strane kres salata bila značajno inferiorna glede svih svojstava, no jedino je bila nešto viša od krastavca, ali ne značajno. Prema utvrđenim prosječnim pokazateljima, u biološkim testovima trebalo bi se koristiti ječmom i kres salatom, a u nekim slučajevima i krastavcem, posebice u istraživanjima rasta korijena, dok pšenoraž, uz ječam, ne donosi nikakvu dodatnu informaciju.



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass d; VB/PH = visina biljke / plant height; DK/RL = duljina korijena / root length; IB/EP = postotak izniknutih biljaka / percentage of emerged plants

### Grafikon 1. Razlike između vrsta testnih biljaka (prosjeci cijeloga pokusa)

Figure 1. The differences between the test-plant species (averages of the entire experiment)

Utvrđena je značajno viša prosječna visina svih biljaka na komercijalnome supstratu (17,3 cm) te smjesama komercijalnoga supstrata s kompostom (16,6 cm) i vermikompostom (15,7 cm) u odnosu na kompost (13,3 cm) i vermikompost (11,9 cm) kao samostalne supstrate (grafikon 2). Razlike između komposta i vermikomposta nisu statistički značajne.

Prosječna duljina korijena svih biljaka statistički je značajno najduža u komercijalnome supstratu (9,8 cm), a zatim u smjesama komposta i vermikomposta s komer-

cijalnim supstratom (7,6 i 7,4). Između komercijalnoga supstrata i njegovih smjesa s kompostom i vermikompostom nije bilo statistički značajnih razlika. Prosječna duljina korijena svih biljaka u kompostu (6,2 cm) bila je statistički značajno kraća negoli u komercijalnome supstratu i njegovim smjesama, ali i značajno duža negoli u vermikompostu (4,7 cm), s najkraćom duljinom korijena (grafikon 2).

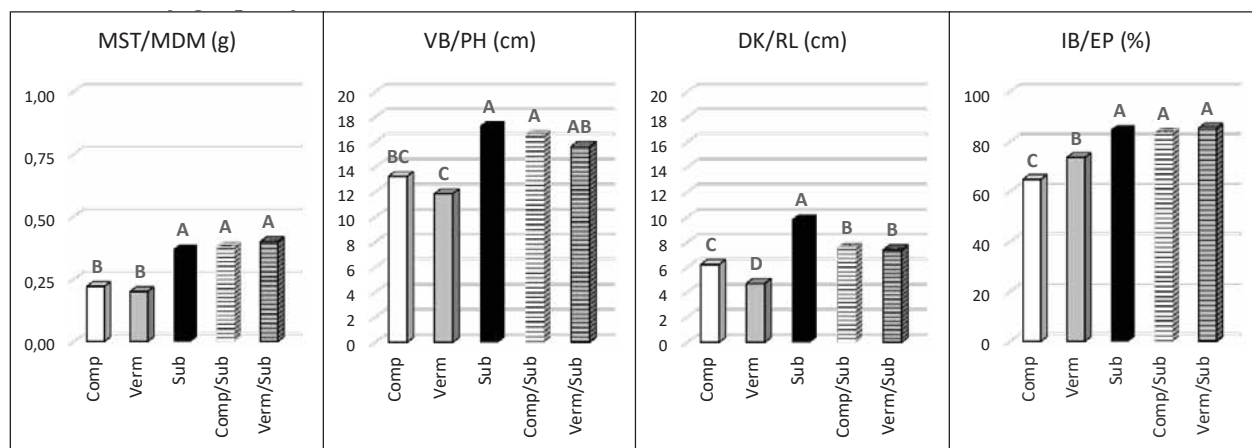
Suha tvar nadzemne mase najveća je u smjesi komercijalnoga supstrata i vermikomposta (0,40 g), ali su u istome statističkom rangu mase u smjesi komer-

jalnoga supstrata i komposta (0,38) i u komercijalnome supstratu (0,37). S druge strane, utvrđena je najmanja prosječna nadzemna masa suhe tvari svih biljaka uzgajanih na vermikompostu (0,20 g) i kompostu (0,22 g), bez značajnih razlika među njima.

Postotak izniknutih biljaka (grafikon 2) također je bio najveći u smjesi komercijalnoga supstrata i vermikomposta (85,5 %) te u komercijalnome supstratu (84,8) i

njegovoj smjesi s kompostom (83,5). Statistički značajno manji postotak izniknutih biljaka utvrđen je u vermikompostu (73,7 %), a značajno najmanji u kompostu (64,9 %).

Prema svim pokazateljima, prosječno je najpozitivniji učinak komercijalnoga supstrata (duljina korijena i visina biljke), ali su i smjese s kompostom i vermikompostom gotovo uvijek u istome rangu ili dapače nešto iznad njega, primjerice s obzirom na masu nadzemne suhe tvari.



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass; VB/PH = visina biljke / plant height; DK/RL = duljina korijena / root length; IB/EP = postotak izniknutih biljaka / percentage of emerged plants

## Grafikon 2. Utjecaj supstrata na masu i morfološka svojstva testnih biljaka

Figure 2. The influence of the growing media on the mass and morphological properties of the test plants

Međutim, istraživani supstrati za uzgoj presadnica različito su utjecali na istraživana svojstva pojedinih testnih biljaka. Utjecaj supstrata na duljinu korijena bio je prilično ujednačen. Tako je najkraća duljina korijena kod svih testnih biljaka utvrđena u vermikompostu, a najduža je (8,6 – 11,5 cm) utvrđena pri uzgoju u komercijalnome supstratu (grafikon 3), osim pri uzgoju ječma, u kojem najduža duljina korijena u smjesi komposta i komercijalnoga supstrata (9,0 cm), ali niti u komercijalnome supstratu nije bila značajno kraća (8,6 cm).

Najveće su razlike duljine korijena između pojedinih supstrata utvrđene kod kres salate, s prosječno najkraćom duljinom korijena u usporedbi s ostalim testnim biljkama. Korijen kres salate bio je značajno najduži u komercijalnome supstratu (10,1 cm), značajno kraći u smjesi toga supstrata s vermikompostom (5,7) i kompostom (5,3), a značajno najkraći u kompostu (2,1 cm) i vermikompostu (1,4 cm), između kojih nije bilo značajnih razlika (grafikon 3). Isti redoslijed duljina korijena utvrđen je i za krastavac, ali sa značajno manjim razlikama između supstrata, jer nije bilo značajnih razlika između komposta, vermikomposta i njihovih smjesa s komercijalnim supstratom.

Duljina korijena ječma bila je najduža u smjesi komposta i komercijalnoga supstrata (9,0 cm), a nešto kraća — bez značajnih razlika — bila je u komercijalnome supstratu (8,6) i smjesi s vermikompostom (8,4). Nešto kraća duljina korijena utvrđena je u kompostu (8,0), a

značajno najmanja u vermikompostu (6,2 cm; grafikon 3). Utjecaj supstrata na duljinu korijena pšenoraži bio je nešto izraženiji negoli kod ječma, jer je izrazito najduži korijen pšenoraži bio u komercijalnome supstratu (9,1 cm), značajno kraći u kompostu (7,9) i njegovoj smjesi s komercijalnim supstratom (7,5), dok je značajno najkraći bio u vermikompostu (5,2 cm).

Ukupna nadzemna masa suhe tvari biljaka indikatora bila je prosječno najveća u komercijalnome supstratu i njegovima smjesama s kompostom i vermikompostom, a značajno manja u čistome kompostu i vermikompostu (grafikon 2), što se vrlo dosljedno može primijeniti na pšenoraž, krastavac i kres salatu (grafikon 3), kod kojih je nadzemna masa komercijalnoga supstrata i njegovih smjesa u višem statističkom razredu, a u nižem su nadzemne mase u kompostu (najmanja masa pšenoraži) i vermikompostu (najmanje mase krastavca i kres salate).

Nešto drukčiji bio je utjecaj supstrata na prosječne mase suhe tvari ječma (grafikon 3). Najveća je masa suhe tvari nadzemnih dijelova ječma utvrđena u smjesama komercijalnoga supstrata s kompostom (0,61 g) i vermikompostom (0,56 g), statistički značajno više negoli u komercijalnome supstratu (0,48 g). Također, vrlo je značajno da je ječam ostvario najveću nadzemnu masu na svim supstratima, značajno veću od ostalih testnih vrsta, a posebice je velika razlika na smjesama komposta i vermikomposta s komercijalnim supstratom (grafikon

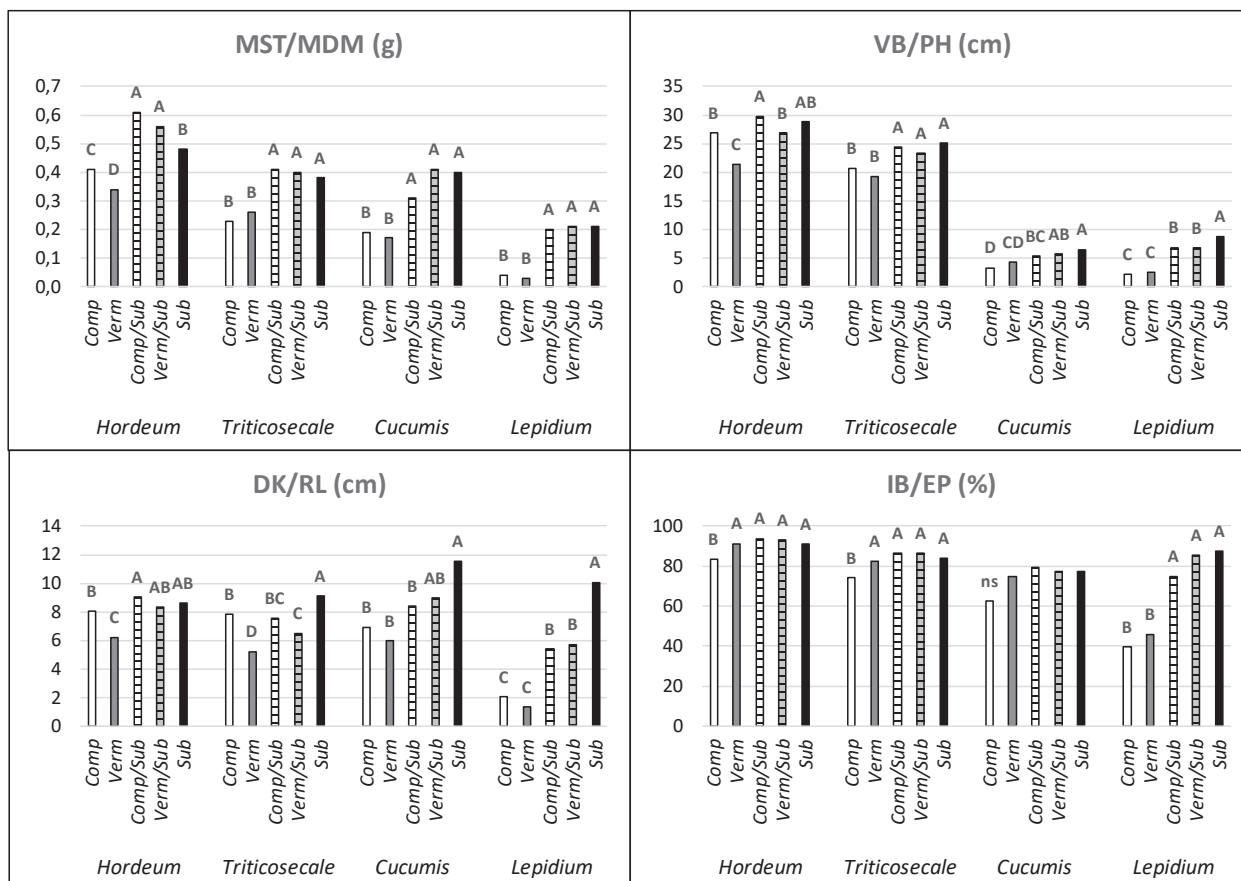
3). Kompost (0,41 g), a pogotovo vermikompost (0,34 g), imali su statistički značajno slabiji učinak na masu ječma u usporedbi s navedenim smjesama, ali su mase ječma ipak bile značajno veće od masa ostalih testnih vrsta.

Nadzemna masa testne biljke u biološkim testovima koristi se kao važan pokazatelj može li testirani kompost u određene omjeru uspješno zamijeniti kontrolni (komercijalni) supstrat, što se smatra dokazanim ako uzgoj testne biljke u smjesi komposta i kontrolnoga supstrata u omjeru 1 : 1 rezultira s bar 90 % mase testne biljke uzgajane na kontrolnome supstratu (FCQAO, 1994, Barral i Paradelo, 2011.). Nedvojbeno je dokazano da i kompost i vermikompost mogu uspješno poslužiti za smjesu s komercijalnim supstratom u omjeru 1 : 1, jer je uglavnom utvrđena veća masa testnih biljaka u smjesama komposta ili vermikomposta sa supstratom (ječam 127 i 117 %, pšenoraž 108 i 105 %, kres salata 95 i 100%, a krastavac 78 i 103%). Jedino je na krastavac kompost u smjesi sa supstratom imao negativan učinak, ali vermikompost je imao pozitivan učinak na sve testne biljke. S druge strane, niti kompost, niti vermikompost ne mogu se samostalno koristiti za uzgoj presadnica zbog izrazito negativnoga učinka na masu svih testnih

biljaka. Tumačenjem dobivenih rezultata prema Barral i Paradelo (2011.) možemo zaključiti da se vermikompostom možemo koristiti kao zamjenom 50 % komercijalnoga supstrata (u smjesi 1 : 1) za uzgoj presadnica, dok za kompost ipak vrijedi malo ograničenje zbog negativne reakcije krastavca. I ova analiza pokazuje da je u biološkome testu opravdano koristiti se ječmom kao testnom biljkom, uz krastavac i kres salatu, a pšenoraž je praktično nepotrebna u biološkim testovima u kojima se već koristimo ječmom.

Visina biljke najintenzivnije oslikava razliku monokotiledonih (prosječna visina 24,6 cm) i dikotiledonih (prosječno 5,2 cm) testnih biljaka. Međutim, slično su najviše biljke pšenoraži, krastavca i kres salate na komercijalnome supstratu, a najniže na kompostu (krastavac i kres salata) ili vermikompostu (ječam i pšenoraž). Razlike između komposta i vermikomposta su, međutim, značajne samo kod visine biljaka ječma (grafikon 3).

Najmanji je utjecaj supstrata na broj iznikulih testnih biljaka, a kod svih je testnih biljaka najmanje biljaka izniknulo na kompostu, zatim na vermikompostu, te podjednako (u istome statističkom rangu) na komercijalnome supstratu i na njegovim smjesama s kompostom i vermikompostom.



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass ; VB/PH = visina biljke / plant height ; DK/RL = duljina korijena / root length ; IB/EP = postotak iznikulih biljaka / percentage of emerged plants

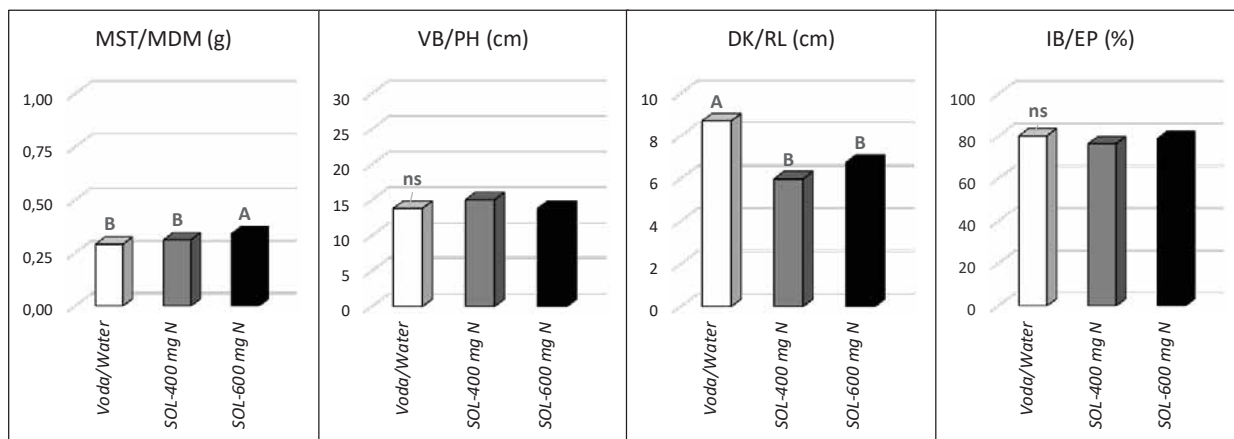
### Grafikon 3. Utjecaj vrste supstrata na svojstva pojedinih testnih biljaka

Figure 3. The influence of the growing media on the properties of different test plants



Prosječno je za sve testne biljke i sve istraživane supstrate statistički značajan utjecaj otopina za zalijevanje utvrđen samo na ukupnu nadzemnu masu i duljinu korijena (grafikon 4). Značajno je napomenuti da je utjecaj na ova dva pokazatelja bio suprotan. Naime, najveća prosječna masa svih biljaka utvrđena je pri zalijevanju

otopinom 2 (0,34 g), a značajno manje otopinom 1 (0,31 g) i vodom (0,29 g). Suprotan je bio učinak na duljinu korijena, jer je najduži korijen bio kod zalijevanja vodom (8,7 cm), a značajno kraći kod zalijevanja otopinama (6,8 i 6,0 cm).



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass ; VB/PH = visina biljke / plant height; DK/RL = duljina korijena / root length; IB/EP = postotak izniknutih biljaka / percentage of emerged plants

#### Grafikon 4. Utjecaj otopina na masu i morfološka svojstva testnih biljaka

Figure 4. The influence of solutions on the mass and morphological properties of the test plants

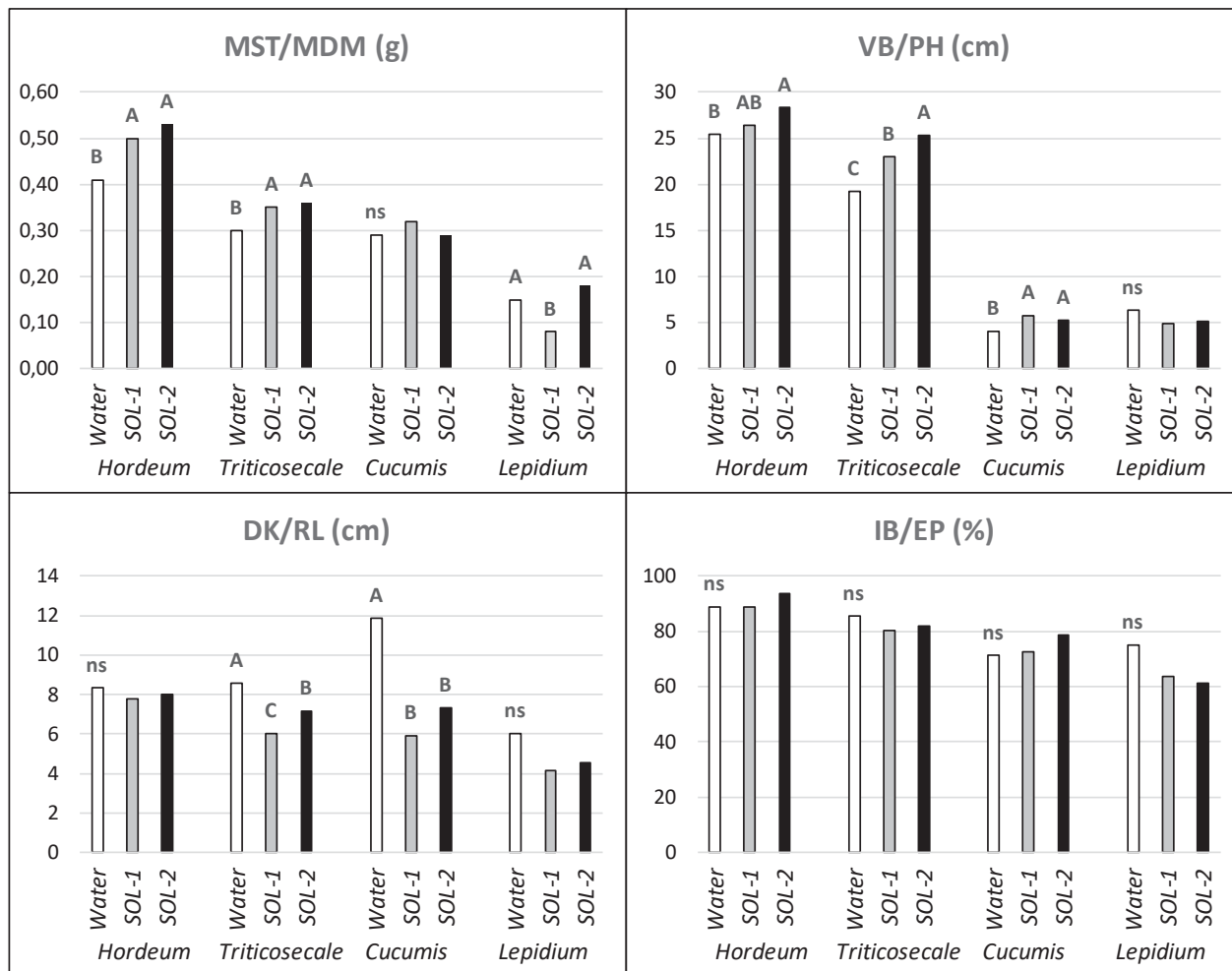
Međutim, kao i na različite supstrate, testne biljke su različito reagirale i na otopine za zalijevanje (grafikoni 5 – 7). Najviša visina biljke utvrđena je kod ječma, jer su njegove biljke bile više od svih ostalih biljaka za svaku dodanu otopinu, to jest uz dodavanje vode (25,4 cm), otopine 1 (26,4) ili otopine 2 (28,3; grafikon 5). Dakle, utvrđeno je povećanje biljke ječma porastom koncentracije  $\text{NH}_4\text{-N}$  u otopini. Statistički značajno niže visine utvrđene su za pšenoraž negoli za ječam, ali je također utvrđen porast biljaka pšenoraži porastom koncentracije  $\text{NH}_4\text{-N}$  u otopini (voda 19,3 cm; otopina 1 23,0 cm; otopina 2 25,3 cm). Kod krastavca je također utvrđeno povećanje visine biljke dodavanjem otopine s 400 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  u odnosu na vodu, ali daljnje povećanje koncentracije nije značajno utjecalo. Sve su visine krastavca bile značajno niže od ječma i pšenoraži. Istovremeno, krastavac je bio značajno niži od kres salate uz dodavanje vode, ali u istome rangu s kres salatom dodavanjem otopina s  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Kres salata je jedina testna biljka kod koje je dodavanje otopine s  $\text{NH}_4\text{-N}$  rezultiralo nižom visinom biljke u odnosu na dodavanje vode (grafikon 5).

Najduža duljina korijena (11,9 cm) utvrđena je kod krastavca uz dodavanje vode. Značajno kraće duljine korijena uz dodavanje vode utvrđene su kod pšenoraži (8,6), ječma (8,3) i kres salate (6,0), a razlike između ovih triju testnih biljaka nisu bile značajne. Dodavanje otopine 1 s 400 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  rezultiralo je kraćom duljinom korijena

s svih testnih biljaka, ali je najduža duljina korijena ječma (7,8 cm), a značajno kraća kod pšenoraži (6,0) i krastavca (5,9). Značajno najkraća duljina korijena uz dodavanje otopine 1 bila je kod kres salate (4,2 cm). Dodavanje otopine 2 rezultiralo je nešto dužom duljinom korijena svih testnih biljaka negoli dodavanje otopine 1, a ponovo je najduža duljina korijena utvrđena za ječam (8,0 cm), ali su u istome rangu statističke značajnosti bili krastavac (7,3) i pšenoraž (7,2), dok je jedino kres salata imala značajno kraću duljinu korijena (4,6).

Najveća masa nadzemne suhe tvari utvrđena je za ječam kako uz dodavanje vode (0,41 g), tako i nakon dodavanja otopine 1 (0,50 g) i otopine 2 (0,53 g). Značajno manje mase utvrđene su za pšenoraž i krastavac uz dodavanje vode (0,30 i 0,29 g), otopine 1 (0,35 i 0,32 g) i otopine 2 (0,36 i 0,29 g). Najmanje mase suhe tvari utvrđene su za kres salatu kako uz dodavanje vode (0,15 g), tako i dodavanjem otopine 1 (0,08 g) i otopine 2 (0,18 g), pri čemu je otopina s 400 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  značajno smanjila masu kres salate.

Najveći postotak izniknutih biljaka utvrđen je za ječam, a u istome statističkom rangu je pšenoraž. Značajno je manje izniknutih biljaka krastavca u odnosu na ječam, a još manji je postotak izniknutih biljaka kres salate. Dodavanje otopina s  $\text{NH}_4\text{-N}$  niti kod jedne teste biljke nije značajno utjecalo na broj izniknutih biljaka (grafikon 5).



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass ; VB/PH = visina biljke / plant height; DK/RL = duljina korijena / root length; IB/EP = postotak izniknutih biljaka / percentage of emerged plants

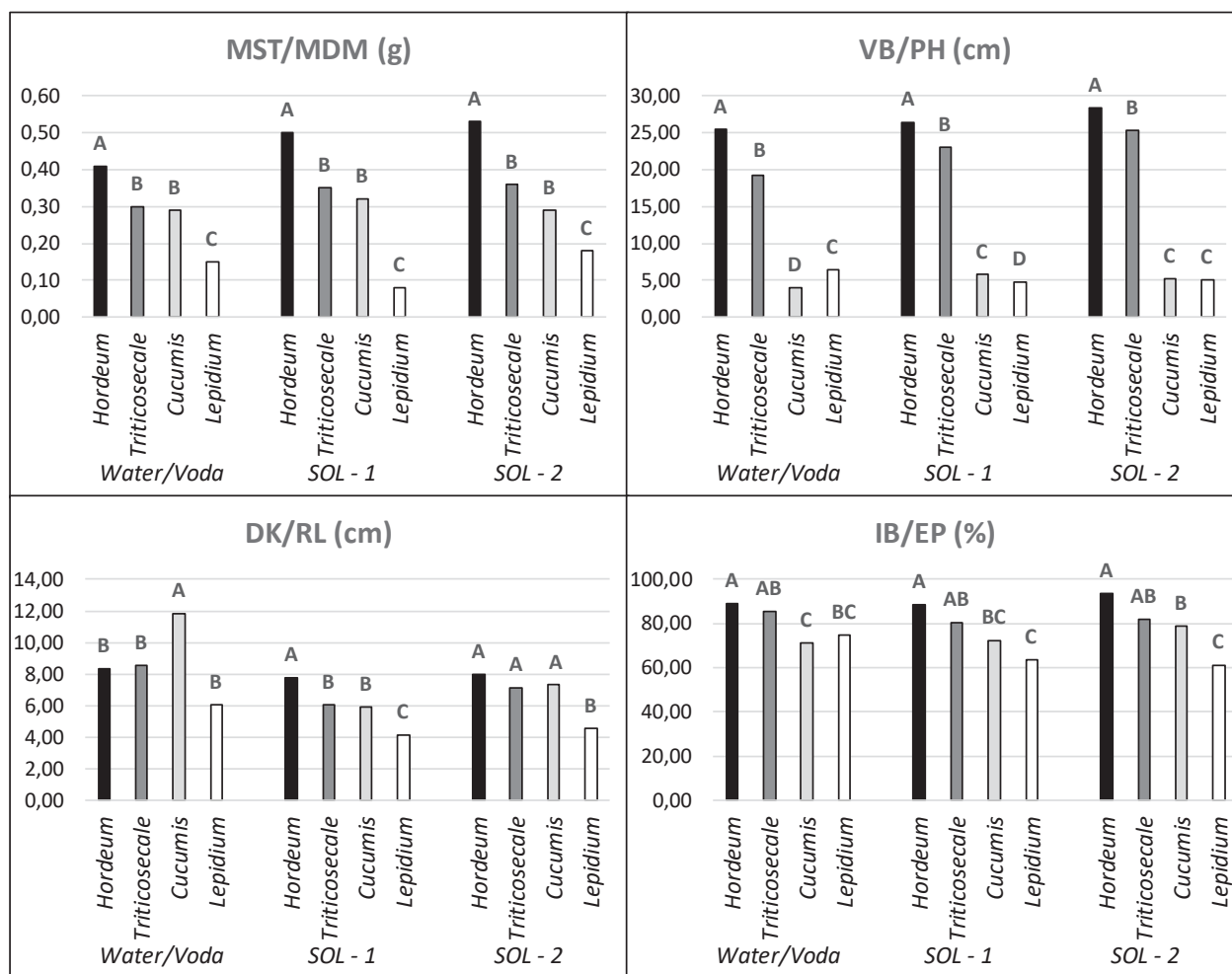
### Grafikon 5. Utjecaj otopina za zalijevanje na testne biljke

Figure 5. The influence of watering solutions on the test plants

Zaključno, zalijevanje otopinama amonijaka povećalo je nadzemnu masu i visinu ječma i pšenoraži, najviše ječma, a učinak na masu i visinu krastavca i kres salate nije bio konzistentan. Suprotan je učinak na duljinu korijena, koja je reducirana kod krastavca i pšenoraži, a nije bilo značajnoga učinka kod ječma i kres salate.

Svi analizirani pokazatelji bili su najveći kod ječma, kako pri zalijevanju vodom, tako i pri zalijevanju otopinama amonijaka, a najmanji kod kres salate (grafikon 6).

Izuzetak je najduži korijen i najniža visina krastavca uz zalijevanje vodom. U ovome slučaju ponovo je vidljivo da se u biološkim testovima nije potrebno koristiti pšenoražu ako se koristimo ječmom kao testnom biljkom. Također možemo zaključiti da je ječam najpovoljnija testna biljka za utvrđivanje pozitivnoga učinka otopina amonijaka, a istovremeno je krastavac najpogodniji za testiranje niskih (nedovoljnih) količina amonijskoga oblika N.



MST/MDM = nadzemna masa suhe tvari / aboveground dry-matter mass ; VB/PH = visina biljke / plant height; DK/RL = duljina korijena / root length; IB/EP = postotak izniknutih biljaka / percentage of emerged plants

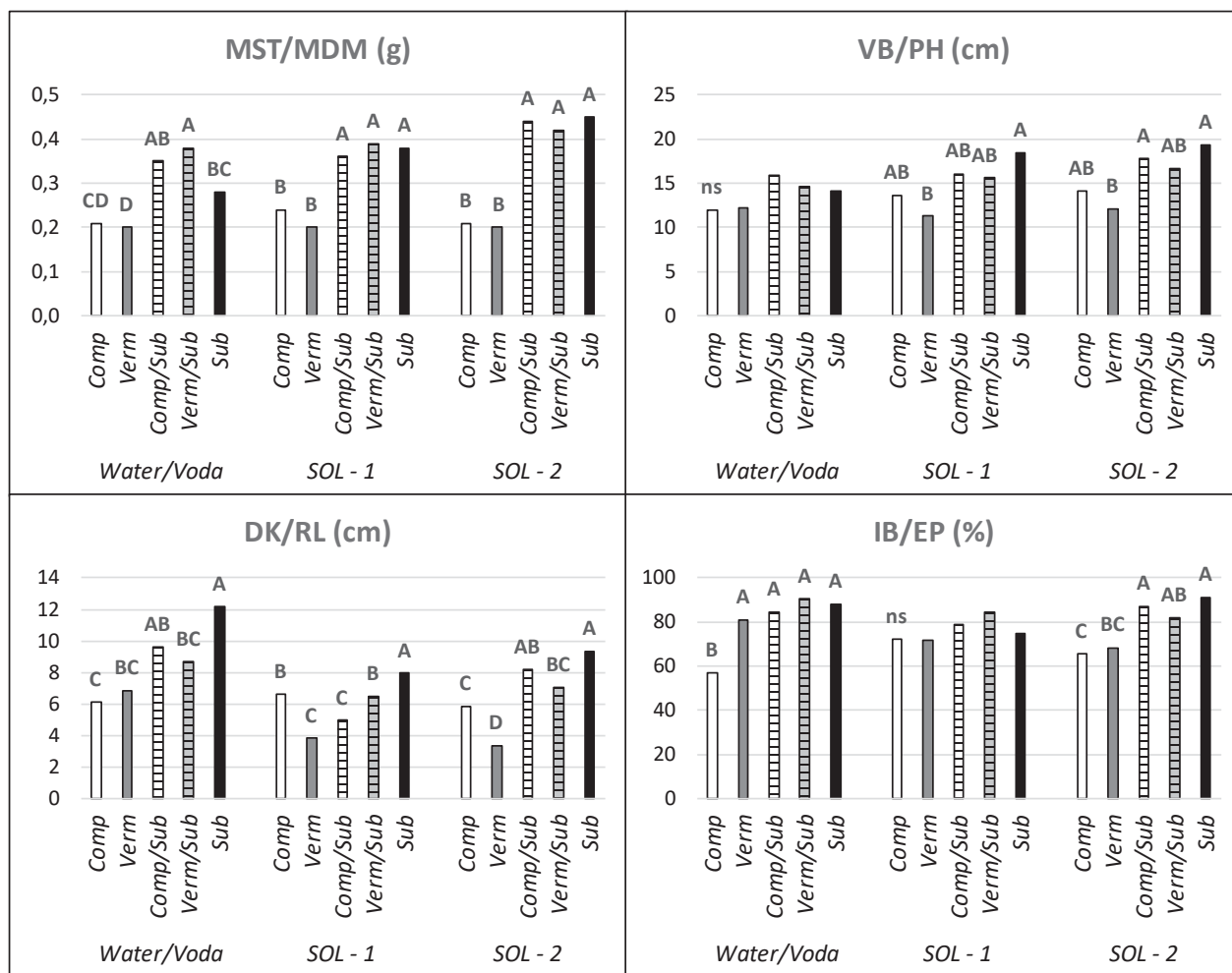
### Grafikon 6. Razlike između testnih biljaka uz zalijevanje različitim otopinama

Figure 6. The differences between the test plants with the watering with different solutions

Prosječna nadzemna masa testnih biljaka (grafikon 7) uz dodavanje vode bila je najveća na smjesi komercijalnoga supstrata i vermikomposta (0,38 g), nešto manja na smjesi komercijalnoga supstrata i komposta (0,35 g), a značajno manja na komercijalnome supstratu (0,28 g). Značajno najmanje mase utvrđene su na kompostu (0,21 g) i vermikompostu (0,20 g). Dodavanje otopine 1 rezultiralo je jasnim razlikama između dviju skupina supstrata: s jedne su strane najveće mase bile na smjesi komercijalnoga supstrata i vermikomposta (0,39 g), na komercijalnome supstratu (0,38 g) i na smjesi komercijalnoga supstrata s kompostom (0,36 g), a s druge su strane značajno manje mase utvrđene na kompostu (0,24 g) i vermikompostu (0,20 g) kada su samostalno korišteni kao supstrati. Dodavanje otopine 1 prosječnu je masu testnih biljaka u odnosu na dodavanje vode povećalo samo na komercijalnome supstratu. Dodavanje otopine 2 utjecalo je na masu testnih biljaka kao i otopina 1: s jedne su strane komercijalni supstrat i njegove smjese s kompostom ili vermikompostom, a s druge kompost i vermikompost kao samostalni supstrati. Međutim,

otopina 2 rezultirala je povećanjem prosječne mase suhe tvari ne samo na komercijalnome supstratu, već i na smjesama komercijalnoga supstrata s vermikompostom i kompostom.

Prosječna visina svih testnih biljaka uz dodavanje vode (grafikon 7) bila je najniža na smjesi komposta i komercijalnoga supstrata, a najniža na kompostu, ali razlike nisu bile statistički značajne. Dodavanje otopine 1 rezultiralo je najvećom prosječnom visinom biljaka na komercijalnome supstratu (18,44 cm), ali je značajna razlika samo u odnosu na vermikompost (s prosječnom visinom biljaka od 11,27 cm). Slično je bilo i uz dodavanje otopine 2, koja je rezultirala najvišim biljkama na komercijalnome supstratu (19,34 cm), nešto nižima na smjesi s kompostom (17,84) i smjesi s vermikompostom (16,70) te na kompostu (14,12 cm). Prosječna visina značajno je niža u odnosu na komercijalni supstrat bila samo na vermikompostu (12,07 cm). Dodavanje otopina s amonijskim dušikom rezultiralo je prosječnim povećanjem visina testnih biljaka na svim supstratima, osim na vermikompostu.



MST/MDM = Nadzemna masa suhe tvari/Aboveground mass dry matter; VB/PH = Visina biljke/Plant height; DK/RL = duljina korijena/Root length; IB/EP = Postotak izniklih biljaka/ Percentage of emerged plants

### Grafikon 7. Utjecaj supstrata za uzgoj na testne biljke uz zalijevanje različitim otopinama

Figure 7. The influence of the growing media on the test plants with watering with different solutions

Najduža prosječna duljina korijena testnih biljaka (grafikon 7) utvrđena je uz dodavanje vode na komercijalnom supstratu (12,19 cm), nešto kraća (ali bez značajnih razlika) bila je na smjesi s kompostom (9,62 cm), a značajno kraća na smjesi s vermikompostom (8,67) te na vermikompostu (6,85) i kompostu (6,13 cm). Duljina korijena uz dodavanje otopine 1 također je bila najduža (7,95 cm) na komercijalnome supstratu, a značajno kraća na smjesi komercijalnoga supstrata s vermikompostom (6,49) i na kompostu (6,64 cm), dok je značajno najkraća utvrđena na smjesi komercijalnoga supstrata s kompostom (4,97) i na vermikompostu (3,85 cm). Dodavanje otopine 2 rezultiralo je najdužom duljinom korijena također na komercijalnome supstratu (9,33 cm) te na smjesi s kompostom (8,18 cm), a značajno kraćom na smjesi s vermikompostom (7,03 cm). Statistički značajno kraća duljina korijena bila je na kompostu (5,88 cm), a značajno najkraća na vermikompostu (3,37 cm). Dodavanje otopina s amonijskim dušikom smanjilo je prosječnu duljinu korijena testnih biljaka na svim supstratima u odnosu

na dodavanje vode, s izuzetkom dodavanja otopine 1 na kompostu.

Prosječan postotak iznikulih testnih biljaka uz dodavanje vode bio je najveći (90,31 %) na smjesi komercijalnoga supstrata i vermikomposta, ali su u istome rangu i svi ostali supstrati, osim komposta sa značajno manjim (56,88) postotkom iznikulih biljaka. Dodavanje otopine 1 rezultiralo je smanjenjem postotka iznikulih biljaka na svim supstratima, osim na kompostu, na kojem je značajno povećan postotak u odnosu na dodavanje vode (72,19 vs. 56,88 %), pa zbog toga nije bilo značajnih razlika u postotcima iznikulih biljaka između supstrata uz dodavanje otopine 1. S druge strane, dodavanje otopine 2 značajno je povećalo postotak iznikulih biljaka na komercijalnome supstratu (91,25 %) i na smjesi s kompostom (87,19 %), a smanjilo na smjesi s vermikompostom (81,88 %) te na vermikompostu (68,44 %) i kompostu (65,63 %). Pritom su prosječni postotci iznikulih biljaka na komercijalnome supstratu i njegovim smjesama s kompostom ili vermikompostom u

istome statističkom razredu bez značajnih razlika, a značajno manji postotci su na vermikompostu i kompostu.

## ZAKLJUČAK

Analizirani kompost i vermikompost stabilna su i zrela organska gnojiva s visokim pH vrijednostima i relativno visokom gustoćom. Oba svojstva mogu se značajno popraviti smjesom s kiselim supstratom, a na takav učinak posredno ukazuju indikatori testnih vrsta uzgajanih na smjesama komposta ili vermikomposta s kiselim supstratom.

Utvrđene su značajne razlike između testnih biljaka s ječmom dominantnim prema svim svojstvima, a jedino je krastavac imao nešto duži korijen. S druge strane, kres salata je bila značajno inferiorna glede svih svojstava.

Istraživani kompost i vermikompost mogu uspješno poslužiti kao zamjena 50 % komercijalnoga supstrata, to jest za smjesu s komercijalnim supstratom u omjeru 1 : 1.

Zalijevanje presadnica otopinama amonijaka povećalo je nadzemnu masu i visinu ječma i pšenoraži, a učinak na masu i visinu krastavca i kres salate nije bio konzistentan. Suprotan je učinak na duljinu korijena redukcijom kod krastavca i pšenoraži, a bez značajnoga učinka kod ječma i kres salate.

U biološkim testovima trebalo bi se koristiti ječmom i kres salatoma, a u nekim slučajevima i krastavcem, dok se pšenoražu nije potrebno koristiti ako se koristimo ječmom kao testnom biljkom. Ječam je najpogodnija testna biljka za utvrđivanje pozitivnoga učinka otopina amonijaka, a krastavac je najpogodniji za testiranje niskih (nedovoljnih) količina amonijskoga oblika N. Kres salata je najpogodnija biljna vrsta za utvrđivanje fitotoksičnosti supstrata.

## NAPOMENA

Rad je rezultat istraživanja u sklopu projekta KK.01.1.1.04.0052 *Inovativna proizvodnja organskih gnojiva i supstrata za uzgoj presadnica*, financiranoga od strane Europske unije u okviru Operativnoga programa *Konkurentnost i kohezija 2014. – 2020.* iz Europskoga fonda za regionalni razvoj.

## LITERATURA

1. Abad, M., Noguera, P., & Burés, S. (2001). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197–200. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00152-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00152-8)
2. ADAS Consulting Ltd. (2005). Assessment of options and requirements for stability and maturity testing of compost. Technical Report. 11-14
3. Barral, M.T., & Paradelo, R. (2011). A Review on the Use of Phytotoxicity as a Compost Quality Indicator. *Dynamic Soil, Dynamic Plant 5* (Special Issue 2), 36-44.
4. Barkham, J.P. (1993). For peat's sake: Conservation or exploitation? *Biodiversity & Conservation*, 2, 556–566. <https://doi.org/10.1007/BF00056749>
5. Béline, F. (2002). Nitrogen transformations during biological aerobic treatment of pig slurry: effect of intermittent aeration on nitrous oxide emissions. *Bioresource Technology*, 83(3), 225–228. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00219-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00219-X)
6. Bernal, M.P., Sanchez-Monedero, M.A., Paredes, C., & Roig, A. (1998). Carbon mineralization from organic wastes at different composting stages during their incubation with soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69, 175-189.
7. Brinton, W.F. (2000). Compost Quality Standards and Guidelines. Final Report. New York State Association of Recyclers. NY, USA.
8. Brewer, L. J., & Sullivan, D. M. (2003). Maturity and Stability Evaluation of Composted Yard Trimmings. *Compost Science & Utilization*, 11(2), 96–112. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2003.10702117>
9. Brust, G.E. (2019). Safety and Practice for Organic Food. In Elsevier eBooks. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-02314-8>
10. Buckland, P. (1993). Peatland archeology: A conservation resource on the edge of extinction. *Biodiversity & Conservation*, 2, 513–527. <https://doi.org/10.1007/BF00056745>
11. Chodak, M., Borken, W., Ludwig, B., & Beese, F. (2001). Effect of temperature on the mineralization of C and N of fresh and mature compost in sandy material. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 164(3), 289–294. [https://doi.org/10.1002/1522-2624\(200106\)164:3](https://doi.org/10.1002/1522-2624(200106)164:3)
12. EN 2001. Soil improvers and growing media – Extraction of water solublenutrients and elements. European standard EN 13652. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 15.
13. EN 2007. Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. European standard EN 13040. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium
14. EN 2009. Soil improvers and growing media – Determination of electrical conductivity. European standard EN 13038. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2009.
15. EN 2011.a Soil improvers and growing media – Determination of pH. European standard EN 13037. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2011.
16. EN 2011.b Soil improvers and growing media – Determination of organic content and ash. European standard EN 13039. European Committee for Standardization. Brussels, Belgium. 2011.
17. Epstein, E. (1996). The science of composting. <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA32609210>
18. FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization) (1994). Methods Book for the Analysis of Compost, Abfall Now e.V. Publishing House, Stuttgart, Germany, 123
19. Galić, L., Špoljarević, M., Auriga, A., Ravnjak, B., Vinković, T., & Lončarić, Z. (2021). Combining Selenium Biofortification with Vermicompost Growing Media

- in Lamb's Lettuce (*Valerianella locusta* L. Laterr). *Agriculture*, 11(11), 1072.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture11111072>
20. Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171–178.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>
  21. Hargreaves, J.C., Adl, M.S., & Warman, P.R. (2008). A Review of the Use of Composted Municipal Solid Waste in Agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123, 1–14. doi:10.1016/j.agee.2007.07.004.
  22. Huang, G., Wong, J., Wu, Q., & Nagar, B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste Management*, 24(8), 805–813.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>
  23. Inbar, Y., Chen, Y., & Hoitink, H.A.J. (1993). Properties for establishing standards for utilization of composts in container media. H.A.J. Hoitink and H.M Keener (eds.). *Science and engineering of composting*. Ohio State Univ. Press, Columbus. 668-694.
  24. Jespersen, L., & Willumsen, J. (1993). Production of compost in a heat composting plant and test of compost mixtures as growing media for greenhouse cultures. *Acta Horticulturae*, 342, 127–142.  
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1993.342.15>
  25. Kristek, S., Jović, J., Martinović, M., Jantoš, J., Popović, B., & Lončarić, Z. (2023). Primjena biopreparata kao alternativa kemijskim fungicidima u zaštiti pšenice. *Poljoprivreda*, 29(2), 24-32. <https://doi.org/10.18047/poljo.29.2.4>
  26. Kumar, M., Ou, Y., & Lin, J. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management*, 30(4), 602–609.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.023>
  27. Larney, F. J., Ellert, B. H., & Olson, A. F. (2005). Carbon, ash and organic matter relationships for feedlot manures and composts. *Canadian Journal of Soil Science*, 85(2), 261–264. <https://doi.org/10.4141/s04-060>
  28. Lončarić, Z., Vukobratović, M., Ragalyi, P., Filep, T., Popović, B., Karalić, K., & Vukobratović, Ž. (2009a). Computer model for organic fertilizer evaluation. *Poljoprivreda*, 15(2), 38–46.
  29. Lončarić, Z., Vukobratović, M., Popović, B., Karalić, K., & Vukobratović, Ž. (2009b). Computer model for evaluation of plant nutritional and environmental values of organic fertilizers. *Cereal Research Communication*, 37, 617-620. doi: 10.1556/CRC.37.2009.Suppl.4
  30. Lončarić, Z., Paradiković, N., Popović, B., Lončarić, R., & Kanisek, J. (2015). Gnojidba povrća, organska gnojiva i kompostiranje. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera U Osijeku, Poljoprivredni fakultet u Osijeku.
  31. Matthiessen, M. K., Larney, F. J., Selinger, L. B., & Olson, A. F. (2005). Influence of Loss-on-Ignition temperature and heating time on ash content of compost and manure. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 36(17–18), 2561–2573.  
<https://doi.org/10.1080/00103620500257242>
  32. Miller, F.C., & Metting, F.B. (1992). Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. *Soil microbial ecology: Applications in agricultural and environmental management*. Marcel Dekker, New York. 515-544.
  33. Moldes, A. B., Vázquez, M., Domínguez, J. M., Díaz-Fierros, F., & Barral, M. T. (2007). Evaluation of mesophilic biodegraded grape marc as soil fertilizer. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 141(1), 27–36.  
<https://doi.org/10.1007/s12010-007-9208-2>
  34. Monaghan, J.M., & Beacham, A.M. (2017). Salad Vegetable Crop. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)*, Vol. 3.
  35. Nemet, F., Perić, K., & Lončarić, Z. (2021). Microbiological Activities in the Composting Process: A Review. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 8, 41–53, doi:10.18380/SZIE.COLUM.2021.8.2.41.
  36. Pospišil, A., & Pospišil, M. (2021). The effect of organic fertilizers on the spelt yield and the yield of its components. *Poljoprivreda*, 27(1), 37-43.  
<https://doi.org/10.18047/poljo.27.1.5>
  37. Pugelnik, I., Rebekić, A., Jelić Milković, S., & Lončarić, R. (2023). Stavovi ekoloških proizvođača o ekološkoj poljoprivredi u Republici Hrvatskoj. *Poljoprivreda*, 30(1), 91–99. <https://doi.org/10.18047/poljo.30.1.12>
  38. Rahman, M. H. A., Sadi, T., Ahmad, A. A., Masri, I. N., Yusoff, M. M., Kamaruddin, H., Shakri, N. A., Hamid, M. a. A., & Malek, R. A. (2020). Inventory and composting of yard waste in Serdang, Selangor, Malaysia. *Heliyon*, 6(7), e04486. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04486>
  39. Raviv, M. (1998). Horticultural uses of composted material. *Acta Horticulturae*, 469, 225–234.  
<https://doi.org/10.17660/actahortic.1998.469.23>
  40. Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis. In: D. Savva and H. Passam (eds.). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publ., Athens, Greece.
  41. Robertson, R. A. (1993). Peat, horticulture and environment. *Biodiversity and Conservation*, 2(5), 541–547. <https://doi.org/10.1007/bf00056747>
  42. Thompson, W.H. (2001). *Test Methods for the Examination of Composting and Compost*. The United States Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Agriculture.
  43. Vukobratović, M., Vukobratović, Ž., Lončarić, Z., Popović, B., & Karalić, K. (2013). Compost production and composted manure quality evaluation. *Acta Horticulturae*, 1013, 247–254.  
<https://doi.org/10.17660/actahortic.2013.1013.29>
  44. Vukobratović, M., Lončarić, Z., Vukobratović, Ž., & Mužić, M. (2016). Use of Composted Manure as Substrate for Lettuce and Cucumber Seedlings. *Waste and Biomass Valorization*, 9(1), 25–31.  
<https://doi.org/10.1007/s12649-016-9755-2>
  45. Wang, P., Changa, C., Watson, M., Dick, W., Chen, Y., & Hoitink, H. (2004). Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry*, 36(5), 767–776. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2003.12.012>
  46. Williams, K. A., & Nelson, P. V. (1992). Low, Controlled Nutrient Availability Provided by Organic Waste Materials for Chrysanthemum. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(3), 422–429.  
<https://doi.org/10.21273/jashs.117.3.422>

47. Zhu, N. (2006). Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*, 98(1), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.12.003>
48. Žalac, H., Herman, G., Lisjak, M., Teklić, T., & Ivezić, V. (2022). Intercropping in Walnut Orchards – Assessing the Toxicity of Walnut Leaf Litter on Barley and Maize Germination and Seedlings Growth. *Poljoprivreda*, 28(1), 46-52. <https://doi.org/10.18047/poljo.28.1.7>

## A BIOASSAY WITH THE FOUR TEST PLANTS FOR THE EVALUATION OF COMPOST AND VERMICOMPOST SUITABILITY AS A GROWING MEDIUM

### SUMMARY

*The research objective was to determine the suitability of compost and vermicompost for use as a substrate component for the cultivation of seedlings of four different plant species (garden cress — *Lepidium sativum* L., cucumber — *Cucumis sativus* L., barley — *Hordeum vulgare* L., and triticale — *Triticosecale Wittmack*). An additional goal was to determine whether the addition of different concentrations of ammonium nitrogen (400 and 600 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) would achieve a phytostimulative or a phytotoxic effect on the researched test plants. A basic hypothesis was that there was a difference in the suitability of the cultivation of different seedlings on compost, vermicompost, and their mixtures with a commercial substrate and that there was a difference in the suitability of the test plants for the evaluation of compost quality. The researched compost and vermicompost were produced from the yard waste—that is, from the plant residues subsequent to the maintenance and landscaping of the green public areas. The analyzed compost and vermicompost were stable and mature organic fertilizers with relatively high pH values and a specific density. A decrease in the pH value and a specific density can be obtained by a mixture with an acidic peat substrate. Significant differences were detected between the test plants, whereby barley was dominant in terms of height and above-ground mass, while cucumber had a slightly longer root. On the other hand, garden cress was significantly inferior in terms of the aforementioned properties. Thus, the researched compost and vermicompost can be successfully used as a component for a mixture with a commercial substrate in a 1:1 ratio—namely, as a replacement of 50% of the commercial substrate. Watering seedlings with the ammonium-nitrogen solutions (i.e., with the ammonium-carbonate solutions) increased the above-ground mass and the height of barley and ryegrass, while the effect on the mass and height of cucumber and garden cress was not consistent. It had an opposite effect on the root length, with a reduction of cucumber and triticale roots, and no significant impact on barley and garden-cress roots. In the biological tests, barley and garden cress should be used, whereas cucumber may be used in some cases; however, it is unnecessary to use triticale if barley is used as a test plant. Barley is the most suitable test plant for the determination of a positive effect of the ammonia solution, and cucumber is most suitable for testing the low (i.e., insufficient) amounts of the ammonium form of nitrogen. Garden cress is the most appropriate plant species for the determination of substrate's phytotoxicity.*

**Keywords:** *compost, vermicompost, barley, triticale, cucumber, garden cress, ammonium N*

(Received on October 3, 2024; accepted on November 25, 2024 – *Primljeno 3. listopada 2024.; prihvaćeno 25. studenoga 2024.*)