Utjecaj mineralne ishrane na fenologiju listanja obične bukve (Fagus sylvatica L.)

Poljaković, Davor

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:611155

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-07**

Repository / Repozitorij:

University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
ŠUMARSKI FAKULTET
ŠUMARSKI ODSJEK

PREDDIPLOMSKI STUDIJ
ŠUMARSTVO

DAVOR POLJAKOVIĆ

UTJECAJ MINERALNE ISHRANE NA FENOLOGIJU LISTANJA OBIČNE BUKVE

ZAVRŠNI RAD

ZAGREB (18. RUJAN, 2020.)

PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Zavod:	Zavod za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku
Predmet:	Fiziologija šumskog drveća
Mentor:	Doc. dr. sc. Krunoslav Sever
Student:	Davor Poljaković
JMBAG:	0112998350029
Akad. godina:	2019./2020.
Mjesto, datum obrane:	Zagreb 18.09.2020. godine
Sadržaj rada:	Slika: 4 Tablica: 2 Navoda literature: 25 Stranica: 19

Sažetak: U ovom radu prikazani su rezultati utjecaja mineralne ishrane na proljetni razvoj lišća obične bukve u razvojnom stadiju mlađeg pomlatka. Cilj rada bio je ispitati utjecaj mineralne ishrane na fenologiju obične bukve uslijed suboptimalne ishranjenosti s dušikom (N), fosforom (P), magnezijem (Mg) i željezom (Fe). U proljeće 2019. godine bukovi klijanci porijeklom iz jedne prirodne mješovite sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve presađeni su u sterilni supstrat (agroperlit). Nakon presadnje redovito su zaljevani kompletnom hranivom otopinom (KO tretman), odnosno hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (–N tretman), fosfor (–P tretman), magnezij (–Mg tretman) i željezo (–Fe tretman) do proljeća 2020. godine kada je započelo ovo istraživanje. U odnosu na KO tretman, najveća odstupanja zabilježena su u –P tretmanu pod čijim utjecajem je došlo do značajnog odgađanja početka otvaranja pupova zbog prilično dugog perioda u kojem su pupovi burili. Međutim, trajanje i završetka razvoja lišća nisu bili signifikantno utjecani tretmanom. Odnosno, lišće bukova pomlatka iz svih tretmana doseglo je svoj potpuni razvoj poprilici u isto vrijeme.

Ključne riječi: obična bukva, pomladak, mineralna hraniva, fenologija

	IZJAVA O IZVORNOSTI RADA	OB ŠF 05 07
		Revizija: 1
		Datum: 28.6.2017.

„Izjavljujem da je moj *završni rad* izvorni rezultat mojega rada te da se u izradi istoga nisam *koristio* drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

_____

vlastoručni potpis

Davor Poljaković

U Zagrebu, 18.09.2020. godine.

SADRŽAJ

1. UVOD ..... **Error! Bookmark not defined.**

2. CILJ RADA.....6

3. MATERIJALI I METODE.....7

4. REZULTATI.....10

5. RASPRAVA.....14

6. ZAKLJUČAK.....16

7. LITERATURA.....17

UVOD

Obična bukva predstavlja najrasprostranjeniju vrstu šumskoga drveća na području čitave Europe, pa tako i Republike Hrvatske. U volumnom udjelu drvne zalihe šumskog fonda Republike Hrvatske obična bukva sudjeluje sa 45 % (Klepac 1986). Uz to, rasprostire se na 47 % od ukupne površine šuma u Republici Hrvatskoj gdje tvori cijeli niz čistih i/ili mješovitih šumskih sastojina (Vukelić i Baričević 2003), visoke ekološke, ekonomske i općekorisne vrijednosti (Prpić 2003). Visinska rasprostranjenost obične bukve je također velika. Javlja se od nizinskog područja, gdje raste zajedno s hrastom lužnjakom, pa sve do granice šumske vegetacije na približno 2000 m nadmorske visine. Njezine sastojine nisu značajnije oštećene od strane biotskih i abiotskih štetnih čimbenika zbog čega se obična bukova smatra jednom od najvitalnijih vrsta šumskoga drveća (Potočić i Seletković 2000). Uz porast prosječne temperature zraka, smatra se da će globalno zatopljenje potaknuti jačinu i učestalost klimatskih ekstrema, kao što su dugotrajne suše (IPCC 2012). To će posebno negativno utjecati na funkcioniranje šumskih ekosustava pri čemu bi dobrobit gospodarskih i/ili općekorisnih funkcija šuma mogla biti značajno umanjena (IPCC 2012).

S obzirom na važnost i zastupljenost obične bukve u Europskim šumskim ekosustavima, važno je poznavati što više njezinih fizioloških značajki, uključujući proljetnu fenologiju. Kod listopadnog drveća koja pridolaze u hladnim i umjerenim klimatskim područjima ključni fenološki događaji koji definiraju njihov opstanak su otvaranje pupova u proljeće te starenje i odbacivenje lišća u jesen. Glavni čimbenici koji utječu na otvaranje pupova su zimske temperature, porast proljetnih temparatura, fotoperiod i genetski čimbenici (Arend i dr. 2013). Međutim, prema Arend i dr. (2015) kemijske značajke tla mogu značajno utjecati na proljetno otvaranje pupova obične bukve (ubrzati ga ili usporiti) bez obzira na temperaturu zraka koja je glavni pokretač otvaranja pupova. Takav rezultat u skladu je s rezulatatima ostalih istraživanja prema kojima tip tla može značano izmjeniti fiziološki odgovor vrste na ostale okolišne čimbenike (Maurer i dr. 1999). Prema dosadašnjim spoznajama umjetna prihrana obične smreke s mineralnim gnojivima ubrzava proljetno otvaranje pupova (Muuray i dr. 1994, Luoranen i Rikala 2011). Uz to, neke fizikalne i kemijske značajke tla također utječu na proljetno otvaranje pupova kod nekih drvenastih vrsta (Wielgolaski 2001). S obzirom da obična bukva kod nas pridolazi na različitim tipovima šumskih tala koja se odlikuju različitim fizikalnim i kemijskim značajkama pa tako i ponudom mineralnih hraniva prilično je važno poznavati utjecaj nedostatka pojedinih mineralnih hraniva na otvaranje pupova i proljetni razvoj njezina lišća.

Prema rezultatima ranijih istraživanja, nešto viša koncentracija N u tlu i optimalna ishranjenost šumskoga drveća s N usporavaju i/ili odgađaju početak otvaranja pupova te produžuju vegetacijsko razdoblje usljed čega dolazi do povećanog rizika stradavanja takvih biljaka od jesenskih mrazeva (Muuray i sur. 1994, Luoranen i Rikala 2011). Loša ishranjenost biljaka s P utjeće na smanjenje lisne mase a samim time i na ukupnu fotosintetske aktivnosti (Turnbull i dr. 2007). Isto tako, pod utjecajem loše ishranjenosti biljaka s P dolazi do usporenog razvoja lišća (Turnbull i dr. 2007) što u konačnici rezultira dugotrajnim protjecanjem pojedinih fenofaza te dovodi do odgode trenutka u kojem je lišće zrelo, odnosno fiziološki aktivno (Danyagri i Dang 2014). Povećane koncenracije Fe u tlu, nepovoljno utječu na razvoj biljaka što se manifestira u kržljanju biljaka i njihovu odgođenom cvijetanju (Biernbaum i dr. 1988). Slično kao i u slučaju Fe i visoke koncentracije Mg nepovoljno utječu na rast biljaka što se manifestira u odgodi njihova početnog razvoja u proljeće dok u ostalom dijelu vegetacijskoga rtazdoblja Mg nema negativnoga utjecaja na razvoj biljaka (Wielgolaski 2001).

Taksonomske značajke obične bukve

Obična bukva (*Fagus sylvatica* L.) je bjelogorično drvo iz porodice *Fagaceae* rod *Fagus,* u kojem je razmjerno malen broj vrsta. Taj rod obuhvaća oko 10 vrsta, rasprostranjenih u umjerenoj zoni sjeverne hemisfere. Od toga broja, najviše njih rasprostranjeno je u Euroaziji, njih 9, a samo 1 vrsta poznata je iz istočnog dijela Sjeverne Amerike (*Fagus grandiflora*). U Europi je taj rod zastupljen s dvije vrste – *Fagus sylvatica* (obična bukva) i *F. orientalis* (kavkaska bukva).

Linné je (1753) običnu bukvu označio imenom *Fagus sylvatica* i u nomenklaturnom smislu potpuno je njezino znanstveno ime *Fagus sylvatica* L., Sp. Pl. 998 (1753). Veliki niz Linnéovih imena biljaka tijekom 250-ak godina doživio je brojne promjene, ali ime *Fagus sylvatica* L. ostalo je nepromjenjeno i u uporabi sve do danas, iz razloga što su morfološke značajke obične bukve vrlo stabilne i konstantne.

Morfološke značajke obične bukve

Obična bukva je listopadno, u gustom sklopu 30 (-40) m visoko drveće ravna, uspravna debla, promjera i do 2 m, te razgranjene, pravilne krošnje, rijetko kao niža, samostojeća stabla kratka debla i bogate, široke krošnje, na većim nadmorskim visinama ili gornjoj granici šume krivudavo drveće. Kora debla i grana je tanka, glatka, blijedo do olovnosiva s tankim plutom, bez ritidome. Jednogodišnje grančice su nježne, tanke i svijetlosmeđe, u

mladosti dlakave, poslije gole. Plodni izbojci su kratki s 3-4 lista, a neplodni su dugi, s većim brojem listova. Lisni su pupovi 1,5 do 2 cm dugi, vretenasti, na vrhu šiljasti, svijetlosmeđi, njihove ljuske poredane su u dva reda. Cvjetni su pupovi široko vretenasti. Listovi su s 0,5-1,8 cm dugim peteljkama, pri dnu s palistićima, njihova plojka je eliptična, jajasta, obrnuto jajasta ili obrnuto eliptično jajasta, 4-12 cm duga i 2,5-8 cm široka, na bazi i u gornjem dijelu sužena, cijelog ruba, ponekad slabo nazubljena, malo valovita, s gornje strane tamnozelena, s donje strane svijetlozelena, u mladosti uz nervaturu dlakava, a na rubu trepavičasto dlakava, poslije više-manje gola, kožasta i sjajna. Nervatura je perasta. Palistići su suhokožičasti, blijedosmeđi, ubrzo otpadaju. Muški cvatovi su kuglasti i vise, na 5 ili više cm dugim, svilenasto dlakavim osima, sastavljenim od oko 20 cvjetova. Čuperci ženskih cvjetova razvijaju se u pazušcima listova, u vršnom dijelu izbojka, njihove osi duge su oko 2 cm, svilenasto dlakave. Pojedini ženski cvat sadrži 2-4 cvijeta, koji su obavijeni zajedničkom kupolom. Kupula je u vrijeme dozrijevanje plodova više-manje jajasta, na bazi proširena, na vrhu sužena, 1,3-3,5 cm duga, gusto pokrivena plosnato proširenim ljuskama. Plod je bukvica 1-1,6 cm duga, trobridna, na stranama udubljena, na rubovima rebrasta, otvorenosmeđa.

Rasprostranjenost bukve u hrvatskoj

Bukva u Hrvatskoj dolazi u svim vegetacijskim pojasima od nizinskog do visoko planinskoga u kopnenom dijelu, koji pripada eurosibirsko-sjevernoameričkoj vegetacijskoj regiji. U tom području vrlo je malo šumskih zajednica u kojima nema bukve s većim ili manjim udjelom. Bukvu u nas nalazimo i u mediteranskoj vegetacijskoj regiji kao primorsku bukovu šumu.

Obična bukva u nas je najviše rasprostranjena u brdskom i gorskom vegetacijskom pojasu, gdje se održava, zahvaljujuću svojoj konkurentskoj sposobnosti, u gotovo čistim sastojinama, s vrlo malim udjelom ostalih vrsta drveća. U tom području ona postiže ekološki optimum.

Ekološki zahtjevi

Prema Prpić i dr. (2003) bukva je pravi skiofit, te od svih europskih vrsta listopadnog drveća najbolje podnosi zasjenu. Na pojavu svjetla bukva reagira puno brže od svojih pratilaca u bukovo-jelovoj prebornoj šumi. Mlada bukova stabla iskrivljuju se prema izvoru svjetla,

srednjodobna stabla produžuju svoju krošnju, a stara stabla produžuju jednu, a često i više grana prema otvoru sklopa u sastojini.

S obzirom na toplinu optimalan razvoj bukve je u području s prosječnom godišnjom temperaturom zraka između 7 i 10 ºC i prosječnom temperaturom vegetacijskog razdoblja od 14 ºC do 17 ºC. S obzirom na toplinu obična bukva traži više temperature zraka i tla od jele, a manje od hrasta kitnjaka.

S obzirom na vlagu bukva ne dolazi u mokrim tlima s visokim razinama podzemnih voda, a ne podnosi ni previše suha tla, najbolje joj odgovaraju svježa i duboka tla. Prema nekoliko autora bukva godišnje transpirira okok 300 mm vode, a intercepcijom zadrži oko 25% oborina. Bukva je srazmjerno štedljiva u potrošnji vode. Za proizvodnju 1 kg biomase bukva potroši prema 169 kg transpiracijske vode (hrast kitnjak 344 kg).

Obična bukva ima skromne zahtjeve za biogenim elementima , dušikom, kalcijem, kalijem, fosforom, magnezijem, željezom i ostalim koji se nalaze u tlu, a koje uzima korjenjem. To se da zaključiti s obzirom na areal u kojem ona pridolazi. Nalazi se na gotovo svim tipovima tala, od nizinskog pseudogleja u Posavini i Podravini pa do različitih smeđih tala i planinske crnice na Dinaridima, koji se po mineralnom sastavu značajno razlikuju.

Biološka svojstva

Klijavost sjemena obične bukve često je velika, od 70 do 80 %, iako se i 50% klijavosti smatra dobrim. Obilan urod sjemena javlja se u prosjeku svakih 5 do 8 godina. Što je pojas pridolaska bukve na višoj nadmorskoj visini, to je vremenski razmak između dvaju punih uroda veći. Sjeme zasijano u jesen klije u travnju ili svibnju sljedeće godine, ili 5 do 6 tjedana nakon proljetne sjetve. Ponekad sjeme zna preležati i neproklijati do sljedeće godine. Iz proklijalog sjemena razvijaju se dvije supke bubrežastog oblika koje su tamnozelene i sjajne. One otpadaju u srpnju iste godine. Tijekom prve godine života rast ponika završava razvojem dvaju nasuprotnih listova i vršnim pupom. Druge godine on završava s 5 do 7 naizmjeničnih listova. Obična bukva velike visinske priraste postiže između 10. i 40. godine života. Kulminacija visinskog prirasta kod obične bukve nastupa oko 45. godine, a maksimum tečajnoga obujamnog prirasta postiže između 75. i 85. godine života. Na osrednjima staništima postigne visinu do 25 m, rijetko do 35 m (vrtače). Obična bukva cvjeta za vrijeme listanja od kraja travnja do kraja svibnja, ovisno o klimi.

CILJ RADA

Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj mineralne ishrane na fenologiju klijanaca obične bukve uslijed suboptimalne ishranjenosti s dušikom (N), fosforom (P), magnezijem (Mg) i željezom (Fe) te dobivene rezultate raspraviti u kontekstu dosadašnjih spoznaja o utjecaju mineralne ishrane na fenologiju šumskog drveća kako bi ovu problematiku dodatno približili šumarskoj praksi.

MATERIJALI I METODE

Biljni metarijal i dizajn pokusa

Pomladak obične bukve na kojemu je provedeno istraživanje porijeklom je iz jedne srednjodobne prirodne mješovite šumske sastojine hrasta kitnjaka i obične bukve. Sastojina u kojoj se pristupilo uzorkovanju pomlatka (pažljivom iskapanju biljaka u razvojnom stadiju klijanaca s ciljem minimalnog oštećenja njihova korijena) sastavni je dio Nastavno-pokusnog šumskog objekta „Dotrščina“ s kojim gospodari Šumarski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu. Svi iskopani klijanci imali su pravilno razvijene i zdrave supke te po dva mlada lista u početnoj fazi razvoja. Netom nakon iskapanja (17. travnja 2019. godine) klijanci su transportirani u laboratorij gdje im je korijenje pažljivo isprano destiliranom vodom. Nakon toga, presađeni su u plastične kontejnere (dimenzija 10 x 10 x 20 cm) koji su bili prethodno ispunjeni agroperlitom neutralne pH reakcije kao sterilnim supstratom za uzgoj biljaka koji u sebi ne sadrži nikakve elemente biljne ishrane.

Nakon presadnje, po šest kontejnera s pripadajućim klijancima bilo je raspoređeno u pet skupina (budućih tretmana). Prema tome, istraživanje je provedeno na ukupno 30 klijanaca. Različiti tretmani podrazumijevali su zaljevanje klijanaca s prethodno pripremljenim hranivim otopinama. Hraniva otopina s kojom su zaljevani klijanci u kontrolnom tretmanu sadržavala je sve esencijalne makro i mikro elemente biljne ishrane (KO tretman). S druge strane, hranive otopine s kojima su zaljevani klijanci u ostala četiri tretmana sadržavale su sve esencijalne makro i mikro elemente biljne ishrane, izuzev dušika (–N tretman), fosfora (–P tretman), magnezija (–Mg tretman) i željeza (–Fe tretman).

Zaljevanje klijanaca obavljeno je manualno u skladu s gore opisanim dizajnom pokusa sa 100 ml odgovarajuće hranive otopine po kontejneru/klijancu svakih sedam dana, u razdoblju od trenutka presadnje do kraja vegatcijskog razdoblja 2019. godine. Tijekom mirovanja vegetacije od jeseni 2019. godine do proljeća 2020. godine klijanci su bili izloženi prirodnoj temperaturi zraka, foto periodu i relativnoj vlažnosti zraka, dok su i dalje jednom mjesečno bili zaljevani sa 100 ml odgovarajuće hranive otopine.

Ovo istraživanje provedeno je u prvom dijelu vegetacijskoga razdoblja 2020. godine do kada su istraživane biljke prešle iz razvojnog stadija klijanaca u razvojni stadij pomlatka koji je tijekom istraživanja bio jednako tretiran s hranivim otopinama kao i tijekom prethodnog vegetacijskoga razdoblja 2019. godine.

Gore opisano istraživanje provedeno je u molekularno biološkom laboratoriju Zavoda za šumarsku genetiku, dendrologiju i botaniku, Šumarskoga fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu.

Priprema hranivih otopina

Polu modificirana Hoaglandova otopina pripremljena je pomoću KNO_3, Ca $(NO_3)_2$, KH_2PO_4, $MgSO_4$, Fe-helata i ostalih mikroelemenata (Hogland i Arnon 1950). Tako pripremljena hraniva otopina s kojom su zaljevani klijanci/pomladak u KO tretmanu sadržavala je sljedeće koncentracije makro i mikro elemenata biljne ishrane: K (3 mM L^{-1}), Ca (2,5 mM L^{-1}), nitratni oblik N (7,5 mM L^{-1}), P (0,5 mM L^{-1}), Mg (0,1 mM L^{-1}), Fe (0,1 mM L^{-1}), B (0,04 mM L^{-1}), Mn (9 µM L^{-1}), Zn (0,8 µM L^{-1}), Cu (0,3 µM L^{-1}), Mo (0,1 µM L^{-1}). U hranivu otopinu s kojom su zaljevani klijanci/pomladak u –N tretmanu umjesto KNO_3 i Ca $(NO_3)_2$ dodani su K_2SO_4 i $CaCl_2$. U hranivu otopinu s kojom su zaljevani klijanci/pomladak u –P tretmanu umjesto KH_2PO_4 dodan je K_2SO_4. Hranivim otopinama s kojoma su zaljevani klijanci/pomladak u –Mg i –Fe tretmanima izuzeti su $MgSO_4$, odnosno Fe-helat.

Kemijske analize biljnoga materijala

Pred kraj vegetacijskoga razdoblja 2019. godine sa svih je biljaka uzorkovano lišće s ciljem utvrđivanja njihove ishranjenosti s makro i mikro hranivima. Zbog relativo male mase lišća u suhom stanju unutar svakog tretmana bilo je moguće oformiti samo jedan uzorak koji se sastojao od ukupno 12 listova. Prema tome, kemijska analiza lišća obavljena je na ukupno pet uzoraka od kojih je svaki pripadao po jednom tretmanu.

Uzorkovano lišće sušeno je na 105 °C do konstantne težine. Nakon toga, lišće svakog pojedinog uzorka je samljeveno i homogenizirano. Iz određene količine suhe tvari tako pripremljenih uzoraka utvrđena je koncentracija N metodom po Kjendalhu. Koncentracija P utvrđena je spekrofotometrijski uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i $HClO_4$. Koncentracija K utvrđena je na plamenfotometru uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i $HClO_4$. Koncentracije Ca, Mg, Fe, Zn, Mn i Cu utvrđene su atomskom apsorpcijskom spektrofotometrijom uz prethodnu digestiju koncentriranom HNO_3 i $HClO_4$. Navedene analize provedene su prema razvijenim i standardiziranim protokolima od strane AOAC (2015).

Fenološka motrenja

Fenologija listanja praćena je poprilici svakih sedam dana tijekom proljeća 2020. godine na temelju numeričke skale koja opisuje fenofaze proljetnog razvoja lišća kod obične bukve (Slika 1) na sljedeći način:

Fenofaza 0 – pupovi su zatvoreni, tamno smeđe boje i tvrdi.

Fenofaza 1 – pupovi su nabubreni i izduženi, ljuskice pupova su međusobno razmaknute što rezultira svjetlo smeđom bojom pupova.

Fenofaza 2 – pupovi se otvaraju, ljuskice pupova razmaknute su do te mjere da iz vršnog dijela pupa proviruju zeleni vršci lišća.

Fenofaza 3 – lišće je izašlo iz pupova i razvija se ali još uvijek nije u potpunosti razvijeno.

Fenofaza 4 – lišće je potpuno razvijeno, tamno zelene je boje i relativno je tvrdo.

Slika 1. *Fenofaze razvoja lišća bukovih klijanaca.*

Individualni ulazak svake od ukupno 30 istraživanih biljaka u neku od fenofaza opisan je brojem dana u godini (brojivši od 01.01.2020. godine). Prema tome, za svaku biljku bio je poznat broj dana u godini potreban za početak bubrenja njezinih pupova (fenofaza 1), otvaranje njezinih pupova i/ili početak razvoja njezina lišća (fenofaza 2) i završetak razvoja njezina lišća (fenofaza 4). Na temelju tih podataka za svaku je biljku izračunat broj dana tijekom kojih je trajalo bubrenje njezinih pupova (od broja dana potrebnih za ulazak u fenofazu 2 oduzet je broj dana potrebnih za ulazak u fenofazu 1) i broj dana tijekom kojih se razvijalo njezino lišće (od broja dana potrebnih za ulazak u fenofazu 4 oduzet je broj dana potrebnih za ulazak u fenofazu 2). Tako prikupljeni podaci naknadno su statistički obrađeni.

Statistička analiza

Utjecaj tretmana na trajanje bubrenja pupova, početak otvaranja pupova i trajanje razvoja lišća ispitan je pomoću ANOVA-e. Tukey-ev post-hoc test proveden je s ciljem utvrđivanja signifikantnih razlika između tretmana. Analiza je provedena programskim paketom Statistica 7.1. (StatSoft, Inc. 2006).

REZULTATI

Utjecaj tretmana na mineralnu ishranu bukova pomlatka

Prema Bergmann (1993) na optimalnu ishranjenost obične bukve s mineralnimm hranivima ukazuju granične vrijednosti koncentracije N (1,90 – 2,50 %), P (0,15 – 0,30 %), Mg (0,15 – 0,30 %), K (1,0 – 1,50 %), Ca (0,30 – 1,50 %), Zn (15 – 50 ppm), Mn (35 – 100 ppm) i Cu (5 -12 ppm) u suhoj tvari lišća. Na temelju usporedbe izmjerene koncentracije mineralnih hraniva u suhoj tvari lišća (Tablica 1) sa gore navedenim graničnim vrijednostima evidentno je da je u KO tretmanu koncentracija svih hraniva bila u granicama optimalne ishranjenosti. S druge strane, najniža koncentracija N zabilježena je u –N tretmanu, P u –P tretmanu, Mg u –Mg tertmanu i Fe u –Fe tretmanu (Tablica 1). Prema tome, utjecaj tretmana očekivano se odrazio na mineralnu ishranu istraživanih klijanaca. Ishranjenost klijanaca sa ostalim hranivima (K, Ca, Zn, Mn i Cu) u svim je tretmanima uglavnom bila optimalna. Izuzev K s kojim su bili optimalno ishranjeni jedino klijanci u KO tretmanu (Tablica 1).

Tablica 1. *Koncentracija dušika (N), fosfora (P), magnezija (Mg), željeza (Fe), kalija (K), kalcija Ca), cinka (Zn), mangana (Mn) i bakra (Cu) u suhoj tvari lišća bukovih klijanaca tretiranih s kompletnom hranivom otopinom (KO tretman) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N tretman), fosfor (-P tretman), magnezij (-Mg tretman) i željezo (-Fe tretman).*

Tretman	N (%)	P (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	K (%)	Ca (%)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
KO	2.11	0.19	0.27	71.10	1.03	2.37	15.61	174.60	7.72
-N	1.66	0.24	0.30	67.90	0.81	1.98	16.61	212.00	8.45
-P	1.95	0.10	0.29	66.80	0.71	1.91	14.16	236.40	7.92
-Mg	1.89	0.22	0.18	73.90	0.58	1.80	14.89	228.30	8.31
-Fe	2.01	0.20	0.23	65.90	0.93	1.68	14.08	319.90	7.95

Utjecaj tretmana na proljetni razvoj lišća

Početak bubrenja pupova (fenofaza 1), izlazak lišća iz pupova (fenofaza 3) i završetak razvoja lišća (fenofaza 4) nisu bili utjecani tretmanom. S druge strane, otvaranje pupova i početak razvoja lišća (fenofaza 2), trajanje bubrenja pupova i trajanje razvoja lišća bili su pod signifikantnim utjecajem tretmana (Tablica 2).

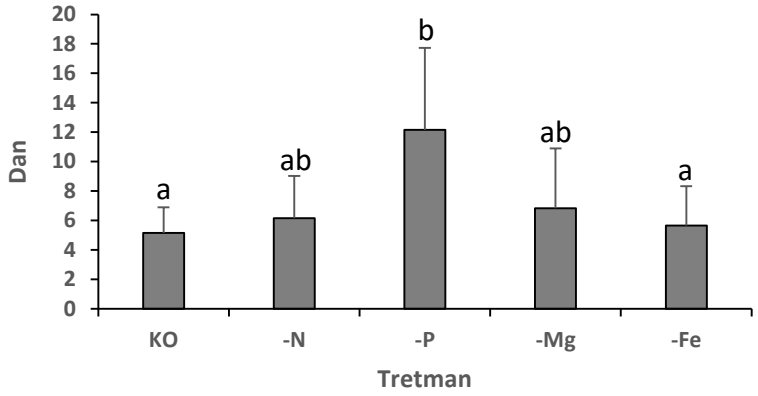
Tabica 2. *Rezultati deskriptivne statistike koji ukazuju na prosječni broj dana u godini ± S.D. potreban za početak bubrenja pupova (fenofaza 1), otvaranje pupova i/ili razvoja lišća (fenofaza 2), izlazak lišća iz pupova (fenofaza 3) i završetak razvoja lišća (fenofaza 4), te prosječni broj dana ± S.D. tijekom kojih su bubrili pupovi (Fenofaza 2 – 1), odnosno tijekom kojih se razvijalo lišće (Fenofaza 4 – 2) bukova pomlatka tretiranog sa kompletnom hranivom otopinom (KO tretman) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N tretman), fosfor (-P tretman), magnezij (-Mg tretman) i željezo (-Fe tretman). Rezultati ANOVA-e (F-value i p) opisuju utjecaj tretmana na proljetni razvoja lišća bukova pomlatka.*

Tretman	Fenofaza 1	Fenofaza 2	Fenofaza 3	Fenofaza 4	Fenofaza 2-1	Fenofaza 4-2
KO	84 ± 7	89 ± 7	96 ± 9	103 ± 10	5 ± 2	14 ± 4
-N	84 ± 5	90 ± 5	97 ± 7	109 ± 6	6 ± 3	19 ± 5
-P	89 ± 5	102 ± 5	108 ± 2	112 ± 1	12 ± 6	11 ± 5
-Mg	88 ± 7	95 ± 7	102 ± 8	112 ± 4	7 ± 4	18 ± 4
-Fe	87 ± 7	93 ± 7	99 ± 8	110 ± 7	6 ± 3	17± 4
F - value	1.556	3.701	2.379	2.052	3.692	3.274
p	0.217	***0.017***	0.079	0.118	***0.017***	***0.027***

Podebljane vrijednosti u kurzivu ukazuju signifikantan utjecaj tretmana; $p < 0.05$

Utjecaj tretmana na trajanje bubrenja pupova

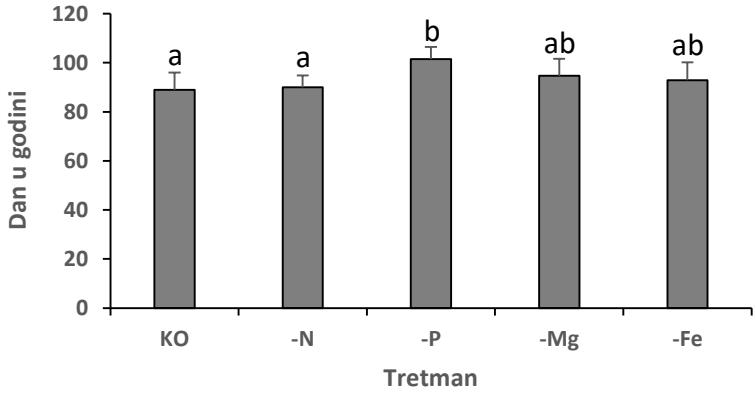
Bubrenje pupova najkraće je trajalo u KO tretmanu (5 dana), a najduže u – P tretmanu (12 dana). Signifikantne razlike u trajanju bubrenja pupova utvrđene su samo između – P tretmana s jedne strane te KO i – Fe tretmana s druge strane. Bubrenje pupova u – N i – Mg tretmanu trajalo je podjednako kao u svim ostalim tretmanima (Slika 2).



Slika 2. *Prosječni broj dana tijekom kojih su bubrili pupovi bukova pomlatka tretiranog s kompletnom hranivom otopinom (KO tretman) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N tretman), fosfor (-P tretman), magnezij (-Mg tretman) i željezo (-Fe tretman). Različita slova ukazuju na signifikantne razlike (p < 0,05) između tretmana. Vertikalne linije ukazuju na ± S.D.*

Utjecaj tretmana na otvaranje pupova i početak razvoja lišća

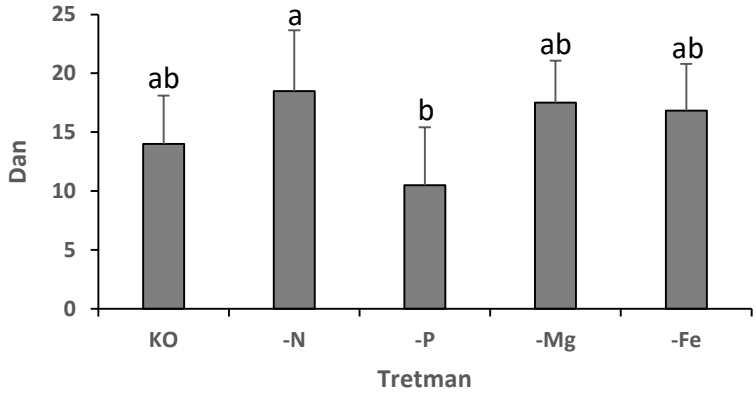
Najranije otvaranje pupova i početak razvoja lišća zabilježen je u KO tretmanu (89. dana u godini), a najkasniji u – P tretmanu (102. dana u godini). Signifikantne razlike u početku otvaranja pupova i razvoja lišća utvrđene su samo između – P tretmana s jedne strane te KO i – N tretmana s druge strane. Otvaranje pupova i početak razvoja lišća u – Mg i – Fe tretmanu nije se značajnije razlikovao u odnosu na ostale tretmane (Slika 3).



Slika 3. *Prosječni broj dana u godini (od 01.01.2020.) koji je bio potreban bukovu pomlatku da otvori svoje pupove i započne s razvojem lišća s obzirom na tretiranje sa kompletnom hranivom otopinom (KO tretman) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N tretman), fosfor (-P tretman), magnezij (-Mg tretman) i željezo (-Fe tretman). Različita slova ukazuju na signifikantne razlike (p < 0,05) između tretmana. Vertikalne linije ukazuju na ± S.D.*

Utjecaj tretmana na razvoj lišća

Najbrži razvoj lišća zabilježen je u – P tretmanu (11 dana), a najsporiji u – N tretmanu (19 dana). Signifikantna razlika u trajanju razvoja lišća utvrđena je samo između – P i –N tretmana. Trajanje razvoja lišća u KO, – Mg i – Fe tretmanu nije bilo signifikantno različito u odnosu na – P i – N tretman (Slika 4).



Slika 4. *Prosječni broj dana tijekom kojih se razvijalo lišće bukova pomlatka tretiranoga sa kompletnom hranivom otopinom (KO tretman) i hranivim otopinama u kojima su izostavljeni dušik (-N tretman), fosfor (-P tretman), magnezij (-Mg tretman) i željezo (-Fe tretman). Različita slova ukazuju na signifikantne razlike ($p < 0,05$) između tretmana. Vertikalne linije ukazuju na ± S.D.*

RASPRAVA

Utjecaj tretmana na mineralnu ishranu istraživanih biljaka

Utjecaj pojedinih tretmana na mineralnu ishranu bukovih klijanaca bio je očekivan što znači da je rezultirao slabijom ishranjenošću koja je niža od graničnih vrijednosti (Bergmann 1993) s N u –N tretmanu, P u –P tretmanu i Mg u –Mg tretmanu, dok su sva hraniva u KO tretmanu bila u granicama optimalne ishranjenosti. Ishranjenost klijanaca s ostalim hranivima (K, Ca, Zn, Mn i Cu) u svim tretmanima uglavnom je bila optimalna (Tablica 1). Koncentracija Fe u –Fe tretmanu bila je također niža u odnosu na njegovu koncentraciju u KO tretmanu međutim, podatak o koncentraciji Fe u suhoj tvari lišća obične bukve (uključujući i ostale srodne vrste) koji bi ukazivao na njezinu optimalnu ishranjenost sa Fe u dostupnoj literaturi nije bilo moguće pronaći. Prema tome, ne mora značiti da je najniža koncentracija Fe u suhoj tvari lišća od 65,90 ppm što je utvrđeno u –Fe tretmanu (Tablica 1) bila ispod granične vrijednosti optimalne ishranjenosti za običnu bukvu. Štoviše, koncentracija Fe u suhoj tvari koja ukazuje na suboptimalnu ishranjenost biljaka s Fe može imati vrlo širok raspon, čak 50 – 150 ppm (Vukadinović i Vukadinović 2011). U odnosu na N, P i Mg koji pripadaju skupini makroelemenata, Fe pripada skupini mikroelementa čije su koncentracije u biljnom tkivu relativno niske. Prema tome, moguće je pretpostaviti da su istraživani klijanci iz tla prirodne sastojine tijekom početne faze svoga razvoja uspjeli usvojiti i uskladištili dovoljnu količinu Fe koja im je bila dostatna za normalno funkcioniranje tijekom cijelog vegetacijskog razdoblja, bez obzira na kasniju primjenu tretmana.

Utjecaj tretmana na proljetni razvoj lišća bukova pomlatka

Početak bubrenja pupova nije bio signifikantno utjecan tretmanom (Tablica 2). To znači da su pupovi bukova pomladaka iz svih tretmana bez obzira na različitu ishranjenost N, P, Mg i Fe počeli bubriti poprilici u isto vrijeme. Međutim, trajanje bubrenja pupova i početak otvaranja pupova bili su signifikantno utjecani tretmanom (Tablica 2). To znači da je pod utjecajem loše ishranjenosti bukova pomlatka s P došlo do signifikantnog kašnjnja u otvaranju pupova (Slika 2 i 3). Takav rezultat samo je djelomično u skladu s rezultatima ranijih istraživanja provedenih na običnoj bukvi porijeklom sa dvaju različitih staništa s obzirom na tip tla, odnosno na njihov kemiijski sastav i ponudu mineralnih hraniva (Yang i dr. 2016). Prema nevedenom istraživanju početak i trajanje bubrenja pupova kao i početak

njihova otvaranja nisu bili signifikantno utjecani različitim tipom tla koja su se međusobno razlikova s obzirom na sadržaj P (Yang i dr. 2016).

Završetak razvoja lišća kao ni početak bubrenja pupova nije bio signifikantno utjecan tretmanom (Tablica 2). To znači da se lišće bukova pomlatka loše ishranjenoga s P iz – P tretmana nakon otvaranja pupova razvijalo nešto brže u odnosu na pomladak iz ostalih tretmana (Slika 3). Takav rezultat opet se razlikuje od rezultata koje su dobili Yang i dr. (2016) prema kojima bukov pomladak porijeklom s tla koje ima nisku koncentraciju P ujedno ima i sporiji razvoj lišća u odnosu na pomladak porijeklom s tla koje ima višu koncentraciju P.

S obzirom da mehanizam utjecaja slabe ishranjenosti šumskoga drveća s P na razvoj njihova lišća još uvijek nije dovoljno dobro istražen ovakav rezultat teško je objasniti. Međutim, općenito je poznato da je početak otvaranja pupova kod šumskoga drveća pod snažnom genetskom kontrolom (Falusi i Calamassi 1996, Kraj i Sztorc 2009) koja prema novijim istraživanjima do određene mjere može biti utjecana tipom tla, odnosno njegovim različitim kemijskim sastavom (Arend i dr. 2015).

Za razliku od početka otvaranja pupova koji je pod većom genetskom kontrolom, a manjom kontrolom okolišnih čimbenika, sam razvoj lišća nakon otvaranja pupova pod snažnijom je kontrolom okolišnih čimbenika (Bacon 1999), prije svega meteoroloških prilika (Sever 2012). Međutim, prema dobivenom rezultatu različita ishranjenost mineralnim hranivima nema značajnijega utjecaja na brzinu rtazvoja lišća kod obične bukve.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovoga istraživanja ukazuju na to da loša ishranjenost bukova pomlatka s P značajno odgađa početak otvaranja njegovih pupova pupova, odnosno početak vegetacijskoga razdoblja. Međutim, nakon otvaranja pupova brzina razvoja lišća bukova pomlatka nije značajnije utjecana lošom ishranjenošću s mineralnim hranivima. To je u konačnici rezultiralo poprilici istovremenim razvojem lišća bukova pomlatak u svim tretmanima bez obzira na različitu ishranjenost s N, P, Mg i/ili Fe. S obzirom na ovakav rezultat, inicijalno praćenje proljetnog razvoja lišća bukova pomlatka bit će nastavljeno tijekom sljedećih nekoliko vegetacijskih razdoblja. U tom periodu planira se započeti s praćenjem dinamike vegetativnoga rasta, i razvoja vizualnih simptoma pri suboptimalnoj ishranjenosti obične bukve sa mineralnim hranivima s ciljem prikupljanja dodatnih informacija o ovoj problematici.

LITERATURA

1. Arend M, Brem A, Kuster TM, Gunthardt-Goerg MS, (2013). Seasonal photosynthetic responses of European oaks to drought and elevated daytime temperature. Plant Biology 15: 169–176.
2. Arend M, Gessler A, Schaub M, (2015). The influence of the soil on spring and autumn phenology in European beech. doi:10.1093/treephys/tpv087
3. Bacon MA, (1999). The biochemical control of leaf expansion during drought. Plant Growth Regul. 29, 101–112.
4. Bergmann W, (1993). Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Gustav Fischer Verlag Jena, 1 – 835 str.
5. Biernbaum JA, Carlson WH, postolar CA, Heins R, (1988). Nizak pH uzrokuje toksičnost željeza i mangana. Uzgajivač staklenika, 6: 92-93.
6. Danyagri G, Dang QL, (2014). Soil temperature and phosphorus supply interactively affect physiological respondes of white birch to CO_2 elevation, American Journal of Plant Sciences, 5: 219-229.
7. Falusi M, Calamassi R, (1996). Geographic variation and bud dormancy in beech seedlings (*Fagus sylvatica* L.). Ann For Sci 53:967–979.
8. Glavaš i dr. 1992,
9. Hoagland, D. R., D. I. Arnon, 1950: The water-culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular, 347: 1–32.
10. IPCC, 2012 – Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner GK, Allen SK, Tignor M, Midgley PM, (Eds.) Available from Cambridge University Press, The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND, 582 pp.
11. Klepac D, (1986). Uvodni referat na Simpoziju o bukvi. U: A.P:B.Krpan (ur.), Kolokvij o bukvi, Šumarski fakultet, Zagreb, str 11-15.
12. Kraj W, Sztorc A, (2009). Genetic structure and variability of phenological forms in the European beech (Fagus sylvatica L.). Ann. For. Sci. 66, 203–203.
13. Luoranen J, Rikala R, (2011). Nutrient loading of Norway spruce seedlings hastens bud burst and enhances root growth after outplanting. Silva Fennica 45(3): 319–329.

14. Maurer S, Egli P, Spinnler D, Körner C, (1999). Carbon and water fluxes in Beech-Spruce model ecosystems in response to long-term exposure to atmospheric CO2 enrichment and increased nitrogen deposition. Funct Ecol 13:748–755.
15. Murray MB, Smith RI, Leith ID, Fowler D, Lee HSJ, Friend AD, Jarvis PG, (1994). Effects of elevated CO2, nutrition and climatic warming on bud phenology in Sitka spruce (Picea sitchensis) and their impact on the risk of frost damage. Tree Physiol 14:691–706.
16. Potočić N, Seletković I, (2000). Stanje oštećenosti šuma u Republici Hrvatskoj 1998. godine. Šumarski list, 124(1-2):51-56.
17. Prpić B, (2003). Općekorisna uloga bukovih šuma. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (Fagus sylavatica L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 213 – 221 str.
18. Rodriguez D, Santa Maria GE, Pomar MC, (1994). Phosphorus deficiency affects the early development of wheat plants. J Agron Crop Sci. 173, 69–72.
19. Sever K, (2012). Utjecaj ekofizioloških čimbenika na razvoj rasplodnih organa hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.). Dokrorski rad. Šumarski fakultet. Zagreb
20. Trinajstić I, (2003). Taksonomija, morfologija i rasprostranjenost obične bukve. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (Fagus sylavatica L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 33 – 47 str.
21. Turnbull TL, Warren CR, Adams MA, (2007). Novel mannose-sequestration technique reveals variation in subcellular orthophos- phate pools do not explain the effects of phosphorus nutrition on photosynthesis in Eucalyptus globulus seedlings. New Phytol. 176:849–861.
22. Vukadinović V, Vukadinović V, (2011). Ishrana bilja. Poljoprivredni fakultet Osijek, Osijek, 442 str.
23. Vukelić J, Baričević B, (2003). Šumske zajednice obične bukve u Hrvatskoj. U: S. Matić (ur.), Obična bukva (Fagus sylavatica L.) u Hrvatskoj. Zagreb: Akademija šumarskih znanosti, Hrvatske šume d.o.o., Grad Zagreb, Gradski ured za poljoprivredu i šumarstvo, 87 – 107 str.
24. Wielgolaski FE, (2001). Phenological modifications in plants by various edaphic factors. Int J Biometeorol 45:196–202.

25. Yang N, Zavišić A, Pena R, Polle A, (2016). Phenology, photosynthesis, and phosphorus in European beech (*Fagus sylvatica* L.) in two forest soils with contrasting P contents. J. Plant Nutr. Soil Sci. 179, 151–158.