

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Domagoj Smolčić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Hortikultura

**Uloga biougljena u poboljšanju kemijskih svojstava tla i njegov
utjecaj na biljku**

Završni rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Domagoj Smolčić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Hortikultura

**Uloga biougljena u poboljšanju kemijskih svojstava tla i njegov
utjecaj na biljku**

Završni rad

Osijek, 2021.

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET AGROBIOTEHNIČKIH ZNANOSTI OSIJEK

Domagoj Smolčić

Preddiplomski sveučilišni studij Poljoprivreda

Smjer Hortikultura

**Uloga biougljena u poboljšanju kemijskih svojstava tla i njegov
utjecaj na biljku**

Završni rad

Povjerenstvo za ocjenu završnog rada:

1. Izv. prof. dr. sc. Boris Đurđević, mentor
2. Prof. dr. sc. Irena Jug
3. Prof. dr. sc. Danijel Jug

Osijek, 2021.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek
Preddiplomski sveučilišni studij, smjer Hortikultura
Domagoj Smolčić

Završni rad

Uloga biougljena u poboljšanju kemijskih svojstava tla i njegov utjecaj na biljku

Sažetak: Biougljen je čvrsta tvar koja se proizvodi termičkom razgradnjom organske tvari. U svom sastavu sadrži velike količine ugljika. Postotak sadržaja ugljika u biougljenu ovisi o sirovini za dobivanje biougljena i temperaturi procesa pirolize. Inkorporacijom u tlo, biougljen utječe na povećanje sekvestracije ugljika u tlu, povišenje pH-vrijednosti tla, povećanje kationskog izmjenjivačkog kapaciteta te na povećanje količine i pristupačnosti hraniva. Pozitivan utjecaj na svojstva tla značajno utječe i na rast i razvoj biljke. Njegova poroznost i velika aktivna površina biljci omogućavaju bolju opskrbljenost hranivima i vodom. Biougljen, također, ima pozitivan efekt na smanjenje CO₂ u atmosferi sekvestrirajući ugljik u tlu. Zbog svega navedenog je prepoznat kao poboljšivač tla i kao proizvod koji može poslužiti za održavanje ravnoteže u okolišu. Daljnja istraživanja potrebno je usmjeriti prema poboljšanju procesa proizvodnje i poboljšanju svojstava biougljena te njegove iskoristivosti.

Ključne riječi: biougljen, poboljšivač tla, kemijska svojstva, biljka

27 stranica, 11 slika, 64 literarna navoda

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

BASIC DOCUMENTATION CARD

Josip Juraj Strossmayer University of Osijek
Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek
Undergraduate university study Agriculture, course Horticulture
Domagoj Smolčić

BSc Thesis

The role of biochar in improving soil chemical properties and its impact on plant performance

Summary: The subject on this paper was to show how application of biochar affects chemical capacity of the soil and plant growth and development. Biochar is the firm matter produced by thermic decomposition of organic matter. Biochar composition contains great amounts of carbon. The percentage of carbon in biochar depends on raw material of which biochar is produced and the temperature of pyrolysis. Soil incorporation of biochar increases carbon sequestration, pH-value, cation exchange capacity, amount and access of the nutrients. Positive interest in soil properties significantly affects plants growth and development. Its porousness and big active surface gives plants better nutrient and water supply. Biochar also decreases negative anthropogenic effects on the atmosphere. Because all mentioned above, biochar is recognized as an improver of soil characteristics and also can serve as a product that maintains equilibrium in the environment. Further researches should be directed towards improvement of the production processes and biochar properties together with its usability.

Key words: biochar, soil conditioner, chemical properties, plant

27 pages, 11 figures, 64 references

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

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. DEFINICIJA BIOUGLJENA.....	2
3. POVIJEST BIOUGLJENA I NJEGOVO PORIJEKLO	3
4. VAŽNOST BIOUGLJENA	4
5. PROIZVODNJA BIOUGLJENA.....	5
5.1.Osnovna načela proizvodnje.....	5
5.2.Sirovine za proizvodnju biougljena.....	7
6. SASTAV I SVOJSTVA BIOUGLJENA	9
7. UTJECAJ BIOUGLJENA NA KEMIJSKA SVOJSTVA TLA I NJEGOV UTJECAJ NA RAST I RAZVOJ BILJKE	11
7.1. Utjecaj biougljena na organsku tvar u tlu.....	11
7.2. Povezanost biougljena i biogenih elemenata te njegov utjecaj na pristupačnost dušik u tlu.....	12
7.2.1. <i>Biougljen i njegov utjecaj pristupačnost na fosfor i kalij u tlu</i>	14
7.2.2. <i>Utjecaj biougljena na pristupačnost ostalih hranjivih tvari te toksičnih elemenata u tlu...</i>	15
7.3. Povezanost primjene biougljena s pH vrijednosti tla	16
7.4. Utjecaj biougljena na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) u tlu	17
7.5. Utjecaj biougljena na sekvestraciju ugljika u tlu.....	18
7.6. Utjecaj biougljena na rast i razvoj biljke	19
8. ZAKLJUČAK	21
9. LITERATURA.....	22

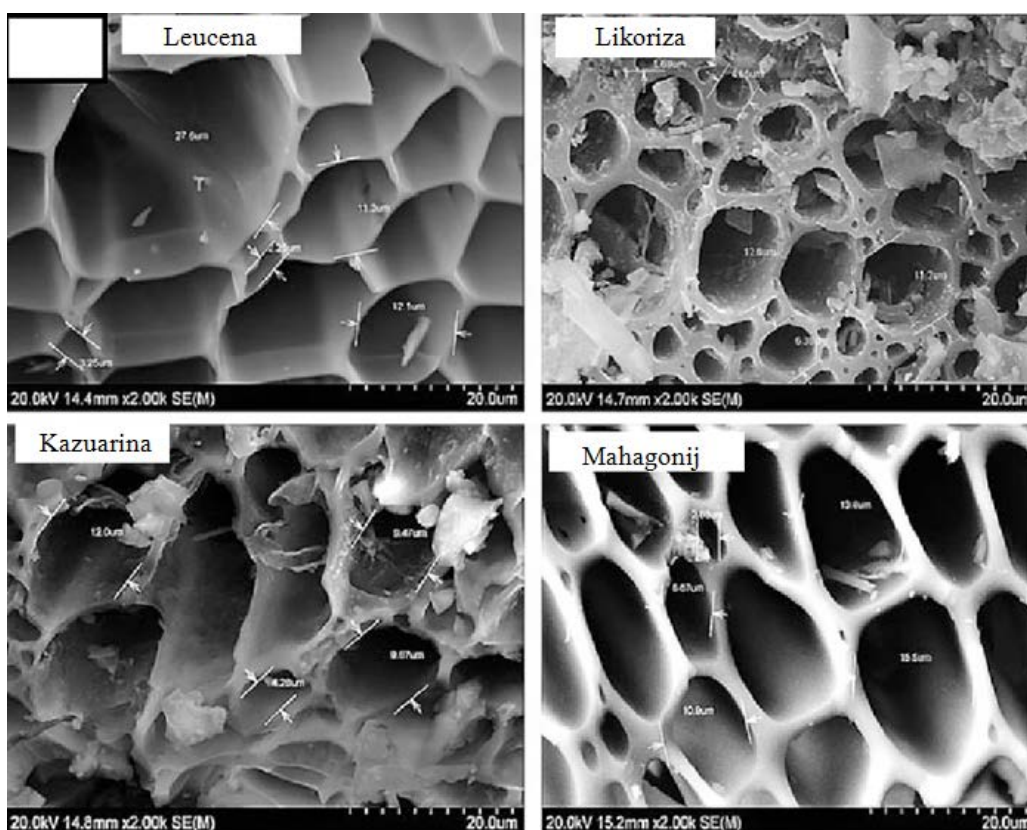
1. UVOD

Biljna proizvodnja je vrlo složen proces koji dovodi do raznih pozitivnih i negativnih promjena u cjelokupnoj biosferi kao i u njezinim cjelinama: pedosferi, hidrosferi i atmosferi. Kako bi se ublažio ili čak zaustavio negativni utjecaj biljne proizvodnje na okoliš, znanstvenici iz područja agrobiotehničkih znanosti zajedno u suradnji s ostalim stručnjacima u područjima prirodnih znanosti, pokušavaju osmisliti nove načine i metode kako unaprijediti dosadašnja znanja, vještine i iskustva te poboljšati buduću biljnu proizvodnju. U tom procesu koriste se prikupljanjem podataka, analizom istih te primjenom rezultata analize prikupljenih podataka. Sve to je važno radi utvrđivanja negativnog ili pozitivnog utjecaja novih načina i metoda na okoliš te kako bi se isti dalje mogli nesmetano koristiti u praksi. Takvi suvremeni načini i metode unose promjene koje utječu na kvalitetu biljne proizvodnje, a time i na povećanje kakvoće hrane. Općepoznato je da se populacija ljudi na zemaljskoj kugli svakodnevno povećava. Ta činjenica govori kako se mora proizvoditi sve veća količina hrane kako bi se zadovoljile potrebe stanovništva te zbog toga dolazi do primarnog problema cijele poljoprivredne proizvodnje. Porastom urbanizacije dolazi do degradacije i gubitka plodnog tla za uzgoj biljaka i životinja koje je nezamjenjiv resurs za proizvodnju hrane. Ova spoznaja pred znanstvenike stavlja težak izazov. Koje metode primijeniti u popravljanju svojstava degradiranih tala kako ne bi došlo do njihovog nepovratnog gubitka te kojim se novim sustavima uzgoja biljaka koristiti u biljnoj proizvodnji kako bi se smanjila ili skroz isključila uporaba tla. Jedna od metoda popravke degradiranih tala je unošenje biougljena u tlo što je i predmet ovog završnog rada. Njegovim unošenjem u sustav tla poboljšavaju se fizikalna, kemijska i biološka svojstva tla, što doprinosi većem urodu i povećanoj kvaliteti poljoprivrednih proizvoda. Poseban naglasak u radu bit će na kemijska svojstva biougljena i utjecaj biougljena na samu biljku i cjelokupnu biljnu proizvodnju. Ukratko će se prikazati povijest razvoja primjene biougljena, njegova važnost u poljoprivrednoj proizvodnji te sami proces proizvodnje biougljena. Ključni cilj ovog rada je prikazati kako i na koji način svojstva biougljena utječu na poboljšanje kemijskih svojstava tla i kako biougljen utječe na rast i razvoj biljke.

2. DEFINICIJA BIOUGLJENA

Shackley i sur., (2012.) definiraju biougljen kao poroznu čvrstu karbonsku tvar (Slika 1.) proizvedenu termokemijskom pretvorbom organske tvari u atmosferi s manjkom kisika koja ima fizikalno-kemijska svojstva prikladna za sigurno i dugotrajno skladištenje ugljika u okolišu.

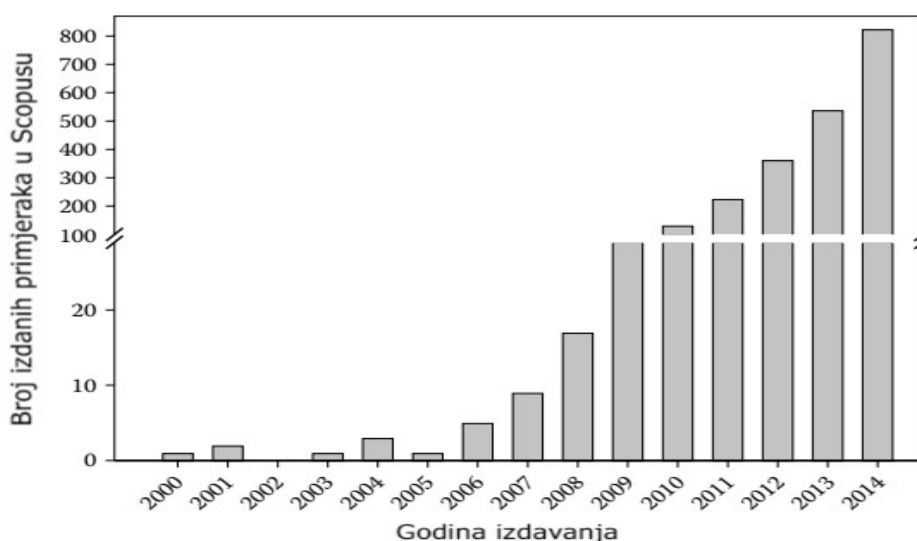
Prema Lehmann i Joseph (2009.) znanstvena definicija biougljena je takva da se on proizvodi takozvanom termičkom razgradnjom organske tvari pri ograničenoj količini kisika (O_2) i pri relativno niskim temperaturama ($<700\text{ }^\circ\text{C}$).



Slika 1. Prikaz porozne strukture biougljena dobivenog od različitih sirovina
(Izvor: <https://www.researchgate.net>)

3. POVIJEST BIOUGLJENA I NJEGOVO PORIJEKLO

Poznato da su močvarna područja uz rijeke prepuna treseta jer u njima dolazi do procesa termičke razgradnje organske tvari, također Indijanci u području Brazila blizu rijeke Amazone krčenjem i paljenjem šuma uvidjeli su da na takvom tlu bolje rastu biljke ne znajući za podatak da takvo tlo ima puno organske tvari i visok sadržaj ugljika. Glaser i sur. (2002.) i Smith, (1980.) govore o tome kako ova tla karakterizira veliki sadržaj ugljika, do 150g C/kg tla, u usporedbi s okolnim tlima, 20-30g C/kg tla. Herbert Smith 1879. godine u svojoj posjeti Brazilu primjećuje da je područje uz rijeku Amazonu plodnije od ostatka tla te tom tlu daje naziv „terra preta“. Međutim, u to vrijeme nema interesa za daljnjim istraživanjem povoljnih svojstava biougljena. Interes se pojavljuje dosta kasno i to tek 1990.-ih godina. Wim Sombroek je prvi znanstvenik koji je uvidio važnost biougljena i okupio grupu znanstvenika koji će istraživati važnost biougljena. Kako navode Đurđević i sur. (2017.) cilj okupljenih znanstvenika je prijavljivati projekte koji bi omogućili rasvijetliti mehanizme povezane s pozitivnim učincima biougljena ali i pokušati ga nametnuti kao kondicioner tla koji bi imao značajnu agro-ekonomsku ulogu. Od tog razdoblja znanstvenici posvećuju sve više vremena istraživanju pozitivnih svojstava biougljena i pokušavaju objasniti procese koji se događaju pri njegovoj primjeni. Najznačajnija je 2006. godina kada se veliki broj znanstvenika bavi temom biougljena, a njihov broj u narednim godinama te do dan danas je rastao. (Slika 2.)



Slika 2. Grafički prikaz porasta autora na temu biougljena prema bazi podataka Scopusu

4. VAŽNOST BIOUGLJENA

U povijesti se biougljenu nije pridavala tolika važnost kao u zadnjih 20 godina kada je počeo dobivati na važnosti. Danas puno znanstvenika proučava svojstva biougljena i kako ona djeluju na tlo i sustave proizvodnje hrane, okoliš i kako biougljen djeluje na onečišćenja u biosferi. (Slika 3.) Ok i sur., (2016.) iznose kako je sve veći interes za razumijevanje biougljena kao cjeline, posebno njegove morfologije i aplikacije za bolje upravljanje okolišem. Biougljen je nedavno prepoznat kao višenamjenski materijal povezan sa sekvestracijom ugljika, imobilizacijom onečišćivača, smanjenjem stakleničkih plinova, fertilizacijom i filtracijom vode. Sveukupna važnost biougljena je tome što je u mogućnosti smanjiti negativan antropogeni utjecaj na okoliš.



Slika 3. Prikaz pozitivnog djelovanja primjene biougljena na biljnu proizvodnju

(Izvor: <https://ethz.ch/en.html>)

5. PROIZVODNJA BIOUGLJENA

5.1. Osnovna načela proizvodnje

Proizvodnja biougljena se koristi već dugo vremena i vrlo je značajna u razvoju čovjekove prošlosti. Njegova proizvodnja se temelji na termičkoj razgradnji organske tvari u atmosferi bez kisika. Takav proces karboniziranja biomase koja nakon završetka procesa zadržava svoj prvotni oblik naziva se piroliza (Đurđević i sur., 2017.) Takav proces proizvodnje može se primjenjivati na vrlo jednostavan način spaljivanjem biomase na otvorenom. (Slika 4.)



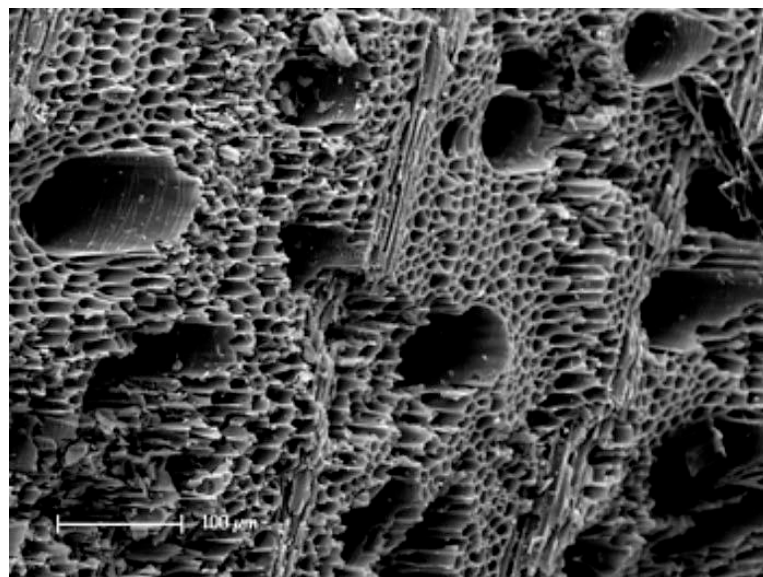
Slika 4. Dobivanje biougljena jednostavnim načinom

(Izvor: <https://pixnio.com/hr/>)

Vrlo je važno naglasiti da je velika razlika između proizvodnje energije iz fosilnih goriva i proizvodnje energije iz biomase. Gorenjem fosilnih goriva oslobađa se ugljikov dioksid (CO_2) koji je bio "zaključan" milijunima godina u Zemlji, a kojem će trebati mnogo više milijuna godina da se vrati 'natrag' u tlo. Nasuprot tome, spaljivanjem biljne biomase, CO_2 koji je apsorbiran u biljkama koje rastu u razmjerno kratkom vremenu, se jednostavno vraća u atmosferu te nema neto otpuštanja istoga, ako je ciklus rasta i sječe šuma održiv. Korištenje biomase kao sirovine za biougljena znači da je CO_2 , koji je apsorbiran iz zraka za vrijeme rasta biljaka, vraćen natrag u zrak kada sirovina gori. Kaže se da je takav sustav ugljik-neutralan odnosno negativan. Održavanje ravnoteže postiže se rastom biljaka i korištenjem biomase, te je sustav održiv i pomaže u borbi protiv klimatskih promjena. (Šegon i sur., 2014.)

Međutim, ovim se procesom gubi velika količina energije koju možemo uštediti korištenjem bioreaktorima. S druge strane, proučavaju se i koriste suvremena metoda proizvodnje biougljena. Suvremeni načini proizvodnje su puno efikasniji, ekonomičniji te su manji rizik za okoliš jer koriste bioreaktore u kojima se procesi dobivanja biougljena odvijaju u kontroliranim uvjetima. Svakako ulogu ima i brzina dobivanja biougljena koja procese dijeli na brzu i sporu pirolizu. Brza piroliza je proces dobivanja biougljena pri visokim temperaturama u vrlo kratkom vremenu (ispod 1 minute). Autori Joseph i sur., (2010.) i Keiluweit i sur. (2010.) navode da piroliza pri visokim temperaturama ($\geq 550^{\circ}\text{C}$) proizvodi stabilni visoko aromatski i porozni biougljen s velikom aktivnom površinom ($>400 \text{ m}^2/\text{g}$).

Ok i sur., (2016.) ističe brzu pirolizu kao bolju opciju za korištenje pri proizvodnji bioenergije. Pod bioenergijom se smatraju biogoriva, toplinska, električna energija te biouglja i drugo. Spora piroliza je proces dobivanja biougljena pri niskim temperaturama kroz relativno dulje vrijeme. Nekoliko autora se složilo da je piroliza pri niskim temperaturama ($<550^{\circ}\text{C}$) jeftinija opcija, ali tvori biougljen visoko porozne strukture (Slika 5.) i bolje biorazgradivosti (Fuertes, i sur., (2010.); Joseph, i sur., (2010.); Khodadad, i sur., (2011.)



Slika 5. Mikroskopski prikaz porozne strukture biougljena

(Izvor: <https://www.researchgate.net>)

Prema Ok i sur., (2016.) spora piroliza tvori biougljen s manje mineralnih tvari i više komponenata fiksiranog i nepokretnog ugljika (u usporedbi s brzom pirolizom) što omogućava bolju sekvestraciju ugljika u tlu. Uz to, pokretne jedinice (Slika 6.) za sporu pirolizu su komercijalno dostupne poljoprivrednicima na farmama. Stručnjaci teže stvaranju što boljih uvijeta za primjenu biougljena na manjih poljoprivrednim gospodarstvima te boljem iskorištenju cijelog procesa pirolize te očuvanju okoliša.



Slika 6. Prikaz pokretne jedinice za sporu pirolizu

(Izvor: <https://www.eng.uwo.ca>)

5.2. Sirovine za proizvodnju biougljena

Biougljen kao i obični ugljen dobiva se termičkom razgradnjom biomase. Biomasa prema autorima Vassilev, i sur., (2010.) je opći pojam koji obuhvaća organsku tvar, biljke i životinje i njihove ostatke koji potječu od uzgoja biljaka (uključujući alge) i stajskog gnoja, koji se može smatrati prerađenim oblikom biljnog materijala.

Biomasa za proizvodnju biougljena se mora pažljivo birati. Posebno se obraća pažnja na kemijski sastav biomase, odakle biomasa dolazi te je potrebno napraviti analizu kako bi se utvrdilo postojanje teških metala. Oni znaju izazivati probleme pri inkorporaciji biougljena u tlo jer mogu biti usvojeni od strane biljaka i ulaziti u sustav biljke te imaju toksičan učinak na biljku. Biomasa je kompleksna heterogena struktura sastavljena od celuloze, lignina i ostalih organskih (primarno spojevi C,H,N,S i O) te anorganskih komponenata. Ta organska komponenta sadrži sljedeće spojeve: silicijev dioksid (SiO_2), aluminijev oksid (Al_2O_3), željezov (III) oksid (Fe_2O_3), titanijev oksid (TiO_2), kalcijev oksid (CaO), kalijev oksid

(K₂O), fosforov pentoksid (P₄O₁₀), magnezijev oksid (MgO), sumporov trioksid (SO₃) i natrijev oksid (Na₂O). (Vassilev, i sur., (2010.) Prema autoru Song, i sur., (2011) navedene anorganske komponente se izvorno mogu nalaziti u biomasi ili nastati u procesu proizvodnje biougljena.

Također, važno je spomenuti kako za termičku razgradnju biomase je potrebna velika količina energije te kako navodi autor Song, i sur., (2011) da je specifična energija za proizvodnju biougljena u 86 različitih tipova biomase u intervali od 11.5 do 24.2 MJ/kg i da energija za termičke procese raste slijedom ovisno o podrijetlu biomase: stajnjak < mulj < trava < ljuske < drvo. Sirovina koja se koristi za dobivanje biougljena utječe velikim dijelom na njegovu kakvoću, izgled, poroznost i primjenu. (Slika 7.)

Ovisno o tipu tla koristit će se biougljen s različitim pH vrijednostima. Primjerice ako se radi o tlima koja imaju nisku pH vrijednost koristit ćemo biougljen koji sadrži komponente visoke pH vrijednosti (primjerice pepeo) za inkorporaciju, a ako se radi o neutralnim i alkalnim tlima trebamo izbjegavati primjenu istih.



Slika 7. Biougljen dobiven od različitih sirovina za proizvodnju

(Izvor: <https://ethz.ch/en.html>)

6. SASTAV I SVOJSTVA BIOUGLJENA

Biougljen u svom sastavu sadrži velike količine ugljika, čak od 60 do 95 %. Kako navode autori Lehmann i Joseph, (2009.) kompleksni i heterogeni kemijski i fizikalni sastav biougljena pružaju izvrsnu podlogu za uklanjanje onečišćenja. Kemijski sastav biougljena ovisi o vrsti sirovine i uvjetima pirolize (duljina pirolize, temperatura, brzina zagrijavanja i vrsta bioreaktora); zbog toga, vrlo je teško odrediti kemijski sastav biougljena zbog različitih sirovina i različitih uvjeta pirolize.



Slika 8. Primjer biomase od ostataka biljke. Prva slika: slama; Druga slika: ljuska lješnjaka

(Izvor: 1. slika: <https://www.bbi.europa.eu>; 2. slika: <https://www.mojtrg.rs>)

Organski dio biougljena ima visoki udio ugljika, a anorganski dio uglavnom sadrži minerale kao što su C, Mg, K i anorganski karbonati (karbonatni ion) ovisno o vrsti sirovine. Sirovina za dobivanje biougljena je biomasa. Biomasa je organska tvar dobivena iz životinja i biljaka i njihovih ostataka. (Slika 8.)

Biomasa može biti sve što je organskog podrijetla, ugrubo ostaci biljaka i životinja. Kao što je prije navedeno odabir biomase i uvjeti pirolize utječu na dobivena svojstva biougljena i njegovu daljinu primjenu. Baš zbog takve promjenjivosti u strukturi i sastavu ne mogu se točno odrediti svojstva biougljena. Više autora piše kako postoji velika varijabilnost u fizikalnim i kemijskim svojstvima biougljena i kako su te varijabilnosti beskonačne temeljeno na njihovoj proizvodnji i različitim sirovinama organske biomase, (Lehmann and

Joseph (2009.); Schmidt i sur., (2001) također, zbog dvosmislenosti u klasifikaciji biougljena postoje različite vrste protokola karakterizacije za druge materijale (primjerice ugljen, kompost i tlo) koji su prilagođeni za analizu biougljena. Nedosljednosti u analitičkom pristupu klasifikacije biougljena su napravile pomutnju i stavile pred stručnjake izazov kako učiniti klasifikaciju jasnom. (Fidel, (2012.); Spokas i surr. (2011)

Godine 2009. Međunarodna inicijativa za biougljen (IBI) okupila je stručnjake zainteresirane za rješavanje ovoga izazova. Autori Ok i sur., (2016.) navode kako je rad međunarodne inicijative za biougljen rezultirao objavljivanjem „IBI Biochar Standards“ koji sadrži definirane standardizirane metode za analizu biougljena.

Generalno, karakteristike biougljena se određuju za tri glavna svojstva: elementarni sastav, agronomske svrhe i potencijalne opasnosti koje biougljen može načiniti u okolišu. Sva kemijska i fizikalna svojstva biougljena usmjerena su ka tim područjima. Valja nabrojati koja su to bitna kemijska i fizikalna svojstva biougljena sa stajališta agrobiotehničkih znanosti. Od fizikalnih svojstava biougljena važno je napomenuti njegovu veliku aktivnu površinu i dobru poroznost. Kemijska svojstva koja treba proučavati u okviru agrobiotehničkog područja su: sekvestracija ugljika, organska tvar, stabiliziranje pH vrijednosti, utjecaj na količinu esencijalnih hranjivih tvari (makroelemenata i mikroelemenata) te na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) i dr.

7. UTJECAJ BIOUGLJENA NA KEMIJSKA SVOJSTVA TLA I NJEGOV UTJECAJ NA RAST I RAZVOJ BILJKE

U današnje vrijeme sve veći je trend korištenja obnovljivih izvora energije. Vodi se računa o tome da se količina štetne tvari koje su nusprodukt korištenja neobnovljivih izvora energije u našoj okolini svedu na minimum. Tlo kao nezamjenjivi i neobnovljiv resurs moramo očuvati. Tlo je najveći izvor hrane za biljke i životinje i mora im omogućiti određene uvijete kako bi se nesmetano razvijali i rasli te kako bi se kao finalni proizvodi koristili za ljudsku prehranu. Do problema dolazi zbog intenzivne poljoprivredne proizvodnje te samim tim dolazi do opterećenja tla kao njezinog najbitnijeg resursa. Tlo je kompleksna tvorevina koja se sastoji od tri faze, plinovite, tekuće i čvrste te žive faze koja ih povezuje u funkcionalnu i zaokruženu cjelinu. Tlo, također, ima određena biološka, fizikalna i kemijska svojstva u okviru poljoprivredne proizvodnje kod kojih uslijed degradacije tla dolazi do negativnih promjena. Isto tako, primjerice unošenjem poboljšivača tla ta se svojstva mogu mijenjati nabolje. Jedna od mjera smanjenja degradacije tla je dodavanje biougljena. S naglaskom na kemijska svojstva tla, dodavanjem biougljena u tlo događaju se određeni procesi (povećanje retencije i raspoloživosti elemenata biljne ishrane, povećanje pH tla, povećanje sekvestracije ugljika u tlu, povećanje KIK-a, itd.) koji dovode do promjena u biljci i njezinoj okolini. (Ok i sur., 2016.)

7.1. Utjecaj biougljena na sadržaj organske tvari u tlu

Ozbiljna poljoprivredna proizvodnja zahtjeva spajanje znanosti i struke. Zbog toga je važno procijeniti kakva je plodnost tla u poljoprivrednom sustavu gdje će se nešto uzgajati i kako je možemo popraviti ako je potrebno. Organski oblik ugljika u tlu je svakako ključni faktor u procjeni plodnosti tla. Povećanje sadržaja organskog oblika ugljika u tlu također je usko povezano sa smanjenjem ugljikovog dioksida u atmosferi. Promjena nestabilnih organskih materijala u stabilnije oblike ugljika čini organski ugljik otpornijim na biorazgradnju. Kao takva, pretvorba biomase u biougljen te inkorporacija biougljena u tlo koristi se za sekvestraciju ugljika, poboljšanje plodnost tla i neutralizaciju antropogene emisije ugljikovog dioksida (Lehmann 2007.; Sohi i sur., 2010.; Hass i sur., 2012.; Akhtar i sur., 2014.). Dodavanjem biougljena u tlo povećava se formiranje i stabilizacija mikroagregata tla (Brodowski i sur., 2006.), koji često imaju veću ulogu u pružanju stabilnosti organskom ugljika od makroagregata. (Cheng i sur., 2008.; Hua i sur., 2014.) Stoga dodavanje biougljena u tlo može pomoći u zadržavanju organskog ugljika unutar agregata tla i smanjiti

razgradnju istog. Zbog toga se sekvestracija ugljika u tlo smatra jednim od glavnih razloga stabilizacije organskog oblika ugljika u tlima gdje je inkorporiran biougljen. Autori Hua i sur., (2014.) i Streubel i sur., (2011.); Uzoma i sur., (2011.a) su izveli dva odvojena pokusa. U njima se pokazalo znatno povećanje organskog ugljika u tlu i poboljšanje strukture agregata tla te kako daljnje povećavanje dodavane količine biogljen u tlo rezultira proporcionalnim rastom organskog ugljika u tlu. Nadalje, sirovina koju biramo za proizvodnju i temperatura u procesu pirolize igraju veliku ulogu u količini stabilnog organskog oblika ugljika u biougljenu. Odabir nižih temperatura u procesu pirolize i biljnog materijala za tvorbu biogljen rezultiraju pozitivno na mineralizaciju prirodnog organskog ugljika u tlu. Prema tome, došlo se do spoznaje kako biougljen potpomaže mineralizaciji organskog ugljika koji se već nalazi u tlu, ali sam proces je još uvijek nije do kraja rasvijetljen. Stoga, daljnja istraživanja trebala bi obratiti pozornost na shvaćanje kojim mehanizmima biougljen regulira mineralizaciju organskog ugljika u tlu i na dinamiku nestabilnog organskog ugljika, što je usko povezano s mikrobiološkom aktivnošću u tlu, rastom i razvojem biljke i efektivnosti sekvestracije ugljika (Ok i sur., 2016.).

7.2. Povezanost biogljen i biogenih elemenata te njegov utjecaj na pristupačnost dušik u tlu

Za biljku je nužno da u tlu postoje određene količine hranjivih tvari odnosno esencijalnih elemenata za njezin nesmetan rast i razvoj. Također, vrlo je bitno da ti elementi budu u tlu u dovoljnim količinama i u biljci pristupačnom obliku (Slika 9.) kako bi ih biljka mogla korijenovim sustavom usvojiti iz tla. Svi ti biogeni elementi su jednako odgovorni za pravilno odvijanje fenofaza pojedine biljke. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.)

Zelenom revolucijom koja je donijela intenzivnu poljoprivredu, unošene su se velike količine dušičnih gnojiva u tlo. Zbog neodgovornog rukovanja dušičnim gnojivima u prošlosti i danas, trpimo posljedice u vidu ispiranja dušičnih spojeva u podzemne vode, prevelike količine dušika u prehrambenim namirnicama te isparavanje dušika u atmosferu gdje se tvorbom dušičnih spojeva pospješuje „efekt staklenika“. Takva poljoprivredna praksa se pokušava izbaciti/smanjiti i obrazovati poljoprivrednike kako ne bi došlo do još većih gubitaka. Lehmann, (2007.) navodi kako inkorporacija biogljen u tlo može biti beneficijalna za okoliš i biljnu proizvodnju. Studije su pokazale kako se inkorporacijom biogljen u tlo izrazito povećava koncentracija uz „zadržavanje“ dušika u tlu (Zheng i sur., 2012.; Zhao i sur. 2013.), što za sobom povlači smanjenje ispiranja dušika iz tla i manje korištenje dušičnih gnojiva (Guerena i sur., 2013). Štoviše, rast mikrobiološke faune

unaprjeđuje potpunu denitrifikaciju nitrata do amonijevog iona, što potencijalno može biti pojačano dodatkom biogljenata u tlo čime se smanjuje ispiranje dušika iz tla i isparavanje u atmosferu (Lehmann i sur., 2003.; Novak i sur., 2009.; Laird i sur., 2010.; Anderson i sur., 2011.; Dempster i sur., 2012.).

Element	Simbol	Raspoloživi oblik
Ugljik	C	CO ₂
Vodik	H	H ₂ O
Kisik	O	O ₂
Dušik	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
Fosfor	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
Kalij	K	K ⁺
Kalcij	Ca	Ca ²⁺
Magnezij	Mg	Mg ²⁺
Sumpor	S	SO ₄ ²⁻ , SO ₃ ²⁻
Bor	B	BO ₃ ³⁻ , H ₃ BO ₃
Klor	Cl	Cl ⁻
Bakar	Cu	Cu ²⁺
Željezo	Fe	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
Mangan	Mn	Mn ²⁺
Molibden	Mo	MoO ₄ ²⁻
Cink	Zn	Zn ²⁺
Nikal	Ni	Ni ²⁺

Slika 9. Prikaz oblika biogenih elementa koje biljka može usvojiti

(Izvor: Praktikum za ishranu bilja, 2014.)

Posebnu ulogu u utjecaju biogljenata na dušik svakako imaju dvije ključne stvari: izbor sirovine za biogljen i temperatura pirolize. Sirovine biljnog podrijetla imaju manje količine dušika od sirovina životinjskog podrijetla, ali imaju širi C/N odnos. Generalno, dodavanjem biogljenata u tlo povećava se C/N odnos. Povećanjem C/N odnosa smanjuje se neto mineralizacija N u tlu i povećava imobilizacija.

Međutim, zanimljivija opcija bi bila mješavina biljne i životinjske sirovine, gdje bi se iskoristio potencijal većeg udjela N u biogljenatu životinjskog podrijetla te značajno veće zadržavanje N u tlu biogljenata biljnog podrijetla. Biogljen proizveden na visokim

temperaturama (brza piroliza) ima veću stopu mineralizacije N i slabiju imobilizaciju N nego biougljen dobiven na nižim temperaturama (spora piroliza).

Stoga, biougljen dobiven sporom pirolizom smanjuje ispiranja dušika iz tla u podzemne vode te povećava retenciju dušika u tlu, u području korijena biljke. Za to je svakako zaslužna poroznost i veća aktivna površina biougljena dobivenog sporom pirolizom.

Utjecaj biougljena na kruženje dušika u prirodi također može biti povezano s veličinom čestica biougljena koji se unosi u tlo, količinom unesenog biougljena i raspodjelom biougljena po zemljištu. Inkorporacija biougljena u tlo može spriječiti povećati nitrifikaciju u ovisnosti o vrsti dušičnog gnojiva koje se primjenjuje. (Zheng i sur., 2013.) Druga istraživanja pokazuju kako na tlo gdje se manje koriste dušična gnojiva, inkorporacija biougljena nema efekta na ukupno ispiranje dušika iz tla, međutim, kod većih doza dušika ispiranje je smanjeno u odnosu na tlo bez dodatka biougljena. (Guerena i sur., 2013.) Isto tako, biougljen nema efekta na smanjenje NO_3^- , NO_4^- ili dušikovog oksida (N_2O) u tlima gdje se nisu koristila gnojiva, ali smanjuje ukupno ispiranje NO_3^- i emisiju N_2O . (Zheng i sur., 2012.)

Treba napomenuti kako dodavanjem biougljena u tlo efekt na ispiranje NH_4^+ iz tla ovisi još i o veličini čestica biougljena dodanog u tlo, uz jače ispiranje NH_4^+ s manjim česticama ($<250\mu\text{m}$). (Zheng i sur., 2012.) Ove razlike u utjecaju biougljena na ispiranje dušika iz tla vjerojatno su posljedica različitog učinka biougljena na potencijal pretvorbe dušika i veliki nesklad u kapacitetu adsorpcije kod različitih vrsta biougljena. (Zhao i sur., 2013.)

7.2.1. Biougljen i njegov utjecaj pristupačnost na fosfor i kalij u tlu

Kalij i fosfor su jedni od ključnih elemenata za normalno funkcioniranje biljnog organizma. Njih biljka kao i dušika treba u velikim količinama. Ukupan sadržaj kalija u tlima prilično je visok te je u prosjeku 0.2-3.0 % što za oranični sloj do 20 cm dubine iznosi 10 i 50 t/ha. Viši sadržaj kalija imaju teška, glinasta tla, dok su organske rezerve kalija vrlo male. Zbog toga je kalij koji je vezan za adsorpcijski kompleks tla najbitniji za ishranu bilja. Kod fosfora je nešto kompliciranija situacija. Većina poljoprivrednih tala sadrže između 40 i 80 % anorganski vezanog i 20-60 % organski vezanog fosfora. Oba oblika dijele se u više grupa koje obuhvaćaju prilično raznolike spojeve fosfora. Podjela se temelji na topljivosti tih spojeva u različitim otapalima. Anorganski oblici obuhvaćaju niz kemijski raznoliko topivih, stoga i biljkama različito raspoloživih fosfornih spojeva. Postoje vodotopivi oblici (najmanje zastupljeni i lako se prelaze u teže topive spojeve), fosfor topiv u kiselina (slabe kiseline

npr. limunska kiselina), fosfor topiv u lužinama i teško topivi fosfor. Za ishranu bilja je svakako najvažniji vodotopivi fosfor jer ga biljka najlakše može usvajati. Organski fosfor tla akumulira se pretežito nakon razgradnje biljnih ostataka. Sadržaj organske frakcije fosfora značajno ovisi o tipu tla, a njezino frakcioniranje može se izvesti u kiselinama i lužinama slično anorganskom fosforu tla. (Vukadinović i Vukadinović, 2011.) Inkorporacijom biougljena povećava se pristupačnost fosfora i kalija u tlu; povećanja su u korelaciji sa količinom primijenjenog biougljena. Dva su moguća objašnjenja za povećanje dostupnog fosfora u tlu nakon dodavanja biougljena: (1) visok sadržaj fosfora u primijenjenom biougljenu i (2) povećanje kationskog izmjenjivačkog kapaciteta (KIK) i smanjenje topivog Al u kiselim tlima kao rezultat aplikacije biougljena, što rezultira većom raspoloživosti fosfora u tlu. (Hass i sur., 2012.; Guo i sur. 2014.)

Utjecaj primjene biougljena na topivi fosfor u tlu varira ovisno o vrsti sirovine i svojstvima tla. Autor Laird i sur., (2010.a) je opazio znatno smanjenje ukupnog ispiranja fosfora povećanim dodavanjem biougljena dobivenog od stajskog gnoja pomiješanog s drvetom. Kada se aplicira biougljen dobiven od drvenih ostataka na kisela, slabo plodna tla, ispiranje kalija iz tla se znatno povećava a ispiranje fosfora se znatno smanjuje na dubini od 0.6 m. Ispiranje oba elementa se značajno smanjuje na dubini 1.2 m, što inicira da dubina uzimanja uzoraka također utječe na djelovanje biougljena prema kaliju i fosforu (Major i sur., 2012.). Uz to, utjecaj biougljena na retenciju i oslobađanje fosfora ovisi o pH vrijednosti tla. Inkorporacija biougljena značajno smanjuje sorpciju fosfora i povećava pristupačnost u kiselim tlima, ali povećava sorpciju fosfora i smanjuje pristupačnost u kalciziranim tlima (Chintala i sur., 2014.). Stoga, utjecaj dodavanja biougljena na koncentraciju fosfora i kalija je usko povezana sa sadržajem fosfora i kalija u samom biougljenu i njihovoj dostupnosti u tlu. Povećanje sorpcije i smanjenje ispiranja fosfora i kalija vodi ka većoj retenciji fosfora i kalija i poboljšanju plodnosti tla.

7.2.2. Utjecaj biougljena na pristupačnost ostalih hranjivih tvari te toksičnih elemenata u tlu

Značajan utjecaj biougljena je i na druge biogene elemente koji se nalaze u sustavu tla. Iako nisu prinosotvorni elementi kao dušik, i dalje imaju ključnu ulogu u mnogim mehanizmima funkcioniranja biljke kao što su neki biokemijski procesi, tvorba proteina, enzimatske reakcije, i tako dalje. Inkorporacijom biougljena u tlo pozitivno utječe na raspoloživost Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, promjenom fizikalnih i kemijskih procesa u tlu. Za to je zaslužna velika aktivna površina biougljena, njegova porozna struktura,. Također, inkorporacijom

biougljena u sustav tla potencijalno se može smanjiti raspoloživost teških metala kroz procese adsorpcije teških metala na svoju površinu i precipitacije. (Zhang i sur., 2013.; Lu i sur., 2014.). U dva odvojena istraživanja znanstvenici su primijetili smanjenje toksičnosti teških metala Zn i Cu dodavanjem biougljena u tlo. (Lu i sur., 2014.; Beesley i sur., 2010.)

No, znanstvenici i dalje dolaze do različitih rezultata u istraživanjima jer postoje mnogi faktori koji utječu na kakvoću biougljena i njegovu primjenu, kao temperatura pirolize, izbor sirovine, način aplikacije, veličina čestica, poroznost, sposobnost izmjene kationa, itd. Primjerice, u jednom pokusu zapažen je skoro nepromijenjen efekt na izmjenjivi Ca i Mg u tlu, (Lehmann i sur., (2003.), a u drugom kako je znatno porasla koncentracija istih u tlu (Laird i sur., 2010.a).

Kao što je ranije navedeno, uz sirovinu ključna je temperatura na kojoj se odvija proces pirolize te količina i način aplikacije. S naglaskom na temperaturu pirolize istraživanja pokazuju kako inkorporacijom biougljena dobivenog između 350°C i 700°C pokazuje povećanje raspoloživosti esencijalnih elemenata za biljku i smanjenje koncentracije toksičnih elemenata te smanjenje ispiranja nekih od esencijalnih elemenata. (Hass i sur., 2012.; Ippolito i sur., 2012.) Stabilizacija teških metala u tlu uvelike ovisi o odnosu količine funkcionalnih grupa koje sadrže kisik (posebno karboksilne) naprema kompleksnih iona metala. (Uchimiya i sur., 2012.) Zbog nastanka biougljena na nižim temperaturama s više površinskih funkcionalnih grupa, stabilizacija teških metala [(Pb(II), Cu(II), Zn(II))] u sustavu tla smanjena je u ovisnosti o temperaturi pirolize (Uchimiya i sur., 2011.)

7.3. Povezanost primjene biougljena s pH vrijednosti tla

Vrijednost pH je vrlo promjenjiva zbog neizbježnog kruženja tvari u prirodi, no dolazi i do promjene njegove vrijednosti uslijed antropogenog utjecaja dodavanjem različitih hraniva u tlo, pesticida te kondicionera tla. Izbor sirovine i temperatura procesa pirolize dvije su ključne stvari u određivanju efekta koje biougljen ima na svojstva tla, pa tako i pH vrijednost tla.

Autori Streubel i sur., (2011.), primjerice, opazili su veći rast pH vrijednosti u tlu inkorporacijom biougljena dobivenog od travnatih sirovina, nego biougljena dobivenog od drvenih sirovina. Što se tiče temperature pirolize biougljen proizveden na većim temperaturama generalno ima i veću pH vrijednost od onoga proizvedenog na nižim temperaturama. Autori Yuan i Xu (2011.) uvidjeli su pozitivnu korelaciju pH vrijednosti

biougljena i pH vrijednosti tla koje je tretirano biougljenom te kako bi alkalnost biougljena mogla biti ključni faktor za kontrolu kalcizacije kiselih tala.

Isto tako, pH vrijednost tla imati će utjecaj na to kakav će efekt inkorporacija biougljena imati na promjenu pH tla. Kada se biougljen aplicira u kiselu tla, pH vrijednost tla može biti značajno povećana s povećanom inkorporacijom biougljena. (Uzoma i sur., 2011.b; Jien i Wang, 2013.). Međutim, malo je vjerojatno da će inkorporacija biougljena pozitivno utjecati na biljku ako je $pH > 8$, što može privremeno nepovoljno utjecati na pristupačnost elemenata u tlu.

Postoje i istraživanja koja ukazuju na obrnutu reakciju. Nakon dvije godine aplikacije biougljena na kiselim tlima došlo je do smanjenja pH vrijednost tla. (Gaskin i sur., 2010.) Autori Prommer i sur., (2014.) ističu kako je efekt biougljena dobiven od drvne mase na pH tla minimalan, odnosno dolazi do smanjenja pH vrijednosti tla (pH 7.5 na 7.4) i to vjerojatno zbog više karboksilnih grupa nastalih oksidacijom na površini biougljena kroz vrijeme.

7.4. Utjecaj biougljena na kationski izmjenjivački kapacitet (KIK) u tlu

Kationski izmjenjivački kapacitet je ukupna količina izmjenjivih kationa koje tlo može adsorbirati. Kationski izmjenjivački kapacitet i specifična površina indirektno mjere kapacitet tla za zadržavanje vode, hranjivih tvari i toksičnih tvari. (Laird i sur., 2010.a) Dodavanjem biougljena u tlo se uočilo povećanje KIK-a. Za primjer, u ilovastim tlima u Americi dodani biougljen povećao je KIK u tlu za 20%. (Laird i sur., 2010.a) Autori Chintala i sur., (2014.) primijetili su povećanje KIK-a pojačanom aplikacijom biougljena,. Međutim, dodavanjem biougljena nije se povećao KIK u alkalnim tlima. (Zhang i sur., 2013.b) U ovisnosti od sirovine, biougljen može utjecati i na neznatno smanjenje KIK-a u tlu. Nadalje, KIK je u pozitivnoj korelaciji s pH vrijednosti tla. (Cheng i sur., 2008.) Isto kao i pH vrijednost tla, promjene u KIK-u se smanjuju što je biougljen dulje apliciran u tlu, zbog oksidacije na njegovoj površini (Cheng i sur., 2008.; Zimmerman i sur., 2011).

7.5. Utjecaj biougljena na sekvestraciju ugljika u tlu

Sekvestracija ugljika je pojam koji označava unos i skladištenje ugljika. Jedan od najznačajnijih izazova za održivo korištenje agroekosustva je povećanje sekvestracije ugljika koje u pozitivnoj korelaciji s kvalitetom tla i biljnom proizvodnjom. (Lal, 2004.) Eksponencijalnim rastom poljoprivredne proizvodnje dolazi do velikih gubitaka ugljika iz tla. Uz to, krčenjem šuma i uništavanjem prirodnih biljnih staništa, stalnom obradom tla i korištenje biljnih ostataka za neke druge svrhe, a ne vraćanje u tlo, gube se velike količine uskladištenog ugljika u tlu.

Današnja strategija upravljanja tлом (reducirana obrada tla, unošenje biljnih ostataka u tlo, očuvanje plodnosti tla, itd.) i sekvestracijom ugljika preporuča povećanje uskladišteno ugljika reduciranom obradom tla, uzgoj pokrovnih usjeva (primjerice djetelina), dodavanje stajskog gnoja, vraćanje biljnih ostataka u tlo i tako dalje. (Lal, 2004.) Međutim, trebalo bi preispitati ovakve prakse povećanja sekvestracije ugljika u tlu organskim poboljšivačima jer se takav ugljik brzo razgrađuje u tlu te se kao ugljikov dioksid vraća u atmosferu što rezultira nikakvim pomakom u razini uskladištenog ugljika u tlu.

Sirovina za biougljena	Uvjeti proizvodnje	Regije	Sadržaj ugljika u tlu (g/kg)	Količina ugljika unesenog biougljenom (Mg/ha)	Stopa stabilizacije dodanog ugljika(%)	Povećanje sadržaja ugljika(%)	Autori
Ljuske riže	Hrpe ljuski su grijane dok nisu pocrnile	Filipini (tropska)	14.9	16.4	100	93	Haefele i sur., (2011.)
			29.6		87	35	
		Tajland	5.5		3	8	
Slama	350-550°C, vertikalna peć	Kina (suptropska)	23.3	4.7	81	11	Zhang i sur., (2010.)
				9.4	93	25	
				18.8	100	55	
Slama	400°C, spora piroliza	Kina (suptropska)	18.3	7.6	84	19	Xie i sur., (2013.)
			6.4		100	70	
Ostatci orezivanja voćaka	500°C, povratne peći	Italija (mediteranska i umjerena)	11.8	12.8	69	15	Ameloot i sur., (2014.)
			6.6		25	74	
Bukva, ljeska, hrast, breza	500°C, peć na ugljen		14.3	16.2	8	2	

Slika 10. Rezultati primjene biougljena na sekvestraciju ugljika

(Izvor: Ok i sur., 2016.)

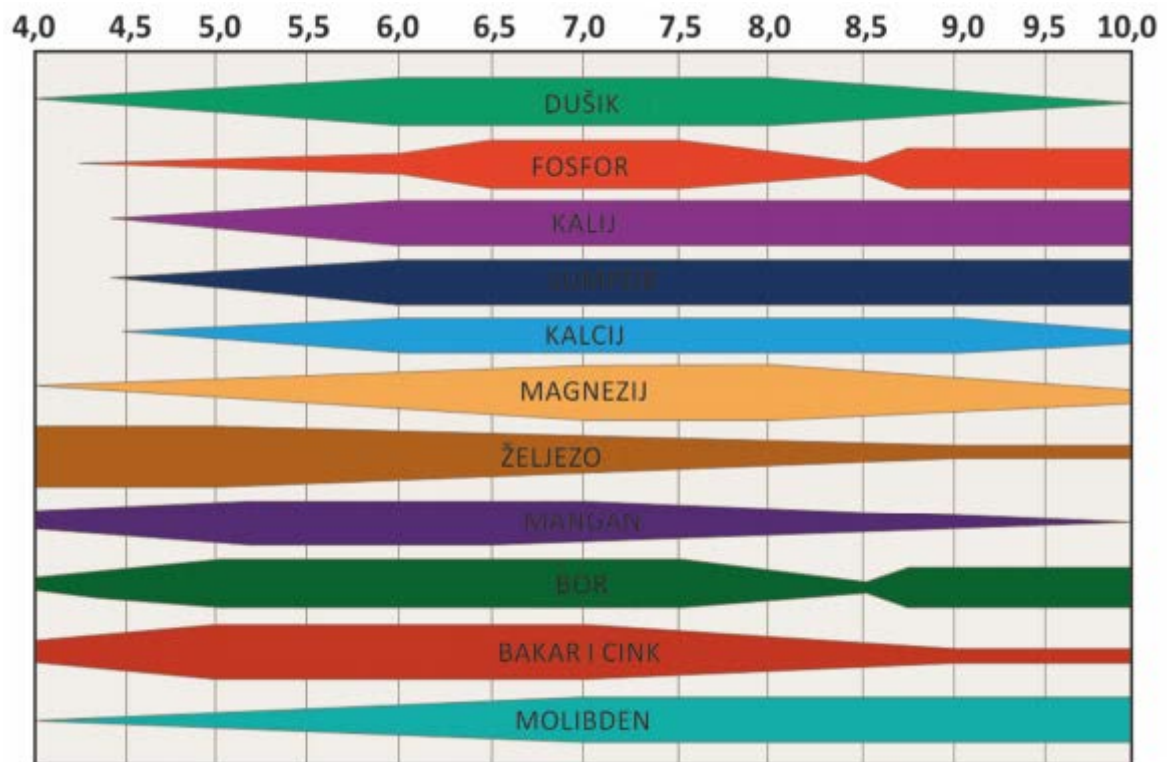
Prema tome, proizvodnja biougljena kao poboljšivača tla predložena je za tehnologiju koje će obnoviti zalihe organskog ugljika u tlu. Biougljen, je idealan poboljšivač za povećanje sekvestracije ugljika u tlu. Stabilnost ugljika unesenog biougljenom, zajedno s velikom aktivnom površinom, visoko poroznom strukturom i visokim KIK-om, čine ga jakim kandidatom za povećanje sekvestracije ugljika u tlu (Keiluweit i sur., 2010.; Zhang i sur., 2015.) Unošenje biougljena u poljoprivredna tla poslužit će za povećanje sekvestracije ugljika na dulje vremensko razdoblje i suprotstavljanju klimatskim promjenama smanjenjem stakleničkih plinova u atmosferi. Potencijal povećanja sekvestracije ugljika inkorporacijom biougljena u tlo uvelike varira ovisno o kemijski svojstvima tla i biougljena, količini unesenog biougljena, raspodjeli biougljena na poljoprivrednoj površini te klimatskim čimbenicima (Slika 10.). Istraživanja (Haefele i sur., 2011., Zhang i sur., 2010., Xie i sur., 2013 i Ameloot i sur., 2014.) su pokazala da se sekvestracija ugljika može povećati do 93 % u tropskim i umjerenim regijama Azije i Sjeverne Amerike aplikacijom biougljena dobivenog od rižinih ljuski, slame i kukuruzovine na temperaturama od 350°C do 600°C pri unesenoj količini od 10 do 40 t/ha. (Slika 10.)

7.6. Utjecaj biougljena na rast i razvoj biljke

Primjenom biougljena u tlima, mijenjaju se njegova svojstva. Budući da je tlo glavni supstrat u kojem se uzgajaju biljke, biougljen indirektno utječe i na rast i razvoj biljke. Biljci su za njezin razvoj potrebni određeni uvijete koje joj tlo mora osigurati.

Primjenom biougljena u tlima, mijenjaju se njegova svojstva. Budući da je tlo glavni supstrat u kojem se uzgajaju biljke, biougljen indirektno utječe i na rast i razvoj biljke. Biljci su za njezin razvoj potrebni određeni uvijete koje joj tlo mora osigurati. Pošto se iz dana u dan tlo degradira raznim antropogenim utjecajima poput nepotrebne obrade tla, nepravilnog korištenje pesticida, prekomjernog dodavanja raznih gnojiva, dolazi do smanjenja kakvoće tla te često i do ispiranja hranjivih tvari u niže slojeve tla i podzemne vode. Obrada tla s puno prohoda teškim poljoprivrednim strojevima zbija tlo i istiskuje zrak iz tla te ga čini vrlo teškim za daljinu obradu ali isto tako remeti se i povoljni odnos strukturnih agregata potrebnih za pravilan rast biljke i prorastanje biljnog korijena. Za biljku je potrebno rahlo tlo s pravilnim odnosom pora u kojima se nalazi zrak i voda, optimalna količina hraniva u zoni korijenova sustava te određeni raspoloživi oblik koji biljka svojim korijenovim sustavom može usvojiti s adsorpcijskog kompleksa tla. Također za biljku je potrebna i optimalna reakcija tla (6,5- 7) u okolini u kojoj se nalazi zbog bolje pristupačnosti i korištenja hraniva. (Slika 11.)

Sve navedeno su svojstva koje tlo mora ispuniti kako bi sustav biljnog uzgoja bio u ravnoteži. Međutim, danas je sve više tala degradirana, a zbog svojih pozitivnih svojstava nameće se da biougljen na biljku utječe u najvećoj mjeri indirektno poboljšavanjem svojstava tla. Primjerice, nekoliko istraživanja pripisuje pozitivnu reakciju biljaka na indirektnu utjecaje



Slika 11. Raspoloživost hraniva u tlu pri različitoj pH vrijednosti

(Izvor: Praktikum iz ishrane bilja, 2014.)

biougljena, kao npr. poboljšanja pristupačnosti hraniva za biljku, nego biougljena kao direktnog opskrbljivača hranjivim tvarima. (Iswaran i sur., 1980.; Hoshi, 2001.) Inkorporacijom biougljena u tlo povećava se pristupačnost elemenata biljci zbog čega se smanjuje potreba za korištenjem gnojiva i povećanje iskoristivosti primijenjenog gnojiva (veći prinos po jedinici primijenjenog gnojiva) te se to može smatrati indirektnim pozitivnim utjecajem biougljena na biljku.

S druge strane, u istraživanjima su zamijećeni drugi pozitivni efekti biougljena na biljku. Biougljen pozitivno utječe na neutralizaciju toksina (Wardle i sur., 1998.); poboljšanje fizikalnih svojstava tla (npr. povećan kapacitet zadržavanje vode) (Iswaran i sur., 1980.) i smanjenje zbijenosti tla (Chan i sur., 2007.a), a sve navedeno ima direktni utjecaj na razvoj biljke.

8. ZAKLJUČAK

Biougljen je u svijetu prepoznat kao poboljšivač svojstava tla i važan je za održivu poljoprivrednu proizvodnju. Svojim svojstvima podiže kakvoću tla koje se koristi kao nezamjenjivi supstrat za proizvodnju hrane. S naglaskom na kemijska svojstva tla, podiže pH- vrijednost kiselih tala te tako omogućava bolju opskrbljenost biljke esencijalnim hranjivim elementima. Dodavanjem biougljena u tlo podiže se vrijednost kationskog izmjenjivačkog kapaciteta koji povećava zadržavanje hraniva i smanjuje ispiranja hraniva iz rizosfere biljke te tako biljke lakše mogu usvojiti hraniva. Poroznost i velikom aktivna površina biougljena zadržavaju vodu, hraniva i toksične tvari na svojoj površini te tako smanjuje negativan utjecaj dodavanjem gnojiva i pesticida u tlo. Zasigurno je najbitnije reći kako biougljen zbog velikog sadržaja ugljika ima presudnu ulogu sekvestracije ugljika u tlu. Usljed toga, ne dolazi do gubljenja CO₂ iz tla te tako biougljen ima ključnu ulogu u smanjenju stakleničkih plinova uzrokovanih poljoprivrednom proizvodnjom. Sve navedene značajke naravno ovise o kakvoći i procesu proizvodnje biougljena. Zbog toga buduća istraživanja se trebaju bazirati na pronalaženju idealne sirovine za proizvodnju biougljena i idealne temperature pirolize kako bi se svojstva biougljena poboljšala i povećala njegova iskoristivost. Uz to, potrebno je daljnje istraživanje mogućih negativnih utjecaja biougljena na svojstva tla, pa tako i na biljku.

9. POPIS LITERATURE

1. Akhtar, S.S., Li, G.T., Andersen, M.N., Liu, F.L. (2014.): Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agric. Water Manage.* 138: 37–44.
2. Anderson, C.R., Condon, L.M., Clough, T.J., Fiers, M., Stewart, A., Hill, R.A., Sherlock, R.R. (2011.): Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia.* 54: 309–320.
3. Beesley, L., Moreno-Jiménez, E., & Gomez-Eyles, J. L. (2010): Effects of biochar and greenwaste compost amendments on mobility, bioavailability and toxicity of inorganic and organic contaminants in a multi-element polluted soil. *Environmental pollution*, 158(6), 2282-2287.
4. Brodowski, S., John, B., Flessa, H., Amelung, W. (2006.): Aggregate-occluded black carbon in soil. *Eur. J. Soil Sci.* 57: 539–546.
5. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. (2007.a): ‘Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment’, *Australian Journal of Soil Research*, 45, 629–634
6. Cheng, C.H., Lehmann, J., Engelhard, M.H. (2008.): Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 72: 1598–1610.
7. Chintala, R., Schumacher, T.E., McDonald, L.M., Clay, D.E., Malo, D.D., Papiernik, S.K., Clay, S.A., Julson, J.L. (2014.): Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. *Clean-Soil Air Water.* 42: 626–634.
8. Dempster, D.N., Gleeson, D.B., Solaiman, Z.M., Jones, D.L., Murphy, D.V. (2012.): Decreased soil microbial biomass and nitrogen mineralisation with Eucalyptus biochar addition to a coarse textured soil. *Plant Soil.* 354: 311–324.
9. Đurđević, B., Jug, I., Jug, D., Vukadinović, V., Stipešević, B., Brozović, B. (2017.): Primjena biougljena kao kondicionera tla(korak ka održivoj poljoprivredi), 55.
10. Fidel, R.B. (2012): Evaluation and Implementation of Methods for Quantifying Organic and Inorganic Components of Biochar Alkalinity. Iowa State University, Ames, Iowa.
11. Fuertes, A.B., Arbestain, M.C., Sevilla, M., Macia-Agullo, J.A., Fiol, S., Lopez, R., Smernik, R.J., Aitkenhead, W.P., Arce, F., Macias, F. (2010.): Chemical and

- structural properties of carbonaceous products obtained by pyrolysis and hydrothermal carbonisation of corn stover. *Aust. J. Soil Res.* 48, 618–626.
12. Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K. C., Lee, R. D., Morris, L. A., & Fisher, D. S. (2010.): Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy journal*, 102(2), 623-633.
 13. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W. (2002.): Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. Springer, Berlin, 12.
 14. Guo, Y.J., Tang, H., Li, G.D., Xie, D.T. (2014.): Effects of cow dung biochar amendment on adsorption and leaching of nutrient from an acid yellow soil irrigated with biogas slurry. *Water Air Soil Pollut.* 225: 1820.
 15. Gueren, D., Lehmann, J., Hanley, K., Enders, A., Hyland, C., Riha, S. (2013.): Nitrogen dynamics following field application of biochar in a temperate North American maize-based production system. *Plant Soil.* 365: 239–254.
 16. Hass, A., Gonzalez, J.M., Lima, I.M., Godwin, H.W., Halvorson, J.J., Boyer, D.G. (2012.): Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid Appalachian soil. *J. Environ. Qual.* 41: 1096–1106.
 17. Hoshi, T. (2001.): ‘Growth promotion of tea trees by putting bamboo charcoal in soil’, in *Proceedings of 2001 International Conference on O-cha (Tea) Culture and Science*, Tokyo, Japan, 147–150
 18. Hua, L., Lu, Z., Ma, H., Jin, S. (2014.): Effect of biochar on carbon dioxide release, organic carbon accumulation, and aggregation of soil. *Environ. Prog. Sustain. Energy.* 33: 941–946.
 19. Ippolito, J. A., Novak, J., Busscher, W. J., Ahmedna, M., Rehrig, D., & Watts, D. W. (2012.): Switchgrass biochar effects two aridisols. *Journal of environmental quality*, 41(4), 1123-1130.
 20. Iswaran, V., Jauhri, K.S., Sen, A. (1980.): ‘Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moog, soybean and pea’, *Soil Biology and Biochemistry*, 12, 191–192
 21. Jien, S. H., & Wang, C.S. (2013.): Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*, 110, 225-233.
 22. Joseph, S.D., Camps-Arbestain, M., Lin, Y., Munroe, P., Chia, C.H., Hook, J., Van Zwieten, L., i surr. (2010.): An investigation into the reactions of biochar in soil. *Aust. J. Soil Res.* 48, 501–515.

23. Keiluweit, M., Nico, P.S., Johnson, M., Kleber, M. (2010.): Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44, 1247–1253.
24. Khodadad, C.L.M., Zimmerman, A.R., Green, S.J., Uthandi, S., Foster, J.S. (2011.): Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments. *Soil Biol. Biochem.* 43, 385–392.
25. Laird, D., Fleming, P., Wang, B.Q., Horton, R., Karlen, D. (2010.): Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158: 436–442.
26. Laird, D.A., Fleming, P., Davis, D.D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. (2010.a). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3-4), 443-449.
27. Lal, R. (2004.): Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
28. Lehmann, J., da Silva, J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B. (2003.): Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*. 249: 343–357.
29. Lehmann, J., Joseph, S. (2009.): *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, 438., An Introduction: 1.
30. Lehmann, J., Joseph, S. (2009.): *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*, 438., Biochar Production Technology, Brown, R., 139.-140.
31. Lehmann, J., Joseph, S. (2009.) *Biochar for environmental management: Science and technology*. Sterling, VA: Earthscan.
32. Lehmann, J. (2007.): Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5: 381–387.
33. Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D., Wang, H. (2014): Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to *Sedum plumbizincicola*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124-132.
34. Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2012.): Nutrient leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. *Journal of environmental quality*, 1076-1086
35. Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., Niandou, M.A.S. (2009.): Impact of biochar amendment on fertility of a Southeastern Coastal Plain soil. *Soil Sci.* 174: 105–112.

36. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, 432. Chapter 9: Biochar Effects on Soil Fertility and Nutrient Cycling, Cai, Y., Chang, S.X., 252.-255.
37. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, 432. Chapter 1: Definitions and Fundamentals of Biochar, 4.
38. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, 432. Chapter 1: Definitions and Fundamentals of Biochar, 4.- 6.
39. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, 432. Chapter 3: Biochar Production Technology, Uchimiya, S.M., 56.
40. Ok, Y.S., M.Uchimiya, S., X.Chang, S., Bolan, N. (2016.): Biochar: Production, Characterization, and Applications. CRC Press, 432. Chapter 5 Biochar for Inorganic Contaminant Management in Soil, Chapter 4: Chemical, Physical, and Surface Characterization of Biochar, Fungai, N.D., Mukome i Sanjai, Parikh, J., 69.
41. Prommer, J., Wanek, W., Hofhansl, F., Trojan, D., Offre, P., Urich, T., Hood-Nowotny, R. C. (2014.): Biochar decelerates soil organic nitrogen cycling but stimulates soil nitrification in a temperate arable field trial. *PloS one*, 9(1), e86388.
42. Schmidt M.W.I., Skjemstad, J.O., Czimczik, C.I., Glaser, B., Prentice, K.M., Gelinas, Y., Kuhlbusch, T.A.J. (2001.): Comparative analysis of black carbon in soils. *Global Biogeochemical Cycles* 15: pp. 163–167
43. Shackley, S., Carter, S., Knowles, T. (2012.): Sustainable gasification-biochar systems? A case study of rice-husk gasification in Cambodia, part 1: Context, chemical properties, environmental and health and safety issues. *Energy Policy* 42: 49–58.
44. Smith, N.J.H. (1980.): Anthrosols and human carrying capacity in Amazonia.
45. Sohi, S.P., Krull, E., Lopez-Capel, E., Bol., R. (2010.): A review of biochar and its use and function in soil. *Adv. Agron.* 105: 47–82.
46. Song, G., Shen, L., Xiao, J. (2011.): Estimating specific chemical exergy of biomass from basic analysis. *Data. Ind. Eng. Chem. Res.* 50, 9758–9766.
47. Spokas, K.A. (2010.): Review of the stability of biochar in soils: Predictability of O:C molar ratios. *Carbon Management* 1:289–303. DOI: 10.4155/cmt.10.32.

48. Streubel, J.D., Collins, H.P., Garcia-Perez, M., Tarara, J., Granatstein, D., Kruger, C.E. (2011.): Influence of contrasting biochar types on five soils at increasing rates of application. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 1402–1413.
49. Šegon V., Šimek T., Oradini A., Marchetti M. (2014.): Priručnik za učinkovito korištenje biomase, 6.-7.
50. Uchimiya, M., Bannon, D.I., & Wartelle, L.H. (2012): Retention of heavy metals by carboxyl functional groups of biochars in small arms range soil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(7), 1798-1809.
51. Uchimiya, M., Wartelle, L. H., Klasson, K. T., Fortier, C. A., & Lima, I. M. (2011): Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(6), 2501-2510.
52. Uzoma, K.C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., Nishihara, E. (2011.a): Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manag.* 27: 205–212.
53. Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011.b): Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9(3/4 part 2), 1137-1143.
54. Vassilev, S.V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C. G. (2010.): An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89,913.–933.
55. Vukadinović, V., Vukadinović, V. (2011.): *Ishrana bilja*. Sveučilište J.J. Strossmayera. Poljoprivredni fakultet, Osijek.
56. Wardle, D.A., Zackrisson, O., Nilsson, M.C. (1998) 'The charcoal effect in Boreal forests: Mechanisms and ecological consequences', *Oecologia*, 115, 419–426
57. Yuan, J.H., & Xu, R.K. (2011.): The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil use and management*, 27(1), 110-115.
58. Zhang, H., Voroney, R. P., & Price, G. W. (2015.): Effects of temperature and processing conditions on biochar chemical properties and their influence on soil C and N transformations. *Soil Biology and Biochemistry*, 83, 19-28.
59. Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Huang, H. (2013.): Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(12), 8472-8483.
60. Zhang, A.F., Liu, Y.M., Pan, G.X., Hussain, Q., Li, L.Q., Zheng, J.W., Zhang X.H. (2012.): Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions

- from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant Soil*. 351: 263–275.
61. Zhao, X., Yan, X.Y., Wang, S.Q., Xing, G.X., Zhou, Y. (2013.): Effects of the addition of rice-straw-based biochar on leaching and retention of fertilizer N in highly fertilized cropland soils. *Soil Sci. Plant Nutr*. 59: 771–782.
 62. Zheng, H., Wang, Z.Y., Deng, X., Herbert, S., Xing, B.S. (2013.): Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil. *Geoderma*. 206: 32–39.
 63. Zheng, J.Y., Stewart, C.E., Cotrufo, M.F. (2012.): Biochar and nitrogen fertilizer alters soil nitrogen dynamics and greenhouse gas fluxes from two temperate soils. *J. Environ. Qual*. 41: 1361–1370.
 64. Zimmerman, A.R., Gao, B., & Ahn, M.Y. (2011.): Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil biology and biochemistry*, 43(6), 1169-1179.