

## PLODNOST (PRODUKTIVNOST) TLA

Tlo je vrlo složen sustav građen iz krute, tekuće, plinovite i žive faze. Neprestano se mijenja u prirodnim ciklusima održavajući povoljnu strukturu i oslobađajući hranjive elemente neophodne za život biljaka i mikroorganizama u tlu. Kruta faza sastavljena je iz mineralnog i organskog dijela, podjednake važnosti za biljke. Mineralnu frakciju tla čine *primarni minerali* (~80% krute faze tla) koji su slabo podložni raspadanju i zanemarljive su sposobnosti zadržavanja hraniva i vode te *sekundarni ili glineni minerali* (~20%) koji zajedno s *humusom* (~2%) čine *organomineralni kompleks*, aktivni i najvažniji dio tla. Električni naboj česticama gline i humusa omogućuje zadržavanje hraniva i vode, ali i međusobno povezivanje uz tvorbu prostornih struktura ili *agregata*. Njihova adsorpcijska moć je vrlo visoka zbog izuzetno velike unutarnje površine (1 m<sup>2</sup> površine tla koje sadrži 20% gline, do dubine od 20 cm, ima površinu veću od 25 km<sup>2</sup>) te je struktura tla jedan od najvažnijih pokazatelja plodnosti. Električno polje koloidnih čestica tla omogućuje vezivanje drugih nabijenih čestica (iona i molekula) pa one sprečavaju ispiranje hraniva iz zone korijenskog sustava i zadržavaju vodu neophodnu biljkama i mikroorganizmima.

Nastanak gline je izrazito spor proces, prosječno ~10 kg gline/ha/god. pa njezini gubici (npr. erozijom ili premještanjem u dublje slojeve) mogu biti znatno viši od tvorbe. Najsitnije su čestice tla su glinene koje s humusom i čine aktivni dio tla, dok prah i naročito pijesak maju mali značaj u zadržavanju hraniva, ali znatno utječu na strukturu te vodo-zračni režim tla. Omjer pojedinih frakcija tla kreće se u određenim granicama u kojima tlo predstavlja povoljan supstrat biljne ishrane. Taj gornji, rastresiti dio Zemljine kore, koji je nastao raspadanjem litosfere pod utjecajem klimatskih činitelja i djelovanjem živih organizama, transformiran je u prirodno biljno stanište, supstrat iz koga biljke korijenovim sustavom usvajaju vodu, kisik i sve neophodne mineralne tvari za svoj rast i razvitak.

Plodnost (produktivnost) označava sposobnost tla da biljkama osigura hraniva i vodu. Plodna tla su neutralne (ili blizu neutralne) reakcije, bogata hranivima koje biljke mogu usvojiti, dobrih fizikalno-kemijskih svojstava i ne sadrže štetne tvari. Otuda plodnost tla ovisi o tipu tla, teksturi, vodnom i toplotnom režimu, bioraspoloživost hraniva, sadržaju humusa, biogenosti (mikrobiološko svojstvo) i primjeni agrotehnike (obrada, gnojidba, mogućnost odvodnje viška vode i/ili navodnjavanja i dr.).

### Procjena plodnosti (produktivnosti) tla

Izraz plodnost tla označava njegovu sposobnost osiguranja potrebne hrane biljkama u dovoljnoj količini i pogodnim omjerima te je efektivna plodnost biljnog staništa vrlo složeno svojstvo tla. Najlakše se može definirati preko količine organske tvari koju biljke mogu sintetizirati na nekom prirodnom ili djelimično uređenom staništu tijekom vegetacijskog razdoblja (dio godine kada je rast biljaka moguć). Sve češće se naglašava da takvi poljoprivredni proizvodni biosustav, pored toga što podržava biljnu i animalnu produkciju, mora održavati ili povećavati kakvoću vode i zraka i potpomagati zdravlje i stanovanje ljudi pa je izraz "zdravlje tla" sinonim za plodnost.

Razumljivo je da količina nastale organske tvari neposredno ovisi o biološkim, klimatskim i zemljišnim činiteljima pa se plodnost tla, iako je to njegovo najvažnije svojstvo, ne može apsolutno utvrditi, kao niti zdravlje čovjeka. Stoga uobičajen sustav klasifikacije pogodnosti tala (*bonitet*) uspijeva samo generalno odrediti plodnost tla pa mjera (kvantifikacija) pogodnosti podrazumjeva puno širi pristup te uporabu više ključnih pokazatelja pogodnosti (indikatora ili atributa) biološko-ekološkog, sociološko-ekonomskog i tehničko-tehnološkog karaktera.

Temeljni problem dobre procjene produktivnosti zemljišta je kako iskazati kakvoću tla uvažavajući istovremeno i njegove nedostatke. Zbog toga je ključni atribut potreba biljaka (usjeva) i njeni minimalni zahtjevi (svjetlost i toplina, voda, hraniva i dr.), zatim potrebna razina tehnologije koja ne ugrožavaju mogućnost korištenja tla, posebice kad su moguća dodatna ulaganja. Nadalje, i drugi činitelji mogu biti vrlo značajni, npr. visoka tržišna cijena, otkup proizvoda, mogućnost skladištenja i dr. Stoga kakvoća tla i zahtjevi za njegovim korištenjem moraju biti mjerljivi što nije uvijek lako nitimoguće posve točno utvrditi.

## Hranjivi elementi (hranjive tvari, ili elementi biljne ishrane)

Hranjive tvari (*biogeni* ili *esencijalni elementi*) čini tek 17 kemijskih elemenata bez kojih biljke ne mogu opstati, dok one pak usvajaju znatno veći broj kemijskih elemenata. Budući da biljke ne zahtijevaju jednake količine hranjivih elemenata, uobičajeno je da se dalje dijele na:

- *makroelemente* (C=ugljik, O=kisik, H=vodik, N=dušik, P=fosfor, K=kalij, S=sumpor, Ca=kalcij, Mg=magnezij i Fe=željezo),
- *mikroelemente* (B=bor, Mn=mangan, Zn=cink, Cu=bakar, Mo=molibden, Cl=klor i Ni=nikal),
- *korisne elemente* (Co=kobalt, Na=natrij, Si=silicij, Al=aluminij, Se=selen, V=vanadij, Ti=titan, La=lantan, Ce=cer) i
- *toksične elemente* (Cr=krom, Cd=kadmij, U=uren, Hg=živa, Pb=olovo, As=arsen i dr.)

Unutar *makroelemenata* često se izdvajaju grupa *organogenih elemenata* (C, O i H) koji čine više od 90% žive tvari, dok N, P i S, premda sudjeluju u građi organske tvari, ubrajamo u mineralna hraniva, jer ih biljke pretežito usvajaju iz tla i u mineralnom obliku.

*Korisni (beneficijalni) elementi* pod optimalnim uvjetima rasta biljaka nemaju fiziološku ulogu, ali utjecaj im je to povoljniji što su uvjeti rasta lošiji. Korisni elementi mogu u nekim slučajevima zamijeniti djelomično neke od neophodnih elemenata (npr. natrij može zamjeniti nespecifično kalij). Preostali elementi, a biljke ih mogu sadržavati više od 60, svrstavaju se u *nekorisne* ili pak *toksične*, zavisno od utjecaja na rast i razvitak biljaka.

## Simptomi nedostatka biogenih elemenata

Poznavanje pokretljivosti pojedinih elemenata u biljkama (u oba smjera, *ascendentno*: od korijena prema listu i *descendentno*: od lista prema nižim dijelovima biljke) značajno je kod utvrđivanja *deficijencije* elemenata na temelju pojave *simptoma nedostatka*, ali i za mogućnost njihovog usvajanja listom (*folijarna gnojidba*). Npr., kod simptoma nedostatka nekog elementa u starijem lišću vjerojatno je došlo do njegovog premještanja u mlađe lišće ili plodove, a kad se isti simptom primjećuje na mlađem lišću, tada je jasno da se radi o manjku slabo pokretnog elementa.

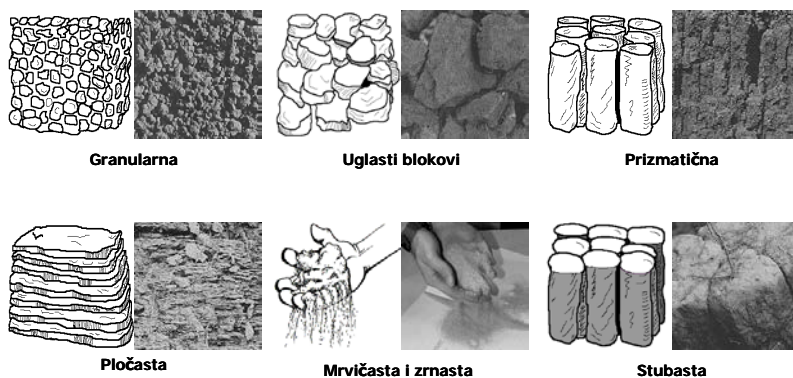
Simptomi nedostatka biogenih elemenata su *kloroze* (svjetložuto, reverzibilno obojenje lišća) i *nekroze* kada dolazi do izumiranja dijelova ili cijelog lista. Pored *primarnog simptoma nedostatka* nekog elementa naknadno se mogu pojaviti i *sekundarni simptomi* koji vizualnu dijagnostiku čine nepouzdanom pa je kemijska analiza nezamjenjiva za utvrđivanje pravog uzroka, posebice kod pojave *multiplih simptoma nedostatka ili suviška* elemenata ishrane. Naime, kod oslabljenih biljaka često dolazi do napada bolesti pa se "maskira" osnovni uzrok pojave simptoma.

Osnovna svojstva tla značajna za ishranu i gnojidbu bilja su: dubina, tekstura i struktura, pH reakcija, sadržaj hraniva, sadržaj humusa, sorpcijska moć, vodni režim i sadržaj štetnih tvari.

## Dubina tla

Poljoprivredna tla moraju imati dovoljnu dubinu *soluma* (tlo iznad matičnog supstrata ili stijene) zbog obrade, sjetve, sadnje, gnojidbe, a porastom dubine

*soluma* povećava se korijenska zona (*rizosfera*) i raste zapremina tla iz kojega se biljke opskrbljuju hranivima i vodom. Kod sjetve ili sadnje korijen se nalazi na nekoj početnoj dubini (<10 cm) pa punu dubinu korijena biljke dostižu sredinom vegetacije (~70% od najveće dubine). Za poljoprivrednu



Slika 1. Izgled strukturnih makroagregata

proizvodnju važnija je *efektivna dubina tla* u kojoj korijen nalazi vodu, kisik i neophodna hraniva uz pomoć korisnih mikroorganizama (*rizoflora*). Raspored i količina biljnih hraniva u tlu mijenja se tijekom vegetacije ovisno o zemljišnim, klimatskim i biljnim činiteljima.

### Tekstura i struktura tla

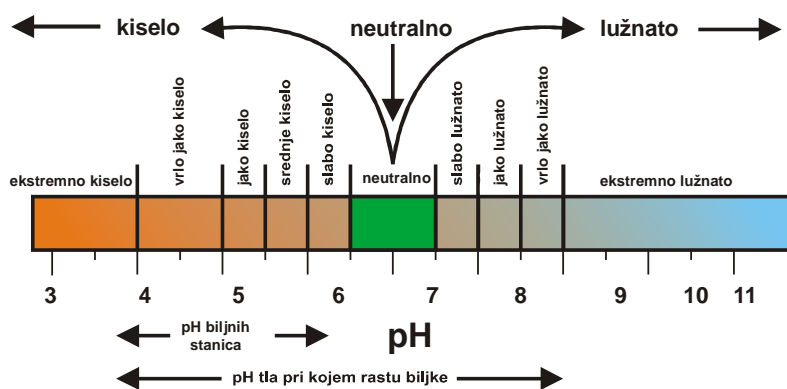
Krutu fazu tla čine međusobno povezane čestice primarnih i sekundarnih minerala različite veličine, pri čemu su pore i/ili kapilare ispunjene vodom i zrakom. Pod *teksturo* se podrazumijeva učešće pojedinih čestica (glina, prah, pijesak, šljunak, skelet) u građi krute faze tla ovisno o njihovoj veličini. *Struktura tla* je pak međusobni prostorni raspored čestica. Ta dva svojstva tla su međusobno čvrsto povezana i predstavljaju vrlo značajan indikator plodnosti tla. Povoljna struktura i tekstura tla znače dobre uvjete za rast korijena, dobru poroznost, odnosno dobru vododrživost i prozračnost tla. Stoga se ta dva svojstva tla s pravom smatraju mjerom dobre procjene potencijalne plodnosti nekog tla.

Veličina čestica tla određuje se *teksturnom* ili *mehaničkom analizom* na temelju koje se čestice tla svrstavaju u tri klase: pijesak (0,02-2,00 mm), prah (0,002-0,02 mm) i glina (<0,002 mm). Povezivanjem pojedinih čestica, uz pomoć organske tvari tla, nastaju tzv. *strukturni mikroagregati* koji se udužuju u *makroagregate*. Tla kod kojih je agregacija mehaničkih elemenata slabo izražena su *nestrukturna* i u tu grupu ulazi većina pjeskovitih, ali i neka teška glinovita tla. *Strukturna tla* imaju *zrnaste* (danas vrlo rijetko), *mrvičaste* ili *sitnogradaste* strukturne agregate (slika 1.). Stabilnost agregata važno je svojstvo tla, a određena je kvalitetom organske tvari koja povezuje mehaničke čestice tla.

Kod nestrukturnih, jako zbijenih ili tala zasićenih vodom, nedostaje kisik potreban za disanje korijena (*anoksija*) i razlaganje organske tvari tla, odnosno mikrobiološku aktivnost. *Anoksija* se događa kada je zraka manje od 10% zapremine tla, a usvajanje vode i hraniva korijeno te rast biljaka prestaje kada je u tlu manje od 4% zraka.

### Sorpcija iona u tlu

Procesi zadržavanja hraniva u tlu u pristupačnom obliku, odnosno *sorpcija*, za razliku od čvrstog vezivanja iona (*kemijska, biološka ili fizička fiksacija*) posve su različite naravi. Električna nabijenost koloidnih čestica zadržava pozitivno nabijene ione (*katione*) pa takva hraniva nisu čvrsto vezana, lako se desorbiraju, zamjenjuju drugima, odnosno zadržavaju oko korijena u lako usvojivom obliku. Negativno nabijeni ioni (*anioni*) ne mogu se tako sorbirati pa se vežu kemijski (ili fizički), a neki se lako ispiru, npr. nitratnim dušikom ili klorom.



Slika 2. Raspon pH vrijednosti tla

Tla s većim sadržajem humusa i gline redovito imaju veći kapacitet sorpcije (KIK) prema lakšim i malo humoznim tlima. Kapacitet sorpcije se može procijeniti empirijski i za neutralna poljoprivredna tla približno iznosi:

$$KIK_{\text{cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}} = 0,6 \times \text{glina \%} + 2,0 \times \text{humus \%}$$

### pH tla

pH je vrlo važno svojstvo tla kojim se izražava stupanj njegove kiselosti ili lužnatosti (slika 2.). Obrada i gnojidba tla ubrzavaju promjene sadržaja elemenata u tlu, posebice lužnatih, pa *ispiranje baza* (najčešće Ca) izaziva promjenu tla prvo u kemijskom i u fizikalnom pogledu. Do ispiranja baza i zakišeljavanja tla započinje kada je količina padalina veća od 630 mm godišnje, što u Hrvatskoj odgovara

prostoru zapadno od Osijeka. Zakišeljavanje tla može izazvati i *industrijska polucija*, posebice *kisele kiše* u širem području velikih energetske postrojenja.

Procesom zakišeljavanja nastaje niz problema jer se u kiselim tlima glina iz oraničnog sloja premješta dublje gdje njeno nakupljanje tvori vodonepropusnu zonu što pogoduje daljnjem zakišeljavanju. U jako kiselim tlima lakopokretljivi ioni vodika, aluminijska i željezna otrovna su za biljke, a blokirano je usvajanje fosfora, smanjena je razgradnja organske tvari, pada sorptivna moć tla, većina mikroelemenata se ubrzano ispire dok raspoloživost drugih hraniva pada. Stoga je značaj pH reakcije tla izuzetan pa se ona obvezatno utvrđuje agrokemijskom analizom jer nizak ili visok pH korespondira s lošom strukturom i slabim proizvodnim svojstvima tla.

### **Organska tvar tla (humus)**

Organsku tvar tla (*humus*) čine ostaci živih organizama koji su više ili manje razloženi i iznova ugrađeni u organske spojeve tla, ali sada posve različitih u odnosu na živu tvar. Krupnije čestice, koje su nepotpuno razložene, predstavljaju inertnu organsku rezervu tla, dok su koloidne čestice (vrlo velike unutarne površine) iznimno aktivne i označene kao humus. Biogeni elementi u žetvenim ostacima, stajnjaku ili humusu, nakon razgradnje (*mineralizacija*) uz pomoć mikroorganizama, prelaze u mineralne oblike koje biljke mogu iznova usvajati.

U tlima pod prirodnom vegetacijom intenzitet nastanka i razgradnje organske tvari je uravnotežen uz stabilan sadržaj humusa. Obradom tla neizbježno se ubrzavaju procesi razgradnje humusa te otuda sklonost svih poljoprivrednih tala smanjivanju sadržaja organske tvari. Brzina kojom pada sadržaj organske tvari ovisan je o sustavu gospodarenja i korištenja nekog tla pa se svaka agrotehnička mjera mora pažljivo razmotriti obzirom na bilancu organske tvari tla. Na sreću, pad humusa prilično je spor proces kod uobičajenog korištenja tla.

Tehnički problem zaoravanja velike količine žetvenih ostataka u poljoprivrednoj praksi izaziva dosta dvojbi. Naime, mineralizacija velikih količina žetvenih ostataka širokog C/N omjera zahtijeva dodatnu N-gnojidbu (sprečavanje tzv. "*dušičnog manjka*"), dok su oni kao izvor hraniva od slabijeg interesa jer sadrže puno celuloze, a malo N, P, K i ostalih biogenih elemenata. Znastveni pristup, potaknut svjetskom energetske krizom, smatra žetvene ostatke vrijednim proizvodom jer sadrže veliku količinu energije (neophodnu za mikroorganizme) koju treba iskoristiti na parceli zaoravanjem, a ne osloboditi. Hranjive tvari u žetvenim ostacima nalaze se na mjestu primjene (nije potreban transport), a imaju istu hranidbenu vrijednost kao stajnjak.

Žetveni ostaci se na tlima dobre biogenosti brzo razlažu, utječu na povećanje mikrobiološke populacije i sitnih organizama (*mezofauna*), dok primjena manjih količina dušika za podešavanje povoljnog C/N omjera ne predstavlja posebnu poteškoću. Jedan dio djelomično razložene svježe organske tvari uz pomoć mikroorganizama iznova gradi humus (~20-30%) i taj proces se naziva *humifikacija*.

Humus poboljšava vodozračni režim i toplotna svojstva tla jer je tlo s više humusa tamnije boje i brže se zagrijava. Nezamjenjiva je uloga humusa u nastanku mrvičaste strukture koja poboljšava prozračnost i drenažu tla te strukturna tla vežu više vode, manje su podložna eroziji i znatno se lakše obrađuju. Također, humus lako gradi kompleksne spojeve s kovinama, naročito mikroelementima (*kelati*) koji se u tom obliku ne ispiru iz tla, a biljke ih lako usvajaju. Značajna je uloga humusa u povećanju efikasnosti fosforne gnojidbe i raspoloživosti mikroelemenata na kiselim tlima (*humat efekt*) pa je humus naročito važan u opskrbi biljaka fosforom, kalcijem i željezom te kao izvor dijela P, S, K, Fe i drugih biogenih elemenata.

### **Voda u tlu**

Voda je "medij života" i dobra opskrbljenost vodom svih živih bića je izuzetno važna. Biljke najveći dio vode uzimaju korjenom iz tla, premda je mogu usvajati listom i svim drugim organima. Količina vode u tlu zavisi najviše od teksture i sadržaja organskih tvari u njemu. Zahvaljujući većoj površini čestica i

mnoštvu kapilarnih pora tla fine teksture (i dobre strukture) zadržavaju više vode u odnosu na tla grube teksture.

Voda se u tlu nalazi vezana različitim silama koje korijen mora savladati pa se voda u tlu dijeli na dvije klase: *pristupačna* i *nepristupačna*. Sile koje vodu drže uz čestice tla su *tenzija vlažnosti* (površinske, hidrostatičke i gravitacijske sile), a s druge strane značajan je *osmotski tlak vodene faze tla* jer su u njoj otopljene tvari koje vežu vodu. Visok osmotski tlak, posebno na slanim tlima ili kod unošenja velike količine mineralnih gnojiva u suho tlo (tzv. *solni udar*) može potpuno onemogućiti usvajanje vode.

Raspoloživost vode najtočnije se utvrđuje *metodom uvenuća biljaka*, a ne mjerenjem vlage u tlu. Naime, u trenutku početka venjenja pa do točke *trajnog uvenuća* (smrti biljaka), tlo sadrži vodu koju biljke mogu s naporom koristiti, a nakon toga se ne mogu više povratiti u život niti dodavanjem vode.

### Štetne tvari u tlu

Brz tehnološki napredak i potreba za sve većim količinama hrane uz intenzivnu kemizaciju poljoprivrede uzrok su sve onečišćenijoj životnoj sredini, smanjenju njenih prirodnih mogućnosti regeneracije i njenoj sve bržoj devastaciji.

Intenzivna poljoprivredna proizvodnja podrazumijeva visok stupanj kemizacije, a mineralna gnojiva i pesticidi postupno mijenjaju svojstva tla i preko podzemnih voda djeluje negativno i na širu životnu okolicu. Tlo se onečišćava (*kontaminacija*) i velikim brojem *polutanata* iz vode i zraka (plinovi i aerosoli u blizini velikih gradova, kemijskih, metalnih i energetskih postrojenja). Aero onečišćenje plinovima (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) u obliku *kiselih* kiša izaziva oštećenja tla i vegetacije pa se u posljednje vrijeme sve češće spominje kao uzrok odumiranja šuma.

Mineralna, kao i organska gnojiva (posebice gnojovka), primijenjena iznad potrebne količine, mogu dovesti do narušavanja kemijskih i fizikalnih svojstava tla, onečišćenja podzemnih voda ili lošije kakvoće poljoprivrednih proizvoda. Posebice je opasna predozacija dušičnim gnojivima, jer se lako pokretljivi nitratski dušik u tlu ispire u okolne vodotokove i podzemne vode, a u hrani štetno djeluje na ljude i stoku.

Fosfatna gnojiva uvijek sadrže izvjesnu količinu radioaktivnih elemenata (nizovi <sup>238</sup>U i <sup>40</sup>K), ali treba naglasiti da je onečišćavanje oranica *radionuklidima* iz gnojiva vrlo spor proces koji ne mijenja fizikalna, niti kemijska svojstva tla. Mikroelementi (Cu, Mo, Zn) i drugi elementi (Cd, Pb, Hg, Cr, Ni, As, Se i dr.) kod visokog sadržaja u tlu, posebice u kiselim tlima, mogu imati vrlo štetne efekte na biljke, domaće životinje i ljude.

Opasni su i ostaci *perzistentnih pesticida* koji dovode do redukcije i uništenja flore i faune tla, blokiraju aktivna mjesta na adsorpcijskom kompleksu tla i umanjuju sposobnost kelatiranja teških metala organskom koloidnom frakcijom tla.

### Agrotehničke mjere i plodnost tla

Gnojidba je najvažniji činitelj plodnosti jer utječe na povećanje prinosa s više od 50% u odnosu na sve ostale agrotehničke mjere (obrada, zaštita i dr.). Ona održava i podiže prirodnu plodnost tla i najviše povećava vrijednost uloženog rada i sredstava u poljoprivrednu proizvodnju, ali mora biti primjerena potrebama, uzrastu i stanju usjeva, jer neusvojeni dio hraniva može eskalirati u onečišćenje okoliša, prije svega podzemnih voda.

U održavanju i povećavanju prirodne plodnosti pomažu: pravilna rotacija usjeva, primjena organskih i mineralnih gnojiva, odgovarajuća obrada tla i kultivacija, zaoravanje žetvenih ostataka, zelena gnojidba, uzgoj leguminoza, mjere popravke tla (kalcizacija, humizacija, primjena mikroelemenata i dr.) i agrokemijska analiza tla kao temelj profitabilne gnojidbe i regulacije plodnosti tla

Važan indikator plodnosti je struktura tla zbog lakše obrade i kultivacije, bolje infiltracije i zadržavanja oborinske vode (ili navodnjavanjem), sprečavanja zbijanja i održavanja povoljnog vodno-zračnog režima, te tekstura tla koja određuje mehanička svojstva tla. Također, plodnost jako ovisi o agrokemijskim svojstvima tla kao što su povoljna pH reakcija (neutralna, slabo kisela i slabo alkalna),

uravnotežen sadržaj humusa (koji se postiže organskom gnojidbom i zaoravanjem žetvenih ostataka u količini jednakoj mineralizaciji org. tvari tla), sadržaj biogenih elemenata, biogenost tla (dekompozicija org. ostataka i org. gnojiva, oslobodanje dušika, fosfora i drugih biogenih elemenata) i dr.

U Osijeku 08.09.2012. god.