



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra agroekosystémů

Diplomová práce

Hodnocení půdní organické hmoty ve vzorcích půd s odlišným
managementem porostu

Autor práce: Bc. Štěpán Koblíček

Vedoucí práce: Ing. Marek Kopecký PhD.

České Budějovice
2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Kvalita a množství půdní organické hmoty a obsah celkového organického uhlíku patří mezi důležité faktory, které výrazně ovlivňují vlastnosti půdy. Tato práce je zaměřena na hodnocení půdní organické hmoty ve vzorcích půd s odlišným managementem porostu. V literární rešerši jsou popsány pojmy, které jsou důležité pro pochopení daného tématu. Praktická část se zabývá aplikací mykoparazitických a entomopatogenních hub a bakterií mléčného kvašení na osivo a listy (varianty O₁-O₉) a pravidelným odběrem půdních vzorků na experimentálních parcelách ve Zvíkově u Českých Budějovic. Odebrané vzorky byly v laboratoři analyzovány a statisticky vyhodnoceny z hlediska fáze odběru půdních vzorků (před setím, během vegetace a při sklizni) a variant managementu. Výsledky ukázaly, že ošetření hrachu setého a lupiny bílé entomopatogenními houbami a bakteriemi mléčného kvašení v ekologicky obhospodařovaných farmách ovlivnilo index řízení uhlíku, index uhlíkové lability, poměr obohacení uhlíku, rychlost oxidace labilní organické hmoty a následně i zásoby organické hmoty v půdě.

Klíčová slova: Mykoparazitické a entomopatogenní houby, bakterie mléčného kvašení, půdní organická hmota, celkový organický uhlík

Abstract

The quality and quantity of soil organic matter and total organic carbon content are essential factors that significantly influence soil properties. This work focuses on evaluating soil organic matter in soil samples with different vegetation management. Concepts that are important for understanding the given topic are described in the literature review. The practical part deals with the application of mycoparasitic and entomopathogenic fungi and lactic acid bacteria to seeds and leaves (variants O1-O9) and the regular collection of soil samples on experimental plots in Zvíkov near České Budějovice. The collected samples were analyzed in the laboratory and statistically evaluated in terms of the phase of soil sampling (before sowing, during vegetation and at harvest) and management variants. The results showed that the treatment of common pea and white lupine with entomopathogenic fungi and lactic acid bacteria in ecologically managed farms affected the carbon management index, the carbon lability index, the carbon enrichment ratio, the rate of oxidation of labile organic matter and consequently, the organic matter reserves in the soil.

Keywords: Mycoparasitic and entomopathogenic fungi, lactic acid bacteria, soil organic matter, total organic carbon

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat Ing. Markovi Kopeckému, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za metodické a odborné vedení, ochotu, a v neposlední řadě za připomínky a pomoc při zpracování této práce. Práce vznikla díky projektu Intenzifikace ekologické produkce leguminóz prostřednictvím biologických prostředků s cílem zlepšení jejich zdravotního stavu (QK22010255), za což děkuji.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární přehled.....	9
1.1 Původ a historie rodu <i>Lupinus</i>	9
1.1.1 Charakteristika rodu <i>Lupinus</i>	9
1.1.2 Význam pěstování lupin.....	10
1.1.3 Charakteristika jednotlivých druhů lupin.....	10
1.2 Charakteristika hrachu setého.....	12
1.2.1 Botanická charakteristika.....	12
1.2.2 Význam hrachu setého.....	13
1.2.3 Šlechtění hrachu setého.....	13
1.2.4 Hrách setý v osevním postupu.....	14
1.3 Půdní organická hmota.....	15
1.3.1 Význam půdní organické hmoty.....	15
1.3.3 Základní půdní procesy.....	17
1.3.4 Humus.....	17
1.3.5 Primární půdní organická hmota.....	18
1.4 Rod <i>Trichoderma</i>	19
1.5 Bakterie mléčného kvašení.....	20
Cíle práce a hypotézy.....	21
2 Metodika.....	22
2.1 Popis lokality a vybraných plodin.....	22
2.2 Stručný přehled prací na pozemku.....	23
2.3 Přehled variant.....	23
2.4 Klimatická charakteristika ročníku 2022.....	26
2.5 Odběr, úprava a analýza půdních vzorků.....	26

2.5.1	Stanovení kvality primární půdní organické hmoty (PPOH)	26
2.5.2	Stanovení celkového obsahu uhlíku (TOC)	27
2.5.3	Stabilní frakce půdní organické hmoty	27
2.5.4	Index řízení uhlíku, index lability a poměr obohacení	28
2.5.5	Statistické zpracování	28
3	Výsledky a diskuse	29
3.1	Celkový organický uhlík	29
3.1.1	Hrách setý (<i>Pisum sativum</i>)	29
3.1.2	Lupina bílá (<i>Lupinus albus</i>)	32
3.2	Index řízení uhlíku (CMI), index uhlíkové lability (LI) a poměr obohacení uhlíku (ER)	33
3.2.1	Hrách setý (<i>Pisum sativum</i>)	34
3.2.2	Lupina bílá (<i>Lupinus albus</i>)	34
	Závěr	36
	Seznam použité literatury	38
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek	49
	Seznam použitých zkratk	50
	Přílohy:	51

Úvod

Organická hmota a její stav v zemědělských půdách je aktuálním tématem. V souvislosti s měnícím se klimatem a stále častějšími výkyvy počasí stoupá její význam. Půdy s dostatečným množstvím kvalitní půdní organické hmoty totiž dokážou čelit nepříznivým klimatickým podmínkám nesrovnatelně lépe ve srovnání s půdami, které se vyznačují nízkým obsahem organické hmoty a chudým edafickým oživením. Je známo, že v České republice není situace týkající se půdní organické hmoty uspokojivá. I v důsledku poklesu stavů hospodářských zvířat se do půdy dostává nedostatečné množství organické hmoty ve formě organických hnojiv. Ani další metody, kterými je možné obsah organické hmoty v půdě zvýšit (například zelené hojení, vhodné osevňovací postupy), nejsou příliš využívány.

Za plodiny zlepšující jsou považovány luskoviny. Velký význam mají především v ekologických systémech hospodaření, kde je využíváno jejich schopnosti symbiózy s hlízkovými bakteriemi. Současně je ale jejich pěstování v těchto systémech problematické z důvodu omezeného používání agrochemikálií (musí být v souladu s platnou legislativou). Jednou z testovaných možností ochrany luskovin může být využití bakterií mléčného kvašení a mykoparazitických entomopatogenních hub.

V této práci byly testovány různé varianty ošetření zmíněnými organismy a byl sledován vliv takto ošetřovaných porostů na půdní organickou hmotu.

1 Literární přehled

1.1 Původ a historie rodu *Lupinus*

Rod *Lupina* je nejrozšířenější v oblastech mírného pásma, především ve Středozeří, Jižní Americe, Austrálii a na Novém Zélandu. V Evropě převažuje *Lupinus luteus* a *Lupinus albus*, v Jižní Americe pak *Lupinus mutabilis*. Z Austrálie pochází druh *Lupinus angustifolius*. Ve zmíněných oblastech lze dodnes nalézt původní formy těchto druhů (Duranti et al., 2008).

Do střední a západní Evropy se jednotlivé druhy postupně rozšiřovaly ze Středomoří. Rozsáhlejší objem pěstování je možné zaznamenat až v druhé polovině 19. století. Soustavnou šlechtitelskou prací byly v minulém století vytvořeny první odrůdy se sníženým obsahem alkaloidů a zvýšeným obsahem bílkovin. Tyto nově vyšlechtěné odrůdy už byly vhodnější pro krmné i potravinářské účely (Mülayim et al., 2002).

Nejrozsáhlejší pěstitelské oblasti lupiny se dnes nacházejí v Austrálii a Jižní Americe. Produkce lupiny v Austrálii představuje asi 85 % celosvětové produkce, což z ní dělá největšího vývozce této komodity na světě. V Evropě jsou pak největšími pěstiteli Rusko, Španělsko, Francie a Portugalsko (Herzig et al., 2010).

I přesto, že jsou v České republice velmi příznivé ekologické podmínky k produkci lupiny, nikdy zde nebylo pěstování této plodiny příliš rozšířené. Za jeden z hlavních důvodů byl v minulosti pokládán vysoký obsah alkaloidů v semenech i v celé rostlině. Později však vlivem šlechtění vznikly odrůdy s téměř nezatelným obsahem alkaloidů – tzv. sladké lupiny, které je možné využívat jak v potravinářství, tak v krmivářství (Houba et al., 2009).

1.1.1 Charakteristika rodu *Lupinus*

Rod *Lupinus* patří do čeledi bobovité (*Fabaceae*), kde se řadí do nižší taxonomické jednotky kručinkovité (*Genisteae*). Dále se rozděluje na jednoleté a víceleté druhy. Hospodářský význam mají aktuálně pouze druhy jednoleté. Jedná se především o druhy: lupina bílá (*Lupinus albus*), lupina žlutá (*Lupinus luteus*), lupina úzkolistá (*Lupinus angustifolius*) (Hosnedl et al., 1998).

Většina druhů lupin má silný, hluboko pronikající křulový kořen, na kterém se tvoří hlízkové bakterie, díky kterým dokáže fixovat atmosférický dusík. V růstové fázi vzházení jsou děložní listky vynášeny nad povrch půdy, ihned se zazelenají a asimilují. Lodyha je 40–80 cm vysoká, vzpřímená a různě silně rozvětvená. Listy

jsou dlanitě mnohočetné se 7–15 lístky čárkovitého až vejčitého tvaru. Samosprašné květenství tvoří vrcholový hrozen nebo přeslen s velkými různě barevnými květy. Plodem lupiny je zploštělý, kožovitý a ochlupený lusk. Semena jsou kulatá nebo oválná s bíložlutým osemením s černými skvrnami. Hmotnost tisíce semen se podle druhu pohybuje od 100 do 400 g. Limitujícím faktorem pěstování lupiny ve střední Evropě je délka vegetační doby. Ideální délka vegetační doby je u současných odrůd lupiny bílé od 132 do 136 dní (Hýbl et al., 2011).



Obrázek 1: Lupina bílá (Kubát, 2002)

1.1.2 Význam pěstování lupin

V současné době je lupina velice zajímavou plodinou, která se výživovou hodnotou blíží sóje a je považována za její alternativu. Široké spektrum uplatnění je dané využíváním více druhů a šlechtěním odrůd s odlišnými kvalitativními parametry. Hořké odrůdy s vysokým obsahem alkaloidů se mohou používat na zelené hnojení, zatímco v potravinářství se využívají především bezalkaloidní odrůdy například na zpracování lupinové mouky. Význam lupiny neustále roste a do budoucna se bude uplatňovat další šlechtění. Pěstuje se jak pro suchá semena, tak pro pícninářské účely. Semena jsou vhodná především ke krmení hospodářských zvířat, ale mohou být i potravinou. Ze suchých semen se připravuje mouka, která se mísí k mouce obilné a zvyšuje tak nutriční hodnotu pečiva. Při využití k pícním účelům lze zkrmovat od počátku fáze kvetení do fáze začátku vývoje semen (Hosnedl et al., 1998).

1.1.3 Charakteristika jednotlivých druhů lupin

Hospodářský význam mají v dnešní době především tři druhy lupin – lupina bílá, lupina úzkolistá a lupina žlutá. Lupina bílá (*Lupinus albus*) poskytuje významný zdroj dusíkatých látek. Proto je hojně využívána do krmných směsí pro hospodářská zvířata ale i pro lidskou výživu. Semena lupiny bílé (obsahující 36–40 % dusíkatých látek) lze využít v pekárenství například při výrobě špaget nebo mouky (Hýbl et al., 2011).

Semeno dále obsahuje 9–14 % oleje, který má z nutričního hlediska vyvážený poměr omega-3 a omega-6 mastných kyselin. Obsah škrobu v semenech je nepatrný, zatímco obsah vlákniny činí 30 % (Georgieva a Kosev, 2016). V osevních sledech s vysokým zastoupením obilnin a řepky olejné má lupina bílá potenciál stát se alternativní zlepšující plodinou. Hlízkové bakterie tvořící se na kořenech mohou v příznivých podmínkách poutat až 200 kg N/ha, z toho 80–90 kg zůstává pro následné plodiny. Obilniny pěstované na pozemku po lupině mohou reagovat zvýšením výnosu o 0,6–0,8 t/ha. Současné odrůdy sladkých lupin jsou v podmínkách ČR schopny poskytnout plně zralé osivo s výnosem cca 3 t/ha (Hýbl et al., 2011). Vlastnosti lupiny bílé může do budoucna kromě přirozeného šlechtění zdokonalit i genové inženýrství (Georgieva a Kosev, 2016).

Dalším hodnoceným druhem je lupina úzkolistá (*Lupinus angustifolius*). Průměrný výnos semen se pohybuje v rozmezí 2–3 t/ha a semena obsahují vysoké množství dusíkatých látek (30–40 %) a tuku (3–7 %). Výnos zelené hmoty se pak pohybuje od 45 do 48 t/ha. Využití tohoto druhu je u nás velice perspektivní a do budoucna se očekává postupné obohacování o nové jakostní odrůdy (Hýbl et al., 2011). Lupina úzkolistá má vzpřímenou, slabší, málo rozvětvenou lodyhu vysokou 40–130 cm. Semena jsou kulovitá, šedá s bílou kresbou, avšak u bíle kvetoucích odrůd bílá se žlutou skvrnou po stranách. Tento druh patří mezi ranější, vegetační doba trvá 120–135 dnů. Lupina úzkolistá je méně náročná na teplo, nevádí jí krátké působení teplot -3 až -4 °C. Nesnáší těžké, jílovitohlinité půdy, ale ani lehké písčité půdy. Nejvhodnější jsou vlhčí středně těžké, hlinité půdy neutrální reakce. Svými nároky na prostředí se podobá lupině bílé (MZe, 2016).

Lupina žlutá (*Lupinus luteus*) je široce rozšířená ve Středozeří. Semena obsahují oproti ostatním druhům více cysteinu a methioninu. Tento druh má výborné výživové vlastnosti. Obsah dusíkatých látek se pohybuje v rozmezí 42–47 % v semenech a 3–3,5 % v zelené hmotě (Georgieva a Kosev, 2016). Lupina žlutá je oproti lupině bílé a úzkolisté nižšího vzrůstu, lodyha je vysoká pouze 60–100 cm. Semena jsou kulovitá, mírně zploštělá, šedobílé, žlutobílé nebo černé barvy. Semena se vyznačují typickou skvrnou ve tvaru pŕlměsíce v kraji pupku. HTS je 120–180 g. Vegetační doba trvá 130–150 dní. Lupina žlutá je nejodolnější luskovinou proti suchu. Oproti lupině úzkolisté nesnáší pokles teplot pod -2 až -3 °C. Vhodné půdy pro pěstování lupiny žluté jsou písčité a hlinitopísčité s kyselejšími pH. Jak udává Neuerburg et al. (1994) občas je nazývána „zlato písku“. Výnos semen i zelené hmoty je podobný jako

u ostatních druhů lupin. V ČR jsou nevhodné podmínky pro pěstování tohoto druhu (Hosnedl et al., 1998).

1.2 Charakteristika hrachu setého

Hrách setý (*Pisum sativum*) patří mezi nejvíce pěstované luskoviny v ČR. I když v posledních letech je zaznamenán pokles osevních ploch, stále je dominantní luskovinou. Přibližně 70 % plochy luskovin je pěstovaných za účelem získání zrna. Druh *Pisum sativum* má v našich podmínkách dva poddruhy – hrách setý (polní) (*Pisum sativum hortense*) a hrách rolní (peluška) (*Pisum arvense*). Peluška je převážně používána ve formě zelené hmoty ke krmným účelům. Semena pelušky obsahují hořké látky, a proto je nevhodná pro potravinářské a krmivářské účely. Hrách setý (polní) je pěstován převážně jako zrnina a jeho semena mají využití jak v potravinářství, tak v krmivářství (Flohrová, 2000).

Hrách setý je řazen mezi zlepšující plodiny. Pomocí hlízkových bakterií obohacuje půdu o dusík. Může v půdě zanechat 40 až 60 kg/ha pro následnou plodinu. Všeobecně je znám jeho fyto-sanitární účinek, zejména ve snižování výskytu černání pat stébel (Moudrý, 2011).



Obrázek 2: Hrách setý (Horčíčko, 2004)

1.2.1 Botanická charakteristika

Hrách setý patří do čeledi bobovité. Pevně se vyskytuje pouze jarní forma, ale může mít i formu ozimou. Hrách má typický silně rozvětvený křovitý kořen, který proniká do středních hloubek. Na kořenech se nachází nepravidelně rozmístěné hlízkové uzliny (Lahola, 1990). Lodyha je lysá, hranatého tvaru, poléhavá nebo vystoupavá, rozdělená na internodia. Listy jsou sudozpeřené, 1–3 jařmé, ukončené úponky, v úžlabí listového řapíku s různě velkým palistem. Také se vyskytují geneticky upravené odrůdy, které mají upravené listy a to na: listy licho-zpeřené, mnoholístkové, bezlístkové s

přeměněnými lístky na úponky. Květ je bílé barvy a má typickou stavbu pro bobovité rostliny. Je samosprašný, protože pyl i blizna dozrává v poupěti. Plodem hrachu je lusk, který obsahuje 3–11 semen přirůstajících poutkem ve hřbetní části lusk. Lusk často bývá rovný nebo zahnutý a jeho chlopně mají vnitřní pergamenovou vrstvu. Semeno má kulovitý tvar s hladkým nebo vrásčitým povrchem. Dozrálé semeno je žluté nebo zelené a osemení bezbarvé a průsvitné. Tvar, povrch a barva semene záleží zpravidla na odrůdě (Graman a Čurn, 1998).

1.2.2 Význam hrachu setého

Hrách se nepoužívá pouze ve výživě lidí a zvířat, ale existují i mnohá další využití. Luskoviny mají velký agronomický význam. Je důležité ho pravidelně zařazovat do osevních postupů. Především tam, kde převládá pěstování obilnin. Hrách má velice pozitivní vliv na stav a úrodnost půdy. Roste v symbióze s hlízkovými bakteriemi rodu rhizobium, které poutají atmosférický dusík (Houba et al., 2009). Část dusíku je uvolněna do půdy, čímž dochází k obohacování půdy o dusík, a to má zásadní vliv na úrodnost půdy. Mohutný kořenový systém navíc půdu provzdušňuje a napomáhá ke zlepšení její struktury. Posklizňové zbytky dodávají do půdy další množství uhlíku a dusíku. Hrách svou bohatou listovou plochou přirozeně inhibuje růst plevelů. Dále je schopen získávat špatně přístupné živiny z hlubších vrstev půdy, a tím dochází k dalšímu zkvalitnění půdní úrodnosti. Hrachová biomasa může také sloužit jako kvalitní zelené hnojivo (Agromanuál, 2019).

Semena hrachu jsou důležitým zdrojem škrobu. I když se hrachový škrob do pokrmů normálně přidává, větší oblibu si získal škrob bramborový, pšeničný či kukuřičný. Hrachový škrob má však velký potenciál jinde než v potravinářství. Obsahuje totiž vysoký obsah amylózy, která tvoří u některých genotypů hrachu 80–90 % škrobu. Právě amylóza je cennou surovinou pro výrobu biopolymerů, které mají podobné vlastnosti jako polyetylen. Nespornou výhodou těchto biopolymerů oproti syntetickým polymerům je schopnost přirozeného rozkladu (Houba et al., 2009).

1.2.3 Šlechtění hrachu setého

Šlechtění hrachu se zaměřuje na zvýšení odolnosti proti virovým a houbovým chorobám. Při šlechtění dochází k morfologickým změnám rostliny, které vedou ke zlepšení hospodářských vlastností. Změny se týkají především růstového typu

a charakteru olistění. Cílem šlechtění hrachu je dosáhnout co nejvyššího výnosu a kvality zrna, odolnosti proti chorobám a polehání (Graham et al., 1998).

Nejdůležitější dělení hrachu z pohledu šlechtění je na odrůdy bezlisté (semi-leafless) a odrůdy normálního a listnatého typu. Nejvíce převažují odrůdy bezlisté, jelikož jsou odolné vůči polehávání a je u nich snadnější sklizeň, což je jeden z faktorů zvyšujících výnos semen. Nevýhodou však je malá listová plocha, tudíž malé zastínění půdy, které vede k zaplevelení porostu v pozdějších fázích růstu (Houba et al., 2009). Odrůdy listnatého typu jsou vhodné pro ekologické zemědělství, protože mají velkou listovou plochu, která dokonale zastíní půdu a tím snižuje zaplevelení porostu. Oproti bezlistým odrůdám jsou náchylné k polehávání a poklesu výnosu semene (Tyller, 2013).

1.2.4 Hrách setý v osevním postupu

Osevní postup je plán rotace plodin na pozemcích podle nároků na prostředí a záměrů produkce. Dodržováním správného osevního postupu dochází k eliminaci výskytu chorob, plevelů, škůdců. Předplodiny pak vytváří vhodné podmínky pro následnou plodinu. Vyrovnaný osevní postup významně ovlivňuje úrodnost půdy a její fyzikální, chemické a biologické vlastnosti, což následně vede k vysokým výnosům a stabilní rostlinné produkci (Kostelanský, 2004).

Hrách má v osevním postupu velmi důležité postavení, protože vytváří příznivé podmínky pro vysokou efektivitu celého osevního postupu. Díky fyto-sanitárním účinkům se nabízí jako přerušovač obilných sledů. Hrách je ideální předplodinou pro pšenici ozimou, která dokáže nejlépe využít jeho předplodinovou hodnotu. Nevhodné je pěstovat hrách po sobě na jednom pozemku, je vhodné ho pěstovat až po 4–6 letech (Moudrý, 2011).

Nejlepší podmínky pro pěstování hrachu jsou v mírných polohách, se středními a dobře rozloženými srážkami. Proto jsou pro pěstování vhodné řepařské, obilnářské a bramborářské oblasti (Houba et al., 2009). Hrách vyžaduje dostatečnou zásobu živin, a to především fosforu a vápníku. Nesnáší extrémní půdy – písčité, těžké, zamokřené, kyselé, kamenité nebo silně zaplevelené. Vhodné je pěstovat hrách na dobře zpracovatelných a biologicky aktivních půdách. Jedině tak mohou rhizobia správně fungovat (Hosnedl et al., 1998).

1.3 Půdní organická hmota

Půdní organická hmota je komplexní heterogenní směs, která se skládá především z rostlinných a mikrobiálních zbytků. Obsahuje molekuly ligninu, lipidy, polysacharidy, různé proteiny a další alifatické látky (Kögel-Knabner, 2002). Základní složkou půdní organické hmoty je uhlík. Půdní organická hmota je jednou z největších globálních zásob uhlíku. Obsahuje třikrát více uhlíku, než je obsaženo v atmosféře nebo suchozemské vegetaci. Obsah organické hmoty v půdě je velmi důležitý, protože ovlivňuje její úrodnost a obecně funkce půdy. Půdní organická hmota se dělí na dvě části. První část tvoří primární půdní organická hmota (nehumifikovaná organická hmota rostlinného a živočišného původu) a druhou část tvoří humusové látky (fulvokyseliny, huminové kyseliny, humáty) (Rejšek a Vácha, 2018). Půdní organická hmota časem podléhá ztrátám, které v praxi musíme kompenzovat například přidáváním organické hmoty ve formě statkových hnojiv. Přírodními zdroji půdní organické hmoty jsou pak například posklizňové zbytky či opad. Ročně tak může na hektar půdy dostat až několik tun organické hmoty. V případě lesních porostů se množství pohybuje kolem 5t/ha. U zemědělských plodin zůstávají na místě posklizňové zbytky v množství od 1t/ha (např. v okopaninách) do 15t/ha v trvalých travních porostech. Dalším zdrojem jsou mrtvá těla zooedafonu a fytoedafonu (Šarapatka, 2014).

Velmi důležitou složkou půdy je půdní fauna, která se podílí na biodegradaci a humifikaci organických zbytků. Zaprvé rozmělnuje organické zbytky, a tak se zvětšuje plocha pro působení mikroorganismů. Významná je také produkce enzymů, které štěpí složité látky na jednodušší sloučeniny pro tvorbu humusu (Tian et al., 1997). Vysoká biodiverzita a aktivita půdních mikroorganismů souvisí s kvalitou a množstvím organické hmoty. Biologická aktivita ovlivňuje fyzikální a chemické vlastnosti půd (Reicosky, 2001).

1.3.1 Význam půdní organické hmoty

Organická hmota ovlivňuje jak fyzikální, tak i chemické vlastnosti půdy. Organická hmota v půdě napomáhá vyrovnávat výkyvy počasí. Pro zemědělskou činnost je celosvětově využíváno asi 48 milionů km² (Erenstein et al., 2021). Z hlediska intenzivní zemědělské činnosti je důležitá orná půda, která má rozlohu zhruba 14 milionů km² (Práválie et al., 2021). Ochrana těchto půd je ve veřejném zájmu (Clunes

et al., 2022), protože z hlediska délky lidského života je půda neobnovitelná (Stefanidis et al., 2021).

Přesto je půda v globálním měřítku velmi ohrožena. Veškeré degradační procesy způsobují snížení bonity půdy (Ferreira et al., 2022). Jde například o nedostatek vody v půdním prostředí (Práválie et al., 2021), různé formy eroze půdy (Sanderman a Berhe, 2017), ztrátu živin (Visser et al., 2005) či snížení obsahu organické hmoty v půdách (Smith et al., 2016).

Pro zemědělskou produktivitu, kvalitu vody a klimatu je velmi důležitá výměna živin, energie a uhlíku mezi půdní organickou hmotou, půdním prostředím, vodními systémy a atmosférou (Lehman a Kleber, 2015). Veškeré půdní podmínky udávají úrodnost půdy, což je schopnost půdy poskytovat pěstovaným rostlinám živiny, vodu a ostatní nezbytné podmínky života po celou dobu vegetace. Zatímco potenciální úrodnost je dána přirozenými vlastnostmi půd, úrodnost skutečná závisí na zásazích člověka do půdního ekosystému. Mimo jiné jde i o to, jaké množství půdní organické hmoty v půdě je (Cotrufo a Lavallo, 2022).

Půdy s vysokým obsahem organické hmoty lze poznat podle tmavšího zbarvení. Podíl organické hmoty v půdě je obvykle méně než 5 % (Baldock a Nelson 2000). Půdní organická hmota je tvořena především odumřelými organismy a produkty přeměny organických zbytků. Je důležitým zdrojem živin a významně se podílí na půdní úrodnosti. Dále je schopna akumulovat polutanty v půdě a tím zlepšovat strukturu půdy a kvalitu vody (Brady a Weil, 2008). I přestože je půdní organické hmoty v půdě méně než 5 %, dokáže ovlivnit chemické a fyzikální vlastnosti půdy. Vztahuje se na ni více než 1/3 kationtové výměnné kapacity a slouží jako cenný zdroj potravy pro mikroedafon. Obsah půdní organické hmoty může ovlivnit stabilitu půdních agregátů (Lehmann et al., 2020). Spotřebou půdní organické hmoty prostřednictvím hospodaření dochází k jejímu rozkladu a následnému uvolnění potřebných živin a energie (Stockmann et al., 2013).

Půdy s vyšším obsahem organické hmoty dokáží lépe vyrovnávat biotické a abiotické vlivy. Dále mají tyto půdy výbornou retenční schopnost. Čím více je v půdě organické hmoty, tím více zadrží vody, která je pak lépe využívána rostlinami. Organická hmota dokáže zadržet takové množství vody jako je šestnásobek vlastní hmotnosti. Proto je velmi důležitá především pro suché a písčité půdy. Další pozitivní vlastností je, že zlepšuje strukturu půdy a dělá jí odolnější vůči zhutnění, erozi a sesuvům. Půdní organická hmota usnadňuje přípravu a zpracování půdy

(Emadodin et al., 2009). Při úbytku organické hmoty dochází k degradaci půdy. Proto je její kvalita a množství ukazatelem zdravé úrodné půdy. Nejdůležitější frakce půdy jsou ty nejméně stabilní a snadno rozložitelné. Tyto labilní frakce jsou důležitým ukazatelem udržitelnosti půdy (Haynes, 2005). Kolář et al. (2014) uvádí, že půdní organická hmota se skládá z humusu a primární půdní organické hmoty.

1.3.3 Základní půdní procesy

V půdě probíhá mnoho důležitých procesů, ale nejdůležitější z nich je mineralizace a humifikace. Mineralizace je aerobní proces, při kterém probíhá hydrolyza a ze složitých organických látek vznikají látky jednodušší (Kolář et al., 2014). Během tohoto procesu se rozkládají cukry, proteiny, tuky, aminokyseliny, polysacharidy a výsledným produktem je oxid uhličitý a minerální živiny (Černý et al., 2019). Sánka a Materna (2004) přirovnávají mineralizaci k tzv. pomalému spalování, při kterém se uvolňuje energie. Oproti tomu proces humifikace je úzce spojen nejen s rozkladem půdní organické hmoty, ale i její syntézou a tvorbou huminových látek z jednoduchých sloučenin (Šarapatka et al., 2014). Humifikace nastává, pokud dojde ke střídání aerobních a anaerobních podmínek v půdě (Brady a Weill, 1999). Při této reakci se uhlík organických zbytků přemění na huminové látky pomocí biochemických a abiotických procesů. Dochází zde ke zformování zcela nových, vysokomolekulárních látek tmavé barvy (Černý et al., 2019). Tyto látky jsou rozdílné od počátečního materiálu především složitější stavbou, vyšší molekulovou hmotností a koloidními vlastnostmi (Piccolo et al., 1997).

1.3.4 Humus

Půdní organická hmota, která již prošla procesem humifikace, se nazývá humus (Šimek, 2005). Od humusu se očekává, že v půdě podpoří iontovýměnnou kapacitu, která povede k vytvoření lepšího živného režimu pro rostliny. Protože dnes rentabilita rostlinné výroby vyžaduje co nejvyšší výnosy, je tento kvalitní živný režim velice důležitý. Ceny syntetických hnojiv neustále rostou, tudíž musí humus co nejvíce omezit ztráty živin vyplavením (Váchalová et al., 2016). Půdy se dělí podle obsahu humusu na humózní (do 20 %) a humusové (nad 20 %). Humózní půdy lze podle Šarapatky (2014) dále rozdělit na slabě humózní, mírně humózní, středně humózní, silně a velmi silně humózní. Kolář et al. (2014) dělí humus do tří složek: huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy.

Huminové kyseliny obsahují velké množství uhlíku (až 65 %) a vykazují vysokou odolnost vůči mikrobiálnímu rozkladu. I proto jsou považovány za nejkvalitnější skupinu humusových látek (Pospíšilová a Tesařová, 2009). Huminové kyseliny nelze rozpustit ve vodě ani v kyselinách, ale jsou dobře rozpustné v hydrolytických roztocích solí a v loužích (Šarapatka, 2014). Další složkou jsou fulvokyseliny. Obsahují méně uhlíku než huminové kyseliny (49 %). Fulvokyseliny se mohou díky nižší molekulové hmotnosti lépe pohybovat v půdním profilu (Kolář et al., 2014). Oproti huminovým kyselinám jsou jen málo odolné mikrobiálnímu rozkladu. Lze je rozpustit ve vodě, minerálních kyselinách a loužích. Jejich tvorba probíhá štěpením humusových látek s vyšší molekulovou hmotností, nebo v půdách s nízkou mikrobiologickou aktivitou a kyselým pH. V některé literatuře se uvádí, že se z fulvokyselin později stávají huminové kyseliny (Šarapatka, 2014). Poslední složkou humusu jsou huminy. Huminy mají nejvyšší molekulovou hmotnost. Nelze je rozpustit v kyselinách, ale pouze v alkalickém roztoku. Ze všech třech složek humusu jsou huminy nejodolnější vůči mikrobiálnímu rozkladu. Huminy jsou stabilizovány minerální složkou. Do huminů je možné zařadit také humusové uhlí. Je to nejstarší zuhelnatělá, hnědočerná složka půdní organické hmoty, bohatá na uhlík a dusík. Jelikož se humusové uhlí už nepodílí na půdotvorném procesu, tak ztrácí funkci pravého humusu (Šarapatka, 2014).

1.3.5 Primární půdní organická hmota

Primární půdní organická hmota se může vyskytovat v původní formě, nebo zcela rozložená. Na rozdíl od humusu primární půdní organická hmota neprošla humifikací (Kolář et al., 2017). Primární půdní organická hmota produkuje při svém rozkladu CO₂ a minerální látky (Vaněk et al., 2010). Nejdůležitější, a co se týče množství, nejvýznamnější zdroj primární půdní organické hmoty jsou kořenové exsudáty (Kononova, 2013). Za další zdroje jsou považovány posklizňové zbytky, opad a organická hnojiva (Šarapatka, 2014). Při transformaci organických látek je velmi důležitý poměr C:N (optimálně 20:1). Pokud je tento poměr překročen, organická hmota si při transformaci vezme zásobu dusíku z půdy. O tuto zásobu dusíku jsou následně ochuzovány především rostliny (Kolář et al., 2014).

Primární půdní organická hmota a humusové látky působí i na organické polutanty v půdě. I když samotná primární organická hmota nedokáže odstranit znečišťující látky, zvyšuje mikrobiální aktivitu produkcí energie a živin. Mikrobiální aktivita se

následně podílí na detoxikaci těchto škodlivin. Je tedy zřejmé, že dostatečný přísun primární organické hmoty spolu s obsahem kvalitních humusových látek zvyšuje biologickou aktivitu v půdě, která je nezbytná pro rychlou degradaci organických polutantů. Primární organická hmota prochází mineralizací, která uvolňuje živiny. Naopak humusové látky nemohou být pro svou stálost zdrojem živin. Dobře však zachycují kationty, případně tvoří s kationty špatně rozpustné sloučeniny, díky čemuž snižují pohyblivost živin (Vaněk et al., 2014).

1.4 Rod *Trichoderma*

Rod *Trichoderma* se nejčastěji vyskytuje v lesních půdách, kompostech, skleníkových substrátech a v půdách s dostatečnou zásobou humusu. Tento rod se podílí na tvorbě supresivních půd. Supresivní půdy jsou takové půdy, ve kterých patogen nemá podmínky, aby došlo k přemnožení jeho populace a tím ke vzniku onemocnění (Nesrsta, 1991). Avšak různé kmeny rodu *Trichoderma* mohou mít odlišné jak nároky na optimální abiotické faktory pro růst a vývoj, tak odlišnou antagonistickou účinnost (Okrouhlá, 1993). *Trichoderma* je oportunní, avirulentní symbiont rostlin, ale zároveň může být i parazitem jiných hub. Tento rod uvolňuje řadu látek, které indukují lokalizované nebo systematické rezistentní reakce, proto mají jen malou patogenitu vůči rostlinám. V případě že rod *Trichoderma* kolonizuje kořeny rostlin, může dojít ke zlepšení růstu a vývoje kořenové soustavy, zvýšení rezistence vůči abiotickým stresům a zlepšení příjmu a využití živin (Harman et al., 2004).

Trichoderma využívaná jako bioagens v polních podmínkách vyžaduje vysoké teplotní optimum. To znamená, že může účinkovat v teplém podnebí, ale zároveň neúčinkuje na studených půdách. Tomu se lze vyhnout pozdějším setím, kdy jsou optimální podmínky pro aktivitu bioagens, a tím je zabezpečena efektivnější ochrana (Baker a Scher, 1987). Chet (1987) uvádí, že i mírné zvýšení pH může zmenšovat účinnost rodu *Trichoderma*, a že je tato houba schopna přežít déle ve vlhčích půdách. Je prokázáno, že houby rodu *Trichoderma* rostou nejlépe při teplotách od 15 do 25 °C. Avšak existují také izoláty účinné při teplotě 2 °C a zároveň i kmen, který vyžaduje teploty nad 32 °C. Pro maximální produkci biomasy *Trichoderma* je optimální pH 3,7 až 4,7 (Domsh et al., 1980). Antagonistické houby, tedy i *Trichoderma*, jsou účinnější při aplikaci do sterilizované půdy nebo do substrátu s nižším infekčním tlakem (méně zamořen patogeny). Houby rodu *Trichoderma* se řadí mezi nejlepší bioagens v boji proti rostlinným patogenům. Jejich výhodou je, že se snadno a v širokém měřítku

vyrábějí a můžou být aplikovány společně s některými pesticidy. Mykoparazitické houby jsou přirozenými nepřáteli fytopatogenních hub, původců chorob (Okrouhlá, 1993). Úspěch jednotlivých kmenů *Trichoderma* využívaných jako bioagens je dán jejich schopností reprodukce, schopností přežít stresové podmínky, schopností přizpůsobovat si rhizosféru (Benitez et al., 2004).

1.5 Bakterie mléčného kvašení

Bakterie mléčného kvašení jsou heterogenní skupinou mikroorganismů, které mohou fermentovat různé živiny za vzniku kyseliny mléčné. Jsou to především chemoorganotrofní, grampozitivní, aerotolerantní nebo anaerobní, nesporulující bakterie. Tyto chemoorganotrofní mikroorganismy získávají energii oxidací organických sloučenin, které zároveň využívají jako zdroje uhlíku a vodíku k syntéze své buněčné hmoty (Šilhánková, 2002). Biochemicky mléčné bakterie zahrnují jak homofermentativní, tak heterofermentativní druhy. Vzdušný kyslík není pro většinu bakterií mléčného kvašení toxický, takže rostou i za přítomnosti vzduchu. Výjimkou jsou přísně anaerobní bifidobakterie, které rostou v optimální atmosféře s 10 % CO₂ (Görner, 2004). Bakterie mléčného kvašení patří do skupiny mezofilních mikroorganismů. Z potravinářsko-mikrobiologického hlediska má tato skupina bakterií nezanedbatelný potravinářsko-technologický funkční význam (Görner, 2004).

Cíle práce a hypotézy

Cílem práce bylo sledování vlivu aplikace bakterií mléčného kvašení a mykoparazitických entomopatogenních hub na množství a kvalitu půdní organické hmoty v porostech hrachu setého (*Pisum sativum*) a lupiny bílé (*Lupinus albus*).

Dílčí cíle:

- 1) Aktivně se účastnit odběrů půdních vzorků ze založených pokusů
- 2) Připravit půdní vzorky k analýze
- 3) Provést analýzy množství a kvality půdní organické hmoty v půdních vzorcích.
- 4) Vyhodnotit a shrnout získaná data, diskutovat je s odbornou literaturou.

Hypotéza:

Použité látky budou ovlivňovat růst a vývoj rostlin, což se projeví i v množství a kvalitě půdní organické hmoty v půdních vzorcích odebraných z různých variant managementu.

2 Metodika

2.1 Popis lokality a vybraných plodin

Pokus byl založen na certifikované ekologické farmě ve Zvíkově u Českých Budějovic. Pěstovány byly dvě rostliny (hrách setý, lupina bílá) v osmi variantách a jedné kontrolní. Design pokusu byl navržen jako maloparcelkový se třemi opakováními. Tento pokus tedy zahrnoval celkem 54 parcel. Rozměr každé parcely byl 1,25 x 10,5 m (13 m²). Varianty a rozvržení parcel jsou popsány níže. Pokusná lokalita patří do obilnářské výrobní oblasti a převládá zde půdní typ pseudoglej. Nadmořská výška je 485 m. n. m. Půda na pokusných parcelách je středně těžká. Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 690 mm za rok. Dlouhodobá průměrná roční teplota v této lokalitě činí 7,8 °C.

Předplodinou byl jetel luční (odrůda Bonus). Na pozemku byl pěstován dva užitkové roky. Kultura jetele byla zaorána na podzim 2021. Odrůda Bonus je diploidní, charakterizována jako raná až středně raná s velmi dobrou odolností proti napadení bílou hnilobou jetele. Rostliny mají středně vysokou až vysokou rychlost jarního růstu. Rychlost obrůstání po sečích je středně vysoká, rostliny jsou mimořádně odolné vůči poléhání.

U hrachu setého byla zvolena odrůda Avatar. Jedná se o středně ranou odrůdu typu semi-leafless, charakterizovanou rychlým počátečním růstem. Rostliny jsou vysoké, barva květu bílá. Tato odrůda je středně až méně odolná proti poléhání před sklizní. Je středně odolná proti napadení plísní hrachu a středně odolná proti napadení komplexem kořenových chorob i virových onemocnění. Barva semen je žlutá. Obsah dusíkatých látek je středně vysoký až vysoký (23 %). Doporučený výsevek je udáván v milionech klíčivých semen: 0,9–1 MKS/ha. Pro účely pokusu byl vypočítán s ohledem na místní podmínky na 300 kg/ha.

U lupiny bílé byla zvolena odrůda Dieta. Tato odrůda je charakterizována jako středně raná s dobrou odolností proti poléhání a vysokou odolností vůči napadení antraknózou. Rostliny se dobře větví a jsou středně vysoké. Barva semene je bílá. Odrůda Dieta se řadí mezi sladké lupiny (semena bez přítomnosti hořkých látek). Obsah dusíkatých látek se pohybuje v rozmezí 32–36 %. Odrůda je určena do středních a nižších poloh. Doporučený výsevek činí 170–185 kg/ha. Pro účely pokusu byl zvolen výsevek 180 kg/ha.

2.2 Stručný přehled prací na pozemku

20. 3. 2022 Předseťová příprava (hrách setý)
23. 3. 2022 Setí hrachu a první odběr půdních vzorků hrachu (setí)
13. 4. 2022 Předseťová příprava (lupina bílá)
14. 4. 2022 Setí lupiny a první odběr půdních vzorků lupin (setí)
22. 5. 2022 Druhý odběr půdních vzorků (během vegetace, obě rostliny)
18. 6. 2022 Aplikace BMK a MEH na list (hrách setý)
14. 7. 2022 Aplikace BMK a MEH na list (lupina bílá)
28. 7. 2022 Třetí odběr půdních vzorků (sklizeň, obě rostliny)

2.3 Přehled variant

Varianty v pokusu se lišily nejen druhy rostlin, v nichž pokus probíhal, ale také odlišnými způsoby ošetření (dále označeno jako O₁–O₉). Varianta O₁ byla kontrolní. V dalších variantách byly zkombinovány různé formy managementu, které zahrnovaly inokulaci osiv prostřednictvím bakterií mléčného kvašení (BMK) a mykoparazitických entomopatogenních hub (MEH) nebo aplikaci těchto látek na list v době vegetace. Rozložení variant je patrné z Tabulky 1 (včetně doplňujících popisek) a Obrázku 3.

Inokula a aplikační roztoky byly připraveny ve spolupráci Katedry rostlinné výroby fakulty Zemědělské a technologické Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a mikrobiologických laboratořích Výzkumného ústavu mlékárenského.

O ₁	kontrola
O ₂	osivo ošetřené BMK
O ₃	osivo ošetřené MEH
O ₄	listy ošetřené BMK
O ₅	listy ošetřené MEH
O ₆	osivo a listy ošetřené BMK
O ₇	osivo a listy ošetřené MEH
O ₈	osivo ošetřené BMK a listy ošetřené MEH
O ₉	osivo ošetřené MEH a listy ošetřené BMK

Tabulka 1: Přehled variant

BMK: bakterie mléčného kvašení, MEH: mykoparazitické a entomopatogenní houby

O₁ – kontrola: oproti ostatním variantám nebyly na osivo aplikovány ani bakterie mléčného kvašení, ani mykoparazitické entomopatogenní houby, v průběhu vegetace také nebyly tyto organismy na porost aplikovány

O₂ – osivo ošetřené BMK: před setím bylo osivo ošetřeno bakteriemi mléčného kvašení

O₃ – osivo ošetřené MEH: před setím bylo osivo ošetřeno mykoparazitickými entomopatogenními houbami

O₄ – listy ošetřené BMK: osivo nebylo ošetřeno, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány bakterie mléčného kvašení

O₅ – listy ošetřené MEH: osivo nebylo ošetřeno, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány mykoparazitické entomopatogenní houby

O₆ – osivo a listy ošetřené BMK: osivo bylo ošetřeno bakteriemi mléčného kvašení, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány bakterie mléčného kvašení

O₇ – osivo a listy ošetřené MEH: osivo bylo ošetřeno mykoparazitickými entomopatogenními houbami, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány mykoparazitické entomopatogenní houby

O₈ – osivo ošetřené BMK a listy ošetřené MEH: osivo bylo ošetřeno bakteriemi mléčného kvašení, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány mykoparazitické entomopatogenní houby

O₉ – osivo ošetřené MEH a listy ošetřené BMK: osivo bylo ošetřeno mykoparazitickými entomopatogenními houbami, v průběhu vegetace byly na porost aplikovány bakterie mléčného

OBSEV HRÁCHU

HRÁCH 9 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9A	HRÁCH 18 MEH-list Varianta 5B	HRÁCH 27 CONTROL Varianta 1C
HRÁCH 8 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8A	HRÁCH 17 BMK-list Varianta 4B	HRÁCH 26 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9C
HRÁCH 7 MEH-osivo+list Varianta 7A	HRÁCH 16 MEH-osivo Varianta 3B	HRÁCH 25 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8C
HRÁCH 6 BMK-osivo+list Varianta 6A	HRÁCH 15 BMK-osivo Varianta 2B	HRÁCH 24 MEH-osivo+list Varianta 7C
HRÁCH 5 MEH-list Varianta 5A	HRÁCH 14 CONTROL Varianta 1B	HRÁCH 23 BMK-osivo+list Varianta 6C
HRÁCH 4 BMK-list Varianta 4A	HRÁCH 13 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9B	HRÁCH 22 MEH-list Varianta 5C
HRÁCH 3 MEH-osivo Varianta 3A	HRÁCH 12 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8B	HRÁCH 21 BMK-list Varianta 4C
HRÁCH 2 BMK-osivo Varianta 2A	HRÁCH 11 MEH-osivo+list Varianta 7B	HRÁCH 20 MEH-osivo Varianta 3C
HRÁCH 1 CONTROL Varianta 1A	HRÁCH 10 BMK-osivo+list Varianta 6B	HRÁCH 19 BMK-osivo Varianta 2C

OBSEV LUPINY

LUPINA 36 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9A	LUPINA 45 MEH-list Varianta 5B	LUPINA 54 CONTROL Varianta 1C
LUPINA 35 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8A	LUPINA 44 BMK-list Varianta 4B	LUPINA 53 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9C
LUPINA 34 MEH-osivo+list Varianta 7A	LUPINA 43 MEH-osivo Varianta 3B	LUPINA 52 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8C
LUPINA 33 BMK-osivo+list Varianta 6A	LUPINA 42 BMK-osivo Varianta 2B	LUPINA 51 MEH-osivo+list Varianta 7C
LUPINA 32 MEH-list Varianta 5A	LUPINA 41 CONTROL Varianta 1B	LUPINA 50 BMK-osivo+list Varianta 6C
LUPINA 31 BMK-list Varianta 4A	LUPINA 40 MEH-osivo+BMK-list Varianta 9B	LUPINA 49 MEH-list Varianta 5C
LUPINA 30 MEH-osivo Varianta 3A	LUPINA 39 BMK-osivo+MEH-list Varianta 8B	LUPINA 48 BMK-list Varianta 4C
LUPINA 29 BMK-osivo Varianta 2A	LUPINA 38 MEH-osivo+list Varianta 7B	LUPINA 47 MEH-osivo Varianta 3C
LUPINA 28 CONTROL Varianta 1A	LUPINA 37 BMK-osivo+list Varianta 6B	LUPINA 46 BMK-osivo Varianta 2C

Obrázek 3: Schéma experimentálních parcelék

2.4 Klimatická charakteristika ročníku 2022

Během pokusného roku 2022 byly relativně nepříznivé klimatické podmínky pro pěstování leguminóz. Počátek vegetačního období byl srážkově podprůměrný, což se projevilo na horším vzcházení porostů. Oproti tomu červen byl, co se týče úhrnu srážek, nadprůměrný. Podle údajů meteorologické stanice za tento měsíc spadlo 187,7 mm srážek, což je téměř dvojnásobek běžných úhrnů. Tento extrémní úhrn srážek zkomplikoval regulaci plevelů, kterým nadbytek srážek prospíval. Průměrná roční teplota v daném roce byla 8,7 °C (JHČ kraj).

2.5 Odběr, úprava a analýza půdních vzorků

Vzorky byly v daných termínech odebírány pedologickou sondážní tyčí. Z každé parcely byly odebrány tři vzorky z hloubky 0–20 cm. Následně byly smíchány a vznikl tak z každé parcely jeden vzorek směsný. Poté byly jednotlivé vzorky ukládány do označených papírových sáčků. Na sáčcích bylo uvedeno datum odběru, druh zaseté plodiny a varianta. Odebrané vzorky byly v laboratoři vysušeny na vzduchu a následně dosušeny v termostatu při teplotě 60 °C do konstantní hmotnosti. Po usušení byly vzorky deglomerizovány a zároveň byl separován skelet od jemnozeme. Jemnozeme (částice <2 mm) byla homogenizována za pomoci automatického půdního mlýnu a poté proseta přes síto s velikostí ok 0,25 mm. Takto připravené vzorky byly používány v následných analýzách.

2.5.1 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty (PPOH)

Kvalita primární půdní organické hmoty byla hodnocena dle metodiky, již publikovali Kopecký et al. (2022). Tato metoda popisuje separátní hodnocení primární půdní organické hmoty, která je více méně labilní, a druhé frakce, jež je považována za relativně stabilní. Kvalita PPOH je hodnocena na základě pozorování reakční kinetiky oxidace této hmoty a výpočtu rychlostní konstanty.

Stanovení kinetiky oxidace půdního organického uhlíku probíhalo následovně: Do skleněných baněk bylo naváženo 0,15 g připraveného půdního vzorku (5 baněk na jedno opakování analýzy půdního vzorku). Poté byly navážené vzorky dispergovány v 5 ml roztoku 0,4 mol/l $K_2Cr_2O_7$ ve 12 M H_2SO_4 . Baňky byly umístěny do vodní lázně předehřáté na teplotu 60 °C. Jednotlivé baňky byly postupně vyjímány. Interval, kdy byly baňky z vodní lázně vyndávány, činily 10 minut, 20 minut, 30 minut a 40 minut. Poslední baňka byla ještě dooxidována po dobu 30 minut ve vodní lázni o teplotě 90 °C.

Ihned po vyjmutí byl obsah baněk zchlazen přidavkem studené demineralizované vody. Tím došlo k ukončení oxidačních reakcí. Zchlazené vzorky byly titrovány roztokem Mohrovi soli (0,1 mol/l) pro zjištění množství zoxidovaného organického uhlíku. Obsah zoxidovaného uhlíku v páté baňce udává obsah uhlíku primární půdní organické hmoty (C_{LOF}). Zjištěné hodnoty byly zapsány do excelové tabulky, kde byla vypočtena rychlostní konstanta k oxidace primární půdní organické hmoty. Pro jednodušší orientaci v terminologii názvosloví půdní organické hmoty bude v následujících kapitolách místo pojmu primární půdní organická hmota používán termín uhlík labilních frakcí půdní organické hmoty (C_{LOF}).

2.5.2 Stanovení celkového obsahu uhlíku (TOC)

Stanovení celkového obsahu uhlíku bylo provedeno za pomoci přístroje Primacs SLC Analyzer (SKALAR), který využívá spalovací metodu. Jedná se o stanovení obsahu uhlíku suchou cestou. Přístroj Primacs SLC Analyzer (SKALAR) je opatřen konstrukcí duální pece, která umožňuje separátně určit celkový uhlík (total carbon) a anorganický uhlík IC (inorganic carbon). Celkový uhlík je stanoven katalytickou oxidací půdního vzorku při teplotě 1100 °C. Během tohoto procesu dochází k přeměně přítomného uhlíku ve vzorku na CO_2 , který je měřen pomocí infračerveného detektoru. Dále přístroj určí obsah anorganického uhlíku okyselením vzorku zředěnou kyselinou orthofosforečnou v IC reaktoru. Celkový obsah organického uhlíku je definován vztahem $TC-IC=TOC$ (%). Upravené vzorky půdy byly ve speciálních skleněných kelímcích (pro stanovení TOC) nebo skleněných zkumavkách (pro stanovení IC) naváženy na analytické váze. Navážka činila 200 mg vzorku připravené půdy. Následná analýza jednoho vzorku trvala 15 minut (8 minut pro stanovení TC, 7 minut pro stanovení IC).

2.5.3 Stabilní frakce půdní organické hmoty

Stabilní frakce půdní organické hmoty je složena z odolných organických sloučenin. Hranice je dána stabilitou při daných podmínkách, kterými jsou přesná koncentrace spalovací směsi (0,4 mol/l $K_2Cr_2O_7$ ve 12 M H_2SO_4), teplota (nejdříve 60 °C, poté 90 °C) a doba oxidace (40 minut při teplotě °C, poté 30 minut při teplotě 90 °C). Ze známých hodnot C_{LOF} a TOC je možné vypočítat obsah uhlíku stabilních frakcí půdní organické hmoty (C_{SOF}), a to z rovnice: $TOC-C_{LOF}=C_{SOF}$ (%).

2.5.4 Index řízení uhlíku, index lability a poměr obohacení

Kontinuální přísun uhlíku zajišťuje celkovou velikost jeho zásob, ale také nestálost (rychlosti obratu). Tyto dvě hodnoty musejí být zahrnuty do vytváření indexu řízení uhlíku (index managementu uhlíku). Index řízení uhlíku, index uhlíkové lability a poměr obohacení byly stanoveny podle (Blair et al., 1995a; Sainepo et al., 2018) a byly formulovány následovně:

$$\text{Index řízení uhlíku (CMI)} = \text{CPI} * \text{LI} * 100$$

CPI je index zásoby uhlíku (CPI=Celkový uhlík u varianty ošetření/Celkový uhlík u kontrolní varianty)

LI je index uhlíkové lability půdy při konkrétním managementu.

$$\text{Index uhlíkové lability (LI)} = (\text{L ve variantě ošetření}) / (\text{L v kontrolní variantě})$$

$$\text{L} = (\text{Obsah labilního uhlíku}) / (\text{Obsah stabilního uhlíku})$$

Poměr obohacení labilního uhlíku byl vypočten jeho dělením celkovým organickým uhlíkem stejného zpracování (ER).

$$\text{ER} = (\text{Labilní frakce půdní organické hmoty}) / (\text{Celkový organický uhlík}) * 100$$

2.5.5 Statistické zpracování

K analýze dat byla provedena analýza rozptylu (ANOVA) a post hoc Tukeyho test (HSD) pro vícenásobná srovnání průměrů pomocí softwaru Statistica 14.0, TIBCO Inc., Palo Alto, CA, USA, 2021. Statistická významnost byla testována při $P < 0,05$.

3 Výsledky a diskuse

3.1 Celkový organický uhlík

3.1.1 Hrách setý (*Pisum sativum*)

Obsah TOC se v půdních vzorcích lišil ($F_{(2, 78)}=26,379$, $p<0,001$) v závislosti na termínu odběru (Obrázek 4). Nejvyšší hodnoty TOC byly naměřeny u vzorku odebraném před setím (1,520^a %). To může být způsobeno tím, že v půdě bylo nahromaděno velké množství půdní organické hmoty z předplodiny, kterou byl jetel luční. Ten byl zaorán na podzim 2021. Je známo, že jetel zanechává v půdě velké množství posklizňových zbytků (Alghamdi a Cihacek, 2022), jejichž rozklad prostřednictvím půdních mikroorganismů je při nižších teplotách omezen (Nannipieri et al., 2017). Z tohoto důvodu není nález vysokého obsahu TOC v půdě v době setí překvapením. Jen nepatrně nižší obsah TOC byl stanoven v půdním vzorku odebraném při sklizni (1,491^a %).



Obrázek 4: Vliv fáze odběru na TOC.

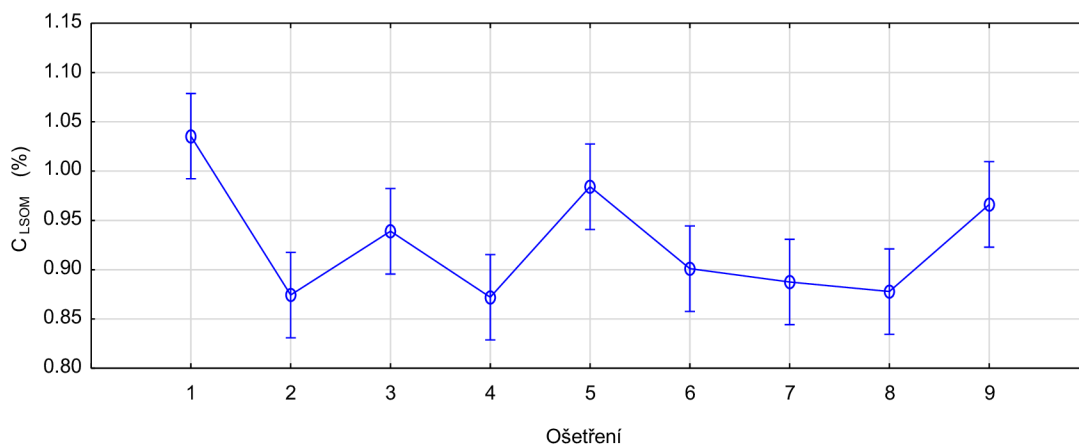
Svislé pruhy označují intervaly spolehlivosti 0,95. TOC: celkový organický uhlík

Během vegetace byl obsah TOC nižší (1,408^b %). Nízké hodnoty TOC během vegetace mohly být způsobeny zvýšenou mikrobiální aktivitou, zvýšenou teplotou a vlhkostí půdy. Tyto výsledky se shodují se studiemi, které provedli Chen et al. (2017), Li et al. (2012), Wang et al. (2021) či Zhu et al. (2015). Tyto studie ukázaly, že nahromadění posklizňových zbytků v půdě ve spojení se zvýšenou mikrobiální aktivitou, snižuje TOC v horních vrstvách půdy. Ačkoli některé studie nenalezly žádný významný účinek v krátkodobém horizontu (Guo et al., 2015; Spedding et al., 2004), mnoho

dalších uvádí prokazatelné výsledky v dlouhodobém trvání (Liu et al., 2014; Tian et al., 2015; Yan et al., 2007). Posklizňové zbytky hrají důležitou roli při sekvestraci organického uhlíku, snižování výkyvů teploty půdy a zachování vlhkosti půdy (Kay a VandenBygaart, 2002). Různé agrotechnické postupy ošetření, jako je přidávání bakterií, hub a dalších účinných mikroorganismů nebo různé formy kultivace půdy ve spojení s ideálními podmínkami prostředí, zvyšují rozklad půdní organické hmoty a mineralizaci organických látek (Ahn et al., 2014; Burford et al., 2003; Danger et al., 2016; Gadd, 2007; Gulis et al., 2017; Güsewell a Gessner, 2009; Hu a Qi, 2013; Judd et al., 2006; Partanen et al., 2010; Pineda et al., 2017).

Při porovnávání jednotlivých variant bylo zjištěno, že nejvyšší obsah TOC v odběru před setím byl zjištěn ve variantě O₃ – osivo ošetřené mykoparazitickými entomopatogenními houbami (TOC=1,60 %). Během vegetace bylo nejvíce TOC nalezeno ve variantě O₈ – osivo ošetřené bakteriemi mléčného kvašení a rostliny ošetřené mykoparazitickými entomopatogenními houbami aplikací na list (TOC =1,47 %). Při sklizni byl nejvyšší obsah TOC zjištěn ve variantě O₅ – rostliny ošetřené mykoparazitickými a entomopatogenními houbami aplikací na list (TOC=1,55 %). Podrobné výsledky všech variant jsou součástí Příloh – tabulka 2.

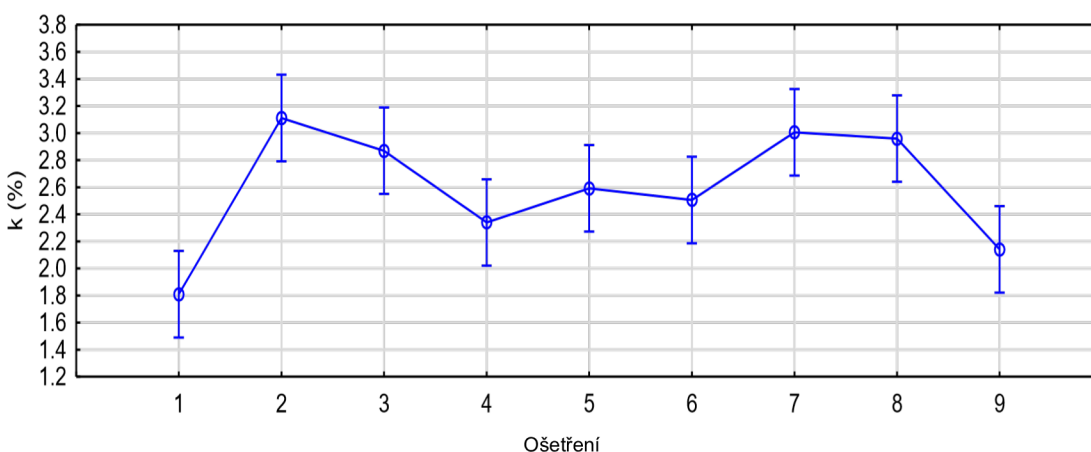
Celkově mělo ošetření statisticky významný vliv na frakci C_{LOF} ($F_{(8, 72)}=7,1819$, $p<0,001$) s průměrem 0,874^a %, 0,872^a %, 0,901^{ab} %, 0,887^{ab} %, 0,887^a % C_{LOF} pro varianty O₂, O₄, O₆, O₇, O₈ (Obrázek 5). Nejnižší obsah C_{LOF} byl zaznamenán u varianty O₃ (C_{LOF}=0,786 %), dále pak před setím O₈ (C_{LOF}=0,873 %) a během vegetace O₄ (C_{LOF}=0,804 %). I když TOC vykazoval změny s ošetřením, labilní frakce půdní organické hmoty byla nejvíce ovlivněna postupy hospodaření. Vysoká změna C_{LOF} by se dala přičíst skutečnosti, že tato frakce půdní organické hmoty je aktivnější, a je tvořena vysoce oxidovatelnými, částečně rozloženými rostlinnými a živočišnými zbytky (Kolář et al., 2009; Maroušek et al., 2020). Čím více je půda narušena, tím více se snižuje labilní frakce (Váchalová et al., 2014). Výsledky tohoto experimentu ukazují, že ačkoli TOC v půdě je ovlivněn postupy hospodaření, C_{LOF} je nejcitlivější a krátkodobě ovlivnitelný, jak bylo dokonce zjištěno i v jiných studiích (Blair et al., 1995; Kopecký et al., 2021; Sainepo et al., 2018). Proto C_{LOF} a jeho labilita v rámci každého typu managementu nebo ošetření lze použít jako časný indikátor dynamiky zásoby organické hmoty v půdě (Gosling et al., 2013; Guo et al., 2015; Haynes, 2005; Leifeld a Kögel-Knabner, 2005).



Obrázek 5: Účinek ošetření na C_{LOF}

Svislé pruhy označují interval spolehlivosti 0,95. C_{LOF}: labilní frakce uhlíku půdní organické hmoty. O₁: kontrola, O₂: osivo ošetřené BMK, O₃: osivo ošetřené MEH, O₄: listy ošetřené BMK, O₅: listy ošetřené MEH, O₆: osivo a listy ošetřené BMK, O₇: osivo a listy ošetřené MEH, O₈: osivo ošetřené BMK a listy ošetřené MEH, O₉: osivo ošetřené MEH a listy ošetřené BMK.

Kromě toho, management ošetření významně ovlivnil rychlostní konstantu oxidační reakce půdní organické hmoty (k) ($F_{(8, 72)}=7,4936$, $p=0,0001$) s průměrem 3,111^b %, 3,006^{ab} %, 2,959^{ab} %, 2,869^{ab} %, 2,592^{abd} % k pro O₂, O₇, O₈, O₃, O₅ (Obrázek 6). Nejvyšší rychlostní konstanta oxidační reakce (k) byla zaznamenána během sklizně u varianty O₃, $k=3,79$ %, dále pak během vegetace u varianty O₂, $k=3,454$ % a před setím u varianty O₂, $k=3,283$ %.

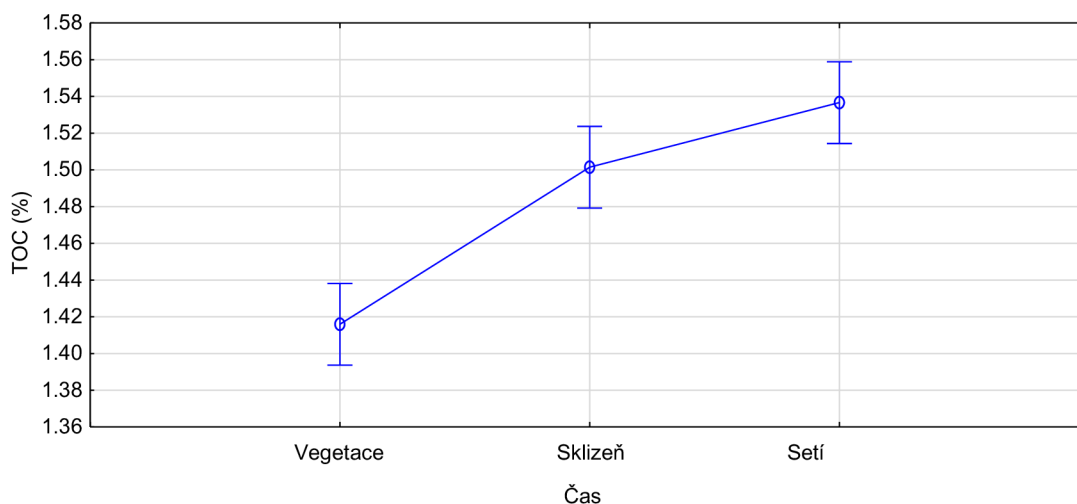


Obrázek 6: Vliv ošetření na konstantu rychlosti oxidace organické hmoty (k).

Svislé pruhy označují intervaly spolehlivosti 0,95. O₁: kontrola, O₂: osivo ošetřené BMK, O₃: osivo ošetřené MEH, O₄: listy ošetřené BMK, O₅: listy ošetřené MEH, O₆: osivo a listy ošetřené BMK, O₇: osivo a listy ošetřené MEH, O₈: osivo ošetřené BMK a listy ošetřené MEH, O₉: osivo ošetřené MEH a listy ošetřené BMK.

3.1.2 Lupina bílá (*Lupinus albus*)

Datum odběrů (před setím, během vegetace, při sklizni) půdních vzorků měl statisticky významný ($F_{(2, 78)} = 30,878$, $p < 0,001$) vliv na obsah TOC s průměrem 1,536^a % pro odběr před setím, 1,501^a% při sklizni a 1,415^b% během vegetace (Obrázek 7). Situace je tedy obdobná jako u hrachu. Körschens (2002) se domnívá, že hodnocení organické hmoty podle obsahu TOC je zavádějící. Uvádí, že například 0,8 % organického uhlíku v písčité půdě může být považováno za lepší výsledek než 1,5 % organického uhlíku v černozemi. Je tedy vždy nutné brát v potaz místní podmínky.

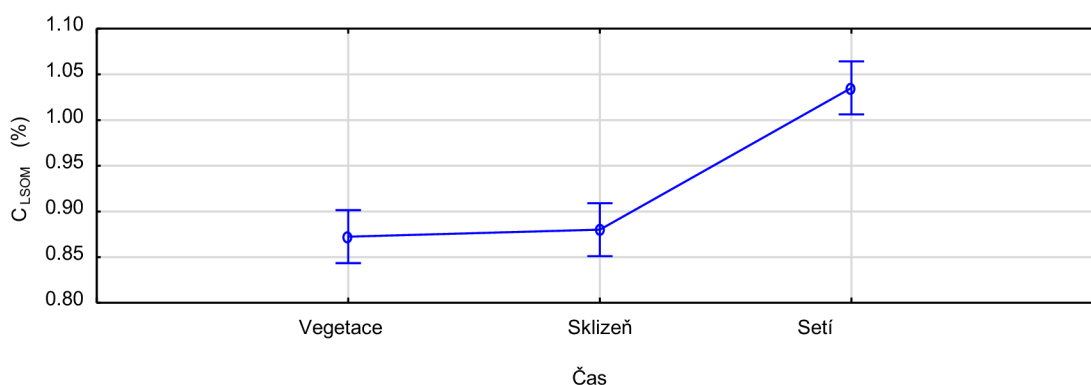


Obrázek 7: Vliv fází odběru půdních vzorků na TOC.

Svislé pruhy označují intervaly spolehlivosti 0,95. TOC: celkový organický uhlík.

Varietou s nejvyšším obsahem TOC před setím byla O₃ (TOC=1,583 %). Během vegetace bylo nalezeno nejvíce organického uhlíku (1,533 %) ve variantě O₆. Při sklizni byl determinován nejvyšší obsah TOC ve variantě O₅ (TOC=1,587 %). Aplikace bakterií mléčného kvašení a entomopatogenních hub na semena (O₂ a O₃) prokázala zvýšený TOC ve srovnání s jinými způsoby ošetření. Kombinace obou však také vykazovala významný nárůst TOC (O₆, O₈), ale byl menší než při samostatné aplikaci. Tento efekt lze přičíst skutečnosti, že bakterie mléčného kvašení jsou součástí systému a dominují ostatním účinným mikroorganismům. Pokud jsou aplikovány společně jsou dobrými rozkladači půdních organických materiálů (Ahn et al., 2014; Formowitz et al., 2007) s vysokou metabolickou aktivitou a působí jako rychlí rozkladači jednoduše strukturovaných organických látek bohatých na živiny (Judd et al., 2006). Různé studie uvádějí zvýšené výnosy a příjem živin tam, kde byly použity účinné mikroorganismy obsahující bakterie mléčného kvašení (Giassi et al., 2016; Hu

a Qi, 2010; Javaid a Bajwa, 2011). Kromě bakterií mléčného kvašení může být účinek vykazovaný entomopatogenními houbami způsoben jejich schopností kolonizovat a vytvořit prospěšnou symbiózu s mnoha rostlinnými druhy včetně fazolí (Behie et al., 2015), sóji, kukuřice, tabáku, pšenice (Russo et al., 2015) hrachu (Wang et al., 2017). Také působí jako primární degradátoři s vysokými enzymatickými schopnostmi (Krauss et al., 2011; Kubicek a Druzhinina, 2007). Navíc Romaní et al. (2006) studovali interakce bakterií a hub v rozkládajícím se stelivu. Ačkoli jejich interakce během procesu rozkladu nebyly dobře zdokumentovány, byly detekovány synergické a antagonistické interakce z hlediska růstu a vzorců degradačních enzymů exprimovaných komunitami bakterií i hub pěstovanými odděleně a společně v listech rákosu. Bakterie rostly dobře, když byly společně s houbami, i když v určitém okamžiku byl růst hub bakteriemi omezen. Houby fungovaly dobře, když byly samy.



Obrázek 8: Vliv fází odběru půdních vzorků na C_{LOF} .

Svislé pruhy označují intervaly spolehlivosti 0,95. C_{LOF} : labilní frakce uhlíku půdní organické hmoty.

Fáze odběru měly také významný vliv na labilní frakci půdní organické hmoty ($F_{(2, 78)}=39,807$, $p<0,001$) s průměrem C_{LOF} 1,035^b % pro odběr před setím, 0,880^a % během sklizně a 0,872^a % během vegetace (Obrázek 8). Nejnižší C_{LOF} byl zaznamenán během sklizně u varianty O₉, $C_{LOF}=0,714$ %, před setím u varianty O₃, $C_{LOF}=0,954$ % a během vegetace u varianty O₂, $C_{LOF}=0,754$ %. Ačkoli změna TOC, C_{LOF} , a k u všech variant a ve všech fázích, intervaly spolehlivosti ošetření se překrývaly a nevykazovaly žádné významné účinky.

3.2 Index řízení uhlíku (CMI), index uhlíkové lability (LI) a poměr obohacení uhlíku (ER)

Jako indikátory, které mohou odrážet změny zásob organické hmoty v půdě, zejména labilní frakce, byly vyhodnoceny: rychlostní konstanta oxidační reakce organické hmoty, index uhlíkové lability, index hospodaření s uhlíkem a poměr

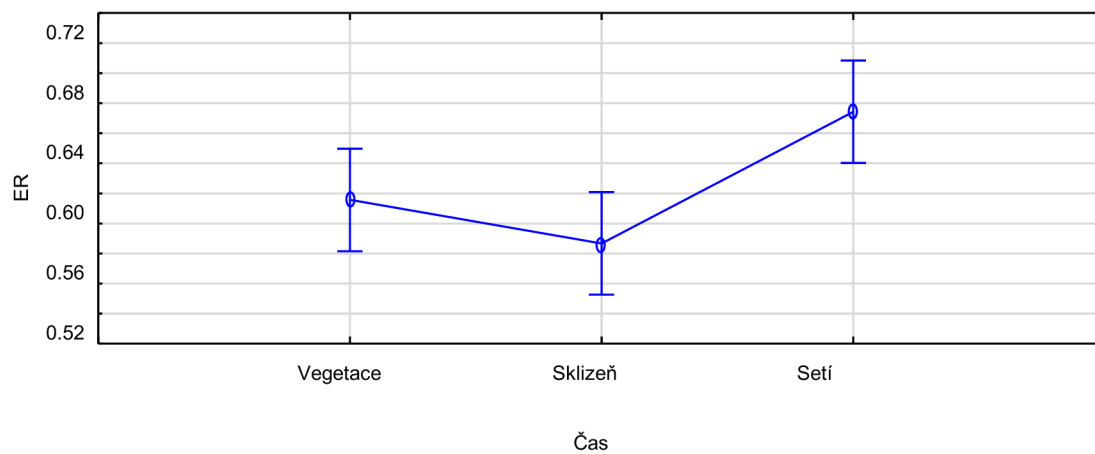
obohacení uhlíkem (Přílohy – tabulky 2 a 3). Je třeba poznamenat, že luskoviny (lupina, hrách) mají posklizňové zbytky, které se snadněji rozkládají (nízký poměr C:N), což krátkodobě ovlivňuje uhlík organické hmoty v půdě (da Silva et al., 2022; Halvorson et al., 1991; Woźniak a Rachoń, 2022).

3.2.1 Hrách setý (*Pisum sativum*)

Varianta ošetření a fáze odběru půdních vzorků prokázaly různé účinky na poměr obohacení uhlíku (ER), ale nebyly statisticky významné. ER byl nejvyšší u odběru během vegetace, poté v odběru před setím a při sklizni. Nejvyšší poměr obohacení uhlíkem zaznamenaný během vegetativního růstu byl u varianty O₃ (0,734 %), během sklizně u varianty O₅ (0,664 %) a před setím u varianty O₉ (0,646 %). Nejnižší hodnoty byly 0,577 %, 0,564 % a 0,577 % pro vegetativní, sklizňovou a předset'ovou fázi. Tento trend byl podobný u indexu uhlíkové lability (LI) a indexu řízení uhlíku (CMI).

3.2.2 Lupina bílá (*Lupinus albus*)

ER byl statisticky odlišný ve třech fázích ($F_{(2, 24)}=7,2975$, $p=0,00334$); před setím 0,674^b %, během vegetace 0,616^a % a při sklizni 0,587^a % (Obrázek 9). Ve fázi odběru před setím byl zjištěn nejvyšší index lability, nejvyšší index hospodaření s uhlíkem, nejvyšší poměr obohacení uhlíkem a nejnižší konstanta rychlosti oxidační reakce u varianty O₇. Ve fázi sklizně a vegetace měly varianty O₆ a O₄ stejný trend jako fáze před setím. Stejný trend výsledků získali Blair et al. (1995) při studiu frakcí uhlíku v půdě na základě jejich stupně oxidace a vývoji indexu hospodaření s uhlíkem pro zemědělské systémy, Vieira et al. (2007) studující index hospodaření s uhlíkem založený na fyzikální frakcionaci půdní organické hmoty v dlouhodobých bezorebných systémech a Sodhi et al. (2009) studující, jak používat index hospodaření s uhlíkem k posouzení dopadu aplikace kompostu na změny uhlíku v půdě.



Obrázek 9: Vliv fází odběru půdních vzorků na C_{LOF} .
Svislé pruhy označují intervaly spolehlivosti 0,95.

Závěr

V tomto experimentu byly v různých variantách (O₁-O₉) aplikovány mykoparazitické entomopatogení houby (MEH) a bakterie mléčného kvašení (BMK) na osivo a list hrachu setého (*Pisum sativum*) a lupiny bílé (*Lupinus albus*). V takto ošetřených porostech byl sledován vliv jednotlivých ošetření v různých termínech odběru půdních vzorků na půdní organickou hmotu. Jednotlivé půdní vzorky byly odebrány před setím, během vegetace a při sklizni.

Obsah TOC v porostech hrachu setého se lišil v závislosti na termínu odběru půdních vzorků. Nejvyšší průměrné zastoupení TOC v půdě bylo naměřeno ve vzorku odebraném před setím. Dále pak byl sledován jen nepatrně nižší obsah TOC v půdním vzorku odebraném při sklizni. Nejnižší obsah TOC byl zaznamenán u vzorku odebraném během vegetace. Nízké hodnoty TOC během vegetačního období mohly být způsobeny zvýšenou mikrobiální aktivitou, zvýšenou teplotou a vlhkostí půdy. Při porovnávání jednotlivých variant ošetření bylo zjištěno, že nejvyšší obsah TOC v odběru před setím byl zjištěn ve variantě O₃ (osivo ošetřené MEH). Během vegetace byly naměřeny nejvyšší hodnoty TOC ve variantě O₈ (osivo ošetřené BMK a rostliny ošetřené MEH). Při sklizni byl nejvyšší obsah TOC determinován ve variantě O₅ (rostliny ošetřené MEH).

Management ošetření měl statisticky významný vliv na frakci C_{LOF} u variant O₂ (osivo ošetřené BMK), O₄ (rostliny ošetřené BMK), O₆ (osivo a rostliny ošetřené BMK), O₇ (osivo a rostliny ošetřené MEH) a O₈ (osivo ošetřené BMK a rostliny ošetřené MEH). Kromě C_{LOF} management ošetření významně ovlivnil také rychlostní konstantu oxidační reakce půdní organické hmoty (k). Nejvyšší rychlostní konstanta oxidační reakce (k) byla zaznamenána během sklizně u varianty O₃, dále pak během vegetace u varianty O₂ a před setím rovněž u varianty O₂.

Varianta ošetření a datum odběru půdních vzorků prokázaly různé účinky na poměr obohacení uhlíku (ER). ER byl nejvyšší u odběru během vegetace, poté v odběru před setím a při sklizni. Při porovnání jednotlivých variant ošetření byl nejvyšší poměr obohacení uhlíkem zaznamenán během vegetace u varianty O₃, dále pak při sklizni u varianty O₅ a před setím u varianty O₉. Tento trend byl podobný i u indexu uhlíkové lability (LI) a indexu řízení uhlíku (CMI).

V porostech lupiny bílé měl datum odběru na obsah TOC také významný vliv. Nejvyšší hodnota TOC byla zaznamenána podobně jako u hrachu před setím. Druhý

nejvyšší obsah TOC byl naměřen ve vzorku odebraném při sklizni a nejnižší hodnota byla zaznamenána během vegetace. Při porovnávání jednotlivých variant ošetření v porostech lupiny bílé byl zjištěn nejvyšší obsah TOC před setím ve variantě O₃. Během vegetace bylo nalezeno nejvíce celkového organického uhlíku ve variantě O₆. Při sklizni byl determinován nejvyšší obsah TOC ve variantě O₅.

Datum odběru měl také významný vliv na labilní frakci půdní organické hmoty. Nejvyšší hodnoty C_{LOF} byly naměřeny v odběru před setím. Srovnatelně nízké hodnoty pak byly zaznamenány v odběru při sklizni a během vegetace. Při porovnání jednotlivých variant byl zaznamenán nejnižší obsah C_{LOF} během sklizně u varianty O₉, před setím u varianty O₃ a během vegetace u varianty O₂. ER byl statisticky odlišný ve třech fázích před setím, během vegetace a při sklizni. Ve fázi odběru před setím byl zjištěn nejvyšší index lability, nejvyšší index hospodaření s uhlíkem, nejvyšší poměr obohacení uhlíkem a nejnižší konstanta rychlosti oxidační reakce u varianty O₇. Ve fázi sklizně a vegetace měly varianty O₆ a O₄ stejný trend jako fáze před setím.

Výsledky ukázaly, že ošetření hrachu setého a lupiny bílé entomopatogenními houbami a bakteriemi mléčného kvašení v ekologicky obhospodařovaných farmách ovlivnilo index řízení uhlíku, index uhlíkové lability, poměr obohacení uhlíku, rychlost oxidace labilní organické hmoty a následně i zásoby organické hmoty v půdě. Tudíž se potvrdila hypotéza, že použité látky budou ovlivňovat růst a vývoj rostlin, což se projeví i v množství a kvalitě půdní organické hmoty v půdních vzorcích odebraných z různých variant managementu.

Seznam použité literatury

1. Ahn, K., Lee, K. B., Kim, Y. J., & Koo, Y. M. (2014). *Quantitative analysis of the three main genera in effective microorganisms using qPCR*. Korean Journal of Chemical Engineering, 31, 849-854.
 2. Alghamdi, R. S. & Cihacek, L. (2022). *Do post-harvest crop residues in no-till systems provide for nitrogen needs of following crops?* Agronomy Journal, 114(1), 835-852.
 3. Baker, R., Scher, F.M. (1987). *Enhancing the activity of biological control agents, In Chet, I. Innovative approaches to plant disease control*, The Hebrew university of Jerusalem, Rehovot, Izrael, ISBN 0 471-80962-4
 4. Baldock, J. A., & Nelson, P. N. (2000). *Soil Organic Matter*. Section B Pages 25–84 in ME Sumner, eds. Handbook of Soil Science.
 5. Behie, S. W., Jones, S. J., & Bidochka, M. J. (2015). *Plant tissue localization of the endophytic insect pathogenic fungi Metarhizium and Beauveria*. Fungal Ecology, 13, 112-119.
 6. Benitez, T., Rincon, A. M., Limon, M. C. (2004). *Mecanismos de biocontrol de cepas de Trichoderma*, Int. Microbiology, 17(4), S.249-260, ISSN 1139-6709
 7. Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). *Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems*. Australian journal of agricultural research, 46(7), 1459-1466.
 8. Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The nature and properties of soils*. 14th Edition, Pearson Education, New Jersey. ISBN 978-0133254488.
 9. Bremer, E., Janzen, H. H., & Johnston, A. M. (1994). *Sensitivity of total, light fraction and mineralizable organic matter to management practices in a Lethbridge soil*. Canadian journal of soil science, 74(2), 131-138.
 10. Burford, M. A., Costanzo, S. D., Dennison, W. C., Jackson, C. J., Jones, A. B., McKinnon, A. D., ... & Trott, L. A. (2003). *A synthesis of dominant ecological processes in intensive shrimp ponds and adjacent coastal environments in NE Australia*. Marine pollution bulletin, 46(11), 1456-1469.
 11. Clunes, J., Valle, S., Dörner, J., Martínez, O., Pinochet, D., Zúñiga, F., Blum, W. E. (2022). *Soil fragility: A concept to ensure a sustainable use of soils*. Ecological Indicators, 139:108969.
-

-
12. Cotrufo, M. F., Lavalley, J. M. (2022). *Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration*. *Advances in agronomy*, 172:1–66.
 13. da Silva, J. P., Teixeira, R. D. S., da Silva, I. R., Soares, E. M., & Lima, A. M. (2022). *Decomposition and nutrient release from legume and non-legume residues in a tropical soil*. *European Journal of Soil Science*, 73(1), e13151.
 14. Danger, M., Gessner, M. O., & Bärlocher, F. (2016). *Ecological stoichiometry of aquatic fungi: current knowledge and perspectives*. *Fungal Ecology*, 19, 100-111.
 15. Domsch, K. H., Gams, W., & Anderson, T. H. (1980). *Compendium of soil fungi. Volume 1*. Academic Press (London) Ltd.
 16. Duranti, M., Consonni, A., Magni, Ch., Sessa, F.; Scarafoni, A. (2008). *The major proteins of lupin seed: Characterisation and molecular properties for use as functional and nutraceutical ingredients*. *Trends in Food and Science*, 19, 624-633.
 17. Emadodin, I., Reiss, S., Bork, H. R. (2009). *A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (case study near Albersdorf, Northern-Germany)*. *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(4), 48-53.
 18. Erenstein, O., Chamberlin, J., Sonder, K. (2021). *Farms worldwide: 2020 and 2030 outlook*. *Outlook on Agriculture*, 50(3), 221-229.
 19. Ferreira, C. S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G., Ghajarnia, N., Kalantari, Z. (2022). *Soil degradation in the European Mediterranean region: Processes, status and consequences*. *Science of the Total Environment*, 805:150106.
 20. Flohrová, A. (2000). *Význam luskovin v současných pěstitelských systémech: (studijní zpráva)*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha. ISBN 80-7271-046-x.
 21. Formowitz, B., Elango, F., Okumoto, S., Müller, T., & Buerkert, A. (2007). *The role of “effective microorganisms” in the composting of banana (Musa ssp.) residues*. *Journal of plant nutrition and soil science*, 170(5), 649-656.
 22. Gadd, G. M. (2007). *Presidential address geomycology: Biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation*. *Mycol. Res*, 3, 3-49.
 23. Georgieva, N. A. a Kosev, V. I. (2016). *Analysis of character association of quantitative traits in Lupinus species*. *Journal of Agricultural Science* 8 (7): 23–29
-

-
24. Giassi, V., Kiritani, C., & Kupper, K. C. (2016). *Bacteria as growth-promoting agents for citrus rootstocks*. Microbiological research, 190, 46-54.
 25. Görner, F. a Valík, L. (2004). *Aplikovaná mikrobiológia požívatin*. 1. vyd. Bratislava: Malé centrum, TYPOSET, 2004. 528 s. ISBN 80-967064-9-7.
 26. Gosling, P., Parsons, N., & Bending, G. D. (2013). *What are the primary factors controlling the light fraction and particulate soil organic matter content of agricultural soils?* Biology and fertility of soils, 49, 1001-1014.
 27. Graman, J. a Čurn, V. (1998). *Šlechtění zemědělských plodin: (obiloviny, luskoviny)*. 1. vyd. Jihočeská univerzita, České Budějovice. ISBN 80-7040-300-4.
 28. Gulis, V., Kuehn, K. A., Schoettle, L. N., Leach, D., Benstead, J. P., & Rosemond, A. D. (2017). *Changes in nutrient stoichiometry, elemental homeostasis and growth rate of aquatic litter-associated fungi in response to inorganic nutrient supply*. The ISME journal, 11(12), 2729-2739.
 29. Guo, L. J., Zhang, Z. S., Wang, D. D., Li, C. F., & Cao, C. G. (2015). *Effects of short-term conservation management practices on soil organic carbon fractions and microbial community composition under a rice-wheat rotation system*. Biology and Fertility of Soils, 51, 65-75.
 30. Güsewell, S., & Gessner, M. O. (2009). *N: P ratios influence litter decomposition and colonization by fungi and bacteria in microcosms*. Functional Ecology, 23(1), 211-219.
 31. Halvorson, J. J., Smith, J. L., & Franz, E. H. (1991). *Lupine influence on soil carbon, nitrogen and microbial activity in developing ecosystems at Mount St. Helens*. Oecologia, 87, 162-170.
 32. Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma species—opportunistic, avirulent plant symbionts*. Nature reviews microbiology, 2(1), 43-56.
 33. Haynes, R. J. (2000). *Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand*. Soil Biology and Biochemistry, 32(2), 211-219.
 34. Haynes, R. J. (2005). *Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils: an overview*. Advances in agronomy, 85, 221-268.
 35. Herzig, I., Suchý, P., Straková, E. (2010). *Lupina a její význam pro zdraví lidí a ve výživě zvířat*. Veterinářství, 60, 416-419
-

-
36. Hosnedl, V., Vašák, J., Mečiar, L. (1998). *Rostlinná výroba-2 : (Luskoviny, Olejníny)*. Agronomická fakulta ČZU, Praha. 180 s.
37. Houba, M., Hochman, M., Hosnedl, V. (2009). *Luskoviny: pěstování a užití*. 1. vyd. České Budějovice: Kurent, 133 s. ISBN 978-80-87111-19-2.
38. Hu, C., & Qi, Y. (2010). *Effect of compost and chemical fertilizer on soil nematode community in a Chinese maize field*. *European Journal of Soil Biology*, 46(3-4), 230-236.
39. Hu, C., & Qi, Y. (2013). *Long-term effective microorganisms application promote growth and increase yields and nutrition of wheat in China*. *European Journal of Agronomy*, 46, 63-67.
40. Hýbl, M., Ondřej, Michal., Seidenglanz, M., Vaculík, A. (2011). *Metodika pěstování lupiny bílé, žluté a úzkolisté*. Asociace pěstitelů a zpracovatelů luskovin. Certifikovaná metodika. 32 s. Šumperk. ISBN 978-80-87360-02-6.
41. Chen, Z., Wang, H., Liu, X., Zhao, X., Lu, D., Zhou, J., & Li, C. (2017). *Changes in soil microbial community and organic carbon fractions under short-term straw return in a rice–wheat cropping system*. *Soil and Tillage Research*, 165, 121-127.
42. Chet, I. (1987). *Trichoderma application, mode of action, and potential as a biocontrol agent of soilborne plant pathogenic fungi*, In Chet, I. *Innovative approaches to plant disease control*, The Hebrew university of Jerusalem, Rehovot, Izrael, ISBN 0 471-80962-4
43. Jansson, S. L. & Persson, J. (1982). *Mineralization and immobilization of soil nitrogen*. Nitrogen in agricultural soils.
44. Javaid, A., & Bajwa, R. (2011). *Field evaluation of effective microorganisms (EM) application for growth, nodulation, and nutrition of mung bean*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 35(4), 443-452.
45. Judd, K.E., Crump, B.C., Kling, G.W. (2006). *Variation in dissolved organic matter controls bacterial production and community composition*. *Ecology* 87, 2068–2079.
46. Kay, B. D., & VandenBygaart, A. J. (2002). *Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter*. *Soil and Tillage Research*, 66(2), 107-118.
47. Kögel-Knabner, I. (2002). *The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter*. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(2), 139-162.
-

-
48. Kolář, L., Kužel, S., Horáček, J., Čechová, V., Borová-Batt, J., & Peterka, J. (2009). *Labile fractions of soil organic matter, their quantity and quality*. Plant, Soil and Environment, 55(6), 245-251.
49. Kononova, M. M. (2013). *Soil organic matter: its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Pergamon Press, Oxford. ISBN 9781483185682.
50. Kopecký, M., Kolář, L., Perná, K., Váchalová, R., Mráz, P., Konvalina, P. & Dumbrovský, M. (2022). *Fractionation of soil organic matter into labile and stable fractions*. Agronomy, 12(1), 73.
51. Kopecký, M., Peterka, J., Kolář, L., Konvalina, P., Maroušek, J., Váchalová, R., ... & Tran, D. K. (2021). *Influence of selected maize cultivation technologies on changes in the labile fraction of soil organic matter sandy-loam cambisol soil structure*. Soil and Tillage Research, 207, 104865.
52. Körschens, M. (2002). *Importance of soil organic matter (SOM) for biomass production and environment (a review)*. Archives of Agronomy and Soil Science, 48(2):89–94.
53. Kostelanský, F. (2004). *Obecná produkce rostlinná*. Vyd. 2. nezm. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 212 s. ISBN 80-7157-765-0.
54. Krauss, G. J., Sole, M., Krauss, G., Schlosser, D., Wesenberg, D., & Baerlocher, F. (2011). *Fungi in freshwaters: ecology, physiology and biochemical potential*. FEMS microbiology reviews, 35(4), 620-651.
55. Kubicek, C.P., Druzhinina, I.S. (2007). *Fungal Decomposers of Plant Litter in Aquatic Ecosystems, in: Environmental and Microbial Relationships, The Mycota*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 301–324.
56. Lahola, J. (1990). *Luskoviny: pěstování a využití*. 1. vyd., Praha. ISBN 80-209-0127-2.
57. Lehmann, J. a Kleber, M. (2015). *The contentious nature of soil organic matter*. Nature, 528(7580):1–9.
58. Lehmann, J., Hansel, C. M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Kögel-Knabner, I. (2020). *Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity*. Nature Geoscience, 13(8), 529-534.
59. Leifeld, J., & Kögel-Knabner, I. (2005). *Soil organic matter fractions as early indicators for carbon stock changes under different land-use?* Geoderma, 124(1-2), 143-155.
-

-
60. Li, C. F., Yue, L. X., Kou, Z. K., Zhang, Z. S., Wang, J. P., & Cao, C. G. (2012). *Short-term effects of conservation management practices on soil labile organic carbon fractions under a rape–rice rotation in central China*. Soil and Tillage Research, 119, 31-37.
61. Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., & Fang, C. (2014). *Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis*. Global change biology, 20(5), 1366-1381.
62. Maroušek, J., Bartoš, P., Filip, M., Kolář, L., Konvalina, P., Maroušková, A., Zoubek, T. (2020). *Advances in the agrochemical utilization of fermentation residues reduce the cost of purpose-grown phytomass for biogas production*. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 1-11.
63. Moudrý, J. (2011). *Alternativní plodiny*. Profi Press, Praha. ISBN 978-80-86726-40-3.
64. Mülayim, M., Tamcoç, A., Babaoglu, A. (2002). *Sweet lupins versus local bitter genotype: agronomic characteristic as affected by different planting densities in the Göller region in Turkey*. European Journal of Agronomy. 17, 181-189
65. Murindangabo, Y. T., Kopecký, M., & Konvalina, P. (2021). *Adoption of Conservation Agriculture in Rwanda: A Case Study of Gicumbi District Region*. Agronomy, 11(9), 1732.
66. MZe (2016). *Situační a výhledová zpráva Luskoviny 12/2016*. Ministerstvo zemědělství, Praha, 51 p. ISBN 978-80-7434-225-7
67. Nannipieri, P., Greco, S., & Ceccanti, B. (2017). *Ecological significance of the biological activity in soil*. Soil biochemistry, 293-356.
68. Nesrsta, M. (1991): *Produkce antibiotik a toxinů rodu Trichoderma*, In: Biotechnologie v integrované ochraně, ZD Blatnice, 9-27.
69. Neuerburg, W., Padel, S. et al. (1994) *Organisch-biologischer Landbau in der Praxis*. Moudrý, J. et al. *Ekologické zemědělství v praxi*. Nadace pro organické zemědělství FOA, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha. 476 p.
70. Okrouhlá M. (1993): *Biologické zdroje pro nechemickou ochranu rostlin*. Ústav zemědělských a potravinářských informací Praha, s. 5-38.
71. Partanen, P., Hultman, J., Paulin, L., Auvinen, P., & Romantschuk, M. (2010). *Bacterial diversity at different stages of the composting process*. BMC microbiology, 10(1), 1-11.
-

-
72. Piccolo, A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. S. C. (1997). *Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability*. *Geoderma*, 75(3-4), 267-277.
73. Pineda, A., Kaplan, I., & Bezemer, T. M. (2017). *Steering soil microbiomes to suppress aboveground insect pests*. *Trends in Plant Science*, 22(9), 770-778.
74. Pospíšilová, L., a Tesařová, M. (2009). *Organický uhlík obhospodařovaných půd*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
75. Práválie, R., Patriche, C., Borrelli, P., Panagos, P., Roșca, B., Dumitrașcu, M., Bandoc, G. (2021). *Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes*. A global perspective. *Environmental research*, 194, 110697.
76. Reicosky, D. C. (2003). *Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management*. *Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations, Socio-economy, Policy*, 3-12.
77. Rejšek, K. a Vácha, R. (2018). *Nauka o půdě*. 1. vyd. Olomouc: Agriprint, s.r.o, 2018. ISBN 978-80-87091-82-1
78. Romani, A.M., Fischer, H., Mille-Lindblom, C., Tranvik, L.J. (2006). *Interactions of bacteria and fungi on decomposing litter: differential extracellular enzyme activities*. *Ecology* 87, 2559–2569.
79. Russo, M. L., Pelizza, S. A., Cabello, M. N., Stenglein, S. A., & Scorsetti, A. C. (2015). *Endophytic colonisation of tobacco, corn, wheat and soybeans by the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota, Hypocreales)*. *Biocontrol Science and Technology*, 25(4), 475-480.
80. Sainepo, B. M., Gachene, C. K., & Karuma, A. (2018). *Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya*. *Carbon balance and management*, 13(1), 1-9.
81. Sanderman, J. a Berhe, A. A. (2017). *The soil carbon erosion paradox*. *Nature Climate Change*, 7(5):317–319.
82. Sánka, M. & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Ministerstvo životního prostředí.
83. Smith, P., House, J. I., Bustamante, M., Sobocká, J., Harper, R., Pan, G., ... Pugh, T. A. (2016). *Global change pressures on soils from land use and management*. *Global change biology*, 22(3):1008–1028.
-

-
84. Sodhi, G. P. S., Beri, V., & Benbi, D. K. (2009). *Using carbon management index to assess the impact of compost application on changes in soil carbon after ten years of rice-wheat cropping*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 40(21-22), 3491-3502.
85. Spedding, T. A., Hamel, C., Mehuys, G. R., & Madramootoo, C. A. (2004). *Soil microbial dynamics in maize-growing soil under different tillage and residue management systems*. Soil Biology and Biochemistry, 36(3), 499-512.
86. Stefanidis, S., Alexandridis, V., Chatzichristaki, C., Stefanidis, P. (2021). *Assessing soil loss by water erosion in a typical Mediterranean ecosystem of northern Greece under current and future rainfall erosivity*. Water, 13(15):2002.
87. Stockmann, U., Adams, M. A., Crawford, J. W., Field, D. J., Henakaarchchi, N., Jenkins, M., ... & Zimmermann, M. (2013). *The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 164, 80-99.
88. Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. Univerzita Palackého v Olomouci
89. Šilhánková, L. (2002). *Mikrobiologie pro potravináře a biotechnologii*. 3. upr. vyd. Praha: Academia nakladatelství Akademie věd České republiky, 363 s. ISBN 80-200-1024-6.
90. Šimek, M. (2005). *Základy nauky o půdě*. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Biologická fakulta. ISBN 80-7040-747-6.
91. Tian, K., Zhao, Y., Xu, X., Hai, N., Huang, B., & Deng, W. (2015). *Effects of long-term fertilization and residue management on soil organic carbon changes in paddy soils of China: A meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 204, 40-50.
92. Váchalová, R., Borová-Batt, J., Kolář, L., & Váchal, J. (2014). *Selectivity of ion exchange as a sign of soil quality*. Communications in soil science and plant analysis, 45(20), 2673-2679.
93. Váchalová, R., Kolář L., Muchová Z. (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty: vědecká monografie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2016. ISBN 978-80-552-1467-2.
94. Vieira, F. C. B., Bayer, C., Zanatta, J. A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., & He, Z. L. (2007). *Carbon management index based on physical fractionation of soil*
-

-
- organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems*. Soil and Tillage Research, 96(1-2), 195-204.
95. Visser, S. M., Stroosnijder, L., Chardon, W. J. (2005). *Nutrient losses by wind and water, measurements and modelling*. Catena, 63(1):1–22.
96. Wang, D., Deng, J., Pei, Y., Li, T., Jin, Z., Liang, L., Dong, X. (2017). *Identification and virulence characterization of entomopathogenic fungus *Lecanicillium attenuatum* against the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae)*. Applied entomology and zoology, 52, 511-518.
97. Wang, Q., Liu, X., Li, J., Yang, X., Guo, Z. (2021). *Straw application and soil organic carbon change: A meta-analysis*. Soil and Water Research, 16(2), 112-120.
98. Woźniak, A., & Rachoń, L. (2022). *Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) response to reduced tillage*. Archives of Agronomy and Soil Science, 68(14), 2060-2068.
99. Yan, D., Wang, D., & Yang, L. (2007). *Long-term effect of chemical fertilizer, straw, and manure on labile organic matter fractions in a paddy soil*. Biology and Fertility of Soils, 44, 93-101.
100. Zhu, L., Hu, N., Zhang, Z., Xu, J., Tao, B., & Meng, Y. (2015). *Short-term responses of soil organic carbon and carbon pool management index to different annual straw return rates in a rice–wheat cropping system*. Catena, 135, 283-289.
-

Citace webových zdrojů

1. Hrách. Agromanual.cz [online]. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.agromanual.cz/cz/atlas/plodiny/plodina/hrach.html>>.
 2. Vaněk, V., Kolář, L., & Pavlíková, D. (2010). BIOM. [online] *Úloha organické hmoty v půdě*. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/uloha-organicke-hmoty-v-pude>.
 3. Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Sedlář, O. (2019). *Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam*. [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam>
-

Seznam obrázků

Obrázek 1: Lupina bílá (Kubát, 2002)	10
Obrázek 2: Hrách setý (Horčíčko, 2004)	12
Obrázek 3: Schéma experimentálních parcel	25
Obrázek 4: Vliv fází odběru na TOC	29
Obrázek 5: Účinek ošetření na C_{LOF}	31
Obrázek 6: Vliv ošetření na konstantu rychlosti oxidace organické hmoty (k)	31
Obrázek 7: Vliv fází odběru půdních vzorků na TOC	32
Obrázek 8: Vliv fází odběru půdních vzorků na C_{LOF}	33
Obrázek 9: Vliv fází odběru půdních vzorků na C_{LOF}	35
Obrázek 10: Lupina bílá (<i>Lupinus albus</i>)	51
Obrázek 11: Hrách setý (<i>Pisum sativum</i>)	52
Obrázek 12: Přidávání spalovací směsi k navážené půdě	53
Obrázek 13: Navažování připravených vzorků	54

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled variant	23
Tabulka 2: Frakce půdní organické hmoty podle odpovídajícího obsahu uhlíku a rychlostní konstanty oxidační reakce (%)	54
Tabulka 3: Index lability, index hospodaření s uhlíkem a poměr obohacení uhlíkem	56

Seznam použitých zkratek

Tzv. – Takzvaně

g – Gram

Kg – Kilogram

t – Tuna

ha – Hektar

cm – Centimetr

HTS – Hmotnost tisíce semen

MKS – Milion klíčivých semen

BMK – Bakterie mléčného kvašení

MEH – Mykoparazitické a entomopatogení houby

mm – Milimetr

mol – Molární koncentrace

l – Litr

C_{LOF} – Uhlík labilních organických frakcí

TOC – Celkový organický uhlík

CPI – Index zásoby uhlíku

LI – Index uhlíkové lability

CMI – Index řízení uhlíku

k – Rychlostní konstanta oxidační reakce

ER – Poměr obohacení

C_{SOF} – Uhlík stabilních organických frakcí

Přílohy:



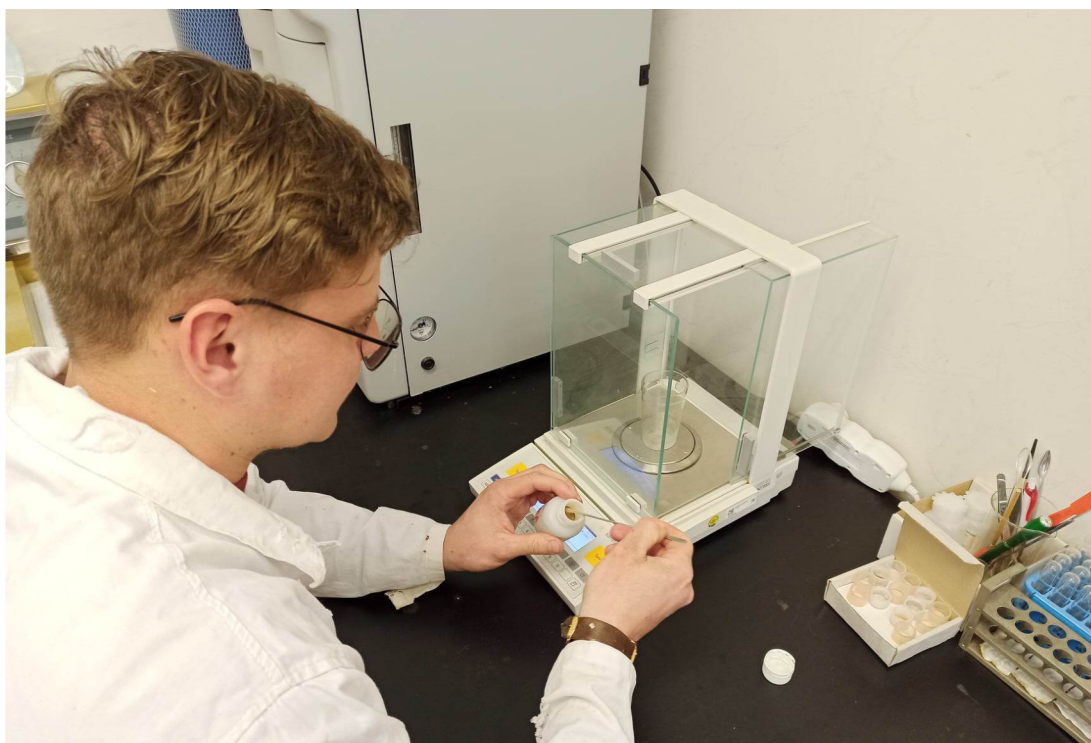
Obrázek 10: Lupina bílá (*Lupinus albus*)



Obrázek 11: Hrách setý (*Pisum sativum*)



Obrázek 12: Přidávání spalovací směsi k navážené půdě



Obrázek 13: Navažování připravených vzorků

Tabulka 2: Frakce půdní organické hmoty podle odpovídajícího obsahu uhlíku a rychlostní konstanty oxidační reakce (%)

Plant	Stage	Treatment	TOC	C _{LSOM}	C _{N-LSOM}	k
<i>Pissu m sativu m</i>	Vegetation	1	1.377 ± 0.006 _{b-d}	1.095 ± 0.002 _{z-b²}	0.285 ± 0.002 _a	1.283 ± 0.021 _a
		2	1.400 ± 0.010 _{c-f}	0.859 ± 0.002 _{e-i}	0.541 ± 0.002 _{g-n}	3.454 ± 0.293 _{k-o}
		3	1.467 ± 0.025 _{h-l}	1.078 ± 0.001 _{z-b²}	0.392 ± 0.001 _{bc}	1.975 ± 0.110 _{a-e}
		4	1.347 ± 0.012 _{a-c}	0.804 ± 0.016 _{b-e}	0.536 ± 0.016 _{g-m}	2.033 ± 0.145 _{a-f}
		5	1.407 ± 0.035 _{d-g}	0.923 ± 0.015 _{j-q}	0.487 ± 0.015 _{d-g}	3.152 ± 0.173 _{i-o}
		6	1.410 ± 0.030 _{d-h}	0.814 ± 0.001 _{b-f}	0.596 ± 0.001 _{m-s}	2.362 ± 0.027 _{b-j}
		7	1.393 ± 0.015 _{b-e}	0.845 ± 0.003 _{d-h}	0.545 ± 0.003 _{g-o}	2.887 ± 0.247 _{e-m}
		8	1.477 ± 0.006 _{i-m}	0.865 ± 0.016 _{e-j}	0.615 ± 0.016 _{q-t}	3.021 ± 0.248 _{e-n}
		9	1.403 ± 0.031 _{e-g}	0.919 ± 0.012 _{i-q}	0.491 ± 0.012 _{d-h}	1.616 ± 0.067 _{a-d}
	Harvesting	1	1.573 ± 0.015 _{s-u}	1.049 ± 0.015 _{w-a²}	0.521 ± 0.015 _{e-j}	1.493 ± 0.100 _{ab}
		2	1.373 ± 0.015 _{b-d}	0.816 ± 0.016 _{b-f}	0.554 ± 0.016 _{i-q}	2.598 ± 0.118 _{c-k}
		3	1.393 ± 0.015 _{b-e}	0.786 ± 0.015 _{b-d}	0.604 ± 0.015 _{o-s}	3.979 ± 0.358 _{no}
		4	1.397 ± 0.015 _{c-f}	0.871 ± 0.016 _{f-j}	0.529 ± 0.016 _{f-k}	2.273 ± 0.215 _{a-j}
		5	1.587 ± 0.015 _{tu}	1.055 ± 0.003 _{x-b²}	0.535 ± 0.003 _{g-m}	2.163 ± 0.094 _{a-i}
		6	1.570 ± 0.010 _{r-u}	0.914 ± 0.005 _{i-p}	0.656 ± 0.005 _{s-u}	2.805 ± 0.053 _{c-m}
		7	1.503 ± 0.012 _{k-p}	0.922 ± 0.015 _{j-q}	0.588 ± 0.015 _{k-r}	3.100 ± 0.139 _{g-o}
8						

		1.470± 0.026 _{i-l}	0.895± 0.015 _{h-n}	0.565± 0.015 _{j-q}	2.754± 0.353 _{e-m}
	9	1.553± 0.006 _{p-u}	1.000± 0.026 _{s-y}	0.550± 0.026 _{h-p}	2.472± 0.234 _{b-k}
	1	1.530± 0.020 _{m-t}	0.962± 0.017 _{o-u}	0.568± 0.017 _{j-q}	2.654± 0.173 _{d-l}
	2	1.533± 0.012 _{m-t}	0.948± 0.009 _{m-t}	0.592± 0.009 _{t-r}	3.283± 0.080 _{j-o}
	3	1.600± 0.010 _u	0.953± 0.006 _{n-u}	0.647± 0.006 _{r-u}	2.655± 0.102 _{d-l}
	4	1.467± 0.006 _{h-l}	0.941± 0.004 _{i-s}	0.529± 0.004 _{r-k}	2.713± 0.126 _{e-m}
	5	1.510± 0.010 _{j-q}	0.975± 0.011 _{p-u}	0.535± 0.011 _{g-m}	2.462± 0.096 _{b-k}
	6	1.530± 0.010 _{m-t}	0.975± 0.010 _{p-u}	0.555± 0.010 _{i-q}	2.350± 0.115 _{b-j}
	7	1.483± 0.006 _{i-n}	0.895± 0.009 _{h-n}	0.585± 0.009 _{j-r}	3.031± 0.216 _{e-o}
	8	1.513± 0.021 _{k-r}	0.873± 0.007 _{f-j}	0.647± 0.007 _{r-t}	3.102± 0.144 _{g-o}
	9	1.513± 0.006 _{k-r}	0.979± 0.009 _{q-v}	0.531± 0.009 _l	2.335± 0.126 _{a-j}
	1	1.443± 0.006 _{c-i}	0.880± 0.005 _{g-l}	0.560± 0.005 _{i-q}	2.059± 0.035 _{a-g}
	2	1.303± 0.032 _a	0.754± 0.002 _{ab}	0.536± 0.002 _{g-m}	2.899± 0.057 _{e-m}
	3	1.290± 0.030 _a	0.774± 0.017 _{a-c}	0.516± 0.017 _{c-j}	2.986± 0.194 _{e-n}
	4	1.403± 0.006 _{c-g}	0.936± 0.017 _{k-r}	0.464± 0.017 _{de}	2.730± 0.267 _{e-m}
	5	1.497± 0.025 _{i-p}	0.958± 0.019 _{o-u}	0.542± 0.019 _{g-o}	2.891± 0.277 _{e-m}
	6	1.533± 0.015 _{m-t}	0.939± 0.021 _{i-s}	0.591± 0.021 _{k-r}	2.879± 0.233 _{e-m}
	7	1.337± 0.021 _{ab}	0.828± 0.024 _{c-g}	0.502± 0.024 _{d-i}	3.734± 0.628 _{m-o}
	8	1.453± 0.025 _{f-j}	0.905± 0.002 _{h-o}	0.545± 0.002 _{g-o}	2.956± 0.086 _{e-n}
	9	1.483± 0.015 _{i-n}	0.876± 0.016 _{f-k}	0.604± 0.016 _{q-s}	2.709± 0.106 _{e-m}
	1	1.460± 0.010 _{g-k}	1.013± 0.003 _{u-y}	0.447± 0.003 _{cd}	2.636± 0.059 _{c-l}
	2	1.477± 0.035 _{i-m}	0.889± 0.103 _{g-m}	0.591± 0.103 _{k-r}	3.119± 1.840 _{h-o}
	3	1.467± 0.015 _{h-l}	0.908± 0.013 _{i-o}	0.562± 0.013 _{j-q}	2.299± 0.083 _{a-j}
	4	1.467± 0.025 _{h-l}	0.859± 0.003 _{e-i}	0.611± 0.003 _{p-s}	2.502± 0.073 _{b-k}
	5	1.550± 0.030 _{o-u}	0.947± 0.004 _{m-t}	0.603± 0.004 _{n-s}	2.614± 0.152 _{c-l}
	6	1.547± 0.006 _{o-u}	0.978± 0.003 _{q-v}	0.572± 0.003 _{j-q}	2.917± 0.026 _{e-m}
	7	1.467± 0.012 _{h-l}	0.783± 0.017 _{b-d}	0.677± 0.017 _{st}	3.664± 0.287 _{l-o}
	8	1.537± 0.012 _{m-t}	0.830± 0.004 _{c-g}	0.700± 0.004 _u	3.130± 0.072 _{h-o}
	9	1.543± 0.015 _{o-u}	0.714± 0.004 _a	0.826± 0.004 _v	3.192± 0.101 _{i-o}
	1	1.553± 0.006 _{p-u}	0.994± 0.011 _{r-x}	0.556± 0.011 _{i-q}	3.062± 0.209 _{f-o}
	2	1.563± 0.006 _{q-u}	1.060± 0.006 _{y-b²}	0.500± 0.006 _{d-i}	2.568± 0.103 _{c-k}
	3	1.583± 0.012 _{tu}	0.954± 0.011 _{n-u}	0.636± 0.011 _{r-t}	4.089± 0.299 _o
	4				
	5	1.500± 0.010 _{i-p}	1.107± 0.008 _{a²b²}	0.393± 0.008 _{bc}	2.150± 0.133 _{a-i}
	6	1.540± 0.010 _{n-t}	1.005± 0.026 _{t-y}	0.535± 0.026 _{g-m}	2.780± 0.191 _{e-m}
	7	1.543± 0.006 _{o-u}	0.989± 0.007 _{r-w}	0.551± 0.007 _{h-p}	2.714± 0.087 _{e-m}
	8	1.493± 0.006 _{i-o}	1.115± 0.007 _{a²}	0.375± 0.007 _b	1.588± 0.040 _{a-c}
		1.520± 0.010 _{l-s}	1.051± 0.004 _{w-a²}	0.469± 0.004 _{d-r}	2.094± 0.090 _{a-h}
	9	1.533± 0.006 _{m-t}	1.040± 0.007 _{v-z}	0.490± 0.007 _{d-h}	2.270± 0.051 _{a-j}

Tabulka 3: Index lability, index hospodaření s uhlíkem a poměr obohacení uhlíkem

Plant	Stage	Treatment	CPI	L	LI	CMI	ER
<i>Pisum sativum</i>	Vegetation	1	1	3.848236	1	100	0.795661
		2	1.016949	1.588273	0.412728	41.9723	0.613642
		3	1.065375	2.745603	0.713471	76.01139	0.734686
		4	0.978208	1.497964	0.38926	38.07773	0.596705
		5	1.021792	1.896001	0.492693	50.34301	0.656248
		6	1.024213	1.367183	0.355275	36.38776	0.577557
		7	1.012107	1.551037	0.403051	40.79309	0.606548
		8	1.072639	1.405803	0.365311	39.1847	0.585657
		9	1.01937	1.872555	0.486601	49.60265	0.654975
	Harvesting	1	1	2.01338	1	100	0.666731
		2	0.872881	1.471142	0.730683	63.77993	0.593884
		3	0.885593	1.301738	0.646544	57.25748	0.564193
		4	0.887712	1.648905	0.818974	72.70125	0.623971
		5	1.008475	1.970916	0.978909	98.72049	0.664797
		6	0.997881	1.393207	0.691974	69.05079	0.582151
		7	0.955508	1.569707	0.779638	74.49506	0.613559
		8	0.934322	1.58532	0.787393	73.56782	0.609029
		9	0.987288	1.819626	0.903767	89.22782	0.643958
	Pre-sowing	1	1	1.693026	1	100	0.628671
		2	1.002179	1.601351	0.945851	94.79121	0.618261
		3	1.045752	1.474227	0.870764	91.06031	0.595833
		4	0.958606	1.778828	1.050679	100.7187	0.641591
		5	0.986928	1.820672	1.075395	106.1338	0.645475
		6	1	1.755102	1.036665	103.6665	0.637037
		7	0.969499	1.529915	0.903657	87.60941	0.603371
		8	0.989107	1.350515	0.797693	78.90036	0.577093
		9	0.989107	1.843691	1.088991	107.7129	0.646916
<i>Lupinus albus</i>	Vegetation	1	1	1.569978	1	100	0.609481
		2	0.903002	1.408115	0.896901	80.99036	0.578755
		3	0.893764	1.500771	0.955918	85.43657	0.600123
		4	0.972286	2.016722	1.284554	124.8954	0.666926
		5	1.036952	1.769735	1.127235	116.8888	0.640378
		6	1.062356	1.58992	1.012702	107.585	0.612553
		7	0.926097	1.648963	1.05031	97.26885	0.619389
		8	1.006928	1.660098	1.057402	106.4728	0.622643
		9	1.027714	1.451629	0.924617	95.02415	0.590777
	Harvesting	1	1	2.264839	1	100	0.693706
		2	1.011416	1.505557	0.664752	67.23409	0.602244
		3	1.004566	1.614848	0.713008	71.62634	0.618972
		4	1.004566	1.406295	0.620925	62.37601	0.585752
		5	1.061644	1.570624	0.693481	73.62303	0.610989
6	1.059361	1.710957	0.755443	80.02866	0.632487		
7	1.004566	1.156456	0.510613	51.29445	0.533839		

	8	1.052511	1.184963	0.5232	55.06738	0.539974
	9	1.057078	0.864572	0.381736	40.3525	0.462682
	1	1	1.786727	1	100	0.63978
	2	1.006438	2.12	1.186527	119.4166	0.678038
	3	1.019313	1.5	0.839524	85.57378	0.602526
	4	0.965665	2.820034	1.578324	152.4132	0.738222
Pre-	5	0.991416	1.880299	1.052371	104.3337	0.652814
sowing	6	0.993562	1.794918	1.004584	99.81171	0.640821
	7	0.961373	2.973333	1.664123	159.9843	0.746652
	8	0.978541	2.240938	1.254214	122.7299	0.691447
	9	0.987124	2.124575	1.189087	117.3777	0.678478
