

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Bilance uhlíku při různých systémech hnojení
v dlouhodobých pokusech s monokulturou silážní kukuřice**

Bakalářská práce

**Kateřina Rousová
Rostlinná produkce**

Vedoucí práce: prof. Ing. Jiří Balík, CSc., dr. h. c.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Bilance uhlíku při různých systémech hnojení v dlouhodobých pokusech s monokulturou silážní kukuřice“ jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala mému školiteli prof. Ing. Jiřímu Balíkovi, CSc., dr. h. c. za odborné rady, pomoc, věnovaný čas a trpělivost. Dále chci poděkovat pracovníkům Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, kteří se na výzkumu podíleli. V neposlední řadě děkuji mé rodině za všestrannou podporu a pomoc.

Bilance uhlíku při různých systémech hnojení v dlouhodobých pokusech s monokulturou silážní kukuřice

Organická hmota v půdě má veliký význam zejména v ohledu půdní úrodnosti. Je dlouhodobým trendem snažit se o zvyšování jejího obsahu v půdách pomocí různých systémů hnojení.

Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv hnojení kejdou a hnojem na obsah a kvalitu organické hmoty v půdě v porovnání s minerálním hnojivem v dlouhodobých polních pokusech s monokulturou silážní kukuřice. Pokusy probíhají pod Katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze a byly založeny v roce 1993 v Červeném Újezdě. Celý pokus je založený na hnojení shodnou dávkou dusíku (120 kg N/ha), která je aplikována v organických a minerálních hnojivech, s kontrolní nehnojenou variantou. Aplikovaným minerálním hnojivem byl síran amonný, organickými hnojivy pak chlévský hnůj a kejda. Sledován byl obsah uhlíku a poměr C:N v nadzemní biomase, ve strništi a v kořenech rostlin v době sklizně a obsah organického uhlíku v ornici.

Minerální dusíkaté hnojení ve srovnání s organickým hnojením vede ke snížení poměru C:N ve strništi i v kořenech kukuřice, což signalizuje méně kvalitní organickou hmotu, která se potenciálně rychleji v půdě mineralizuje.

Za poměrně krátkou dobu 25 let se obsah uhlíku v ornici snížil o 23 % (tj. - 12,35 t C_{org} /ha) na kontrolní variantě a o 26 % (tj. - 14,56 t C_{org} /ha) na pozemcích hnojených síranem amonným. To znamená, že intenzivní minerální dusíkaté hnojení podporuje nežádoucí rozklad stabilní organické hmoty. Naopak při aplikaci chlévského hnoje došlo ke zvýšení obsahu organického uhlíku o 18 % (tj. + 10,14 t C_{org} /ha). Obecně lze říct, že aplikace hnoje pozitivně přispívá k udržení stabilní půdní organické hmoty a je důležitá pro úrodnost půd.

Klíčová slova: monokultura kukuřice, bilance C, hnůj, kejda, síran amonný

Carbon balance in different fertilization systems in long – term experiments with silage maize monoculture

Soil organic matter is particularly important in terms of soil fertility. It is a long-term trend to try to increase its content in soils through various fertilisation systems.

The aim of this study was to evaluate the effect of manure and slurry fertilization on soil organic matter content and quality in comparison with mineral fertilizer in long-term field experiments with a monoculture of silage maize. The experiments are conducted under the Department of Agroenvironmental Chemistry and Plant Nutrition of the Czech University of Life Sciences in Prague and were established in 1993 in Červený Újezd. The whole experiment is based on fertilization with the same nitrogen dose (120 kg N/ha) applied in organic and mineral fertilizers with the control unfertilized variant. The mineral fertilizer applied was ammonium sulphate, while the organic fertilizers were manure and slurry. Carbon content and C:N ratio in above-ground biomass, stubble and plant roots at harvest time and organic carbon content in topsoil were monitored.

Mineral nitrogen fertilization compared to organic fertilization leads to a decrease in the C:N ratio in both stover and corn roots, indicating lower quality organic matter that potentially mineralizes more rapidly in the soil.

Over a relatively short period of 25 years, the carbon content of the topsoil decreased by 23% (i.e. - 12.35 t C_{org}/ha) in the control and by 26% (i.e. - 14.56 t C_{org}/ha) in the plots fertilised with ammonium sulphate. This means that intensive mineral nitrogen fertilisation promotes undesirable decomposition of stable organic matter. In contrast, the application of farmyard manure increased the organic carbon content by 18 % (i.e. + 10.14 t C_{org}/ha). In general, manure application contributes positively to the maintenance of stable soil organic matter and is important for soil fertility.

Keywords: silage maize monoculture, C balance, manure, slurry, ammonium sulfate

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	Význam organické hmoty v půdě	9
3.1.1	Mineralizace.....	10
3.1.2	Rozdělení organické hmoty v půdě	11
3.1.3	Zdroje primární organické hmoty v půdě	12
3.1.4	Humusové látky	14
3.1.5	Zdroje organické hmoty z chemického hlediska.....	15
3.2	Bilance organických látek v rostlinné produkci	16
3.2.1	Priming efekt.....	17
3.3	Cyklus uhlíku	18
3.4	Vliv organických hnojiv na bilanci C	19
3.5	Hnůj	20
3.5.1	Skladování a agronomický význam	21
3.5.2	Využití živin	21
3.6	Kejda	22
3.6.1	Skladování a agronomický význam	22
3.6.2	Využití živin	24
3.7	Vliv minerálních N hnojiv na obsah organické hmoty v půdě	24
3.7.1	Síran amonný	25
3.8	Kukuřice	26
3.8.1	Botanická charakteristika.....	26
3.8.2	Technologie pěstování	27
3.8.3	Výživa a hnojení	29
4	Metodika	31
4.1	Charakteristika pokusu	31
4.1.1	Odrůda kukuřice	31
4.1.2	Charakteristika pokusného stanoviště.....	32
4.1.3	Odběr vzorků	32
5	Výsledky	33
5.1	Obsah uhlíku v rostlinách	33
5.2	Obsah uhlíku ve strništi	33
5.3	Obsah uhlíku v kořenech	34

5.4	Poměr C:N v rostlinách.....	35
5.5	Poměr C:N ve strništi	35
5.6	Poměr C:N v kořenech.....	36
5.7	Obsah organického uhlíku v půdě.....	37
6	Diskuze.....	39
6.1	Obsah uhlíku ve sklizni – v rostlinách, ve strništi a v kořenech	39
6.2	Poměr C:N ve sklizni.....	39
6.3	Obsah C _{org} v půdě.....	40
7	Závěr	42
8	Literatura.....	43
9	Seznam grafů, tabulek a obrázků	48
9.1	Grafy	48
9.2	Tabulky.....	48
9.3	Obrázky	48

1 Úvod

Organická část půdy tvoří ve většině našich běžných zemědělských půd (minerálních půd) jen malý podíl z celkové hmotnosti pevné fáze půdy, nejčastěji okolo 1–5 %. Zbytek představuje minerální podíl, který vznikl z původní matečné horniny. I přes malý obsah, ovlivňuje organická hmota řadu jejich vlastností. Její množství je ovlivňováno řadou půdně-klimatických podmínek, systémy obhospodařování půdy pěstovanými plodinami, hnojením, agrotechnikou apod. Zemědělské plodiny se výrazně liší množstvím a kvalitou posklizňových zbytků a kořenové biomasy. Mezi plodiny s vysokým potenciálem snižovat obsah organické hmoty v půdě patří kukuřice, zejména pokud je pěstována na siláž (Balík et al. 2020). Jak uvádí Šarapatka (2014), u zemědělských plodin zůstávají na stanovišti posklizňové zbytky v množství od 1 tuny u okopanin, přes 3,5 t u obilovin až k 15 t na hektar u travních porostů. To znamená, že největší přísun organické hmoty do půdy je u travních porostů.

Základním prvkem každé organické látky je uhlík (C). V suchozemském ekosystému se uhlík vyskytuje ve třech místech: v atmosféře, v biomase vegetace a živočichů a v půdě. Globálně je zásoba C v půdě asi dvojnásobná oproti atmosféře a biomase a podléhá neustálým změnám. Při mineralizaci půdní organické hmoty se uhlík z půdy uvolňuje do atmosféry. Proto má obsah a kvalita půdní organické hmoty a celkový systém hospodaření na zemědělské půdě vliv i na změny obsahu oxidu uhličitého v atmosféře, to znamená, že primární organická hmota nepřímo ovlivňuje globální změny klimatu (Balík et al. 2019). Obsah C v organických látkách závisí na jejich povaze. Méně transformované organické látky jako jsou například zbytky, obsahují okolo 43–50 % C v sušině, naopak stabilizované složky půdní organické hmoty mohou obsahovat 55–58 %. Obsah uhlíku v zemědělských půdách ČR se pohybuje nejčastěji v rozmezí 1–2 %.

Organická hmota je zásadním ukazatelem kvality půdy. Udržení kvality a kvantity organické hmoty v půdě je důležité pro zajištění dlouhodobé úrodnosti půdy. Organická hmota pozitivně ovlivňuje půdní fyzikální, chemické a biologické vlastnosti (např. půdní strukturu, sorpční a pufrační vlastnosti, činnost mikroorganismů apod.). Zachování nebo zvýšení množství půdní organické hmoty je jedním z nejdůležitějších postupů udržitelného hospodaření s půdou (Černý et al. 2023).

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo posoudit změny bilance uhlíku v dlouhodobé kultuře silážní kukuřice a porovnat účinky různých minerálních a organických hnojiv. Tento výzkum je důležitý i z hlediska dlouhodobě udržitelného hospodaření na půdě v České republice, a to hlavně s ohledem na rostoucí využití kukuřice v bioplynových stanicích, nízkou intenzitou organického hnojení kukuřice a dalších plodin a nevyrovnanost C v zemědělských systémech. Tyto problémy jsou velmi důležité, protože kukuřice má vysoký podíl v osevních postupech. Kromě toho se kukuřice často pěstuje jako monokultura několik let po sobě bez střídání plodin. V ČR tvoří její výměra 10,5 % zemědělské půdy – asi 211 789 ha tvoří kukuřice na siláž a 80 453 ha kukuřice na zrno. Dále luvizem (půdní typ zvolený pro náš pokus) představuje 4,29 % výměry zemědělsky využívaných půd v ČR, což je 179 167 ha. Práce vychází z faktu, že intenzita hnojení minerálními dusíkatými a organickými hnojivy výrazně ovlivňuje obsah organického uhlíku v půdě.

3 Literární rešerše

3.1 Význam organické hmoty v půdě

Půdní organická hmota je důležitá pro úrodnost půdy, udržitelnost zemědělských systémů a produkci plodin. Množství organické hmoty v půdě závisí na vstupu organického materiálu, rychlosti jeho rozkladu, rychlosti mineralizace stávající organické hmoty, struktuře půdy a klimatu. Všechny čtyři faktory na sebe vzájemně působí, takže množství organické hmoty v půdě se mění, často pomalu, směrem k rovnovážné hodnotě specifické pro daný půdní typ a zemědělský systém (Johnston et al. 2009).

Pod pojmem půdní organická hmota se rozumí soubor všech odumřelých organických látek jak rostlinného, tak živočišného původu, nacházejících se v půdě či na jejím povrchu v různém stupni rozkladu (Balík et al. 2019).

Je prokázáno, že půdy s vyšším obsahem půdní organické hmoty lépe hospodaří se zásobami vody a živin, zároveň jsou lépe prohřívány slunečním zářením díky svému tmavšímu zbarvení (Kolář et al. 2014). Dále například svým samotným složením primární organická hmota podstatně ovlivňuje půdní chemické, fyzikální či biologické vlastnosti (Krull et al. 2004). A to i za předpokladu, že je primární organická hmota zastoupena v celkové hmotnosti půd jen 1,5–7 % (Brady & Weil 2008). Je částečně rozpustná ve vodě nebo v roztocích solí. Při pH 7 je rozpuštěná organická hmota nejvíce mobilní. Může obsahovat sacharidy, bílkoviny, tuky, uhlovodíky a jejich deriváty, humínové látky a další jednoduché organické sloučeniny (Zsolnay & Gorlitz 1994).

Tvorba a mineralizace půdního organického uhlíku, který je hlavní složkou půdní organické hmoty, mají zásadní význam pro regulaci klimatu, zásobování potravinami, kulturní dědictví, životní prostředí pro organismy a koloběh živin, ale stále nejsou dostatečně známy a kvantifikovány, zejména v různých půdních frakcích (Villarino et al. 2021).

Část labilní organické hmoty neboli rozpuštěný organický uhlík hraje důležitou roli v půdním prostředí. V půdě při jeho výskytu může docházet k vyluhování do hlubších vrstev půd a do podzemních vod. To se týká zejména písčitých půd. Další význam mají nízkomolekulární organické sloučeniny a nízkomolekulární humusové frakce, které mohou stimulovat a inhibovat růst a vývoj rostlin. Pro půdní mikroorganismy je důležitý energetický potenciál organického uhlíku uvolňujícího se z rostlin.

Obsah organických látek rozpustných ve vodě v orné půdě závisí na agrotechnických faktorech, a především na druhu organického materiálu vnášeného do půdy (Gonet & Debska 2006).

Z dlouhodobých pokusů víme, že změna způsobu obhospodařování (hnojení, agrotechniky, osevního postupu, zastoupení plodin) nastartuje změny obsahu půdní organické hmoty, které probíhají po desetiletí. Po dostatečně dlouhé době se začne vytvářet nová dynamická rovnováha, při níž jsou vstupy organické hmoty a její mineralizace vyrovnány. Dynamická rovnováha pak trvá do té doby, než nastane další změna vnějších podmínek (Johnston et al. 2009). Jako příklad lze uvést pokus Broadbalk v Rothamstedu, kde je pokusná

parcela založená v roce 1843, která nebyla 180 let organicky ani minerálně hnojená a po celou dobu se na ní pěstuje ozimá pšenice v monokultuře. Přitom obsah uhlíku v ornici je stabilní na úrovni 0,91 % C_{org} (Christensen & Johnston 1997). Obecně platí, že v jílovité půdě bude organické hmoty více než v písčité a zároveň pro každý typ půdy bude větší podíl organické hmoty u trvale zatravněných pozemků než u klasicky využívaných pozemků pro pěstování plodin. Trendy dlouhodobých výnosů plodin ukazují, že s rostoucím výnosovým potenciálem jsou výnosy často větší na půdách s větším obsahem organické hmoty než na půdách s menším obsahem (Johnston et al. 2009).

Množství organické hmoty v půdě je výsledkem vstupu organických materiálů a jejich následného rozkladu v půdě. Postupným rozměňováním, rozkladem a redistribucí vzniká humusový materiál, který je důležitý z hlediska výživy rostlin a následně se dělí na několik částí. Z hlediska obsahu organické hmoty v půdě je nejdůležitějším hlediskem udržení půdní struktury a stability půdy, protože snížení organické hmoty v půdě může vést ke ztrátě její struktury a k následné erozi (Spain et al. 1983).

3.1.1 Mineralizace

Většina dodané půdní organické hmoty je mineralizována a pouze malá část zůstává v půdě a tvoří složky pro utváření humusových látek. Mineralizace je v podstatě pomalé spalování a produktem jsou oxid uhličitý a minerální živiny. Je to exotermický proces, takže se při něm uvolňuje energie. Většina z ní se vyzáří a jen malá část se spotřebuje na humifikaci. Obecně lze říct, že v půdách mineralizace vždy mnohonásobně převyšuje humifikaci. To platí zejména v půdách v nižších polohách, kde mají mikroorganismy vhodnější podmínky, a proto je větší část půdní organické hmoty mineralizována. V těchto půdách jsou zároveň vhodné podmínky i pro humifikaci, takže část organických látek může být transformována na humusové látky.

Čím vyšší je nadmořská výška, tím více se snižuje mineralizace půdní organické hmoty i humifikace a organická hmota se v půdě hromadí. Ve vlhkých, studených a kyselých půdách se může primární organická hmota mineralizovat jen nepatrně a humifikovat nemusí vůbec. Při těchto podmínkách se pak kořínky, opad listů a ostatní posklizňové zbytky v půdě hromadí. A jelikož při nízkém pH se zvyšuje mobilita železa a hliníku, je tato primární organická hmota jednoduše proscena koloidním roztokem sloučenin železa a hliníku a ztrácí tím schopnost sloužit jako zdroj energie pro půdní mikroorganismy trvale. Taková hmota se nazývá „mumifikovaná půdní organická hmota“. V podstatě pak neslouží ani jako zdroj živin a ani výrazně neovlivňuje fyzikální vlastnosti půd.

Je proto důležité volit vhodné zdroje primární organické hmoty na základě půdních podmínek. Někde může hospodaření s organickou hmotou zlepšit využití zeleného hnojení nebo zaorání slámy, ale někde je potřeba dodávat již organické látky částečně humifikované v podobě hnoje nebo kompostu.

Oxid uhličitý (CO_2), který se uvolňuje během mineralizace, zvyšuje v půdě rozpustnost některých sloučenin a tím přispívá k uvolnění živin pro rostliny. V této souvislosti však může také negativně snižovat pH půdy (okyselovat) a to rozpouštěním uhličitánů a zvyšováním

mobility vápníku. Významné je ale působení oxidu uhličitého v přízemních vrstvách, kde ho následně využívají pěstované rostliny jako zdroj uhlíku. Tento uhlík rostlinami není přijímán z půdy, protože rostliny ho přijímají přímo z atmosféry ve formě CO₂. Rozklad primární organické hmoty může být považován jen jako nepřímé „hnojení“ uhlíkem (Černý et al. 2019).

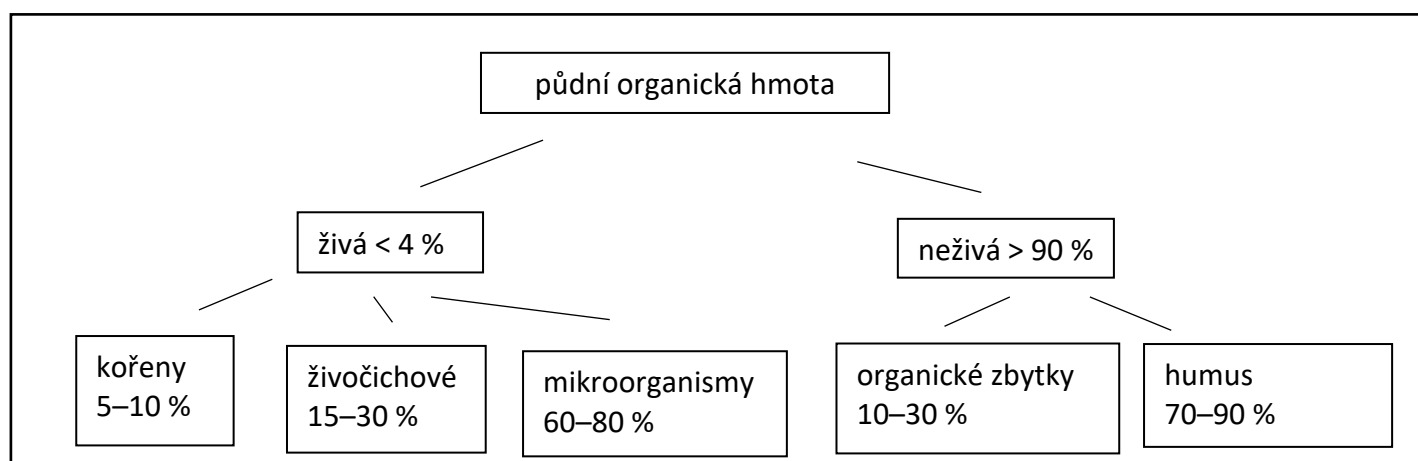
3.1.2 Rozdělení organické hmoty v půdě

Organická hmota se dělí na živou a neživou složku. Za neaktivnější skupinu živé části půdy lze považovat mikroedafon (bakterie, aktinobakterie – aktinomycety, houby, sinice aj.), který se podílí na většině rozkladných, transformačních i syntetických procesů. V živé části organického podílu mají velké zastoupení také rostliny (Allison, 1973).

Neživou část organických látek v půdě tvoří primární organická hmota a humusová substance (humus). Obě složky organické části půd jsou významné, jsou na sobě závislé a ve svých důsledcích působí na celkovou biologii půdy, mineralizační a imobilizační procesy, včetně transformace organických látek na složité a stabilní sloučeniny v půdě.

Primární organická hmota v půdě je původní organickou hmotou, která se dostává do půdy (sacharidy, organické kyseliny, aminokyseliny, bílkoviny, tuky, vosky, celulóza, lignin aj.) a nachází se v různém stupni rozkladu. Rychlost rozkladu rostlinných i živočišných zbytků a jejich metabolitů je rozdílná podle látkového složení a do jisté míry i půdních podmínek. Předpokládá se, že primární organická hmota představuje v průměru cca 5–15 % z celkového obsahu organických látek v půdě.

Působením primární organické hmoty v půdě dochází k mineralizaci organické hmoty a tím k následné produkci CO₂ a ostatních minerálních látek, které jsou zdrojem živin pro mikroorganismy a rostliny. Zaručuje rozvoj mikroorganismů a makroedafonu tím, že jim dodává potřebnou energii. Její přítomností se zlepšují fyzikální vlastnosti půdy a je primárním zdrojem pro tvorbu humusových látek (Vaněk et al. 2009).



Obrázek 1: Rozdělení půdní organické hmoty (Šimek 2005).

Třídění půdní organické hmoty

1. Skupina – humusotvorný materiál

Jedná se o čerstvě odumřelé části rostlin či celé rostliny, živočichy a mikroorganismy, včetně jejich produktů metabolismu. Je to organická hmota, která dosud nebyla dotčena rozkladnými procesy.

2. Skupina – meziprodukty rozkladu a syntézy

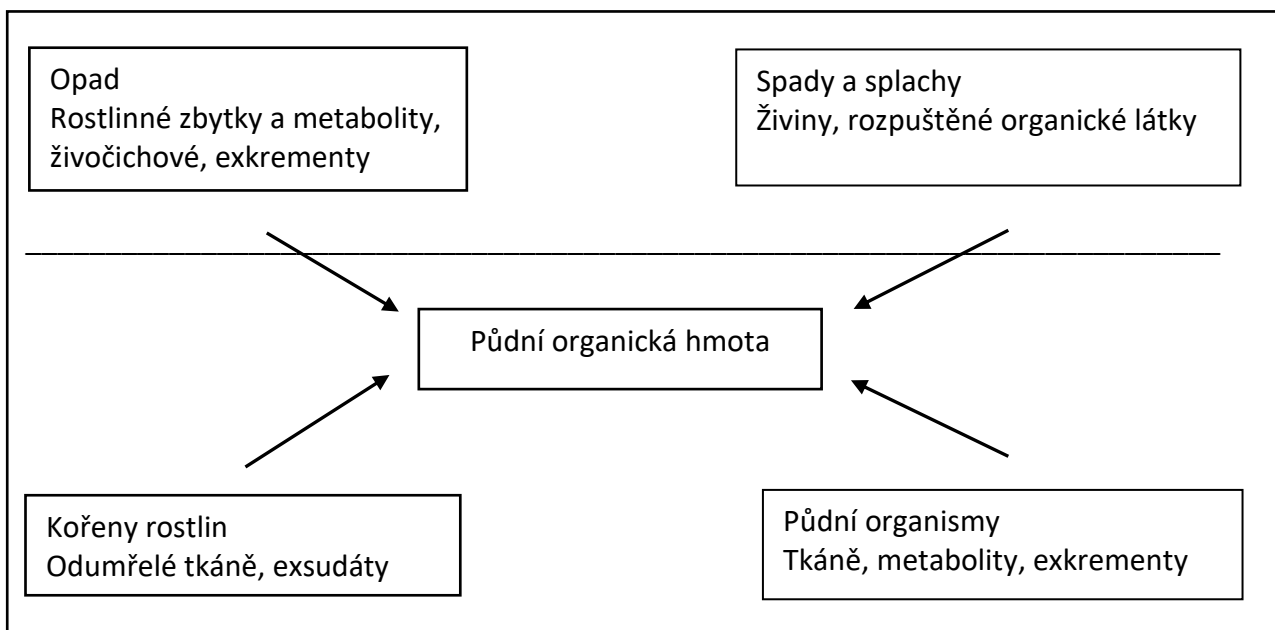
Tato skupina představuje mezistupně přeměn humusotvorného materiálu = látky nespécifické.

3. Skupina – humus

Je tvořen organickou hmotou, která prošla humifikačními pochody = látky specificky půdní (Hůla & Procházková 2008).

3.1.3 Zdroje primární organické hmoty v půdě

Primárním zdrojem půdní organické hmoty jsou rostliny, rostlinné zbytky a různé části rostlin včetně kořenů a jejich exsudátů, jakož i odumřelé buňky půdních autotrofních mikroorganismů. Menší množství organických látek se do půdy dostává i ve formě spadů a splachů. V zemědělských půdách jsou častým a relativně velkým zdrojem organické hmoty organická hnojiva. Sekundárním zdrojem organické hmoty jsou živočichové a heterotrofní půdní mikroorganismy. Mnozí se živí rostlinnou biomasou a produkují exkrementy a posléze po odumření zanechávají v půdě svá těla. Někteří živočichové – žížaly, mravenci a termiti, mají také důležitou úlohu při přemísťování rostlinných zbytků a dalších půdních částic v půdě (Šimek 2005).



Obrázek 2: Zdroje půdní organické hmoty (Šimek 2005).

a) Opad a zbytky nadzemních částí rostlin

Jedná se o listy, části stonků, květy apod. Množství zbytků záleží na rozmanitosti pěstovaných plodin, kolik biomasy vytvářejí a jaká část zůstává na pozemku. Velké množství posklizňových zbytků zanechávají například okopaniny. Opad je tvořen především komplexními strukturními látkami, je tedy postupně rozkládán hlavně pomocí extracelulárních enzymů. Jeho kvalita významně ovlivňuje složení společenstva dekompozitorů a také rychlost rozkladu (Vaněk et al. 2009).

b) Rhizodepozice

Rhizodepozice je proces, při kterém kořeny rostlin uvolňují do okolního prostředí organické sloučeniny (Nguyen, 2009). Rhizodepozicí vstupují do půdy buňky kořenové čepičky, polymerní látky slizovitého charakteru chránící kořenovou špičku, kořenové exudáty, těžké organické látky, uhlík uvolněný do půdy přes kořenové symbionty a buněčný materiál uvolněný po odumření kořenového vlášení či buněk kortexu. Tyto organické látky vstupují do půdy v podstatě v průběhu celé sezóny, kdy rostlina roste a aktivně fotosyntetizuje (Balík et al. 2019). Rhizodepozice je druhově specifická a mění se podle stáří a vývojové fáze rostliny, jejího zdravotního stavu, přítomnosti symbiontů i během dne. Významně ovlivňuje složení půdního mikrobiálního společenstva i jeho aktivitu. Přispívá také ke stabilizaci půdních agregátů (Hütsch et al. 2002).

c) Kořenové zbytky a odumřelé části rostlin

V průběhu vegetace se jedná o odumírající vlasové kořínky a odpadající buňky povrchu kořenů, hlavně kořenové čepičky, které poskytují poměrně dobře rozložitelný materiál. Kořenová hmota po sklizni plodin zůstává v půdě a tvoří hlavní část vstupu organických látek (OL). Existují velké rozdíly v množství kořenové hmoty, kterou zanechávají jednotlivé druhy rostlin. Nejvíce kořenové hmoty zanechávají jeteloviny (3–5 t OL/ha), obilniny většinou 1 – 2 t OL/ha a nejméně okopaniny (0,5 – 1 t OL/ha).

d) Odumřelé mikroorganismy a makroedafon

Obě tato společenstva poskytují velmi kvalitní a většinou dobře využitelný substrát pro následné populace organismů. Jsou zdrojem organických látek, ale i minerálních živin po jejich mineralizaci. Množství C a často i N v biomase mikroorganismů je používáno jako údaj pro upřesnění využitelného (mineralizovatelného) C a N v půdě (Balík et al. 2019).

e) Statková hnojiva

Jsou důležitým článkem koloběhu látek v zemědělském podniku. Dosavadní zkušenosti a výsledky dlouhodobých pokusů jednoznačně ukazují na příznivý vliv statkových hnojiv na půdní úrodnost, obsah organických látek v půdě a stabilitu výnosů. Zvláště v kombinaci s minerálními hnojivy (Vaněk et al. 2009).

Tabulka 1: Stabilita nejvýznamnějších složek primární organické hmoty v půdě (Vaněk et al. 2009).

Složka	Poločas rozkladu
Kořenové exudáty (sekrety)	několik dní
Mikrobiální biomasa, kořenové vlášení	několik týdnů
Hrubší kořeny a části rostlin	až několik let

3.1.4 Humusové látky

Jednou z nejdůležitějších složek organické půdní hmoty je humusová složka. Ta významně ovlivňuje chemické, fyzikálně – chemické a fyzikální vlastnosti půd. Mají významné sorpční a iontovýměnné vlastnosti. To znamená, že na povrchu může poutat ionty, hlavně kationty, čímž vytváří jejich zásobu v půdě. Živiny jsou už ve formě iontů, což je důležité, protože je to podoba přijatelná pro rostliny. Obsah humusových látek se různí podle půd, zpravidla se pohybuje od 2 do 12 %. Humusová složka zaujímá 85–90 % z celkového množství organických látek v půdě. Některé humusové složky se rozkládají v přirozených půdních podmínkách velmi pomalu, takže může přetrvávat v půdě i několik set let (Balík et al. 2019).

Jsou to vysokomolekulární látky, které vznikají v procesu humifikace. Během toho prodělává půdní organická hmota řadu rozkladných procesů, ale především syntetické procesy, při kterých se spotřebovává energie. Tvorba jednotlivých komponentů je závislá na stanovištních podmínkách. V první fázi humifikace se tvoří více fulvokyselin, což je významné z hlediska vlivu primární organické hmoty na pohyblivost živin a těžkých kovů (Vaněk et al. 2009).

Stejně jako primární organická hmota, tak i humusové látky přispívají ke snížení objemové hmotnosti půdy, zvyšují pórovitost, umožňují transport vody v půdě a zvyšují infiltraci vody do půdy. Na rozdíl od primární organické hmoty to humusové látky zajišťují dlouhodobě. S ohledem na vnitřní strukturu makromolekul humusových látek mají navíc schopnost vododržnosti. Vědecké studie uvádí, že mohou zadržet až dvacetinásobek své hmotnosti, přičemž většina zadržené vody může být využívána rostlinami. To je rozdíl od minerálního podílu půdy, zejména jílnatých částic, kdy značná část vody již rostlinami nemůže být využita, neboť zůstává fyzikálně vázána (Černý et al. 2019).

Dle extrahovatelnosti humusových látek alkalickým roztokem a následným okyselením supernantu rozeznáváme: a) fulvokyseliny, b) huminové kyseliny, c) huminy.

a) Fulvokyseliny

Fulvokyseliny patří do skupiny organických kyselin. Oproti huminovým kyselinám mají menší molekulovou hmotnost a větší počet funkčních skupin, zejména COOH. Dále mají větší obsah kyslíku a menší obsah uhlíku než huminové kyseliny. Obsahují aromatické řetězce i alifatické struktury. Jsou rozpustné ve vodě v celém rozsahu pH (Gaffney et al. 1996).

b) Huminové kyseliny

Huminové kyseliny jsou považovány za nejkvalitnější složku humusových látek. S vápníkem a hořčíkem tvoří ve vodě nerozpustné humáty, které ovlivňují příznivě technologické vlastnosti půd všech druhů, zvyšují soudržnost lehkých půd a zlepšují drobitost a zpracovatelnost těžkých půd. Váží na sebe také řadu rizikových prvků (Pb, Hg, Cu) do těžce rozpustných sloučenin, a tak omezují jejich pohyb v půdě a příjem rostlinou (Mikkelsen 2005). Patří k sloučeninám s poměrně velkou molekulovou hmotností. O základním složení huminových kyselin je známo, že obsahují ve své molekule uhlík (52–62 %), kyslík (30–39 %), dusík (3–5 %) a vodík (2,5 - 5 %) (Haider 1996). Ve vodě a kyselinách jsou huminové kyseliny nerozpustné, ale některé jejich soli se vyznačují velkou rozpustností. Významnou schopností huminových látek je vytvářet organominerální komplex, který vzniká, jestliže molekuly huminových kyselin se spojí různými vazbami s jílovými minerály v půdě. Vyznačují se tmavším zbarvením a jsou odolnější vůči rozkladu ve srovnání s fulvokyselinami. Zároveň mají vysokou pórovitost a vytváří předpoklad pro tvorbu dobré a stabilní struktury půdy (Balík et al. 2009).

c) Huminy

Huminy jsou v podstatě huminové kyseliny pevně vázané na minerální podíl půdy, především na jílové minerály. Jsou nerozpustné v celém rozsahu pH. Jsou to tedy chemicky různorodé látky, bohaté na minerální složky. Postupně se přetvářejí v půdě do četných útvarů velmi odolným vůči různým činitelům (Hayes et al. 2017). Jsou charakteristické svou černou barvou. Jsou nejvíce polymerizované a mají největší molekulovou hmotnost. Mají vysoký obsah uhlíku a nižší obsah kyslíku než fulvokyseliny a huminové kyseliny. Mají velký význam při tmelení minerálních částí a pro tvorbu organominerálního sorpčního komplexu (Balík et al. 2019).

Tabulka 2: Stabilita humusových látek v půdě (Černý et al. 2019).

Složka humusu	Poločas rozkladu
Fulvokyseliny	30–80 let
Huminové kyseliny a humáty	600–3 000 let
Huminy	> 3 000 let

3.1.5 Zdroje organické hmoty z chemického hlediska

Šarapatka (2014) popisuje jednotlivé složky organické hmoty vstupující do půdy následovně

- **Jednodušší cukry a organické kyseliny**, které představují látky rozpustné ve vodě, které jsou snadno rozložitelné mikrobiálně, chemicky i fyzikálně – chemickými procesy. Monosacharidy, jako stavební součásti polysacharidů, jsou zdrojem uhlíku a energie dobře využitelné mikrobními společenstvy. V aerobním prostředí se rozkládají až na oxid uhličitý a vodu, v anaerobních podmínkách dochází k tvorbě organických kyselin, alkoholů, vodíku a oxidu uhličitého.

- **Pryskyřice, tuky, vosky a třísloviny**, které jsou rozpustné v organických rozpouštědlech. V porovnání s předchozí skupinou se jedná o látky těžko rozložitelné.
- **Celulóza a hemicelulóza**. Celulóza je základní stavební složkou rostlin a tvoří tak významný zdroj energie pro edafon. Je poměrně snadno rozkládána mikrobiálně, obtížněji chemicky. Hemicelulóza je snadněji rozložitelná než celulóza a snadněji se rozkládá mikrobiálně než chemicky.
- **Lignin** je jednou z hlavních součástí dřevní hmoty a pokládá se za látku, která odolává rozkladné činnosti mikroorganismů. V přírodě se nevyskytuje volný, ale tvoří komplexy zejména s celulózou. Je nejobtížněji rozložitelný a bez přístupu vzduchu se takřka vůbec nerozkládá.
- **Organické dusíkaté látky** dostávající se do půdy jsou z třetiny až poloviny tvořeny bílkovinami. Zbytek tvoří nukleoproteiny a nukleové kyseliny.
- **Popeloviny** jsou látky, které zůstávají v popelu po spálení organické hmoty. Jedná se o látky minerální, které jsou v jednotlivých rostlinách v různém množství. Většinou je jejich obsah pod 10 % množství sušiny.

Z výše uvedeného popisu je patrné, že jednotlivé sloučeniny mají různou odolnost k rozkladu v půdě. Pořadí od nejrychleji rozložitelných až po nejvíce odolné je následující: cukry, jednoduché proteiny > bílkoviny > hemicelulóza > celulóza > tuky, vosky > lignin.

3.2 Bilance organických látek v rostlinné produkci

Rostliny významně ovlivňují množství a kvalitu půdní organické hmoty a také složení a aktivitu půdního mikrobiálního společenstva. Rostliny dodávají do půdy organické látky už v době samotného růstu, a to v podobě kořenových exsudátů, uvolněných povrchových pletiv a odumírajících kořenových vlášení. Další část organických látek se do půdy dostává po sklizni plodin ve formě kořenových zbytků, strniště, plev, pluch, klasových větven, prázdných šesulí apod., tedy neskliditelných posklizňových zbytků. Návrat organických látek do půdy působením rostlin se obtížně kvantifikuje, může se však jednat o desítky procent z celkového množství rostlinou asimilovaného uhlíku.

Určitá část primární produkce se dostává ve formě opadu nebo posklizňových zbytků na povrch půdy a do povrchových horizontů. Ročně se tak na hektar povrchu půdy může dostat několik tun organické hmoty. U zemědělských plodin zůstávají na stanovišti posklizňové zbytky v množství od 1 tuny u okopanin, přes 3,5 t u obilovin až k 15 t na hektar u travních porostů (Šarapatka 2014).

Tok uhlíku do půdy, jeho přeměny a stabilizaci významně ovlivňuje distribuce uhlíku mezi nadzemní a podzemní biomasou rostliny. Distribuce biomasy a zdrojů mezi nadzemní a podzemní rostlinnou biomasou významně ovlivňuje růst, vývoj a rozmnožování rostliny. Každá rostlina je do jisté míry schopna měnit distribuci uhlíku mezi nadzemní a podzemní orgány a přizpůsobit se tak změnám prostředí. Je známo, že minerální hnojení vede kromě podpory rostlinné produkce ke změně distribuce biomasy ve prospěch nadzemních částí rostliny.

Přídavek živin totiž snižuje konkurenci o živiny pod zemí, což umožňuje rostlinám méně investovat do tvorby kořenů a soustředit se na nadzemní produkci.

S rozvojem metod využívajících izotopové značení rostlin se stále více pozornosti soustřeďuje na uhlík, který rostlina alokuje pod zem. Tento tok je významný jak z hlediska hospodaření rostliny s uhlíkem, tak kvůli jeho významu pro tvorbu a stabilizaci půdní organické hmoty. Podle druhu rostliny a v závislosti na podmínkách prostředí rostlina alokuje pod zem 30–70 % fixovaného uhlíku v podobě organických látek. Například v travinných ekosystémech může tento tok představovat 1,5 – 3 t C ha⁻¹ za jednu vegetační sezónu. Po transportu do podzemních orgánů je tento uhlík dále distribuován a slouží k různým účelům. Asi polovina ho zůstane v kořenech, kde je využit k jejich obnově, růstu a syntéze zásobních látek a tím pádem vytváří čistou podzemní primární produkci. Kolem 33 % je prodýcháno kořeny, kořenovými symbionty a rhizosférními mikroorganismy a asi 12 % je vázáno v půdě. Tato distribuce uhlíku ke druhově specifická a závislá na podmínkách prostředí, ale obecně lze říci, že více než 60 % uhlíku, který rostlina distribuuje pod zem, je potenciálně zdrojem pro tvorbu půdní organické hmoty.

Uhlík, který rostlina alokuje do půdy ve formě podzemního opadu a rhizodepozice má podle dnešních poznatků větší význam pro tvorbu a stabilizaci půdní organické hmoty než nadzemní opad. Je to dáno hlavně jeho pomalejším rozkladem ve srovnání s nadzemním opadem, a tedy delší dobou setrvání v půdě (v průměru 2–3 x delší) (Šantrůček & Šantrůčková 2018).

3.2.1 Priming efekt

Vstup organických látek do půdy může významně ovlivnit dekompozici stabilní půdní organické hmoty. Rostlinný opad a látky uvolněné rhizodepozicí představují významný zdroj uhlíku, živin a energie pro půdní mikroorganismy. Jejich vstup do půdy je signálem pro aktivaci mikrobiálního společenstva. Nízkomolekulární, snadno dostupné látky jsou velmi rychle asimilovány do mikrobiální biomasy a zprvu využity v energetickém metabolismu. V případě, kdy je dostatek substrátu i dalších živin (hlavně dusíku a fosforu) dochází během krátké doby k nárůstu mikrobiální biomasy. Aktivní mikroorganismy produkují ve zvýšené míře extracelulární enzymy, pomocí nichž rozkládají komplexní organické látky obsažené ve vstupujícím substrátu nebo v primární organické hmotě. Zpřístupňují tak další jednoduché uhlíkaté sloučeniny a živiny, které jsou potřebné pro další růst. Prostřednictvím organického materiálu vstupujícího do půdy je tedy stimulován rozklad primární organické hmoty. Tento jev se nazývá priming efekt (Kuzyakov 2010).

Když se vyčerpá dostupný substrát, dochází k limitaci růstu mikroorganismů, k jeho zastavení a postupnému odumírání. Odumírající mikrobiální biomasa představuje opět vstup snadno dostupného substrátu pro přeživší mikroorganismy, který může podpořit jejich metabolismus, produkci extracelulárních enzymů a nadále ovlivňovat rozklad primární organické hmoty. Priming efekt je tedy velice dynamický jev, který souvisí se změnami v aktivitě a růstu mikroorganismů po vstupu substrátu do půdy. Zvýšený rozklad primární organické hmoty může přetrvávat pouze několik dnů, ale i několik týdnů po vstupu původního

substrátu. Vše závisí na jeho množství a kvalitě, složení mikrobiálního společenstva i kvalitě stabilní primární organické hmoty (Lavalle & Gillot 1994).

Po vstupu organických látek do půdy nejčastěji dochází k urychlení mineralizace půdní organické hmoty, tedy k pozitivnímu priming efektu, jehož mechanismus je popsán výše. To není pravidlem a může nastat i opačný jev, kdy vstup substrátu do půdy inhibuje mineralizaci stabilní primární organické hmoty a vyvolá negativní priming efekt. K tomu dochází zejména při vstupu nízkomolekulárního, snadno dostupného substrátu do půd bohatých na živiny a limitovaných uhlíkem, jako jsou např. hnojené zemědělské půdy. Mikroorganismy pak k růstu přednostně využívají nový, snadno rozložitelný substrát. Živiny potřebné pro biosyntézu jsou přítomné v půdě v minerálních formách v dostatečném množství a nemusí být získávány rozkladem komplexních organických látek. Proto mineralizace primární organické hmoty nenarůstá anebo se dokonce snižuje (Šantrůček & Šantrůčková 2018).

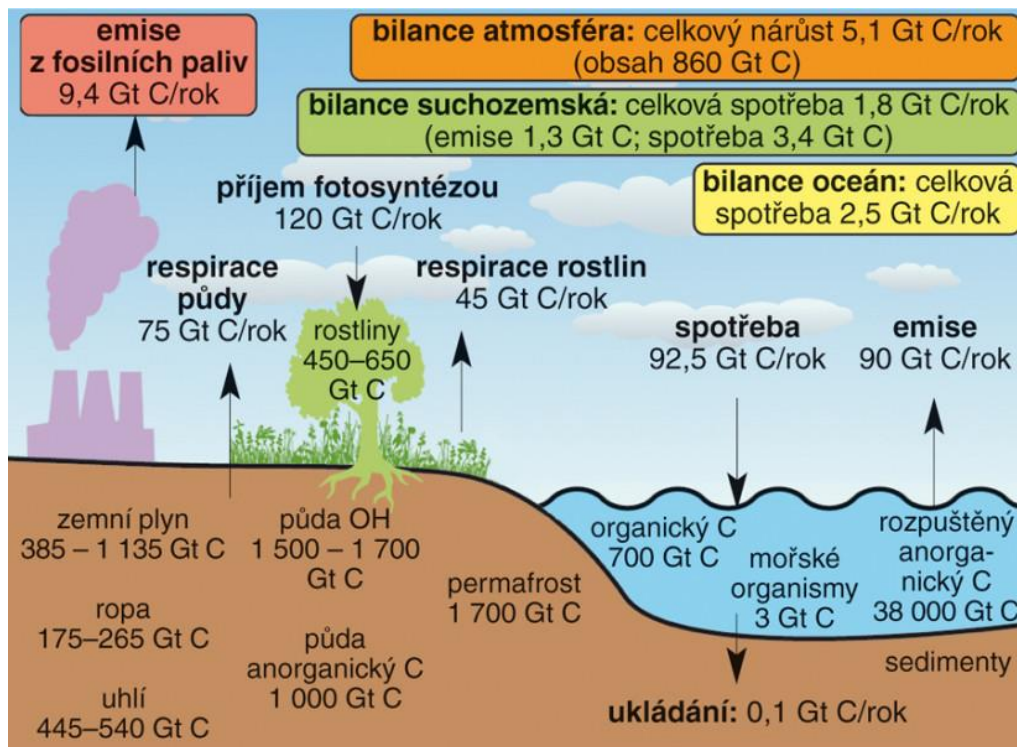
3.3 Cyklus uhlíku

Uhlík je základem života na Zemi, je ústředním prvkem veškeré biomasy, všech organických látek. Cyklus uhlíku je neodmyslitelně spojen se životem a smrtí, protože během života a růstu se akumuluje v biomase a po odumření je v procesech rozkladu a mineralizace uvolňován v jednoduchých uhlíkatých sloučeninách (Archer et al. 2010).

Cyklus uhlíku je vzájemně provázaný souhrn přeměn, který běží kontinuálně na celé Zeměkouli. Jednou z nejdůležitějších složek tohoto cyklu je CO_2 . Fotosyntézou je uhlík z CO_2 transformován do organických látek, které jsou dříve nebo později respirací rozkládány zpět na CO_2 . Část uhlíku je přitom dočasně (byť relativně dlouhodobě) vázána ve formě humusu v půdách, který se však posléze také rozkládá a vzniklý CO_2 doplňuje zásobu uhlíku v atmosféře. Tato „respirace půdy“ v globálním měřítku několikrát převyšuje současné emise CO_2 ze spalování fosilních paliv. Respirace produkuje 75 Gt C/rok, zatímco spalování fosilních paliv 9,4 Gt C/rok (obrázek 3). Je nutné brát v potaz, že respiraci půdy a rostlin vyrovnává stejně velké nebo dokonce větší množství odčerpaného CO_2 z atmosféry fotosyntézou (Šimek et al. 2021).

V některých suchozemských ekosystémech je mineralizace organických látek zpomalena, a tak se zde organická hmota hromadí. Typicky jsou to například mokřady a podobné ekosystémy s převládajícími anoxickými poměry nebo půdy v polárních oblastech, kde jsou kvůli nízkým teplotám a krátké vegetační sezóně nepříznivé poměry pro rozklad organické hmoty. Kromě CO_2 mohou při rozkladu organických látek za anoxických podmínek vznikat i další uhlíkaté sloučeniny, a to hlavně metan (CH_4). Z hlediska celkového koloběhu uhlíku jsou tyto látky minoritní. Na druhou stranu hraje právě metan uvolňovaný z půdy důležitou roli ve fyzikálně-chemických procesech v atmosféře, kde vedle CO_2 a N_2O (oxid dusný) působí jako jeden z hlavních skleníkových plynů. Na produkci metanu se podílejí přirozené procesy i lidská činnost. Z přirozených procesů je nejvýznamnější tvorba metanu anaerobními mikroorganismy v anoxických prostředích jako jsou například půdy a sedimenty nebo trávicí trakty živočichů. Emise související s lidskou činností jsou několikanásobně vyšší.

Největší podíl připadá na rýžová pole, spalování biomasy a fosilních paliv a na tvorbu a emise CH₄ v trávicích traktech hospodářských zvířat (Haider, 1996).



Obrázek 3: Globální cyklus uhlíku na Zemi (Šimek et al. 2021).

3.4 Vliv organických hnojiv na bilanci C

Oxid uhličitý je součástí koloběhu uhlíku a je základní složkou všech organických sloučenin. Zdrojem CO₂ je dýchání většiny živých organismů. Mezi nejvýznamnější antropogenní zdroje tohoto plynu patří především spalování fosilních paliv. Na zvýšené produkci CO₂ se podílí i využívání zemědělské půdy (způsob hnojení, agrotechnika, odlesňování).

V půdním vzduchu je koncentrace CO₂ přibližně desetkrát vyšší než v atmosféře, protože půdní organismy i kořeny rostlin intenzivně dýchají (Balík et al. 2019).

Uvolňování a poutání organického uhlíku je závislé na rostlinách a na mikrobiální činnosti. V půdě může být organický uhlík volný, stabilní a aktivní. Volný uhlík není vázán na žádné minerály a není asociován s minerálními agregáty. Stabilní uhlík je obsažen ve specifických humusových látkách, huminových kyselinách a fulvokyselinách. Je značně odolný vůči mineralizaci a biodegradaci. Aktivní uhlík nebo též labilní C tvoří lehce rozložitelné sloučeniny a může být snadno metabolizovatelný. Podléhá oxidaci, což vede ke snižování obsahu humusu v půdě a v důsledku mikrobiálního rozkladu je i úzká souvislost s uvolňováním živin (Šarapatka 2014).

Zvyšování teplot vzduchu a půdy, používání statkových nebo organických hnojiv s nízkým poměrem uhlíku k dusíku (např. kejda, digestát, jejich fugáty, nestabilizované

„rychlokomposty“) může vést ke snižování obsahu a kvality půdní organické hmoty (Klír et al. 2018).

Je prokázáno, že pravidelné hnojení organickými hnojivy zvyšuje obsah organického uhlíku. Potvrzuje to například dlouhodobý pokus v italské Bologně. Na tamní univerzitě byl založen polní pokus, kdy je každá část pozemku hnojena vždy jen vybraným organickým hnojivem. Výsledky potvrzují, že hnojení hnojem nejvíce přispívá k nárůstu C v půdě (tabulka 1) (Francioso et al. 2005).

Tabulka 3: Obsah uhlíku ($C_{org.}$) v půdě (0-40 cm) 34 let od začátku pokusu – Bologna (Francioso et al. 2005 in Balík et al. 2019).

Varianta	C_{ox} (%)
Kontrola	0,543
Hnůj skotu	0,817
Kejda skotu	0,704
Rostlinné zbytky	0,644

3.5 Hnůj

Jedná se o částečně rozloženou směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat s příměsí částečně rozložené podestýlky. Je zdrojem téměř všech živin nezbytných pro růst a vývoj rostlin. Dále je zdrojem humusotvorných látek, které příznivě působí na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy (Hanč et al. 2008). Při jeho rozkladu vzniká velké množství oxidu uhličitého, který spolu s metanem a dalšími plyny nakypřuje půdu a podporuje její zvětrávání. Význam hnoje má tedy vyšší význam než pouze jako výživová složka rostlin (Schachtschabel et al. 1976).

Hnůj je nejrozšířenější organické hnojivo, které vzniká procesem zrání chlévské mrvy na hnojišti. Proces zrání mrvy představuje kvašení, tlení a hnití, při kterém se komponenty rozkládají a poté přeměňují a transformují na látky jiného kvalitativního složení. Jedná se o biologicko-chemické procesy, které na sebe navazují a vzájemně se prolínají. Největší intenzita rozkladu organických látek probíhá za aerobních podmínek. Kvůli tomu je výhodné omezit přístup vzduchu, protože rozkladem dochází nejen ke ztrátě organických látek, ale i živin, hlavně dusíku. Vytěsnění vzduchu se dá v praxi dosáhnout vrstvením hnoje do výšky nejméně 3 metry. Při dobré péči o hnůj by ztráty organických látek neměly překročit 30 % (Vaněk 2007).

O účinnosti hnoje nerozhoduje aplikovaná dávka, ale jeho kvalita. Až na ojedinělé výjimky je kvalita hnoje spíše neuspokojivá, což je nejčastěji způsobené právě jeho špatným skladováním (Škarda 1982). Při špatném ošetření mohou ztráty organických látek dosahovat až 50-60 % (Vaněk 2007). Při dobrém ošetření se kvalita hnoje zvyšuje, ale po určité době (zhruba 3 měsíce) opět klesá (Burton & Turner 2003).

3.5.1 Skladování a agronomický význam

Skladování chlévské mrvy a poté vyzrálého hnoje by mělo probíhat zásadně na hnojišti, které se buduje nejčastěji u stáje nebo jako provizorní polní hnojiště. O umístění, druhu a velikosti hnojiště rozhoduje počet chovaných zvířat, konkrétní potřeba hnojení hnojem a finanční prostředky na jeho vybudování.

Stálá hnojiště jsou zpevněná, s nepropustnou ložnou plochou, s vodotěsnou odtokovou stružkou a jímkou na hnojůvku a močůvku. Hnojiště se budují z betonu, asfaltu nebo z panelů s nepropustným a vhodně spárovaným dnem. Na 1 DJ (hmotnost zvířete 500 kg) je třeba mít k dispozici 2,5 – 3 m² plochy při vyvážení 2krát ročně (Richter & Římovský 1996). Na klasickém hnojišti se chlévská mrva každý den ukládá, vrství a udusává, aby se dosáhlo minimálního obsahu vzduchu.

Další možností skladování je ustájení zvířat na hluboké podestýlce. V takovém případě je mrva dusána stálým pohybem zvířat. Dochází k menší homogenizaci materiálu než na klasickém hnojišti, protože zvířata se rozdílně hýbou po stáji a například v rozích stáje je mrva mnohem méně ušlapávaná než u krmných žlabů.

Z hlediska agronomického významu se hnojí hlavně plodiny s delší vegetační dobou, které jsou náročné na plynulé a dlouhodobé dodávání živin v pohotové formě. Na orné půdě je na lehčích půdách doporučováno hnojení menšími dávkami v kratších cyklech a na těžších vyšší dávky s delším intervalem. Střední dávky průměrně kvalitního hnoje závisí na nárocích pěstované plodiny, množství produkovaného hnoje, cyklu hnojení a zrnitostním složení půdy. U obilnin činí 15–20 t na hektar, u okopanin a zelenin 35–45 t na hektar a u kukuřice 30–35 t na hektar.

Hlavní zásadou je okamžité zaorání hnoje, protože jinak se snižuje jeho hnojivá účinnost. Už po 6 hodinách až o 13 %, po 1 dni až o 21 % a po 14 dnech až o 36 %. Za vyhovující úroveň hnojení hnojem lze považovat dávku 35–40 t hnoje na ha, aplikovanou na každý pozemek 1x za 4–5 let při běžném zastoupení plodin v osevním postupu. Současné stavy zvířat neumožňují produkci potřebného množství statkových hnojiv, proto je k zajištění obnovy půdní úrodnosti nutné využívat náhradní opatření, a to hlavně zaorávku slámy a zelené hnojení (Berner 1994).

3.5.2 Využití živin

Hnůj působí v půdě většinou 3 až 5 let s tím, že v lehčích půdách působí kratší dobu a v těžších delší období. Hnojení hnojem je však trvalejší a pozemky hnojené hnojem i s delším intervalem vykazují vyšší úrodnost. Využití živin z hnoje je rozloženo na delší období (tabulka 2). Nejvyšší je využití u draslíku, následuje dusík, a i když se využití u fosforu jeví jako nejnižší, je podstatně vyšší než z minerálních hnojiv.

Tabulka 4: Průměrné využití živin z hnoje (% z celkového obsahu) (Vaněk 2007)

Živina	1. rok	2. rok	3. rok
Dusík	25	15	5
Fosfor	15	10	5
Draslík	40	15	10

Jestliže aplikujeme 40 t hnoje skotu na ha, při uvažovaném využití v prvním roce bude mít hnojená plodina k dispozici okolo 46 kg N, 6,6 kg P a 83 kg K. Tyto živiny musíme zohlednit při stanovení dávky živin v minerálních hnojivech (Vaněk 2007).

Tabulka 5: Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji v čerstvém stavu v % (Vaněk 2007)

Druh hnoje	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Hovězí	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Hovězí (hluboká podestýlka)	25	20	0,7	0,15	0,66	0,5	0,13
Prasečí	23	16	0,62	0,25	0,42	0,36	0,15
Koňský	25	20	0,65	0,13	0,52	0,21	0,11
Ovčí	25	20	0,85	0,14	0,66	0,25	0,12

3.6 Kejda

Pravou a plnohodnotnou kejdou se rozumí směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat, částečně zkvašených a zředěných technologickou vodou. Kvalitní kejda (skotu, prasat, drůbeže) je vysoce hodnotné hnojivo, které spojuje vlastnosti hnoje a minerálních hnojiv. Správně vyrobená a ošetřená kejda je velmi významným zdrojem organických látek, živin, bakterií a látek stimulující povahy (heteroauxiny), které při správné aplikaci zvyšují půdní úrodnost (Richter & Římovský 1996).

V současné době představují odpady z živočišné výroby v České republice produkci cca 9 milionů tun kejdy. Jde o produkci, na níž se podílí z 50 % chov prasat, ze 45 % chov skotu a z 5 % chov drůbeže (Stupka et al. 2013).

3.6.1 Skladování a agronomický význam

Důležitým faktorem pro získání kvalitní a nezávadné kejdy je dostatečná skladovací kapacita jímek, umožňující potřebnou dobu skladování kejdy (6 měsíců). Dostatečná doba skladování kejdy umožňuje snížit životnost škodlivých mikroorganismů na minimum. Po šestiměsíčním skladování je infekční potenciál kejdy téměř nulový.

Během skladování kejdy (fermentace) se dusíkaté organické kyseliny (kyselina hipurová, močová) a jiné látky rozkládají, a tím pozbývají možnosti toxicky působit na rostliny. Při skladování kejdy se kyselina hipurová postupně rozkládá na kyselinu benzoovou a

aminokyseliny (hlavně glycin). Kyselina močová se rozkládá na alantoin, dále na kyselinu glyoxalovou a močovinu. Z močoviny vzniká uhličitán amonný a konečným produktem jejího rozkladu je oxid uhličitý, amoniak a voda.

Kejdu můžeme skladovat v jímkách různé konstrukce a tvaru (betonové nádrže, kruhové jímky ze smaltovaných ocelových plechů, povrchové fóliové jímky s kapacitou až 3000 m³). Nezbytným opatřením pro získání kvalitní kejdy je její homogenizace. V uskladněné kejdě se samovolně odděluje tuhá složka od tekuté s rozdílným obsahem organických látek a živin. Proto je homogenizace v jímkách nutná a zároveň to usnadňuje i následný vývoz kejdy. Homogenizace probíhá nejčastěji pomocí ponorných vrtulových míchačů. Při aplikaci nehomogenizované kejdy se půda vyhnojí nerovnoměrně, což je nežádoucí (Richter & Římovský 1996).

Obecně hnojení kejdou zvyšuje výnosy pěstovaných rostlin, koncentraci organického uhlíku a celkového dusíku v půdách (Gonet & Debska 2006). Pokud kejdou nebudeme kombinovat s jiným organickým hnojivem, může dojít na většině půd k snížení obsahu organické hmoty. Důvodem toho je, že kejda obsahuje vysoké množství lehce rozložitelných látek a tím se zvyšuje biologická aktivita v půdním prostředí. To způsobí, že mikroorganismy rychleji rozloží primární organickou hmotu a dojde k snižování organické hmoty v půdě. Proto je důležité kombinovat kejdou se slámou, hnojem či kompostem. V kombinaci se slámou dosahuje vynikajících výsledků (Burton & Turner 2003).

Kejda by se měla využívat homogenizovaná hlavně k přímému hnojení, kejdou je možné hnojit ve všech výrobních podmínkách následujícími postupy:

- na široko na ornou půdu
- přímo do orné půdy
- na trvalé travní porosty (klasický způsob)
- jako kejdovou závlahu (Hlušek 2004).

Kejda je vhodným hnojivem k plodinám s delší vegetační dobou, používá se zejména k okopaninám, jednoletým i víceletým píceinám, na trvalých loukách a pastvinách a k zelenině. U zeleniny musí být kejda zapravena do půdy orbou před vegetací. Kejdou lze hnojit i řepku, mák, bob a obiloviny. Zkušenosti s aplikací kejdy u nás jsou takové, že v podzimním období je vhodnější aplikace na těžší půdy a na jaře na lehčí (Vaněk 2007).

Dávky kejdy se volí podle obsahu dusíku popř. draslíku v hnojivu a podle nároků pěstovaných plodin (kukuřice na zrno 75 t.ha⁻¹, obiloviny 30 t.ha⁻¹). U okopanin a jednoletých pícein doporučuje Škarda (1982) uhradit kejdou celkovou potřebu dusíku, u ozimých obilovin 50 % dusíku a u jarních obilovin 70 % dusíku. Dávky závisí také na druhu půdy a termínu aplikace. Současně je nutno bilancovat množství dodaných organických a případný schodek vyrovnat zeleným hnojením nebo slámou. Chybějící množství živin je nutno vyrovnat minerálními hnojivy. Maximální dávky kejdy lze aplikovat jen u vybraných plodin a nelze je na stejném pozemku používat každoročně. Vzhledem k možnému negativnímu účinku na kvalitu rostlinných produktů je nutná pravidelná kontrola, zvláště obsahu NO₃ v rostlině (Hlušek 2004).

Na rozdíl od chlévského hnoje je účinek kejdy pouze dvouletý, takže je vhodné hnojit kejdou ve dvouletých cyklech. Nová mechanizace už umožňuje přesné dávkování kejdy, takže je možnost hnojit kejdou každý rok (Richter & Římovský 1996).

3.6.2 Využití živin

Největší obsah živin má kejda drůbeží, která je bohatá na dusík a vápník. Drůbež vyprodukuje také nejvíce kejdy na DJ.rok⁻¹ (tabulka 6). Při správném skladování nedochází k výraznějším ztrátám živin, a to především dusíku, který má ztráty do 10 %. To z kejdy dělá na živiny bohaté hnojivo. Nejvíce dusíku se v kejdě vyskytuje v amonné formě (přibližně 60 %), a to znamená i velké úniky při aplikaci na povrch půdy. Ztráty dusíku po aplikaci kejdy jsou v tabulce č. 5 níže. Z tohoto důvodu je nutné co nejdříve hnojivo zapravit pod povrch (podle stávajících předpisů do 24 hodin). Nejideálnějším řešením je aplikovat kejdou speciálním aplikátorem přímo do půdy a tím omezit ztráty na minimum. I před vyšší náklady na vlastní aplikaci se to vyplatí, protože jsou vyrovnány vyšším využitím živin (Vaněk 2007).

Tabulka 6: Roční produkce kejdy, obsah organických látek (OL) a živin v kejdě v čerstvém stavu v % (Vaněk et al. 2007).

Kejda	Roční produkce (t/DJ/rok)	Sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Skotu	21	7,8	6,0	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Prasat	19	6,8	5,3	0,5	0,13	0,19	0,24	0,04
Drůbeže	31	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

Tabulka 7: Ztráty dusíku po aplikaci kejdy (% dodaného N-NH₄⁺) (Vaněk et al. 2007).

Ztráty N-NH ₄ ⁺		Podmínky aplikace
Označení	%	
Nízké	5	Nízké teploty (okolo 0 °C), aplikace na povrch a okamžité zapravení či aplikace přímo do půdy
Střední	15 - 30	Teploty okolo 10 °C, aplikace na povrch a pozdní zapravení do půdy
Vysoké	30 - 60	Teploty okolo 20 °C, aplikace na povrch a pozdní zapravení do půdy

3.7 Vliv minerálních N hnojiv na obsah organické hmoty v půdě

Využívání minerálních hnojiv zvyšuje výnosy a tím příznivě ovlivňuje i přívod organických látek do půdy, ale většinou to nestačí pro plnou náhradu rozložených organických látek. Proto je potřebné dodávat další organické látky prostřednictvím statkových a organických hnojiv (Klír 2019).

Z dlouhodobých pokusů je známo, že aplikace minerálního N vede k silnější mineralizaci původní a stabilní organické hmoty ve srovnání s nehnojenými pozemky.

Rostlinné zbytky bohaté na dusík, například posklizňové zbytky jetelovin, se rozkládají rychleji, neboť je k dispozici dostatek dusíku a dalších živin pro mikroorganismy, které rozklad biomasy zajišťují. Organické zbytky chudé na dusík, jako je třeba sláma obilnin, se rozkládají pomalu a uvolněný dusík, jehož je celkově málo, je pak vázán v biomase mikroorganismů i živočichů dlouhou dobu a není k dispozici rostlinám. Za kritický pro průběh rozkladu se považuje poměr C:N v biomase kolem 25:1. Je – li tento poměr vyšší (tedy je mnoho C na relativně málo N), mikroorganismy velmi účinně čerpají minerální N z půdního roztoku, a tím se nedostává dusíku jako živiny pro rostliny. Proto je vhodné při zaorávání slámy aplikovat současně i určité množství dusíkatých minerálních hnojiv. Tím se vyrovná nedostatek dusíku a zajistí se dobré podmínky pro efektivní rozklad dočasně nadbytečného množství posklizňové organické hmoty. Doporučený přírůstek dusíku k zaorávané slámě je 4–6 kg N na tunu slámy. Poměr C:N v půdní organické hmotě je obvykle kolem 12:1 (Šimek et al. 2021).

3.7.1 Síran amonný

Síran amonný $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ obsahuje dusík v amonné formě. Nejčastěji je ve formě bílých až nažedlých krystalků. V půdě se poměrně rychle rozpouští v půdní vodě. Značná část NH_4^+ iontů přechází do sorpčního půdního komplexu výměnou za jiné kationty. Snižuje se tím jeho pohyblivost a možnost vyplavení. Je to chemicky i fyziologicky kyselé hnojivo, má největší ekvivalent kyselosti ze všech používaných hnojiv. V půdě podléhá nitrifikaci, která je oproti ostatním hnojivům pomalá, takže je vhodným hnojivem k základnímu hnojení (Finck, 1978).

Z agronomického hlediska je důležité, aby byl síran amonný rovnoměrně rozmetán po celém porostu. Má výrazně okyselující charakter, a proto je vhodným hnojivem do půd alkalických, neutrálních nebo slabě kyselých. V teplých a suchých podmínkách může po jeho aplikaci na povrch půdy bez zapravení docházet ke ztrátám dusíku vytěkáním (čpavku) do ovzduší (Chien et al. 2011).

S ohledem na vysoký obsah síry je síran amonný vhodným hnojivem zejména k řepce, chmelu, brukvovitým zeleninám a k cibuli. S ohledem na pozvolné působení dusíku je vhodným hnojivem ke kukuřici a bramborám. Při opakovaném používání síranu amonného je nutno okyselující účinek neutralizovat pravidelným vápněním (Vaněk 2007).

Je to hnojivo, které obsahuje kromě 21 % dusíku také 24 % síry. Význam přímé aplikace síranu amonného přišel s jeho granulací a možností kombinovat ho s dalšími granulovanými jednosložkovými hnojivy. Granulačním pojivem je přírůstek 14 % ledku vápenatého. Granulovaný síran amonný pak obsahuje 1,4 % nitrátového dusíku a kolem 2,5 % vápníku, což má příznivý vliv na počáteční růstové fáze rostlin (Kulhánek et al. 2013).

Síran amonný se většinou vyrábí jako vedlejší produkt jiných průmyslových odvětví. Odhaduje se, že 70 % celkové světové produkce pochází z výroby kaprolaktamu, což je meziprodukt pro výrobu syntetických vláken. Část se získává z koksárenského plynu a zbytek se vyrábí synteticky z kyseliny sírové a amoniaku (The sulphur institute 2023).

3.8 Kukuřice

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) pochází z trávy teosinte (*Zea mays* L. spp *Mexicana*) ze západní polokoule v době asi před 7 000 až 10 000 lety. Byla široce pěstována domorodými Američany v USA během let 1600 a 1700. Do Evropy ji přivezl Kolumbus a jako první se pěstovala ve Španělsku a v Itálii.

Dnes je kukuřice nejdůležitější obilninou hned po rýži, téměř nenahraditelným krmivem a potravinou, ale i průmyslovou a energetickou plodinou. Ve srovnání s rýží a pšenicí je kukuřice produktivnější a poskytuje předpoklady pro další stupňování výnosů. V našich podmínkách využíváme její genetický potenciál pouze z 50–60 %.

V ČR má pěstování kukuřice krátkou historii, protože její rozmach nastal teprve po druhé světové válce. Dosud u nás převažují dva užitkové směry: kukuřice na zrno a kukuřice silážní (Zimolka et al. 2008). Celková plocha kukuřice u nás je 292 242 ha z toho je 211 789 ha pěstováno na siláž a zbylých 80 453 ha na zrno (Anonym 1, 2022).

3.8.1 Botanická charakteristika

V botanickém systému je kukuřice (*Zea mays* L.) zařazena jako jednoletá rostlina, jednodomá, různopohlavní, typu rostlin diklinických s prašnickovými (samčími) a pestíkovými (samičími) květy, uspořádanými do oddělených květenství, a to laty a palice. Je cizosprašná a patří do podtřídy jednoděložných, řádu lipnicokvětých, čeledi lipnicovitých a skupiny kukuřicovitých. Většina skupin se dělí na nižší botanické jednotky podle tvaru a barvy zrna a podle barvy pluch na větenech palice. Je to například kukuřice obecná tvrdá (latina?), kukuřice koňský zub, kukuřice pukancová a další (Nagy 2008).

Zárodek (embryo) v zrně představuje základ nové rostliny. U zralého zrna je zárodek zřetelně vyvinutý a vysoce organizovaný. Je na něm možno vidět základy všech vegetativních orgánů. Začíná klíčit za vyhovujících tepelných a vlhkostních podmínek, ve vzduchu i v půdě vyklíčí přibližně za 7 až 10 dní. Minimální teplota klíčení je 6 °C, ale optimální je 10 °C.

Kořeny kukuřice se dělí podle svého původu na primární nebo sekundární kořenovou soustavu. Primární kořenovou soustavu tvoří kořeny, které mají původ už v zárodku, sekundární kořeny vznikají v přeslenech okolo bazálních uzlů. Při včasném výsevu se kořenový systém pod povrchem půdy rozkládá až v okruhu 2,5 m, při pozdním výsevu pouze v okruhu 0,30 – 0,45 m. Optimálně vyvinutá kořenová soustava může pronikat do hloubky až 2,5 m.

Stéblo je v našich podmínkách nejčastěji vysoké 1,1 – 2,5 m a tlusté 20 až 70 mm. Počet nadzemních článků je geneticky založen a liší se podle jednotlivých hybridů. Výška stébela závisí z velké části na růstových podmínkách: na teplotě a množství srážek před metáním, hustotě porostu, délce dne, zaplevelení a dalších činitelích.

Listy jako orgán slouží k asimilaci a výparu vody. Počet listů je dán geneticky a platí, že rané hybridy mají zpravidla menší počet listů než pozdní hybridy. Tvorba listových základů končí vznikem samčího (prašnickového) květenství. Během vegetace pak odumírají od spodní části rostliny.

Květy jsou různopohlavné a kukuřice je jednodomá rostlina. Samčí prašníkové květy tvoří klásky v latách a ata vyrůstá z posledního článku stébla. Samičí pestíkovité květy vyrůstají z úžlabí listů a vytváří palice. Palice je klas s hrubou hlavní osou (vřeteno), na kterém jsou zrna v řadách. Počet řad je obvykle od 8 do 18. Celý samičí klas je uzavřen v pochvách listenů, na vrcholu vyčuhuje chomáč čnělek s bliznami. Plodem je velká, lesklá a hranolovitá obilka s HTS 15 o hmotnosti 300–350 g. Kukuřice je rostlina cizosprašná (větrosprašná), pyl je přenášen zejména větrem. Kukuřice je jako mnohé další tropické rostliny plodina s fotosyntézou typu C4. Díky tomu je kukuřice schopná za dostatečného osvětlení velmi rychle růst a produkovat enormní množství biomasy s vysokým obsahem energie (Zimolka et al. 2008).

Pro úspěšný vývoj a růst potřebuje kukuřice harmonické působení jednotlivých vegetačních faktorů, mezi které patří světlo, teplo, voda a vzduch.

Světlo dokáže kukuřice vyživovat velmi dobře. Na 1 ha půdy vytváří kukuřice 20 000 – 60 000 m² asimilační plochy. Pro využití dopadajícího světla je důležitá organizace porostu. Menší hustota porostu a pravidelné rozmístění rostlin má za následek lepší využití dopadajícího slunečního záření.

Teplo je důležité, protože kukuřice patří mezi teplomilné rostliny. K průběhu celého životního cyklu potřebuje od 1 700 do 3 120 °C tepelné sumy. Tepelnou sumou rozumíme součet průměrných denních teplot za vegetační období, to znamená za duben až září. Důležitý je také průběh teplot během vegetace, protože kukuřice je citlivá na jejich kolísání. Pozdní jarní mrazíky u ní způsobují zastavení růstu a odumírání.

Na vodu je kukuřice značně náročná. Vodu si z půdy sice dokáže osvojit a umí s ní dobře hospodařit, ale výnosy můžeme zajistit jedině dobrým hospodařením s půdní vláhou. Na tvorbu 1 kg sušiny potřebuje přibližně 256 litrů vody.

Vzduch je důležitý zejména kvůli obsahu vodních par. Nesprávným uspořádáním porostu v suchých oblastech dochází vlivem proudění vzduchu k nadměrné transpiraci a s tím spojeným poruchám rovnováhy mezi příjmem a výdajem vody.

Růst kukuřice je dost nepravidelný a nevyrovnaný během vegetace. V prvních vývojových fázích (přibližně do poloviny června) rostlina na svém objemu přibývá velmi pomalu kvůli nízkým teplotám a suchu, které toto období prodlužují. K intenzivnímu růstu dochází od poloviny června až do začátku srpna. Maximální hmotnosti v zelené hmotě dosahuje kukuřice 2 až 3 týdny před mléčnou zralostí. Poté dochází k ubývání na zelené hmotnosti rostlin, a to nejprve pomalu (mléčná zralost) a později velmi intenzivně (mléčně-vosková zralost) až do plné zralosti. Zvyšuje se přitom sušina rostlin kukuřice a celkový výnos sušiny a současně se snižuje podíl vlákniny vlivem nárůstu hmotnosti zrna a zvýšením podílu zrna na hmotnosti celé rostliny (Šuk et al. 1998).

3.8.2 Technologie pěstování

Úspěch v pěstování kukuřice na siláž i na zrna závisí na mnoha agrotechnických a technicko – technologických faktorech, resp. jejich vzájemném působení, které vytvářejí často velmi složitý komplex interakcí. Agrotechnické faktory mnohdy do velké míry dost významným způsobem ovlivní výslednou kvalitu silážní kukuřice a následné siláže i kvalitu zrna. V našich

podmínkách se kukuřice zpravidla pěstuje mezi dvěma obilninami v rámci osevního postupu. Kukuřice je z pohledu následných plodin brána jako nevhodná předplodina. Sama o sobě je na předplodiny málo náročná.

Střídání plodin a zachování osevního postupu jsou jedny ze základních opatření, které vedou k redukci řady hmyzích škůdců a patogenů bez zásahu chemických přípravků. U kukuřice se jedná hlavně o zavíječe kukuřičného a bázlivce kukuřičného. Při opakovaném pěstování kukuřice ihned po osobě je prokázáno, že dochází k nárůstu výskytu škůdců.

Kukuřice je nevhodnou předplodinou pro pšenici i pro ječmen, protože zvyšuje u těchto plodin riziko napadení klasů fuzáriemi. Naopak pro kukuřici nejsou obilniny tak špatnými předplodinami, protože nejsou hostiteli zavíječe kukuřičného ani bázlivce kukuřičného. Kukuřici je vhodné zařazovat po obilninách a okopaninách. Nevhodné je pěstování kukuřice po kukuřici, protože hrozí větší riziko výskytu patogenů z rodu *Fusarium* a zvýšené nebezpečí tvorby mykotoxinů. Při monokulturním pěstování se navíc zvyšují nároky na agrotechniku a hnojení (Zimolka et al. 2008).

Kukuřice je širokořádkovou kulturou z čehož plynou větší požadavky na výběr pozemku. U pozemků se svažitostí nad 5 stupňů je potřeba brát v potaz půdoochranné technologie a předcházet erozi. To lze podpořit použitím technologie s výsevem kukuřice do vymrzající nebo i přezimující meziplodiny.

Pro kukuřici je v současné době široký výběr technologických postupů. Volbu je potřeba přizpůsobit zařazení kukuřice do osevního sledu. Při zařazení po obilninách jsou většinou používány tradiční technologie začínající podmínkou následované střední orbou. Při pěstování kukuřice po kukuřici nebo po okopaninách se provádí hlubší orba. Pro omezení výskytu zavíječe kukuřičného, bázlivce kukuřičného, ale i drátovců na ohrožených lokalitách je vhodné uplatňovat hlubší orbu, neboť redukované zpracování půdy vede ke zvýšení početnosti těchto škůdců. Nejefektivnější regulace populace zavíječe se dosáhne v kombinaci orby s dokonalým rozdrčením posklizňových zbytků.

Při minimalizačních technologiích převládají postupy s mělkým nebo středně hlubokým zpracováním půdy pomocí talířového nebo radličkového kypřiče. Vlivy různé intenzity zpracování půdy a hospodaření s posklizňovými zbytky na výnosy kukuřice jsou do značné míry závislé na půdních a klimatických podmínkách.

Základním požadavkem předseťové přípravy je vytvoření rovnoměrného, dostatečně hlubokého seťového lůžka s přísunem vody, vzduchu, tepla a živin. Předseťová příprava rozhoduje o vodě a vzduchu v půdě. V aridních oblastech proto platí pravidlo co nejméně hýbat s půdou a setí realizovat v ranějších termínech. Termín setí je závislý na teplotě půdy, která má být v hloubce setí v rozmezí 8 až 10 °C, která je zároveň optimální pro setí kukuřice. Dle agrotechnických lhůt se kukuřice seje v termínu od 15. dubna do 15. května. Pro setí se zpravidla využívají přesné secí stroje. Hloubka setí je doporučena 4–6 cm a meziřádková vzdálenost je standartně 70 až 75 cm. Díky tomu je zajištěn dostatek světla pro fotosyntézu, prohřívání půdy a minimální ztráty při sklizni řádkovými adaptéry. Vzdálenost rostlin v řádku se pohybuje v rozmezí od 12–15 do 30 cm. V klimatických podmínkách ČR je doporučená hustota porostu od 7 do 11 rostlin na m² (Šuk et al. 1998).

Hlavní nevýhodou širokořádkových plodin je, že zapojení porostu trvá dlouho a plevele tak mají větší potenciál růstu. V počátečních fázích růstu má proto kukuřice velmi slabou konkurenční schopnost proti plevelům. Ničím neomezený růst plevelů, především těch s nižšími nároky na teplotu, nastává zvláště při průběhu chladnějšího počasí po zasetí, kdy kukuřice pomalu vzchází. Porosty kukuřice jsou zaplevelovány především pozdně jarními a vytrvalými druhy plevelů. K nejčastěji se vyskytujícím plevelům patří například ježatka kuří noha, béry, merlíky, laskavce, pýr plazivý a heřmánek přímořský. Regulace plevelů je možná mechanicky (vláčení, plečkování) nebo chemicky použitím herbicidů (Nagy 2008).

Jak už bylo zmíněno výše, ze škůdců je nejčastější zavíječ a bázlivec kukuřičný. Ochrana proti nim je možná použitím insekticidů buď během vegetace nebo využitím mořeného osiva.

Sklizeň kukuřice se dělí v závislosti podle užitkového směru:

- Sklizeň celých rostlin na siláž
- Sklizeň samotných palic CCM
- Sklizeň čistého zrna

Termín sklizně kukuřice na zrno nastává až po dosažení fyziologické zralosti. To je, když obsah sušiny v zrně dosáhne 65–68 %, zrno je tvrdé a lesklé a na bázi má načernalou vrstvu, která signalizuje konec ukládání živin. V České republice probíhá sklizeň kukuřice na zrno nejčastěji v průběhu měsíce října. Pro sklizeň kukuřičného zrna se využívají upravené sklízecí mlátičky.

K silážování kukuřice se sklízí celé rostliny. Obecně se uvádí, že kukuřice je snadno silážovatelná rostlina, ale to platí jen pro kukuřici o obsahu sušiny v rozmezí od 27 do 33 %. Určení optimální doby sklizně je u kukuřice velmi důležité. Často se stává, že je kukuřice sklizena příliš brzy. Při takové sklizni jsou vysoké ztráty kvůli nevyužití celkové produkční schopnosti a také kvůli ne zcela ideálnímu průběhu fermentace. Nejvhodnější termín sklizně silážní kukuřice z krmivářského hlediska je na konci těstovinové zralosti zrna, kdy končí syntéza škrobu v zrnech a je dosaženo nejvyšší koncentrace energie v celé rostlině. Podíl palic na celkové hmotě by měl být minimálně 50 %. Pro sklizeň silážní kukuřice se používají sklízecí řezačky, které jsou vybaveny řádkovým žací ústrojím pro sklizeň celých rostlin kukuřice (Zimolka et al. 2008).

3.8.3 Výživa a hnojení

Pro dosažení požadovaného výnosu a kvality je potřeba zajistit vyrovnanou bilanci všech makrobiogenních i mikrobiogenních prvků. Pro kukuřici je charakteristický velmi pomalý počáteční růst a omezený příjem živin. Při výšce porostu 40–50 cm lze počítat s odběrem cca 35 kg dusíku, 4 kg fosforu, 40 kg draslíku a 3 kg hořčíku na hektar. Potom následuje fáze velmi intenzivního růstu. V období 10–15 dní před objevením lat a do 25–30 dní po objevení lat přijme kukuřice 70–75 % všech živin. Po odkvětu je příjem živin pozvolný (hlavně dusíku, draslíku a hořčíku). Tato fáze trvá až do mléčně-voskové zralosti. Ke konci vegetace dochází ještě k odběru dusíku, ale z hlubších vrstev. V této fázi je dusík odebírán z profilu 90–120 cm. Proto někdy v průběhu září zaznamenáváme zvýšení obsahu minerálního dusíku v ornici.

Kukuřice je rostlina typu C4, takže velmi efektivně využívá sluneční energii, s čímž je spojeno i dobré využití živin.

Dávky živin při střední zásobě přijatelných živin v půdě by měly vycházet z odběru živin. Vyšší hnojení není žádný rozdíl mezi kukuřicí na siláž a na zrno. U kukuřice na siláž je možnost zvýšit dávku dusíku tak, aby bylo vytvořeno více bílkovin. V závislosti na výnosu by dávky živin na hektar měly být na úrovni: 100–160 kg N, 45–65 kg P, 120–210 kg K (Nagy 2008).

Kukuřice patří mezi plodiny, které velmi dobře reagují na organické hnojení. Průměrné dávky hnoje činí 35–40 t/ha. Téměř vždy je lepší podzimní aplikace, pouze na velmi lehkých půdách lze tolerovat i jarní termín. Dávkou 40 t/ha kravského hnoje je dodáno 44 kg P, 206 kg K, 148 kg Ca a 34 kg Mg. Kukuřice má vysoké požadavky na fosfor a zároveň ho lépe využívá z průmyslových hnojiv, takže se doporučuje kombinovat organické hnojení s minerálním. Při určování dávky dusíku v průmyslových hnojivech lze uvažovat, že z 1 t hnoje bude mít rostlina k dispozici 0,9 – 1,5 kg dusíku, ale vždy záleží na kvalitě hnoje a na půdních a klimatických podmínkách (Zimolka et al. 2008).

Močůvka patří k dusíkato–draselným hnojivům. Obsah organických látek a fosforu je zde zanedbatelný. Dávky močůvky se řídí především obsahem dusíku a činí 40–70 t/ha. Močůvka se vyváží v jarním období před přípravou půdy.

Kejda je pro kukuřici vhodným organickým hnojivem. O jejím účinku rozhoduje především její kvalita. Obecně se ke kukuřici aplikuje 40 – 50 t/ha kejdy skotu, 30 - 40 t/ha kejdy prasat a 15 - 20 t/ha kejdy drůbeže. Kejda se aplikuje buď na jaře nebo na podzim.

Při hnojení průmyslovými hnojivy musíme stanovit dávky živin podle rozborů půd a příslušných metodik na výživu rostlin. Vzhledem k vysokým nárokům na fosfor v počátečních vývojových fázích je ideální aplikovat hnojivo „pod patu“. Jedná se o zapravení fosforečného hnojiva současně se setím. Také hnojení draslíkem je nutné věnovat náležitou pozornost, přestože velká část našich půd vykazuje dobrou zásobu. K dodání draslíku je nejlepší použít draselné soli. Při aplikaci větších dávek je lepší zvolit podzimní termín. Na nedostatek draslíku kukuřice reaguje výrazněji než na nedostatek fosforu.

Dávka dusíku v organických i minerálních hnojivech by měla na základě odběrových normativů a výnosu činit 100 až 160 kg/ha. Aplikaci dusíkatých hnojiv provádíme na jaře před setím v dávce maximálně 100 kg N/ha. Pro základní hnojení jsou vhodná hnojiva s amonnou či amidickou formou dusíku, což je například močovina, ledek amonný s vápencem (LAV), DAM 390 a síran amonný. Při přihnojení během vegetace je dobré dbát na nebezpečí poškození porostu. Granule pevných hnojiv po zapadnutí do paždí listů poškozují porosty. Proto je vhodné aplikovat hnojiva při velikosti porostu cca 20 cm, kdy je podstatně menší listová pokryvnost. S určitým omezením lze použít ledek amonný s vápencem, ledek vápenatý nebo DAM 390. Aplikovaná dávka by neměla být příliš vysoká, přibližně 20 až 40 kg N/ha (Šuk et al. 1998).

4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusu

Experimentální části této bakalářské práce byly zpracovány využitím výsledků pokusu provedeného katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na stanovišti Červený Újezd. V roce 1990 tam začal polní pokus s monokulturním pěstováním kukuřice na siláž, kde byl v roce 1996 ustálen i systém hnojení. Pro tuto práci byly využity výsledky z roku 2021.

Pro pokusné účely byly využity čtyři varianty hnojení, přičemž jedna z variant byla určena jako kontrolní, což znamená, že na ní nebyla aplikována žádná hnojiva. Postup hnojení jednotlivých variant se opakoval každý rok ve stejné podobě. Každá z variant byla čtyřikrát opakovaná, a to na pozemcích o rozměrech 20 x 8,5 m, tedy na ploše 170 m². Hustota porostu činila 80 000 jedinců/ha.

Za agronomický rok bylo na všechny varianty mimo kontrolních ploch aplikováno celkem 120 kg N.ha⁻¹. K pokusu byly využity dvě organické formy hnojiv, a to chlévský hnůj a kejda. Dále byl na pokusy aplikován síran amonný.

Organická hnojiva byla na pozemek aplikována na podzim a následně byla ihned zapravena orbou, aby se minimalizovaly ztráty dusíku. Chlévský hnůj a kejda byly aplikovány dle obsahu dusíku, na který byly přesně analyzovány. Na pozemek bylo průměrně aplikováno 21,9 t.ha⁻¹ chlévského hnoje, což odpovídá 5,03 t sušina/ha. Kejda byla aplikovaná v množství 49,3 t.ha⁻¹, což odpovídá 2,14 t sušina/ha. Kejda byla aplikovaná hadicovým aplikátorem. Síran amonný byl aplikován ručně zhruba týden před setím a zapraven do půdy předsetovou přípravou.

Tabulka 8: Varianty pokusů hnojení silážní kukuřice a množství dodaných živin (v kg/ha/rok)

Číslo varianty	Druh hnojiva	N	P	K	C:N
1.	Kontrola	0	0	0	-
2.	Síran amonný	120	0	0	-
3.	Hnůj	120	32,6	129	13,4:1
4.	Kejda	120	23,2	105	5,08:1

4.1.1 Odrůda kukuřice

K pokusům byla využita odrůda kukuřice RGT Sixxtus. Jde o ranou odrůdu s kombinovaným využitím pro zrno, siláž a bioplyn. FAO číslo této odrůdy je 270. Tento dvouliniový hybrid byl registrován v roce 2011. Odrůdu je doporučeno pěstovat v obilnářských, řepařských a kukuřičných výrobních oblastech. Optimální hustota porostu při sklizni by měla být od 80 do 90 tisíc rostlin na hektar.

4.1.2 Charakteristika pokusného stanoviště

Polní pokus byl prováděn na pozemcích výzkumné stanice ČZU Červený Újezd, která se nachází v okrese Praha – západ. Charakteristika stanoviště je uvedena v tabulce 9. Hodnota pH (CaCl₂) činila 6,5 v roce 1996. Během pokusu nebyly pozemky ani jednou vápněny. V tabulce 10 je uveden obsah přijatelných živin v ornici v roce 1996.

Tabulka 9: Půdní a klimatická charakteristika stanoviště

Stanoviště	Červený Újezd
Lokalizace	50°4'22''N, 14°10'19''E
Nadmořská výška [m. n. m.]	398
Průměrná roční teplota [°C]	7,7
Průměrné roční srážky [mm]	493
Půdní typ	luvizem
Půdní subtyp	modální
Půdní druh	prachovitá hlína
KVK [mmol ₊ /kg]	118
C _{ox} [%]	1,26 (rok 1996)
pH/CaCl ₂	6,5 (rok 1996)
Objemová hmotnost (g.cm ⁻³)	1,47

Tabulka 10: Obsah přijatelných živin v ornici (Mehlich 3); rok 1996

Prvek	K	P	Mg	Ca
Obsah prvku v půdě (ppm)	164	173	153	1979

4.1.3 Odběr vzorků

U každé varianty a jejich čtyř opakování byl sklizen dvojřádek o ploše 27 m². Termín sklizně byl závislý na dosažení mléčně-voskové zralosti silážní kukuřice. Sklizená nadzemní biomasa byla bezprostředně po posečení zvážena. Na pozemku zůstalo jen asi 10 cm strniště. Kořeny byly získány odběrem vzorků z bloků svrchní vrstvy půdy (plocha 40x40 cm, hloubka 30 cm, 4 dílčí vzorky na plochu) a následně byly omyty a odděleny.

Vzorky půdy byly odebrány po sklizni kukuřice z dvanácti odběrových míst na parcelu, následně promíchány, prosety přes 5 mm síta a zamrazeny. K analýze na obsah organického uhlíku byly pak vzorky následně rozmrazeny, vysušeny na vzduchu a prosety přes 2 mm síta.

Obsah celkového organického uhlíku byl stanoven pomocí oxidace na analyzátoru CNS (Elementar Vario Macro, Elementar Analysensysteme, Hanau-Frankfurt am Main, Německo). Data byla zpracována pomocí základních testů normálního rozdělení a následně jednofaktorovou metodou (ANOVA, Tukeyho test; $p < 0,05$) v programu STATISTICA 12 (Dell-StatSoft Inc., Austin, USA)

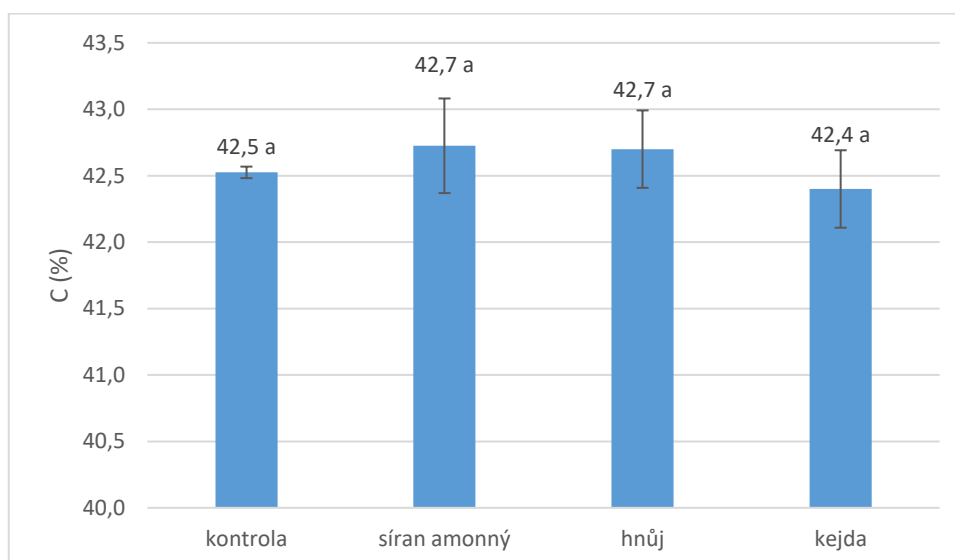
5 Výsledky

Data byla získána z dlouhodobých pokusných pozemků Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin ČZU v Praze na stanovišti Červený Újezd. Zpracována byla data z roku 2021.

5.1 Obsah uhlíku v rostlinách

V grafu 1 je uveden obsah uhlíku v rostlinách. Nejvyšší obsah uhlíku v rostlinách byl zjištěn u varianty se síranem amonným a hnojem, kde byl obsah stejný, a to 42,7 %. U kontrolní varianty byl obsah uhlíku 42,5 %, což představuje druhou nejvyšší hodnotu. Nejnižší hodnota 42,4 % byla naměřená u varianty hnojené kejdou. U obsahu uhlíku v rostlinách nebyly zjištěny žádné statistické rozdíly v naměřených hodnotách.

Graf 1: Obsah uhlíku v rostlinách silážní kukuřice (%)

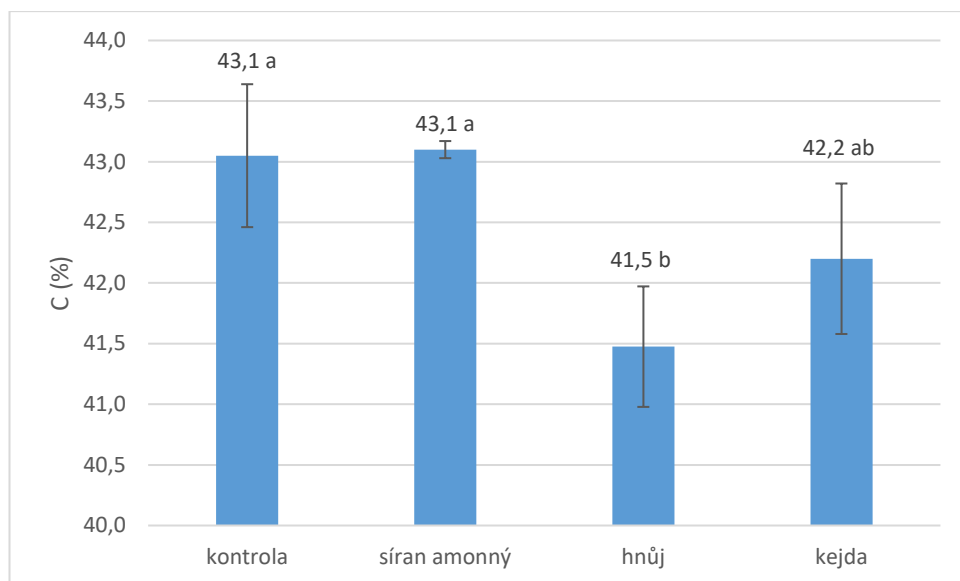


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.2 Obsah uhlíku ve strništi

Graf 2 zobrazuje obsah uhlíku ve strništi. Nejvyšší hodnota 43,1 % byla naměřena u kontrolní varianty a u varianty hnojené síranem amonným. U varianty hnojené kejdou byla naměřena hodnota 42,2 % a nejnižší hodnota 41,5 % byla naměřena u varianty hnojené hnojem. Hodnoty naměřené u varianty hnůj se významně statisticky lišily od ostatních variant.

Graf 2: Obsah uhlíku ve strništi (%)

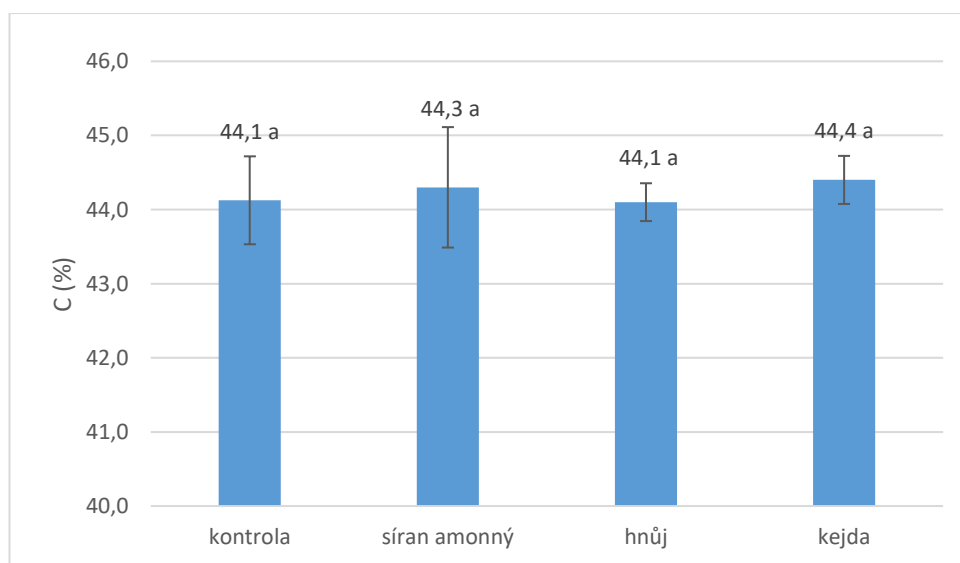


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.3 Obsah uhlíku v kořenech

Nejnižšího obsahu uhlíku v kořenech dosáhla dle grafu 3 kontrolní varianta a varianta hnojená hnojem. Nejvyšší obsah 44,4 % byl u varianty hnojené kejdou, ale vzhledem k tomu, že rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou činil jen 0,3 %, nejednalo se o nijak statisticky rozdílné výsledky. Druhý nejvyšší obsah byl naměřen u varianty se síranem amonným, ale byl tam rozdíl jen 0,1 % oproti nejvyšší naměřené hodnotě.

Graf 3: Obsah uhlíku v kořenech (%)

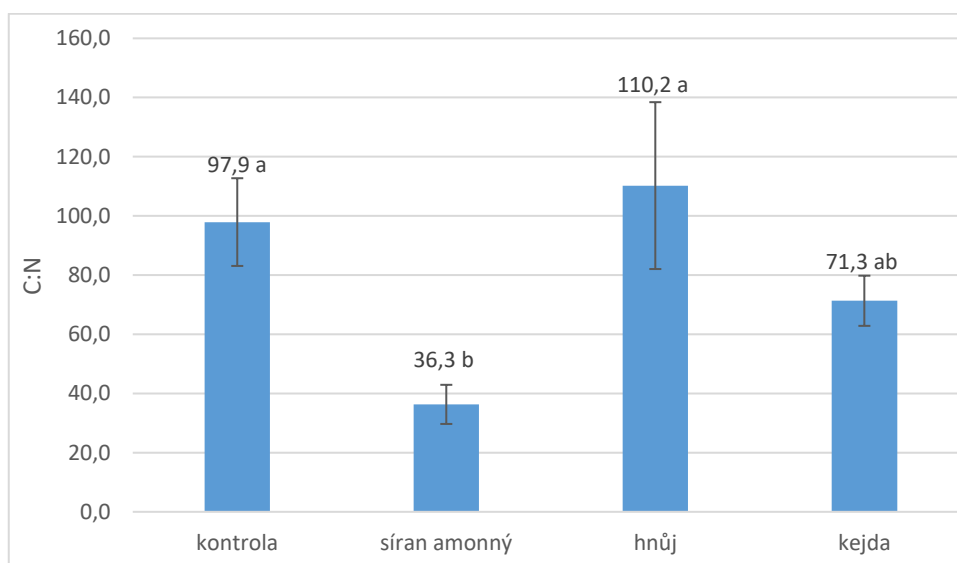


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.4 Poměr C:N v rostlinách

Poměr C:N v rostlinách, jak zobrazuje graf 4, se pohyboval v rozmezí od 36,3:1 do 110,2:1. Nejnížší poměr C:N vykazovala varianta hnojená síranem amonným (36,3:1). U varianty s kejdou byl poměr druhý nejnížší, a to 71,3:1. U kontrolní varianty byl naměřen poměr 97,9:1 a u varianty hnojené hnojem byl poměr nejvyšší, a to 110,2:1. Síran amonný se významně statisticky lišil od ostatních variant.

Graf 4: Poměr C:N v rostlinách silážní kukuřice

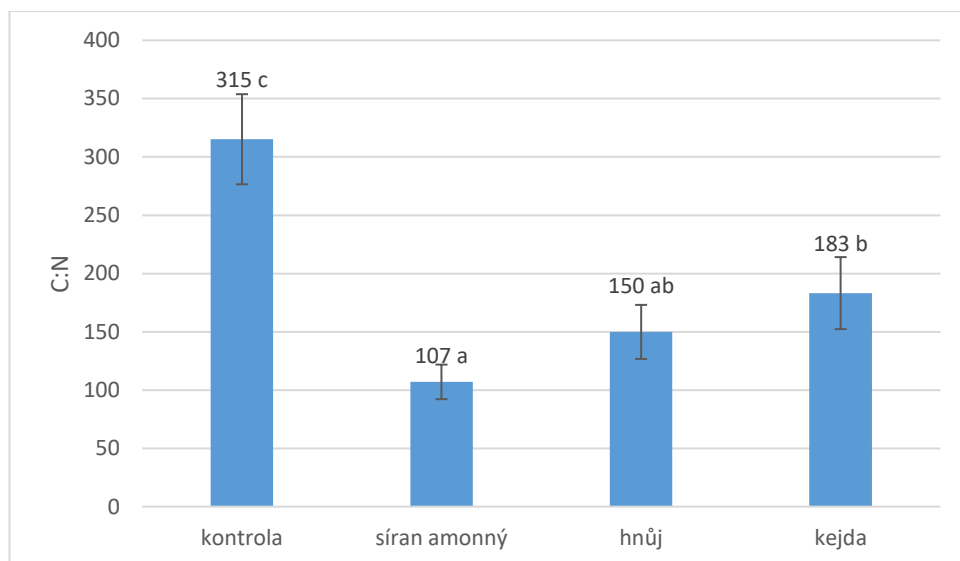


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.5 Poměr C:N ve strništi

Graf 5 zobrazuje poměr C:N ve strništi. Ten se pohyboval od 107:1 do 315:1. Nejnížší poměr 107:1 byl naměřen u varianty se síranem amonným a nejvyšší poměr byl naměřen u kontrolní varianty, kde na jeden dusík připadalo 315 uhlíků. Druhý nejvyšší poměr 183:1 vyšel u varianty hnojené kejdou a druhý nejnížší poměr byl u varianty hnojené hnojem, a to 150:1. Největší statistický rozdíl byl mezi kontrolou a síranem amonným. Varianta se síranem amonným se zároveň statisticky významně lišila od varianty hnojené kejdou.

Graf 5: Poměr C:N ve strništi

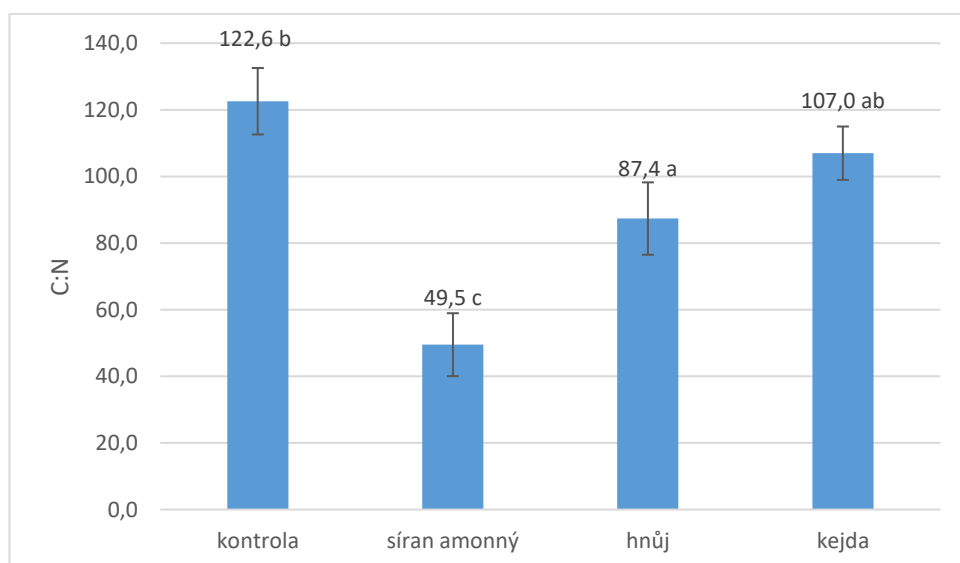


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.6 Poměr C:N v kořenech

V kořenech rostlin, jak zobrazuje graf 6, byl největší poměr C:N stanoven na kontrolní variantě, a to 122,6:1. Po aplikaci síranu amonného byl v kořenech zjištěn nejmenší poměr 49,5:1. U varianty s aplikovaným hnojem bylo v kořenech stanoveno 87,4 uhlíku na jeden dusík. Po aplikaci kejdy byl vypočítaný poměr 107,0:1. Varianta se síranem amonným se statisticky významně lišila od ostatních variant.

Graf 6: Poměr C:N v kořenech

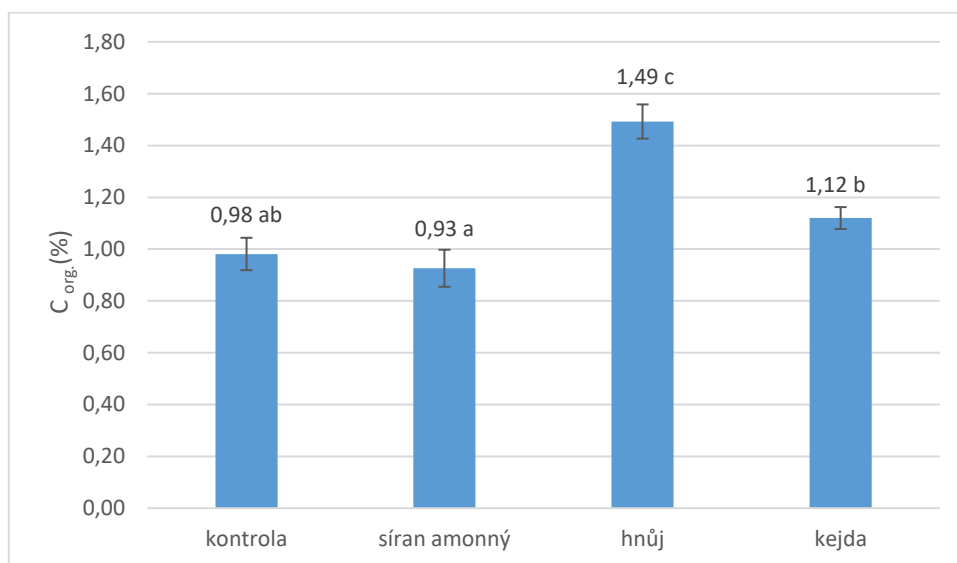


(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

5.7 Obsah organického uhlíku v půdě

Výsledky obsahu C_{org} můžeme vidět na grafu 7 níže. Na kontrolní variantě byl obsah C_{org} stanoven na 0,98 %. Na variantě s aplikovaným hnojem byl obsah 1,49 %. Varianta hnojená kejdou obsahovala 1,12 % a varianta hnojená síranem amonným obsahovala 0,93 %. Nejvyšší nárůst organické hmoty je patrný u varianty hnojené hnojem, kde byl obsah uhlíku o více jak 50 % vyšší než u varianty hnojené minerálně pomocí síranu amonného. Statisticky významně se od ostatních variant lišila varianta hnojená hnojem.

Graf 7: Obsah organického uhlíku v půdě (%)



(různá písmena popisují statisticky významné rozdíly (Turkey HSD test, $p < 0.05$))

Vzhledem k tomu, že známe objemovou hmotnost půdy a obsah organického uhlíku na začátku pokusu, bylo možné vypočítat o kolik se obsah uhlíku zvýšil či snížil. Vzorky půdy byly odebírány do hloubky 30 cm, objemová hmotnost byla $1,47 \text{ g.cm}^{-3}$ a obsah C_{org} v roce 1996 byl 1,26 %. Z toho jsem vypočítala hmotnost půdy na ploše 1 ha do hloubky 30 cm, jak můžeme vidět na výpočtu níže. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 11.

Výpočet:

Hloubka = 30 cm = 0,3 m

Plocha 100 x 100 m = 10 000 m²

Objemová hmotnost půdy = $1,47 \text{ g.cm}^{-3}$

$10\,000 \times 0,3 = 3\,000 \text{ m}^3$

$3\,000 \times 1,47 = 4410 \text{ t. ha}^{-1}$

Na 1 ha máme 4410 tun ornice do hloubky 30 cm.

V roce 1996 byl obsah C_{org} 1,26 %, což odpovídá 55,57 t C_{org} . ha⁻¹, s čímž můžeme porovnávat obsah C_{org} u každé varianty z roku 2021.

Tabulka 11: Rozdíl v obsahu C_{org} v roce 1996 a 2021

Varianta	Obsah C_{org} (%)	Obsah C_{org} (t. ha ⁻¹)	Rozdíl oproti roku 1996 C_{org} (t.ha ⁻¹)
Kontrola	0,98	43,22	- 12,35
Síran amonný	0,93	41,01	- 14,56
Hnůj	1,49	65,71	+ 10,14
Kejda	1,12	49,39	- 6,18

V tabulce výše můžeme vidět, že jen u varianty hnojené hnojem došlo k přírůstku organického uhlíku a to o 10,14 t. ha⁻¹. U všech ostatních variant došlo k úbytku organického uhlíku, a to nejvíce u varianty se síranem amonným, kde rozdíl činil 14,56 t. ha⁻¹ a nejméně se obsah snížil o 6,18 t. ha⁻¹ u varianty hnojené kejdou. Z uvedených výsledků je zřejmé, že ztráty uhlíku z orné půdy při použití klasického orebního systému mohou výrazně ovlivnit obsah CO₂ v ovzduší.

6 Diskuze

Luvizemě představují referenční skupinu půd s povrchovým horizontem ochuzeným o jíl a podpovrchovým „argickým“ horizontem s vysokou akumulací jílu a vysokou nasyceností bází. Luvisoly se obecně vyskytují na dobře odvodněných půdách, pokrývají 6 % území Evropy a jsou běžné od Středozevního moře po Dánsko a Estonsko (Evropská komise 2005). Naše výsledky, které prezentují změny v obsahu půdního uhlíku v monokultuře kukuřice pěstované na luvisolu, také poskytují informace, které by mohly být užitečné nejen pro regionální účely. Podobné výsledky lze očekávat v podobných půdních podmínkách při pěstování kukuřice na siláž v dlouhodobé monokultuře.

6.1 Obsah uhlíku ve sklizni – v rostlinách, ve strništi a v kořenech

Obsah uhlíku se ve všech sklizených částech rostlin nijak výrazně neodlišoval. Největší rozdíl byl ve strništi, kde se varianta hnojená hnojem lišila o 1,6 % od varianty hnojené síranem amonným a od varianty kontrolní, což mohlo být způsobené zpracováním půdy a celkovým hospodařením s vodou. Z výsledků lze obecně říct, že způsob hnojení zásadně neovlivňuje obsah uhlíku ve sklizni.

6.2 Poměr C:N ve sklizni

Poměr C:N je významným ukazatelem kvality organické hmoty z hlediska dynamiky jejího rozkladu v půdě (Balík et al. 2020, Rejšek & Vácha 2018).

Poměr C:N byl sledován v rostlinách, ve strništi a v kořenech. Získané výsledky dokazují, že biomasa kořenů i strništních zbytků byla stabilnější (měla vyšší poměr C:N) na kontrolních parcelách než na parcelách hnojených síranem amonným. Kromě toho se poměr C:N výrazně zvýšil na parcelách hnojených hnojem. Aplikace minerálního hnojiva vykazovala významné snížení poměru C:N, což potvrzuje hypotézu, že minerální hnojení N vede k destabilizaci půdní organické hmoty. Naopak hnojení hnojem vykazovalo zvýšení tohoto poměru. Podobně jako v našich pokusech, zjistil také Loges et al. 2008 významně vyšší poměr C:N u strnišť (197/1) ve srovnání s kořeny (28/1).

V rostlinách byl poměr C:N také nejnižší u varianty hnojené síranem amonným, protože obecně platí, že rostliny lépe využívají amonný dusík, který je obsažen v síranu amonným a je dobře přístupný pro rostliny. Z hnoje se v 1. roce využije cca 15–25 % z celkového obsahu N a z kejdy se v 1. roce využije 50–70 % N (Vaněk et al. 2007). Takže i přes to, že na všechny hnojené varianty bylo aplikováno 120 kg N, se u hnoje využije v 1. roce cca 30 kg a z kejdy cca 84 kg. Což koresponduje i s výsledky, kdy byl u hnoje vyšší poměr C:N než u kejdy, protože ta varianta měla k dispozici více N.

Po aplikaci síranu amonného došlo k výraznému okyselení půdního prostředí. Hodnota pH (CaCl₂) zde činila 4,69, zatímco u varianty hnojů činila 6,7 (ústní sdělení Balík).

6.3 Obsah C_{org} v půdě

Dle Kozák et al. (2004) se obsah organické hmoty v půdě pohybuje v rozmezí 1–5 %, tj. cca 0,6 až 3 % C_{org} . V našem pokusu se obsah C_{org} pohyboval v rozmezí od 0,93 % u minerálně hnojené varianty až do 1,49 % u varianty hnojené hnojem.

Na začátku dlouhodobého pokusu v roce 1996 byl obsah C_{org} v půdě 1,26 %, se kterým jsme porovnávali obsah organického uhlíku po 25 letech působení různých organických a anorganických hnojiv. Aplikace hnoje přispěla k výraznému zvýšení hodnot C_{org} z 1,26 % na 1,49 %, což odpovídá nárůstu o 10,14 tun C_{org} na ha do 30 cm hloubky. Výrazně pozitivní vliv hnoje na obsah organického uhlíku v půdě lze pozorovat i ve studii Menšíka et al. (2018). Schmidt et al. (2000) zaznamenali u žita pěstovaného v monokultuře zvýšení hodnot C_{org} o 32 % (z 1,24 % na 1,64 %) při dávce hnoje 12 t.ha⁻¹.rok⁻¹ a době pěstování 50 let. To potvrzuje také dlouhodobý pokus v Rothamstedu, kde hnůj opět pozitivně ovlivňuje nárůst organické hmoty v půdě (Johnston et al. 2009). Dalším příkladem je experiment, který probíhá od roku 1980 v Číně při opakovaném pěstování rýže a ozimé pšenice. Na tamní pozemek bylo aplikováno v každé variantě hnojení 150 kg N/ha v podobě několika minerálních a organických hnojiv. Na variantě s aplikací hnoje se obsah C_{org} zvýšil o 15,7 % za 25 let (Yan et al. 2007). V indii byl na dlouhodobém pokusu aplikován hnůj v kombinaci s NPK po dobu 34 let, což také vedlo k navýšení obsahu organické hmoty v půdě oproti variantám, které byly hnojené jen samotnými minerálními hnojivy. Zároveň tato varianta vykazovala mnohem větší mineralizaci primární organické hmoty (Kaur et al. 2008). Bhriguvanshi (1998) rovněž uvedl, že obsah organického uhlíku v půdě se výrazně zlepšil po aplikaci hnoje samotného nebo v kombinaci s minerálními hnojivy. Körschens (2012) dokonce porovnal 18 různých evropských dlouhodobých pokusů, podle kterých zvýšila aplikace hnoje v kombinaci s NPK obsah organického uhlíku v rozmezí 100 až 500 kg C_{org} .ha⁻¹.

Nejmenší obsah C_{org} byl u varianty hnojené síranem amonným, protože hnojení minerálními hnojivy obecně vede k silnější mineralizaci stabilní organické hmoty (Klír et al. 2018). U minerálního hnojení byl nejvyšší pokles C_{org} a to o 14,56 tun na ha do 30 cm hloubky. Rychlejší mineralizaci stabilní organické hmoty potvrzují dlouhodobé pokusy z Číny, kde byl rozklad sledován na dlouhodobých pokusech trvajících více jak 17 let. Aplikovány byly různé kombinace minerálních a organických hnojiv nebo hnojiva samotná. K nejsilnější mineralizaci docházelo na parcelách, kde bylo samotné minerální hnojení, a naopak k nejslabší mineralizaci docházelo na variantách s aplikovaným hnojem (Zhang et al. 2011).

Škarda (1982) uvádí, že při porovnání vlivu hnoje a minerálních hnojiv na obsah humusu v půdě je průměrné zvýšení o 4 % ve prospěch hnoje. V našich výsledcích bylo zvýšení obsahu organického uhlíku u hnoje dokonce o 60 % vyšší než u varianty se síranem amonným.

Obsah C_{org} zároveň koreluje s kationtovou výměnnou kapacitou, která přímo odráží obsah organického uhlíku. U varianty hnojené hnojem byla nejvyšší 138,4 mmol₍₊₎/kg a u varianty minerálně hnojené nejnižší 83,8 mmol₍₊₎/kg. To znamená, že půda hnojená hnojem má vyšší výživný potenciál, protože dokáže poutat mnohem více kationtů než varianta se síranem amonným.

V této souvislosti je nutno připomenout, že pokus je realizován na pozemcích s monokulturálním pěstováním silážní kukuřice s každoroční podzimní orbou, což může vést k rychlejším změnám obsahu organického uhlíku než při šetrnějších postupech hospodaření (vhodný osevní postup, minimalizace zpracování půdy).

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo posoudit změny bilance uhlíku v ornici při dlouhodobém pěstování monokultury silážní kukuřice a porovnat účinky různých minerálních a organických hnojiv, v tomto případě u variant síran amonný, kejda a hnůj.

Minerální dusíkaté hnojení ve srovnání s organickým hnojením vede ke snížení poměru C:N ve strništi i v kořenech kukuřice, což signalizuje méně kvalitní organickou hmotu, která se potenciálně rychleji v půdě mineralizuje.

Za poměrně krátkou dobu 25 let se obsah uhlíku v ornici snížil o 23 % (tj. - 12,35 t C_{org} /ha) na kontrolní variantě a o 26 % (tj. - 14,56 t C_{org} /ha) na pozemcích hnojených síranem amonným. To znamená, že intenzivní minerální dusíkaté hnojení podporuje nežádoucí rozklad stabilní organické hmoty. Naopak při aplikaci chlévského hnoje došlo ke zvýšení obsahu organického uhlíku o 18 % (tj. + 10,14 t C_{org} /ha). Obecně lze říct, že aplikace hnoje pozitivně přispívá k udržení stabilní půdní organické hmoty a je důležitá pro úrodnost půd.

8 Literatura

Anonym 1. 2022. Vývoj ploch a sklizní zemědělských plodin v letech 2011–2022. Český statistický úřad.

Allison FE. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier, Amsterdam.

Archer D. 2010. The Global Carbon Cycle. Princeton University Press, USA.

Balík J, Černý J, Vaněk V, Kulhánek M, Sedlář O, Suran P. 2019. Význam organické složky v půdě. Pages 9-17 in Vaněk V, Balík J, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.

Balík J, Kulhánek M, Černý J, Sedlář O, Suran P. 2020. Soil Organic Matter Degradation in Long-Term Maize Cultivation and Insufficient Organic Fertilization. *Plants* **9**: 1217.

Balík J, Pavlíková D, Vaněk V, Černý J. 2009. Vliv hnojení na půdní vlastnosti a půdní úrodnost. Pages 11-16 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze FAPPZ – Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.

Berner A. 1994. Ošetřování a využití hnoje. Agrospoj, Praha.

Bhriuguvanshi SR. 1998. Long term effect of high doses of farmyard manure on soil properties and crop yield. *India Soc Soil Science* **36**:784-786.

Brady NC, Weil RR. 2008. The nature and properties of soils. *Upper Saddle River* **13**:662-710.

Burton CH, Turner C. 2003. Manure management. Treatment strategies for sustainable agriculture. Silsoe Research Institute.

Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O. 2019. Organická hmota v půdě, její obsah, složky a význam. Agromanuál. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-v-pude-jeji-obsah-slozky-a-vyznam> (accessed February 2023).

Černý J, Balík J, Kulhánek M, Sedlář O, Procházková S. 2023. Význam a přeměny organické hmoty v půdě. *Úroda* **70**: 18-22.

European Commission. 2005. Soil Atlas of Europe. European Soil Bureau Network. Luxembourg. Available from https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Projects/Soil_Atlas/Download/Atlas.pdf (accessed February 2023).

Finck A. 1978. Dünger und Düngung: Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Verlag Chemie, New York.

Francioso O, Sánchez-Cortés S, Corrado G, Gioacchini P. 2005. Characterization of Soil Organic Carbon in Long-Term Amendment Trials. *Spectroscopy Letters* 38:283-291.

Gaffney JS, Marley NA, Clark SB. 1996. Humic and Fulvic acids: isolation, structure and environmental role. American Chemical Society, USA.

Gonet SS, Debska B. 2006. Dissolved organic carbon and dissolved nitrogen in soil under different fertilization treatments. *Plant Soil Environment* 2:55-63.

Haider K. 1996. Biochemie des Bodens. Enke, Stuttgart.

Hanč A, Tlustoš P, Száková J, Balík J. 2008. The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. *Plant Soil Environ* 6:247.

Hayes MHB, Mylotte R, Swift RS. 2017. Humin: its composition and importance in soil organic matter. *Advances in agronomy* 143:47-138.

Hlušek J. 2004. Statková hnojiva – kejda. Ústav agrochemie a výživy rostlin v Brně, Brno. Available from https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm (accessed January 2023).

Hůla J, Procházková B. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.

Hütsch BW, Augustin J, Merbach W. 2002. Plant rhizodeposition — an important source for carbon turnover in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 165:397-407.

Chien SH, Gerhart MM, Villagarcia S. 2011. Comparison of Ammonium Sulfate With Other Nitrogen and Sulfur Fertilizers in Increasing Crop Production and Minimizing Environmental Impact. *Soil Science*. 176:327-335.

Christensen BT, Johnston AE. 1997. Soil organic matter and soil quality—lessons learned from long-term experiments at Askov and Rothamsted. *Developments in soil science*. 399-430.

Johnston AE, Poulton PR, Coleman K. 2009. Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. *Advances in agronomy* **101**:1-57.

Kaur T, Brar BS, Dhillon NS. 2008. Soil organic matter dynamics as affected by long-term use of organic and inorganic fertilizers under maize–wheat cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **81**:59-69.

Klír J, Haberle J, Růžek P, Šimon T, Svoboda P. 2018. Postupy hospodaření pro efektivní využití dusíku a snížení jeho ztrát. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Klír J. 2019. Bilance organických látek v rostlinné výrobě. Pages 17-24 in Klír J, editor. Sborník z 25. mezinárodní konference „Racionální použití hnojiv“. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Kolář L, Moudrý J, Kopecký M. 2014. Kniha o humusu. ZERA. - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad Oslavou.

Kozák J, Němeček J, Matula S, Valla M, Borůvka L. 2004. *Pedologie*. Česká Zemědělská Univerzita v Praze, Praha

Körschens M, et al. 2012. Effect of mineral and organic fertilization on crop yield, nitrogen uptake, carbon and nitrogen balances, as well as soil organic carbon content and dynamics: results from 20 European long-term field experiments of the twenty-first century. *Agronomy* **59**:1017-1040.

Krull ES, Skjemstad JO, Baldock JA. 2004. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, Canberra.

Kulhánek M. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Kuzyakov Y. 2010. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Chemistry* **42**:1263-1271.

Lavalle P, Gillot C. 1994. Priming effects of macroorganisms on microflora: a key process of soil function?. *British society of soil science*, Great Britain.

Loges R, Bunne I, Reinsch T, Malisch C, Kluß C, Herrmann A, Taube F. 2018. Forage production in rotational systems generates similar yields compared to maize monocultures but improves soil carbon stocks. *Eur. J. Agron* **97**: 11-19.

Menšík L, Hlisenkovský L, Pospíšilová L, Kunzová E. 2018. The effect of application of organic manures and mineral fertilizers on the state of soil organic matter and nutrients in the long-term field experiment. *J. Soil Sediment* **18**:2813-2822.

Mikkelsen RL. 2005. Humic Materials for Agriculture. *Better Crops* **89**:6-10.

Nagy J. 2008. Maize production. Akadémia Kiadó, Maďarsko.

Nguyen C. 2009. Rhizodeposition of Organic C by Plant: Mechanisms and Controls. Springer, Dordrecht.

Rejšek R, Vácha R. 2018. Nauka o půdě. Agriprint, s. r. o., Olomouc.

Richter R, Římovský K. 1996. Organická hnojiva, jejich výroba a použití. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.

Schachtschabel P, Blume HP, Thiele-Bruhn S. 1976. Lehrbuch der bodenkunde. Enke, Stuttgart.
Spain AV, Isbell RF, Probert ME. 1983. Soil organic matter. *Soils: an Australian viewpoint*. 551-563.

Schmidt L, Warnstorff K, Dörfel H, Leinweber P, Lange H, Merbach W. 2020. The influence of fertilization and rotation on soil organic matter and plant yields in the long-term Eternal Rye trial in Halle (Saale), Germany. *J. Plant. Nutr. Soil Sci.* **163**:639-648.

Stupka R, Šprysl M, Čítek J. 2013. Složení a vlastnosti kejdy. Page 182 in Stupka R, Šprysl M, Čítek J, editors. *Základy chovu prasat*. Powerprint, Praha.

Šantrůček J, Šantrůčková H. 2018. Stabilní izotopy biogenních prvků: použití v biologii a ekologii. Academia, Praha.

Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita palackého v Olomouci, Olomouc.

Šimek M, Elhottová D, Fuksa P. 2021. Živá půda: praktický manuál. Academia, Praha.

Šimek M. 2005. Základy nauky o půdě. Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, České Budějovice.

Škarda M. 1982. Hospodaření s organickými hnojivy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Šuk J, Balík J, Jacobe P, Jambor V, Kohout V, Loučka R, Táborský V, Vrzal J. 1998. Kukuřice. VP Agro, Kněžves.

The Sulphur Institute. 2022. Sulphur Fertilizer Types. The Sulphur Institute. Available from <https://www.sulphurinstitute.org/about-sulphur/sulphur-the-fourth-major-plant-nutrient/sulphur-fertilizer-types/> (accessed January 2023).

Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D, Černý J. 2009. Úloha organické hmoty v půdě. Pages 16-25 in Balík J, et al., editors. Racionální použití hnojiv – sborník z konference. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Vaněk V. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, Praha.

Villarino SH, Pinto P, Jackson RB, Piñeiro G. 2021. Plant rhizodeposition: A key factor for soil organic matter formation in stable fractions. *Science Advances* **7**.

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.

Zhang JB, Zhu TB, Cai ZC, Qin SW, Müller C. 2011. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations. *European Journal of Soil Science* **63**:75-85.

Zimolka J., et al. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press.

Zsolnay A, Gorlitz H. 1994. Water extractable organic matter in arable soil: Effects of drought and long-term fertilization. *Soil Biol Biochem* **26**:1257-1261.

9 Seznam grafů, tabulek a obrázků

9.1 Grafy

Graf 1: Obsah uhlíku v rostlinách silážní kukuřice (%)	33
Graf 2: Obsah uhlíku ve strništi (%)	34
Graf 3: Obsah uhlíku v kořenech (%)	34
Graf 4: Poměr C:N v rostlinách silážní kukuřice	35
Graf 5: Poměr C:N ve strništi	36
Graf 6: Poměr C:N v kořenech	36
Graf 7: Obsah organického uhlíku v půdě (%)	37

9.2 Tabulky

Tabulka 1: Stabilita nejvýznamnějších složek primární organické hmoty v půdě (Vaněk et al. 2009)	14
Tabulka 2: Stabilita humusových látek v půdě (Černý et al. 2019)	15
Tabulka 3: Obsah uhlíku (C_{org}) v půdě (0-40 cm) 34 let od začátku pokusu – Bologna (Francioso et al. 2005 in Balík et al. 2019)	20
Tabulka 4: Průměrné využití živin z hnoje (% z celkového obsahu) (Vaněk 2007)	22
Tabulka 5: Průměrný obsah organických látek (OL) a živin v hnoji v čerstvém stavu v % (Vaněk 2007)	22
Tabulka 6: Roční produkce kejdy, obsah organických látek (OL) a živin v kejdě v čerstvém stavu v % (Vaněk et al. 2007)	24
Tabulka 7: Ztráty dusíku po aplikaci kejdy (% dodaného $N-NH_4^+$) (Vaněk et al. 2007)	24
Tabulka 8: Varianty pokusů hnojení silážní kukuřice a množství dodaných živin (v kg/ha/rok).....	31
Tabulka 9: Půdní a klimatická charakteristika stanoviště.....	32
Tabulka 10: Obsah přijatelných živin v ornici (Mehlich 3); rok 1996	32
Tabulka 11: Rozdíl v obsahu C_{org} v roce 1996 a 2021	38

9.3 Obrázky

Obrázek 1: Rozdělení půdní organické hmoty (Šimek 2005)	11
Obrázek 2: Zdroje půdní organické hmoty (Šimek 2005)	12
Obrázek 3: Globální cyklus uhlíku na Zemi (Šimek et al. 2021)	19

