

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Technologie pěstování kukuřice snižující negativní dopady
na půdní prostředí**

Diplomová práce

Bc. Anna Sivčáková

Ochrana a využívání přírodních zdrojů

Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Technologie pěstování kukuřice snižující negativní dopady na půdní prostředí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 23.07.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jaroslavu Tomáškoví, Ph.D. za odborné vedení, spolupráci a pomoc při psaní této diplomové práce. Velké díky patří také mé rodině, přátelům a kolegům, kteří mi byli velkou oporou.

Technologie pěstování kukuřice snižující negativní dopady na půdní prostředí

Souhrn

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je pěstována po celém světě. V České republice její popularita stoupá díky narůstající poptávce po substrátu do bioplynových stanic. Kukuřice pěstovaná konvenční technologií s širokými řádky představuje velké riziko půdní eroze, která má za následek degradaci půdy. Současné zemědělství se bude muset více zaměřit na alternativní půdoochranné způsoby pěstování kukuřice, které redukuje míru eroze a zároveň zlepšují půdní podmínky pro růst rostlin a postupně mohou zvýšit obsah organické hmoty v půdě.

Mezi alternativní metody můžeme zařadit pěstování kukuřice s podsevem leguminóz. V rámci pokusu byl využitý podsev lupiny bílé (*Lupinus albus*) a hrachu setého (*Pisum sativum*). Na variantě s podsevem hrachu a na kontrolní variantě byla během období růstu kukuřice měřena teplota půdy v hloubce 10 cm a vlhkost půdy v hloubce 20 cm. V průměru o 1,4 °C nižší teplota byla naměřena na variantě s podsevem než na kontrolní variantě. Vyšší vlhkost byla naopak zaznamenána na variantě s podsevem.

Další hodnocenou půdoochrannou technologií byla aplikace travního mulče na povrch půdy. Dle zjištěných výnosových parametrů lze předpokládat, že mulč pozitivně ovlivnil půdní prostředí a vlhkost půdy. Varianta s travním mulčem dosáhla výnosu biomasy v čerstvém stavu 52,27 t.ha⁻¹, kdežto klasická metoda bez pokryvu měla výnos o 17,14 t.ha⁻¹ nižší. Obsah sušiny u varianty s mulčem byl v přepočtu o 17,5 % nižší než u kontrolní varianty.

Nejvyšší výnos zrna přepočítaný na 14 % vlhkosti byl zjištěn u kontrolní varianty, která dosáhla výnosu 13,62 t.ha⁻¹, následovala ji varianta s travním mulčem s celkovým výnosem 12,19 t.ha⁻¹, což představuje o 10,5 % nižší výnos zrna. Varianty s podsevy meziplodin dosáhly ještě o něco nižších výnosů. Výnos zrna s podsevem lupiny bílé byl nižší o 16,4 % než výnos u kontrolní varianty. Nejnižší výnos zrna byl zjištěn u kukuřice pěstované s podsevem hrachu, která měla výnos o 26,5 % nižší než kontrolní varianta bez půdního pokryvu.

U hmotnosti tisíce zrn (HTZ) ani u obsahu sušiny zrna nebyla mezi hodnocenými variantami shledána žádná statistická průkaznost.

Klíčová slova: půdní prostředí, meziplodiny, leguminózy, infiltrace vody, eroze

Corn growing technology reducing negative impact on soil environment

Summary

Maize (*Zea mays L.*) is a crop that is grown all over the world. In the Czech Republic, its popularity grows due to increasing demand for substrate used in biogas plants. Maize grown by conventional wide-row technology represents a high risk of soil erosion which leads to soil deterioration. Present-day agriculture will have to focus on alternative soil-protecting methods of growing maize, which reduce the extent of erosion and improve the good soil conditions for growing plants. Alternative methods can also gradually increase the organic matter content in the soil.

Growing maize with intercropped legumes can be one of these alternative methods. In the experiment we used white lupin (*Lupinus albus*) and field pea (*Pisum sativum*) as cover crops. The soil temperature in the field using pea intercropping system and the control variant was measured at a depth of 10 cm and the soil moisture at 20 cm when growing the maize. The soil temperature of field pea and maize intercropping system was 1.4 ° C lower than in the control variant. However, higher soil moisture was recorded in the intercropping system with a cover crop.

Further evaluated alternative technology in the experiment, was the application of grass mulch to the soil surface. Based on the yield of maize, it can be assumed that the mulch had a positive effect on the soil environment and soil moisture. The variant with grass mulch on the soil surface reached a yield of fresh biomass of 52.27 t.ha⁻¹, whereas the conventional method without cover yielded 17.14 t.ha⁻¹ less. The dry matter content of maize biomass with the mulch cover was 17.5% lower than the control variant.

The highest grain yield converted to 14% moisture was found in the control variant, which reached a yield of 13.62 t.ha⁻¹, the second highest grain yield was recorded by the variant with grass mulch with a total yield of 12.19 t.ha⁻¹, i.e. 10.5% lower grain yield than control variant. Corn growing methods intercropped with legumes reached an even lower grain yield. The grain yield of maize with cover crops of white lupine, was 16.4% lower than the yield of the control variant. The lowest grain yield of maize was found in experimental variant with cover crop of field pea, which had a yield 26.5% lower than the control variant grown in bare soil.

No statistic conclusiveness has been found among the samples in terms of either the weight of thousand grains or the content of dry matter in grains.

Keywords: soil environment, intercropping, legumes, water infiltration, erosion

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Vědecké hypotézy a cíle práce	9
3	Kukuřice setá (<i>Zea mays</i> L.)	10
3.1	Historie pěstování.....	10
3.2	Vývoj pěstování v ČR.....	10
3.3	Požadavky kukuřice na klimatické a půdní podmínky	12
3.4	Zařazení v osevním postupu.....	12
4	Voda v půdě.....	13
4.1.1	Faktory ovlivňující retenci vody v půdě.....	14
4.1.2	Zdroje organické hmoty.....	14
5	Hlavní příčiny degradace půdy.....	15
5.1	Eroze	15
5.1.1	Větrná eroze	16
5.1.2	Vodní eroze.....	16
5.1.3	Míra eroze v závislosti na obsahu organické hmoty v půdě.....	19
5.2	Acidifikace	20
5.3	Utuzení půdy	21
6	Půdochranné a protierozní technologie zpracování půdy.....	22
6.1	Minimalizační technologie zpracování půdy při pěstování kukuřice	23
6.1.1	Technologie no-till	23
6.1.2	Technologie strip-till	23
6.2	Využití mulče při pěstování kukuřice	24
6.3	Uspořádání porostu kukuřice	27
6.4	Intercropping – využití podsevové meziplodiny	28
6.4.1	Uspořádání porostu v kombinaci s krycí plodinou	28
7	Materiál a metody	30
7.1	Charakteristika pokusného stanoviště.....	30
7.1.1	Obecná charakteristika pokusné lokality.....	30
7.1.2	Půdní podmínky	30
7.1.3	Klimatické podmínky	30
7.2	Agrotechnika pokusu	31
7.3	Hodnocení intenzity fotosyntézy	32
7.4	Hodnocení výnosů kukuřice	32
7.4.1	Kukuřice na siláž.....	32

7.4.2	Hodnocení výšky rostlin.....	33
7.4.3	Kukuřice na zrno	33
7.5	Hodnocení vlhkosti a teploty půdy.....	33
8	Výsledky	34
8.1	Hodnocení intenzity fotosyntézy.....	34
8.2	Hodnocení výnosů kukuřice	34
8.2.1	Kukuřice na siláž.....	34
8.2.2	Hodnocení výšky rostlin.....	36
8.2.3	Kukuřice na zrno	36
8.3	Hodnocení vlhkosti a teploty půdy.....	38
9	Diskuze	39
10	Závěr	42
11	Literatura.....	43
12	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Půda představuje důležitou složku biosféry a má přímý vliv na kvalitu a výnos pěstovaných plodin. Půda není obnovitelný zdroj a je nutné s ní šetrně hospodařit a chránit ji. Je kladen stále větší důraz na hospodaření udržitelným způsobem a na ochranu půdy na zajištění potravinové bezpečnosti pro budoucí generace (Mitchell at al. 2015).

Stále častěji se dnes můžeme setkat s minimalizačními a půdoochrannými technologiemi, jako je například pásové zpracování půdy (strip-till), ponechání rostlinných zbytků – mulče – na povrchu půdy nebo využití meziplodiny. Tyto alternativní způsoby by měly celkově snížit negativní dopady na půdní prostředí – snížit erozi půdy, zlepšit její strukturu, zvýšit obsah organické hmoty a schopnost půdy zadržovat vodu (Boomsma at al. 2009).

Pro kukuřici se v současné době nabízí široký výběr technologických postupů. Tradiční technologie zpracování půdy určené pro pěstování kukuřice mají spoustu výhod a jsou prověřeny dlouholetou praxí. Mezi hlavní výhody konvenční technologie patří rychlejší prohřívání půdy na jaře, snížení nákladů na chemickou ochranu či hlubší a rovnoměrné zapravení posklizňových zbytků do půdy. Při používání minimalizačních technologií se využívají postupy s mělkým, případně středně hlubokým zpracování půdy. Tyto alternativní metody mají pozitivní vliv na kvalitu půdního prostředí a využívání těchto metod při pěstování kukuřice je žádoucí. Například redukuje půdní erozi a ztráty pohyblivých forem dusíku (Zimolka et al. 2008).

Půdní eroze představuje jednu z největších environmentálních hrozeb, kterým je lidská společnost vystavena. Míra eroze v porostech kukuřice závisí především na typu a struktuře půdy, intenzitě dešťových srážek, svažitosti terénu a na způsobu obdělávání. Kukuřice je většinou pěstována jako širokořádková plodina a tím se řadí mezi jednu z nejvíce ohrožených plodin půdní erozí. Uspořádání porostu a meziřádkové vzdálenosti rostlin patří mezi hlavní faktory ovlivňující míru eroze a výnosy kukuřice. (Brant et al. 2017).

Zařazení meziplodiny do porostů kukuřice je další možnost, jak snížit negativní dopady na půdní prostředí. Mezi často využívané meziplodiny patří rostliny z čeledi bobovitých (*Fabaceae*), které mají schopnost fixovat vzdušný dusík, což v důsledku ovlivňuje náklady na hnojení. Meziplodina slouží hlavně jako rostlinný pokryv půdy mezi řádky kukuřice, tím se redukuje evaporace a zvyšuje se infiltrace vody z dešťových srážek. Ponechání rostlinných zbytků leguminóz na pozemku může sloužit i jako zelené hnojení. Tento zdroj organické hmoty přispívá k větší produktivitě rostlin a zlepšení struktury půdy. Pěstování kukuřice s meziplodinou by mělo vést k trvalé udržitelnosti systému. (Rusinamhodzia et al. 2012).

2 Vědecké hypotézy a cíle práce

Cílem diplomové práce je porovnat klasickou konvenční technologii pěstování kukuřice (*Zea mays* L.) s alternativními půdoochrannými způsoby pěstování – s využitím krycích meziplodin, aplikace travního mulče na povrch půdy nebo změna způsobu obdělávání. Tyto alternativní metody by měly mít zásadní vliv na snížení degradace půdy a celkovou udržitelnost pěstování kukuřice.

Dalším cílem je ověřit vliv uspořádání porostů kukuřice seté s podsevem krycí plodiny na infiltraci srážkové vody. V důsledku by toto mělo vést ke snížení evaporace a vysychání půdy v porostech kukuřice.

Výzkumné hypotézy:

- 1) Pěstování kukuřice s podsevem zvýší schopnost půdy infiltrovat dešťové srážky, což se projeví dostatečnou vlhkostí půdy v době delšího období sucha, v porovnání s klasickou technologií pěstování kukuřice
- 2) Setí kukuřice s podplodinou sníží fotosyntetickou produkci rostlin a s tím spojené výnosové parametry ve srovnání s klasickou technologií pěstování kukuřice.

3 Kukuřice setá (*Zea mays* L.)

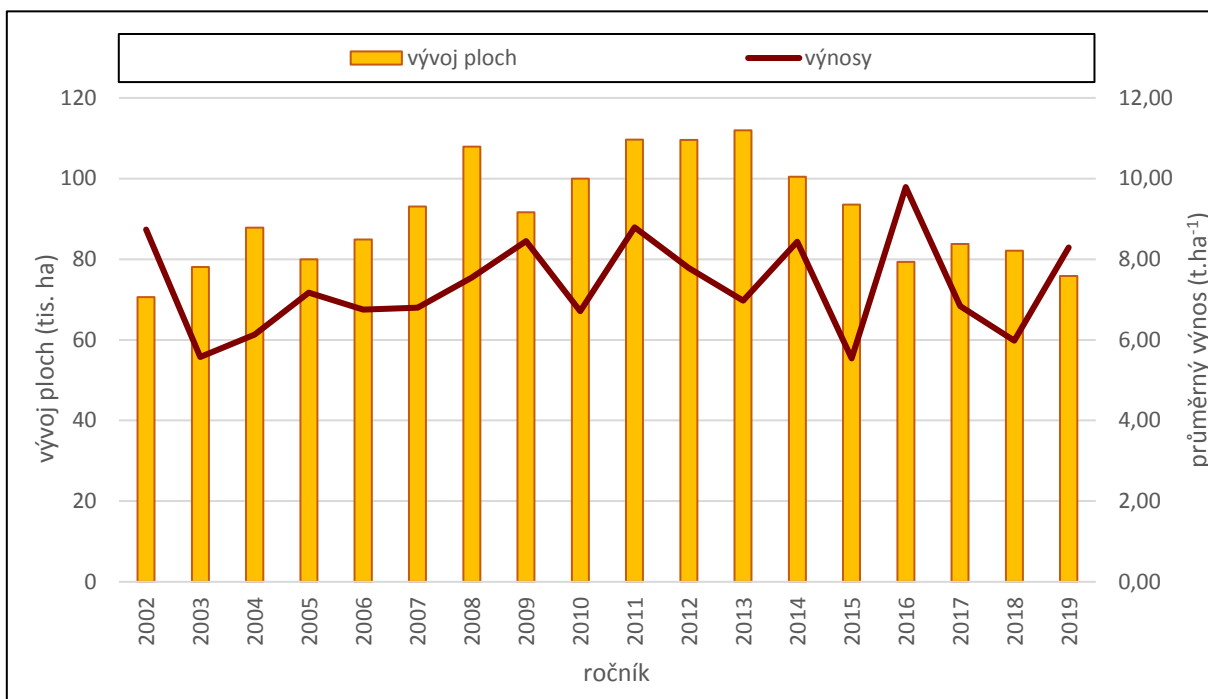
3.1 Historie pěstování

Hypotéza, kdy a kde byla kukuřice původně domestikována, se nadále vyvíjí díky genetickým výzkumům. Kukuřice pravděpodobně „vznikla“ v Mexiku zhruba před 7000 lety z planě rostoucí rostliny nazývané *teosinte*, která se významně liší od dnešní kukuřice. Původní obyvatelé Mexika v průběhu času postupně *teosinte* transformovali na plodinu s většími klasy s větším počtem řádků, což zajišťovalo lepší a větší zdroj obživy pro obyvatele, kteří pak mohli setrvat delší dobu na jednom místě a nemuseli migrovat za potravou. Následné rozšíření kukuřice do jiných částí světa bylo poměrně rychlé. Obyvatelé několika domorodých kmenů ve Střední Americe a Mexika dovezli kukuřici do dalších oblastí Latinské Ameriky, Karibiku a následně i na území USA a Kanady. O něco později evropští objevovatelé Ameriky dovezli plodinu do Evropy a odtud se rozšířila do Asie a Afriky. Dnes je kukuřice pěstována po celém světě a mezi tři největší producenty patří USA, Čína a Brazílie (Ranum et al. 2014).

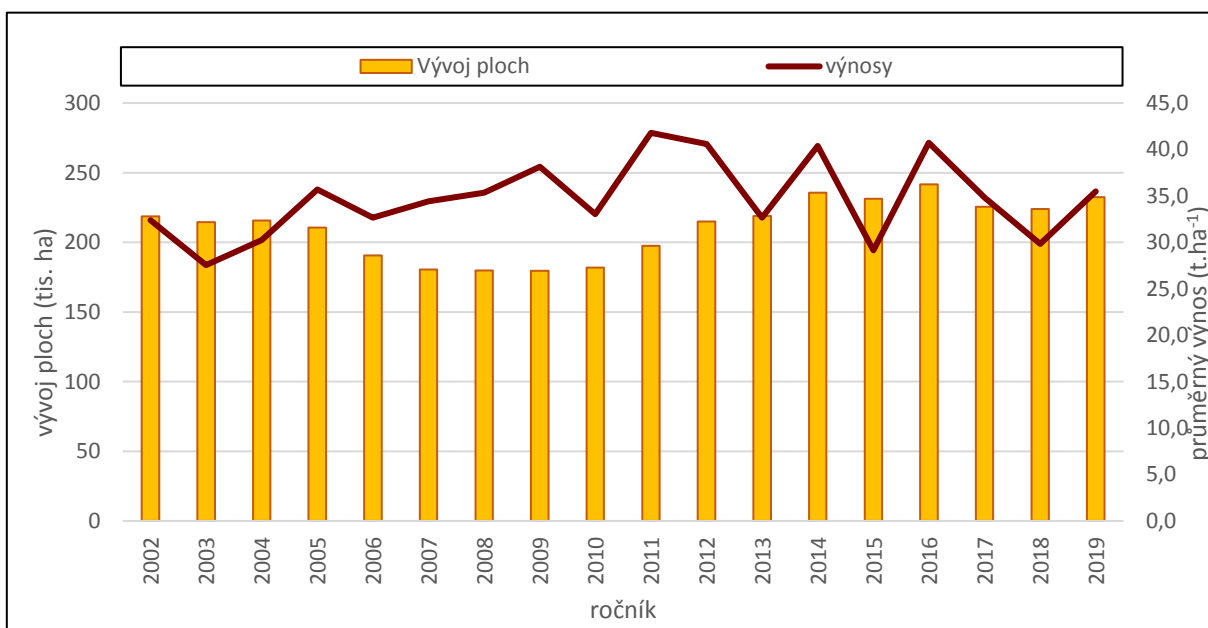
3.2 Vývoj pěstování v ČR

V Čechách patří kukuřice setá (*Zea mays* L.) mezi jednu nejvíce pěstovanou a významnou plodinu a přepokládá se, že její popularita mezi zemědělci stále poroste. Během posledního čtvrtstoletí proběhly významné změny ve struktuře spotřeby konzervované píce. V 90. letech minulého století došlo k výraznému snížení stavů skotu a tím pádem došlo k nižší spotřebě kukuřičné siláže určené ke krmení. Naopak vzrostla poptávka po energetickém využití kukuřice. Kukuřice se stále častěji využívá jako substrát pro bioplynové stanice a slouží jako surovina pro výrobu bioplynu (Neružil et al. 2017).

Vývoj ploch určených pro pěstování zrnové kukuřice a kukuřice na siláž v letech 2002 – 2019 je znázorněn na Obrázcích 1 a 2, kde je také uveden průměrný výnos kukuřice v t.ha⁻¹.



Obr. 1 Vývoj ploch a výnosu kukuřice na zrno v ČR (ČSU 2020).



Obr. 2 Vývoj ploch a výnosu kukuřice na zeleno a siláž v ČR (ČSU 2020).

3.3 Požadavky kukuřice na klimatické a půdní podmínky

Kukuřice je teplomilná rostlina se specifickými požadavky na teplotu, na vlhkost půdy a na intenzitu slunečního záření (Hůla & Procházková et al. 2008). Velmi důležitou roli hraje teplota během první fáze růstu kukuřice – od zasetí do metání. Když je během tohoto období relativně chladno, vývoj rostlin kukuřice je zpožděn a rostliny velmi obtížně dohnají toto vývojové zpoždění, a to i přes příznivé klimatické podmínky na konci léta (Nagy 2006).

Kukuřice se podle způsobu fixace CO₂ řadí mezi C4 rostliny, tzn., že v Hatch-Slackově cyklu tvoří čtyřuhlíkatou sloučeninu – molekulu oxalacetátu. Pro rostliny typu C4 je typická vyšší rychlost fotosyntézy (cca 60 mg CO₂ na 0,01 m² asimilačního povrchu za jednu hodinu) a zároveň je vysoká účinnost fotosyntézy. Limitní teplota pro růst rostlin kukuřice je mezi 5 – 6 °C. Spotřeba vody na produkci 1000 g sušiny je u kukuřice udávána 349 litrů H₂O (Zimolka et al. 2008).

Klíčení rostlin kukuřice začíná, když teplota půdy dosáhne 7-8 °C, ale optimální teplota je při 12-15 °C. Pro růst a vývoj generativních orgánů by teplota měla být 20-24 °C. Kukuřice má vysoké požadavky na vláhu, zejména ve fázi intenzivního růstu, tj. v období od metání do mléčné zralosti. Nejvíce náchylná na sucho je v době kvetení blizen, kdy může docházet zasychání. Na půdní podmínky není kukuřice zvláště náročná, přesto jsou pro pěstování nejvhodnější hluboké strukturní půdy s vyšší přirozenou úrodností a s neutrální půdní reakcí, což jsou především černozemě a hnědozemě. Ve vyšších a chladnějších polohách jsou vhodnější lehčí půdy, které se rychleji zahřívají. Těžké, chladné a zamokřené půdy nejsou příliš vhodné, jelikož neumožní včasné setí (Hůla & Procházková et al. 2008).

3.4 Zařazení v osevním postupu

Při pěstování kukuřice je třeba brát v potaz také osevní postupy. Kukuřice je nejčastěji zařazována po obilninách, v menším rozsahu je pěstována po okopaninách a víceletých pícevinách. Kukuřici lze pěstovat i několikrát po sobě, což je dáno její velkou snášenlivostí. S touto praktikou se v zemědělské praxi můžeme potkat čím dál častěji. Nejsou výjimkou pozemky, kde se kukuřice pěstuje pět až šest let po sobě. Nicméně za účelné je považováno pěstovat kukuřici ve dvou až tříletém sledu. Při víceletém opakovaném pěstování totiž dochází k rozvoji určitých druhů plevelů, což jsou například svlačec rolní (*Convolvulus arvensis*), pcháč oset (*Cirsium arvense*), violky (*Viola*) a také trávovité plevele, jako jsou béry (*Setaria*), ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli*), oves hluchý (*Avena fatua*), pýr plazivý (*Elymus repens*) atd. Mezi plevele a kukuřicí pak dochází ke konkurenci a plevele se musí hubit různými herbicidy. Problém nastává, když se určitá populace plevelů stane rezistentní a následně se šíří. Při opakovaném pěstování kukuřice po sobě se také daří škůdcům. Patří k nim například zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) a bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera virgifera*). Zavíječ se celkem daří redukovat použitím insekticidů, ale proti bázlivci je zatím nejvhodnějším opatřením střídání kukuřice s jinými plodinami (Hůla & Procházková et al. 2008).

Nejvhodnější předplodiny pro kukuřici jsou takové plodiny, po kterých zůstává velké množství posklizňových zbytků. Nejlepšími předplodinami jsou jeteloviny a luskoviny, které obohacují půdu o dusík a zanechávají po sobě velké množství kvalitních posklizňových zbytků. Avšak při dnešní struktuře plodin nelze brát v úvahu zařazování kukuřice po jetelovinách, luskovinách či okopaninách. Proto se kukuřice velmi často zařazuje mezi dvě obilniny jako zlepšující plodina a zároveň tím plní funkci přerušovače obilných sledů. V tomto případě je nejvhodnější předplodinou pro kukuřici ozimá pšenice (*Triticum aestivum*) nebo jarní ječmen (*Hordeum vulgare* L.) Nejčastějším osevním postupem je: pšenice ozimá – kukuřice na siláž/zrno – ječmen jarní (Zimolka et al. 2008).

Při zařazení kukuřice mezi dvě obilniny a pro dosažení vysokých výnosů je nezbytné aplikovat organická hnojiva například ve formě kvalitního hnoje (Vrzal & Novák et al. 1995).

Je důležité také brát v potaz, že po kukuřici pěstované na zrno zůstává na pozemku větší množství posklizňových zbytků a u obilnin pěstovaných poté hrozí větší riziko rozvoje houbových chorob a kontaminace zrna mykotoxiny. Proto by měly být posklizňové zbytky dobře zapraveny do půdy a na pozemcích, kde jsou praktikovány minimalizační technologie zpracování půd, by měl být kladen větší důraz na fungicidní ochranu a kvalitní mulčování rostlinných zbytků (Hůla & Procházková et al. 2008).

4 Voda v půdě

Hlavním zdrojem vody do půdního prostředí jsou zejména atmosférické srážky. Dalšími zdroji jsou povrchový odtok nebo vzlínající voda z podzemních zdrojů. Pro retenci vody v daném území a v daném čase platí tato bilanční rovnice:

$$R = S + V - E - O$$

kde:

R – retence

S – srážky

V – voda přitékající ze sousedního prostředí

E – evapotranspirace

O – odtok

Půdní voda je základní činitel pro růst rostlin a pro všechny ostatní organismy žijící v půdě. Voda v půdě ovlivňuje fyzikální, fyzikálně-chemické i biologické pochody a také se z velké části podílí na změnách půdotvorného substrátu (Šarapatka 2014).

4.1.1 Faktory ovlivňující retenci vody v půdě

Hlavní podmínkou pro zadržování vody v půdě je, aby půda byla co nejvíce strukturní s dostatkem organických látek, které jsou zdrojem energie pro organismy žijící v půdě a pro pěstované plodiny. Pro zlepšení půdní struktury pomáhá zapravovat organické látky do půdy, ale pozitivní a dlouhodobější vliv na infiltraci vody lze očekávat až po víceleté a pravidelné aplikaci (Kovaříček et al. 2017).

Infiltrace neboli vsakování vody do půdy je mimo jiné také ovlivněno vegetačními poměry a způsobem zpracování půdy. Rychlost infiltrace vody představuje rychlost postupu vody do půdy za jednotku času. Infiltrace je závislá na půdním druhu, u jílových půd se pohybuje mezi 1 a 5 mm/h a u písčitých půd až mezi 100 a 150 mm/h (Šarapatka 2014).

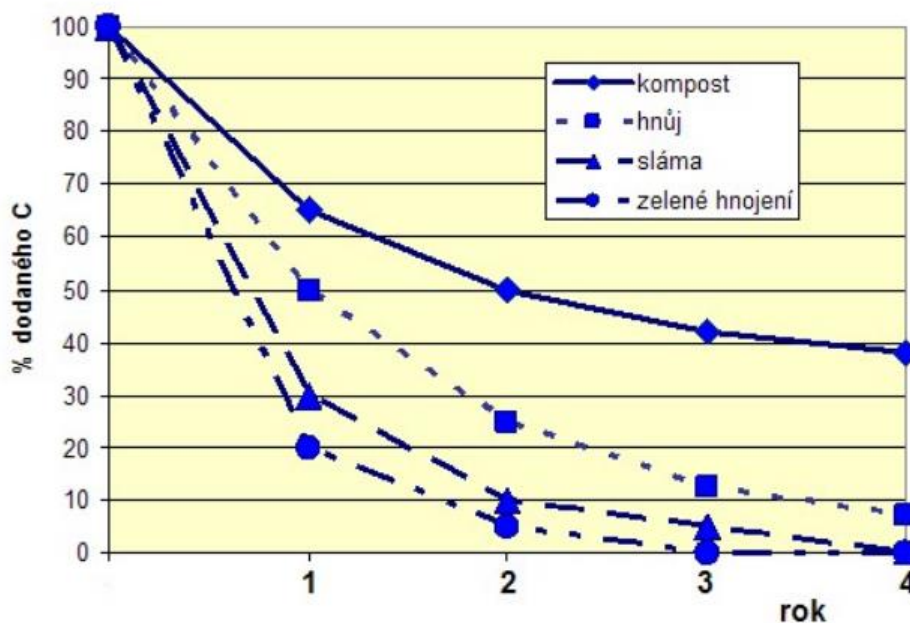
Degradace půdy erozí, utužení půdy či narušením půdní struktury mají za následek změny vláhového režimu se sníženou retencí vody v krajině. Střídání extrémního sucha a povodní je trend, který se v posledních letech pravidelně opakuje. Velký vliv na vsakování vody do půdy má porost na pozemku. Když je půda dobře prokořeněná a povrch půdy je zakrytý vegetací, tak se dešťová voda infiltruje do půdy mnohem lépe a rychleji. Mezi problematrické plodiny patří právě kukuřice. V období intenzivních dešťů na konci května a v červnu, kdy není porost kukuřice ještě zcela zapojen, jsou pozemky velmi náchylné k vodní erozi. Kapky dopadající přímo na povrch půdy rozrušují půdní agregáty a na svažitých pozemcích voda odtéká v soustředěných stružkách (Kovaříček et al. 2017).

4.1.2 Zdroje organické hmoty

Pro zadržování dešťové vody v půdě je nejdůležitější, aby měla půda dostatek organické hmoty, která určuje strukturu půdy (Kovaříček et al. 2017). Organická hmota může být doplňována ve formě statkových hnojiv. Pro dosažení optimálního výnosu je nutno pozemek zásobit všemi živinami. Pro pozemky určené k pěstování kukuřice je zapotřebí dodat 120–180 kg N.ha⁻¹, 30–45 kg P.ha⁻¹ a 80–160 kg K.ha⁻¹. Vyšší dávky jsou aplikovány na půdách s nižší zásobou živin (Vrzal & Novák et al. 1995). Z organických hnojiv je nejvíce používán chlévský hnůj. Richter (2005) uvádí, že optimální dávky hnoje jsou od 30 do 40 t.ha⁻¹. Kukuřice také velmi pozitivně reaguje na hnojení tekutými hnojivy, jako jsou kejda či močůvka. Podle Vaňka et al. (2010) kejda a močůvka zvyšuje v půdě mineralizaci, čímž se podílí na vyšších výnosech plodiny, ale nezvyšuje obsah organických látek v půdě. Dokonce může v důsledku zvýšené mineralizace snižovat obsah uhlíku v půdě. Stabilizované organické látky, které mají mnohem větší význam pro obsah humusu v půdě, jsou do půdy dodávány v podobě tuhých statkových hnojiv, jako je hnůj. Jednoznačně nejvíce stabilizovaný je vyžralý kompost.

Na pozemky určené k pěstování kukuřice jsou tuhá statková hnojiva zpravidla aplikována na podzim, tekutá mohou být do půdy dodávána i v průběhu zimy a předjaří (Vrzal & Novák et al. 1995). Nejrychleji se v půdě rozloží zelená hmota z posklizňových zbytků. Nevýhodou zeleného hnojení je, že se jedná o primární zdroj organické hmoty a nevytváří se stabilní organická hmota (Kovaříček et al. 2017). Nicméně zaorání slámy do půdy se jeví jako

výhodnější přísun organických látek a zdroj živin pro plodiny, než když se sláma použije na podestýlku. Sláma s exkrementy zvířat prochází během zrání hnoje fermentačními procesy a dochází ke ztrátám organické hmoty až o 50 % (Vaněk et al. 2010). K obohacování půdy o organickou hmotu dochází i při zapravení nadzemní biomasy podsevových meziplodin, které jsou využívány v rámci půdoochranných technologií v širokořádkově vysévaných plodinách (Brant et al. 2008). Na Obrázku 3 je znázorněna doba rozkladu organických látek statkových hnojiv v půdě.



Obr. 3 Doba rozkladu organických látek statkových hnojiv v půdě (Vaněk et al. 2010).

5 Hlavní příčiny degradace půdy

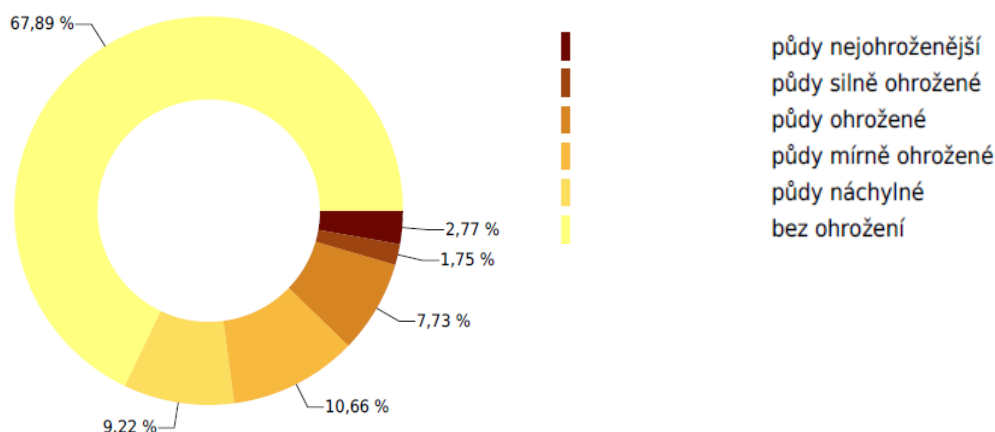
5.1 Eroze

Erozi lze definovat jako přírodní proces, při kterém dochází k rozrušování povrchu půdy a transportu půdních částic působením vody, větru, sněhu a jiných tzn. erozních činitelů (Janeček et al. 2002). Tento přírodní proces nelze zcela zastavit, ale lze jej výrazně omezit. Podle FAO je celosvětově degradováno 2 mld. hektarů půdy, z toho 56 % vodní erozí a 28 % větrnou (Šarapatka et al. 2002). V zemědělství se výzkum zaměřuje především právě na erozi větrnou a vodní z důvodu ohrožení produkční schopnosti zemědělské půdy a člověk svým působením může zásadně erozi urychlovat (Martinovský et al. 2016). Erozi je nejvíce ohrožen orníční horizont, což je nejurodnější část zemědělské půdy. Eroze zhoršuje fyzikálně-chemické vlastnosti půd, zvyšuje štěrkovitost, snižuje obsah živin a humusu, může způsobit poškození plodin a ztráty osiv, sadby, hnojiv a jiných přípravků na ochranu rostlin, navíc transportované půdní částice, na nichž jsou vázány látky z použitých přípravků a hnojiv, znečišťují vodní zdroje (Janeček et al. 2002).

Půdní eroze patří mezi nejzávažnější environmentální problémy, její míra závisí především na typu a struktuře půdy, intenzitě dešťových srážek, svažitosti terénu a také způsobu obdělávání. Kukuřice je obecně považována za nejvíce náchylnou plodinu k erozi (Brant at al. 2017).

5.1.1 Větrná eroze

Větrnou neboli eolickou erozi způsobuje mechanická síla proudění vzduchu. Vítr rozrušuje povrch půdy a volné půdní částice jsou odnášeny z jednoho místa na jiné. Charakter větrné eroze může být různý. Větrná eroze dominuje v aridních oblastech s písčitými až hlinitými půdami. V České republice jsou nejvíce ohrožené lokality na jižní Moravě (Šarapatka 2014). Oficiální odhady Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd, v. v. i (VÚMOP) zastoupení ohrožených oblastí v ČR větrnou erozí jsou uvedeny v Obrázku 4.



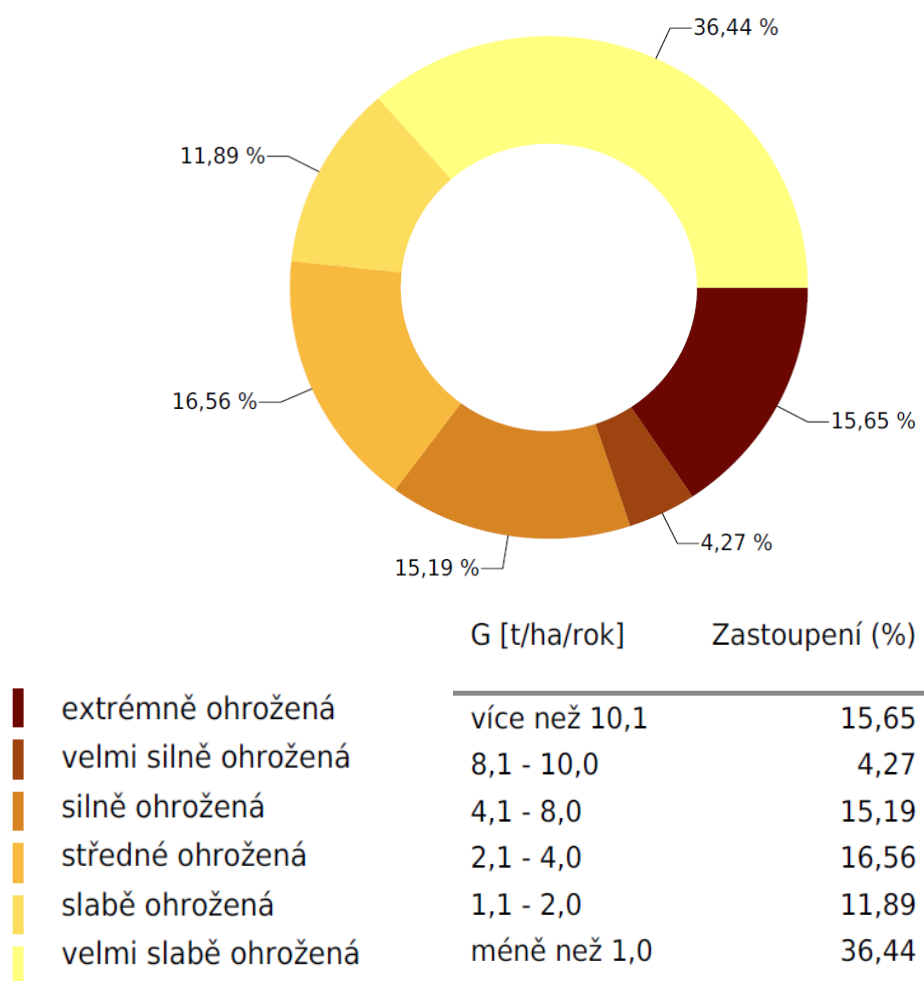
Obr. 4 Potencionálně ohrožené oblasti větrnou erozí – od roku 2019 (VÚMOP 2019).

Vliv větrné eroze na kvalitu půdy se projevuje nejen ve změnách půdních vlastností, ale velkou mírou jsou také ovlivněny výnosy pěstovaných plodin. U střední intenzity eroze může docházet k poklesu úrodnosti plodin o 15-20 %, u silné intenzity až o 50 % a u velmi silné intenzity mohou být následky až katastrofální (Šarapatka 2014). Větrná eroze nezpůsobuje škody pouze odnosem půdních částic a hnojiv, ale během ní se také obnažují kořínky rostlin, to poškozuje zejména mladé rostliny (Šarapatka et al. 2002).

5.1.2 Vodní eroze

Vodní erozí je v Česku ohrožena více než polovina zemědělského půdního fondu a je to nejrozšířenější typ degradace půd u nás. Při jedné erozní události může dojít ke spláchnutí i několika cm ornice a může dojít k nenávratným ztrátám. Přenos půdního materiálu má negativní vliv na kvalitu půdy, ale také dochází ke znečištění vodních toků a nádrží zanesením

a ke zhoršování jakosti povrchových vod (VÚMOP, v. v. i. 2018). Pokud dojde ke splachu ornice v hloubce 5–15 cm, výnosy mohou poklesnout až o 15–30 %. Při úplném odstranění humusového horizontu se může snížit výnos až o tři čtvrtiny (Šarapatka 2014). Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí v České Republice je graficky znázorněno na Obrázku 5.



Obr. 5 Potenciální ohroženost zemědělské půdy vodní erozí – vyjádřená dlouhodobým průměrným smyvem půdy – G (VÚMOP, v. v. i. 2019)

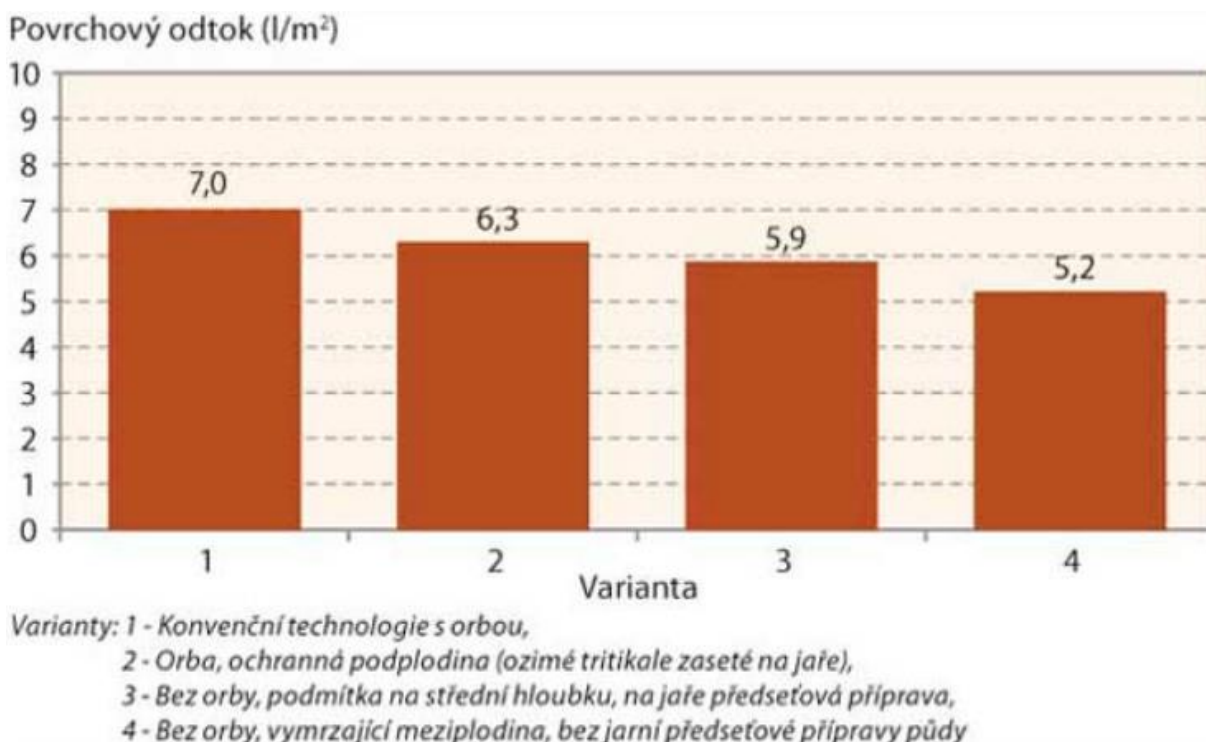
Když dešťová kapka dopadne na povrch půdy, tak se určité množství půdního materiálu rozstříkne do prostoru a tím se uvolní půdní částice, které jsou pak společně s vodou odplaveny z povrchu. Silná bouřka může spláchnout až 200 tun půdy na hektar (Hillel 1998).

Hillel (1998) definoval následující atributy deště ovlivňující míru eroze:

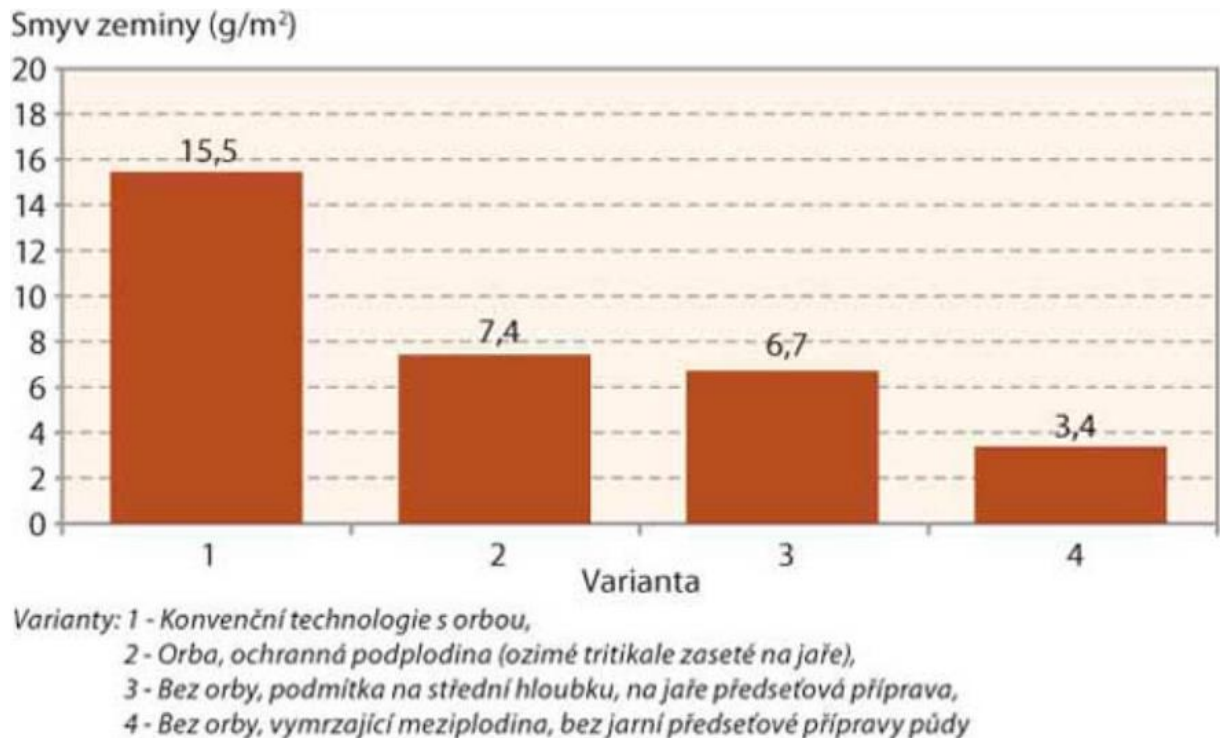
1. *Intenzita deště* – obecně vyjádřeno v mm/h. Toto je velice variabilní, časový model intenzity deště je závislý na typu bouřky, na místě a na období.

2. *Délka trvání deště* – konkrétní doba od začátku bouřky do jejího konce. To je často libovolně určeno, jelikož se střídá silnější a slabší intenzita deště během bouřky, např. může na jejím počátku či ke konci jen mrholit.
3. *Energie deště* – je to součet kinetické energie všech dešťových kapek dopadajících na jednotku plochy. Zde je pozitivní vztah mezi intenzitou deště a velikostí kapek, ale tento vztah není konzistentní, může se lišit podle typu deště či regionu.

Pro snížení rizika vodní erozí a omezení rychlého odtoku srážkové vody z polí je možnost využívat různých půdoochranných technologií. Hůla et al. (2016) se zabýval vodní erozí v porostech kukuřice. Ve svém polním pokusu porovnával klasickou konvekční technologii s orbou s dalšími třemi variantami: orba s ochrannou podplodinou ozimé tritikale (*Triticosecale*) zaseté na jaře, bez orby s podplodinou na střední hloubku (zde byla na jaře provedena předseťová příprava) a poslední varianta byla bez orby s vymrzající meziplodinou bez jarní předseťové přípravy. Naměřený povrchový odtok během bouřky je graficky znázorněn v Obrázku 6 a smyv ornice na Obrázku 7.



Obr. 6 Povrchový odtok vody uveden v l.m⁻² během bouřky na konci května v založeném porostu kukuřice (Hůla et al. 2016).



Obr. 7 Smyv zeminy v g.m⁻² během bouřky na konci května v založeném porostu kukuřice (Hůla et al. 2016).

5.1.3 Míra eroze v závislosti na obsahu organické hmoty v půdě

Organická hmota je zdrojem živin pro rostliny, je zásobárnou energie, stabilizuje půdní strukturu a má také vliv na retenci vody, pufrční schopnost, kationtovou výměnu atd. Humus představuje v půdě důležitou složku, která má vliv na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti v půdním prostředí. Nedostatek organické hmoty v půdě se projevuje poklesem pufrčních schopností, které úzce souvisejí s odolností vůči acidifikaci a alkalizaci. Mezi další důsledky nedostatku organické hmoty v půdě patří ztráta stability půdních agregátů a snížení retenční a sorpční kapacity. Dále jsou ovlivněny produkční schopnosti půdy a také se zvyšuje náchylnost půdy k vodní a větrné erozi (Šarapatka 2014).

Eroze půdy snižuje obsah minerálních živin a také obsah organické hmoty v půdě. Snižování organické hmoty v půdě je ovlivněno ztrátou povrchové vrstvy (ornice). Vlivem eroze dochází k úbytku svrchní vrstvy půdy a při obdělávání se mísí podorničí s ornici, což vede k „ředění“ obsahu organických látek. Eroze má tendenci selektivně vymývat jemnější půdní částice a organické látky z půdy. Při smyvu 1 cm půdy z jednoho hektaru klesne procento organické hmoty o 1/20 hodnoty před smyvem. Během působení eroze se společně s organickou hmotou z půdy ztrácí i základní živiny jako dusík a fosfor. Na každou 1 t organické hmoty připadá ztráta cca 60 kg dusíku a se smyvem 1 cm půdy na 1 hektar se ztratí až 300 kg dusíku na hektar (Janeček et al. 2002).

5.2 Acidifikace

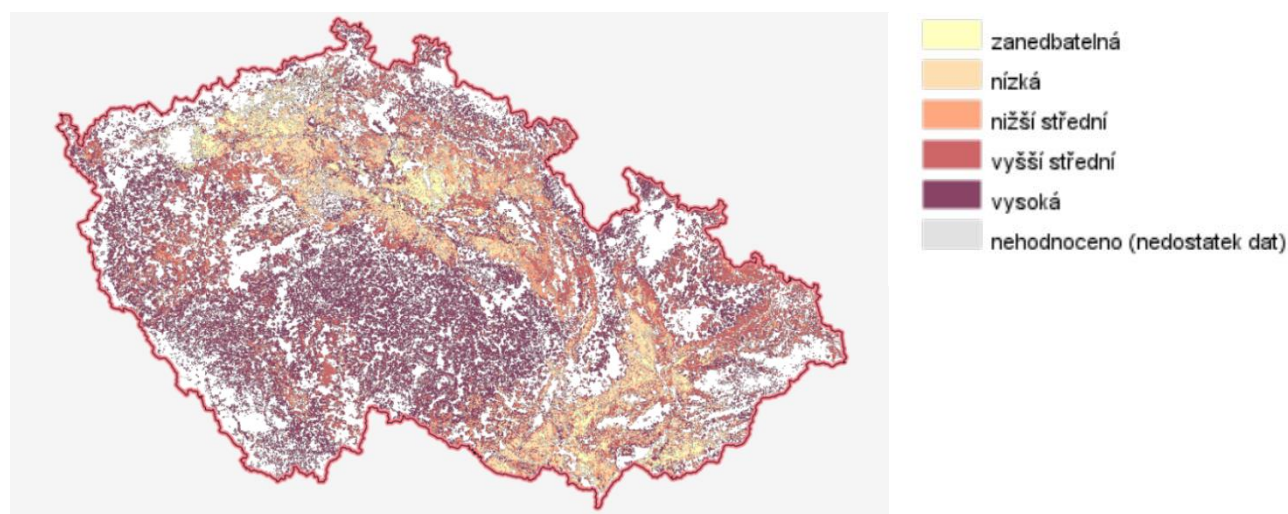
Acidifikace je proces degradace půdy, při kterém dochází ke snižování půdní reakce, tj. okyselování půd. Tento degradační proces má vliv na přístupnost živin pro rostliny, mobilitu živin v půdě včetně těžkých kovů, tvorbu a kvalitu humusu a další půdotvorné procesy (VÚMOP).

Hodnota pH v půdě je jedním z hlavních faktorů ovlivňujících mikrobiální diverzitu v půdním prostředí. Půdní mikroorganismy rozkládají složitou rostlinnou a organickou hmotu do jednodušších sloučenin, které jsou pak rostlinami asimilovány pro jejich růst a metabolismus (Puissant et al. 2019).

Acidifikace půdy může být způsobena jak antropogenní činností, tak přírodními procesy. Antropogenní činnost představuje kyselá atmosférická depozice zapříčiněná rozvíjejícím se průmyslem či užíváním fyziologicky kyselých hnojiv (Šarapatka 2014). Zvýšená acidifikace může být dále zapříčiněna intenzivními závlahami, ale i monokulturami pěstovaných plodin či nízkým zastoupením víceletých pícnin a vyšším podílem obilovin (VÚMOP).

Mezi přirozené přírodní procesy můžeme zahrnout illimerizaci a podzolizaci. Během acidifikace dochází ke snížení obsahu uhličitánů v půdě (debazifikace) a může při ní docházet k akumulaci kyselin a síranů. Důsledkem acidifikace je změna půdní reakce pH. Pokud klesne hodnota pH pod 5, jsou vytěsňovány bazické kationty (Ca, Mg, K, P) ze sorpčního komplexu, které jsou pak nahrazovány kyselými kationty hliníku, vodíku a železa. Při ještě nižším pH, kolem 4, prudce narůstá mobilita hliníku v půdě a mohou se vyskytnout projevy toxicity tímto prvkem (Šarapatka 2014).

Udržovat optimální hodnotu pH je velmi důležité pro dosažení požadovaných výnosů a kvality u většiny plodin včetně kukuřice. Podle Skládanky (2006) je kukuřice plodina snázející slabě kyselé půdy, ale v případě, že hodnota pH klesne pod 5, může dojít k úbytku rostlinné hmoty až o 30 %. Podle VÚMOP, v. v. i. je v České republice acidifikací vysoce ohroženo až 46 % půd, středně vysoce až 24 % z celkové výměry státu, viz Obrázek 8.



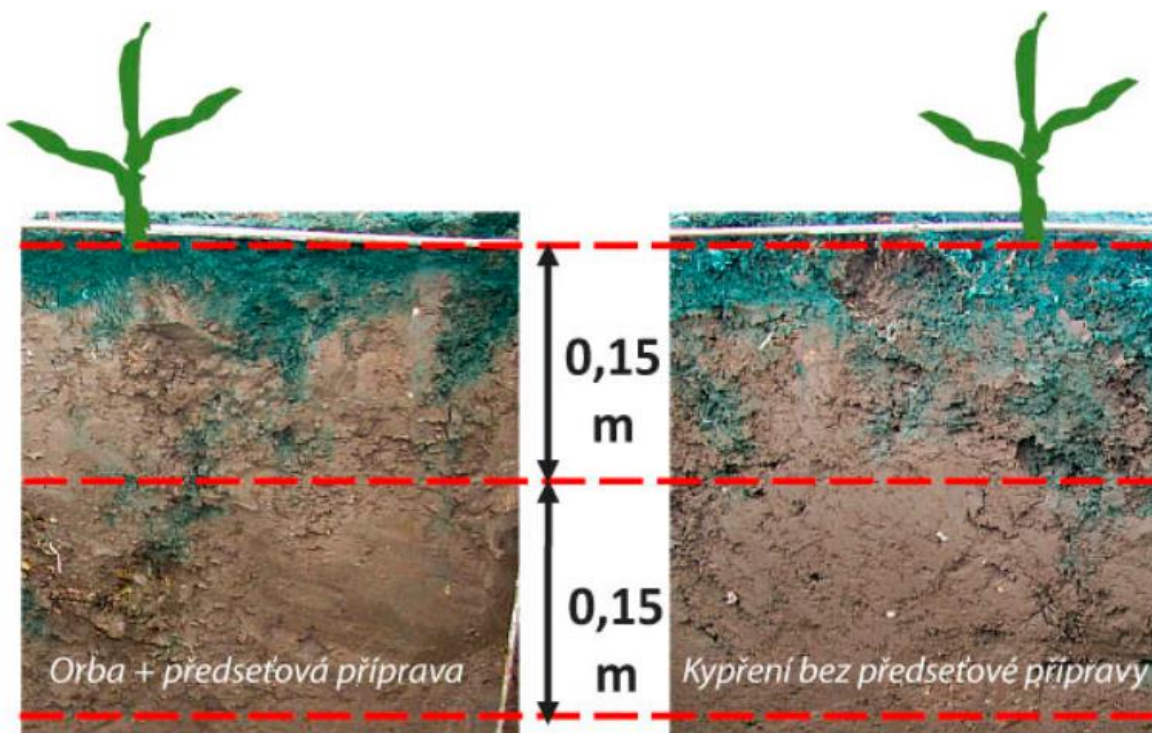
Obr. 8 Potenciální zranitelnost půd acidifikací v ČR (VÚMOP)

5.3 Utužení půdy

Utužení půdy představuje vážné poškození půdy, při kterém dochází ke změnám půdních vlastností, například se zvyšuje objemová hmotnost, snižuje se pórovitost a s tím souvisí snížená schopnost infiltrace a retenční kapacita (Šarapatka 2014). Utužení půdy probíhá hlavně během předseťové úpravy půdy, kdy dochází k utužení horní vrstvy půdy v důsledku přejezdů zemědělské techniky. Při opakovaných přejezdech a při necíleném pohybu stroje dochází téměř ke stoprocentnímu přejetí povrchu pozemku. K dalšímu utužení následně dochází i při setí plodiny, což se může negativně projevit na klíčení a na vývoji kořenového systému. Utužení orničního profilu výrazně podporují časné vstupy na pozemek, kdy jsou spodní vrstvy půdy vlhké (Brant et al. 2016). Utužení nejvíce podléhají půdy těžké s vyšším procentem jílnatých částic, zamokřené, kyselé s nízkým obsahem organické hmoty a se zhoršenou strukturou (Šarapatka 2014).

Eliminace zhutnění orničního profilu u kukuřice vede ke snížení erozních procesů v důsledku lepší infiltrace vody do půdy. Pokud má půda hrubší strukturu a není utužená, může také omezit povrchový odtok a snížit evaporaci (Brant et al. 2016).

Brant et al. (2016) v rámci svého výzkumu ověřoval vliv předseťové přípravy na utužení horní vrstvy půdy při pěstování kukuřice. Na pozemcích určených k založení porostů byla provedena orba do hloubky 0,3 m současně s nožovým drtičem hrud. Kontrolní variantou bylo zpracování půdy pomocí kypřiče s parabolickými slupicemi do hloubky 0,2 m. Na jaře před výsevem byla na oraných plochách provedena dvakrát předseťová příprava půdy do hloubky 80 mm radličkovým kypřičem. Pro výsev na kypřených plochách byl použit secí stroj, který zároveň umožňoval vytvoření nakypřeného pásu v místě výsevu kukuřice pomocí dvou talířů. Hloubka kypření za pomoci těchto talířů byla 0,5 m. Infiltrace vody do půdy je znázorněna na Obrázku 9. Výraznější infiltrace byla zjištěna na plochách bez předseťové přípravy. Z toho vyplývá, že pro lepší využití srážkové vody, včetně vody stékající po rostlině, je vhodné co nejvíce eliminovat zhutnění půdy během předseťové přípravy.



Obr. 9 Srovnání infiltrace vody do půdy na plochách s předsetřovou přípravou a bez předsetřové přípravy (Brant et al. 2016).

6 Půdochranné a protierozní technologie zpracování půdy

Ochranné zpracování půdy můžeme definovat jako technologii, která během vzcházení plodin zajišťuje pokryv povrchu půdy rostlinnými zbytky. Rostlinné zbytky chrání půdu před erozí, především při přivalových deštích, a před odnosem půdních částic větrem z povrchu půdy. Při komplexním zakrytí půdy rostlinnými zbytky lze odnos zeminy téměř eliminovat. Při pěstování kukuřice je možnost využít jak klasický způsob zpracování půdy s orbou, tak i minimalizační technologie (Hůla & Procházková et al. 2008).

Základní rozdělení technologií zpracování půdy podle Hůly (2000)

- **Conservation-tillage** zahrnuje různé způsoby zpracování půdy. Významným znakem pro tuto technologii je, že nejméně 30 % povrchu půdy zůstává po zasetí pokryto rostlinnými zbytky.
- **Minimum-tillage/reduced-tillage** je minimální/redukované zpracování půdy, které představuje zpracování půdy v minimální míře, která je nutná pro zasetí plodin nebo pro regulaci zaplevelení.

- **No-tillage** je systém bez zpracování půdy. Tento termín může být označován i jako **zero-tillage**. V Anglii se používá termín **direct-drilling**, což v překladu znamená přímé setí.

- **Strip-tillage** je pásové zpracování půdy v úzkých pruzích. Do pruhů zpracované půdy se zakládá osivo. Mezi těmito pruhy je půda mechanicky nezasažena.

- **Ridge-tillage** je technologie zpracování půdy, při níž se vytváří „hřbety“, do kterých jsou vysety širokořádkové plodiny, např. kukuřice. Tyto hřbety se mohou na pozemku nechat i několik sezón, případně jsou každoročně obnovovány.

6.1 Minimalizační technologie zpracování půdy při pěstování kukuřice

Jedná se o postupy s mělkým či středně hlubokým zpracováním půdy bez přímé orby. Minimalizační technologie jsou spíše uplatňovány v oblastech mírného pásma, kde je lepší vláhové zabezpečení (Hůla & Procházková et al. 2008).

V České republice je technologie strip-till zařazena do standardu DZES 5. Hospodaření v souladu se standardy DZES je podmínkou pro poskytnutí přímých finančních podpor vlastníkovu zemědělských pozemků. Cílem zavedených standardů je dosažení funkčního a trvale udržitelného způsobu hospodaření (MZE 2020).

6.1.1 Technologie no-till

Jedním z minimalizačních způsobů zpracování půdy na pozemcích určených pro pěstování kukuřice je no-till technologie, což je zpracování půdy, při kterém dochází k minimálnímu mechanickému narušení povrchu půdy. Tato metoda se začala používat již ve 30. letech v USA jako jedna z možností, jak snížit větrnou a vodní erozi. Kromě snížení eroze má no-till technologie pozitivní vliv na půdní prostředí. Může zvýšit obsah organické hmoty v půdě, podporuje stabilitu půdních agregátů, které zlepšují retenci a pohyblivost vody v půdě. Z dlouhodobého hlediska no-till může mít také vliv na propustnost vzduchu v půdě. To vše může vést ke zvýšení produkce biomasy rostlin kukuřice (Nunes et al. 2018).

6.1.2 Technologie strip-till

Technologie pěstování kukuřice pomocí pásového zpracování půdy (strip-till) představuje protierozně účinný a výnosově spolehlivý způsob. Základním principem této technologie je pásové kypření půdy, do které je kukuřice, nebo jiná cílová plodina vyseta. Kypření probíhá na podzim, nebo na jaře a hloubku pak určuje půdní profil. Zpracovaná půda touto technologií zajišťuje optimální podmínky pro rozvoj kořenového systému a nadzemních

částí rostlin. Půda je dobře provzdušněná a absence pokryvu rostlinným materiálem přispívá k rychlejšímu ohřevu půdy. Během období s nedostatkem srážek, kdy je již rostlina v pokročilejší fázi vegetace, začíná rostlina čerpat vodu z nekyprěných mezířádků, kde posklizňové zbytky na povrchu půdy eliminují evaporaci a též snižují rizika vodní eroze, primárně kapkové. Naopak nakypření půdy v místě výsevu pozitivně ovlivňuje infiltraci vody do půdy, a to hlavně vody, která stéká po rostlině (Neružil et al. 2017).

Metoda strip-till začíná už po sklizení předplodiny. Cílová plodina je pěstována s meziplojinou, kde porost meziplojiny musí vydržet až do zasetí kukuřice v následujícím roce. Zemědělský hospodář si pak sám může zvolit, zda použije vymrzající, či nevymrzající meziplojinu. O druhu meziplojiny pak rozhoduje termín setí. V případě, že je možné vysít meziplojinu do konce srpna, je vhodná svazanka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia*), která je vymrzající. Pokud se možnost vysít meziplojinu posune až do září, často se využívá žito ozimé (*Secale cereale*) jako nevymrzající meziplojina (Herout 2017).

Herout et al. (2018) ve svém pokusu porovnával v porostech kukuřice vliv použité technologie zpracování půdy na vodní erozi půdy a infiltraci vody. Výsledky jeho práce ukázaly, že mnohem lepších hodnot, co se týče eroze a infiltrace, dosahovala metoda no-till a strip-till, než když byl pozemek zpracovaný klasickou konvenční technologií diskovým kultivátorem. Nejvyšší výnos v biomase kukuřice měla metoda strip-till a výnos zrna byl nejvyšší při použití konvenční technologie.

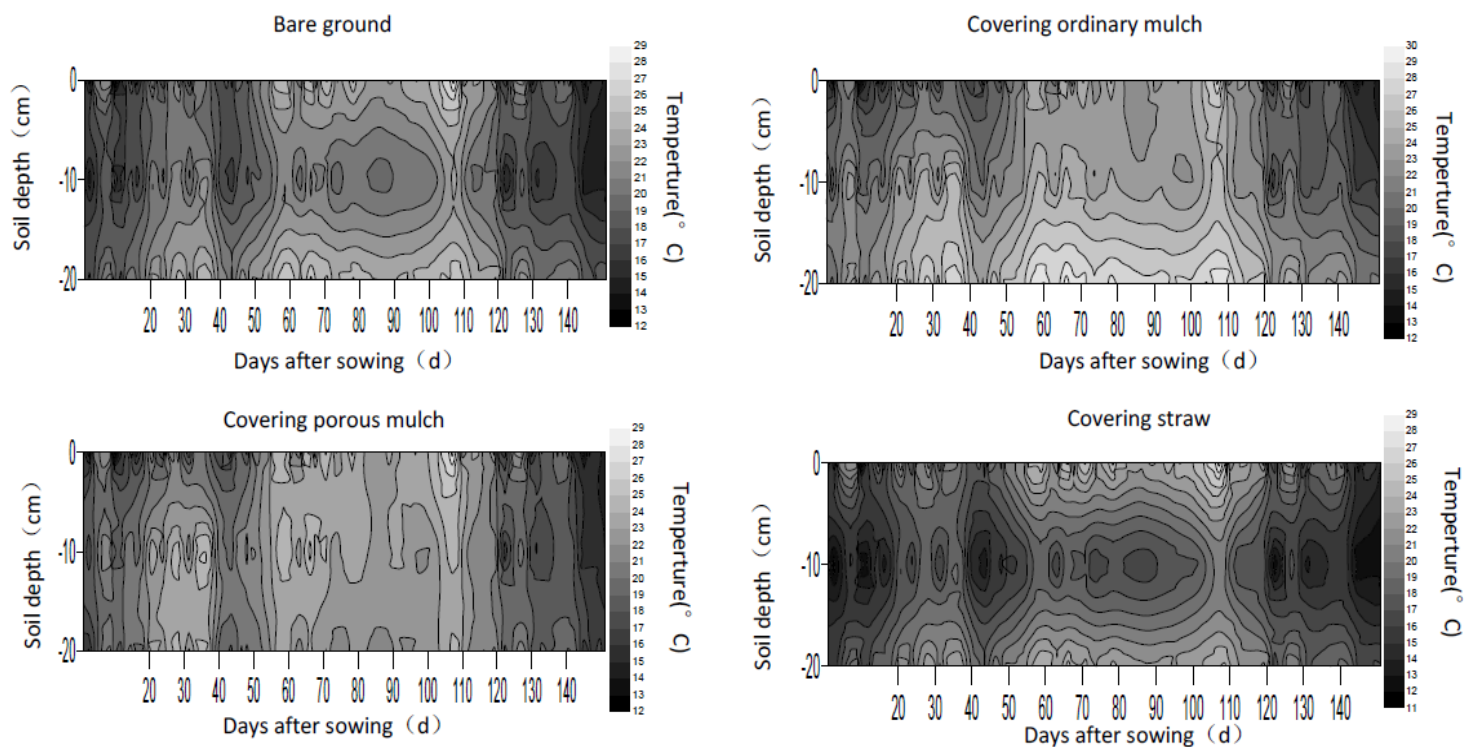
Nevýhodou strip-till technologie je, že zemědělský podnik musí být vybavený speciální technikou pro zpracování půdy, setí a hnojení. Dále jsou zde zvýšené náklady na hubení plevelů a vyšší riziko plísní a chorob. Ve výsledku tato technologie může snížit zisk podniku pro danou plodinu až o 10 % ve srovnání s klasickou konvenční technologií (Ryken et al. 2018).

6.2 Využití mulče při pěstování kukuřice

Jednou z možností půdoochranného zpracování půdy je ponechání zbytků rostlin předplodiny nebo meziplojiny na povrchu půdy jako mulč. Mulč může významně ovlivnit půdní prostředí a výnosy plodin. Ponechání rostlinných zbytků na povrchu půdy poskytuje půdě ochranu proti přívalovým deštům a také proti odnosu půdních částic větrem, výsledkem je tedy redukce půdní eroze. Přítomnost mulče mění celkově půdní prostředí a příznivě působí na zvýšení retenční a akumulární schopnosti půdy, zvyšuje infiltraci vody, zmenšuje odtok z povrchu půdy a redukuje ztráty vody evaporací. To pěstovaným plodinám poskytuje vyšší obsah vody v půdním profilu a lepší vláhové zabezpečení. Mulč také chrání povrch půdy před přímým slunečním zářením a tím ovlivňuje kolísání půdní teploty (Hůla & Procházková et al. 2008).

Při přívalových deštích vlivem větší kinetické energie kapek dochází k rozrušení půdních agregátů na svrchní vrstvě půdy, půdní póry jsou naplněny vodou a blokovány jemnými částicemi, to způsobuje rychlejší odtok vody a míra infiltrace je výrazně snížena. Mulč chrání povrch půdy a může zvýšit infiltraci vody až o 30 % (Zhang et al. 2016).

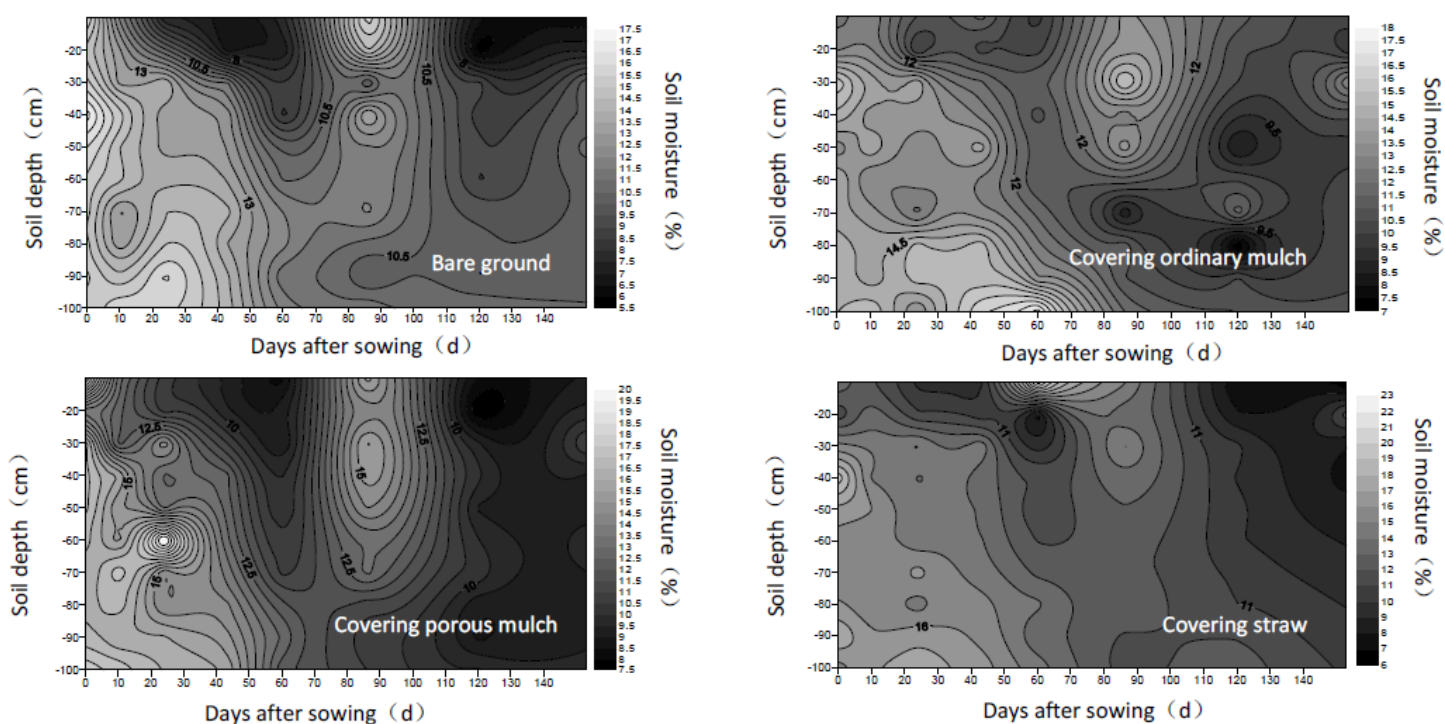
Feng LS et al. (2015) pro svoji studii použil v porostech kukuřice čtyři varianty pokryvu půdy: běžný travní mulč (covering ordinary mulch), mulčovací textilii (covering porous mulch), slámu (covering straw), kontrolní variantou bylo ponechání půdy bez pokryvu (bare ground). Po celou dobu růstu kukuřice byla sledována teplota půdy v hloubce od 0 do 20 cm. Kolísání teplot u jednotlivých pokryvů je znázorněno na Obrázku 10, který znázorňuje, že teplota půdy bez pokryvu a půdy pokryté slámou byla nižší než u půd s mulčem a textilií. Změny teploty v půdním profilu u půdy s mulčovací textilií byly relativně podobné, kdežto při použití travního mulče byla naměřena vyšší teplota ve 20 cm než v hloubce 10 cm. Průměrné teploty půd během celého období růstu kukuřice byly 21,3 °C u mulčovací textilie, 22,8 °C u travního mulče, 18,7 °C u slámy a 20,2 °C u půdy bez pokryvu.



Obr. 10 Vliv jednotlivých pokryvů půdy na půdní teplotu v porostech kukuřice (Feng LS et al. 2015).

Na Obrázku č. 11 jsou znázorněny změny vlhkosti půdy u všech čtyř testovacích variant. Celkově byl obsah půdní vlhkosti vyšší u půd pokrytých mulčovací textilií a slámou než u travního mulče. U půdy bez pokryvu byla naměřena nejmenší vlhkost.

V období mezi 70. a 100. dnem po zasetí kukuřice, v období dešťů v daném regionu, byl celkově větší obsah půdní vlhkosti ve vyšších vrstvách půdního profilu od 0 do 60 cm u všech testovacích variant. Nejnižší půdní vlhkost byla v suchém období naměřena u travního mulče 100 dní a déle po výsevu. U půdy bez pokryvu a u slámy byla půda sušší především v horní vrstvě, kdežto u mulčovací textilie byla půdní vlhkost poměrně konstantní v celém půdním profilu (Feng LS et al. 2015).



Obr. 11 Vliv jednotlivých pokryvů půdy na vlhkost půdy v porostech kukuřice (Feng LS et al. 2015).

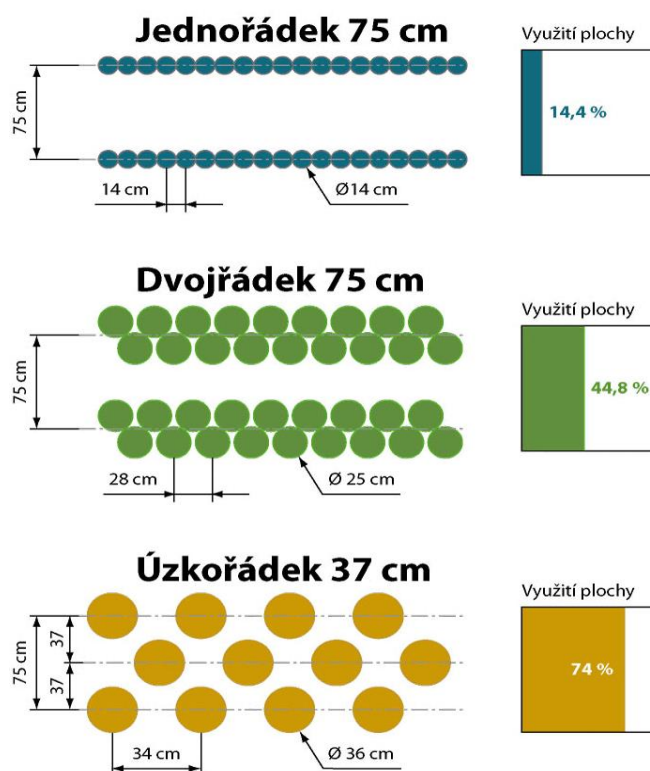
Feng LS et al. (2015) ve svém pokusu také porovnával spotřebu vody, výnos a účinnost využití vody u jednotlivých pokryvů půdy v porostech kukuřice. Podle Tabulky 1 je zřejmé, že největší výnos byl u použití mulčovací textilie a u travního mulče, což by odpovídalo vyšší průměrné teplotě a vlhkosti půdy během růstu rostliny.

Tab. 1 Porovnání spotřeby vody (water consumption), výnosu (yield) a účinnosti využití vody (water use efficiency) u testovacích půdoochranných materiálů v porostech kukuřice (Feng LS et al. 2015).

Treatments	Water consumption	Yield	Water use efficiency
	(mm)	(kg.ha ⁻¹)	(kg.m ⁻³)
Covering porous mulch	388,5	11750,2	3,02
Covering ordinary mulch	415,2	11018,6	2,65
Covering straw	381,3	9815,1	2,57
Bare ground	455,8	10063,7	2,21

6.3 Uspořádání porostu kukuřice

V podmínkách České republiky je kukuřice pěstovaná jako širokořádková plodina s meziřádkovou vzdáleností 70–75 cm s rozestupy mezi jednotlivými rostlinami v řádku 14–17 cm, to odpovídá osevu 80 000–90 000 jedinců na hektar. V případě zvýšení výsevu dochází k přiblížení rostlin v řádku na cca 14 cm, což můžeme považovat za hranici, kdy se začínají jednotlivé rostliny negativně konkurenčně ovlivňovat. Naopak při zúžení vzdálenosti mezi řádky můžeme zvýšit počet jedinců na hektar, aniž by se rostliny konkurenčně ovlivňovaly. Za pomoci alternativních technologií, jako je pěstování kukuřice v úzkých řádcích nebo twin-row systém, takzvaný dvojřádek, lze docílit lepšího využití srážkové vody, živin a slunečního záření, což ve výsledku ovlivňuje celkovou produkci biomasy (Smutný et al. 2016). Schéma technologií využití plochy při pěstování kukuřice je na Obrázku 12.



Obr. 12 Technologie využití plochy při pěstování kukuřice (Smutný et al. 2016).

Organizace porostu kukuřice je většinou určena používanou mechanizací při pěstování. Širší řádky umožňují lepší propustnost slunečního záření a využívání sluneční energie celým porostem. Naproti tomu užší řádky mají pozitivní vliv na půdní prostředí (Vrzal & Novák et al. 1995). Šířka řádků je také jedním z hlavních faktorů ovlivňujících erozi orné půdy (Brant et al. 2017). To potvrzuje i Herout et al. (2018), který ve své práci porovnával míru infiltrace vody a

eroze půdy v porostech kukuřice s meziřádkovou vzdáleností 75 cm a 37,5 cm. Nejlepších hodnot dosahovala úzkořádková technologie 37,5 cm při zpracování no-till.

6.4 Intercropping – využití podsevové meziploidy

Intercropping je způsob pěstování kombinací více plodin, obvykle dvou nebo tří, na jedné osevní ploše za účelem většího výnosu. Tato metoda může též snižovat půdní erozi (Bibi et al.), zvýšit výnos plodiny lepším využitím zdrojů, jako je voda nebo sluneční záření (Tanzeelur et al. 2017), a má také pozitivní vliv na půdní prostředí a na využívání živin rostlinami (Huang et al.).

Kukuřice je plodina, která je citlivá na nedostatek dusíku v půdě, což se projevuje nevyrovnanými porosty se zažloutlými listy. Při trvajícím nedostatku dusíku dochází ke žloutnutí a zasychání spodních listů. To v důsledku vede ke zkrácení délky palic, sníženému počtu zrn a malé HTZ (Zimolka et al. 2008). Mezi často používané krycí plodiny při pěstování kukuřice patří rostliny z čeledi bobovitých (*Fabaceae*). Leguminózy jsou obecně preferovány díky své schopnosti vázat vzdušný dusík. Alternativní metody, jako je intercropping, vedou k celkové udržitelnosti výrobního systému a zlepšují účinnost využívání dusíku. Souza et al. (2018) ve své práci uvádí, že využití krotalárie (*Crotalaria*) může vést ke snížení používání syntetických dusíkatých hnojiv při pěstování kukuřice. Rostliny krotalárie dokáží fixovat až 305 kg N.ha⁻¹, což by ve výsledku mělo vést ke zvýšení výnosů a zároveň ke snížení nákladů na dusíkatá hnojiva.

Ponechání rostlinných zbytků leguminóz na pozemku může sloužit i jako zelené hnojení. Tento zdroj organické hmoty přispívá k větší produktivitě rostlin a zlepšení struktury půdy (Rusinamhodzia et al. 2012).

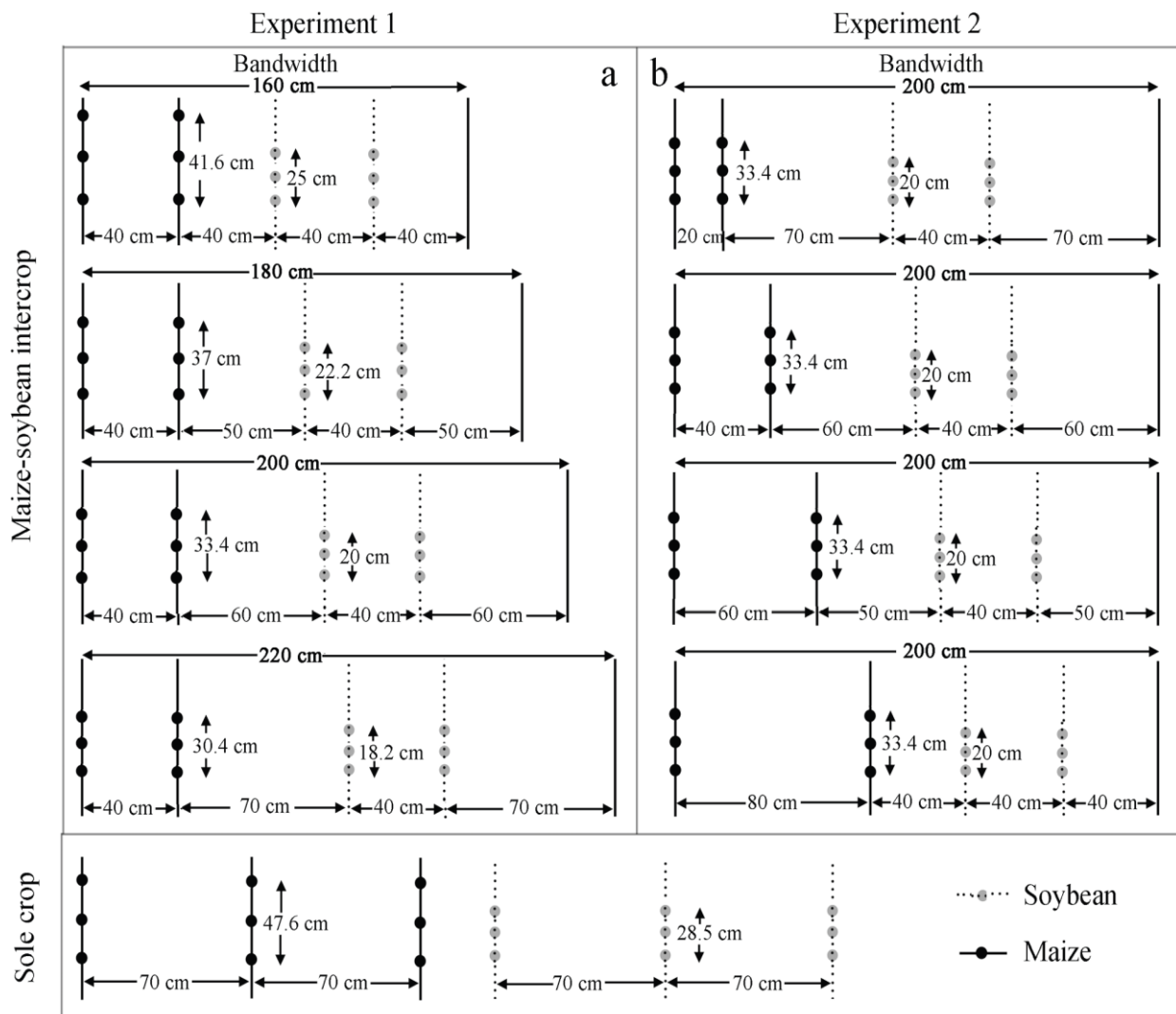
Velkou nevýhodou pěstování kukuřice s meziploidy je hrozba zaplevelení porostu. Kukuřice, jakožto plodina pěstovaná v širokých řádcích, má na počátku růstu velmi slabou konkurenční schopnost. Trvá poměrně dlouhou dobu, než dojde k zapojení porostu, až poté může kukuřice účinně konkurovat vzcházejícím plevelům (Zimolka et al. 2008). Pěstování kukuřice s meziploidy nevykazuje z dlouhodobého hlediska žádnou schopnost potlačovat plevele. Ochrana proti plevelům je proto klíčovým a rozhodujícím faktorem pro dosažení požadovaného výnosu hlavní plodiny (Bibi et al. 2020).

6.4.1 Uspořádání porostu v kombinaci s krycí plodinou

Uspořádání porostu kukuřice a krycí plodiny přímo ovlivňuje výnos. V letech 2012–2013 byly na Sichuanské univerzitě v Číně provedeny dva různé polní pokusy, které analyzovaly, jaký vliv na výnos má intercropping kukuřice a sóji v závislosti na šířce řádků a rozestupech mezi rostlinami. V prvním pokusu byla kukuřice s podplodinou sóji vyseta v řádcích širokých 160, 180, 200 a 220 cm v poměru plodin 2:2. Rozstup řádků mezi jednotlivými plodinami byl 40 cm, měnily se pouze rozestupy mezi výsevem kukuřice a sóji, a to na 40, 50, 60 a 70 cm. V druhém experimentu byla šířka řádků konstantní, a to 200 cm,

rozstup mezi výsevem sóji zůstal na 40 cm. Meziřádková vzdálenost kukuřice a sóji byla 180+20, 160+40, 140+60 a 120+80 cm. Poměr mezi plodinami byl také 2:2 (Feng Y et al. 2014).

Výsledky prvního pokusu ukázaly, že celkový výnos obou plodin byl nejvyšší v řádcích širokých 200 cm. U druhého pokusu se výnos kukuřice postupně navyšoval v závislosti na meziřádkové vzdálenosti kukuřice od 20 do 80 cm, ale na úkor výnosu sóji. Výnos sóji se postupně snižoval v důsledku zastínění od vysoké biomasy kukuřice. (Feng Y et al. 2014). Oba polní pokusy jsou schematicky znázorněné na Obrázku 13.



Obr. 13 Polní pokus Sichuanské Univerzity v Číně. Intercropping kukuřice a sóji a jejich meziřádková vzdálenost (Feng Y et al. 2014).

Tanzeelur et al. (2017) ve své práci také použil sóju jako krycí podplodinu a výsledky jeho práce poukázaly na to, že meziřádkové vzdálenosti mají vliv na celkový výnos obou plodin. Výnosy v zrně sice byly o něco málo nižší, než kdyby se pěstovala každá plodina zvlášť, ale celkový výnos obou plodin v biomase dosahoval vyšších hodnot.

7 Materiál a metody

7.1 Charakteristika pokusného stanoviště

7.1.1 Obecná charakteristika pokusné lokality

Lokalita Červeného Újezdu se nachází v okrese Praha – západ (50°04' zeměpisné šířky, 14°10' zeměpisné délky) a spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché s mírnou zimou. Nadmořská výška je 398 m. n. m. Průměrná doba slunečního svitu je 1902 hodin, během vegetačního období 1396 hodin. Zdejší klimatické podmínky podmiňují vznik hnědozemí, ilimerizovaných hnědozemí, vyluhování vrchních půdních horizontů a posun koloidních částic do spodiny.

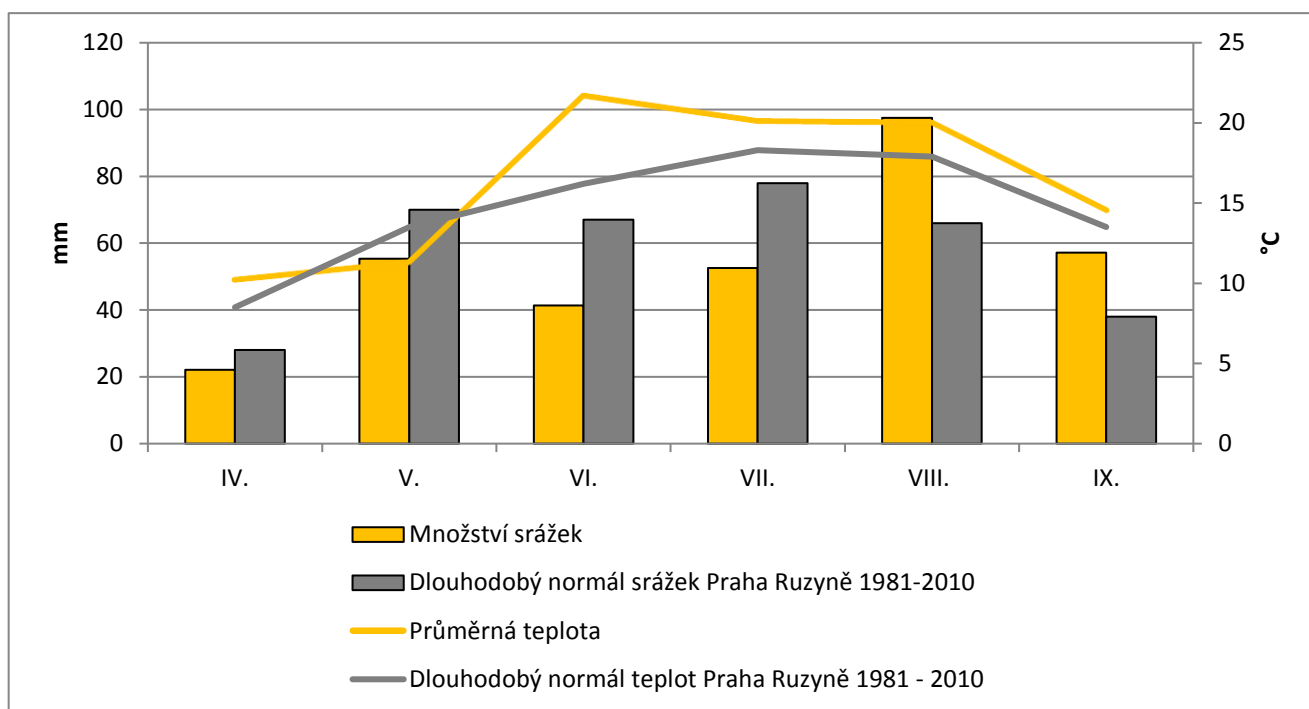
Pokusné plochy jsou situovány východně od obce Červený Újezd, terén ploch je jednoduchý, převážně s jižní expozicí a je součástí Bělohorské plošiny mírně vlněné. Rovinný terén podmiňuje dobrou infiltraci srážkové vody, půda má dobrou vododržnost i dobrou vnitřní drenáž.

7.1.2 Půdní podmínky

Geologicky je zájmové území tvořeno opukami křídového stáří, překrytými sprašemi. Opuky jsou vápnité se štěrkovým rozpadem. Převažujícím půdním druhem jsou spraše a nevápnité sprašové pokryvy. Půdní typ je hnědozem, sprašový pokryv. Hlavním půdotvorným procesem je ilimerizace a dochází zde k okyselování povrchových vrstev půdního profilu, peptizaci koloidů a jejich vyplavování do spodiny. Půda má mírný obsah humusu, reakce je neutrální, je zde střední sorpční kapacita, koloidní komplex je nasycen, obsah P a K je střední až dobrý. Na sprašových pokryvech je CaCO_3 vyloužen.

7.1.3 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky stanoviště v roce 2019 byly během období růstu kukuřice extrémně suché a teplé porovnáním s dlouhodobým normálem. Nedostatek srážek byl během vegetačního období kukuřice zaznamenán od dubna až do července, zatímco srpen a září byly srážkově nadprůměrné. Teplotně byl podprůměrný pouze květen, ostatní měsíce byly teplotně nadprůměrné. Množství srážek a průměrné teploty v období růstu kukuřice je graficky znázorněno na Obrázku 14.



Obr. 14 Srážkové a teplotní průměry během vegetačního období kukuřice v roce 2019 a dlouhodobé normály srážek Praha Ruzyně 1981-2010

7.2 Agrotechnika pokusu

Pokus byl založen na pozemcích Výzkumné stanice Fakulty agrobiologie a potravinových zdrojů v Červeném Újezdě. Účelem pokusu bylo porovnat klasickou technologii pěstování kukuřice s půdoochrannými technologiemi pro zlepšení infiltrace a retence srážkové vody. U jednotlivých variant byly také sledovány výnosové parametry. Pro variantu č. 1 byla využita podplodina hrách setý (*Pisum sativum*), pro variantu č. 2 podplodina lupina bílá (*Lupinus albus*), varianta č. 3 byla s využitím travního mulče a 4. varianta byla pěstování kukuřice klasickou technologií – kontrolní varianta.

Na všech variantách byl sledován výnos zelené hmoty a zrna v čerstvém a sušeném stavu, obsah sušiny a výška rostlin. Fotosyntetická aktivita rostlin byla sledována na variantě s podsevem lupiny a na kontrolní variantě bez podsevu. Na kontrolní variantě a na variantě č. 1 byla sledována teplota a vlhkost půdy. Měření vlhkosti a teploty bylo prováděno pomocí čidel, která zaznamenávala hodnoty každých 15 min. Vlhkost půdy byla měřena v hloubce půdního profilu 20 cm a teplota půdy v 10 cm.

Na stanovištích určených pro založení pokusů byla předplodinou ozimá pšenice a proběhla zde standardní příprava půdy pro kukuřici. Byl vybrán hybrid kukuřice Ronaldinio (FAO 240/250). Pokusné varianty byly založeny ve 4 opakováních. Jedna parcelka měla velikost 30 m² (4 řádky po 10 m). Zvolena byla klasická meziřádková vzdálenost 75 cm. Hustota výsevu odpovídala 80 000 rostlin na hektar.

Porost kukuřice byl založen 03.05.2019. Výsev meziplodin proběhl 06.05.2019. Na kontrolní variantě a na variantě s mulčem byl 11.05.2019 aplikován preemergetní herbicid LUMAX® v dávce 3,25 l.ha⁻¹. Dále zde bylo použito dusíkaté hnojivo ve formě močoviny v dávce 80 kg N.ha⁻¹.

7.3 Hodnocení intenzity fotosyntézy

K měření intenzity fotosyntézy byl použit přístroj LC Pro+ (infračervený listový analyzátor – ADC, BioScientific Ltd., UK). Tento přístroj umožňuje měřit základní fyziologické pochody v listu bez nutnosti jeho oddělení od rostliny. List se vsune do měřicí komůrky, ve kterém je předem definována teplota a osvětlení. Umožňuje měřit při hustotě ozáření FAR (400-700 nm) v rozsahu 0-2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ a při teplotě v rozmezí -5 až +50 °C. Jedná se o metodu gazometrickou.

Přístroj funguje na principu detekce změny koncentrace CO₂ a vodní páry v proudu vzduchu kolem listu, který je hermeticky uzavřen v měřicí komůrce. Obvykle je vzduch nasáván a vypouštěn zpět do okolní atmosféry. Každých 20 vteřin je zaznamenána hodnota míry asimilaci a transpirace, která je automaticky vypočítána z rozdílů v koncentraci plynů a úrovně průtoku vzduchu v měřicí komůrce. V komůrce je zabudován malý ventilátor, který zajišťuje míšení vzduchu okolo listu. Měření koncentrace CO₂ je prováděno infračerveným analyzátozem plynů (IGRA). Koncentrace H₂O je měřena dvěma vysoce citlivými senzory vlhkosti.

Měření intenzity fotosyntézy proběhlo 20.07.2019 na variantě s podsevem lupiny a bez podsevu. Na každou variantu připadalo 15 opakování. První dvě měření sloužila na kalibraci přístroje na konstantní teplotu 20 °C a ozáření 550 nm. Po ustálení podmínek uvnitř komůrky se naměřené hodnoty automaticky zaznamenávaly po dobu 20 minut v intervalu 1 minuty. Naměřená rychlost fotosyntézy (A) a rychlost transpirace (E) se udává v jednotkách $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} (\text{listu}) \cdot \text{s}^{-1}$, resp. $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} (\text{listu}) \cdot \text{s}^{-1}$.

7.4 Hodnocení výnosů kukuřice

7.4.1 Kukuřice na siláž

Ruční sklizeň silážní kukuřice byla provedena 12.09.2019. Z každého opakování byl sklizen jeden řádek, což odpovídalo 7,5 m² sklizené plochy z každé parcelky. Zbylé řádky byly ponechány pro sklizeň na zrno. Rostliny kukuřice byly odřezány ruční pilkou ve stejné výšce nad zemí. Zelená hmota byla následně zvážena a byly odebrány vzorky řezanky, ze kterých se stanovil obsah sušiny. Pro každou variantu byly odebrány čtyři vzorky. Hmotnost jednoho vzorku zelené hmoty byla přibližně 650 g, sušení probíhalo při teplotě 105 °C po dobu 12 hodin. Po sušícím procesu byl vzorek znovu zvážen a na základě zjištěných hodnot se vypočetl obsah sušiny. Po zjištění obsahu sušiny byl přepočítán výnos suché hmoty v t.ha⁻¹.

7.4.2 Hodnocení výšky rostlin

Měření výšky rostlin proběhlo 22.08.2019. Na každé pokusné variantě bylo provedeno celkem 60 opakování.

7.4.3 Kukuřice na zrno

Sklizeň kukuřice určené na zrno se uskutečnila 07.10.2019. Palice byly ručně odlamovány a ihned vymláceny na sklízecím stroji Wintersteiger. Z každého opakování byla zjištěna hmotnost deseti po sobě jdoucích rostlin s palicemi. Z těchto palic bylo vymláceno zrno, bylo zváženo a byl přepočítán hektarový výnos čerstvé hmoty. Následně byl odebrán vzorek cca 300 g pro zjištění sušiny ve čtyřech opakováních z každé varianty. Následovalo sušení zrn při teplotě 45 °C po dobu 48 hodin. Po usušení byl stanoven obsah sušiny a výnos zrna v t.ha⁻¹ byl přepočítán na 14 % vlhkosti.

7.5 Hodnocení vlhkosti a teploty půdy

Vlhkost a teplota půdy byly měřeny datalogery Minikin (EMS Brno) na kontrolní variantě bez podsevu a na variantě s podsevem hrachu. Přístroj zaznamenával hodnoty každých 15 minut. Vlhkost půdy se měřila na základě sacích tlaků, kde platí čím vyšší hodnota, tím větší sucho. Vlhkost byla měřena v hloubce půdního profilu 20 cm. Teplota půdy v °C byla zaznamenávána v hloubce 10 cm.

8 Výsledky

Na základě naměřených hodnot u pokusných variant byly vyhodnoceny a zpracovány následující výsledky. Výsledky byly hodnoceny v programu Statistica 12 pomocí Tuckey Anova HSD testu.

8.1 Hodnocení intenzity fotosyntézy

V hodnotách transpirace u hodnocených variant nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Vyšších hodnot dosahovala varianta bez podsevu než varianta s podsevem, rozdíl byl však nepatrný (viz Tabulka 2).

Tab. 2 Rychlost transpirace (E)

Varianta	E (mmol. m ⁻² .s ⁻¹)	Statistická průkaznost
Lupina	1,07	****
Kontrola	1,19	****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = ,09343, sv = 170,00

Statistická průkaznost mezi variantou s podsevem a bez podsevu byla zjištěna u hodnocení intenzity fotosyntézy. Vyšších hodnot dosahovala varianta bez podsevu (viz Tabulka 3).

Tab. 3 Intenzita fotosyntézy (A)

Varianta	A (μmol. m ⁻² .s ⁻¹)	Statistická průkaznost
Podsev lupina	8,28	****
Kontrola	11,89	****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 7,8851, sv = 170,00

8.2 Hodnocení výnosů kukuřice

8.2.1 Kukuřice na siláž

Ve výnosu biomasy silážní kukuřice mezi hodnocenými variantami byla prokázána statistická průkaznost u varianty s mulčem. Tato varianta dosáhla statisticky průkazně největšího výnosu 52,27 t.ha⁻¹ v porovnání s ostatními výzkumnými variantami. Druhý největší výnos měla kontrolní varianta 40,13 t.ha⁻¹, následoval podsev hrachu 36,07 t.ha⁻¹ a podsev lupiny 33,99 t.ha⁻¹. Mezi těmito třemi variantami nebyl prokázán statisticky významný rozdíl (viz Tabulka 4).

Tab. 4 Výnos biomasy celých rostlin v zeleném stavu (t.ha⁻¹)

Varianta	t.ha ⁻¹	Statistická průkaznost	
Podsev lupina	33,99	****	
Podsev hrách	36,07	****	
Kontrola	40,13	****	
Mulč	52,27		****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 23,962, sv = 13,000

Průkazně statisticky nevyšší obsah sušiny biomasy měla kontrolní varianta vůči variantě s podsevem lupiny a mulčem. U kontrolní varianty byl obsah sušiny biomasy 53,5 %, u podsevu lupiny 45,3 % a u varianty s mulčem 36,0 %. Obsah sušiny u varianty s podsevem hrachu činil 48,1 % a statisticky se významně nelišil od varianty s podsevem lupiny a kontrolní variantou (viz Tabulka 5).

Tab. 5 Obsah sušiny (%)

Varianta	Obsah sušiny %	Statistická průkaznost		
Mulč	36,0			****
Podsev lupina	45,3	****		
Podsev hrách	48,1	****	****	
Kontrola	53,5		****	

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 7,5627, sv = 13,000

Statistickou průkaznost u hodnocení výnosu suché hmoty lze rozdělit na dvě skupiny. Varianty s podsevem a mulč s kontrolní variantou. Mezi těmito dvěma skupinami se potvrdily statisticky významné rozdíly. Nejvyšší výnos suché hmoty měla kontrolní varianta 21,45 t.ha⁻¹, druhý největší výnos suché hmoty dosáhla varianta s mulčem 18,89 t.ha⁻¹. Mezi těmito variantami nebyla shledána statistická průkaznost. Výnosy mezi variantami s podsevem se též statisticky významně nelišily a prakticky se sobě rovnaly. Výnos suché hmoty u kukuřice s podsevem lupiny dosáhl 13,72 t.ha⁻¹ a výnos u podsevu s hrachem činil 13,74 t.ha⁻¹ (viz Tabulka 6).

Tab 6 Výnos suché hmoty silážní kukuřice (t.ha⁻¹)

Varianta	t.ha ⁻¹	Statistická průkaznost	
Podsev lupina	13,72	****	
Podsev hrách	13,74	****	
Mulč	18,89		****
Kontrola	21,45		****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 6,2877, sv = 13,000

8.2.2 Hodnocení výšky rostlin

Existují statisticky významné rozdíly v průměrné výšce rostlin kukuřice. Hodnocení této proměnné lze také rozdělit na dvě skupiny – varianty s podsevem a mulč s kontrolní variantou. Mezi těmito dvěma skupinami byl prokázán významný statistický rozdíl. Nejvyšší průměrnou výšku měla kukuřice s mulčem 185,2 cm, druhé nejvyšší výšky rostlin dosahovala kontrolní varianta 183,44 cm a nebyla zde shledána statistická průkaznost. Významný statistický rozdíl nebyl shledán ani mezi variantami s podplodinami. Nejnížší výšku měly rostliny s podsevem lupiny s průměrem 144,07 cm. Varianta s podsevem hrachu měla průměrnou výšku rostlin kukuřice 154,5 cm (viz Tabulka 7)

Tab. 7 Průměrná výška rostlin kukuřice (cm)

Varianta	Výška (cm)	Statistická průkaznost	
Podsev lupina	144,07	****	
Podsev hrách	154,50	****	
Kontrola	183,44		****
Mulč	185,20		****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 255,32, sv = 182,00

8.2.3 Kukuřice na zrno

U hodnocení výnosu čerstvého zrna byl prokázán významný statistický rozdíl mezi variantou podsevu hrachu a kontrolní variantou. Kontrolní varianta dosahovala největšího výnosu a to 17,56 t.ha⁻¹. Nejmenší výnos v zrnu měla kukuřice s podsevem hrachu 12,67 t.ha⁻¹. Mezi variantami Mulč a Kontrola nebyla shledána statistická průkaznost. Mulč dosáhl výnosu 16,22 t.ha⁻¹, podsev lupiny 14,56 t.ha⁻¹ (viz Tabulka 8).

Tab. 8 Výnos čerstvého zrna po sklizni (t.ha⁻¹)

Varianta	t.ha-1	Statistická průkaznost	
Podsev hrách	12,67	****	
Podsev lupina	14,56	****	****
Mulč	16,22	****	****
Kontrola	17,56		****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 2,9630, sv = 9,0000

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly v obsahu sušiny zrna. Podsev hrachu měl z pěstovaných variant nejvyšší obsah sušiny, konkrétně 69,3 %. Nejnížší obsah sušiny zrna měla varianta Mulč 66,0 % (viz Tabulka 9).

Tab. 9 Vliv varianty na obsah sušiny zrna (%)

Varianta	Obsah sušiny (%)	Statistická průkaznost
Mulč	66,0	****
Kontrola	68,1	****
Podsev lupina	68,5	****
Podsev hrách	69,3	****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 3,8135, sv = 9,0000

U hodnocení výnosu zrna přepočítaného na 14 % vlhkosti byl prokázán významný statistický rozdíl mezi variantou s podsevem hrachu a kontrolní variantou. Kontrolní varianta dosahovala největšího výnosu, a to 13,62 t.ha⁻¹. Nejmenší výnos v zrně se zbytkovou vlhkostí 14 % měla kukuřice s podsevem hrachu 10,01 t.ha⁻¹. Mezi variantami Mulč a Kontrola nebyla shledána statistická průkaznost. Mulč dosáhl výnosu 12,19 t.ha⁻¹, podsev lupiny 11,38 t.ha⁻¹ se zbytkovou vlhkostí 14% (viz Tabulka 10).

Tab. 10 Přepočítaný výnos zrna na 14 % vlhkosti

Varianta	t.ha ⁻¹	Statistická průkaznost
Podsev hrách	10,01	****
Podsev lupina	11,38	****
Mulč	12,19	****
Kontrola	13,62	****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 1,7287, sv = 9,0000

U hodnocení hmotnosti tisíce zrn nebyla mezi variantami shledána žádná statistická průkaznost. Největší průměrná hmotnost tisíce zrn byla zjištěna u varianty s mulčem 376,93 g, následovala kontrolní varianta, kde byla průměrná hmotnost 356,40 g, podsev lupiny dosahoval 355,77 g a nejmenší hodnoty byly zjištěny u varianty s podsevem hrachu 349,55 g (viz Tabulka 11).

Tab. 11 HTZ – hmotnost tisíce zrn (g)

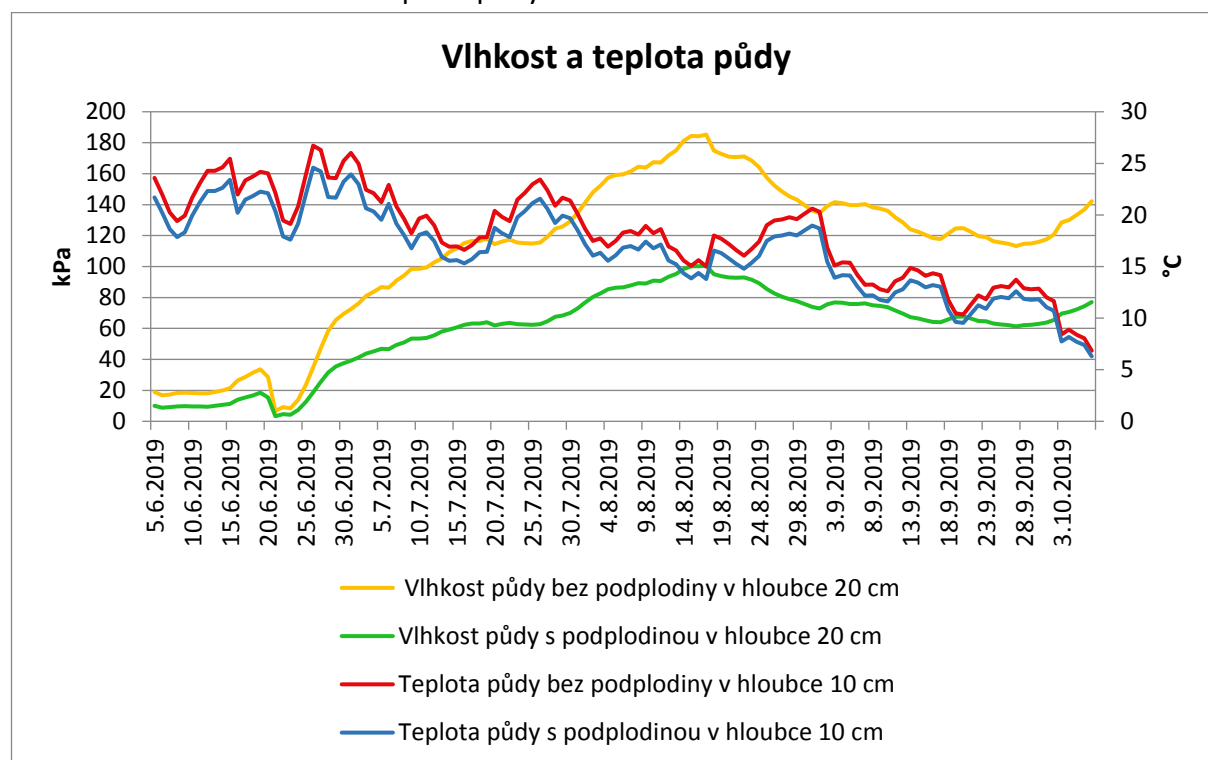
Varianta	HTZ (g)	Statistická průkaznost
Podsev hrách	349,55	****
Podsev lupina	355,77	****
Kontrola	356,40	****
Mulč	376,93	****

Tukeyův HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 166,40, sv = 9,0000

8.3 Hodnocení vlhkosti a teploty půdy

Vyhodnocení výsledků měření teploty a vlhkosti půdy jsou znázorněny na Obrázku 15. Průměrná teplota půdy u kontrolní varianty byla v průměru o 1,4 °C vyšší než u varianty s podplodinou. Větší vlhkost půdy měla varianta s podsevem než kontrolní varianta bez podsevu.

Obr. 15 Průměrná vlhkost a teplota půdy



9 Diskuze

Se svým produkčním potenciálem patří kukuřice mezi nejvýznamnější plodiny pro produkci biomasy či zrna. Současné zemědělství není udržitelný systém hospodaření a je potřeba se více zaměřit na alternativní půdoochranné způsoby pěstování, protože konvenční hospodaření a probíhající klimatická změna může ovlivnit kvalitu a míru degradace půdy a její celkové produkční schopnosti.

Jedním z cílů této práce bylo ověřit produkční schopnosti rostlin kukuřice s podsevem leguminóz a porost kukuřice s aplikací travního mulče na povrch půdy. Výsledky pokusu ukázaly, že největšího výnosu biomasy rostlin v zeleném stavu dosáhla varianta s travním mulčem. Porost kukuřice s mulčem na povrchu měl o 19,4 % větší výnos v biomase než kontrolní varianta bez pokryvu půdy a v průměru o 33 % vyšší výnos než varianty s podsevem krycích plodin. Pozitivní vliv travního mulče na výnos biomasy potvrzuje i Feng LS et al. (2015) ve své studii, kde kukuřice s travním mulčem na povrchu půdy dosáhla o 8,7 % vyšších výnosů než u půdy ponechané bez pokryvu. Dá se tedy předpokládat, že travní mulč ovlivnil vlhkost půdy a snížil evaporaci a tím se zlepšily půdní podmínky pro růst rostliny kukuřice. Alliaume et al. (2014) ve své studii tvrdí, že kombinace minimalizačního zpracování půdy a rostlinného pokryvu na povrchu půdy zlepšuje nejen infiltraci a retenci vody, ale také výrazně snižuje riziko eroze. Uvádí, že ve srovnání s konvenční technologií může kombinace minimalizační technologie a mulče na povrchu půdy snížit odtok vody z pozemku až o 50 %.

Při vyhodnocování výsledků obsahu sušiny bylo zjištěno, že nejmenší obsah sušiny silážní kukuřice měla varianta s travním mulčem na povrchu půdy. Ve srovnání s kontrolní variantou rozdíl činil 17,5 %. To potvrzuje, že mulč zajistil rostlinám kukuřice lepší vláhové podmínky, a to se odrazilo na jejím obsahu sušiny. Ve výsledku nebyl zjištěn významný statistický rozdíl ve výnosu suché hmoty mezi kontrolní variantou a variantou s mulčem.

Nižších výnosů biomasy, ale i zrna dosahovala kukuřice s podsevem leguminóz ve srovnání s kontrolní variantou a s variantou s travním mulče. Pokud porovnáme výnosy biomasy v čerstvém stavu, tak varianta s podsevem lupiny měla o 15,3 % nižší výnos než kontrolní varianta, výnos kukuřice u varianty s podsevem hrachu byl nižší o 10,1 %. Přepočítaný výnos zrna na 14 % vlhkosti byl nejnižší u varianty s podsevem hrachu, následovala ji varianta s podsevem lupiny. Ve srovnání s kontrolní variantou měla kukuřice s podsevem hrachu o 26,5 % nižší výnos, kukuřice s podsevem lupiny dosahovala o 16,4 % nižšího výnosu. Může to být dáno tím, že se jednotlivé druhy plodin konkurenčně ovlivňovaly a tím pádem neměly rostliny kukuřice dostatečné zdroje živin. Kukuřice pro polní pokusy byla vyseta s klasickou meziřádkovou vzdáleností 75 cm, kde řádky meziplodin byly vzdálené od řádků kukuřice 37,5 cm. Meziplodiny byly vyseté s rozestupy cca 20 cm. Feng Y et al. (2014) ve své práci ověřoval vliv meziřádkových vzdáleností mezi kukuřicí a sójou, která byla vyseta jako meziplodina. Výsledky jeho pokusu poukazují na to, že výnosy biomasy kukuřice pěstované s podsevem mohou výrazně ovlivnit meziřádkové vzdálenosti výsevů. Jako optimální šířku jednoho řádku označil 200 cm s rozestupy mezi podplodinami 40 cm, kde byl součet výnosů obou plodin nejvyšší. Tanzeelur et al. (2017) hodnotil vliv uspořádání porostu kukuřice

pěstované společně se sójou na zadržování vody v půdě. Jeho výsledky potvrzují, že větší mezery mezi plodinami nezajistí celkový pokryv půdy a tím dojde ke zvýšení evaporace a snížení obsahu vody v půdě.

Dalším důvodem nižších výnosů kukuřice s podsevy může být zaplevelení. Zimolka et al. (2008) ve své publikaci popisuje vliv konkurenčního tlaku plevelů na růst rostlin kukuřice. Uvádí, že v počátečních obdobích růstu má kukuřice velmi slabou konkurenční schopnost proti plevelům. To je dáno tím, že je pěstována v širokých řádcích a trvá poměrně dlouhou dobu, než dojde k zapojení porostu, kdy je pak kukuřice schopná plevelům konkurovat, a pokud dojde k zaplevelení, tak to v konečné fázi většinou významně sníží výnosy kukuřice. Simić et al. (2020) ověřovala v letech 2011 až 2016 účinnost krycích plodin na redukci plevelů v porostech kukuřice na území Srbska. Jako krycí plodiny pro experiment použila vikev setou (*Vicia sativa* L.) oves setý (*Avena sativa* L.) a kapustu kadeřavou (*Brassica oleracea* var. *acephala*). Zelená biomasa krycích plodin byla zapravena do půdy, následně proběhl výsev kukuřice. Na založených porostech nebylo aplikováno žádné herbicidní ošetření. Nejlepších výsledků dosahovala varianta s vikví setou, kde byl zaznamenán nižší počet druhů plevelů i počet jedinců plevelů, což ve výsledku vedlo k tomu, že jejich biomasa byla v průměru o 91,4 % na m² nižší než na pozemcích bez krycí meziplodiny. Hodnocení proběhlo šest týdnů po zasetí kukuřice.

Pozitivní vliv meziplodin na redukci plevelů potvrzuje i Bibi et al. (2020), který v rámci své studie hodnotil hustotu zaplevelení s využitím vigny zlaté (*Vigna radiata*) jako meziplodiny v porostech kukuřice. Dopracoval se k výsledku, že více zaplevelený byl porost bez výsevu meziplodiny. Ani na jedné z jeho variant nebyl použit žádný herbicidní přípravek.

V hodnoceném polním pokusu byly varianty s podsevy značně zaplevelené. V důsledku toho tyto varianty dosahovaly nižší výnosů kukuřice než u variant bez podsevu. Meziplodiny mohly být oslabeny vysokým konkurenčním tlakem plevelů, navíc bylo 48 dní po založení porostu zjištěno, že lupina bílá byla preferována zajícem a tím se mohla její konkurenceschopnost proti plevelům výrazně snížit.

V rámci pokusu se také hodnotila vlhkost a teplota půdy. Výsledky měření ukázaly, že lepších vlhkostních podmínek dosáhla varianta s podsevem. Z toho můžeme usoudit, že podplodina pozitivně ovlivnila retenci vody v půdě a zredukovala ztrátu vody evaporační. Toto tvrzení potvrzuje i Rusinamhodzi et al. (2012), který ověřoval účinnost podsevu kajanu indického (*Cajanus cajan*) v porostech kukuřice na infiltraci srážkové vody. Jeho výsledky ukázaly, že využití podplodiny významně přispívá ke zlepšení infiltrace srážkové vody. Dále také uvádí, že intercropping kukuřice a leguminóz může v dlouhodobém horizontu ovlivnit kvalitu půdy. Rostlinné zbytky podplodiny zvýší obsah organických látek v půdě, tím selepší půdní struktura a infiltrace srážek, což ve výsledku zajišťuje rostlinám zdroj vody v období sucha.

Krycí meziplodina v porostech kukuřice také ovlivňuje teplotu půdy. Na variantě s podsevem byla naměřena průměrná teplota půdy 16,6 °C, kontrolní varianta měla průměrnou teplotu půdy 18,0 °C, celkový rozdíl tedy činí 1,4 °C. Solaimalai et al. (2020) uvádí, že nejvyšších přírůstků kukuřice dosahuje při teplotě půdy mezi 15 a 27 °C, optimum je kolem

20 °C. Lze přepokládat, že jedním z důvodů nižších výnosů na variantách s podsevem je nižší teplota půdy, která ovlivnila růst kukuřice – nejnižší výšku rostlin měly též varianty s podsevem.

Na základě výše uvedených výzkumů lze konstatovat, že pěstování kukuřice s využitím podplodin leguminóz může v dlouhodobém horizontu zlepšit půdní podmínky a zajistit rostlinám lepší vláhové zabezpečení, ovšem je nutno zmínit riziko konkurence samotných leguminóz a především nekontrolovatelné šíření plevelných druhů. Důležitým aspektem při pěstování kukuřice s podsevem je uspořádání porostu tak, aby se jednotlivé rostliny co nejméně konkurenčně ovlivňovaly. Tím lze dosáhnout odpovídajících výnosů a zároveň kukuřici pěstovat udržitelným způsobem. Díky využití leguminóz by se měl zvýšit obsah živin v půdě, především dusíku, a tím pádem by se měly snížit i náklady na hnojení.

10 Závěr

Jedním z cílů diplomové práce bylo ověřit, zda uspořádání porostu kukuřice ovlivňuje infiltraci srážkové vody. Kukuřice je pěstována jako širokořádková plodina a než dojde k zapojení porostu, tak je půda velmi náchylná k vysychání a zároveň je ohrožena půdní erozí.

V rámci pokusu se ověřovalo, zda využití krycích meziplodin leguminóz v porostech kukuřice bude mít vliv na vlhkostní podmínky půdy. Na základě měření sacích tlaků na variantě s podsevem hrachu byla prokázána pozitivní korelace mezi rostlinným pokryvem podplodiny a vlhkostí půdy. Půda s podsevem hrachu dosahovala lepších vláhových podmínek než kontrolní varianta bez podsevu. Hypotéza, že pěstování kukuřice s podsevem meziplodiny zvýší schopnost půdy infiltrovat dešťové srážky, proto může být přijata.

Pozitivní vliv krycích meziplodin na vlhkost půdy byl ověřován již mnoha autory, kteří zároveň hodnotili vliv meziřádkových vzdáleností mezi jednotlivými rostlinami. Bylo prokázáno, že porost musí být uspořádán tak, aby mezi rostlinami nedocházelo k velkému konkurenčnímu tlaku, jinak to může mít negativní dopad na celkové výnosy.

V polním pokusu byly hodnoceny výnosové parametry na všech pokusných variantách. Nejnižších výnosů jak biomasy, tak zrna dosahovaly varianty s podsevy meziplodin. Byla statisticky prokázána větší intenzita fotosyntézy u klasické kontrolní varianty bez podsevu než u varianty s podsevem lupiny. To potvrzuje hypotézu, že se snížila fotosyntetická produkce rostlin kukuřice na variantě s podsevem meziplodiny, což v důsledku ovlivnilo celkové výnosy kukuřice.

Rostlinný pokryv meziplodin leguminóz zajistil lepší vláhové podmínky, bohužel kvůli velkému zaplevelení porostu výnosy nedosahovaly vysokých hodnot. Pro další výzkum bych doporučila použít preemergentní herbicid Lumax, který se osvědčil na kontrolní variantě a na variantě s travním mulčem. To by ve výsledku mohlo zajistit odpovídající výnosy kukuřice a zároveň uplatnit schopnosti leguminóz celkově zlepšovat půdní podmínky a snižovat náklady na hnojení.

11 Literatura

Alliaume F, Rossing WAH, Tittonell P, Jorge G, Dogliotti S. 2014. Reduced tillage and cover crops improve water capture and reduce erosion of fine textured soils in raised bed tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. **183**: 127–137.

Bibi S, Khan IA, Hussain Z, Zaheer S, Alsamadany H, Alzahrani Y. 2020. Performance of mungbean under herbicide application and intercropping with maize PAKISTAN JOURNAL OF BOTANY. DOI: 10.30848/PJB2020-3(27).

Brant V, Balík J, Fuksa P, Hakl J, Holec J, Kasal P, Neckář K, Pivec J, Prokinová E. 2008. *Meziplodiny*. Kurent s.r.o. České Budějovice.

Brant V, Kroulík M, Zábranský P, Prikner P, Škeříková M, Modráček J, Řehák V. 2016. Utužení půdy při předsetové přípravě a setí kukuřice. Česká zemědělská univerzita v Praze. *Agromanuál*. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/utuzeni-pudy-pri-predsetove-priprave-a-seti-kukurice> (accessed December 2016).

Brant V, Zábranský P, Škeříková M, Pivec J, Kroulík M, Procházka L. 2017. Effect of Row Width on Splash Erosion and Throughfall in Silage Maize Crops. *Soil and Water Research*, DOI: 10.17221/121/2015-SWR.

Boomsma CR, Santini JB, West TD, Brewer JC, McIntyre LM, Vyn TJ. 2009. Maize grain yield responses to plant height variability resulting from crop rotation and tillage system in a long-term experiment. *Soil & Tillage Research*. DOI: 10.1016/j.still.2009.12.006.

ČSU. 2020. Český statistický úřad: Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin. Available from www.czso.cz (accessed January 2020).

Feng LS, Sun ZX, Yan CR, Zheng MZ, Zheng JM, Yang N, Bai W, Feng C. 2015. Effect of farmland surface covered porous mulch materials on soil water, heat and water use efficiency of maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. **25**: 22-27.

Feng Y, Xiaochun W, Dunping L, Fengzhi L, Rencai G, Weiguo L, Taiwen Y, Xiaoling W, Junbo D, Jiang L, and Wenyu Y. 2015. Yield Response to Different Planting Geometries in Maize–Soybean Relay Strip Intercropping Systems. *Agronomy Journal*. DOI: 10.2134/agronj14.0263.

Herout M. Metoda strip-till aneb jak pěstovat kukuřici šetrně. 2017. ZD Krásná Hora nad Vltavou a. s. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/metoda-strip-till-aneb-jak-pestovat-kukurici-setrne> (accessed June 2017).

Herout M, Koukolíček J, Kincl D, Pazderů K, Tomášek J, Urban J, Pulkrábek J. 2018. Impacts of technology and the width of rows on water infiltration and soil loss in the early development of maize on sloping lands. *Plant soil and environment*. DOI: 10.17221/544/2018-PSE.

Hillel D. *Environmental Soil Physics*. 1998. Academic Press. United State of America.

- Huang C, Liu Q, Li X, Zhang C. 2019. Effect of intercropping on maize grain yield and yield components. *Journal of Integrative Agriculture*. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62648-1.
- Hůla J. 2000. Půdochranné technologie zakládání porostů plodin. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha.
- Hůla J et al. 2010. Dopad netradičních technologií zpracování půdy na půdní prostředí. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha.
- Hůla J, Novák P, Kovaříček P, Vlášková M. 2016. Zpracování půdy přispívající k omezení odtoku vody a smyvu zeminy. *Agromanuál*. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/zpracovani-pudy-prispivajici-k-omezeni-odtoku-vody-a-smyvu-zeminy> (accessed October 2016).
- Hůla J, Procházková B et al. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi Press, Praha.
- Janeček M. et al. 2002. Ochrana zemědělské půdy před erozí. ISV nakladatelství. Praha.
- Kovaříček P, Hůla J, Vlášková M, Stehlík M. 2017. Organická hmota zvyšuje bioaktivitu a zadržování vody v půdě. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/organicka-hmota-zvysuje-bioaktivitu-a-zadrzovani-vody-v-pude> (accessed October 2017).
- Martinovský et al. 2016. Environmentální bezpečnost v České republice. Masarykova Univerzita Brno.
- Mitchell JP, Shrestha A, Mathesius K, Scow KM, Southard RJ, Haney RL, Schmidt R, Munk DS, Horwath WR. 2017. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA. *Soil & Tillage Research*. DOI: 10.1016/j.still.2016.09.001.
- MZE. 2020. Dobrý zemědělský a environmentální stav půdy (DZES). Ministerstvo zemědělství. Praha. Available from: <http://eagri.cz/public/web/mze/dotace/kontroly-podminenosti-cross-compliance/dobry-zemedelsky-a-environmentalni-stav/?fullArticle=1> (accessed April 2020).
- Nagy J. 2006. Maize Production. Akadémia Kiadó. Hungary.
- Neružil P, Kincl D, Menšík L, Srbek J, Procházková E, Kobzová D, Šedek A, Herout M, Jurka M, Vach M. 2017. Zakládání kukuřice seté do travních porostů na orné půdě s využitím půdochranné technologie pásového zpracování půdy. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha – Ruzyně. VS Jevíčko.
- Nunes MR, van Es HM, Schindelbeck R, Ristow AJ, Ryan M. 2018. No-till and cropping systém diversification improve soil health and crop yield. *Geoderma*. DOI: 10.1016/j.geoderma.2018.04.031.

- Puissant J et al. 2019. The pH optimum of soil exoenzymes adapt to long term changes in soil pH. *Soil biology & biochemistry*. DOI: 10.1016/j.soilbio.2019.107601.
- Ranum P, Pena-Rosas JP, Garcia-Casal MN. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1312**: 105-112.
- Rusinamhodzia L, Corbeelsc M, Nyamangarad J, Giller KE. 2012. Maize–grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder farmers in central Mozambique. *Field Crops Research* **136**: 12–22.
- Rychter R. 2005. Kukuřice. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v Brně. Available from: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/html/obilniny/kukurice.htm (accessed January 2005).
- Rykena N, Vanden Nest T, Al-Barria B, Blake W, Taylor A, Bodé S, Ruyschaert G, Boeckx P, Verdoodt A. 2018. Soil erosion rates under different tillage practices in central Belgium: New perspectives from a combined approach of rainfall simulations and 7 Be measurements. *Soil and Tillage Research* **179**: 29-37
- Sharafi M, Mehrazadeh, Mirakzadeh AA. 2013. Effect of no tillage method and nitrogen fertilizer levels on maize (*Zea mays* L.) yield under conditions of southern part of Lorestan province in Iran. *Annals of Biological Research* **4**: 233–240.
- Simić MS, Dragičević V, Chachalis D, Dolijanović Ž, Brankov M. 2020. Integrated weed management in long-term maize cultivation. *ZEMDIRBYSTE-AGRICULTURE*. DOI: 10.13080/z-a.2020.107.005.
- Skládanka J. 2006. Multimediální učebnice texty pícninářství. Ústav výživy zvířat a pícninářství MZLU v Brně. Available from: http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=kukurice.html (Accessed 2006).
- Smutný V, Lukas V, Neudert L, Šedek A. 2016. Úzkořádková technologie pěstování kukuřice na siláž a zrno. Mendelova univerzita v Brně. Brno.
- Solaimalai A, Anantharaju P, Irulandi S, Theradimani M. 2020. Maize crop: Improvement, production, protection and post harvest technology. Taylor & Francis Group. Available from: <https://ebookcentral-proquest-com.infozdroje.czu.cz/lib/czup/detail.action?docID=6193931> (accessed July 2020).
- Souza RT, Assis Valadão FC, Valadão DD, Guimarães PR, de Paula VRR. 2018. Maize-crotalaria intercropping systems. *SEMINA-CIENCIAS AGRARIAS*. DOI: 10.5433/1679-0359.2019v40n4p1455.
- Šarapatka B. 2014. Pedologie a ochrana půdy. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc.

Šarapatka B, Dlapa P, Bedrna Z. 2002. Kvalita a degradace půdy. Univerzita Palackého v Olomouci. Olomouc.

Tanzeelur R, Xin L, Sajad H, Shoaib A, Guopeng C, Feng Y, Lilian C, Junbo D, Weiguo L, Wenyu Y. 2017. Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. PLoS ONE (e0178332) DOI: 10.1371/journal.pone.0178332.

Vaněk V, Kolář L, Pavlíková D. 2010. Úloha organické hmoty v půdě. Racionální použití hnojiv-sborník z konference. Available from: [www. biom.cz](http://www.biom.cz) (accessed April 2010).

Vrzal J, Novák D, Kohout V, Štráfelda J. 1995. Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceň. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR v Praze. Praha.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. 2018. Monitoring eroze zemědělské půdy. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. Praha.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. 2019. Půda v číslech. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd, v.v.i. Available from: <https://statistiky.vumop.cz/> (accessed November 2019).

Zhang Y, Li H, He Jin, Wang Q, Chen Y, Chen W, Ma S. 2016. Effect of mulching with maize straw on water infiltration and soil loss at different initial soil moistures in a rainfall simulation. Frontiers of agricultural science and engineering. DOI: 10.15302/J-FASE-2016104.

Zimolka J. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press, s.r.o., Praha.

12 Samostatné přílohy



Obr. 1 Porost kukuřice s aplikací travního mulče na povrch půdy (vlastní fotografie)



Obr. 2 Podsev meziplodiny lupiny bílé zničený zajícem (vlastní fotografie)



Obr. 3 Porost kukuřice s podsevem meziplodiny hrachu setého (vlastní fotografie)



Obr. 4 Kukuřice s podsevem hrachu setého s negativním vlivem plevelů na kukuřici (Jakub Schamberger)



Obr. 5 Přemrzlý porost meziplodiny svazenky vratičolisté (Marcel Herout)



Obr.6 Pozemek zpracovaný metodou strip-till s nevymrzající meziplodinou žitem ozimým (Marcel Herout)