

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Technologie pěstování kukuřice s podplodinami leguminóz
ve vztahu ke kvalitě zrna**

Diplomová práce

**Bc. Alexander Sorokin
Výživa a potraviny**

Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Technologie pěstování kukuřice s podplodinami leguminóz ve vztahu ke kvalitě zrna" jsem vypracoval 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 autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu mé práce, panu Ing. Jaroslavu Tomáškoví Ph.D. za vstřícný přístup, odborné vedení a cenné rady.

Zároveň bych také rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu při psaní této diplomové práce i během celého mého studia.

Technologie pěstování kukuřice s podplodinami leguminóz ve vztahu ke kvalitě zrna

Souhrn

Diplomová práce se zabývá technologií pěstování kukuřice za použití podplodin a jejich vztahem ke kvalitě zrna, obsahu škrobu a vlákniny. Práce zhodnocuje výnosy sušiny nadzemní suché biomasy a zrna se 14% vlhkostí na zkušebním pozemku s zkoumá vliv podsevu na infiltraci dešťových srážek, což by se mělo projevit dostatečnou vlhkostí půdy s době dlouhodobého suchého období. Podsev však může mít negativní vliv na výnos zrna. Technologie pěstování kukuřice na zrno s podsevem leguminóz má však vliv i na nižší obsah škrobu v zrně.

Současný způsob osetí kukuřice s podplodinami snižuje fotosyntetickou produkci rostlin oproti klasické kontrolní variantě.

Pro ověření výzkumných hypotéz byl založen pokus na Výzkumné stanici FAPPZ v Červeném Újezdě. Jednalo se o maloparcelkový pokus s využitím běžného hybridu silážní kukuřice (FAO 250).

Klíčová slova: kukuřice, leguminózy, podsev, sušina, výnos, zrno

Maize cultivation technology with leguminous subcrops in relation to grain quality

Summary

The thesis deals with the technology of maize cultivation using subcrops and their relation to grain quality, starch, and fibre content. The thesis evaluates dry matter yields of aboveground dry biomass and grain at 14% moisture content in a test plot, examining the effect of under sowing on rainfall infiltration, which should result in adequate soil moisture with a prolonged dry season. However, under sowing may have a negative effect on grain yield. However, the technology of growing maize for grain with leguminous under sowing also influences the lower starch content of the grain.

The current method of under sowing maize with leguminous crops reduces the photosynthetic production of the plants compared to the conventional control.

To verify the research hypotheses, an experiment was established at the FAPPZ Research Station in Červený Újezd. It was a small-plot experiment using a common silage maize hybrid (FAO 250).

Keywords: maize, Leguminosae, under sowing, dry matter, yield, corn

Obsah

1	Úvod	7
2	Vědecká hypotéza a cíle práce	8
3	Literární rešerše	9
3.1	<i>Pěstování kukuřice</i>	9
3.1.1	Nároky kukuřice na pěstování	12
3.2	<i>Kvalita zrna kukuřice</i>	13
3.2.1	Obsah škrobu v zrna kukuřice	13
3.2.2	Obsah látek v siláži	14
3.2.3	Pracovní postupy zpracování zrna a siláže	16
3.2.4	Sklizeň kukuřice na zrno.....	17
3.3	<i>Alternativní pěstování kukuřice</i>	20
3.4	<i>Pěstování kukuřice s podsevem</i>	21
3.4.1	Leguminózy	24
3.4.2	Podsev kukuřice leguminózy	25
3.4.3	Význam leguminóz jako podsevu.....	27
3.5	<i>Účinky kukuřičného oleje na lidské zdraví</i>	28
3.6	<i>Potenciál kukuřičného oleje</i>	32
4	Metodika	33
4.1	<i>Agrotechnika pokusu</i>	33
4.2	<i>Meteorologické údaje za rok 2021</i>	33
5	Výsledky	35
5.1	<i>Meteorologická data</i>	35
5.2	<i>Výnosy sušiny a zrna</i>	37
6	Diskuze	46
7	Závěr	49
8	Literatura	51
9	Seznam grafů	55
10	Seznam tabulek	55
12	Seznam použitých zkratk a symbolů	56

1 Úvod

Jednou z nepříznivých skutečností při pěstování kukuřice je relativně dlouhá doba bez dostatečného pokryvu půdy. Agroekologicky pozitivní je v této souvislosti podsev vhodných plodin, které by pokryly půdu mezi řádky a zároveň nekonkurovaly kukuřici. Z podobného hlediska lze kukuřici využít jako krycí plodinu pro jeteloviny. Úspěšnost takového kompromisu je podmíněna především dobou podsevu, omezením negativního vlivu zaplevelení a také výběrem podsev.

Kukuřice (*Zea mays L.*) jako hlavní plodina v kombinaci s luskovinou jako vedlejší plodinou je v mnoha zemích běžně používána. Tyto systémy mohou přispět k vyšší biologické rozmanitosti a snížení dovozu hnojiv, koncentrátů a agrochemikálií. Je proto kladen důraz na výběr vhodné vedlejší plodiny, které by bylo možné pěstovat s kukuřicí v systému meziplodin pro regulaci plevelů při zachování výnosů kukuřice. Jako vedlejší plodiny mohou sloužit fazol polní (*Vicia faba L.*), jetel karmínový (*Trifolium incarnatum L.*), svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia Benth.*) a brukvovité (*Brassica rapa L. ar. rapa L.*). Přijatelných výnosů sušiny kukuřice však bývá dosaženo bez ohledu na vedlejší plodiny. Často se vyskytuje negativní vztah mezi výnosem vedlejší plodiny a plevelů v srpnu a říjnu a výnosem kukuřice v říjnu. Vedlejší plodiny nebyly v první části vegetačního období dostatečně konkurenceschopné vůči plevelům. Jako nejlepší plodiny pro podsev se osvědčil fazol polní a svazenka vratičolistá, které často vedou k minimální konkurenci vůči kukuřici a k maximální konkurenci vůči plevelům ve srovnání s ostatními vedlejšími plodinami.

Výnos se stanovují vážením veškeré hmoty z pozemku. Před sklizní se odebírají vzorky z ploch o velikosti 1 m² ze dvou opakování pro stanovení hmotnosti podsevů a plevelů. U kukuřice se kromě hmotnosti měří i počet a výška rostlin. Výnosy kukuřice s podsevy a plevele se po přepočtu na sušinu zpracovávají různými statistickými metodami. Údaje se zpracovávají analýzou ke zjištění individuálního i vzájemného vlivu hmotnosti podsevu, plevelů a kukuřice na celkový výnos.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

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, což bude mít negativní vliv na výnos zrna.
- 2) Zvolená technologie pěstování kukuřice na zrno s podsevem leguminóz bude mít vliv na nižší obsah škrobu v zrnu
- 3) Současné setí kukuřice s podplodinou sníží fotosyntetickou produkci rostlin (výnosové parametry) ve srovnání s klasickou kontrolní variantou.

Cílem diplomové práce je:

- 1) Zlepšit infiltraci srážkové vody uspořádáním porostu kukuřice seté s podsevem leguminóz.
- 2) Zjistit kvalitu zrna, především obsah škrobu při využití alternativní technologie pěstování kukuřice s podsevem leguminóz.

3 Literární rešerše

Kukuřice setá (*Zea mays* L.) je důležitá obilnina a výzkum její diverzity je z pohledu šlechtitelské strategie nevyhnutelný. Kukuřice pochází ze Střední a Jižní Ameriky, kde ji pěstovali již staří Aztékové, Mayové a Inkové. Její stáří se odhaduje na 5 600 let. V současné době je rozšířená po celé zeměkouli. Do Česka se dostala pravděpodobně z Turecka a Rumunska v 17. století.

Kukuřice je u nás nejvýznamnější jednoletou píceinou. Asi 90 % kukuřice se pěstuje na siláž, která v současnosti představuje hlavní energetickou složku objemných krmiv pro skot. Využívá se i pro tzv. dělenou sklizeň (CCM a LKS siláže a konzervaci vlhkého zrna).

Zbytek, což je asi 10 % se využívá jako kukuřice na zrno. Kukuřičné zrno se využívá v potravinářství, pro krmení hospodářských zvířat a pro průmyslové zpracování. Pro potravinářské využití se používá kukuřičná mouka a krupice. Z kukuřičného zrna se vyrábí alkohol, škrob, invertní cukr a z klíčků se získává kukuřičný olej. Jako krmivo je kukuřičné zrno vhodné pro všechny druhy hospodářských zvířat, hlavně pro výkrmové kategorie.

3.1 Pěstování kukuřice

Kukuřice (*Zea mays* L.) začala svou cestu asi před 10 000 lety někde v Mezoamerice a má velký podíl na vzniku formálního zemědělství a založení primitivních společností. Dávni zemědělci začali selektovat a manipulovat s předky této obilniny a vyvinuli a domestikovali kukuřici, kterou známe dnes. Domorodí obyvatelé Mezoameriky kupodivu během několika staletí přeměnili předky kukuřice na několik předkolumbovských primitivních ras kukuřice, které dodnes tvoří genetický základ pro produkci vysoce výnosných otevřených odrůd a hybridů, transgenních a řady speciálních typů, jako je kukuřice popcorn, sladká, pigmentovaná a kvalitní proteinová kukuřice. Tato potravinářská plodina, která v sobě skrývá vysoce hodnotnou genetickou informaci a skvělou adaptaci na různé ekosystémy, je dnes nejvýznamnější obilovinou planety s roční produkcí přesahující 1 miliardu tun. Po objevení Ameriky se kukuřice rychle rozšířila do Evropy, Asie a Afriky, kde je rovněž hojně pěstována a využívána. Z hlediska využití je kukuřice v mnoha oblastech světa používána jako základní surovina, široce využívána jako krmivo pro zvířata a v poslední době získala význam jako průmyslová surovina pro výrobu biopaliv, chemických sloučenin, pseudoplastů a dalších materiálů. (García-Lara & Serna-Saldivar, 2019)

Kukuřice je jednou z nejuniverzálnějších obilovin, která se pěstuje na téměř 150 milionech hektarů (Mha) ve více než 160 zemích a podílí se na celosvětové produkci potravinářských obilovin 782 miliony tun (Mt), tj. 36 %. Téměř 70 % světové produkce kukuřice připadá na rozvojové země. (Abebe et al., 2016)

Podle ministerstva zemědělství v ČR stále stoupá zájem o pěstování kukuřice na zrno. Za posledních 20 let její produkce vzrostla více než sedmkrát. V roce 2016 zemědělci z 86,4 tis. ha sklídili 846 tis. tun kukuřice. V rámci využívání geneticky modifikovaných organismů se v ČR pro produkční účely od roku 2005 pěstuje Bt kukuřice. Ta však představuje marginální podíl na celkové zemědělské produkci a v roce 2016 její výměra činila pouhých 75 ha.

Pro lidskou spotřebu se používají především bílé a žluté odrůdy kukuřice. Pigmentované odrůdy kukuřice, jako je modrá, červená a černá (díky antokyanům obsaženým v oplodí a aleuronové vrstvě), jsou konzumovány především na venkově. Vzhledem k funkčním vlastnostem antokyanů (antioxidační kapacita) se však zvýšila spotřeba pigmentované kukuřice u lidí. (Bello-Pérez et al., 2021)

Růst a produktivita kukuřice jsou pravděpodobně ovlivněny zvýšeným obsahem CO₂ v atmosféře a teplotou. Zvýšená teplota negativně ovlivňuje růst, výnos a kvalitu kukuřice. Existují rozporuplné zprávy o vlivu zvýšené koncentrace CO₂ na výnos kukuřice. Většina pokusů o vlivu zvýšené koncentrace CO₂ a teploty na výnos kukuřice však využívala zařízení s řízeným prostředím, jako jsou fytotron a růstové komory pro rostliny, nebo modely simulace růstu plodin. (Abebe et al., 2016)

Produktivita kukuřice je v současné době ohrožena globální změnou klimatu. Scénáře klimatických změn naznačují, že severozápadní Evropa bude v období hlavní sklizně teplejší a sušší. Obecně z toho budou těžit severněji položené regiony, zatímco jižněji položené regiony budou trpět suboptimálními podmínkami pro hospodaření s deštěm. Šlechtění na odolnost proti již existujícím a nově se objevujícím chorobám a hmyzím škůdcům je jednou ze složek, jak dosáhnout stability výnosů v průběhu let. Trvalá odolnost vůči více chorobám bude obzvláště důležitá. Bude zapotřebí průběžně upravovat strategie šlechtění na odolnost vůči chorobám. Šlechtění odolnosti vůči hmyzím škůdcům se musí výrazně zlepšit, protože v teplejším světě se bude hmyzu dařit, což pravděpodobně způsobí škodlivé přímé (žír, sání atd.) a nepřímé (přenašeči patogenů, žírné rány vytvářející brány pro mnoho patogenů, pasivní přenos inokula přes rostliny kukuřice) účinky. Odrůdy kukuřice musí kombinovat odolnost proti více chorobám i proti více hmyzím škůdcům, ačkoli implementace mnoha různých účinných zdrojů rezistence do šlechtitelských programů bude náročná, zejména pokud se objeví kompromisy mezi šlechtitelskými cíli. (Miedaner & Juroszek, 2021)

Změna klimatu mezi lety 1980 a 2008 snížila potenciální celosvětovou produkci kukuřice přibližně o 3,8 %, čímž vyvážila část výnosových zisků ze šlechtění a dalších technologických pokroků. Kromě toho je kukuřice stále více ohrožována rostlinnými patogeny, hmyzími škůdci a dalšími biotickými a abiotickými stresovými faktory, jako je teplo a sucho. (Miedaner & Juroszek, 2021)

Tomášek (2019) uvádí, že kukuřice jako plodina C₄ fotosyntézy, která má teplotní optimum nad 20 °C, nedokáže využít svůj výnosový potenciál bez dostupné vláhy v půdě. Minerální hnojiva nejsou využita dostatečně, efektivně a hlavně v době, kdy je rostlina potřebuje. Riziko je i při použití biologických přípravků na bázi parazitických hub a mikroorganismů (*Pythium*, *Trichoderma harzianum*, půdní bakterie jako vazači dusíku), jež nejsou v suchém prostředí dostatečně aktivní.

Současné velké riziko pěstování kukuřice je v neschopnosti porostu infiltrovat dešťové srážky, které bohužel přicházejí v nestejnoměrných, mnohdy dlouho od sebe časově vzdálených dávkách. Přichází prudké lijáky, které odtečou, a do půdy se dostane jen málo z nich. Polní plodiny potřebují takzvaný zahradnický déšť, ten ale nepřichází a je zřejmé, že období sucha a prudkých dešťů bude čím dál častější. (Tomášek, 2019)

Systém obdělávání půdy je pro úspěšnou produkci kukuřice zásadní. Systémy obdělávání půdy mohou významně ovlivnit výnos a nutriční kvalitu kukuřice prostřednictvím vlivu na vlhkost, teplotu, provzdušnění a dostupnost živin v půdě. V proměnlivých klimatických

podmínkách a při častém výskytu suchých let může zpracování půdy přizpůsobené půdnímu typu a agroekologickým podmínkám přispět k zachování vody a dosažení vyšších výnosů. Systémy redukováného zpracování půdy, zejména přímý výsev, se začaly široce používat v jakékoliv části celého světa díky svým výhodám při snižování eroze půdy, zachování půdní vlhkosti, zlepšování organické hmoty v půdě a snižování nákladů na práci, pohonné hmoty a stroje. Přechod k minimálnímu zpracování půdy má však tendenci snižovat koncentraci živin v plodinách, zejména N, což lze překonat použitím vyšších dávek při hnojení. V agroekologických podmínkách se nejvyšších výnosů kukuřice dosahuje při konvenčním systému zpracování půdy s podzimní orbou hlubokou 20-25 cm a jednopřechodovou přípravou půdy na jaře jako mělké zpracování půdy o hloubce 10-12 cm. Výsledky dlouhodobého pokusu ukázaly, že výnos zrna kukuřice byl nižší v konvenčním, redukováném a bezorebném zpracování půdy, přičemž v suchých letech byl výnos zrna kukuřice vyšší při redukováném než konvenčním zpracování půdy. Vliv různých systémů zpracování půdy na výnos zrna kukuřice a jeho složek zdůraznily i studie provedené jinými autory (Wang et al., 2015; Wasaya et al., 2017). (Simić et al., 2020)

Abiotické stresy jsou důležitými faktory ovlivňujícími růst a vývoj rostlin, které vedou ke snížení produkce plodin a dokonce k jejich úhynu. Aby rostliny přežily, využívají různé mechanismy, kterými reagují na neustále se měnící faktory prostředí a přizpůsobují se jim. Pochopení molekulárních mechanismů reakce rostlin na různé stresy pomůže zlepšit toleranci rostlin vůči abiotickým stresům pomocí genového inženýrství, což by výrazně podpořilo rozvoj moderního zemědělství. RLK, největší rodina genů v rostlinách, hraje klíčovou roli v regulaci vývojových procesů rostlin, signálních sítí a odolnosti vůči chorobám. Bylo prokázáno, že mnoho RLK se podílí na reakcích na abiotický stres, včetně reakce na kyselinu abscisovou, signalizace vápníku a antioxidační obrany. (Ye et al., 2017)

Abiotické stresy jako je sucho, zasolení, chlad, toxické kovy/metaloidy, ozón a UV-B záření, představují pro plodiny největší hrozby. Tyto stresy mají na rostliny nepříznivé účinky, které vedou ke zpomalení růstu, rychlejšímu stárnutí, snížení produkce plodin a dokonce i k jejich úhynu. Rostliny mají různé mechanismy, jak reagovat na neustále se měnící faktory prostředí. Bylo zjištěno, že řada genů, včetně genů pro proteinkinázy a transkripční faktory, hraje důležitou roli v reakci rostlin na abiotický stres. v roce 1991 byly u *Arabidopsis* objeveny homology proteinkinázy P34cdc2. Od té doby se studiu rostlinných proteinkináz věnuje stále větší pozornost. RLK je významná rodina genů s velkým počtem v rostlinách, zahrnující nejméně 610, respektive 1132 členů u *Arabidopsis* a rýže. RLK jsou serinové/treoninové proteinkinázy, známé jako konzervativní signální komponenty, které regulují vývoj, odolnost vůči chorobám, vnímání hormonů a samokompatibilitu rostlin. Většina RLK jsou proteiny plazmatické membrány; některé se však vyskytují i na jiných místech, například kinázy vázané na stěnu (WAK) spojené s pektinovou frakcí buněčné stěny, RLK cytoplazmatického typu lokalizované převážně v cytoplasmě a rýžové kořenové kinázy (OsRMC) lokalizované v apoplastu. typický protein RLK obsahuje proteinkinázovou katalytickou doménu (PKC), transmembránovou doménu (TM) a extracelulární doménu vázající ligand (ECLB). (Ye et al., 2017)

Stále častější námitky k pěstování kukuřice na zrno se opírají o problematiku eroze půdy.

V poslední době se zpřísnují nejrůznější protierozní opatření, která jsou komplexně popsána v protierozní vyhlášce. Tato opatření nemají za úkol zlikvidovat pěstování kukuřice na

zrno, ale jejich hlavním cílem je chránit půdu před devastací. Vedle protierozní vyhlášky také existuje tzv. protierozní kalkulačka, s jejíž pomocí se dají pro jednotlivé pozemky simulovat rizika eroze a správné zařazení kukuřice na zrno na ohrožených pozemcích. Bohužel všechna tato opatření v konečném důsledku vedou pěstitele kukuřice na zrno k odklonu od jejího pěstování a k zařazování náhradních plodin, které zdaleka nemají takovou ekonomiku, jako kukuřice na zrno. Tato praxe často vede k další extenzifikaci českého zemědělství a ke ztrátě konkurenceschopnosti. Od roku 2013, kdy se kukuřice na zrno pěstovala na výměře téměř 112 tis. ha, se její pěstitelská plocha postupně snižuje až na současných 83,7 tis. ha, což je pokles o více než 25 %. (Prokeš, 2017)

3.1.1 Nároky kukuřice na pěstování

Kvalitativní a kvantitativní výnos plodin je silně závislý na obsahu zinku v půdě. Nedostatek zinku je problémem téměř u všech plodin a ve vápenatých půdách, intenzivně obdělávaných půdách, rýžovištích a špatně odvodněných půdách, sodných a zasolených půdách, rašelinných půdách, půdách s vysokým obsahem přístupného fosforu a křemíku, písčitých půdách, silně zvětralých kyselých půdách a půdách s hrubou texturou. Fosfor a měď mají na zinek antagonistický vliv. Nedostatek zinku může ovlivnit rostlinu zpomalením růstu, zkrácením doby zralosti, sterilitou klásků a horší kvalitou sklizňových produktů. Kukuřice je známá jako indikátorová rostlina pro hodnocení nedostatku Zn v půdě. Míra nedostatku zinku se u jednotlivých půdních typů značně liší, což se projevuje snížením výnosu a kvality plodin až o 25-35 % a následně zpochybňuje nutriční zabezpečení lidí v rozvojových zemích, jako je Indie, kde jsou obiloviny základní potravinou. Navzdory vysokému výnosovému potenciálu kukuřice poskytuje nízké výnosy a nízký obsah mikroživin v důsledku nesprávných postupů při hospodaření s hnojiv. Zvýšení produktivity na jednotku plochy prostřednictvím správného hospodaření je jednou z důležitých strategií pro zvýšení produkce kukuřice i obohacení zrna o mikroživiny. Pochopení distribuce zinku (Zn) v půdě je důležité pro efektivní a účinné hospodaření se zdroji hnojiv. (Suganya et al., 2020)

Smutný et al. (2016) uvádí, že se v současné době v ČR pěstuje kukuřice jako tzv. širokořádková plodina s meziřádkovou vzdáleností 70 nebo 75 cm, což při výsevku 80 000 – 90 000 jedinců na hektar odpovídá vzdálenosti rostlin v řádku 14–17 cm. Pokud se výsevek zvyšuje, rostliny se dostávají k sobě blížeji než 14 cm, což je považováno za hranici, kdy se začíná negativně projevovat konkurence rostlin v řádku. Zúžení meziřádkové vzdálenosti umožňuje navýšit počet rostlin na ploše, aniž by docházelo ke konkurenci mezi rostlinami. Takového rozmístění rostlin lze docílit s využitím alternativních technologií, jako je pěstování kukuřice v úzkých řádcích (37,5 cm) či ve dvouřádcích (tzv. twin-row systém, kdy meziřádková vzdálenost jednotlivých řádků je obvykle 20 cm a vzdálenost mezi středy dvouřádků je 50 cm).

Podmínky vhodné pro pěstování jsou v teplejších oblastech s hlubokými a propustnými půdami. Kukuřice má vyšší nároky na světlo a vodu. Kukuřice nemá zvláště vyhraněné požadavky na půdu. Větší výnosovou jistotu poskytují půdy střední až těžší s pH od 5,6 do 7. Z hlediska agrotechniky vykazuje kukuřice všechny vlastnosti okopaniny, a proto se k ní doporučuje pravidelně hnojit organickými hnojivy.

Z organických hnojiv je nejčastěji používán chlévský hnůj. Na půdách méně úrodných s nedostatkem humusu, zejména po obilovinách, na něj kukuřice reaguje obvykle kladně. V

suchých ročnících je účinnost nižší. Optimální dávky hnoje se pohybují v rozpětí od 30 do 40 t/ha. Optimální půda je pórovitá, s dostatkem vzduchu, nezhutněná, drobtovitá.

3.2 Kvalita zrna kukuřice

U kukuřice tvoří průměrný podíl endospermových frakcí 3 % albuminy, 3 % globuliny, 60 % zein a 34 % glutelin. Všechny frakce kromě zeinu jsou vyvážené a poměrně bohaté na lysin a tryptofan. Frakce zeinu zcela postrádá dvě důležité esenciální aminokyseliny, lysin a tryptofan. Vysoký podíl této konkrétní frakce je tedy hlavní příčinou špatné kvality bílkovin v kukuřici. Snížení zeinové frakce tak vede k proporcionalnímu zvýšení ostatních frakcí bohatých na lysin a ke zvýšení obsahu těchto dvou aminokyselin v bílkovinách, nikoli však v absolutním vyjádření na jednotku endospermu v zrně. (Vasal, 2000)

Vážné snahy o zlepšení nutriční kvality bílkovin endospermu kukuřice začaly v polovině 60. let 20. století. Předtím se snahy omezovaly na screening elitní zárodečné plazmy kukuřice a jejích vzorků s cílem identifikovat genotypy, které jsou v této vlastnosti lepší. Vzhledem k absenci specifického genu (genů) spojeného (spojených) s lepšími bílkovinami se opakovaná selekce postupnou akumulací příznivých alel po delší dobu, než bylo možné pozorovat znatelnou změnu nutriční hodnoty. Nedostatek jednoduchého genetického systému také bránil použití jednoduchého programu zpětného křížení. (Valas, 2000)

Kukuřičná zrna jsou největší semena obilovin o hmotnosti 250-300 mg. Zrna jsou plochá semena v důsledku tlaku během růstu od sousedních zrn na klasu. Jádra mají tupou korunku a špičatý kuželovitý vrcholík. Jádro obsahuje kompletní embryo a všechny strukturní, výživové a enzymatické funkce potřebné pro růst a vývoj v rostlinu. Existuje asi 50 druhů, které se skládají z různých barev, textur a tvarů a velikostí zrn. (Sumbo & Ikujenlola, 2014)

Kukuřičná zrna nelze považovat pouze za zdroj energie, protože poskytují také významné množství bílkovin. Je také známo, že kukuřičná zrna mají nízkou koncentraci mikroživin, zejména zinku. Zn^{2+} je základní živina, která má určité fyziologické funkce ve všech živých systémech, jako je udržování strukturální a funkční syntézy bílkovin, genové exprese, struktury enzymů, produkce energie, krebsova cyklu, metabolismu sacharidů, fotosyntézy, metabolismu auxinů, tvorby pylu a odolnosti vůči infekci některými patogeny, má také pozitivní vliv na výnos plodin. (Suganya et al., 2020)

3.2.1 Obsah škrobu v zrně kukuřice

Kukuřice poskytuje vysoký výnos hmoty z hektaru. Má ovšem své specifické vlastnosti: z roku na rok se může lišit variabilitou ve výnosech i v kvalitě, a to podle vývoje počasí, charakteru stanoviště, agrotechniky, zvoleného hybridu, napadení škůdci a podobně.

Z pohledu živin je celkem chudá na obsah dusíkatých látek (7–9 %), ale bohatá na vlákninu (18–25 %), její doménou je obsah škrobu, který je hlavním zdrojem energie v krmných dávkách určených pro skot. Obsah škrobu ve vyrobené siláži je závislý na zralosti zrna. Za normálních klimatických podmínek se jeho obsah v silážované řezance pohybuje mezi 30 a 40 % v 100% sušině. Obsah závisí nejen na zvoleném hybridu, ale i na počasí v daném období vegetace. Tato živina v kukuřičné siláži zajišťuje až 45 % energie. Dále se na obsahu energie

podílí 25 % mikrobiální rozklad celulózy a hemicelulózy v bachoru a 30 % zajišťují ve vodě rozpustné cukry, pektin, dusíkaté látky a tuk. (Tyrolová, 2021)

Hlavní složkou kukuřice je škrob (60-70 g/100 g, v sušině), následují bílkoviny (9-11 g/100 g, db), lipidy (4-5 g/100 g, db) a vláknina (10-11 g/100 g, db).

Kukuřice pěstovaná za deště v jižní Číně často trpěla nedostatkem vody v pozdějších obdobích růstu rostlin. Při studiu vlivu stresu suchem bylo kontrolováno zvětšování zrna a akumulace škrobu, aktivity enzymů syntetizujících škrob a obsah kyseliny indol-3-octové (IAA) a kyseliny abscisové (ABA). Čerstvá hmotnost zrna, objem a hmotnost sušiny nebyly ovlivněny suchem minimálně 10 dnů po opylení, ale poté klesaly. Snížení v době zralosti bylo redukováno o 33,3 %, 40,0 % a 32,3 % v roce 2014 a o 21,7 %, 24,3 % a 18,3 %. Rychlost zvětšování zrna byla potlačena vodním deficitem, zatímco vlhkost zrna a obsah škrobu byly ovlivněny jen mírně. Akumulace škrobu se snižovala asi o pětinu v době zralosti. Aktivity enzymů syntetizujících škrob (sacharózařofosfát syntáza, sacharóza syntáza, ADP-glukóza pyrofosforyláza, rozpustná škrobová syntáza a enzym větvení škrobu) byly po zaschnutí menší. Obsah ABA se zvýšil, zatímco obsah IAA se snížil, když rostliny trpěly vodním deficitem během zrání zrna. Vodní deficit po silážování zvýšil obsah ABA, snížil obsah IAA a oslabil aktivitu enzymů syntetizujících škrob, což potlačilo vývoj zrna a v konečném důsledku snížilo hmotnost zrna. (Yang et al., 2019)

Biosyntéza škrobu v endospermu kukuřice je zásadním procesem pro produktivitu kukuřice v měnících se podmínkách prostředí. Molekulární mechanismus, který je základem syntézy škrobu během vývoje endospermu kukuřice, však zůstává z velké části neznámý. Nedávné proteomické analýzy syntézy škrobu v semenech kukuřice přinesly velké množství dat, která významně přispívají k pochopení biosyntézy škrobu u kukuřice a usnadňují zlepšování kukuřice na základě znalostí. (Niu et al., 2019)

Pokud kukuřičné zrno nedozrálo do správné silážní zralosti, je nutné počítat s nízkým obsahem škrobu. Ale ani správná sklizňová zralost zrna nestačí pro zajištění jeho maximální energetické využitelnosti. Důležité je správné nastavení corn crackeru řezačky, aby zrna byla co nejvíce mechanicky narušena. Pak může dojít k bakteriálnímu a enzymatickému trávení škrobu. U kukuřičného zrna, které se již blíží k voskové zralosti, je problém s jeho dostatečným narušením. Množství sklovitých částí je velké, a i když obsah škrobu v zrně je vysoký, jeho využitelnost díky špatnému narušení klesá. Pokud zůstane zrno celé, škrob je nevyužit a je vyloučen výkaly. (Tyrolová, 2021)

3.2.2 Obsah látek v siláži

Mikrobiální inokulanty se používají jako nástroj ke zlepšení fermentace a aerobní stability (AS) siláží s vysokou vlhkostí. Pro přístup k účinkům aditiv v kukuřičných silážích s vysokou vlhkostí bylo přezkoumáno třicet pět vědeckých prací. Další šest vědeckých prací bylo použito ke zkoumání změn u siláží z ozimých obilovin. Aplikace chemických aditiv v kukuřičných silážích s vysokou vlhkostí zachovala WSC v důsledku inhibice fermentace. Růst kvasinek byl účinně kontrolován, což snížilo produkci etanolu a lineárně zvýšilo aerobní stabilitu. Změny u siláží z ozimých obilovin ošetřené chemickými látkami vykazovaly výrazné snížení růstu plísní a tvorby etanolu a vyšší aerobní siláží. Inokulace kukuřičných siláží s vysokou vlhkostí homolaktickými bakteriemi snížila pH siláže o 0,26 jednotky a snížila

proteolýzu, ale nepodpořila aerobní stabilitu. Kukuřičná siláž s vysokou vlhkostí inokulovaná heterofermentativními kmeny měla nižší WSC a vyšší obsah slabých kyselin s antifungálními vlastnostmi, což snížilo počet plísní a kvasinek a zvýšilo aerobní stability. Maximálního zlepšení AS bylo dosaženo při aplikaci heterofermentativních bakterií v množství $4,67 \times 10^5$ KTJ.^g⁻¹ ($P < 0,01$, $R^2 = 0,50$). Kombinace homo- a heterofermentativních bakterií v kukuřičných silážích s vysokou vlhkostí zajistila nižší pH a snížení počtu kvasinek a produkce etanolu, zatímco AS se nezměnila. Vzhledem k tomu, že fermentační ztráty byly obvykle nízké, dospěli jsme k závěru, že použití chemických aditiv a heterofermentativních bakterií je pro zlepšení aerobní stability siláží z obilí s vysokou vlhkostí opodstatněné. (Morals et al., 2017)

Kvalita kukuřičné siláže je dána energetickým obsahem a příjmovým potenciálem, obsahem bílkovin a minerálních látek. Mezi metody používané k hodnocení kvality kukuřičné siláže patří chemické metody, jako je analýza vláken, biologické metody, jako je fermentace bachorovými mikroby, a instrumentální metody, jako je spektroskopie reflektance v blízkém infračerveném světle (NIRS), která předpovídá živiny spíše než je přímo měří. (Khan et al., 2011)

Všechny metody vyžadují, aby analyzovaný vzorek reprezentoval siláž, která je zvířeti nabízena. Proto musí být ze sila získány reprezentativní vzorky a se vzorky musí být před analýzou řádně nakládáno. Vzorky kukuřičné siláže by měly být uzavřeny v plastovém sáčku a odeslány do laboratoře co nejdříve, aby se snížilo kažení. Je třeba dbát na to, aby nedošlo k vystavení vzorku vysokým teplotám. Vzorky čerstvé píce odebrané při plnění sila musí být okamžitě vysušeny, aby se snížily ztráty způsobené dýcháním cukrů, které mohou dramaticky zvýšit koncentraci zbývajících živin. Vzorky nezmrazujte, protože obsah vlákniny se během rozmrazování uměle zvyšuje v důsledku kondenzace rozpustného proteinu s jinými sloučeninami. (Khan et al., 2011)

Energetický obsah kukuřičné siláže je dán především množstvím a stravitelností vlákniny. Obsah zrna také ovlivňuje obsah energie, i když je možné, že kukuřičná siláž s méně než 30 % zrna bude mít vyšší energetický obsah než kukuřičná siláž s více než 50 % zrna kvůli rozdílům ve stravitelnosti v kamnech. Stravitelnost škrobu ovlivňuje energetický obsah u suchých kukuřičných siláží, ale u kukuřičné siláže s vlhkostí vyšší než 60 % je méně významný. Protože stanovení stravitelnosti pomocí zvířat (stravitelnost in vivo) je pro rutinní použití příliš časově náročné a nákladné, používá se k odhadu stravitelnosti a energetického obsahu několik technik. (Khan et al., 2011)

Kukuřičná siláž se používá pro krmení veškerého mléčného skotu na farmě: rostoucí zvířata, krávy na sucho a krávy v laktaci. Musí být doplněn o bílkoviny, minerály a někdy i energii, aby byly splněny požadavky zvířete na živiny. Přestože se kukuřičná siláž příležitostně používá jako jediné krmivo pro dojný skot, je obvykle krmiva doplňkovou pícninou, jako je vojteška, která má vyšší obsah hrubých bílkovin, ale nižší energetickou hodnotu. Strategie krmení kukuřičnou siláží se liší v závislosti na věku zvířete, úrovni produkce a fyziologickém stavu, stejně jako na dalších zkrmovaných krmivech, pokud existují. Vzhledem k vysokému obsahu zrna se strategie krmení kukuřičné siláže podávané vysoce produkčním kravám liší od většiny ostatních pícnin. Faktory kvality kukuřičné siláže, které je důležité vzít v úvahu při vyvažování krmných dávek, jsou energetický obsah, obsah NDF (neutral-detergentní vlákno), stravitelnost NDF, délka řezu a další. (Khan et al., 2011)

Stanovená stravitelnost bílkovin, tuku, hrubé vlákniny a stravitelnost neutrálně detergentní vlákniny činila u pивovarského zrna a kukuřičné siláže 76,2 a 77,2 %; 86,5 a 99,1 %; 8,1 a 8,3 % a 28,0 a 13,5 %. Obsah stravitelné energie činil 11,66 MJ/kg sušiny (sušiny) (pivovarské zrno) a 11,10 MJ/kg sušiny (kukuřičná siláž). Oba vedlejší produkty mají potenciál jako alternativní krmivo. Je však nutné provést další pokusy, aby se zjistil vliv silážování celé rostliny kukuřice, protože byl pozorován významně nižší ($P < 0,001$) příjem krmiva. (Guermah et al., 2016)

3.2.3 Pracovní postupy zpracování zrna a siláže

Kukuřice je sice díky vysokému obsahu pro fermentační proces volně dostupné energie snadno silážovatelnou plodinou, ale její silážování má několik úskalí, na které je nutno dát pozor. Zásadním problémem pro pěstování i silážování kukuřice je, že je plodinou, která má z roku na rok poměrně vysokou variabilitu ve výnosech i v kvalitě, a to podle vývoje počasí, charakteru stanoviště, agrotechniky, napadení škůdci a podobně. Má také vysokou variabilitu v obsahu a stravitelnosti živin, což je dáno obsahem dvou zcela odlišných částí, zrna a zeleného zbytku rostliny. V průběhu dozrávání kukuřice se díky zvyšujícímu se podílu klasu (resp. zrna) zvyšuje podíl škrobu, který je hlavním zdrojem energie sklizené rostliny. Ve zbylé části rostliny postupně dochází k lignifikaci rostlinného pletiva, což úzce souvisí se snižující se stravitelností vlákniny. Rostliny mohou být sklizeny celé při nízkém strništi, ale také s vysokým strništěm, nebo se sklízí pouze palice, resp. pouze zrno. Pak se samozřejmě získá materiál s velmi odlišnými charakteristikami. (Loučka & Tyrolová, 2013)

Sušinu je třeba hlídat na všech polích. Pokud je sušší rok, nebude u stejného hybridu pěstovaného na několika polích stejná. Na jednom stanovišti může být kukuřice ještě svěží, zelená a v plné vegetaci. Jinde může rostlina začít podsušovat. A to i přesto, že zrno ještě v žádném případě nesměruje ke své silážní zralosti. Přestože rostlina žlutne a usychá, zrno může být teprve v mléčné zralosti. Není dobré čekat, až bude zrno ve správné zralosti, je nutné začít sklízet. Je však možné, že obsah škrobu bude nízký, protože zrno si ho ještě nestačilo v dostatečné míře vytvořit. Ale pokud se bude čekat, až zrno dospěje do správné zralosti, sklídí se suché rostliny. S tím pak souvisí obtíže udusat tuto „šustící“ hmotu. Špatným udusáním řezanky nebude z hmoty řádně vytěsněn vzduch a po otevření jámy se tato siláž bude rychle zahřívat a dělat problémy v TMR. (Tyrolová, 2021)

Pro silážování se doporučuje volit hybridy kukuřice s tvrdým typem zrna (flint). Typ zrna je dán rozdílným poměrem sklovitého a moučnatého endospermu v zrně. Pěstitelé zrnové kukuřice se zaměřují na pěstování hybridů typu koňský zub (dent) s rychlým uvolňováním vody ze zrna. Důležitější pro volbu hybridu k silážování však je fakt, že zrnové hybridy se zrnem typu zub mají poměrně úzké sklizňové okno, což je při silážování poměrně velká nevýhoda. Zrno typu zub rychle dozrává, tudíž je často nutné kukuřici tohoto typu začít sklízet již v době, kdy sušina celé rostliny dosahuje úrovně 28, maximálně 30 %. (Loučka & Tyrolová, 2013)

Termín sklizně může významně ovlivnit kvalitu sklizené kukuřice. Za ideální lze považovat sklizeň při obsahu sušiny celé rostliny 33 %, což bývá, když je mléčná linie zrna ve dvou třetinách výšky zrna. Když byly některé hybridy sklizeny při vyšší sušinitě, projevilo se to negativně ve stravitelnosti vlákniny a kvalitě fermentace – řezanku s vyšší sušinou než 35 % je

nutné mnohem důkladněji na silážním žlabu udusat, než řezanku se sušinou nižší. (Loučka & Tyrolová, 2013)

Pro výrobu siláží se používají stroje zajišťující sklizeň, návoz hmoty do silážních prostor, její řádné rozprostření a udusání, stroje pro mačkání vlhkého zrna, lisování píce do balíků nebo vaků, stroje pro vybírání siláží ze silážních prostor, odvoz a zpracování siláží pro krmení zvířatům, rozdružovače, dopravní prostředky, nakladače, mostní váhy, a další. (Loučka & Tyrolová, 2013)

Studie hodnotila krmnou kukuřici Syngenta Enogen obsahující enzymový znak alfa amylázy ve srovnání s komerčně dostupnou kukuřicí bez enzymového znaku amylázy z hlediska užitkových vlastností rostoucího skotu. Kukuřice byla sklizena buď jako kukuřičná siláž, nebo jako suchá kukuřice a kukuřičná siláž byla dále sklizena se zpracováním jádra nebo bez něj. Plán ošetření byl 2×2+2 faktoriál se 2 hybridy siláže se zpracováním jádra nebo bez něj a dále 40 % suché kukuřice a sena rostoucího v krmné dávce jako kukuřice Syngenta Enogen Feed Corn nebo kontrolní kukuřice. Mezi hybridy siláží a zpracováním jádra nebyly pozorovány žádné interakce. Skot krmený siláží zpracovanou na jádro měl o 6,5 % lepší konverzi krmiva ve srovnání se siláží nezpracovanou na jádro. Při zkrmování kukuřice Syngenta Enogen Feed Corn ve formě suché rolované kukuřice ve srovnání s kontrolní suchou rolovanou kukuřicí nebyly pozorovány žádné statistické rozdíly. Při zkrmování kukuřice Syngenta Enogen Feed Corn ve formě kukuřičné siláže nebo suché válcované kukuřice v rostoucích krmných dávkách nebyl zjištěn žádný přínos. (Brinton et al., 2020)

3.2.4 Sklizeň kukuřice na zrno

Kukuřice na zrno je fyziologicky zralá ke sklizni (žlutá zralost), když obsah sušiny v zrnu dosahuje hodnoty 60 až 62 %. Zrno je tvrdé, lesklé, na bázi má načernalou vrstvu, která signalizuje ukončení ukládání živin. Sklizeň se provádí sklízecími mlátičkami, na nichž se musí provést různé úpravy. Optimální vlhkost je do 30 %. Při vyšší vlhkosti se začíná zvyšovat procento ztrát a poškození zrna a snižuje se výkonnost mlátičky. Vlhkost zrna by neměla překročit 40 %. Zrno po sklizni se musí buď vysušit na standardní vlhkost (14 %), nebo se konzervuje při sklizňové vlhkosti. Využití kukuřičného zrna je velmi široké, a to od krmného užití přes užití ve škrobárenství, dále použití kukuřičného zrna na výrobu bioetanolu až po využití v potravinářském průmyslu. V průmyslu se dále používá ve farmacii, papírenském průmyslu, při výrobě barev a laků, gumárenském průmyslu, kosmetice, při výrobě pesticidů a má další nejmenované využití. (Kůst, 2009)

Sklizené zrniny a olejninu po sklizni procházejí procesem posklizňové úpravy, který na základě zjištěné vlhkosti, obsahu příměsí a nečistot, zahrnuje předčištění, sušení, čištění, aktivní větrání, chemickou konzervaci a protiplísňové ošetření. Cílem posklizňové úpravy je konečná, skladovací vlhkost do 14 % u zrnin, do 8 % u olejnin a zbavení zrna organických a minerálních nečistot. Pro odstranění hrubých nečistot se používají bubnové či válcové předčističky, které pomocí rotačních sít a proudu vzduchu dokážou tyto nečistoty odstranit. Velice důležité je předčištění zrnin, které se budou sušit. Tím dojde k oddělení nejvlhčí části hrubých nečistot a výrazně se snižuje vlhkost zrna pro sušení. Má-li sklizené zrno vlhkost do 14 %, je možno jej po předčištění skladovat. Výkon předčističky je závislý na vlhkosti zrna a stupni znečištění.

Obsluha předčističky musí být seznámena s funkcí stroje, neboť reguluje tok zrna a systémem klapek rychlost vzduchu. Dbá přitom, aby nedocházelo k vytahování zrna do odpadu.

O všech provedených úpravách zboží (sušení, čištění, aktivní větrání, chemické konzervaci, protiplísňových opatřeních, přepouštění a dalších) musí být vedeny příslušné záznamy a evidence, které jsou archivovány po dobu stanovenou vnitřním předpisem.

Převážná část prvovýrobce v ČR je vybavena posklizňovými linkami s předčisticími a čisticími kapacitami a asi polovina je vybavena sušicími kapacitami. Silové sklady mají kompletní čisticí i sušicí kapacitu

Správný moment pro sklizeň kukuřice se posuzuje podle fáze zralosti zrna, tzv. mléčné linie. Tradičně se kukuřice sklízí v době, kdy je mléčná linie mezi polovinou a 2/3 zrna. Pro určení nejvhodnější doby sklizně je potřeba zohlednit i stav porostu a sledovat celkovou sušinu rostlin. Optimální sušina pro sklizeň je 34 %. Pokud je porost sklizen příliš brzy, dojde ke ztrátě velké části krmné hodnoty (nedostatečně uložený škrob v zrnech). Naopak pozdní sklizeň při vysoké sušině přináší problém s vytěsněním vzduchu, což umožňuje rozvoj kvasinek a plísní.

Lignin a nežádoucí přirozené mikroorganismy jsou koncentrovány na bázi stonku kukuřice. V závislosti na kontaminaci spodních částí rostlin a celkovém stavu porostu se doporučuje výška sečení mezi 20–45 cm od země. Délka řezanky se přizpůsobuje dle sušiny celé rostliny. Při optimální sušině se volí délka řezanky 9–12 mm, u systému shredlage 26–31 mm. Důležité je také sledovat stupeň narušení zrna v řezance (v jednom litru řezanky by nemělo být více než jedno nenarušené zrno). (Novotný, 2021)

Nejjednodušší způsob přípravy vlhkého zrna pro jeho dlouhodobé skladování je sušením snížit vlhkost na 14 % a méně. V letních měsících je možné zrno dosušit rozložením v tenké vrstvě a pravidelně jej přehazovat a po dosušení zabezpečit proti hlodavcům a vlhkosti. (Kamler et al., 2013)

Hlavním problémem, který brání většímu využití kukuřice, je vysoký obsah vody v zrnu a pozdní sklizeň. Zatímco jiné obiloviny se sklízí v létě při vlhkosti 13–14 % a v teplých letních dnech samovolně proschnou kdekoli na hromadě, či v pytlích, kukuřice se sklízí až na podzim, kdy se již na pomoc počasí nedá spoléhat. Navíc má zrno kukuřice relativně vysoký obsah vody (kolem 30 %) a bez aktivního sušení hrozí znehodnocení plísněmi. V domácích podmínkách lze sušit celé zavěšené palice či zrno ve velmi tenké vrstvě, což lze využít jen pro malé množství a neřeší problém s využitím kukuřice ve větším měřítku. (Kamler et al., 2013)

Technologie sklizně vlhkého zrna byla vyvinuta na konci šedesátých let ve Finsku a postupně se stala významným způsobem zajištění krmiv pro dobytek. Technologie je využitelná pro všechny obiloviny, ovšem u kukuřice je její použití nejvýhodnější a díky tomuto pokroku patří kukuřice mezi nejefektivnější plodiny. (Kamler et al., 2013)

V principu se jedná o to, že sklizeň probíhá při vyšší vlhkosti než při klasické sklizni na zrno. Neoptimálnější sklizňová zralost je při vlhkosti zrna 35–40 %. Sklizené zrno je možné dále konzervovat v neupraveném stavu pomocí oxidu uhličitého, ošetřovat chemicky, šrotovat a silážovat, případně tyto možnosti kombinovat. (Kamler et al., 2013)

Hlavní průmyslovou metodou sušení semen kukuřice je sušení na klasu, proto se používá komorová sušička zrnitého typu za následujících podmínek: teplota 35–50 ° C, vyfukování komory, rytmický pracovní rozvrh. Odpařování 1 kg vlhkosti z kukuřičného zrna spotřebovává přibližně 8,56 MJ tepla. Účinnost komorové sušárny je 30–35 %, důlní sušárny - 55–60 %.

Moderní technologie sušení umožňují nejen snížit spotřebu tepelné energie, ale také zkrátit dobu procesu.

V první fázi sušení jsou aplikovány zvýšené teploty, protože zárodečná semena v jádru klasu jsou pomalu zahřívána. Vědecké experimenty ukázaly, že zahříváním suroviny na 50 °C se doba sušení snižuje o 7 hodin, výtěžek zrn v zrnech se zvyšuje o 10,9 % a produktivita se zvyšuje o 22,5 % ve srovnání s typickým sušením v obvyklém režimu.

Vzhledem k diferencovaným tepelným podmínkám, výkon sušičky zvyšuje o 20-30 % a ještě více. S postupným zvyšováním teploty se také zvyšuje rychlost sušení zrn. Tyto podmínky jsou nejvýhodnější pro získání vysoce kvalitní sušené kukuřice.

Nejnižší výnos kukuřice na zrno 5,54 t/ha byl v roce 2015 a nejvyšší 9,79 t/ha byl dosažen v roce 2016. V roce 2016 byl výnos kukuřice na zrno více jak dvojnásobně vyšší, což ve finančním vyjádření z 1 ha činí tržbu více jak 37 000 Kč při ceně za 1t kukuřičného zrna 3 800 Kč. (Prokeš, 2017)

AKANTO S260/Z260 je zcela novým hybridem pro rok 2023 určeným pro pěstování také na lehčích půdách ŘVO, OVO a BVO. Špičkově vyvinutá palice s typem zrna ZUB v kombinaci s robustním habitem rostlin zajišťuje produkci kvalitní siláže s vysokým podílem zrna. Typ zrna ZUB špičkově uvolňuje vodu v průběhu zrání při pěstování na suché zrno. AKANTO je špičkovým hybridem s duálním využitím na krmnou siláž, PBS a pro produkci suchého zrna. (saaten-union.cz, online)

S ohledem na vysoký výnos, rychlost uvolňování vody v průběhu zrání a vývoj cen za sušení je AKANTO moderním hybridem ideálním pro pěstování na suché zrno. Nízká vlhkost zrna šetří tisíce korun při jeho dosoušení. Při výnosu suchého zrna 12,9 t/ha a vlhkosti 21,6 % je možné snížit hektarové náklady na sušení až o 4 218 Kč. Náklady na sušení jsou kolem 150 Kč/t/ha. (saaten-union.cz, online)

KABANERO (B3316C) Z300 je novým zrnovým hybridem plně adaptovaným na podmínky pěstování v ŘVO a KVO. Hybrid je středního vzrůstu se středním nasazením výborně dozrnujících palic. Typem zrna je čistý zub. KABANERO (B3316C) výborně uvolňuje vodu v průběhu zrání. Úspora hektarových nákladů na sušení KABANERO při vlhkosti 21,3 % může být až 4 143,- Kč. Palice KABANERO (B3316C) jsou kryty kratšími listeny, které se velmi rychle otevírají, což významně urychluje uvolňování vody ze zrna. Odolnost vůči fusariu klasu je na vysoké úrovni. Případné odnožování rostlin na kvalitních půdách a v humidních podmínkách je geneticky potlačeno stejně jako tvorba sekundárních palic. Díky těmto vlastnostem jsou při nalévání zrna asimiláty ukládány do jedné hlavní palice pro efektivní tvorbu výnosu. Hybrid je výborně adaptován na suché podmínky pěstování a lehčí půdy. (saaten-union.cz, online)

Při sušení čerstvě sklizeného kukuřičného zrna v nově navržené solární bublinkové sušárně, kdy výkon sušičky byl testován při zatížení vzorku 10,87 kg/m² (tenká vrstva), 16,3 kg/m² (střední vrstva) a 21,74 kg/m² (silná vrstva) za dvou podmínek míchání, v intervalech 2 a 3 hodiny. Byly použity odrůdy kukuřice BH-540 a BH-660 o vlhkosti 22-29 % (hm.). V sušárně byl zaznamenán nárůst teploty o přibližně 30 °C vzhledem k okolnímu vzduchu. Potřebná doba sušení byla velmi závislá na zatížení vzorku. K vysušení zrna na 13 % (hm.) vlhkosti v tenké vrstvě bylo zapotřebí přibližně 24 hodin, zatímco v silné vrstvě 39 hodin. Častější míchání zrna (interval 2 h) zkrátilo dobu sušení o 5-17 %. (Asemu et al., 2020)

Při zvyšujících se cenách energií bude kladen větší důraz na úsporu elektrické energie při sušení zrna a to buď výběrem vhodného osiva nebo výkonnými a úspornými sušičkami.

3.3 Alternativní pěstování kukuřice

Optimální systém pěstování kukuřice závisí na pohledu a preferencích pěstitele. Přímý výsev preferují především velké farmy, zatímco malé farmy využívají spíše redukované zpracování půdy.

Přesto, že konvenční systémy přetrvávají jako hlavní proud, i když se zdá, že alternativní tradiční nebo inovativní techniky je v rozhodovacím prostoru s více kritérii překonávají. Např. v Polsku na plochách, kde se pěstuje kukuřice, se za poslední dvě desetiletí více než zdvojnásobila a dosáhla téměř 1 200 000 hektarů, přičemž se dělí 50 na 50 mezi využití na zrno a siláž. V posledních letech se zvýšil zájem o její pěstování na siláž, zejména v severovýchodních oblastech, protože poskytuje dvakrát vyšší výnosy zelené hmoty než jiné krmné obiloviny. Další rozšiřování pěstování kukuřice v monokulturách však zvyšují emise skleníkových plynů (GHG), proto je nezbytné poskytnout nástroje pro hodnocení alternativ. (Król et al., 2018)

Analýza udržitelnosti zemědělských postupů by měla být založena na současném zohlednění ekonomických, environmentálních a sociálních aspektů. To vyžaduje znalosti z různých oborů spolu s metodami na podporu rozhodování, které dokáží zvládnout komplexnost problematiky s přihlédnutím k subjektivnímu významu příslušných cílů a záměrů. Takový rámec poskytují multikriteriální metody s mnoha aplikacemi souvisejícími s udržitelností v zemědělství. (Król et al., 2018)

Zvyšování variability počasí a specifická pěstování kukuřice zaujmou zvláštní pozornost k riziku aproximaci standardní odchylkou zavedenou jako další kritérium jak v případě zisku, tak v dopadech na životní prostředí. Na druhé straně pokrok v behaviorální ekonomice nabízí teoretické základny pro simulaci realistického chování tak, aby odráželo kontext a zvláštnosti tvůrců rozhodnutí. (Król et al., 2018)

Podle Brožkové (2019) je současné pěstování polních plodin, především kukuřice s podsevem krycí plodiny, která buď funguje jako vazač dusíku (leguminóza) anebo jetelovina, jako nenáročný půdní pokryv, otázkou do budoucna. Problémem může být využití biomasy při sklizení podplodiny s kukuřicí. Na siláž je možné využít například lupiny, zrnové kukuřici by neměly vadit i vyšší podplodiny. Setí by mělo přijít především až po vyřádkování kukuřice, která má pomalý počáteční vývoj. Samotné klíčení podplodiny může být problematické, protože při vysetí v květnu již nemusí mít dostupnou vláhu a její vývoj bude značně pomalý. Principem je tedy vytvořit pokryv pod kukuřicí, který jí nebude konkurovat v jejích pomalých počátečních vývojových fázích a zároveň kryje půdu před silným slunečným svitem, čímž se půda tolik nevysušuje. Dalším pozitivem je lepší infiltrace dešťových srážek, jelikož porost lépe stáhne vodu do vrchní části půdy.

Porost funguje jako mulč, který mimo jiné dodává do půdy nezbytně nutnou organickou hmotu a dusík z hlízkových bakterií. Infiltrace vody souvisí s obsahem organické hmoty a dále s retencí vody. Statistická data jsou jasná – obsah organické hmoty v půdách za poslední roky klesá. Často volíme dostupnější minerální hnojiva. Ty mají bohužel negativní vliv na acidifikaci

půdy. Tento trend je patrný na zemědělských půdách za posledních dvacet let. Acidifikace je dlouhotrvající proces, navíc se značným zpožděním. Probíhá dlouho potom, co je odstraněn zdroj acidifikace (oxidy síry z tepelných elektráren, minerální hnojiva). (Brožková, 2019)

Každého pěstitele samozřejmě napadne otázka technologie, jak nejlépe provést setí a jaký bude vliv na celkový výnos? V předešlých článcích jsme psali o pozitivích technologie strip-till, která kromě půdoochranné funkce může snižovat výnos silážní hmoty. U výnosu zrna tato technologie naopak může být výhodnější. Stejně tak i pěstování podplodin nás bude něco stát. Bude to cena osiva, předpokladem je nižší celkový výnos, ale pozitivem nakonec může být množství organické hmoty v půdě, lepší infiltrování srážek a retence vody v půdě. Pěstování podplodin může vytvořit vhodnější půdní podmínky, což se projeví ve vyšších výnosech v době extrémních ročníků. (Brožková, 2019)

3.4 Pěstování kukuřice s podsevem

V roce 2010 byla provedena hodnotící studie v povodí Baresa v Meskan Woreda, zóna Gurage, Regionální stát jižních národů, národností a lidu, jižní Etiopie. Cílem studie bylo vyhodnotit vliv podsevu píce luskovin do kukuřice z hlediska produktivity, nutriční kvality a snášenlivosti. Do kukuřice (BH-540) byly vysety tři pícní luskoviny, a to Vigna čínská (*Vigna unguiculata*), hrachor jarní (*Lablab purpureus*) a vikev (*Vetch dasycarpa*). Pokus byl uspořádán v randomizovaném zcela blokovém uspořádání se třemi opakováními na farmě, na poli tří zemědělců s participativním přístupem. Ošetření s integrací pícnin nemělo významný vliv na výnos zrna a biomasy kukuřice ($P > 0,05$). Mezi jednotlivými ošetřeními nebyl zjištěn rozdíl ($P > 0,05$) v chemickém složení a výtěžnosti hrubého proteinu kukuřičného stébla. Výnos sušiny luštěnin, celkový výnos biomasy se mezi ošetřeními významně lišil ($P < 0,05$). Z testovaných luskovin poskytl vyšší výnos píce hrachor. Výnos celkového hrubého proteinu píce, se mezi ošetřeními významně lišil ($p < 0,05$). Podsev pícních luskovin vedl k vyššímu výnosu celkového hrubého proteinu než čistý osev kukuřice. Vysokého výnosu celkového hrubého proteinu bylo dosaženo v kombinaci s laskavcem (0,94 t/ha) ve srovnání s čistým pěstováním kukuřice (0,60 t/ha). Výtěžnost hrubého proteinu pícnin se mezi jednotlivými ošetřeními významně lišila ($p < 0,05$). Z luskovin, které byly podsevány do kukuřice, byl výnos hrubého proteinu vyšší u hrachoru (0,30 t/ha) ve srovnání s kravským hráškem (0,19 t/ha). Podsev pícních luskovin do kukuřice lze doporučit pro vysoký relativní celkový výnos, vysoký celkový výnos biomasy a zvýšení výnosu živin, zejména hrubého proteinu. Proto se zemědělcům doporučuje podsev laskavce a/nebo vikve do kukuřice, aby se zvýšila dostupnost krmiva v suchém období v povodí Baresa. (Abera, 2012)

V roce 2019 byl studován vliv pěstování kukuřice s podsevem na obsah mykotoxinů v biomase kukuřice v Česku. V roce 2019 byly provedeny maloparcelkové pokusy na dvou lokalitách s různými půdními a klimatickými podmínkami: Žabčice a Troubsko. Do prostoru mezi řádky kukuřice byly podsevány tři varianty meziplodin (žito italské; vikev krmná a směs obou). Kukuřice byla sklížena při obsahu sušiny 35 % na pokusném stanovišti Troubsko a 43 % na pokusném stanovišti Žabčice. Po sklizni kukuřice byly vzorky zelené biomasy (pokrutiny) vysušeny při 60 °C a následně analyzovány na obsah mykotoxinů, jako je deoxynivalenol (DON), aflatoxin (AF,L) a fumonisin (FUM). Průměrný výnos kukuřičných pokrutin se v rámci

jednotlivých ošetření pohyboval od 16,50 do 21,57 t/ha sušiny. Obsahy mykotoxinů z jednotlivých lokalit se statisticky významně lišily, přičemž obě pokusné lokality vykazovaly nejnižší koncentrace AFL v kukuřičných pokrutinách, zatímco průměrné koncentrace FUM a DON byly vždy nejvyšší. Ve většině pozorování dosahovala ošetření s podsevem stejných hodnot jako kontrolní ošetření. Pouze u jednoho ošetření (směs italského žita a krmné vikve) bylo zjištěno zvýšení obsahu AFL (o 0,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Na základě provedených analýz je možné konstatovat, že při zvolené metodice pěstování nebyl zaznamenán nepříznivý vliv podsevu na výskyt mykotoxinů v kukuřičných pokrutinách. Překročené limitní hodnoty pro obsah mykotoxinů v krmivech podle 2006/576/ nebyly zaznamenány. (Kintl et al., 2023)

Současné pěstování polních plodin, především kukuřice s podsevem krycí plodiny, která funguje jako vazač dusíku (leguminóza) anebo jetelovina, jako nenáročný půdní pokryv, je otázkou budoucích let. Problematické však může být využití biomasy při sklizení podplodiny s kukuřicí. Na siláž je možné využít například lupiny, zrnové kukuřici by neměly vadit i vyšší podplodiny. Setí by mělo přijít především až po vyřádkování kukuřice, která má pomalý počáteční vývoj. Samotné klíčení podplodiny může být problematické, protože při vysetí v květnu již nemusí mít dostupnou vláhu a její vývoj bude značně pomalý. Principem je tedy vytvořit pokryv pod kukuřicí, který jí nebude konkurovat v jejích pomalých počátečních vývojových fázích a zároveň kryje půdu před silným slunečným svitem, čímž se půda tolik nevysušuje. Dalším pozitivem je lepší infiltrace dešťových srážek, jelikož porost lépe stáhne vodu do vrchní části půdy. (Tomášek, 2019)

Požadovaný výnos je významně ovlivněn výskytem plevelů, a to zejména v počáteční fázi růstu porostu kukuřice. Plevelná společenstva mají nepříznivý vliv na rozvoj plodin a při vyšší intenzitě zaplevelení významně ovlivňují dosažené výnosy. O výskytu jednotlivých druhů plevelů v porostech rozhoduje především její zařazení v rámci osevního postupu, tedy vliv předplodiny, způsob ošetřování předplodiny, míra jejího zaplevelení a také používané přípravky. Do systému ochrany porostu před zaplevelením patří agrotechnická opatření (podmítka, orba, předseťová příprava půdy). Tento postup se využívá při tradičním konvenčním způsobu zakládání porostu kukuřice, kdy vlivem časového odstupu mezi jednotlivými pracovními operacemi došlo ke zničení velké části vzcházejících rostlin plevelů. (Kintl et al., 2021)

Kukuřice má poměrně nízkou konkurenceschopnost a je značně náchylná na zaplevelení. Seje se do širokých řádků (70 cm a více), její počáteční vývoj je poměrně pomalý a zapojování porostu trvá dlouho. Ve fázi 10. až 12. listu se zapojení kukuřice pohybuje okolo 60 až 70 % a dosahuje výšky v rozmezí od 90 do 130 cm. V této fázi má již poměrně vysokou konkurenceschopnost, i když k plnému zapojení porostu dochází až později (na začátku kvetení). Fáze 10. až 12. listu, kdy se u kukuřice značně zvyšuje konkurenceschopnost, dosahuje až cca po 40 až 50 dnech, což dává velký prostor pro rozvoj plevelů. (Kintl et al., 2021)

Výhodou nevymrzajících jetelovin je obnovení vegetace vjarním období, kdy půdně klimatické podmínky neumožňují jakýkoli agrotechnický zásah. Brzký jarní rozvoj umožní využití živin uvolněných během zimního období, produkci nadzemní a podzemní biomasy, biologickou fixaci dusíku a podpoří půdně biologické procesy, které se odrazí na stabilitě půdních agregátů daného pozemku před založením porostu samotné kukuřice seté. Jelikož je kukuřičné zrno důležitou komoditou pro průmysl, potravinářství, krmivářství a v neposlední

řadě i fytoenergetiku, představuje tato technologie zajímavou možností, jak snížit negativní dopady současných pěstitelských technologií na životní prostředí a posunout celý obor zemědělství k udržitelným postupům. (Kintl et al., 2021)

Pro zakládání podsekových plodin do meziřadí kukuřice je možné zvolit dva postupy. První způsob předpokládá setí podsekové plodiny zároveň s hlavní plodinou. K tomuto účelu byl v minulosti využíván upravený secí stroj SPC-6 opatřený výsevní skříní a secími botkami pro současný výsev kukuřice s ozimým žitem, lze využít i secí stroj Becker Aeromat II, upravený pro současný výsev kukuřice a ozimého žita se dvěma obilnými výsevními skříněmi a dvěma obilnými botkami. Tímto způsobem byla do každého druhého meziřadí založena podseková plodina v jednom či ve dvou řádcích. (Kincl et al., 2021)

Určitá nevýhoda tohoto přístupu se ukázala krátce po zasetí v chladnějším období. Kukuřice vlivem nižší teploty je růstově omezena. Mohou nastat problémy s konkurencí a přerůstáním hlavní plodiny, proto je nutné zvolit vhodný způsob zakládání podsekové plodiny.

Pozdější setí podsevu do kukuřice bývá založen na termínově pozdějším zakládání podsevu a je spojen s pracovní operací plečkování. Vhodné období k tomuto zásahu se ukazuje začátek 4. týdne, kdy kukuřice dosahuje okolo 15 cm a má vyvinuty alespoň 3 listy. Abychom byli schopni tento technologický postup zvládnout, bylo nezbytné vyvinout potřebnou techniku. (Kincl et al., 2021)

Výsledky ukázaly odlišnou dynamiku růstu, produkci biomasy u různých druhů plodin podsetých do kukuřice a jejich pokryvnost. U jílku italského (*Lolium multiflorum ssp. Italicum*), svazenky vratičolisté (*Phacelia tanacetifolia*) a žita setého (*Secale cereale*) byl zjištěn rychlý nárůst a vysoká produkce biomasy. Z jetelovin se osvědčil jetel inkarnát (*Trifolium incarnatum*). U těchto druhů dosáhla produkce suché hmoty více než 0,5 t/ha již za čtyři až šest týdnů po výsevu a pokryvnost těchto podsevů se blížila k 100 %. Výzkum ukázal, že pěstování kukuřice s podsekovými plodinami může být perspektivní technologie uplatnitelná na svažitých pozemcích, kde hrozí vodní eroze, aniž by docházelo k poklesu výnosu u kukuřice. Důležitý je též vhodný termín výsevu podsekových plodin ve fázi třetího až čtvrtého listu kukuřice. (Smutný et al., 2020)

Meziplodiny mohou usnadnit přístup k limitujícím půdním živinám pro jednu z plodin v systémech s omezeným obsahem dusíku a potlačit plevele na orné půdě v plodinách se špatnou kompetitivní schopností plevelů. Zejména meziplodiny s luštěninami vázajícími dusík jako nesklizené servisní plodiny zapracované do půdy jako zelené hnojení a pěstované pro poskytování ekosystémových služeb spíše než pro přímý ekonomický přínos byly navrženy jako přínosné pro agroekosystémy mírného pásma. Meziplodiny luštěnin v obilovinách dále usnadňují dostupnost květinových zdrojů pro opylovače a zvyšují rozmanitost vegetace, což se ukázalo jako přínosné pro přirozené nepřátele a snižuje hustotu škůdců. (Boetzel et al., 2023)

Meziplodiny obilovin nebo luskovin na zrno s kvetoucími luskovinami občas prokázaly příznivé účinky na funkční biodiverzitu a ekosystémové služby, ale obvykle za cenu snížených výnosů. U kukuřice se ukázalo, že meziplodiny s květinovou směsí včetně luštěnin prospívají celkové biodiverzitě členovců i společenstvu opylovačů, ale snižují výnosy o 30–50 % kvůli konkurenci v raných vývojových fázích kukuřice. Kromě potenciální ztráty výnosů může meziplodina s užitkovými plodinami obsahovat také další rizika. Navzdory snížení chorob rostlin způsobeným meziplodinami luskovin v obilninách ve většině studií mohou meziplodiny luskovin někdy fungovat jako rezervoáry pro půdní patogeny následně pěstovaných luskovin.

Obslužné plodiny luskovin mohou také zvýšit hustotu škodlivých hád'átek, které se živí kořeny. Ukázalo se však, že podsévání jetelů a jiných luskovin v obilninách potlačuje plevely na orné půdě, podporuje dodávku dusíku a zvyšuje výnos obilovin v následujícím roce. Dříve uváděné přínosy i potenciální rizika a nevýhody meziplodinových systémů však pocházejí především z malých studií, které se zaměřovaly na jeden nebo omezený soubor aspektů příslušného pěstebního systému. Zejména meziplodinové systémy mírného pásma jsou zatím nedostatečně prozkoumány a přesvědčivé, chybí integrační posouzení více aspektů těchto systémů. (Boetzel et al., 2023)

3.4.1 Leguminózy

Luskoviny (leguminózy) jsou výživným a levným zdrojem bílkovin, které hrají zásadní roli v zemědělství díky své schopnosti vázat atmosférický dusík. Tyto odlišné charakteristiky rozšiřují jejich adaptabilitu na prostředí, která mají nedostatek dusíku. Luštěniny jsou zranitelné vůči několika abiotickým hrozbám a sucho je známé jako hlavní omezení omezující výnos plodin. Luštěniny se běžně pěstují v oblastech s výskytem dešťů a různé modely (Global Climate Model) předpovídaly zvýšení frekvence a intenzity sucha, což naznačuje hrozbu nedostatku vody. Nedostatek vody v jakékoli fázi může ovlivnit růst rostlin v důsledku snížení produkce plodin, zejména během zrání zrna a reprodukční fáze. Četnost a závažnost sucha omezují výnos zrna, rostlinnou biomasu a příbuzné složky luskovin. Rozsah poklesu výnosu závisí na intenzitě a délce trvání stresu suchem, vývojové fázi plodiny a genotypové variabilitě. Proto je vývoj nových přístupů ke zlepšení odolnosti luštěnin vůči suchu zásadní pro snížení ztrát na výnosech v prostředích s nedostatkem vody. Vývoj odrůd odolných vůči suchu se zlepšenou účinností využití vody může vést ke zvýšení produktivity plodin v suchých oblastech. (Nadeem et al., 2019)

Podstatný vývoj a integrace pokročilých přístupů pro suchá prostředí jsou primárními prvky, které přispívají ke zvýšené produktivitě luštěnin v drsném prostředí. Slibnými způsoby, jak zmírnit ničivé účinky sucha, jsou přístupy, jako je vývoj různých vlastností pro toleranci sucha, inovativní chov a postupy efektivní z hlediska vody, například použití kapkového zavlažování a mulčování. Nepříznivé účinky sucha na několik dalších plodin byly již dříve přezkoumány, ale není k dispozici žádná aktualizovaná a komplexní studie o dopadech stresorů sucha na luštěniny. Studie o účincích, mechanismech a strategiích řízení může vést ke zvládnutí ničivých účinků stresorů sucha, a k rozvoji genotypů odolných vůči suchu v suchých prostředích. (Nadeem et al., 2019)

Luštěniny se liší ve svých reakcích/citlivosti na začátku sucha, ale ve všech případech je konečný výnos významně snížen. To souvisí se sníženou klíčivostí a sníženou fotosyntetickou aktivitou, sníženou translokací asimilátů a fixací uhlíku, sníženou dobou kvetení a účinkem na reprodukční orgány, sterilitou pylového zrna, menším počtem lusků a nižší sadou zrna a poklesu aktivity klesání. Sucho ovlivňuje několik aspektů růstu a vývoje luštěnin, včetně klíčení, vývoje výhonků a kořenů, fotosyntézy a reprodukčního stádia. V důsledku globální změny klimatu se sucho stalo jedním z nejvíce nekontrolovaných a nepředvídatelných faktorů, který neustále omezuje produkci plodin a má nepříznivé účinky na luštěniny (obrázek 1). Studie ukázaly, že podmínky silného sucha narušují morfologii, fyziologii a vegetační období rostlin, zatímco obsah vlhkosti hraje zásadní roli v aktivaci enzymů během klíčení, což by mohlo pomoci

objasnit citlivost rostlin na sucho ve fázi klíčení. Klíčení a reprodukční fáze jsou vysoce citlivé na nedostatek vody. Při stresorech sucha byla rychlost klíčení u sóji významně snížena. (Nadeem et al., 2019)

V poslední době je nejoblíbenější zemědělskou praxí pěstování kukuřice v monokulturách na velkých plochách zemědělské půdy. To je důvod, proč pěstování kukuřice v Evropě čelí některým výzvám týkajícím se nízké biologické rozmanitosti zemědělských ekosystémů. V poslední době se přístup k meziplodinám kukuřice s jinými plodinami stal důležitým problémem, protože zvyšuje biodiverzitu polí s důsledky pro rostlinnou výrobu. Autoři studovali systém meziplodin kukuřice s jetelem bílým a lupinou bílou. Jetel bílý je jednou z alternativních luštěnin pro výrobu bioplynu. Tento druh se používá především jako krmná plodina, plodina zlepšující půdu na méně úrodných půdách a plodina na zelené hnojení. (Lan et al., 2023)

Simultánní meziplodiny se v poslední době staly běžnou agronomickou praxí na podporu produkce cílových druhů plodin. Tyto dva přístupy ovlivňují agronomickou výkonnost cílové plodiny, produkci sušiny, rozdělování a výnos zrna. Mezi nejčastěji používané kombinace v meziplodinách patří obiloviny a luštěniny, s asociací kukuřice. Potenciální využití čeledi Fabaceae pro udržitelnost zemědělské půdy bylo přezkoumáno v několika studiích, které se zaměřily na účinky hustoty porostu a návrhů meziplodinového systému na produkci plodin. (Lan et al., 2023)

Parametry fluorescence chlorofylu se rutinně používají k indikaci omezení fotosyntetického aparátu, zejména fotosystému II (PSII), v reakci na různé biotické a abiotické stresory. U plodin je zvláštní pozornost věnována stresu ze sucha, jeho vlivu na efektivní kvantový výnos PSII a fotosyntetické parametry. (Lan et al., 2023)

Mezi nedávno používanými technikami fluorescence chlorofylu používanými ve výzkumu plodin se stále častěji používají rychlé přechody fluorescence chlorofylu, protože jsou neinvazivní, rychlé a umožňují nám shromažďovat a analyzovat velké soubory dat v rozumném časovém rámci. Rychlé přechody fluorescence chlorofylu se měří v plodinách, aby se vyhodnotily charakteristiky rychlé přechody fluorescence chlorofylu a daly je do souvislosti s konkrétními hnacími faktory ovlivňujícími primární fotosyntetické procesy v listech. V tomto pojetí se v posledních několika desetiletích nashromáždilo více důkazů o negativních účincích stresu ze sucha, stresu ze slanosti, vysokoteplotního stresu a stresu z těžkých kovů. (Lan et al., 2023)

3.4.2 Podsev kukuřice leguminózy

Intenzifikace a diverzifikace plodin zavedením luštěnin jako meziplodin by mohla zmírnit problémy s nízkými vstupy dusíku, nízkým výnosem plodin a nízkou produktivitou půdy. Vzhledem k tomu, že existují různé plodiny a osevní systémy, zejména ve svažitých podmínkách, je potřeba využití řady možností meziplodiny.

V jihoafrickém venkovském regionu, který se vyznačuje nadměrným spásáním a sníženou kapacitou pastvy, byl proveden polní pokus na farmě. Travní porost na kyselé půdě poskytuje chutný materiál pouze během šestiměsíčního vegetačního období. Pokus byl proveden s cílem posoudit vliv meziplodin kukuřice s lablabem na výnos kukuřice jako píče, výnos zrna a kvalitu, sociální a ekonomické aspekty. Výsledky ukázaly převahu meziplodin

nad jedinou plodinou, přičemž ošetření meziplodinami vykazovala konzistentní převahu. Výnosy zrna kukuřice a krmiva byly pozitivně ovlivněny pěstováním meziplodin s hrachem. Výnosy kukuřice na pícniny a celkové výnosy pícnin byly vyšší na pozemcích s meziplodinami než na pozemcích s jedinou kukuřicí. Výnos sušiny zrna kukuřice z první sklizně v porostu s pouze kukuřicí nebyl významně vyšší než v porostu kukuřice + hrachor. Meziplodina významně zvýšila obsah hrubého proteinu v listech kukuřice a snížila obsah vlákniny v listech. Obsah hrubého proteinu byl nižší a obsah vlákniny vyšší. (Mthembu, 2018)

Poptávka po potravinách roste a schopnost konkrétní půdy podporovat udržitelnou produkci potravin závisí na řadě biochemických, chemických a fyzikálních parametrů půdy. Problém však spočívá v tom, že dopady nového způsobu hospodaření na vlastnosti půdy mohou být vyhodnoceny až po několika letech. Autoři zkoumali vliv dlouhodobého střídání plodin (založeného v roce 2001) na ukazatele půdního zdraví z půd v monokulturním, dvouletém a tříletém střídání plodin s krycí plodinou a bez ní. Porovnávali ukazatele půdního zdraví v osmi osevních postupech s jetelem červeným (*Trifolium pretense L.*). Měřili jsme deset ukazatelů půdního zdraví získaných z pšeničné fáze rotace. Střídání plodin mělo větší vliv na ukazatele půdního zdraví než krycí plodiny. Po 17 letech byly výnosy plodin ve dvouleté a tříleté rotaci o 23-28 % vyšší než v monokultuře s podsevem jetele červeného. Při absenci červeného jetele byly výnosy u dvouleté a tříleté rotace o 32-39 % vyšší než u monokultury. Ukazatele půdního zdraví však byly významně vyšší u monokulturní než u dvouleté a tříleté rotace. Tyto výsledky naznačují, že podsev zlepšil zdravotní stav půdy, zatímco rotace plodin se sójou negativně ovlivnila většinu biochemických ukazatelů půdního zdraví. (Agomoh et al., 2019)

Konvalina et al. (2008) uvádějí, že vhodným střídáním plodin lze udržet a zlepšit přirozenou úrodnost půdy, stabilizovat procesy humifikace a mineralizace, zvýšit využitelnost vody a živin, mikrobiální aktivitu půdy, příjem dusíku, potlačit napadení kulturních rostlin chorobami a škůdci, omezit konkurenci plevelných rostlin, regulovat účinek růstových látek zposklizňových zbytků, zvýšit biodiverzitu a stabilitu agroekosystému a zefektivnit produkci. Osevní postup jako preventivní racionální opatření vede ke zvýšení výnosů o 5 - 20 % a omezuje nutnost použití materiálových vstupů.

Napadení plevely významně snižuje růst a výnos polních plodin. Herbicidy se většinou používají k regulaci plevelů díky svým rychlým výsledkům. Všude ve světě však rychle přibývá rezistentních biotypů vůči dostupným herbicidům. Tato situace vyžaduje vývoj alternativních strategií pro regulaci plevelů. Střídání plodin a alelopatické vodní extrakty jsou považovány za nejdůležitější alternativní strategie regulace plevelů. Studie autorů Shahzad et al. (2021) hodnotila vliv různých ročních střídání plodin podle vzájemného působení strategií regulace plevelů na napadení plevellem a produktivitu plodiny pšenice. Pšenice byla pěstována v pěti rotacích, tj. úhor-pšenice, rýže-pšenice, bavlna-pšenice, pšenice-mungo a čirok-pšenice. Do studie byly zahrnuty strategie regulace plevelů, jako např. falešný osevní postup, aplikace 12 l ha⁻¹ alelopatických rostlinných vodných extraktů (poměr 1:1:1:1 čiroku, slunečnice, moruše a eukalyptu), aplikace herbicidů, bezplevelná (regulace plevelů) a plevelná kontrola (bez regulace plevelů). Aplikace herbicidů byla nejúčinnějším ošetřením při snižování hustoty a biomasy plevelů, následovaná falešným osivem, zatímco alelopatické vodní extrakty z plodin byly nejméně účinné. Nejnižší zaplevelení bylo zaznamenáno v rotaci čirok-pšenice, následované bavlnou-pšenice a pšenicí-mungo, zatímco úhor-pšenice vykazoval nejvyšší zaplevelení. Ošetření s plevellem-kontrolou způsobilo výrazné snížení růstu a výnosu pšenice,

zatímco nejvyšší výnos zrna byl zaznamenán u ošetření bez plevelů a aplikace herbicidů. Výnos zrna pšenice vysazené po čiroku byl potlačen; výnos se však zlepšil, když byla pšenice vysazena po mungo. Nejlepší strategií je výsadba pšenice po mungo v prostředí bez plevelů, které se dosáhne chemickými a/nebo mechanickými prostředky. (Shahzad et al., 2021)

3.4.3 Význam leguminóz jako podsevu

Škodlivé účinky plevelů zahrnují inhibici růstu plodin, zvýšené náklady na ochranu, sníženou kvalitu zemědělských produktů, sníženou kvalitu živočišných produktů, zvýšené výrobní náklady, sníženou efektivitu sklizně a zvýšené náklady na zpracování, což má dopad na vodní hospodářství a lidské zdraví. Existuje mnoho negativních aspektů plevelů, ale jedním z nejdůležitějších je jejich negativní vliv na fyzikální a technické vlastnosti osiva, což je oblast, která byla dosud velmi málo studována. (Karimmojeni et al., 2021)

Plevele mění fyzikální a technické vlastnosti, geometrický průměr, kulovitost a tři osové rozměry semen, objemovou hmotnost, délku, šířku a tloušťku, koeficient tření a poměr stran, semen plodin a mohou způsobit snížení účinnosti strojů a ztráty produktů. Mnoho problémů při konstrukci zemědělských strojů souvisí s fyzikálními a technickými vlastnostmi plodin a analýza chování produktů během zemědělských zpracovatelských operací, jako je manipulace, sázení, sklizeň, mlácení, čištění, třídění a sušení, je pro řešení tohoto problému zásadní. Tyto vlastnosti jsou důležité při konstrukci skladovacích zařízení pro volně ložené produkty a při výpočtu meziproductové kapacity zásobníků. Problémy spojené s návrhem zásobníků nelze přičítat neshodám mezi filozofiemi návrhu, ale spíše vážnému nepochopení některých vlastností zrna a jejich vztahu k návrhu zásobníků. (Karimmojeni et al., 2021)

Hlavní osové rozměry zrn kukuřice jsou užitečné při výběru síťových separátorů a při výpočtu potřebného výkonu během procesu mletí kukuřice. Lze je také použít k výpočtu plochy povrchu a objemu zrn, které jsou důležité při modelování, sušení, provzdušňování a zahřívání semen. Schopnost toku semen kukuřice se obvykle měří pomocí úhlu odlehčení (míra vnitřního tření mezi jádry), který je užitečný při navrhování zásobníků, protože úhel sklonu stěny zásobníku by měl být větší než úhel odlehčení, aby byl zajištěn plynulý tok materiálu gravitací. (Karimmojeni et al., 2021)

Velikost jednotlivých semen hraje rovněž významnou roli v kvalitě klíčení semen. U holubího hrachu bylo zaznamenáno vyšší procento klíčivosti a vzcházení na poli u semen velkých rozměrů. Tyto vlastnosti jsou ovlivněny řadou faktorů, jako je velikost, tvar, vlhkost zrna a odrůdy. Sandhu a jeho kolegové prokázali, že hmotnost 1000 zrn a objemová hmotnost se významně lišily podle odrůd kukuřice. Bylo popsáno mnoho studií o fyzikálních vlastnostech plodů, zrn a semen, například rýže seté nebo kukuřice, ale žádná podrobná studie týkající se vlivu plevelů na fyzikální a technické vlastnosti osiva kukuřice nebyla provedena. (Karimmojeni et al., 2021)

Produkce energetických plodin pro výrobu bioplynu se stále opírá především o kukuřici, ale kofermentace alternativních energetických plodin (luskoviny, amarant, žito, květinové směsi) s kukuřicí může mít několik výhod, jako je větší biodiverzita na polích, obohacení substrátů pro výrobu bioplynu o základní stopové prvky (kobalt, nikl, mangan a molybden) a nižší používání umělých přísad stopových prvků. (Fahlbusch et al., 2018)

Vysokých výnosů sušiny bylo dosaženo u žita, kukuřice, ozimého bobu kukuřice, meziploidy ozimý bob/tritikale-kukuřice a meziploidy žito/veterán-kukuřice. Nejvyšších celkových výnosů (cca 30 t sušiny ha⁻¹) bylo dosaženo u dvojseči s kukuřicí. Celkové dodávky prvků ze sklizně odhalují velké rozdíly mezi variantami a stopovými prvky. Nejvíce kobaltu dodává kukuřice s bobem letním a meziploidy bob ozimý/tritikale-kukuřice. Největší množství manganu a molybdenu může bioplynovým stanicím dodat jilek. Pokud se tyto energetické plodiny přidají ke konvenčnímu vstupu kukuřice pro výrobu bioplynu, lze výrazně zvýšit koncentraci stopových prvků ve fermentoru, např. lze dosáhnout 0,03 g Co t⁻¹ FM ve srovnání s 0,003 g t⁻¹ při vstupu pouze kukuřičné siláže. Dostatečné množství kobaltu lze zajistit přidávkou kejdry do vstupní směsi. (Fahlbusch et al., 2018)

Krycí plodiny se hojně využívají ke zvýšení množství organického uhlíku (C), který se vrací do půdy mezi pěstováním plodin. Kořeny hrají důležitou roli při zvyšování obsahu organického uhlíku v půdě, ale vlastnosti kořenů, které ovlivňují organický uhlík v půdě, se pravděpodobně u jednotlivých druhů krycích plodin značně liší a tyto rozdíly je třeba ještě charakterizovat. V poslední době se rozšířila obliba směsí krycích plodin jako způsobu, jak zvýšit rozmanitost přínosů krycích plodin. Při testování byla odebrána kořenová jádra z míst v řádku a mezi řádky do hloubky 40 cm z krycích plodin vysazených po ozimé pšenici během vegetační sezóny 2016-2017. Tyto vzorky byly odebrány z většího pokusu s ekologickou rotací kukuřice, sóji a pšenice ozimé (2012-2018), který se nachází ve střední Pensylvánii v USA. Pokryvné plodiny zahrnovaly monokultury tritikale (*X Triticosecale Wittmack cv. 'Trical 815'*), řepky (*Brassica napus L. cv. 'Wichita'*), jetele karmínového (*Trifolium incarnatum L. cv. 'Dixie'*) a směs pěti druhů, v níž dominovaly tyto tři druhy. Kromě toho byly vyhodnoceny kumulativní vstupy uhlíku pro celou rotaci, aby se určil podíl krycí plodiny a kořenových plodin na tvorbě uhlíku. Vertikální a horizontální rozložení kořenové biomasy uhlíku, poměr kořenů k výhonkům (R:S) a poměr uhlíku v kořenech k dusíku (C:N) se u jednotlivých ošetření krycími plodinami lišily. Tritikale produkovalo více kořenové biomasy v meziřádkovém prostoru ve všech hloubkových intervalech ve srovnání s ostatními ošetřeními krycími plodinami. Směs pěti druhů měla na jaře 2017 více celkové kořenové biomasy v hloubce 0-5 cm a v meziřádku 0-5 cm než jetel karmínový. Kořeny krycí plodiny a peněžní plodiny zvýšily kumulativní odhad C o 37 % (jetel karmínový) až 46 % (tritikale) ve srovnání se samotnými výhonky C. Informace o vlastnostech kořenů krycí plodiny mohou informovat o přínosech podpovrchových plodin z kombinace různých druhů do směsí krycích plodin. Jetel karmínový produkoval méně kořenové biomasy, povrchové kořenové biomasy a meziřádkové kořenové biomasy než ostatní krycí plodiny. Kombinace jetele karmínového s trávou a některými druhy kapustovitých proto může zlepšit celkovou produkci kořenové biomasy a rozložení kořenů ve srovnání s monokulturami jetele karmínového, zatímco poměr C:N v kořenech se ve srovnání s monokulturami travních druhů snížil. Směs pěti druhů vedla k většímu kumulativnímu přívodu uhlíku ve srovnání s monokulturou ošetřením, což bylo způsobeno větším množstvím biomasy C krycí plodiny a jejím vlivem na biomasu C následující plodiny kukuřice. (Amsili & Kaye, 2018)

3.5 Účinky kukuřičného oleje na lidské zdraví

Rostlinné oleje se díky svým chuťovým vlastnostem, a zejména pak panenské oleje i příznivým účinkům na lidský organismus, staly nedílnou součástí kuchyně. Rostlinné tuky se

nacházejí především v semenech a plodech. Lisují se z nich za studena nebo za tepla, mohou se extrahovat organickými rozpouštědly s nízkou teplotou varu. Rafinovaných olejů nabízí trh celou řadu, panenské oleje zatím moc rozšířeny nejsou – celkem běžný je olivový, slunečnicový, řepkový a sójový, ostatní druhy musíme hledat v obchodech se zdravou výživou.

Velice kvalitní oleje se vyrábějí tradičními postupy, při kterých se semínka nebo plody lisují za studena a patří do vyšší cenové kategorie. Barvu a chuť olejů ovlivňuje způsob přípravy. Tmavé oleje, nerafinované, mají silnou vůni a přirozenou chuť semen, z kterých byly vyrobeny, rafinované oleje se v procesu přípravy filtrují, čistí, a dokonce bělí, a tak jsou průzračné, bez výraznější vůně a chuti. Nazelenalý bývá většinou olivový olej nižší kvality.

Kukuřičný olej má jemnou měkkou chuť připomínající praženou kukuřici. Je bohatý na vitaminy skupiny B, brzdí procesy kvašení v žaludku a podporuje trávení. Pomáhá na slabé popáleniny a popraskané rty.

Kukuřice je jedním z hlavních zdrojů potravin na světě. Kukuřice obsahuje významné množství bioaktivních sloučenin, které poskytují žádoucí zdravotní výhody nad rámec její role jako hlavního zdroje potravin. Vedle kukuřičného zrna je kukuřice cukrová považována za jednu z nejoblíbenějších zelenin v Severní Americe a Číně a její obliba ve světě rychle roste. Sladká kukuřice patří mezi šest nejčastěji konzumovaných druhů zeleniny ve Spojených státech. Konzervovaná a mražená sladká kukuřice je mezi zeleninou konzumovanou ve Spojených státech na třetím místě, hned za konzervovanými rajčaty a mraženými bramborami. (Siyuan et al., 2018)

V souladu s novými spotřebitelskými trendy potravinářský průmysl hledá neustále levnější a udržitelné zdroje pro výrobu olejů jako složku potravin. Kukuřice je hlavní plodinou na celém světě a v mnoha zemích se konzumuje jako základní potravina. Přestože kukuřice obsahuje pouze asi 3-6 % oleje, což je méně než má většina olejnatých semen, je hojně využívána jako olej na vaření, smažení, jako olej do studené kuchyně nebo jako přísada pro přípravu dalších výrobků, jako je margarín, máslo, pochutiny a pečivo. Kukuřičný olej z klíčků je spotřebiteli upřednostňován pro svou příjemnou chuť, lehkou jemnou vůni, obsah zdravých mastných kyselin a dobré fyzikální a chemické vlastnosti. Kromě toho je kukuřičný olej prospěšný pro lidské zdraví, protože kukuřičný olej obsahuje až 65,5 % kyseliny linolové a další bioaktivní látky, včetně sterolů (β -sitosterol, kampesterol a stigmasterol), fenolových kyselin a flavonoidů. (Zhao & Chen, 2023)

Fytochemikáliím kukuřice byla dříve věnována menší pozornost než fytochemikáliím ovoce a zeleniny. Konzumace kukuřice a dalších celozrnných výrobků je spojována se snížením rizika chronických onemocnění včetně kardiovaskulárních chorob diabetu 2. typu, obezitou, některými druhy rakoviny a se zlepšením zdraví trávicího traktu. (Siyuan et al., 2018)

Byly dobře popsány zdraví podporující účinky fytochemikálií ovoce a zeleniny, včetně antioxidantních aktivit a antiproliferativních aktivit. Zdravotní přínosy celých zrn však byly dlouho podceňovány. Celá zrna se skládají z neporušených, rozemletých, popraskaných nebo vločkových klasů, v nichž jsou hlavní složky, škrobový endosperm, klíček a otruby, zastoupeny ve stejném relativním poměru, jaký existuje v neporušeném klasu. Zdravotní přínosy kukuřice neplynou pouze ze základních živin, jako jsou sacharidy, vitaminy a minerální látky, ale také z jejich jedinečných fytochemikálií, jako jsou fenolické kyseliny. Mezi hlavní složky kukuřičného zrna patří endosperm, klíček a otruby a každá z nich obsahuje odlišný fytochemický profil. Vedle zdraví prospěšných látek, jako je amyláza v endospermu kukuřice,

se v kukuřičných otrubách a klíčcích nachází ve vysokých koncentracích celá řada fytochemikálií, jako jsou celkové fenolické látky a fenolické kyseliny (kyselina vanilová, syringová, kurmarinová, ferulová a kávová). Adom & Liu et al. zjistili, že většina fytochemikálií v kukuřici s příznivými účinky na lidské zdraví je zastoupena v otrubách a klíčku, nikoli v endospermu, přičemž přibližně 87 % celkového obsahu fenolických látek (TPC) je zastoupeno v otrubách a klíčku. Kukuřičná mouka s rozemletými klíčky, endospermem a otrubami tedy obsahuje více bioaktivních látek než rafinovaný kukuřičný škrob a rafinovaný kukuřičný olej. (Siyuan et al., 2018)

Všechny druhy kukuřice jsou bohaté na vlákninu, vitaminy (A, B, E a K), minerální látky (hořčík, draslík a fosfor), fenolové kyseliny a flavonoidy, rostlinné steroly a další fytochemikálie (lignin a vázané fytochemikálie). Různé odrůdy kukuřice však obsahují výrazně odlišné fytochemické profily, pokud jde o flavonoidy a karotenoidy. Modrá, červená a fialová kukuřice mají vyšší koncentraci antokyanidinů (až 325 mg/100 g DW kukuřice), včetně derivátů kyanidinu (75-90 %), derivátů peonidinu (15-20 %) a derivátů pelargonidinu (5-10 %). Žlutá kukuřice je bohatá na karotenoidy (až 823 µg/100 g DW kukuřice) včetně luteinu (50 %), zeaxanthinu (40 %), β-kryptoxanthinu (3 %), β-karotenu (4 %) a α-karotenu (2 %). Kukuřice s vysokým obsahem amylozy je bohatá na amylozu (až 70 % všech sacharidů). Konzumace kombinovaných různých odrůd kukuřice proto poskytuje širokou škálu fytochemikálií s optimálním výživovým přínosem kukuřice. Aditivní a synergické účinky bioaktivních látek v kukuřici a dalších celozrnných obilovinách spolu s mnoha dalšími živinami a fytochemikáliemi v ovoci a zelenině mohou být zodpovědné za jejich zdravotní přínos při snižování rizika chronických onemocnění. Od roku 1995 se doporučovalo denně konzumovat 6-11 sedmin obilných výrobků, ve výživových doporučeních z roku 2005 byla poprvé zmíněna konzumace celých zrn a v nejnovějších výživových doporučeních pro Američany z roku 2015 se doporučuje konzumovat více než 170 g zrn denně, přičemž polovina z nich by měla být v celozrnné formě. Průměrný příjem celých zrn ve Spojených státech je však nižší než jedna porce denně a 90 % Američanů nespĺňuje doporučení pro konzumaci celých zrn. (Siyuan et al., 2018)

Obsah lipidů v kukuřici činí v průměru 4 % a většina z nich je vázána na klíčkovou frakci. Byly vyšlechtěny genotypy kukuřice s vysokým obsahem oleje (HOC) přizpůsobené mírným a subtropickým oblastem, které obsahují až 8 % oleje. Průmyslově se olej získává z koproduktů z klíčků obsahujících 25-50 % oleje, které se získávají při suchém nebo mokřém mletí. Vzniklý surový olej se dále rafinuje postupnými kroky degumace, neutralizace, bělení, zazimování a deodorizace a rafinované oleje se přímo používají nebo se alternativně zpracovávají hydrogenací, frakcionací a interesterifikací. Kukuřičný olej je mírně nažloutlý, s jemnou a charakteristickou vůní a chutí. Představuje významný zdroj menších bioaktivních lipidů, jako jsou fytosteroly, tokoferoly, tokotrienoly a karotenoidy. Kukuřičný olej obsahuje vysoké množství kyseliny linolové, která je nezbytná pro metabolické funkce. Druhou hlavní mastnou kyselinou je mononenasyčená kyselina olejová, která se v některých HOC téměř vyrovná množství kyseliny linolové, což otevírá možnost vývoje nových odrůd s vysokým obsahem kyseliny olejové. Z rostlinných olejů má kukuřičný olej relativně vyšší oxidační stabilitu a vysoké technologické a nutriční vlastnosti. (Barrera-Arellano et al., 2019)

Značný zájem se soustředí na potenciální kardiovaskulární přínos omega-3 mastných kyselin. Některé studie prokázaly inverzní vztah mezi konzumací tučných ryb nebo omega-3 mastných kyselin ve stravě a výskytem kardiovaskulárních příhod, a že cirkulující koncentrace

kyseliny eikosapentaenové (EPA) nebo kyseliny dokosahexaenové (DHA) inverzně korelují s kardiovaskulárním rizikem. Suplementace omega-3 mastnými kyselinami příznivě ovlivňuje metabolismus lipoproteinů a zánětlivé, oxidační, trombotické, cévní a arytmogenní faktory, které se podílejí na vzniku kardiovaskulárních onemocnění. Jedna studie, ještě před rutinním klinickým užíváním statinů, prokázala kardiovaskulární přínos suplementace 1 g/d EPA a DHA, ale následné rozsáhlejší studie tyto výsledky nedokázaly zopakovat. (Nicholls et al., 2020)

Kardiovaskulární onemocnění (KVO) představují obecnou kategorii onemocnění postihujících organismus, který zahrnuje jak ischemickou chorobu srdeční (ICHS), tak srdeční selhání. Hlavní příčinou snížení průtoku krve může být kornatění tepen, které vyživují srdeční sval. Městnavé srdeční selhání je porucha, při níž srdce ztrácí schopnost účinně pumpovat krev, což má za následek cévní mozkovou příhodu nebo mrtvici v důsledku exploze cév, které dopravují kyslík a živiny do mozku. (Nicholls et al., 2020)

Druh tuku ve stravě je odedávna spojován s dlouhodobými zdravotními výsledky, především pokud jde o krevní lipidy a CDV. Je známo, že výběr tuků ve stravě má zásadní vliv na hladiny cirkulujícího cholesterolu; ty se zvyšují při konzumaci tuků obsahujících nasycené mastné kyseliny (SFA) a snižují se tuky bohaté na mononenasyčené (MUFA) a polyneenasycené (PUFA) mastné kyseliny (Mensink, a Katan, 1992). Je známo, že příjem nasycených mastných kyselin (SFA) zvyšuje hladinu triacylglyceridů (TG), celkového cholesterolu (TC), cholesterolu v lipoproteinech o nízké hustotě (LDL) a snižuje hladinu cholesterolu v lipoproteinech o vysoké hustotě (HDL) v krvi. To vede k vyššímu riziku vzniku kardiovaskulárního onemocnění a studie doporučují nutnost snížit obsah SFA ve stravě. (Nicholls et al., 2020)

Kukuřičný olej je vedlejším produktem podniků vyrábějících kukuřičnou mouku a škrob a používá se především v restauracích rychlého občerstvení. Složení mastných kyselin kukuřičného oleje zahrnuje poměrně vysoký obsah kyseliny linolové (58-62 %) jako hlavní esenciální mastné kyseliny n-6 PUFA. Rafinovaný kukuřičný olej se skládá PUFA 59 %, MUFA 24 % a SFA 13 % s poměrem kyseliny linolové (LA) a n3 mastné kyseliny alfa-linolenové (ALA) LA/ALA 83. Kukuřičný olej obsahuje také gama- a alfa-tokoferoly a beta-sitosterol. Podíl ALA (C18:3) je nižší než 1,5 %, proto kukuřičný olej nelze považovat za zdroj omega-3 mastných kyselin ve stravě. Zatímco druhou hlavní mastnou kyselinou je kyselina olejová (Barrera-Arellano et al., 2018). Další výsledky studie, které byly v souladu s hodnotami uváděnými jinými autory. Studie zaznamenala, že mastné kyseliny kukuřičného oleje byly: C16:0 palmitová s 12,57 % obsahu mastných kyselin, C18:0 stearová s 2,02 % obsahu mastných kyselin, C18:1 olejová s 29,70 % obsahu mastných kyselin, C18:1 trans elaidová s 0,81 % obsahu mastných kyselin, C18:2 linolová s 52,68 % obsahu mastných kyselin, C18:3 linolenová s 1,12 % obsahu mastných kyselin a konečně C20:0 arachidová s 0,27 % obsahu mastných kyselin. (Lashin et al., 2020)

U skupiny s kukuřičným olejem došlo k významnému poklesu hladiny ATP ve srovnání s kontrolní skupinou. Skupina s kokosovým olejem zaznamenala významné zvýšení hladiny 5HT ve srovnání s kontrolní skupinou a skupinou s kukuřičným olejem a hladina ATP se významně zvýšila ve srovnání se skupinou s kukuřičným olejem, ale významně se snížila ve srovnání se skupinou s rybím olejem ($p < 0,05$). Skupina s rybím olejem zaznamenala významné zvýšení hladin ATP a 5HT ve srovnání s odpovídajícími hladinami kontrolních skupin a skupin s kukuřičným olejem při ($p < 0,05$). (Lashin et al., 2020)

3.6 Potenciál kukuřičného oleje

Kukuřičný olej se dosud nepovažoval za surovinu pro bionaftu kvůli své vysoké jedlé hodnotě a relativně vysoké ceně, ale některé vedlejší produkty průmyslového zpracování kukuřice, jako jsou kukuřičné klíčky a sušená lihovarská zrna s rozpouštědly (DDGS), mají po extrakci kukuřičného lihovarského oleje potenciál pro toto použití. Očekává se, že další výzkum bude směřovat k vývoji jednodušších, účinnějších a energeticky úspornějších technologií výroby bionafty ze surovin na bázi kukuřičného oleje, zejména z kukuřičného lihovarského oleje. Začlenění výroby bionafty přímo do výroby etanolu na bázi kukuřice posune celkovou ekonomiku průmyslových závodů. Dále jsou diskutovány vlastnosti paliva, výkonnost a emise výfukových plynů bionafty na bázi kukuřice a jejich směsí s motorovou naftou s přihlédnutím k normám kvality bionafty. (Veljković et al., 2018)

Nízká toxicita, vysoká biologická odbouratelnost, obnovitelnost a vysoký viskozitní index rostlinných olejů umožnily, že mají obrovský potenciál nahradit minerální chladicí kapaliny. Různé studie se proto snaží vyhodnotit charakteristiky opotřebení a tření kukuřičné kapaliny jako obnovitelného zdroje biokapaliny. Na základě normy ASTM G-99 byly zkoumány charakteristiky chování kapaliny z hlediska kinematické viskozity, třecí síly, koeficientu tření, průměru opotřebení a parametru teploty vzplanutí. Každý experiment byl proveden během jedné hodiny a 800 otáček za minutu jako rychlost otáčení disku a při čtyřech různých zatíženích 5,10,15,20 kg pomocí testeru s kuličkou na disku, přičemž jako vzorek minerální chladicí hydraulické kapaliny byla použita (Mobil hydraulic fluid 424) pro porovnání výsledků. Na základě výsledků bylo zjištěno, že při nízkém zatížení (5 a 10 kg) je výkon rostlinné kapaliny (kukuřice) lepší než minerální hydraulické kapaliny (463,38 a 469,84 μm při 5 kg a 567,1 a 593,74 μm při 10 kg), rovněž hodnoty koeficientu tření rostlinných kapalin byly nižší při vysokém zatížení, jako v případě normálního zatížení 20 kg, které bylo 0,0159 pro kukuřici a 0,0230 pro minerální kapalinu. Kukuřičná kapalina by mohla být alternativní obnovitelnou pracovní chladicí kapalinou vzhledem k jejímu odpovídajícímu výkonu. (Hassan et al., 2021)

Bioetanol se v poslední době stal významnou otázkou energetické politiky, která má uspokojit rostoucí poptávku po energii a zajistit udržitelnou ekonomiku. Etanol jako zdroj paliva má dnes pozitivní dopad na americký venkov, životní prostředí a energetickou bezpečnost Spojených států. Bioetanol z kukuřice a pšenice je ve srovnání s ostatními zdroji biopaliv považován za biopalivo první generace, protože ke kvašení je určen pouze hexózový cukr. Vysokého titru etanolu (> 5 %) lze z kukuřice a pšenice dosáhnout použitím jednodušších kroků (mletí/mletí, vaření a zkapalnění) před fermentací pomocí kmene kvasinek (*Saccharomyces cerevisiae*). V poslední době se bioethanol z kukuřice a pšenice používá v průmyslovém měřítku v několika rozvinutých i rozvojových zemích, aby se splnily požadavky na bioethanol. Výroba palivového etanolu je dnes energeticky účinný proces, další výzkum probíhá s cílem zlepšit jeho dlouhodobou ekonomickou životaschopnost. (Mohanty & Swain, 2019)

4 Metodika

Pokusy pro ověření výzkumných hypotéz byly založeny na Výzkumné stanici FAPPZ v Červeném Újezdě.

Bude se jednat o maloparcelkový pokus s využitím běžného hybridu silážní kukuřice (FAO 250).

Pokusné parcely budou mít velikost 30 m² ve 4 opakování, tj. 120 m² plochy na 1 variantu.

Pokusné varianty DP:

- 1) Kontrolní varianta – klasické zpracování půdy
- 2) Klasické zpracování půdy s vysetím krycí podplodiny (hrách setý (*Pisum sativum*))
- 3) Klasické zpracování půdy s vysetím krycí podplodiny (svazenka vratičolistá (*Phacelia tanacetifolia*))

Během vegetace bude automaticky zaznamenávána vlhkost a teplota půdy datalogery Minikin (EMS Brno) s automatickým zapisováním hodnot každých 15 minut. Při sklizni byly zjištěny výnosové parametry silážní i zrnové kukuřice.

Vyhodnocení zjištěných výnosových parametrů (výnos biomasy, obsah sušiny) a údajů teplot a sacích tlaků v půdě bylo zpracováno přehledně do tabulek v říjnu 2021.

Pro ověření hypotézy 2 bude proveden rozbor na obsah škrobu v zrně jednotlivých variant v certifikované laboratoři či na FAPPZ.

4.1 Agrotechnika pokusu

Předplodina: Pšenice ozimá

Odrůda kukuřice: hybrid Figaro KWS (FAO 250)

Počet variant: 5

Počet opakování: 4

Rozměr sklizňové parcelky 30 m² (3 x 10 m); 4 řádky

Příprava půdy: Orba podzimní střední; na jaře před setím: Standardní příprava půdy pro kukuřici.

Aplikace UREA STABIL v dávce 120 kg N/ha - na široko: 7.5.2021

Setí: 7.5.2021

Preemergentní aplikace herbicidu Lumax, dávka 3,25 l/ha

Hustota výsevu: 80 tis. rostlin/ha

Vzdálenost mezi řádky: 75 cm.

4.2 Meteorologické údaje za rok 2021

Rok 2021 byl porovnáván s dlouhodobým normálem, který pochází z nejbližší (9,5 km vzdálené) meteorologické oficiální stanice Praha Ruzyně z let 1991-2020. Data měření pokusného stanoviště pochází z vlastní meteorologické stanice u hlavní budovy. Ty jsou znázorněny v grafu 4. Zima, tedy leden až březen byly z pohledu průběhu teplot v normálu, leden a únor pak byl silně nad normálem, co se týče úhrnu srážek.

Pro růst rostlin kukuřice měl významný vliv velmi studený a suchý duben, který nevytvořil podmínky pro setí kukuřice. Ta byla zaseta až v květnu, který byl sice srážkově nadprůměrný, ale teplotně opět podnormální. Vrcházení probíhalo pomalu, porosty byly velmi zpožděné oproti předchozím ročníkům. Samotný průběh počasí od června do srpna, který ovlivňoval růst rostlin nejvíce, probíhal v běžných teplotních mantinelech a srážkově byl spíše normální až nadnormální (srpen 155 % úhrnu srážek). Kukuřice měly koncem srpna nízký obsah sušiny, předpokládal jsem pozdější sklizeň. Září bylo teplotně nadnormální a srážkově silně podnormální, což mělo vliv na rychlejší dozrávání rostlin. Sklizeň proběhla v půlce září, v optimálním obsahu sušiny. V říjnu byl průběh teplot normální se 48 % úhrnem srážek, což nemělo negativní vliv na dozrávání palic, zároveň měl tento pro kukuřici optimální průběh, dobrý vliv na rychlé dozrávání palic

Zjištění sušiny: z řezanky několika rostlin z každého opakování bylo odebráno cca 550 g vzorku. Po usušení vzorku při teplotě 105 °C v délce trvání 12 h byla hmotnost suché hmoty zvážena a spočítána sušina jednotlivých vzorků. Každá varianta byla provedena ve čtyřech opakování.

Biomasa rostlin byla zvážena a byl přepočítán výnos zelené hmoty na hektar, posléze po usušení řezanky, tedy vzorků o přibližné hmotnosti 500 g, byl tento vzorek zvážen a přepočítán výnos suché hmoty rostlin na hektar.

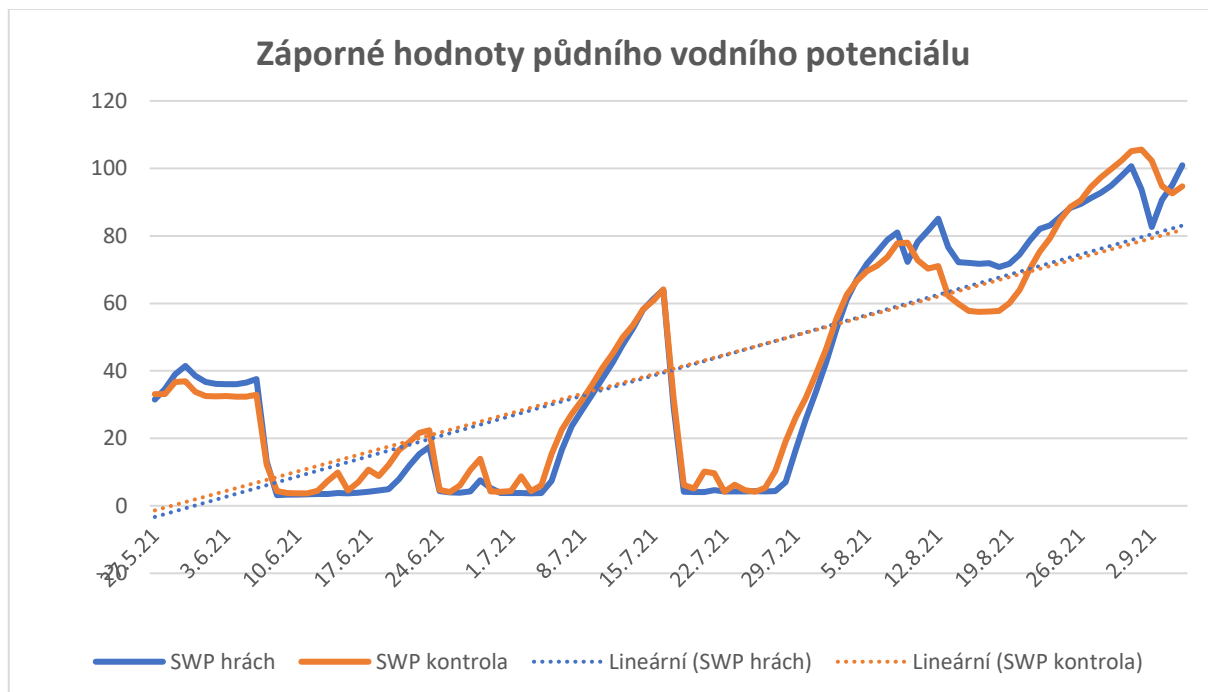
Hodnocení výnosu zrnové kukuřice: sklizeň proběhla 15.10.2021 ruční sklizní palic z prostředního pravého řádku. Palice byly následně vymláčeny na pokusném sklízecím kombajnu Wintersteiger. Byla zvážena hmotnost zrn z jednotlivých opakování, byl zjištěn obsah sušiny usušením vzorků při teplotě 45 °C po dobu 15 h a byl přepočítán výnos zelené a suché hmoty zrn na výnos na hektar.

Statistické hodnocení: Fischer ANOVA LSD test. Program STATISTICA 12.1.

Setí podplodin – při setí kukuřice – obvyklý výsevek na hektar.

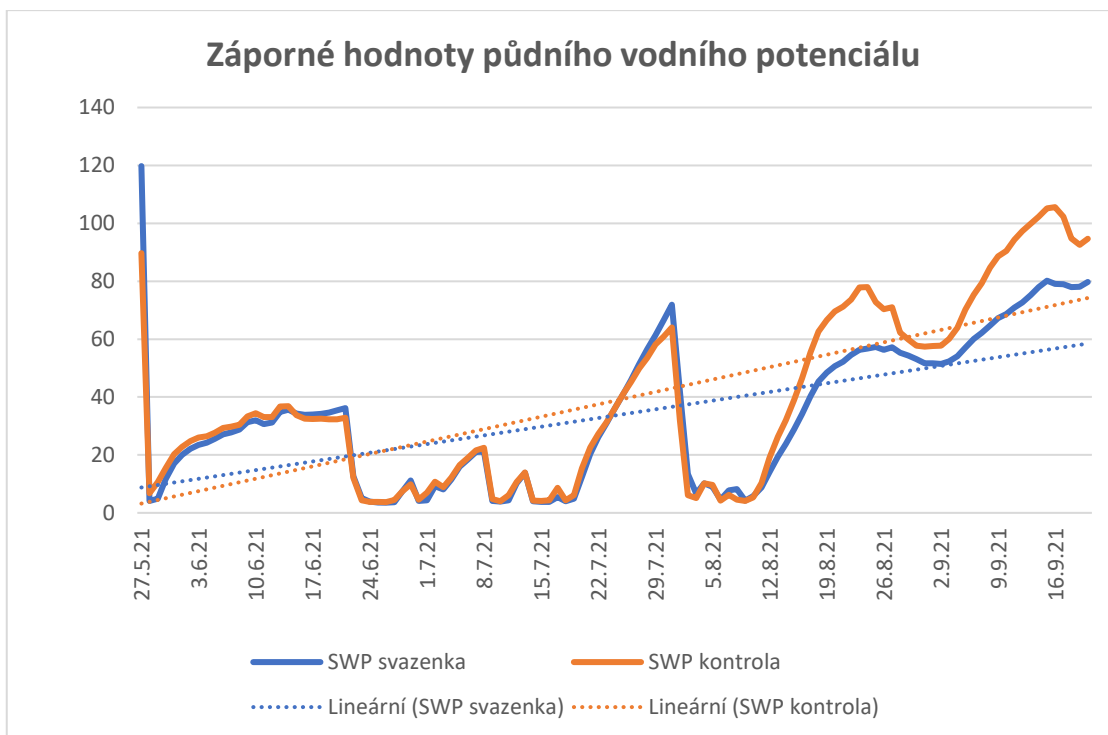
5 Výsledky

5.1 Meteorologická data



Graf 1 Záporné hodnoty půdního vodního potenciálu
Zdroj: vlastní zpracování

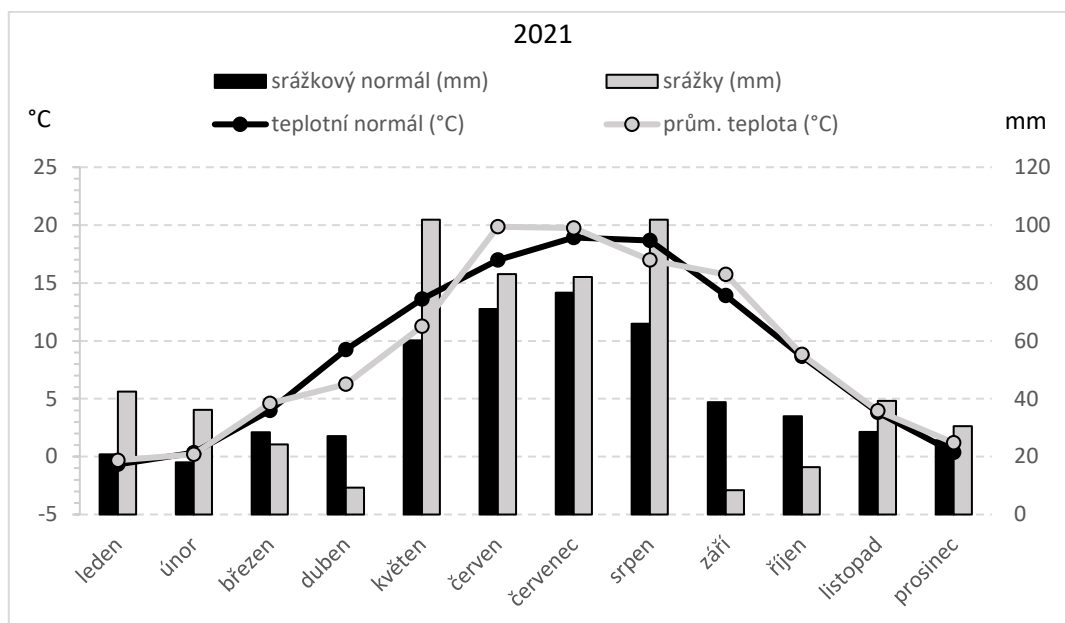
Graf 1 ukazuje záporné hodnoty půdního vodního potenciálu u podsevu hrachu a kontrolní podsev. Čím větší číslo ukazuje graf, tím větší bylo sucho. Největší sucho bylo od konce srpna 2021 do poloviny září 2021. Rozdíly jsou vidět především u hrachu, kdy nejvyšší záporné hodnoty půdního vodního potenciálu byly v období od 1.7.2021 do 23.7.2021 a od 29.7.2021 až do sklizně začátkem září 2021. Nejnížší hodnoty byly naopak u hrachu od 10.6.2021 do 1.7.2021. Lineární příčka u hrachu a kontroly byly téměř shodné.



Graf 2 Záporné hodnoty půdního vodního potenciálu – hrách a kontrola
Zdroj: vlastní zpracování

Graf 2 ukazuje podsev svazenky a kontroly. Nejvyšší záporné hodnoty půdního vodního potenciálu u svazenky byly koncem května, od 22.7. do 5.8.2021 a od 19.8.2021, stejně jako u hrachu. Svazenka na tom byla lépe od 19.8.2021 byla lépe než kontrolní. Co se týká lineárních hodnot, kontrolní byly vyšší a rozcházející se od svazenky od poloviny července.

Lze tedy konstatovat, že podsev svazenky byl na tom lépe než hrachu, co se týká záporných hodnot půdního vodního potenciálu.



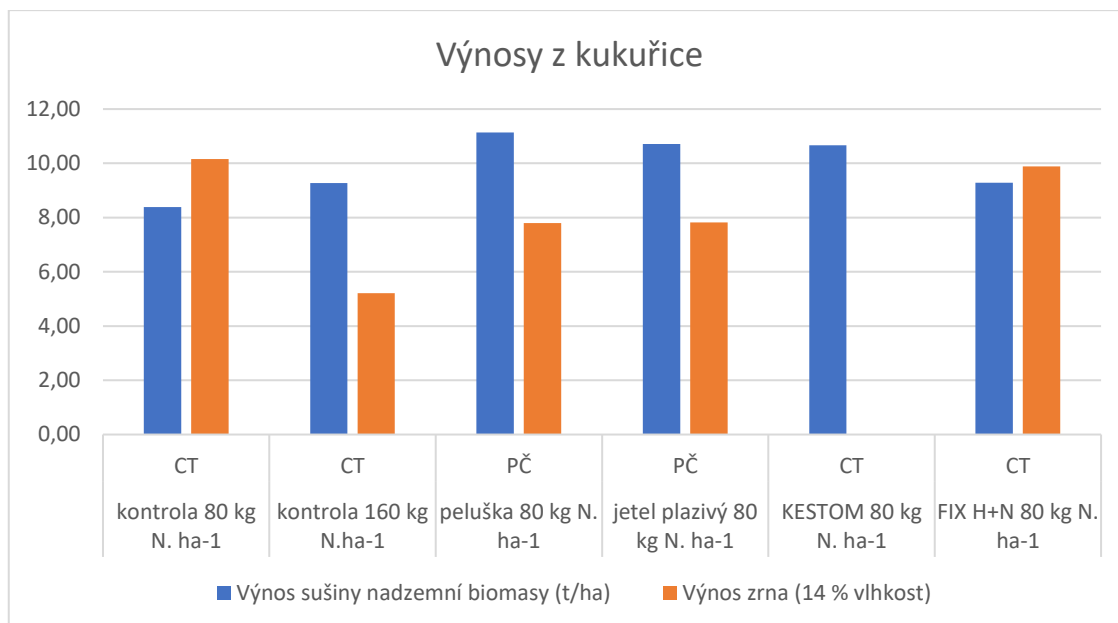
Graf 3 Meteodata za rok 2021

Zdroj: vlastní zpracování

Graf 3 ukazuje meteodata za rok 2021. Ukazuje srážky za sledované období, srážkový normál, průměrnou teplotu a teplotní normál. Graf ukazuje, že srážky byly vyšší než srážkový normál především v lednu, únoru, květnu, červnu, červenci, srpnu, listopadu a v prosinci. V ostatních měsících byl srážkový normál vyšší než srážky. Průměrná teplota byla nižší než teplotní normál v dubnu, květnu a v srpnu, vyšší teplota, než normál byla v červnu a v září 2021. V ostatní měsících byla průměrná teplota stejná jako teplotní normál.

5.2 Výnosy sušiny a zrna

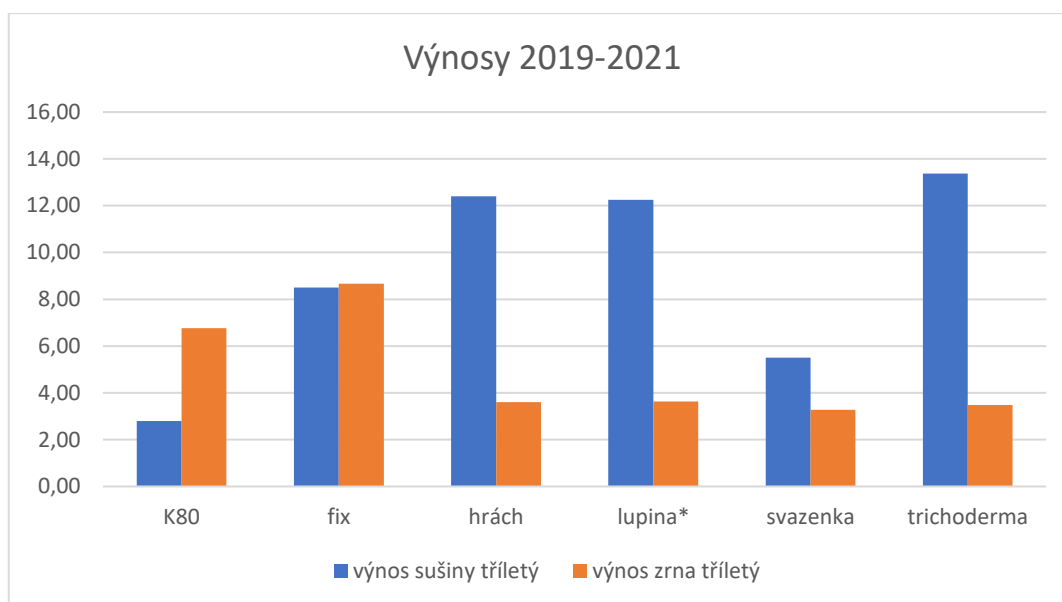
Následující graf 4 ukazuje výnosy zrna při 14% vlhkosti a výnosy sušiny nadzemní biomasy v tunách na hektar.



Graf 4 Výnosy kukuřice
Zdroj: vlastní zpracování

Graf 4 ukazuje, že výnos sušiny nadzemní suché biomasy i výnos zrna byly při kontrole 80 kg N na ha-1 vyšší než při kontrole 160 kg N na ha-1. Při dávkování KESTOM 80 kg N na ha-1 byl výnos sušiny nadzemní biomasy vyšší než při FIX H+N 80 kg N na ha-1. Při použití pelušky nebo jetelu plazivého nebyly rozdíly velké, výnosy sušiny byly o trochu vyšší při podsevu peluškou než jetelem plazivým, výnos zrna byl stejný, ať už byl použit podsev peluškou nebo jetelem.

Z grafu 4 tedy vyplývá, že výnosy zrna při 14% vlhkosti nebyly rozdílné ať už s podsevem pelušky nebo jetele plazivého, což znamená, že podsev neměl vliv na výnos zrna. U výnosu sušiny nadzemní suché biomasy byly vyšší u pelušky než u jetele plazivého, rozdíl není tak velký, aby měl podsev vliv na výnos sušiny.



Graf 5 Výnosy v letech 2019 až 2021
Zdroj: vlastní zpracování

Výnosy mezi lety 2019 a 2021 byly u sušiny silážní hmoty nejvyšší u trichodermy, hrachu a lupiny. Výnosy zrna s vlhkostí 14 % byly nejvyšší u fix, K80, ale u hrachu, lupiny, svazenky a trichodermy byly téměř totožné.

Tabulka 1 Jednofaktorová ANOVA – výnos sušiny v letech 2019 až 2021

Anova: Single Factor - výnos sušiny

SUMMARY

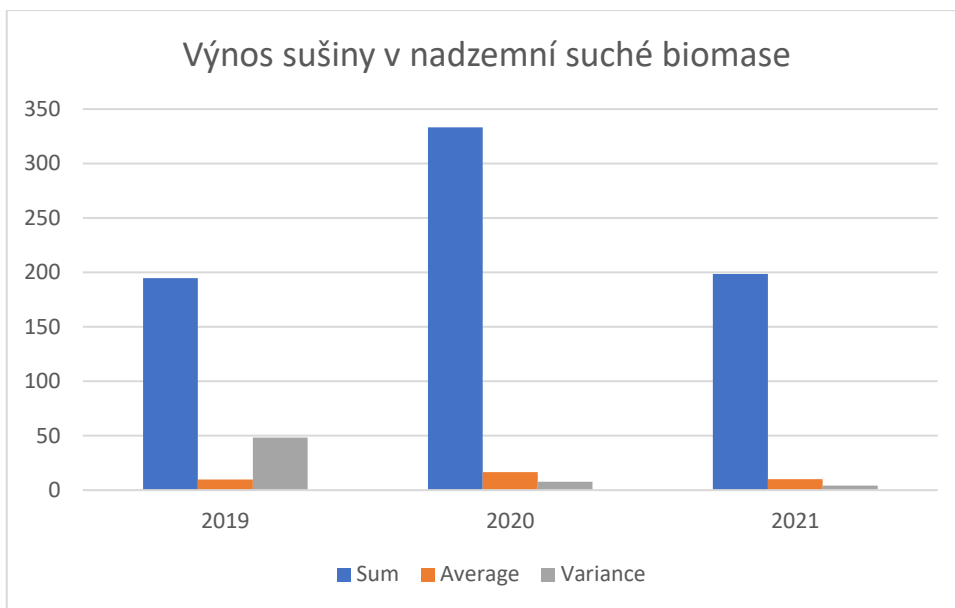
Groups	Count	Sum	Average	Variance
2019	20	194,655167	9,73275836	48,3862725
2020	20	333,151082	16,6575541	7,69001092
2021	20	198,610202	9,93051008	4,11650942

Zdroj: vlastní zpracování

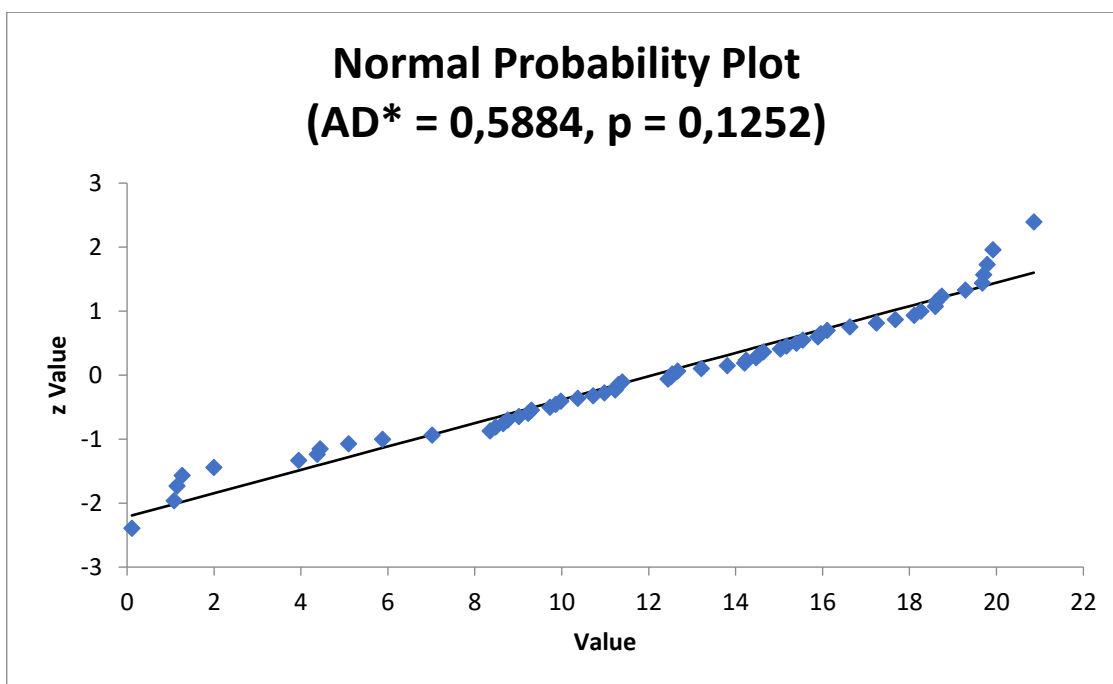
Vysvětlivky

Groups	skupina (rok)
Count	počet
Sum	součet
Average	průměr
Variance	rozptyl

Jednofaktorová ANOVA ukazuje, že nejvyšší výnos sušiny byl v roce 2020, 2021 a v roce 2019 byl výnos nejnižší. Nejvyšší průměr byl opět v roce 2020, následovaný rokem 2021 a nejnižší průměr byl v roce 2019. Největší odchylka byla v roce 2019 a nejnižší pak v roce 2021.



Graf 6 Výnos sušiny v nadzemní suché biomase v letech 2019 až 2021
Zdroj: vlastní zpracování



Graf 7 Normální pravděpodobnostní graf - výnosu sušiny
Zdroj: vlastní zpracování

Odchyšky od přímky naznačují odchyšky od normality. Normální pravděpodobnostní graf je speciálním případem Q-Q pravděpodobnostního grafu pro normální rozdělení. Teoretické kvantily se volí tak, aby se blížily buď průměru, nebo mediánu příslušné řádové statistiky.

Normální pravděpodobnostní graf vzorku z normálního rozdělení – vypadá poměrně rovně, pokud lze pominout několik málo velkých a malých hodnot.

Tabulka 2 Fisherův LSD test – výnos sušiny

Count	19	19	19
Average	9,1966817	16,4969775	9,97893558
Std. Dev.	6,709	2,752	2,073
Variance	45,008	7,573	4,296
Alpha	0,05		

ANOVA					
Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F	p Value
Treatments	610,477024	2	305,238512	16,10	0,0000
Error	1023,77	54	18,9587036		
Total	1634,24702	56			

Fisher Least Significant Difference (LSD) Method					
Family Conf. Int.=87,91%, Individual Conf. Int.=95%					
Comparisons	Diff. in Means	LSD	LCon	UCon	Sig Diff.?
2019 – 2020	-7,3002957	2,832	-10,133	-4,468	Yes
2019 – 2021	-0,7822539	2,832	-3,614	2,050	No
2020 – 2021	6,51804188	2,832	3,686	9,350	Yes

There is evidence that some pairs of means are different.

Zdroj: vlastní zpracování

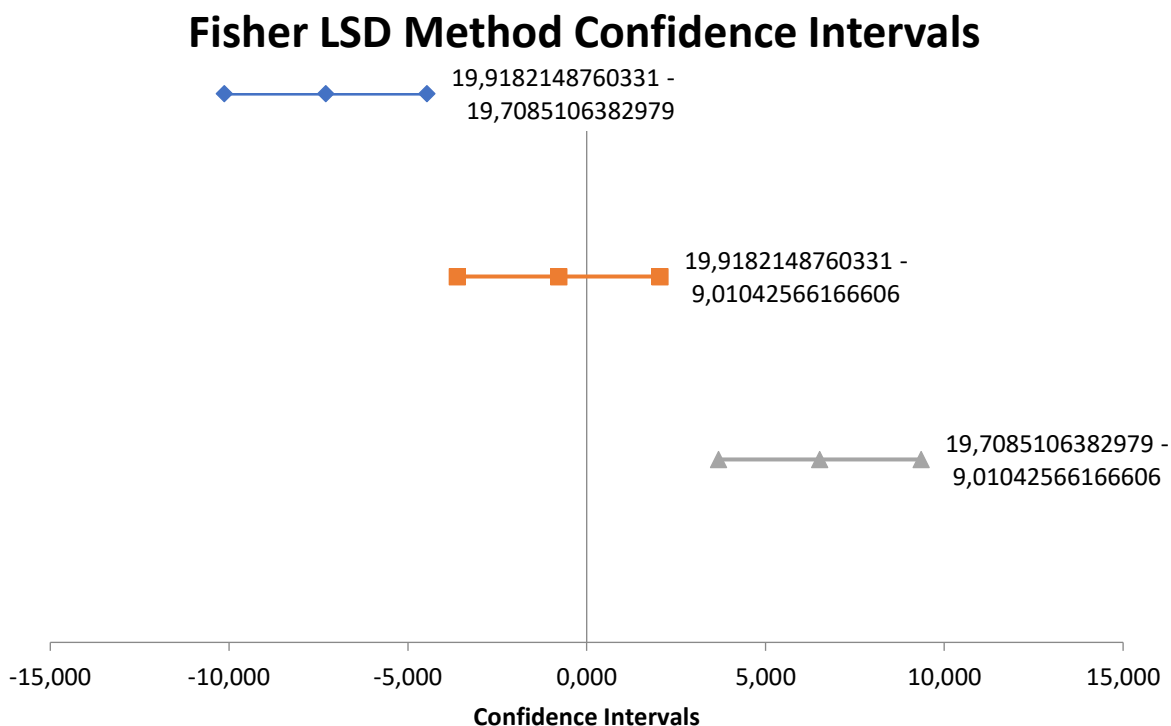
Vysvětlivky:

Source	zdroj
Sum of squares	součet čtverců
Degrees of freedom	stupně volnosti
Mean square	průměrná kvadratická hodnota
F	testovací kritérium
p value	dosažená hladina významnosti
comparisons	srovnání
Diff in means	rozdíly v průměru
LSD	LSD test
LCon	dolní interval spolehlivosti
UCon	horní interval spolehlivosti
Sig Diff	závěr, zda existuje významný rozdíl mezi oběma průměry

Protože p-hodnota v tabulce ANOVA (0,000) je menší 0,05, lze konstatovat, že všechny průměrné výsledky výnosu sušiny za období 2019 až 2021 statisticky významné.

Fisher LSD test je 2,832, absolutní průměrný rozdíl mezi rokem 2019 a 2020 je 7, rozdíl mezi rokem 2020 a 2021 je taktéž 7, jsou tedy větší než Fisher LSD test a proto lze konstatovat, že tyto roky vedou ke statisticky významně odlišným průměrným výsledkům výnosu sušiny. Rozdíl mezi lety 2019 a 2021 je menší než Fisher LSD test, proto lze konstatovat, že tento rok nevede ke statisticky významným odlišným průměrným výsledkům výnosu sušiny. Lze tedy konstatovat, že mezi lety 2019 a 2021 není významný rozdíl v průměrném výnosu sušiny.

Mezi lety 2019 a 2021 a mezi lety 2020 a 2021 existuje významný rozdíl mezi oběma průměry. Významný rozdíl existuje, pokud je absolutní hodnota rozdílu průměrů větší než LSD.



Graf 8 Fisherův LSD metoda intervalů spolehlivosti – výnos sušiny
Zdroj: vlastní zpracování

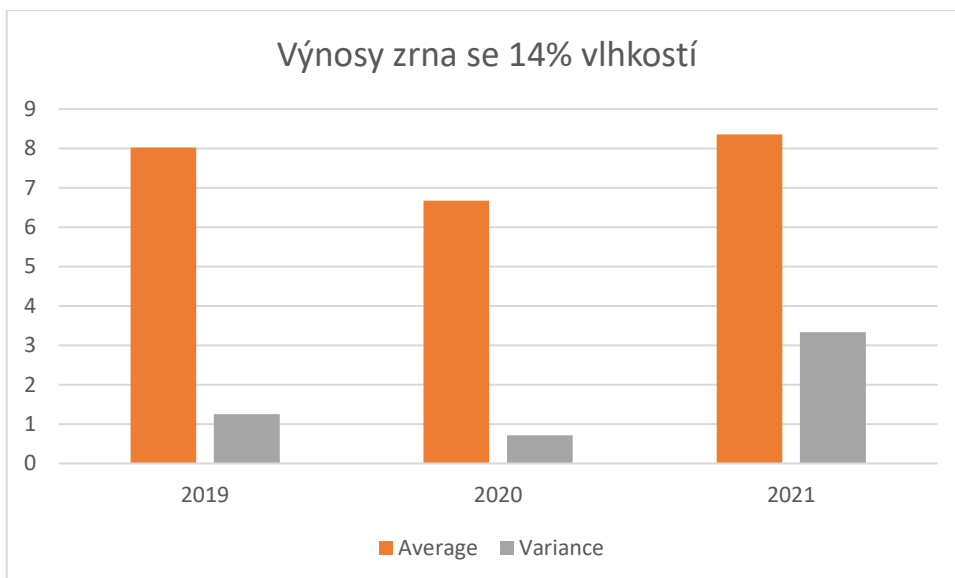
U výnosů sušiny je podle Fisher LSD metody rok 2019/2020 (modře) hodnoty záporné a ležící vlevo. Rok 2019/2021 (oranžová) je uprostřed a hodnoty sahají jak do kladné, tak záporné oblasti, srovnání roků 2020/2021 (šedá) je vpravo a v kladných hodnotách.

Tabulka 3 Jednofaktorová ANOVA – výnos zrna v letech 2019 až 2020

Anova: Single Factor - výnos zrna

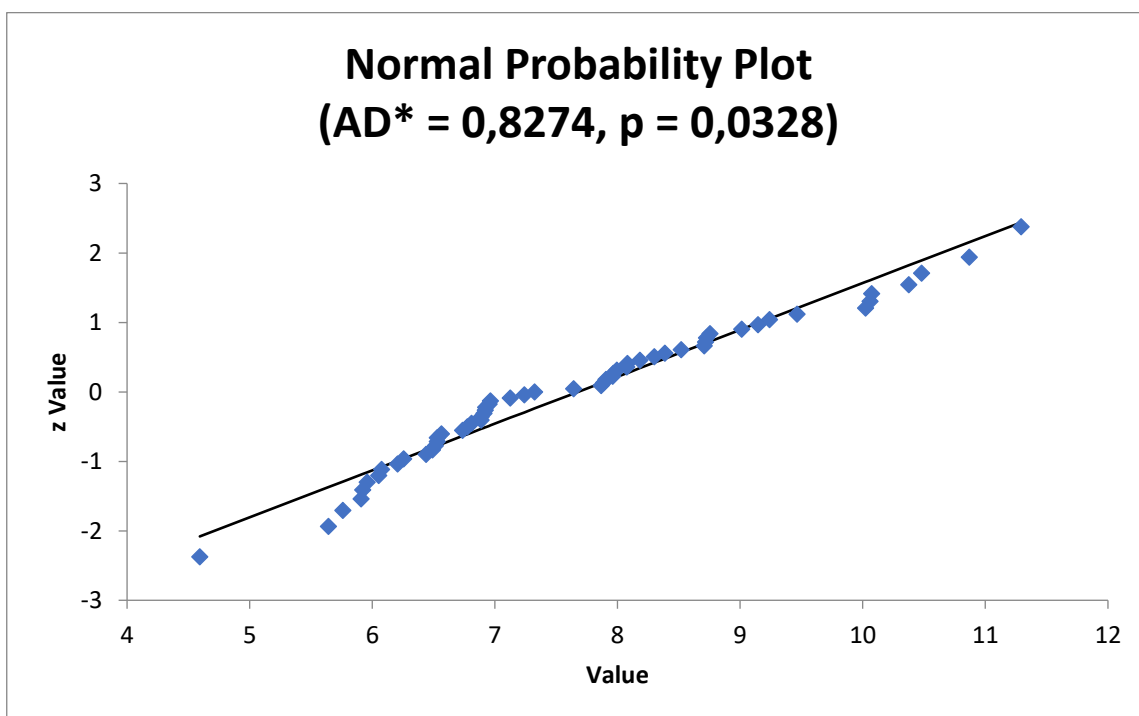
SUMMARY				
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
2019	20	160,416608	8,02083039	1,25148453
2020	19	126,786012	6,672948	0,7128516
2021	18	150,385462	8,35474787	3,32970403

Zdroj: vlastní zpracování



Graf 9 Výnos zrna se 14% vlhkostí v letech 2019 až 2020
Zdroj: vlastní zpracování

Co se týká výnosu zrna, nejvyšší byly v roce 2019, 2021 a 2020. Nejvyšší průměr byl v roce 2021, 2019 a 2020. Nejvyšší odchylka byla v roce 2021, nejnižší odchylka byla v roce 2020.



Graf 10 Normální pravděpodobnostní graf - výnos zrna
Zdroj: vlastní zpracování

Odchylky od přímky naznačují odchylky od normality. Normální pravděpodobnostní graf je speciálním případem Q-Q pravděpodobnostního grafu pro normální rozdělení. Teoretické kvantily se volí tak, aby se blížily buď průměru, nebo mediánu příslušné řadové statistiky.

Normální pravděpodobnostní graf vzorku z normálního rozdělení – vypadá poměrně rovně, pokud lze pominout několik málo velkých a malých hodnot.

Tabulka 4 Fisherův LSD test – výnos zrna

Count	19	18	17
Average	7,912869228	6,712718974	8,181955713
Std. Dev.	1,037	0,850	1,722
Variance	1,075	0,723	2,967
Alpha	0,05		

ANOVA					
Source	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F	p Value
Treatments	21,78777571	2	10,89388786	7,02	0,0020
Error	79,1081365	51	1,551139931		
Total	100,8959122	53			

Fisher Least Significant Difference (LSD) Method					
Family Conf. Int.=87,92%, Individual Conf. Int.=95%					
Comparisons	Diff. in Means	LSD	LCon	UCon	Sig Diff.?
2019 - 2020	1,200150254	0,822	0,378	2,023	Yes
2019 - 2021	0,269086485	0,835	-1,104	0,566	No
2020 - 2021	1,469236739	0,846	-2,315	-0,624	Yes

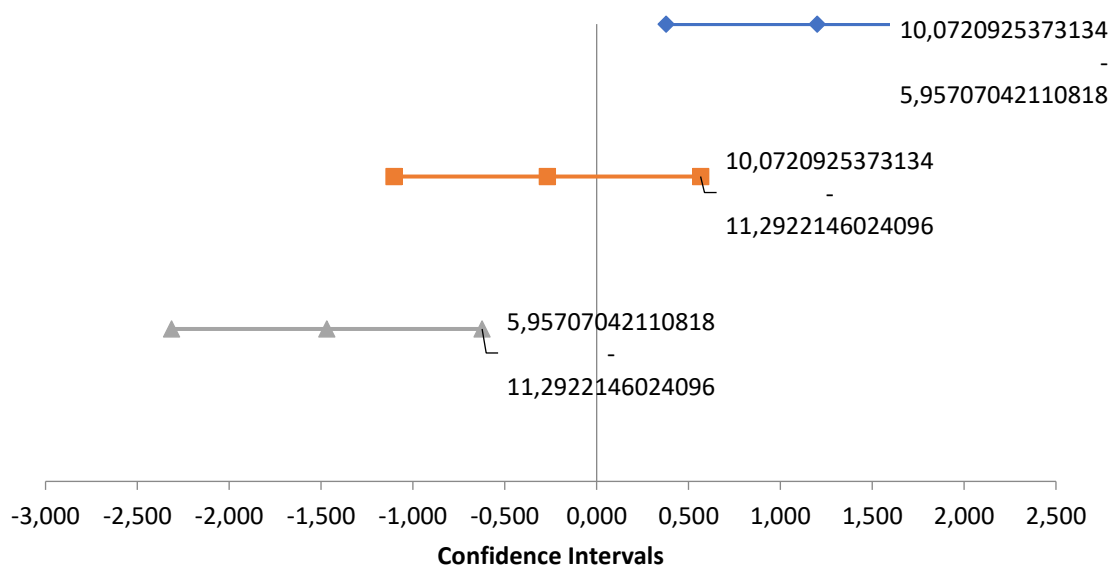
There is evidence that some pairs of means are different.

Zdroj: vlastní zpracování

Protože p-hodnota v tabulce ANOVA (0,0020) je menší než 0,05, lze konstatovat, že srovnání za rok 2019 a 2021 u výnosu zrna se 14% vlhkostí je statisticky významné.

Fisher LSD test je pro rok 0,822, pro rok 2020 0,835 a pro rok 2021 0,846. Absolutní průměrný rozdíl mezi rokem 2019 a 2020 je 1,2, rozdíl mezi rokem 2020 a 2021 je taktéž 1,46. Absolutní průměrné rozdíly jsou tedy větší než Fisher LSD test a proto lze konstatovat, že tyto roky vedou ke statisticky významně odlišným průměrným výsledkům výnosu sušiny. Rozdíl mezi lety 2019 a 2021 je menší než Fisher LSD test, je to 0,27, proto lze konstatovat, že tento rok nevede ke statisticky významným odlišným průměrným výsledkům výnosu sušiny. Lze tedy konstatovat, že mezi lety 2019 a 2021 není významný rozdíl v průměrném výnosu sušiny.

Fisher LSD Method Confidence Intervals



Graf 11 Fisher LSD metoda intervalů spolehlivosti – výnos zrna
Zdroj: vlastní zpracování

U Fisher LSD metody intervalů spolehlivosti – výnos zrna – je patrné, že srovnání je opačné, než je tomu u výnosu sušiny. Rok 2019/2020 (modré) je vpravo v kladných číslech, zatímco u výnosu sušiny je vlevo v záporných číslech. Rok 2020/2021 (oranžová barva) je uprostřed, rok 2020/2021 (šedá) je v záporných číslech a situována spíše vlevo, což u výnosů sušiny je naopak.

Tabulka 5 Obsah škrobu, NL a vlákniny ve variantách podsevu

varianta	obsah škrobu	NL 6,25	vláknina
Podsev hrách	36,4	8,1	16
Podsev hrách	36	8,5	16,2
Podsev hrách	35,8	8,4	18
Podsev hrách	36,7	7,9	17,5
Kontrola	38,1	8,5	18,1
Kontrola	35,9	8,6	17,6
Kontrola	37,8	8,9	18,1
Kontrola	37,2	9	17,5
prum. podsev	36,225	8,225	16,925
kontrola prum.	37,25	8,75	17,825

Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 5 ukazuje, obsah škrobu, NL 6,25 a vlákniny u podsevu a u kontroly. Obsah škrobu u kontroly byl nepatrně vyšší než s podsevem hrachu, což dokazuje, že podsev nemá na obsah škrobu téměř žádný významný rozdíl. Totéž platí i u NL 6,25 a vlákniny. Výsledky dokládají, že podsev neměl žádný vliv na obsah škrobu ani vlákniny nebo pouze nepatrný.

6 Diskuze

Kukuřice má v České republice nezastupitelné místo ve struktuře pěstovaných hlavních zemědělských plodin, a to hlavně z důvodu jak výživy skotu, tak i pro potravinářské účely. Kukuřice je plodina s obrovským výnosovým potenciálem. Hlavním limitujícím faktorem je vliv počasí, kukuřici v poslední době nepřeje. Suchá období se střídají s prudkými srážkami, v letních měsících se vinou klimatu zvyšují teploty. Prudké srážky způsobují odplavení úrovně půdy a způsobují její rychlou erozi. V současnosti se proto v zemědělství hledají nové způsoby, jak vyrovnat faktory ovlivňující pěstování kukuřice.

Cílem této práce bylo zhodnotit pokusy na Výzkumné stanici FAPPZ v Červeném Újezdě. Na maloparcelovém pokusném poli s využitím běžného hybridu silážní kukuřice (FAO 250). Cílem bylo porovnat výnosy sušiny, zrna a obsah škrobu v kukuřici s podsevem.

Výsledky pokusu prokázaly, že pěstování silážní kukuřice a výnosové ukazatele jsou vázány na místní přírodní a ekonomické podmínky.

Sací tlaky půdy při 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, což bude mít negativní vliv na výnos zrna.

Zvolená technologie pěstování kukuřice na zrno s podsevem leguminóz bude mít vliv na nižší obsah škrobu v zrnu.

Současné setí kukuřice s podplodinou sníží fotosyntetickou produkci rostlin (výnosové parametry) ve srovnání s klasickou kontrolní variantou. Při pokusu použito základní hnojení 80 kg N, močovina 46 % na hektar.

Nedostatek srážek ve vegetačním období a nedostatečná regulace plevelů znevýhodňují kukuřici v konkurenci s plevely a podsevy. Pozdní termín podsevu zlepšuje podmínky pro tvorbu výnosu kukuřice, což se může projevit i nevýznamným vlivem hustoty porostu (počet rostlin na m²) na celkový výnos. I zabuření vzešlého porostu před a po podsevu může mít pozitivní přínos v podobě určitého omezení rozvoje plevelů i přes riziko poškození nebo poklesu počtu rostlin kukuřice. V některých studiích se ukázalo, že i vyšší počet rostlin kukuřice se může podílet na utváření horších podmínek pro rozvoj plevelů druhé linie. Podsev jetelovin po výsevu kukuřice může konkurovat plevelům, zatímco podsev do vzešlého porostu konkuruje plevelům mnohem méně.

Hlavními výnosotvornými faktory je však hmotnost sušiny, výška a hmotnost rostlin kukuřice a hmotnost sušiny plevelů. Přímý vliv plevelů tvořený hmotnostním podílem na výnos byl bývá pozitivní, ale výrazně negativní vliv prostřednictvím snížení hmotnosti rostlin kukuřice může změnit výsledný efekt na vysoce výrazně negativní. Nejvýraznější přímý vliv plevelů na výnos v porostech bez podsevu a významná negativní korelace hmotnosti podsevu s hmotností plevelů po prvním termínu podsevu naznačují postupnost regulace plevelů pomocí podsevu. V podmínkách standardní regulace plevelů se jejich negativní vliv obvykle realizuje prostřednictvím výšky rostlin kukuřice. Pro výnos kukuřice na zrno se 14% vlhkostí se však neprokázal účinek podsevu leguminózami, naopak, výnosy byly u podsevu hrachem, lupinou nebo trichodermou byly nižší než bez podsevu. Naopak podsev hrachem, lupinou nebo trichodermou měl pozitivní vliv na výnos sušiny nadzemní suché biomasy.

Podsev leguminózami měl naopak pozitivní vliv vodu, protože podsev dokázal zvýšit schopnost půdy infiltrovat dešťové srážky, což mělo za následek dostatečnou vlhkost půdy v době delšího období sucha. Jako lepší podsev se ukázala svazenka vratičolistá, která měla lepší výsledky než podsev hrachem. Tyto podplodiny také zabraňují výraznému růstu plevelů, na druhou stranu se však negativně podílejí na výnosu zrna se 14% vlhkostí. Podsev také ukázal mírné snížení obsahu vlákniny a obsah škrobu než pěstování kukuřice bez podsevu. Nelze tedy jednoznačně určit, zda podsev kukuřice má výrazná pozitiva, i když mnoho zahraničních autorů toto pěstování s podsevem doporučuje.

Rahman et al. (2017) např. při výzkumu podsevu sóji do kukuřice prokázali, že index listové plochy kukuřice byl v letech výzkumu, kdy se vyskytovala meziplodina, výrazně vyšší ve srovnání jenom s kukuřicí, obsah vody v půdě, výpar z půdy a průsak měly klesající trend v následujícím pořadí: střední řádek kukuřičného pásu < sousední řádek mezi kukuřicí a sójovým pásem < střední řádek sójového pásu. Autoři proto doporučují, aby optimální geometrie výsadby byla 40:160 cm a šířka pásma 200 cm, což bude optimální životaschopná metoda řízení osevního postupu pro dosažení vysokého skupinového efektivního využívání vody v systémech meziplodin kukuřice a sóji. Výnosy kukuřičného zrna byly sice menší, než kdyby se pěstovala každá plodina zvlášť, ale celkový výnos sóji i kukuřice v biomase byl prokazatelně vyšší. Nedořešená otázka zůstala ve sklizni podplodiny a termínu sklizně kukuřice.

Tomášek et al. (2021) z České zemědělské univerzity zkoušeli různé podsevy na Praze – západ u hybridu kukuřice Figaro FAO S 250/Z 250 (KWS), která je velmi odolná vůči suchu. Sklizeň biomasy byla nejvyšší u kontrolní varianty. Při podsetí kukuřice alespoň 18 dní před samotným výsevem kukuřice byly ale výsledky lepší. Došlo k lepší vzházivosti podplodiny a i kukuřice lépe rostla. Výnosy biomasy, suché hmoty a sušiny však nakonec byly lepší u kontrolní varianty, u svazenky byl výnos výrazně menší (2,5 t/ha oproti 46,9 t/ha), nižší o 5 % byl i výnos sušiny v neprospěch svazenky a výnosu suché hmoty (0,79 t/ha oproti 16,8 t/ha ve prospěch kontrolní varianty). Autoři proto doporučují pohlížet na meziplodiny leguminóz spíše jen jako alternativu a udržet plevele a podplodiny na takové úrovni, aby nedošlo k samotnému potlačení vývoje kukuřice.

Kintl et al. (2021) zkoumali u kukuřice podplodiny především nevymrzající jeteloviny, jako např. jetel nachový (*Trifolium incarnatum L.*), jetel plazivý (*Trifolium repens L.*) a tolice dětelová (*Medicago lupulina L.*). Zjistili přitom, že lze snížit spotřebu minerálních dusíkatých hnojiv, což může uspořit náklady až do výše 2 000 Kč/ha, což při současných rostoucích cenách hnojiv může být i daleko vyšší částka. Díky pěstování jetelovin tak dochází ke zvýšené stabilitě půdních agregátů, což dohromady s rostlinnou biomasou má příznivé účinky na celkovou protierozní odolnost pozemku s porostem kukuřice. Nelze tedy jednoznačně podsev u kukuřice odsoudit, je nutné vzít v potaz i další hlediska výhody podsevu kukuřice.

Jalal et al. (2020) uvádí, že byly provedeny dvouleté polní pokusy s kukuřicí v osevním postupu založeném na pěstování obilovin s úpravou luskovin (tj. mungo, hrachor a sesbánie) s letním úhorem. U luskovin došlo k ošetření aplikací (0 a 50 t ha⁻¹) biocharem (BC – biochar nebo také biouhel je pevný materiál získaný termochemickou přeměnou biomasy v prostředí s omezeným obsahem kyslíku). Poté byly přidány i dávky N 0, 90, 120 a 150 kg ha⁻¹. Předplodinové plochy s luskovinami s použitím 50 t ha⁻¹ biocharu zvýšily výnos zrna kukuřice, nadzemní biomasu, N v palici, N v zrnu, obsah C v půdě a obsah N po sklizni kukuřice a účinnost využití N ve srovnání s parcelami bez luskovin s BC a bez BC. Aplikace N tedy zvýšila

výnos zrna, nadzemní biomasu, N v palici, N v zrnu a N v půdě, ale snížila účinnost využití N při vyšších dávkách. Autoři zjistili, že integrace biocharu a luštěnin je slibnou možností pro zvýšení produkce celého podniku v systémech pěstování obilovin, ale i kukuřice.

Např. Uzoh et al. (2019) zkoušeli u kukuřice jako podsev aksamitník. Prováděné agronomické postupy zahrnovaly hospodaření se zbytky (přidávání a odstraňování zbytků) a aplikaci dusíkatých hnojiv (0 kg N ha⁻¹ a 60 kg N ha⁻¹) ve čtyřech systémech střídání. Výsledek ukázal, že pěstování aksamitníku ve stejném roce v rotaci s kukuřicí bylo účinné při zvyšování výnosu kukuřice a zlepšování některých ukazatelů půdní úrodnosti oproti pěstování kukuřice po kukuřici ve stejném roce na stejné lokalitě. V porovnání s monokulturním pěstováním kukuřice bylo při rotaci sametky s kukuřicí dosaženo více než 100% zvýšení výnosu kukuřice i bez zapracování zbytků. Střídání luskovin a kukuřice obecně zvýšilo celkový N, využitelný P, výměnný K, Mg a efektivní kationtovou výměnnou kapacitu oproti kukuřici samotné. Zapracování rostlinných zbytků a aplikace N hnojiv významně zlepšily obsah N v půdě a výnos zrna kukuřice (0,18 %, 2,74 t ha⁻¹ v roce 2008; 0,22 %, 1,16 t ha⁻¹ v roce 2009 a 0,19 %, 2,72 t ha⁻¹ v roce 2008; 1,35 t ha⁻¹) oproti nezpracování reziduí (0,16 % a 1,84 t ha⁻¹ v roce 2008, 0,66 t ha⁻¹ v roce 2009) a nulové aplikaci N (0,16 % a 1,83 t ha⁻¹ v roce 2008 a 0,17 % a 0,85 t ha⁻¹ v roce 2009). Aksamitník by tedy mohl být vysazen ve stejné sezóně s následnou kukuřicí v rámci střídání plodin pro intenzivní udržitelnou produkci kukuřice na písčitohlinitých půdách bez hnojení N. Aby byly luskoviny na zrno, jako je sója a kravský hrách, efektivní v rámci střídání plodin s kukuřicí, musí být luskoviny na zrno vysazeny brzy před plným souborem srážek, protože nadbytek srážek by ovlivnil jejich růst a vývoj.

V případě použití leguminóz jako podsevu kukuřice je tedy nutné dodat ještě další látky, které podpoří její vitalitu a vyšší obsah dusíku, který dokáže zvýšit produkci celého podniku. Jako vysoce účinné doporučují tzv. biochar, který navíc tvoří čistý uhlík ve velmi stabilní formě, který dalšímu rozkladu. Živiny, které se na uhlík navážou, se z něj uvolňují pomalu a nevyplavují se. Samotný uhlík v této formě setrvává v půdě v řádu staletí a tisíciletí. Díky svým užitným a funkčním vlastnostem je významným prvkem řešení aktuálních globálních výzev, jakými jsou negativní dopady sucha a projevy půdní eroze.

7 Závěr

Kukuřice (*Zea mays L.*) je vysoce univerzální plodina s velkými nároky na dusík pro svůj růst a vývoj. Dusík je nejdůležitější makroživinou pro rostlinnou výrobu. Přestože je nejhojněji zastoupeným prvkem v atmosféře (~ 78 %), je pro růst rostlin hůře dostupný. Pro uspokojení potřeby dusíku je komerční zemědělství do značné míry závislé na syntetických hnojivech. Nadměrná závislost na anorganických hnojivech způsobila na celém světě rozsáhlé ekologické i ekonomické problémy. Proto se hledají alternativní způsoby, jak omezit syntetická hnojiva, a přesto zvýšit živiny v půdě, omezit růst plevelu a zvýšit výnosy.

Zařazením leguminóz do pěstitelských systémů má zásadní význam pro udržitelné pěstování a snížení potřeby dusíkatých hnojiv pro produkci kukuřice. Proto se mnoho studií zaměřuje na hodnocení vlivu pěstování leguminóz a dalších plodin, jako např. sóji nebo i aksamitníku jako podsevu kukuřice a na výnos kukuřice a ukazatele půdní úrodnosti. Pěstování podplodin ve stejném roce s kukuřicí bývá někdy velmi účinné a má pozitivní účinky při zvyšování výnosu kukuřice a zlepšování některých ukazatelů půdní úrodnosti. Nelze tak bohužel mluvit o všech podplodinách, jak ukázala tato diplomová práce, s podplodinami hrachu a svazenky, kdy naopak pěstování kukuřice s těmito podplodinami mělo negativní vliv na výnosy a snížení obsahu škrobu v zrnech. Naproti tomu došlo ke zvýšení schopnosti půdy infiltrovat dešťové srážky, což v současné době s velkými výkyvy srážek a teplot, může pro pěstování kukuřice znamenat dobré výsledky.

I když snížení obsahu škrobu bylo o 1 % oproti kontrole, a vlákniny taktéž o necelé 1 %, výsledky ukázaly, že podplodiny kukuřice jako je hrách nebo svazenka mají spíše negativní vliv na snížení obsahu škrobu a vlákniny. Naproti tomu podsevy např. aksamitníkem nebo sametkou došlo ke zvýšení výnosů kukuřice i bez zapracování zbytků. Dobře se osvědčil i sametová fazole. Docházelo přitom i ke zlepšení půdního dusíku, fosforu, hořčíku. Střídání některých luskovin a kukuřice zvýšilo výnos kukuřice ve srovnání se samotnou kukuřicí. Zapracování rostlinných zbytků a aplikace N hnojiv významně zlepšily obsah N v půdě a výnos zrna.

Výnos sušiny nadzemní suché biomasy byl nejvyšší u podsevu hrachem, lupinou a trichodermou, kdy dosahoval v roce 2021 12,4 až 13,4 tun na hektar.

Práce si dala za cíl zjistit i výzkumné hypotézy, které vyplynuly z pěstování leguminóz jako podsevního materiálu pro kukuřici na zrno.

- Výzkumná hypotéza 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, což bude mít negativní vliv na výnos zrna. Tato hypotéza byla přijata částečně. Zkoumaný podsev dokázal lépe infiltrovat srážky než zkoumaná plocha bez podsevu. Jako lepší podsevní plodina se ukázala svazenka vratičolistá než hrách, protože u svazenky byl zjištěn nižší tlak kořenů SWP, což znamenalo menší sucho.
- Výzkumná hypotéza 2 - Zvolená technologie pěstování kukuřice na zrno s podsevem leguminóz bude mít vliv na nižší obsah škrobu v zrnech. Tato hypotéza byla přijata. Technologie pěstování s podsevem ukázala, že obsah škrobu, NL 6,25 a vlákniny byly v průměru u kontroly vyšší než s podsevem hrachu. Průměrný obsah škrobu byl u podsevu hrachu o 1,5 menší než kontrolní průměr, u NL 6,25 byl rozdíl 0,5 ve prospěch

průměru kontroly a o 1,1 vlákniny ve prospěch průměru kontroly. Podsev hrachem tedy způsobil nižší hodnoty škrobu i vlákniny u pěstování kukuřice na zrno.

- Výzkumná hypotéza 3 - Současné setí kukuřice s podplodinou snižuje fotosyntetickou produkci rostlin (výnosové parametry) ve srovnání s klasickou kontrolní variantou. Tato hypotéza byla přijata. U průměrného výnosu za sledované období 2019 až 2021 byl výnos zrna se 14% vlhkostí vyšší u použití K80 a fixu než s podsevem hrachu, lupiny, svazenky nebo trichodermy. Naopak výnos sušiny nadzemní suché biomasy byl nejvyšší u podsevu hrachem, lupinou a trichodermou. Pro pěstování kukuřice s výnosem na zrno má podsev spíše negativní vlastnosti na výnos zrna, podsev má kladný vliv na výnosy sušiny nadzemní suché biomasy.

8 Literatura

- Abebe, A., Pathak, H., Singh, S. D., Bhatia, A., Harit, R. C., & Kumar, V. 2016. Growth, yield and quality of maize with elevated atmospheric carbon dioxide and temperature in north–west India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 218, 66-72.
- Abera, M. 2012. The effect of under sowing of forage legumes in maize on dry matter yield and nutritional value of the fodder in Baresa Watershed, Ethiopia. *International Journal of Science and Research*, 3, 1070-1077.
- Agomoh, I. V., Drury, C. F., Phillips, L. A., Reynolds, W. D., & Yang, X. 2020. Increasing crop diversity in wheat rotations increases yields but decreases soil health. *Soil Science Society of America Journal*, 84(1), 170-181.
- Amsili, J. P., & Kaye, J. P. 2021. Root traits of cover crops and carbon inputs in an organic grain rotation. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(2), 182-191.
- Asemu, A. M., Habtu, N. G., Delele, M. A., Subramanyam, B., & Alavi, S. 2020. Drying characteristics of maize grain in solar bubble dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2), e13312.
- Barrera-Arellano, D., Badan-Ribeiro, A. P., & Serna-Saldivar, S. O. 2019. Corn oil: composition, processing, and utilization. In *Corn* (pp. 593-613). AACC International Press.
- Bello-Pérez, L. A., Flores-Silva, P. C., Sifuentes-Nieves, I., & Agama-Acevedo, E. 2021. Controlling starch digestibility and glycaemic response in maize-based foods. *Journal of Cereal Science*, 99, 103222.
- Boetzl, F. A., Douhan Sundahl, A., Friberg, H., Viketoft, M., Bergkvist, G., & Lundin, O. 2022. Undersowing oats with clovers supports pollinators and suppresses arable weeds without reducing yields. *Journal of Applied Ecology*, 60(4):614-623. Available from <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14361>
- Brinton, M. M., Boyd, B. M., Hilscher, F. H., McPhillips, L. J., MacDonald, J. C., & Erickson, G. E. 2020. Evaluating Syngenta Enogen feed corn silage or grain on growing beef cattle performance.
- Brožková, L. 2019. Pěstování kukuřice s podplodinami a její stimulace v suchých ročnících. Available from <https://www.agrovenkov.com/2019/07/pestovani-kukurice-s-podplodinami-a-jeji-stimulace-v-suchych-rocnikach/>
- Fahlbusch, W., Hey, K., Sauer, B., & Ruppert, H. 2018. Trace element delivery for biogas production enhanced by alternative energy crops: results from two-year field trials. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1-11.
<http://www.plantphysiol.org/cgi/doi/10.1104/pp.010590>.
- García-Lara, S., & Serna-Saldivar, S. O. 2019. Corn history and culture, *Corn* (Third Edition), Chemistry and Technology. *Corn*, 1-18. Available from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00001-2>
- Guermah, H., Maertens, L., & Berchiche, M. 2016. Nutritive value of brewers' grain and maize silage for fattening rabbits. *World Rabbit Science*, 24(3), 183-189.
- Hassan, M., R Abdulmunem, A., & Saad Abd, H. 2021. As a potential hydraulic fluid: Corn oil behavior characteristics examination. *Journal of Thermal Engineering* 7(2):215-221. DOI:10.18186/thermal.871628

- Jalal, F., Arif, M., Akhtar, K., Khan, A., Naz, M., Said, F., ... & Wei, F. 2020. Biochar integration with legume crops in summer gape synergizes nitrogen use efficiency and enhance maize yield. *Agronomy*, 10(1), 58.
- Kamler, J., Hrbek, J., & Plhal, R. 2013. Sušit nebo nesusit? Aneb kam s kukuřicí. *Myslivost* 9/2013, str. 42. Available from <https://www.myslivost.cz/Casopis-Myslivost/Myslivost/2013/Zari---2013/Susit-nebo-nesusit--Aneb-kam-s-kukurici>
- Karimmojeni, H., Rahimian, H., Alizadeh, H., Yousefi, A. R., Gonzalez-Andujar, J. L., Sweeney, E. M., & Mastinu, A. 2021. Competitive ability effects of *Datura stramonium* L. and *Xanthium strumarium* L. on the development of maize (*Zea mays*) seeds. *Plants*, 10(9), 1922.
- Khan, N.A., Cone, J.W., Pellikaan, W.F., Khan, M.A. 2011. Changes in fatty acid content and composition in silage maize during grain filling. *J Sci Food Agric*, 91(6):1041-9. DOI: 10.1002/jsfa.4279.
- Kincl, D., Kabelka, D., & Srbek, J. 2021. Vliv podsevů v kukuřici z hlediska omezení eroze. ýzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v. v. i. Praha-Zbraslav. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/vliv-podsevu-v-kukurici-z-hlediska-omezeni-eroze>
- Kintl, A., Brtnický, M., Hammerschmiedt, T., Látal, O., & Huňady, I., 2021. Pěstování kukuřice na zrno s využitím jetelovin. *Zemědělský výzkum, spol. s r. o. Troubsko, Mendelova univerzita v Brně*. SBN: 978-80-88000-34-1
- Kintl, A., Zimová, N., Brtnický, M., Hammerschmiedt, T., Smutný, V., Kincl, D., ... & Elbl, J. 2023. Effect of cover crops undersown in maize on the mycotoxin content in maize biomass. *Acta fytotechnica et zootechnica*:: ISSN 1336-9245, 26(1).
- Konvalina, P., Moudrý, J., Kalinová, J., Capouchová, I., & Stehno, Z. 2008. Pěstování obilnin a pseudoobilnin v ekologickém zemědělství. [Organic Growing of Cereals and Pseudocereals.] Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice. ISBN 978-80-7394-116-1.
- Król, A., Księżak, J., Kubińska, E., & Rozakis, S. 2018. Evaluation of sustainability of maize cultivation in Poland. A prospect theory—PROMETHEE Approach. *Sustainability*, 10(11), 4263.
- Kůst, F. 2009. Výroba kukuřice na siláž a na zrno. *Zemědělec*. Available from <https://zemedelec.cz/vyroba-kukurice-na-silaz-a-na-zrno/>
- Lang, J., Váczi, P., Barták, M., Hájek, J., Kintl, A., Zikmundová, B., & Elbl, J. 2023. Stimulative Effects of *Lupinus* sp. and *Melilotus albus* Underseed on the Photosynthetic Performance of Maize (*Zea mays*) in Two Intercropping Systems. *Agronomy*, 13(1), 163.
- Lashin, F. M., Rizk, H. A., Ahmed-Farid, O. A., & Shehata, A. M. 2020. A screening study of corn oil versus fish oil and coconut oil on biochemical cardiovascular risk factors in rats. *Cur Sci Inter*, 9(3), 418-430.
- Loučka, R., & Tyrolová, Y. 2013. Správná praxe při silážování kukuřice. Výzkumný ústav živočišné výroby, v.v.i., Praha Uhřetěves. ISBN 978-80-7403-119-9.
- Miedaner, T., Juroszek, P. 2021. Global warming and increasing maize cultivation demand comprehensive efforts in disease and insect resistance breeding in north-western Europe. *Plant Pathology*, 70(5): 1032-1046. Available from <https://doi.org/10.1111/ppa.13365>

- Mohanty, S. K., & Swain, M. R. 2019. Bioethanol production from corn and wheat: food, fuel, and future. In Bioethanol production from food crops (pp. 45-59). Academic Press.
- Morals, G., Daniel, J., & de Almenlda Carvalho, P. 2017. Additives for grain silages: A review. *Slovak J. Anim. Sci.*, 50, 2017 (1): 42–54. ISSN 1337-9984.
- Mthembu, B. E., Everson, T. M., & Everson, C. S. 2018. Intercropping maize (*Zea mays* L.) with lablab (*Lablab purpureus* L.) for sustainable fodder production and quality in smallholder rural farming systems in South Africa. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(4), 362-382.
- Nadeem, M., Li, J., Yahya, M., Sher, A., Ma, C., Wang, X., & Qiu, L. 2019. Research progress and perspective on drought stress in legumes: A review. *International journal of molecular sciences*, 20(10), 2541.
- Nicholls, S. J., Lincoff, A. M., Garcia, M., Bash, D., Ballantyne, C. M., Barter, P. J., ... & Nissen, S. E. 2020. Effect of high-dose omega-3 fatty acids vs corn oil on major adverse cardiovascular events in patients at high cardiovascular risk: the STRENGTH randomized clinical trial. *Jama*, 324(22), 2268-2280.
- Niu, L., Ding, H., Zhang, J., & Wang, W. 2019. Proteomic analysis of starch biosynthesis in maize seeds. *Starch-Stärke*, 71(9-10), 1800294.
- Novotný, D. 2021. Kukuřice. Výroba kukuřičné siláže aneb: „Jak ochránit nutriční hodnotu píče v praxi“. Available from <https://www.mikrop.cz/magazin/kukurice~m1029>
- Rahman, T., Liu, X., Hussain, S., Ahmed, S., Chen, G., Yang, F., ... & Yang, W. 2017. Water use efficiency and evapotranspiration in maize-soybean relay strip intercrop systems as affected by planting geometries. *PloS one*, 12(6), e0178332.
- Saaten-Union.cz. 2022. Genetika proti vysokým cenám sušení. Available from <https://www.saaten-union.cz/index.cfm/article/11390.html>
- Shahzad, M., Hussain, M., Jabran, K., Farooq, M., Farooq, S., Gašparovič, K., ... & Zuan, A. T. K. 2021. The impact of different crop rotations by weed management strategies' interactions on weed infestation and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 11(10), 2088.
- Simić, M., Dragičević, V., Mladenović Drinić, S., Vukadinović, J., Kresović, B., Tabaković, M., & Brankov, M. 2020. The contribution of soil tillage and nitrogen rate to the quality of maize grain. *Agronomy*, 10(7), 976.
- Siyuan, S., Tong, L., & Liu, R. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*, 7(3), 185-195.
- Smutný, V., Lukas, V., Neudert, L., Šedek, A. 2016. Úzkořádková technologie pěstování kukuřice na siláž a zrno. Mendelova univerzita v Brně. Výstup z projektu NAZV „Inovace systémů pěstování obilnin v různých agroekologických podmínkách ČR“. Available from http://web2.mendelu.cz/af_217_multitext/metodiky_pro_praxi/technologie_uzkoradky_smutny.pdf
- Smutný, V., Neudert, L., & Rábek, M. 2020. Využití podsevových plodin při pěstování kukuřice. *Úroda* 12/2020. Available from <https://uroda.cz/vyuziti-podsevovych-plodin-pri-pestovani-kukurice/>

- Suganya, A., Saravanan, A., & Manivannan, N. 2020. Role of zinc nutrition for increasing zinc availability, uptake, yield, and quality of maize (*Zea mays* L.) grains: An overview. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 51(15), 2001-2021.
- Sumbo, A., Ikujenlola A. V. 2014 Comparison of chemical composition, functional properties and amino acids composition of quality protein maize and common maize (*Zea may* L). *African Journal of Food Science and Technology* 5.3 (2014): 81-89.
- Tomášek, J. 2019. Pěstování kukuřice s podplodinami a její stimulace v suchých ročnících. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pestovani-kukurice-s-podplodinami-a-jeji-stimulace-v-suchych-rocnikach>
- Tomášek, J., Brinar, J. 2021. Pěstování podplodin v kukuřici a jejich potenciál pro uplatnění v zemědělské praxi. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pestovani-podplodin-v-kukurici-a-jejich-potencial-pro-uplatneni-v-zemedelske-praxi>
- Tyrolová, Y. 2021. Co ovlivňuje kvalitu kukuřice pro siláž. ýzkumný ústav živočišné výroby, v. v. i., Praha-Uhřetěves. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/sklizen-a-skladovani/sklizen-1/co-ovlivnuje-kvalitu-kukurice-pro-silaz>
- Uzoh, I. M., Igwe, C. A., Okebalama, C. B., & Babalola, O. O. 2019. Legume-maize rotation effect on maize productivity and soil fertility parameters under selected agronomic practices in a sandy loam soil. *Scientific reports*, 9(1), 8539.
- Valas, S.K. The quality protein maize story. 2000. The United Nations University. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(4):445-450.
- Yang, H., Gu, X., Ding, M., Lu, W., & Lu, D. 2019. Activities of starch synthetic enzymes and contents of endogenous hormones in waxy maize grains subjected to post-silking water deficit. *Scientific Reports*, 9(1), 7059.
- Ye Y, Ding Y, Jiang Q, Wang F, Sun J, Zhu C. 2017. The role of receptor-like protein kinases (RLKs) in abiotic stress response in plants. *Plant Cell Reports* 36:235–242. Available from <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2084-x>.
- Veljković, V. B., Biberdžić, M. O., Banković-Ilić, I. B., Djalović, I. G., Tasić, M. B., Nježić, Z. B., & Stamenković, O. S. 2018. Biodiesel production from corn oil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 531-548.
- Zhao, M., & Chen, B. 2023. Corn Oil. Reference Module in Food Science, Elsevier, 2023. ISBN 9780081005965. Available from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00013-5>.

9 Seznam grafů

Graf 1 Záporné hodnoty půdního vodního potenciálu.....	35
Graf 2 Záporné hodnoty půdního vodního potenciálu – hrách a kontrola.....	36
Graf 3 Meteodata za rok 2021	37
Graf 4 Výnosy kukuřice.....	38
Graf 5 Výnosy v letech 2019 až 2021.....	39
Graf 6 Výnos sušiny v nadzemní suché biomase v letech 2019 až 2021	40
Graf 7 Normální pravděpodobnostní graf - výnosu sušiny.....	40
Graf 8 Fisherův LSD metoda intervalů spolehlivosti – výnos sušiny	42
Graf 9 Výnos zrna se 14% vlhkostí v letech 2019 až 2020	43
Graf 10 Normální pravděpodobnostní graf - výnos zrna.....	43
Graf 11 Fisher LSD metoda intervalů spolehlivosti – výnos zrna.....	45

10 Seznam tabulek

Tabulka 1 Jednofaktorová ANOVA – výnos sušiny v letech 2019 až 2021	39
Tabulka 2 Fisherův LSD test – výnos sušiny	41
Tabulka 3 Jednofaktorová ANOVA – výnos zrna v letech 2019 až 2020.....	42
Tabulka 4 Fisherův LSD test – výnos zrna.....	44
Tabulka 5 Obsah škrobu, NL a vlákniny ve variantách podsevu	45

12 Seznam použitých zkratk a symbolů

BVO	Bramborářská výrobní oblast
KVO	Kukuřičná výrobní oblast
OVO	Ovesná výrobní oblast
ŘVO	Řepářská výrobní oblast

