

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Vliv biologických stimulačních postupů na produkční
ukazatele a choroby kukuřice seté**

Diplomová práce
Bc. Eva Šťovíčková

Ekologické zemědělství
AMEKS
Ing. Jaroslav Tomášek Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv biologických stimulačních postupů na produkční ukazatele a choroby kukuřice seté" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 4. 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Jaroslavu Tomáškoví Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracovávání této práce. Velké díky také patří všem, kteří mi byli velkou oporou.

Vliv biologických stimulačních postupů na produkční ukazatele a choroby kukuřice seté

Souhrn

Tato diplomová práce se zabývá možnými vlivy stimulačních postupů, které se projeví na produkčních ukazatelích a výskytu chorob na maloparcelkovém pokusu v porostu kukuřice seté.

Praktická část práce vycházela z cíle testování a zhodnocení účinnosti aplikovaných stimulačních přípravků na kukuřici v polních podmínkách. Konkrétně byly použity bakteriální přípravky *Trichoderma* a FIX H+N. Kukuřice byla hodnocena ve dvou částech pokusu – silážní kukuřici a část zrnovou.

Ve venkovních podmínkách, na pokusném stanovišti FAPPZ v Červeném Újezdě byla *Trichoderma harzianum* ovlivněna mnoha vnějšími faktory, jako jsou velmi vysoké letní teploty a s tím spojený nepravidelný a velmi nízký úhrn dešťových srážek v období vegetace, kvalita půdy nebo sluneční záření. Výsledny experimentu zahrnují, že *Trichoderma harzianum* dobře kooperuje s kořenovým systémem hostitelské rostliny a je schopna za určitých podmínek do značné míry eliminovat přítomnost patogenů v půdě např. *Fusarium* spp. Varianta ošetřená Polyversum 2x, vykazovala stupeň téměř bez napadení touto chorobou.

Před sklizní byly provedeny odběry k porovnání hodnocených výnosových ukazatelů. Při sklizni kukuřice byl stanoven výnos biomasy, byla zvážena hmotnost zrn z jednotlivých opakování, byl zjištěn obsah sušiny a během vegetačního období byl monitorován výskyt chorob v porostu kukuřice seté. Vlivem vývoje velmi suchého počasí v pokusném roce byla vegetační doba růstu kukuřice seté značně zkrácena. Varianta PRP - SOL byla ve výnosu suché hmoty zrna vyšší o 0,31 t.ha⁻¹ oproti kontrole a vyšší o 0,47 t.ha⁻¹ oproti variantě FIX H+N.

Klíčová slova: kukuřice, choroby, fuzariózy, mykotoxiny, *Trichoderma*

Influence of biological stimulation treatment on production indicators and diseases of corn

Summary

This thesis concerns the possible impact of stimulation procedures, that were shown on production indicators and occurrence of disease on small-plot experiment in maize vegetation.

The practical part of the thesis was based on the goal of testing and the evaluation of the effectiveness of applied stimulation agents on maize in field conditions. Specifically agents *Trichoderma* and FIX H+N were used. Maize was evaluated in two parts of the experiment – a silage and a grain section.

In the outdoor conditions, on the experimental post FAPPZ in Červený Újezd *Trichoderma harzianum* was affected by a lot of outdoor factors, for example the very high summer temperatures and the associated unusual and very low level of precipitation during the vegetation period, the quality of soil or the level of sunshine. Results of the experiment confirmed that the *Trichoderma harzianum* well cooperates with a root system of a host plant and is able under certain conditions to a great extent eliminate presence of pathogens of a genus *Fusarium* spp. The variant treated with Polyversum 2x showed a degree almost without infection with this disease.

Before harvesting, samples were taken to compare the yield indicators. During maize harvest a biomass yield was determined, the weight of the grains from the individual repetitions, the content of dry matter, and, during the vegetation period, the occurrence of disease in the maize vegetation was monitored. As a result of the very dry weather the vegetation period of growth of maize was significantly shortened. Yield of the PRP - SOL variant was 0.31 t.ha⁻¹ higher in grain dry matter compared to control and higher by 0.47 t.ha⁻¹ compared to FIX H + N.

Keywords: maize, diseases, *Fusarium*, mycotoxin, *Trichoderma*

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Historie pěstování kukuřice.....	10
3.2 Hospodářský význam kukuřice	10
3.3 Biologická charakteristika kukuřice.....	12
3.3.1 Botanické rozdělení	12
3.3.2 Morfologická charakteristika kukuřice.....	14
3.4 Růst a vývoj.....	16
3.5 Agrotechnika kukuřice	16
3.6 Výskyt škodlivých činitelů na kukuřici.....	18
3.6.1 Škůdci	18
3.6.2 Choroby	23
3.6.3 Regulace škodlivých činitelů v kukuřici	28
3.6.4 Alternativní metody ochrany	32
3.6.5 Biostimulanty a jejich použití.....	33
4 Metodika	39
4.1 Charakteristika stanoviště	39
4.1.1 Půdní podmínky.....	39
4.1.2 Meteorologická měření.....	39
4.2 Agrotechnický popis	40
4.3 Založení pokusu	41
4.4 Měřené charakteristiky.....	45
4.4.1 Hodnocení vzcházení.....	45
4.4.2 Výška rostlin.....	45
4.4.3 Stupeň nakažení fuzárií	45
4.4.4 Výnos kukuřice na siláž.....	46
4.4.5 Zjištění sušiny kukuřice na siláž.....	46
4.4.6 Výnos kukuřice na zrno.....	46
4.4.7 Statistické hodnocení	46
5 Výsledky	47

5.1 Hodnocení chorob kukuřice	47
5.1.1 Choroby stébla – rez	47
5.1.2 Choroby palic – fuzária	47
5.1.3 Průměrné počty sněti (<i>Ustilago maydis</i>) variant pokusu.....	48
5. 2 Hodnocení výnosů.....	48
5.2.1 Průměrná hmotnost 1 rostliny (g).....	48
5.2.2 Výnos zelené hmoty celých rostlin (t.ha ⁻¹).....	49
5.2.3 Obsah suché hmoty celých rostlin (%).....	50
5.2.4 Výnos suché hmoty celých rostlin (t.ha ⁻¹).....	50
5.2.5 Výnos zrna z čerstvé hmoty (t.ha ⁻¹).....	51
5.2.6 Obsah sušiny zrna (%).....	52
5.2.7 Výnos suché hmoty zrna (t.ha ⁻¹).....	52
6 Diskuze	53
7 Závěr	57
8 Literatura.....	59

1 Úvod

Kukuřice setá je spolu s pšenicí a rýží nejdůležitější obilninou ve výživě lidí. Dnes je navíc významnou krmnou, průmyslovou a energetickou plodinou (Zimolka et al. 2008).

Je to plodina, která v našich podmínkách tvoří nejvíce biomasy na plošné jednotce ze všech u nás pěstovaných polních plodin. Mimořádný význam kukuřice spočívá také v tom, že se může pěstovat v monokultuře (Petr et al. 1997).

Kromě hlavních užitkových směrů se i u nás rozvíjejí další, alternativní formy zpracování produkce kukuřice. V posledních padesáti letech dochází k podstatným změnám klimatu. Lze to prokázat mimo jiné i náhlým rozšířením některých teplomilných škůdců a chorob různých plodin. Na kukuřici se projevují s narůstající intenzitou zejména choroby způsobené různými patogeny. Poškozením rostliny škůdci, pak vznikají vstupní místa pro choroby, někteří škůdci jsou i jejich přímými přenašeči (Zimolka et al. 2008).

Fusarium spp. patří k nejvýznamnějším patogenním společenstvím hub, které ovlivňují plodiny. Tyto houby mohou vyvolat vážné onemocnění na kořenech, stoncích, listech a plodech, což má za následek obrovské ekonomické ztráty. Kukuřičná hniloba způsobená *Fusarium* spp. ovlivňuje produkci kukuřice a kvalitu jádra (Canxing et al. 2016).

Houby jsou široce distribuovány v hostitelské tkáni rostliny a za příznivých podmínek reagují na stres v rostlině tím, že využívají výhodné růstové podmínky pro vyvolání onemocnění (Leslie et al. 1990).

Trichoderma spp. jsou volně žijící houby, které jsou běžné v půdních a kořenových ekosystémech. Objevy ukazují, že se jedná o oportunistické, avirulentní symbionty rostlin, stejně jako o parazity jiných hub. Kořenová kolonizace *Trichoderma* spp. také často zvyšuje růst a vývoj kořenů, produktivitu plodin, odolnost vůči abiotickým stresům a příjem živin (Herman et al. 2004).

Vlivem změny klimatu se přizpůsobuje i šlechtění kukuřice, které má u této plodiny mimořádný význam, a to jak z hlediska možností jejího rozšiřování do marginálních oblastí a růstu výkonnosti hybridů, tak vhodnosti pro různé směry využití (Zimolka et al. 2008).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit a porovnat vlivy biologických stimulačních postupů na produkční ukazatele (výnos zelené a suché hmoty, obsah sušiny, výšku rostlin) a intenzitu napadení chorobami kukuřice seté.

Hypotéza 1: Biologické stimulační přípravky sníží napadení rostlin houbovými patogeny.

Hypotéza 2: Použití biologických přípravků jako postřik na půdu bude mít vliv na vyšší výnos silážní hmoty i zrna.

3 Literární rešerše

3.1 Historie pěstování kukuřice

Na rozdíl od ostatních známých obilnin jsou původní domovinou kukuřice tropické a subtropické oblasti Jižní a Střední Ameriky. Je to prastará kulturní plodina, která byla známa dávným americkým indiánským kmenům. V hrobkách Severní, Střední a Jižní Ameriky se uchovaly palice a zrna kukuřice. Aztékové, Mayové, Inkové a jiné kmeny dávaly přednost pěstování kukuřice před ostatní činností a vypěstovanou kukuřici používali k nejrozmanitějším účelům. Kukuřice byla v této době pro indiánské kmeny posvátnou rostlinou (Šuk et al. 1998).

Již v době objevení Ameriky, ale i dávno před tím, nebyly známy její původní plané formy (Šuk et al. 1998). Podle Harshbergera (1896) je za nejpravděpodobnější místo původu považováno střední a jižní Mexiko, blízko sídlišť pravěkých Mayů, od kterých se pěstování kukuřice rozšířilo na sever i na jih. Také Candolle (1884) ve svých úvahách poukazuje na vysoko položené náhorní roviny Mexika a Chile jako nejpravděpodobnější místa domestikace kukuřice.

Tak, jak ji známe nyní, ve volné přírodě neexistovala, protože pro pevné uložení zrna v palici a jejich krytí obalovými listeny se nemůže sama rozmnožovat (Špaldon et al. 1982).

Kukuřice vyvinutá z teosintle (plana forma kukuřice) a její kultivace byla velmi zodpovědná za transformaci domorodých obyvatel na progresivní zemědělce. Aby se zlepšily její stravovací vlastnosti a nutriční hodnota, Indové vařili kukuřičná jádra s výluhem dřevěného popela nebo vápna. Uvařená kukuřičná jádra byla jemná a snadněji se rozemlela na těsto, které bylo páteří pro výrobu dostatečného množství potravin (Serna-Saldivar & Sergio 2015).

Pravděpodobně křížením plané, dávno vyhynulé kukuřice s příbuznými rostlinami, mutacemi vlivem prostředí a výběrem vznikla kukuřice v dnešní podobě (Šuk et al. 1998). Do Evropy, Asie a Afriky se dostala po objevení Ameriky, přitom není jisté, zda byla do Evropy dovezena již z první Kolumbovy cesty. Zpočátku se pěstovala v západní Evropě jako zvláštnost v zahradách. Během několika let se rozšířila do severní Afriky. Do malé Asie byla dovezena benátskými kupci, Turci ji rozšířili ve východní Evropě (Zimolka et al. 2008).

3.2 Hospodářský význam kukuřice

Dle Šuka et al. (1998) je hospodářský význam kukuřice vidět na první pohled, neboť od roku 1492 resp. od roku 1494, kdy jsou první informace po jejím dovozu do Evropy, se rozšířila do celého světa a během pouhých 500 let zaujala třetí místo ve velikosti osevní plochy na světě mezi všemi pěstovanými plodinami. Ve srovnání s rýží a pšenicí je kukuřice produktivnější a poskytuje předpoklady pro další stupňování výnosů. Její rozšíření umožnila velká variabilita a výnosnost.

Kukuřice zaujímá vedoucí postavení mezi hlavními obilninami ve světové zemědělské produkci. Produkce kukuřice se koncentruje především v teplých oblastech. V některých

regionech je kukuřice základem tradičního jídla obyvatelstva, ale většinou je součástí krmiva pro krmení hospodářských zvířat. Kukuřice nehromadí dusičnany a je šetrná k životnímu prostředí. V současné době je kukuřice jednou z nejdůležitějších plodin pěstovaných člověkem (Sots, Bnyiak & Valevskaya 2018).

U nás se pěstování kukuřice více rozšířilo až na počátku 20. století, zvláště se zaváděním hybridního osiva. Přitom dosud převažují dva užitkové směry: kukuřice na zrno a kukuřice silážní (Šuk et al. 1998).

Podle FAO, její zrno a samotná rostlina slouží jako suroviny pro výrobu téměř 3 500 druhů výrobků, které jsou používány nejen v zemědělství, ale i v průmyslu jako je farmacie, potravinářství atd. Ve světové produkci je více než čtvrtina výnosu kukuřice určena na potravinářské účely. Průměrná roční spotřeba kukuřice na obyvatele v mnoha zemích dosahuje více než 30 kg (Sots, Bnyiak & Valevskaya 2018).

Podstatná část zrna (více než 70 % celosvětové produkce) se používá ke krmení, pro výživu lidí pak 20 % produkce. Asi 5 % se používá k průmyslovému zpracování a asi 2 % jako osivo. Převážná část zrna se spotřebuje do krmných směsí, kde je nezbytným komponentem pro výživu prasat a drůbeže. Zrno kukuřice nebo celé palice se využívají jako jaderné krmivo. Ke krmným účelům lze použít i vedlejší produkty např. kukuřičnou slámu, listeny a větvena. (Šuk et al. 1998). Kukuřice se používá v potravinářství pro výrobu konzervovaných potravin, škrobu, sirupů, alkoholu, piva, látek, které jsou výživné pro prostředí kultur mikroorganismů, některých léků, výtažků, past a kukuřičného oleje (Sots, Bnyiak & Valevskaya 2018).

Kukuřičný olej je vysoce stravitelný, poskytuje energii a esenciální mastné kyseliny. Kyselina linolová je nezbytná pro integritu kůže, buněčných membrán, imunitního systému a pro syntézu ikosanoidů. Ikosanoidy jsou nezbytné pro reprodukční, kardiovaskulární funkce a zvyšují celkovou odolnost vůči nemocem. Kukuřičný olej je vysoce účinný potravinový olej pro snížení hladiny cholesterolu v krvi. Vzhledem ke svému nízkému obsahu nenasycených mastných kyselin (SFA - Saturated Fatty Acid), který zvyšuje cholesterol a jeho vysoký obsah PUFA (Poly Unsaturated Fatty Acids - polynenasycených mastných kyselin), který snižuje cholesterol, může spotřeba kukuřičného oleje nahradit SFA pomocí PUFA. V současné době z epidemiologických studií nevyplývá, že příjem PUFA je spojen se zvýšeným rizikem rakoviny prsu nebo tlustého střeva, o které se předpokládá, že je podporován vysokotučnou dietou u lidí (Dupont et al. 1990).

Pro průmyslové zpracování slouží kukuřice jako surovina pro výrobu stavebních hmot, papíru, lepenky, lepidel, bioplastů, dále v chemickém, kosmetickém a farmaceutickém průmyslu. Nejnověji pro výrobu obnovitelných zdrojů energie jako je bioetanol, bioplyn a biomasa (Sots, Bnyak & Valevskaya 2018). Kukuřičný škrob je zdrojem pro výrobu bioplastů, které nabízejí určité alternativy nabízené k překonání environmentálních problémů způsobených odpady z plastů (Elsa 2015).

Kukuřičné zrno obsahuje soli minerálních látek důležité pro lidské tělo. Soli draslíku, vápníku, hořčíku, železa a fosforu. Jeho protein obsahuje esenciální aminokyseliny, jako je lysin a tryptofan. Škrob je hlavní látka obsažená v zrně a činí v průměru 60 - 68 % hmotnosti zrna. Je koncentrována v endospermu. Záronek obilného zrna, který zaujímá téměř třetinu, obsahuje 35 % tuku. Vysoký obsah sacharidů umožňuje skladování kukuřice, které je vhodné zejména pro průmyslové použití. Chemické složení různých botanických poddruhů kukuřice

je přibližně stejné. Kukuřice neakumuluje dusičnany a je ekologický produkt. Kukuřice je rostlina různého použití (Sots, Bnyak & Valevskaya 2018).

Změny klimatu (rozšiřující se oblasti přísušků) vedou k expanzi kukuřice do netradičních oblastí a tak dochází k jejímu dalšímu rozšiřování. Těmto trendům se přizpůsobuje i šlechtění kukuřice, které má u této plodiny mimořádný význam, a to jak z hlediska možností jejího rozšiřováním marginálních oblastí, růstu výkonnosti hybridů, tak vhodnosti pro různé směry využití (Zimolka et al. 2008).

3.3 Biologická charakteristika kukuřice

3.3.1 Botanické rozdělení

Podle Zimolky et al. (2008) je v botanickém systému kukuřice (*Zea mays L.*) zařazena jako jednoletá, různopohlavní a jednodomá rostlina. Jedná se o typ diklinický s prašníkovými (samičími) a pestíkovými (samičími) květy, uspořádanými do oddělených květenství (laty a palice). Je cizosprašná. Patří do podtřídy jednoděložných (*Monokotyledonae*), řádu lipnicokvětých (*Poales*), čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), skupiny kukuřicovitých (*Maydeae*).

Kukuřici řadíme mezi obiloviny, které mají mnoho společných znaků s obilninami první skupiny, ale také znaky, kterými se od nich výrazně liší (Šuk et al. 1998).

Z praktického hlediska rozdělujeme kukuřice podle tvaru zrna a jejího složení na tyto poddruhy:

- **Kukuřice obecná, tvrdá** (*Zea mays* convar. *indurata* Sturt., syn. *Zea mays* convar. *vulgaris* Körn).

Je velmi polyformní a patří k nejstarším typům. Zrno má tvrdé, okrouhlé, lesklé s moučnatým endospermem pouze ve střední části zrna. Zahrnuje odrůdy ranější s rychlejším růstem a vývojem převážně v počátečních stádiích. Uvádí se též nižší výnos v porovnání s kukuřicí koňský zub (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice koňský zub** (*Zea mays* convar. *identata* Stur., syn. *Zea mays* convar. *dentiformis* Körn.).

Zrno se vyznačuje nižší tvrdostí oproti kukuřici obecné. Má však nápadný, obvykle klínovitý tvar s malou jamkou nahoře a výraznou strukturou. Po stranách je zrno sklovité a tvrdé, vnitřní část endospermu je měkká a moučnatá. Při dozrávání na vrcholu zrna vytváří jamku – podobnou tvaru zubu. Hybridy jsou zpravidla pozdnější než kukuřice obecná, méně odnožují, jsou však výnosnější (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice polozubovitá** (*Zea mays* convar. *aorista* Grebencs., syn. *Zea mays* convar. *semidentata* Kulesh.)

Tvoří přechod mezi uvedenými formami, vznikla jejich křížením. Jamka na povrchu zrna je méně výrazná než u koňského zubu a endosperm je naopak sklovitější (Šuk et al. 1998).

Vznikla křížením koňského zubu a kukuřice obecné a představuje přechodnou formu mezi těmito dvěma varietami.

Všechny tři uvedené variety kukuřice se pěstují na zrno, dělenou sklizeň a na siláž. V současné době v Seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize převažují hybridy typu koňského zubu (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice pukancová** (*Zea mays* convar. *everta* Sturt., syn. *Zea mays* convar. *microsperma* Körn.).

Zrno je velmi drobné, endosperm sklovitý a tvrdý. Většinou obsahuje hodně bílkovin a má velkou výživnou hodnotu (Šuk et al. 1998).

Podle typu zrna se dělí na rýžovou - oryzoides se zobákovitě ukončeným, téměř průhledným zrnem a kukuřici perlovou - gracillima, která má zrno na vrcholu zakulacené, hladké a lesklé. Moučnatý endosperm se vyskytuje pouze zřídka, a to v blízkosti klíčku. Pražením zrno praská, oplodí a endosperm přitom jako bílá hmota několikrát zvětší objem a vyhřezává (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice cukrová** (*Zea mays* convar. *sacharata* Sturt.).

Charakteristická svráštělost zrna se dostavuje až po dozrání, neboť chybí podpůrná rohovitá vrstva. Pro svou výživovou hodnotu se používá jako zelenina, kdy se sklízí v konzumní (voskové mléčné) zralosti. Tehdy má zrno okrouhlý tvar. Konzumuje se jako vařená nebo sterilovaná (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice škrobnatá** (*Zea mays* convar. *amylacea* Grebencs, syn. *Z. m.* convar. *macrosperma* Klobsch.).

Zrno má nízký obsah bílkovin a vysoký obsah škrobu. Je typickou škrobárenskou kukuřicí, vhodná k výrobě lihu (Zimolka et al. 2008). Považuje se za nejstarší skupinu kulturní kukuřice (Šuk et al. 1998).

- **Kukuřice vosková** (*Zea mays* convar. *ceratina* Grebencs.).

Má zrno vzhledem i tvrdostí velmi podobné zrnům kukuřice tvrdé, od něhož se liší matným povrchem. Je vhodná k technickým účelům (Zimolka et al. 2008).

- **Kukuřice pluchatá** (*Zea mays* convar. *tunicata* St. Hill, syn. *cryptosperma* Bonaf, syn. *glumacea* Larranaga.).

Nemá hospodářský význam, slouží k botanickým a genetickým studiím. Zrno má uzavřené ve zvětšených pluchách (Zimolka et al. 2008).

3.3.2 Morfologická charakteristika kukuřice

Kukuřice má některé znaky společné s jinými druhy čeledě lipnicovitých, v jiných znacích se od nich výrazně odlišuje.

U zralého zrna je zárodek zřetelně vyvinutý a vysoce organizovaný. Je na něm možno vidět základy všech vegetativních orgánů. Začíná klíčit za vyhovujících tepelných a vlhkostních podmínek ve vzduchu i v půdě. V polních podmínkách vyklíčí za sedm až deset dní, v teplé a vlhké půdě může vyklíčit i za pět dní. Za optimální teplotu se považuje 32 °C (minimální 6 °C, maximální 44 až 55 °C).

Nejnižší obsah vody v zrnu, při kterém dochází k růstu kořínku je 57 % při teplotě 30 °C. Při teplotě 12 °C je to již 75 %. Růstový vrchol začíná růst při obsahu vody o 7 – 10 % vyšším než má kořínek. Za normálních podmínek klíčení voda proniká do zrna nejen přes osemení a klíček, nýbrž celým povrchem zrna (Zimolka et al. 2008).

3.3.2.1 Generativní orgány

- **Květy a květenství**

Tvoří květy různopohlavní, jednodomé, sestavené po dvou do klásků. Samčí květenství (lata) je umístěno na vrcholu rostliny, samičí se nachází ve střední části stébla, vyrůstá z úžlabí listů. Samčí, prašníkové květy tvoří klásky uspořádané do laty, samičí květy pestíkové tvoří palici (Zimolka et al. 2008).

Lata začíná kvést od středu a uvolňování pylu trvá 4 – 5 dní, za méně příznivých podmínek až 8 dní. Schopnost opylení blizny je poměrně dlouhá (až 25 dní při průměrné teplotě 17 - 20 °C), ale životnost pylu je velmi krátká (pouze několik hodin). Doba opylení je závislá na teplotě a vlhkosti. Vyšší teploty a nižší vzdušná vlhkost urychlují odumírání pylových zrn.

Počátek kvetení samičího květenství (palice) bývá za normálních podmínek opožděn proti počátku kvetení laty o 1 - 5 dnů (Šuk et al., 1998).

- **Plod**

Zárodek (embryo) je značně veliký a dosahuje 10 – 16 % celkové váhy obilky. Představuje základ nové rostliny (Hruška et al. 1962).

Zrno kukuřice je z botanického hlediska nažka, což je suchý jednosemenný plod, nepukavý, s tenkým oplodím. Tvar zrna se mění i podle umístění na palici. Barva zrna se pohybuje v široké škále. Od bílé přes žlutou, oranžovou, hnědočervenou, fialovou až po černou, u některých kultivarů i skvrnitou (Zimolka et al. 2008).

3.3.2.2 Vegetativní orgány kukuřice

- **Kořeny**

Kukuřice vytváří svazčitý kořenový systém, jehož provazčité kořeny pronikají poměrně hluboko do půdy, podle stanovištních podmínek 1,5 – 3 i více metrů, a zajišťují zásobování vodou ze značné hloubky. Převážná část jemných kořínků je však rozložena mělce v orniční vrstvě do 20 cm, kolem stébla v okruhu okolo 100 cm i více (Zimolka et al. 2008).

Kořen kukuřice patří podle svého původu k primární nebo sekundární kořenové soustavě. Primární kořenovou soustavu tvoří kořeny, které se zakládají už v zárodku. Sekundární představují kořeny vznikající v přeslenech okolo bazálních uzlů. Sekundární kořenovou soustavu tvoří soubor stonkových kořenů vznikajících ve spodní, meristémové části jednotlivých článků ve vrstvě odpovídajícího pericyklu. Vytváří se obvykle okolo pěti až sedmi bazálních uzlů. Pro vyšší přesleny je charakteristické, že kořeny vyrůstají ze stébla nad povrchem půdy (Šuk et al. 1998).

Kukuřice zakořeňuje do hloubky 300 – 400 mm již v prvních čtyřech týdnech po vzejití, tj. v době, kdy vytváří dva až tři listy. Kromě funkčních adventivních kořenů může kukuřice vytvářet ze tří až čtyř nadzemních kolének nadzemní vzdušné kořeny, které ji mohou chránit před polehnutím (kořeny opěrné). Jsou-li v kontaktu s kyprou půdou, mohou rostlinu i vyživovat a dokáží zužitkovat srážky (i rosu), zvláště ve druhé polovině léta. Bývají hojnější a silnější u vzrůstajících hybridů a za vlhkého počasí (Zimolka et al. 2008).

- **Stéblo**

Kukuřice má obdobně jako jiné obilniny vzpřímené dužnaté stéblo. Na povrchu je hladké. Dosahuje výšky od 120 do 300 i více centimetrů. Zužuje se směrem nahoru. Je zásobním orgánem kukuřice a zprostředkovává spojení listů a kořenů (Zimolka et al. 2008).

Je složené z článků (internodií), které se střídají s plnými kolénky (nody). Počet nadzemních článků je podmíněn délkou vegetační doby a stanovištními podmínkami. Z každého kolénka vyrůstají na stéble vstřícné listy, vytváří tak dvě svislé řady a chrání svými pochvami bazální části článků. Vrchol nejvyššího článku je zakončen latou (Zimolka et al. 2008).

Vyšší a přehuštěný porost kukuřice a je náchylnější k poléhání a má menší podíl klasů na celkové hmotě rostliny. Pravá, plná kolénka dodávají stéblu pevnost a jsou zastoupena hustěji v dolní části. Z těchto kolének mohou vyrůstat vedlejší odnože, které však ochuzují hlavní stéblo o živiny a mohou snižovat hlavní výnos zrna. Podíl stébel na celkovém výnosu sušiny rostlin kukuřice bývá v rozpětí 30-50 % (Šuk et al. 1998).

- **Listy**

Kukuřice má listy široké, dlouze kopinaté. Velká, široká čepel má nápadné střední žebro, často zvlněný okraj – je to důsledek rychlejšího růstu čepele na jejím okraji. Povrch čepele je mírně porostlý chloupky, na spodní straně je hladký (Zimolka et al. 2008).

List jako orgán slouží k asimilaci a výparu vody. Počet listů je dán geneticky, rané hybridy mají zpravidla menší počet listů než hybridy pozdní. Tvorba listových základů končí vznikem samčího květenství. Listy během vegetace začínají odumírat od spodní části rostliny.

Podle postavení listové čepele k povrchu půdy rozeznáváme dva základní typy: planofilní (horizontálně postavené) a erektofilní (vertikálně postavené). Postavení listu má především význam při využití dopadajícího slunečního záření v porostu kukuřice. Podíl listů na celkovém výnosu sušiny rostliny kukuřice je v rozmezí 10 – 20 % (Šuk et al. 1998).

Největší listy se tvoří od konce května do začátku července při teplotě okolo 20 °C, což souvisí s větší intenzitou růstu (Zimolka et al. 2008).

3.4 Růst a vývoj

Z hlediska praktického využití výsledků sledování růstových a vývojových změn během ontogeneze kukuřice rozlišujeme dvě základní období: vegetativní (klíčení, vzcházení, příp. odnožování) a generativní (sloupkování, metání, kvetení, tvorba zrna a zrání). Základní období definují růstové fáze pomocí stupnic zaznamenávající momentální stav rostlin v porostu, důležitých pro určení optimálních termínů vhodných k agrotechnickým vstupům do porostů. V současné době převažují stupnice s desetinným kódem – DC a BBCH, které nejlépe splňují požadavky na registraci výpočetní technikou (Zimolka et al. 2008).

Kukuřice se podle způsobu fixace CO₂ řadí k rostlinám typu C₄, tzn., že v hatch-slackově cyklu tvoří primárně čtyřuhlíkatou sloučeninu – molekulu oxalacetátu. Pro tento typ rostlin je typická vyšší rychlost fotosyntézy a rovněž vysoká účinnost fotosyntézy (Zimolka et al. 2008).

Ačkoliv C₄ rostliny mají při fotosyntéze vyšší teplotu než C₃ rostliny, P_n (rychlost čisté fotosyntézy rostlin) je obvykle inhibován, když teplota listů přesáhne asi 38 °C. Ačkoli fotosyntetický systém C₄ rostlin je složitější než systém C₃ rostlin, konečné omezení fixace CO₂ pro oba typy fotosyntézy je ovlivněno aktivitou Rubisca (enzym, který katalyzuje následující typy reakcí: karboxylaci neboli fixaci CO₂ v Calvinově cyklu temnostní fáze fotosyntézy) (Crafts-Brandner & Salvucci 2002).

Rostliny C₃ mohou zachytit a uložit teoretické maximum 4,6 % energie přijaté ze slunce, zatímco rostliny C₄ by mohly teoreticky zachytit 6%. Skutečné hodnoty jsou mnohem nižší než tato teoretická maxima, ale je jasné, že C₄ rostliny mají v tomto značnou výhodu. Rostliny C₄ také lépe využívají vodu a dusík než C₃ rostliny. C₄ rostliny také produkuje více biomasy a mají vyšší rychlost fotosyntézy na jednotku dusíku než C₃ rostlin (Kellogg 2013).

Účinky nízkých teplot na C₄ fotosyntézu byla často zkoumána. Studie týkající se účinku vysoké teploty na C₄ fotosyntetiku metabolismu jsou méně časté a předpokládáme, že tato vysoká teplota může inaktivovat Rubisco a limit P_n podobným způsobem jako u rostlin C₃. Nicméně, se zdálo možné, že tepelný stres může mít také dopad na specifiku procesů C₄, jako je fixace CO₂ fosfoenolpyruvátu (PEP) karboxylázou, nebo energetické bilance v důsledku diferenciální lokalizace PSII a Calvinův cyklus. Rychlost čisté fotosyntézy (P_n) v kukuřici vykazovala široké teplotní optimum mezi 28 °C a 37,5 °C. P_n byla inhibována jak teplota překročila 37,5 °C, a relativní inhibice byla mnohem větší, když se teplota v okolí listu rychle zvýšila. Například při 45 °C byl P_n inhibován (Crafts-Brandner & Salvucci 2002).

Svou fotoperiodickou reakcí patří kukuřice mezi krátkodenní rostliny, z čehož vyplývá, že na prodlužující se délku dne reaguje urychlením vývoje a intenzitou růstu, a to podle genotypu. Limitní teplota pro růst kukuřice je mezi 5 – 6 °C (Zimolka et al. 2008).

3.5 Agrotechnika kukuřice

Správné založení porostu kukuřice je jedním ze základních předpokladů dosažení vysoké produkce a kvality u všech variant jejího využití, neboť chyby při zakládání porostů

lze jen velmi obtížně korigovat následnými opatřeními (Zimolka et al. 2008). Kukuřici lze zařadit podle typu produkce k zrninám i k píceinám. Technologií pěstování s ohledem na širokořádkové porosty však náleží k okopaninám. K hlavním pěstebním cílům patří co nejvyšší využití jejího produkčního potenciálu a právě aplikace správných pěstebních postupů je jednou z rozhodujících podmínek (Vach & Javůrek 2009).

Základním předpokladem je, aby se výsev uskutečnil ve vhodném termínu, a aby byl zvolen odpovídající hybrid, správný výsevek, rovnoměrné rozmístění rostlin na ploše a v hloubce půdy. Dobře založený porost, se silnými a zdravými rostlinami, s rychlým počátečním růstem je pak odolnější proti různým stresům a tlaku chorob (Zimolka et al. 2008). Výnos a produkce kukuřice se každoročně mění v závislosti na příznivém počasí během vegetačního období (Runge & Benci 2008).

Standardní hranice začátku setí je dána teplotou půdy 8 až 10 °C, která je zároveň optimální pro klíčení kukuřice. Tomu odpovídá termín od poloviny dubna do 10., resp. 15. května. Výhodnější je zvolit mělké setí (3 – 4 cm), aby osivo lépe využilo teplo akumulované v povrchové vrstvě ornice. Rovněž opoždění výsevu po 10. – 15. květnu (chladno, zamokření) snižuje výnos obvykle o 15 i více procenta a prodlouží termín dozrávání. Každý den výsevu po 10. květnu znamená také oddálení sklizně o dva dny (Zimolka et al. 2008).

Doporučená hustota porostu obvykle klesá s prodlužující se délkou vegetace. Jsou však rozdíly i mezi hybridy stejné ranosti: některé velmi dobře snášejí zahuštění, na které reagují vysokým výnosem. Musíme však respektovat i požadavky jednotlivých hybridů na hustotu porostu (Zimolka et al. 2008).

Obecně lze říci, že čím horší je stanoviště i podmínky pro pěstování kukuřice, tím by měla být hustota porostu menší. Naopak při závlaze můžeme zvýšit hustotu porostu o 15 – 20 % (Polák & Horváth 1990). V klimatických podmínkách ČR se doporučená hustota porostů pohybuje od 7 do 11 rostlin na m² (Zimolka et al. 2008).

Podmínkou je možno zapravit do půdy drcenou slámu předplodiny. Na jaře se provede mělké zpracování půdy a následuje setí přesnými secími stroji. V případě setí do mulče meziplodin se kukuřice seje přímo do nezpracované půdy k tomu určenými secími stroji. Vzhledem k tomu, že kukuřice je charakteristická vysokou snášenlivostí, není výjimkou v osevních postupech pěstování kukuřice po kukuřici. Na podzim, po sklizni kukuřice je důležité zapravení posklizňových zbytků. Posklizňové zbytky, zejména po kukuřici na zrno je nutné dobře rozdrtit a co nejrovnoměrněji rozmístit po pozemku. Před zapravením je třeba aplikovat organická hnojiva (kejdu). Předsetňová příprava a setí jsou stejné, jako po obilninách. Rozhodneme-li se pro minimalizační nebo půdoochranné technologie zakládání porostů polních plodin, pak máme na výběr celou řadu variant. Z nich je potřeba zvolit tu optimální s ohledem na půdní a klimatické podmínky stanoviště, na požadavky plodiny, resp. zvolené odrůdy i na technické možnosti a vybavení podniku (Vach & Javůrek 2009).

V současné době se stále častěji setkáváme s technologiemi založenými na částečném zpracování či setí do půdy nezpracované. Jejich přednosti spočívají především ve snížených nákladech na přípravu a kultivaci půdy a výrazné úspoře času. Nevýhodou je vyšší riziko uplatnění škodlivých činitelů, hlavně zavíječe kukuřičného a houbových chorob, vyšší náklady na pesticidy, zhoršená aerace a prohřívání půdy na jaře. Nejčastěji se jedná o setí do částečně (mělce) zpracované půdy, setí do nezpracované půdy a do mulče včetně setí s

využitím meziplodin. Všechny uvedené způsoby zároveň vyhovují dodržování zásad správné zemědělské praxe (Zimolka et al. 2008).

3.6 Výskyt škodlivých činitelů na kukuřici

Kukuřice je plodina, která se v České republice pěstuje na významné ploše a tomu odpovídá i její napadení škodlivými organismy. K nejvýznamnějším hmyzím škůdcům patří především drátovci – larvy kovaříkovitých brouků rodu *Agriotes* a bzunka ječná (*Oscinella frit*). Tito škůdci se podílí na škodách v ranějších vývojových fázích (Bouma 2017).

V posledních padesáti letech dochází k podstatným změnám klimatu. Lze to prokázat mimo jiné i náhlým rozšířením některých teplomilných škůdců a chorob (Zimolka et al. 2008). Choroby na kukuřici jsou globálním problémem. Bývají způsobené měnicím se klimatem. Důsledky tohoto globálního problému se pravděpodobně nebudou zhoršovat, protože klimatické změny mohou také zlepšit zdravotní stav plodin v kukuřici v závislosti na onemocnění, místě a uvažovaném časovém měřítku. Na druhou stranu patogeny mají také schopnost přizpůsobit se teplejším podmínkám (Zhan & McDonald 2011), a jsou odolné vůči chorobám v závislosti na teplotě a vlhkosti kultivované kultury mohou být v budoucnu pozměněny (Huang et al. 2006, Juroszek & Tiedemann 2011).

S největší pravděpodobností se na rostlině budou patogeny vyvíjet a přizpůsobovat se novému prostředí mnohem rychleji i na ostatních plodinách včetně kukuřice (Juroszek & Tiedemann 2013). Nicméně všechny patogeny mají společné to, že způsobují škody, a že se jim daří za teplých a suchých podmínek, které jsou optimální např. pro *Ustilago maydis* (Boland et al. 2004).

Změna agrotechniky přispěla svým dílem k nárůstu výskytu patogenů. Hlavním problémem v praxi se stalo to, že došlo k vynechání doplňování fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku a organické hmoty, přičemž dávky dusíku byly ponechány. To vedlo k degradaci půdní struktury na mnoha lokalitách. Nyní se u většiny plodin projevuje ohniskové nouzové dozrávání způsobené zhoršenými fyzikálními vlastnostmi půdy (nedostatek kyslíku). Mimo tyto fyziologické škody se na kukuřici projevují s narůstající intenzitou i choroby způsobené různými patogeny a roste i poškození škůdci – zčásti kvůli rozšíření pěstování kukuřice, zčásti vlivem změny klimatických podmínek, ale také v důsledku způsobu horšího zpracování půdy. Škůdci působí ztráty na porostu, výnosu i kvalitě kukuřice po celou dobu její vegetace. Zároveň jsou jimi způsobená poškození vstupním místem pro choroby a někteří škůdci jsou dokonce jejich přímými přenašeči (Zimolka et al. 2008).

3.6.1 Škůdci

Nejvýznamnějšími škůdci na vzházející kukuřice jsou drátovci, larvy tiplic, housenice mŕr (osenice), květílka všežravá a larvy bázlivce kukuřičného (Zimolka et al. 2008).

Obilky a klíčky poškozené žírem: nabobtnalé zrno v půdě chybí, nebo jsou klíčky uštípány od ptáků (bažant polní, straka obecná, sojka, vrána šedivka a havran polní). Kořeny

jsou překousány, nebo jsou do klíčícího zrna a do podzemní části stébla vykousány otory a jamky (Šuk et al. 1998).

Ochrana je založena na insekticidním moření osiva. Další možností je ničení migrujících dospělců ve fázi kladení vajíček. Velká část škůdců se vyvíjí uvnitř posklizňových zbytků. Proto je nutné jejich rozbití po sklizni na části menší než 5 cm s okamžitým zapravením do půdy, a to nejméně 15 cm hluboko. To způsobí urychlení rozkladu organické hmoty a znemožní „dozrání“ zárodků škůdců a také fruktifikaci hub (Zimolka et al. 2008).

3.6.1.1 Larvy kovaříkovitých

třída: hmyz (*Insecta*)

řád: brouci (*Coleoptera*)

čeleď: kovaříkovití (*Elateridae*)

další názvy: drátovci, kovaříci

Drátovci jsou larvy kovaříkovitých brouků rodu *Agriotes*, jejichž vývoj v půdě trvá 3 – 5 let. Po prvním roce života se stávají omnivory – živí se jak rostlinnou, tak živočišnou potravou (Zimolka et al. 2008). Škodlivé výskyty jsou ohniskovité až plošné. Poškození klíčících a vzcházejících rostlin se projevuje vadnutím a usycháním. Kořeny jsou vykousané nebo překousané, semena klíčících rostlin jsou vykousaná (Eagri 2019).

Dospělci brouka nezpůsobují žádné škody na rostlinách, jejich larvy však, pokud se vyskytují ve velkém počtu, již ano. Přezimující brouci se objevují obvykle v dubnu nebo v květnu. Starší larvy mohou zejména na jaře a na podzim poškozovat klíčící semena i vzcházející rostliny (obilí, kukuřici, luskoviny, zeleninu apod.). Od druhé poloviny května kladou samičky do půdy 100 – 200 vajíček. K vývoji je nutná vysoká vlhkost prostředí, jinak vajíčka a mladé larvy zasychají (Gall 2011).

Při teplotě půdy asi 10 °C a při zvýšené vlhkosti se drátovci zdržují v hloubce menší než 30 cm. Tedy v oblasti setí a klíčení kukuřice. Na přelomu května a června se snižuje vlhkost půdy, a proto drátovci znovu napadají kořeny a báze rostlin. Škody již nebývají totální, jen oslabují rostlinu a zvyšují pravděpodobnost jejího onemocnění plísněmi (Zimolka et al. 2008).

Dospělci drátovců neškodí, ale larvy žírem silně poškozují klíčící semena (obilí, kukuřice, luskovin apod.). Do dužnatých podzemních částí rostlin vyžirají hluboké úzké chodbičky. Často pletiva v okolí požerku zahnívají. Poškození je typické, záměna za jiného škůdce je málo pravděpodobná (Syngenta 2019).

Druhy *Agriotes* se od sebe značně liší biologií, ekologií a preferencí plodin. Navíc existují velké regionální rozdíly v rozložení druhů v závislosti na faktorech, jako jsou klimatické a krajinné parametry. V současné době jsou predikce škod a spolehlivé kontrolní strategie stále náročné a je třeba je dále zkoumat. (Ritter & Richter 2013).

V ochraně proti drátovcům je kladen velký důraz na preventivní opatření. V osevních postupech by se neměl vyskytovat jetel a jetelotrávy, protože tyto rostliny podporují populace drátovců. Jako další možnosti ochrany lze využít podzimní orbu, která je vhodnější než jarní orba. Tato orba podporuje nižší stimul ke kladení vajíček na holou půdu bez vegetace. Dále

pak zpracování strniště za teplého počasí, kdy při opakovaném zpracování dochází k zdecimování mladých larev. Pomoci může likvidace pýru, časná sklizeň, odvoz posklizňových zbytků, okamžité zapravení chlévského hnoje nebo kompostu, protože tyto organické látky působí na samičky kovaříků silně lákavě (Koubová 2010).

3.6.1.2 Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*, syn. *Pyrausta nubilalis*)

třída: hmyz (*Insecta*)

řád: motýli (*Lepidoptera*)

čeleď: travaříkovití (*Crambidae*)

vědecká synonyma: *Botys silacealis*, *Pyrausta nubilalis*

Škody způsobené tímto druhem na produkci kukuřice jsou obecně proměnlivé, ale v mnoha případech jsou ekonomicky významné (Franeta 2018).

Zavíječ může parazitovat na desítkách rostlinných druhů. Dříve se vyskytoval zejména na plevelných rostlinách (rdesna, konopí, kopřivy) a jeho výskyt byl regulován mnoha přirozenými nepřáteli, jako jsou ptáci, některé parazitické druhy blanokřídlých a jiný dravý hmyz (Kulovaná 2002).

Vážným škůdcem jsou hlavně housenky zavíječe kukuřičného. Vylíhlé housenky poškozují listy a tyto požerky jsou vstupní branou pro mykózní onemocnění, později pak dochází k lámání stébel a vylamování klasů. Způsobuje nejen ztráty na výnosu, ale i významně zhoršuje kvalitu produkce. Jeho housenky škodí v porostech kukuřice vyžíráním otvorů a chodeb ve stéblech a palicích. Vyvrtné otvory jsou pak vstupní branou pro napadení palic a stonků houbovými chorobami (zejména fuzariózami) a zároveň jsou příčinou lámání stébel. Housenky přezimují v posklizňových zbytcích. Při jarních teplotách kolem 15 °C se kuklí. Vývoj kukly trvá asi 14 dní, a pak začíná nálet motýlků. Nálety probíhají ve vlnách a trvají většinou až do konce srpna. Období snůšky trvá 14 – 20 dní. (Zimolka et al. 2008).

Žírem housenek dochází k narušení vodivých pletiv rostliny, zeslabení rostlin, poškození palic. Housenky způsobují nižší výnos zrna i zelené hmoty. Ztráty na výnosech mohou dosahovat až 30 %. Napadení může také ovlivnit klíčivost u osivové kukuřice, která může klesnout o více než 20 % (Bagar 2000).

Přímá škodlivost zavíječe souvisí se sklizňovými ztrátami při výmlatu. Palice rostlin jsou zlomené těsně nad zemí a nemohou tak být zachyceny sklizňovým adaptérem. Nepřímá škodlivost je mnohdy závažnější. Spočívá v zaplísnění sklizeného produktu, ve zhoršení hygienické a dietetické kvality krmiv, ve zhoršení průběhu fermentačního procesu. Tím dochází ke znehodnocování skladovaného krmiva a k ohrožení zdravotního stavu zvířat krmených těmito produkty (Kulovaná 2002).

Poškození rostlin požerky je zároveň vstupní branou pro infekci bakterií a hub. Původci houbových chorob, především fuzária, zhoršují zdravotní stav rostliny a navíc jsou producenty významných mykotoxinů. Pokud se tyto látky nacházejí v krmivu, mohou mít značný negativní vliv na zdravotní stav hospodářských zvířat (Bagar 2000).

Zavíječ kukuřičný je škůdce, který vyžaduje komplexní přístup k jeho omezování. Na výskyt zavíječe mají vliv zejména tři faktory - osevňovací postup, způsob sklizně kukuřice a posklizňové zpracování půdy. Kromě těchto faktorů má vliv také počasí, hustota porostu a populace v předchozím roce. (Bagar 2000).

Pokud se kukuřice pěstuje poněkoli káté na stejném poli nebo v těsné blízkosti, lze předpokládat vyšší intenzitu napadení. Pro dobré přezimování potřebuje zavíječ zbytky rostlin, ve kterých se housenka ukrývá. Čím delší je strniště a čím hůře jsou zbytky rostlin zapraveny do půdy, tím větší je šance housenek na dobré překonání zimy (Bagar 2000). Dalším agrotechnickým opatřením je sklízet kukuřici s co nejnižším strništěm (Šuk et al. 1998). Možných technologií ochrany proti zavíječi kukuřičnému je několik. Liší se v účinnosti, nákladnosti i potenciálním nepříznivém vlivu na životní prostředí. Agrohygienická opatření spočívají v rozbití posklizňových zbytků na částice menší než 5 cm, následný postřik dusíkatým hnojivem (vyrovnání poměru uhlíku a dusíku) a dokonalém zapravení zbytků hluboko do půdy (Zimolka et al. 2008).

Spolu s agrohygienou je přirozená odolnost rostliny zajištěná mechanickými a fyziologickými vlastnostmi odrůdy nejekologičtější způsobem ochrany. Tato odolnost je však dosti nízká a projevuje se nejvíce v maloparcelkových pokusech, kde si škůdce může vybrat podle chuti vedle sebe pěstované odrůdy. Další možností je využití biologické ochrany. Plošná aplikace přípravku *Bacillus thuringiensis* (Bt) se sporami půdní bakterie, parazitické vosičky rodu *Trichogramma*, prodávající vývoj ve vajíčkách motýlů. Další možnou metodou ochrany proti zavíječi kukuřičnému je použití geneticky modifikované kukuřice. Vlastní podstata této ochrany tkví v zabudované toxické složce (Bt-toxin) v rostlině, která má insekticidní účinky vůči housenkám zavíječe kukuřičného (Kolařík & Rotrekl 2012).

Bt-toxin je geneticky upravený na expresní proteiny získaný z běžné půdní bakterie *Bacillus thuringiensis*, který představuje toxicitu pro specifické cílové skupiny hmyzích škůdců. Jeden typ Bt-kukuřice vyjadřuje protein Cry1Ab, který poskytuje ochranu proti určitým kukuřičným škůdcům, zejména před zavíječem kukuřičným (Vercesi et al. 2006).

Bt je téměř výhradně aktivní proti různým řádům hmyzu a zabíjí hmyz narušením tkáně středního střeva. Sleduje septikémií způsobenou pravděpodobně nejen Bt, ale i jinými bakteriálními druhy. Bt insekticidní toxiny, které jsou aktivní během patogenního procesu, produkují řadu faktorů virulence. Při sporulaci Bt vyrábí insekticidní krystalické inkluze, které jsou tvořeny insekticidními proteiny zvanými Cry nebo Cyt toxiny. Tyto toxiny jsou vylučovány jako proteiny rozpustné ve vodě, které podléhají konformačním změnám, aby mohly být vloženy do membrány jejich hostitelů. Navzdory omezenému použití produktů Bt jako postřikovatelných insekticidů, Cry toxiny byly zavedeny do transgenních plodin, které poskytují cílený a účinný způsob kontroly škůdců hmyzu v zemědělství (Bravo et al. 2011).

Stejně jako u většiny mikrobiálních insekticidů, má i Bt nízkou odolnost vůči životnímu prostředí a vyžaduje velmi přesné aplikační postupy, protože je specifický pro mladé larvy hmyzu a je citlivý na ozáření. Zdá se tedy, že kombinace Bt s přirozeným nepřítelem, např. *Trichogramma* spp. proti zavíječi kukuřičnému, může poskytnout komplexní kontrolu před výskytem *O. nubilalis* (Vasileiadis 2017).

Tento způsob ochrany vykazuje 100 % účinnost v porovnání s ostatními. Je však nutné dodržovat přísné podmínky při pěstování související s antirezistentní strategií zavíječe vůči této ochraně (Kolařík & Rotrekl 2012).

Aplikace se provádí podle zjištěné signalizace náletu zavíječe. Účinnost se pohybuje okolo 20 – 80 % podle ročníku a lokality. Dlouhá období sucha v době náletu zavíječe prudce snižují účinnost tohoto zásahu (Zimolka et al. 2008).

Larvy *Trichogrammy* prodělávají celý vývoj v porostu a líhnou se dospělci, kteří opět vyhledávají vajíčka hostitele. Tak proběhne za sezónu několik generací. Důležité je provést aplikaci ve správném termínu, tedy na počátku náletu zavíječe, dříve, než se objeví první snůšky vajíček (Bagar 2000).

3.6.1.3 Bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera virgifera*)

třída: hmyz (*Insecta*)

řád: brouci (*Coleoptera*)

čeleď: mandelinkovití (*Chrysomelidae*)

Diabrotica virgifera virgifera je významný škůdce kukuřice (*Zea mays* L.), jehož životní cyklus je pevně spojen s kukuřicí. Jak larvální, tak dospělá stadia jsou schopná poškodit rostliny kukuřicí. Larvy způsobují větší ztrátu výnosu (Yu et al. 2019).

V ČR byl první výskyt tohoto škůdce potvrzen v roce 2002. Na výskyt nebo podezření výskytu se vztahuje ohlašovací povinnost. Hostitelem je zejména kukuřice, larvy se ale mohou v omezeném rozsahu vyvíjet na kořenech rostlin čeledi lunicovitých a dospělcům mohou jako hostitelské rostliny sloužit rostliny čeledi lipnicovité, hvězdnicovité, vikvovité a tykvovité. Náhradním zdrojem potravy ale mohou být pšenice, sója nebo dokonce laskavec (Zimolka et al. 2008).

Škůdce vytváří jednu generaci ročně. Přezimují vajíčka, nakladená nejčastěji do hloubky okolo 15 cm pod povrch půdy na zbytky rostlin kukuřice. Vajíčka jsou poměrně choulostivá na nízké teploty již od -8 °C. Samice kladou průměrně 400 vajíček v průběhu 3 týdnů (Záruba 2006).

Mladé larvy ožirají jemné kořínky, starší vyžirají dutiny v centrálním válci kořenů. Rostliny poškozené žírem larev jsou náchylné k poléhání nebo vyvracení. Rostliny se snaží opět vztyčit vegetační vrchol, a proto často dochází k jejich deformacím. Dospělci se živí bliznami a pylem, mohou poškozovat i listy a vyvíjející se zrna. Toto poškození se pak projevuje jako velmi málo opylená palice. Škody způsobené mandelinkou na sklizni mohou dosahovat 15 - 30 %, někdy až 50 %. K větším škodám dochází na vlhkých pozemcích a v polehlých porostech. Tolerantnější k poškození jsou obecně ty odrůdy, které mají velký nebo dobře regenerující kořenový systém (Růžička 2000).

Ochrana musí vycházet z vlastností brouka. Proti larvám je nejúčinnější ochranou rotační zpracování půdy, střídání plodin a odplevelený pozemek. Proti dospělcům pak signalizace na základě odchyty do feromonových lapačů a chemická ochrana květenství. Nejúčinnější je biologická ochrana prováděná pěstováním specifických geneticky modifikovaných hybridů kukuřice (Zimolka et al. 2008).

Použití prospěšných půdních organismů je považováno za udržitelnou alternativu šetrnou k životnímu prostředí. Kombinovaná aplikace arbuskulárních mykorhizních hub, entomopatogenních bakterií *Pseudomonas* a entomopatogenních nematodů podporuje růst a ochranu proti přirozenému zamoření škůdci bez negativních účinků. Kvůli schopnosti bakterií a nematodů zabít hmyz bylo předpokládáno, že aplikace těchto organismů bude mít podobné nebo ještě větší příznivé účinky v polích kukuřice (Jaffuel et al. 2019).

3.6.2 Choroby

Z rostlinolékařského hlediska se jedná o plodinu významně poškozovanou jedním až třemi škůdci, zejména v kukuřičné výrobní oblasti s vysokou koncentrací v osevním postupu. Naopak patogenů způsobujících choroby kukuřice je v současné době v České republice zjištěno asi 47 (zahrnující viry, bakterie, houbám podobné organizmy a houby), kde převažují druhy s velmi malým významem a existuje jen málo druhů, které jsou regulovány na menším podílu osevu. V poslední době dochází k nárůstu napadení kukuřice patogeny, které mohou vyvolat choroby hospodářského významu (Tóth & Kmoch 2016).

Kukuřice je jednou z nejrozšířenějších pěstovaných obilovin na světě. Houbové choroby kukuřice způsobují značné ekonomické škody snížením výnosů kukuřice a zvýšením vstupních nákladů na řízení nemocí (Sucher et al. 2017).

Některé kmeny bakterií mohou zlepšit zdraví rostlin a zvýšit jejich výnosy. Mohou být využívány buď jednotlivě, nebo v konsorciích pro integrované řízení výživy kukuřice (Ashraf 2007).

3.6.2.1 Houbové choroby

Z rostlinolékařského hlediska se jedná o plodinu významně napadanou patogeny způsobující choroby kukuřice, zejména v kukuřičné výrobní oblasti s vysokou koncentrací v osevním postupu (Tóth & Kmoch 2016).

3.6.2.1.1 Obecná snětivost kukuřice (*Ustilago maydis*, syn. *Ustilago zae*)

říše: houby (*Fungi*)

třída: sněti (*Ustilaginomycetes*)

čeleď: *Ustilaginaceae*

další názvy: sněť kukuřice, sněť kukuřičná

vědecká synonyma: *Ustilago zae*, *Uredo maydis*, *Caeoma zae*

Obecná snětivost kukuřice je způsobena patogenem *Ustilago maydis*. V současné době se jedná o nejrozšířenější chorobu kukuřice nejen v České republice, ale i v ostatních oblastech světa, kde se kukuřice pěstuje. Patogen patří do třídy stopkovýtrusných hub (*Basidiomycetes*) a řádu snětí (*Ustilaginales*). Jedná se o saproparazitického patogena (může se žít jak odumřelou, tak živou organickou hmotou), který může infikovat kukuřici po celou vegetační dobu. Patogen přezimuje v polních podmínkách na posklizňových zbytcích kukuřice ponechaných na povrchu půdy pomocí chlamydospor. Chlamydospory jsou tmavohnědé barvy a vyznačují se dlouhou životaschopností. Klíčí při optimální teplotě 25 – 34 °C a maximu 36 – 38 °C (Tóth & Kmoch 2016).

Pro úspěšnou kolonizaci svého hostitele *U. maydis* vylučuje proteiny, známé jako efekторы, které potlačují obranné reakce rostlin a usnadňují vznik biotrofie. Primárním cílem rostlinných patogenních hub je proliferace za použití hostitele jako zdroje živin, úkrytu a struktury, ze které se distribuují spory. Biotrofní houby jsou závislé na živém hostiteli, což vedlo k vývoji sofistikovaných strategií pro potlačení obrany hostitele a

přesměrování jeho metabolického toku. (Seitner et al. 2018). Prostorová organizace buňky je klíčová pro distribuci buněčných složek a pro buněčnou morfogenezi ve všech organismech (Woratanadharin et al. 2018).

Další nepřetržitý vývoj, který nazýváme sexuální cyklus, je vázaný na přítomnost rostliny kukuřice blízko patogenu a vhodných podmínkách. Probíhá na jaře dalšího roku (Tóth & Kmoch 2016). Pro stanovení biotrofie potřebuje *U. maydis* překonat vícevrstvý obranný systém svého hostitele (Seitner et al. 2018).

Z přezimujících chlamydospor na poli vzniká klíčením nejprve promycelium a následně jednobuněčné pohlavní buňky (haploidní sporidia), které jsou schopné přežít pouze na odumřelé organické hmotě (jak bylo uvedeno výše na zbytcích kukuřice ponechané na pozemku) a nemohou infikovat živou rostlinu. K dalšímu vývoji patogena je nutné, aby došlo ke splnutí jednobuněčných pohlavních buněk opačného pohlaví a začalo se vytvářet vlákno (tzv. hyfální stadium), které již infikuje pouze živou rostlinu. Ke klíčení je nutná voda, která ulpí na organické hmotě, kde se uchytily spory. Patogen proniká do rostliny přirozenými otvory, které se na ní nacházejí nebo přes zeslabené stěny buněk kukuřice. Uvnitř rostliny vlákno houby roste a vytváří typické deformované útvary, ve kterých se formují tzv. diploidní chlamydospory (silnostěnné zimní výtrusy), které jsou roznášeny vzduchem, a mohou za příznivých podmínek klíčit (Tóth & Kmoch 2016).

Ustilago maydis, původce kukuřičné sněti, produkuje cytokininy, což je skupina fytohormonů zodpovědných za řízení vývoje rostlin. Charakteristickým příznakem tohoto onemocnění je tvorba nádorů složených z rostlinné a plísňové tkáně (Morrison et al. 2016). *Ustilago maydis* infikuje všechny nadzemní části hostitelské rostliny a lokálně indukuje tvorbu nádorů. V těchto nádorech se spory vyvíjejí a zrají v časovém rozmezí přibližně 2 týdnů (Schilling et al. 2014).

Kompletní cyklus patogena je ukončen na rostlině, kde dojde k uvolnění velkého množství těchto chlamydospor. Celý životní cyklus patogena může být za příznivých podmínek ukončený za 2 až 3 týdny (Tóth & Kmoch 2016).

Intenzita napadení je ročníkově a lokálně závislou veličinou. Běžné napadení dosahuje do 5 % napadených rostlin, v některých ročnících je napadeno 30 až 80 % rostlin. Je zjištěna velmi silná odrůdová závislost – u některých linií přenášejících náchylnost a od nich odvozených hybridů dosahuje i 95 % napadených rostlin. Výsledkem silného napadení může být i snížení výnosů, které je závislé na četnosti nárůstu hálek, velikosti hálek, místě napadení a dochází i k obsahovým změnám v zru (Zimolka et al. 2008).

Během svého růstu hálka praská a vynáší černou masu spor nejprve mazlavou, poté prášivou. Po mechanickém poškození rostliny hálkou může vznikat v tomto místě druhotná infekce. Symptomy napadení se nejvíce tvoří v suchém létě po vydatném dešti, kdy buňky pletiv stresované suchem začnou rychle nabírat vodu a změnou vnitřního napětí praskají. Tato místa jsou vstupní branou infekce. Další branou infekce jsou různá poškození pletiv např. bzunkou ječnou, zvěří, větrem, kroupami apod. Kromě sněti kukuřičné se na kukuřici může vyskytovat také prašná sněť kukuřičná. Houba přeměňuje samčí a samičí květenství v nádory, z nichž se po protržení blanky uvolňují chlamydospory, které se přenášejí na osivo nebo přetrvávají v půdě. Klíčí za vysokých teplot (do 34 °C), infikují klíčky hostitele a prorůstají tak celou rostlinou. Ochranná opatření jsou stejná jako u sněti kukuřičné, důležité jsou zejména všechny zásady podporující rychlý růst klíčků

rostlin (Chromý 2007). Nejdůležitějším opatřením pro snižování výskytu tohoto patogenu je důkladné zapravení posklizňových zbytků orbou, omezení pěstování kukuřice a dodržování osevních postupů (nepěstovat kukuřici na stále stejných pozemcích). Prakticky nejvíce použitelné do budoucna je šlechtění na rezistenci (Tóth & Kmoch 2016). Vhodné je ošetřit porosty kukuřice proti bzunce ječné a zavíječi kukuřičnému, předchází se tak vstupu infekce do zraněných míst rostliny (Chromý 2007).

3.6.2.1.2 Obecná listová spála kukuřice (*Helminthosporium turcicum*)

původce: *Cochliobolus heterostrophus* (teleom.) - *Bipolaris maydis* (anam.)

říše: houby (*Fungi*)

třída: *Ascomycota*

čeleď: *Pleosporaceae*

další názvy: spála listů

vědecká synonyma: *Ophiobolus heterostrophus* (teleom.) - *Helminthosporium maydis* (anam.)

Obecná listová spála kukuřice může být způsobena více patogeny: *Helminthosporium turcicum* (anam.), *H. maydis* (anam.), *H. carbonum* (anam.), *Trichometasphaeria turcica* (teleom.), syn. *Bipolaris zeicola*, *Cochliobolus carbonum* (teleom.), syn. *Bipolaris maydis*, *Cochliobolus heterostrophus* (teleom.).

Helminthosporium turcicum je jednou z chorob kukuřice, která může snížit výnos a kvalitu rostliny kukuřice (De Rosi et al. 2015). Teploty mezi 20 a 25 ° C, relativní vlhkost 90 do 100% a nízká intenzita slunečního záření napomáhají rozšiřování tohoto patogenu (Ogliari et al. 2005). Zdrojem infekce jsou napadené zbytky listů kukuřice, na nichž houba přetrvává. K infekci dochází za vlhkého a teplého počasí konidiami, které jsou přenášeny na rostliny větrem a dešťovými kapkami. Chladné a suché počasí oproti tomu brzdí vývoj patogenu a zpožďuje napadení (Tóth & Kmoch 2016).

Projevuje se jako jedna z nejnápadnějších chorob listů. Vyskytuje se na náchylných hybridech především v teplejších kukuřičných oblastech, ale může se objevit všude, kde jsou vhodné podmínky pro pěstování kukuřice. V současné době se v České republice na kukuřici tato choroba vyskytuje, ale příznaky napadení mohou uniknout pozornosti a významnější poškození je sporadické.

Příznaky se podle druhu patogenů mohou lišit. Druh *Helminthosporium turcicum* způsobuje na listech kukuřice od fáze kvetení zřetelné 3 až 15 cm dlouhé, protáhlé, šedožluté skvrny, vyskytující se hlavně v horní polovině listu u špičky a pak na bázi (Tóth & Kmoch 2016).

Nekrotickýmé skvrny, které se vyskytují na listech rostliny, snižuje hemintosporióza (způsobená *Helminthosporium turcicum*) fotosyntetickou aktivitu rostliny. Stupeň poškození kukuřice ovlivňuje doba infekce a rozsah infekce. Dalšími prvky hrající zásadní roli jsou genetické faktory, které řídí vztahy mezi hostitelem a parazitem (Naibo 2002). Při silném napadení se listy třepí na úzké pruhy a celá rostlina zasychá. *H. maydi* se liší v příznacích od napadení *H. turcicum* tím, že skvrny jsou menší, ostřeji ohraničené a poněkud jinak zbarvené.

Často se vyskytují skvrny s rovnoběžnými okraji, oranžově až červenožlutě zbarvené, s patrnými soustřednými pruhy. Druh *H. maydis* napadá i květní listeny v latě. Houba *H. carbonum* napadá i palice kukuřice (Tóth & Kmoch 2016).

První příznaky napadení se objevují již po 7 – 12 dnech po infekci. Na listech jsou patrné drobné, protáhlé nebo nepravidelné skvrny. Tento znak však není dostatečným důkazem infekce houbou *H. turcicum*, protože podobné skvrny mohou být jiného původu. Teprve později až se začne skvrna zvětšovat, nejvíce ve směru nervů, se objeví na okrajích skvrny šedě zelený lem, část pletiva začíná odumírat. To je nejtypičtějším znakem. Další rozvoj choroby závisí na teplotě a vlhkosti. Napadené pletivo listu postupně od středu zasychá a barví se šedožlutě až hnědě. Přitom lze na skvrnách pozorovat tmavě ohraničené soustředné pruhy. Skvrny z listů přecházejí na listové pochvy. Při časném a silném napadení se list roztřepí na úzké pruhy. Nakonec mohou všechny listy odumřít. Choroba je často přehlížena hlavně proto, že se vyskytuje nejsilněji obyčejně až začátkem září a napadené listy jsou považovány za poškozené mrazem. Vzhledem k nedostatku asimilátů se snižuje velikost zrna. Oslabené rostliny jsou náchylnější k houbám rodu *Fusarium*, které vyvolávají hniloby a dochází k poléhání porostů. Škodí nejvíce na silážní kukuřici, kdy se snižuje krmná hodnota zrna (Tóth & Kmoch 2016). V ochraně proti patogenům způsobující spálu kukuřice by na prvním místě měla být volba hybridu. U tolerantních hybridů probíhá tvorba skvrn na listech a šíření choroby pomaleji. Dále je důležité podpořit rozklad posklizňových zbytků rozmělněním a dostatečným zapravením do půdy. Rovněž je potřebné podpořit růst kukuřice a omezit stres rostlin např. utužením půdy. Správný osevní postup je dalším možným způsobem ochrany kukuřice. Výsledky různých pokusů ukázaly, že u odrůd kukuřice s dobrou a střední tolerancí není ošetření listů nutné. Dalším způsobem ochrany kukuřice proti houbám rodu *Helminthosporium* je využití fungicidů (Tóth & Kmoch 2016).

3.6.2.1.3 Rzivost kukuřice (*Puccinia sorghi*)

říše: houby (*Fungi*)

třída: *Urediniomycetes*

čeleď: rzi (*Pucciniaceae*)

další názvy: rez kukuřičná

vědecká synonyma: *Puccinia maydis*, *Puccinia zea*, *Aecidium oxalidis*

Rzivost kukuřice je způsobena patogenem *Puccinia sorghi*, který patří do třídy stopkovýtrusných hub (*Basidiomycetes*) a řádu rzí (*Uredinales*). Jedná se o tzv. dvoubytnou (heteroecickou). Tedy rez, u níž se vyskytují všechna vývojová stadia a pro svůj cyklus vyžaduje hostitele a mezihostitele. Patogen v našich podmínkách přezimuje jako teliospora. Mezihostitelem houby jsou šťavely (rod *Oxalis*), na kterých se tvoří ložiska jarních spor. Aecidiosporami se patogen ze šťavelů šíří na kukuřici. Zde se tvoří uredospory a patogen se jimi rozšiřuje v porostu kukuřice (Tóth & Kmoch 2016).

Puccinia sorghi je důležitou chorobou listů kukuřice, která je spojena s až 50 % ztrátou zrna (Zheng et al. 2018). Na vrchní i spodní straně listů se v pozdějším stádiu růstu rostlin objevují rozptýlené kupky letních výrusů tzv. uredie. Ke konci vegetace se objevují tzv. telie, které mají okolo sebe odchlípnutou pokožku (Zimolka et al. 2008).

Příznakem rzivosti kukuřice jsou skořicově zbarvené kupky spor protáhlého tvaru, nacházející se podélně na listech. Kolem kupek se na listech vytváří červeně zbarvený prsteneček a později okolí zasychá. Jako houbový parazit odčerpává patogen z rostliny živiny potřebné pro růst. Kupky patogenů narušují pokožku listu, ovlivňují průběh fotosyntézy a hospodaření s vodou. Uredospory klíčící v rozmezí teplot 4 – 31 °C (optimum 15 – 25 °C) jsou schopny infikovat kukuřici během 6 – 12 hodin. Optimální vlhkost pro infekci kukuřice je 100 %. Patogen se vyvíjí v rostlině při nižších teplotách. Chemická regulace postřikem fungicidu je možná, ale cíleně se proti tomuto patogenu nepoužívá. Velmi účinnou možností je šlechtění a pěstování rezistentních hybridů kukuřice (Tóth & Kmoch 2016).

Optimální ochranou je odstraňování mezihostitelských rostlin, důležité je zpracování posklizňových zbytků z napadeného porostu (Zimolka et al. 2008).

3.6.2.1.4 Fuzariózy kukuřice

říše: houby (*Fungi*)

třída: *Sordariomycetes*

čeleď: *Nectriaceae*

další názvy: padání a spála klíčících rostlin kukuřice, hniloba kořenů kukuřice, růžová hniloba stébel kukuřice, růžová hniloba palic kukuřice, bělorůžová hniloba obilek kukuřice

Na kukuřici se nejčastěji vyskytují druhy *F. subglutinans* (teleomorfa *Gibberella subglutinans*), *F. graminearum* t. *G. zae*), *F. verticillioides* (t. *G. moniliformis*), *F. avenaceum* (t. *G. avenacea*), *F. poae*, *F. proliferatum*, *F. sporotrichioides*, *F. sambucinum* (t. *G. pulicaris*), *F. oxysporum* a *F. culmorum*.

Bělorůžová hniloba obilek kukuřice a růžová hniloba stébel kukuřice, padání a spála klíčících rostlin kukuřice a hniloba kořenů kukuřice jsou způsobeny druhem rodu *Fusarium*. Tyto patogeny patří do oddělení vřeckovýtrusných hub (*Ascomycota*). Houby rodu *Fusarium* vytváří tři druhy spor: makrokonidie, mikrokonidie a chlamydospory. Makrokonidie jsou rohlíčkovitého (srpovitého) tvaru a obsahují obvykle několik přehrádek. Chlamydospory, které neprodukuje všechny druhy rodu *Fusarium*, jsou tlustostěnné a mají různý tvar. Některé druhy vytvářejí pohlavní lahvicovité nebo téměř kulovité plodnice perithecia s vřečky. Houby rodu *Fusarium* jsou saprofyty, ale za určitých podmínek mohou být parazité rostlin. Přezimují pomocí mycelia v posklizňových zbytcích. Některé druhy vytváří k přetrvávání v půdě chlamydospory. Konidie, kterými se houby snadno šíří, se vytváří na posklizňových zbytcích a nadzemních částech kukuřice během celého vegetačního období. Pro rozvoj fuzarióz klasu kukuřice (nebo obecně obilnin) je optimální mírně teplé a vlhké počasí v období kvetení a srážky ke konci vegetace. Nejlepšími podmínkami pro šíření infekce je přetrvávající chladné počasí a s omezeným slunečním svitem (Tóth & Kmoch 2016).

Vývoj *Fusarium* spp. je zvýhodněn vysokou hladinou vlhkosti během doby zrání plodiny (Lacey a Magan 1991). Mezi možnostmi snížení expozice vlhkým podmínkám, které se často vyskytují na podzim, patří včasný výsev kukuřice nebo následné odrůdy (Blandino et al. 2008).

Kontaminace jádra kukuřice mykotoxiny může být také snížena, pokud je kukuřice pěstována při nízkých hustotách rostlin, a to z důvodu méně vlhkého mikroklimatu, které

omezuje růst hub uvnitř porostu plodiny (Blandino et al. 2008). V suchých oblastech může zavlažování snížit infekci *Fusarium* zlepšením kondice rostlin (Reyneri et al. 2005). Mezi další preventivní opatření patří střídání plodin s nehostitelskými plodinami (bez obilovin) a zaoráním posklizňových zbytků, které by měly být jemně nasekány před mulčováním pro urychlení rozkladu (Oldenburg et al. 2007).

U kukuřice způsobují druhy rodu *Fusarium* mimo hnilob palic také padání klíčnicích rostlin a hniloby kořenů a stonků. Omezují klíčivost a vzcházení. Na napadených částech rostlin se tvoří červené nebo bělorůžové mycelium houby. Hniloby palic kukuřice začínající obvykle od špičky se projevují červeným nebo růžovým povlakem mycelia pokrývající jejich velkou část. Hniloby se mohou vyskytovat i na jednotlivých obilkách, skupinách nebo poraněných obilkách a tvoří bílé nebo světle růžové povlaky mycelia. Palice a stébla mohou trouchnivět, obilky potom ztrácejí lesk, zbarvují se tmavě žlutě až hnědě nebo šedě a jejich povrch bývá pokryt jemnými prasklinkami (Tóth & Kmoch 2016).

Podle Oerke (2006) jsou ztráty v kukuřici způsobené plísňovými patogeny relativně nižší než u jiných plodin, jako je brambor (*Solanum tuberosum*) a pšenice (*Triticum aestivum*). Střídání plodin je pro regulaci hub rodu *Fusarium* na kukuřici méně účinné pravděpodobně proto, že houby mohou dlouhodobě přetrvávat na posklizňových zbytcích, které je důležité likvidovat dokonalým zapravením do půdy pro jejich úplný rozklad. Současná praxe produkce osiva výrazně snižuje výskyt infekcí pocházejících ze zrna. Setí do dostatečně teplé a nepřemokřené půdy eliminuje infekce klíčnicích rostlin. Napadení se zvyšuje v období vegetace při deficitu vody, nevhodném poměru dusíku a draslíku a v hustém porostu. Při opožděné sklizni za nepříznivých podmínek dochází ke zvýšenému napadení houbami. Šlechtění kukuřice na odolnost může eliminovat infekce. Ranější hybridy bývají méně napadány. Transgenní Bt-hybridy s odolností zavíječi kukuřičnému, který vytváří vstupní brány pro infekce houbami, by mohly být jedním ze způsobů eliminace napadení. Dalším způsobem ochrany kukuřice proti houbám rodu *Fusarium* je využití fungicidů ve formě postřiku nebo moření osiva (Tóth & Kmoch 2016).

3.6.3 Regulace škodlivých činitelů v kukuřici

Ochrana před chorobami a škůdci je jedním z nejdůležitějších prvků produkce kukuřice, který často určuje nákladovou efektivitu celého výrobního procesu. Řízení množství a škodlivých účinků vybrané aktivity škůdců v integrované produkci kukuřice zahrnuje taková opatření, jako jsou agrotechnické, pěstitelské, biologické a chemické metody, stejně jako využití transgenních odrůd rostlin (Bereš & Pruszyński 2008).

Integrovaná produkce je zemědělský systém, který produkuje vysoce kvalitní potraviny a jiné produkty při zachování a zlepšování úrodnosti půdy a diverzifikovaném prostředí, respektování etických a sociálních kritérií. Biologické, technické a chemické metody jsou pečlivě vyváženy, aby se minimalizovaly znečišťující vstupy a zajistilo se udržitelné, přesto ziskové zemědělství (Boller et al. 2004).

V této souvislosti podporuje integrovaná ochrana proti škůdcům používání různých technik v kombinaci s účinným řízením škůdců a s důrazem na metody, které jsou nejméně škodlivé pro životní prostředí. Na konkrétní škodlivý organizmus působí nejvíce (Meissle et al. 2010).

3.6.3.1 Možnosti zlepšování zdravotního stavu kukuřice

Kukuřice se svou výměrou nad 300 000 hektarů je důležitou plodinou. Důležitou ji činí také její výnosnost a různorodost jejího využití. Její nevýhodou je, že nemůže nahradit vliv jetelovin a jiných, z osevního postupu vyřazených plodin, z hlediska vododržnosti půdního profilu, akumulace některých, zejména energeticky velmi náročných živin (dusíku) a vlivu na půdní strukturu. Zato její produkce organické hmoty je tak vysoká, že její zpracování by mohlo zastavit úbytek organické hmoty v půdě (Říha 2012).

Během vegetace mohou být rostliny kukuřice vystaveny velkému množství stresových faktorů. Mezi nejdůležitější abiotické faktory sucho, nízké teploty (0 - 10°C) a mrazy. Dále nedostatek vody a obtížný příjem živin, povodně a krupobití. Mezi biotickými faktory ohrožujícími kukuřici je třeba zmínit silnou konkurenci plevelů, patogenních hub, škůdců, zvěře a ptáků (Michalski & Bartos 2004).

Při teplotách pod 5 ° C se však rostliny nejen přestanou vyvíjet, ale také onemocní. V takové situaci, jednak můžeme pozorovat změny barvy rostlin, např. zčervenání na koncích listů, a často zasychání celého listu. Škody způsobené přizemním mrazem se každoročně na porostech kukuřice běžně vyskytují (Meissle et al. 2010).

Při předpokladu, že produkci ovlivňuje z 30 % počasí a z dalších 30 % odrůda, zbývá na agrotechniku – tedy na výživu, zpracování půdy a ochranu asi 40 % vlivu. Všechny jednotlivé prvky pěstování polních plodin jsou ale provázané. Není reálné oddělovat od sebe agrotechniku, výživu a ochranu (Říha 2012).

V současné době je třeba z ekologického hlediska usilovat o co největší využití nechemických opatření v ochraně rostlin proti škodlivým činitelům. Dále je nutné vycházet z poznatků, že výskyt chorob, škůdců a plevelů pod prahy škodlivosti nebo jejich ještě hospodářsky únosná populace je součástí rozmanitosti agroekosystému. Je proto potřebné více využívat všechna agrobiologická opatření s důsledným uplatňováním prognózy a signalizace (Vach & Javůrek 2009).

Prognóza v ochraně rostlin umožňuje na základě analýzy a poznání zákonitých vztahů mezi patogenem, hostitelem a podmínkami prostředí s delším časovým předstihem stanovit výskyt a škodlivé rozšíření patogena a rozsah území, na kterém k výskytu dojde. Při hodnocení předpokladů vychází především z dosavadního kvantitativního výskytu škodlivého činitele a možného vývoje počasí. Signalizace prakticky navazuje na krátkodobé prognózy, jejímž cílem je stanovit termín provedení ochranného zásahu v určité oblasti a stanovení kritérií pro nejvyšší účinnost zvoleného opatření. Signalizace vychází ze současných údajů výskytu škodlivých činitelů, dynamiky jejich rozmnožování a šíření ve vztahu k biotickým podmínkám, zejména k hlavním meteorologickým prvkům, které mohou působit stimulačně nebo retardačně. Praktické použití prognózy a signalizace výskytu chorob a škůdců v rostlinné výrobě přináší zemědělským podnikům a farmám důležité informace o ekonomickém uplatnění. Významně tak přispívá i k ekologizaci a ochraně životního prostředí (Vach & Javůrek 2009).

Využití rezistentních odrůd a hybridů v integrovaných systémech ochrany rostlin, které zajišťují ochranu výnosů před škůdci a chorobami, je považováno za ekologicky a ekonomicky nejvýhodnější metody (Lisovy & Trybel 1998).

Výběr odrůdy pro místní klimaticko-půdní

podmínky je stejně podstatný jako kvalita jejího osiva, výživa, kvalitní zpracování půdy ve správné zralosti a péče o udržení zdravé půdy. Z hlediska zdravotního stavu jsou známé blízké vazby mezi zdravotním stavem a zásobením kukuřice přijatelnými živinami (Říha 2012).

Kritické období růstu i příjmu živin je na počátku vegetace, kdy je kukuřice citlivá k nižším teplotám a má malou konkurenční schopnost. Vzhledem k tomu, že nemá ještě plně vyvinutý kořenový systém, má i omezenou příjmovou kapacitu kořenů pro živiny, zvláště pro fosfor. Jakmile však vytvoří dostatečný kořenový systém, osvojuje si živiny z půdy již poměrně dobře. Vzhledem k delší vegetaci dobře využívá živiny, které uvolní v půdě během vegetace lehčeji hydrolyzovatelných sloučenin při mineralizaci (Vaněk et al. 2007).

Je známo, že stupňující se dávkou dusíku, ovšem počínajíc v oblasti jeho nedostatku, klesá výskyt některých chorob – alternáriové skvrnitosti listů (*Alternaria* spp.), fuzáriového vadnutí anebo kořenové hniloby (*Fusarium* spp.), bakteriálního vadnutí a skvrnitosti (*Xanthomonas* spp., *Erwinia* spp.). Nejvyšší odběr tohoto prvku probíhá u kukuřice v době intenzivního růstu, tedy obvykle od konce května do poloviny července a potom až následně v období dozrávání. Limitem celkového odběru je asi 240 kg dusíku. Ale po překročení optima hladiny dusíku odolnost rostlin vůči chorobě opět exponenciálně klesá (nebo stoupá jejich citlivost). Ke stejnému výsledku vede příliš hustý porost kukuřice. Podstata účinku draslíku na výskyt chorob rostlin souvisí s pozitivním vlivem draslíku na vývoj silnějších vnějších stěn buněk (Říha 2012).

Draslík také stimuluje růst meristémových pletiv, které se podílejí na regeneračních procesech poškozených rostlin. Prvky ze stejné skupiny jsou vápník a hořčík. Hrají důležitou roli v integritě membrán a buněčných stěn. V důsledku toho zvyšují odolnost hostitele proti bakteriózám, houbám *Pythium* sp., *Sclerotinia* sp., *Fusarium* sp. a dalším patogenům. Nejúčinnější je penetrace povrchu listů a stonků, zásaditými formami těchto prvků a postřikem. Úloha fosforu ve výživě i ochraně proti chorobám je zcela zásadní. V počátečních vývojových fázích kukuřice má jeho dostatek rozhodující vliv na celý pozdější růst a vývoj rostliny. U naprosté většiny rostlin při jeho dostatku vzrůstá počet a velikost kořenů a zároveň podstatně vzrůstá jejich fyziologická aktivita. Ze stopových prvků je pro kukuřici nejdůležitější zinek. Účastní se velkého množství fyziologických dějů v rostlině. Na rozdíl od hořčíku a vápníku je nejúčinnější a nejpřijatelnější formou zinku jeho chelát nebo jeho „pseudochelátové“ formy. K příjmu a dobrému účinku potřebuje kyselé prostředí (Říha 2012).

Půdní biologie a intenzita její aktivity je základem úspěchu všech plodinových systémů ve všech podmínkách. Půdní bakterie společně s kulturními houbami svou enzymatickou činností rozkládají organické zbytky rostlin a ostatních organismů, uvolňují a zpřístupňují živiny a jsou zodpovědné za koloběh uhlíku v půdě. Dále především aerobní bakterie a zejména aktinomycety jsou schopné zkonsumovat veškerou biomasu včetně zárodků patogeních hub jako jsou fuzaria. Společně pak s dalšími mikro a makroorganismy ve spolupráci s kořenovou soustavou rostlin vytvářejí komunikační zónu – rhizosféru, která je základem látkové výměny mezi rostlinami a půdním prostředím. Aby tento systém mohl efektivně fungovat, musí být v půdě optimalizován poměr mezi půdními fázemi – pevnou, kapalnou a plynnou. A to po celé období vegetace. V tomto optimalizovaném prostředí pak nedochází k utužování půdy, a to i proto, že se zvyšuje a stabilizuje podíl půdní organické složky, která pochází především z přírodních zdrojů. Těmito

zdroji rozumíme hlavně odumřelou mikro a makro faunu a flóru, ale také posklizňové zbytky rostlin, zelené hnojení, statková hnojiva a další substráty s obsahem rozložitelných organických látek. Taková půda má vysokou retenční schopnost co se týká hospodaření s vodou. Vyšší infiltrace znamená nejen větší objem srážkové vody v půdním profilu, ale i nižší povrchový odtok a menší riziko eroze půdy. Lepší půdní struktura a vyšší podíl organické hmoty zadržují vodu v půdním profilu a zabraňují neproduktivnímu výparu. Optimalizuje se gravitační a kapilární pohyb vody, nedochází k přemokřování půdy s následnou hydromorfií kořenů a odumíráním půdních organismů. V půdě je pak i v období přisušku dostatek vody pro fotosyntézu, ale i pro ochlazování rostlinných organismů, neboť na tuto činnost rostlina spotřebuje až 90 % z potřeby vody (Václavík 2015).

3.6.3.1.1 Regulace plevelů

Kontrola před vzejitím plevelů spočívá v přípravě půdy nějakou dobu před setím, přičemž samotný výsev kukuřice může být dokonce zpožděn, aby se umožnilo zmapovat, co nejvíce plevelů, které se v tuto dobu na pozemku vyskytují. Pole se pak před setím kultivuje mechanicky. Mechanická likvidace plevelů po vzejití zahrnuje likvidaci plevelů mezi řadami (hlavně okopávání a drcení) a v řadách (s použitím prstových, torzních, kartáčových nebo pneumatických pleček). Další možnosti zahrnují plamenové plečky před nebo po vzejití kukuřice (Melander et al. 2005.)

Podobně, užší řádkový prostor nebo vyšší hustota rostlin by mohly zlepšit konkurenci, pokud dostupnost vody a živin nejsou omezujícími faktory (Murphy et al. 1996).

Účinky na biomasu plevelů nebyly vždy zřejmé (Johnson & Hoverstad 2002). Snížení tlaku na plevel lze také dosáhnout obděláváním plodin (Melander et al. 2005), čištěním strojů, aby se zabránilo přenosu plevelů mezi poli (Heijting et al. 2009).

Rotace plodin s více plodinami kromě kukuřice může snížit množení plevelů, zejména plevelů přizpůsobených pěstování kukuřice (Manley et al. 2002).

3.6.3.1.2 Regulace výskytu škůdců a chorob

Trichogramma spp. je alternativou k redukci insekticidních aplikací v kultuře kukuřice. Používá se proti zavíječi kukuřičnému (*Ostrinia nubilalis*) a černopásce bavlníkové (*Heliothis armigera*). Účinnost této ochrany (více než 75 % zničených škůdců) a cena (35 – 40 eur na hektar pro první generaci) jsou srovnatelné s insekticidy, pokud tlak škůdců není velmi silný. I když biologická kontrola s patogeny nemá v současné době praktický význam pro produkci kukuřice, entomopatogenní houby, viry nebo kmene *Bacillus thuringiensis* mají potenciál v budoucnu snížit spotřebu chemické insekticidy (Buerger et al. 2007).

Jako ekonomicky nejvýznamnější onemocnění ve většině evropských regionů byly hodnoceny bělorůžová hniloba kukuřice, růžová hniloba stébel kukuřice, padání a spála klíčnic rostlin kukuřice, hniloba kořenů kukuřice. Tyto onemocnění způsobují některé druhy *Fusarium* spp. Nejvýznamnější druhy *Fusarium* způsobující tyto choroby jsou *F. graminearum* Schwabe, následované *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg, *F. proliferatum* (Matsush.) Nirenberg a *F. culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc, vyskytující se v závislosti na různých klimatických podmínkách. Jeden hlavní problém s *Fusarium* spp. je produkce mykotoxinů, jako jsou fumonisiny, trichotheceny (např. deoxynivalenol, nivalenol, T-2) a

zearalenon, které vedou ke kontaminaci potravin a krmiv pro zvířata (Oldenburg & Ellner 2005). V závislosti na koncentraci požití, mohou tyto toxiny vyvolat akutní nebo chronické toxické účinky u lidí nebo hospodářských zvířat (Placinta et al. 1999).

Dalšími houbovými chorobami, které mají v Evropě velký význam, jsou hniloba kořenů a stonků způsobená *Rhizoctonia* spp., *Acremonium* spp. Dále *Sclerophthora macrospora* (Sacc.) Thirum., *Helminthosporium turcicum*, *Ustilago maydis* a *Puccinia sorghi*. Tento výskyt je pravděpodobně způsoben teplejšími klimatickými podmínkami a konzervačními obdělávacími postupy v kombinaci s rotačními systémy s převahou kukuřice a pšenice, které jsou stále více využívány. Zbytky kukuřice, které zůstávají na povrchu půdy, podporují přežití plísňových patogenů, což může zvýšit riziko infekce *Fusarium* spp. (Bakan et al. 2002). Omezení dostupnosti alternativních opatření na tlumení škůdců, organizace zemědělských podniků a znalosti zemědělců je však třeba překonat ještě před přijetím strategií ochrany proti škůdcům šetrných k životnímu prostředí, které mohou ekonomicky konkurenceschopným způsobem snížit chemické pesticidy. Výnos a kvalita kukuřice (stejně jako u jiných plodin) jsou ohroženy živočišnými škůdci, plevelem a patogeny (Oerke 2006).

3.6.4 Alternativní metody ochrany

Ekologické zemědělství je alternativou, která spočívá v integraci využívání recyklované organické hmoty s mikrobiálními biostimulanty. Zajišťuje nejen bezpečnost potravin, ale také přidává biologickou rozmanitost do půdy (Vinci et al. 2018). Pro přijetí alternativních metod ochrany proti škůdcům musí být překonáno několik omezení. I když tato omezení mohou být překonána u některých strategií během několika let, další možnosti budou vyžadovat více času a úsilí, dokud nebudou realizovány v zemědělské praxi (Meissle et al. 2010). Předtím, než se nové strategie na hubení škůdců dostanou do běžné zemědělské praxe, musí být dostupné všem zemědělcům. Může dojít k několika omezením dostupnosti. Mechanická kontrola plevelů je možnost, která se již praktikuje v několika zemích. Avšak tento způsob regulace plevelů, může vést k další ztrátě vlhkosti půdy, což je nežádoucí v oblastech s omezenou dostupností vody. Nechemické metody je třeba přizpůsobit regionálním podmínkám. Důležitými faktory mohou být velikosti polí a klimatické podmínky (Schröder et al. 2006). Další možností regulace škůdců je strategie založená na feromonech. Tato metoda by se však v budoucnu mohla stát ekonomicky životaschopnou alternativou k běžným metodám hubení škůdců (Eizaguirre et al. 2007).

Alternativy k chemickým pesticidům často vyžadují reorganizaci kultivačních kroků. Přesné načasování mnoha metod ochrany proti škůdcům (*Trichogramma*, mechanická kontrola plevelů, metody založené na feromonech atd.), vyžaduje určitou flexibilitu zemědělců. Ekologicky šetrné metody účinné ochrany proti škůdcům musí být také ekonomicky atraktivní, protože náklady jsou přirozeně velmi kritickým faktorem při výběru plodin a metod zemědělců a dodavatelů. Politické iniciativy, včetně dotací na metody šetrné k životnímu prostředí, mohou být zpočátku vyžadovány pro překonání hospodářských omezení a změnu volby a organizace zemědělců. Nové strategie však mohou být udržitelné pouze tehdy, pokud poskytují dlouhodobější přínosy a jsou ekonomicky konkurenceschopné se současnými strategiemi (Meissle et al. 2010).

Aplikace nových strategií může vést k několika ekonomickým důsledkům jako je např. nákup nových strojů nebo nový výrobní systém (výrobní náklady, výnosy, tržní cena kukuřice a alternativních plodin). Více časově náročných metod vede také ke zvýšeným nákladům na práci (Karlen et al. 1995).

Kromě toho je známo, že systémy bez zpracování půdy zlepšují funkce půdy a snižují erozi (Holland 2004), ale problémy s plevelem, drátovci a plísňovými chorobami se pravděpodobně zvýší (Sadok et al. 2008).

3.6.5 Biostimulanty a jejich použití

Ekologické zemědělství vzbudilo mezi spotřebiteli a vědci velký zájem díky zdravějším a bezpečnějším vlastnostem biostimulantů pro lidské zdraví. Dostupnost živin však byla v mnoha systémech ekologického zemědělství považována za hlavní faktor omezující výnos. Rostlinné biostimulanty, které jsou definovány jako látky (humínové kyseliny, proteinové hydrolyzáty a výtažky z mořských řas) nebo mikrobiální inokula (růst rostlin podporující rhizobakterie, arbuskulární mykorhizní houby a *Trichoderma* spp.) aplikované na rostliny s cílem zvýšit odolnost rostlin a také zlepšit příjem živin a translokaci (De Pascale, Rouphael & Colla 2018).

Mikrobiální inokulační látky podporují hlavně růst rostlin např. *Trichoderma* spp. může vyvolat růst rostlin a podporovat zlepšení dostupnosti živin, jako je např. N, P a Fe (Dorais 2007). Některé studie uvádějí, že endofytní houby a *Trichoderma* spp. mohou podporovat zakořenění rostlin stimulací produkce auxinu v mykorhizovaných kořenech nebo uvolňování sloučeniny podobné auxinu z *Trichoderma hyphae* (De Pascale, Rouphael & Colla, 2018). Různé takové symbionty jako *Azorhizobium*, *Allorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mezorhizobium*, *Rhizobium* a *Sinorhizobium* a non-symbiotické bakterie fixující dusík, jako je *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus* a *Klebsiella* sp. jsou nyní používány po celém světě a jsou záměrně používány na zvýšení dostupnosti různých živin, včetně dusíku, fosforu a mikroelementů. Dále ke zvýšení produktivity rostlin v rámci konvenčních i ekologických zemědělských systémů (Calvo et al. 2014).

Navíc tyto prospěšné půdní mikroorganismy mohou hrát důležitou roli v recyklaci organických živin, protože bakterie schopné nitrifikace půdy, jsou schopny mineralizovat organický dusík na dusitany a poté na dusičnany, které mohou být snadno absorbovány plodinami (Miransari 2011).

Z dlouhodobého hlediska se do roku 2050 očekává zvýšení počtu velmi horkých dnů a prodloužení vegetačního období, zvýšení slunečního záření a zvýšení koncentrace CO₂ (Heller 2007). To bude mít vliv na zvýšenou produkci možnosti kukuřice. Současně se však předpokládá, že v tomto období změny klimatu se bude snižovat množství srážek a dojde k intenzivnějšímu odpařování vody a větší četnosti období sucha a problémů s produkcí kukuřice. Po nárůstu pěstování kukuřice budou následovat zvýšené problémy s kontrolou biotických a abiotických napětí. V každém roce se kukuřice jako stenothermal může setkat s obdobím chladného počasí a s periodickým deficitem srážek v létě, které jsou charakteristickým rysem našeho klimatu (Starck 2005).

Většina druhů rostlin, včetně kukuřice, je schopna se chránit a alespoň částečně kontrolovat vliv stresových faktorů. Nicméně, často obranná reakce přichází příliš pozdě a

ztráty nelze obnovit (Korba et al. 2007). Proto v agrotechnice kukuřici adekvátně vybrané látky, zintenzivňují a podporují životně důležité procesy a mohou se projevit jako velmi užitečné. Jednou z metod prevence stresových efektů může být použití biostimulátorů. Jejich úkolem je regulace životních procesů zvyšujících schopnost rostlin zvládat stresové podmínky a stimulovat růst a vývoj rostlin. Tyto přípravky jsou bezpečné pro přírodní prostředí, které částečně nahrazují chemické prostředky na ochranu rostlin (Starck 2005).

Mezi tyto látky patří:

- **Fytohormony** (auxiny, gibbereliny, cytokininy, kyselina abscisová, ethylen) regulují růst a vývoj a jsou odpovídající syntetickým látkám (Gawronska 2008).
- **Bioregulátory** jsou specifické látky rostlinného původu: např. fenoly, kyselina salicylová (Gawronska 2008).
- **Biostimulátory** (tzv. růstové stimulatory, fytostimulátory). Nepřímo se podílejí na regulaci procesů, ale působí na podporu metabolismu a stimulují životně důležité procesy (Gawronska 2008).
- **Antagonistické organismy** (houby, bakterie) aplikované na rostlinu nebo na půdu. Tyto organismy mění rozsah rostoucích druhů omezujících výskyt patogenních hub nebo zvyšují rychlost procesů biologického rozkladu. Látky s nepřímým působením (zlepšovače) působící na rostliny prostřednictvím jejich vlivu na půdní prostředí a jeho zlepšování (Gawronska 2008).

Sucho je významným abiotickým faktorem, který omezuje produkci zemědělských plodin a rostliny tím reagují na stres v závislosti na stupni růstu, závažnosti a trvání stresu (Reddy et al. 2004). Proto můžeme účelně podporovat rostliny aplikací adekvátních zlepšujících přípravků, které vyvolávají tzv. systémovou získanou rezistenci (SAR) (Korbas et al. 2007).

Biostimulátory aplikované v období kdy jsou rostliny stále zdravé, by měly změnit metabolismus rostliny pouze v takovém případě, aby se staly silnějšími a odolnějšími vůči útokům patogenů a také se lépe vyrovnaly s jinými stresy, například suchem. Ochranné účinky rostlinných výtažků mohou být různé, tj. po jejich aplikaci jsou rostliny schopny odolávat patogenům nebo škůdcům prostřednictvím strukturálního posílení rostliny, nebo zvýšenou odolností vůči penetraci mycelia patogenu nebo aktivací intenzivnějšího růstu rostlin (Gawronska 2008).

Pro výrobu látek používaných pro biostimulaci se běžně využívají mořské organismy včetně řas a mořských plevelů. Výtažky z mořských plevelů obsahují výživné látky, stopové prvky, látky podporující růst a vitamíny. Existuje mnoho způsobů, jak zlepšit vývojové podmínky rostlin. Nejčastěji je lze rozdělit do následujících skupin: aplikace specifických látek se stimulační a fertilizační aktivitou, optimalizace biologického života půdy, využití kořenových bakterií a mykorrhizy, použití půdních přípravků. Výnos kukuřice je výsledkem mnoha faktorů (Kovár & Černý 2007).

Účinky aplikovaných biostimulátorů jsou velmi variabilní, přírůstky výnosů se pohybují v rozsahu 0 - 15%. Pouze v podmínkách minimalizovaného hnojení a extenzivního

zemědělství jsou přírůstky výtěžku větší, dosahující dokonce 30 - 50 %. Lze tedy předpokládat, že by bylo vhodné tyto studie zintenzivnit zejména v podmínkách ekologického zemědělství, kde lze očekávat větší ekonomické dopady (Gawronska 2008).

3.6.5.1 *Pythium oligandrum*

Pythium oligandrum je mikroorganismus z říše *Chromalveolata* a taxonomicky spadá do třídy řasovky. Ve třicátých letech 20. Století bylo *Pythium oligandrum* popsáno americkým vědcem Drechslerem. Tento vědec v průběhu svého dalšího výzkumu zjistil, že *Pythium oligandrum* je mykoparazit, jenž napadá širokou škálu mikroskopických původců chorob rostlin. Oomyceta *Pythium oligandrum* je mykoparazitická biokontrolní látka, která je schopna antagonizovat rostlinné patogeny a může podporovat růst rostlin (Horner N. R., Grenville-Briggs L. J & Van West P, 2011).

V sedmdesátých letech téhož století navázal na výzkum český vědec doc. Ing. Dáša Veselý, DrSc. a začal mikroorganismus testovat pro zemědělské využití. Formulovaný produkt pak uvedla na trh firma Biopreparáty, spol. s r.o. Oomyceta *Pythium oligandrum* je potenciálním biologickým kontrolním činidlem pro použití proti širokému spektru patogenních hub a induktor rezistence vůči chorobám rostlin (účinná látka přípravku Polyversum). Schopnost *P. oligandrum* soutěžit s kořenovými patogeny pro saprofytickou kolonizaci substrátů může být kritické pro zvýšení patogenů v půdě. Jiné mechanismy, včetně antibiosis a produkce enzymů, mohou také hrát roli v antagonistickém procesu (Picard, Tirilly & Benhamou 2000).

Biologická kontrola vyvolaná *P. oligandrum* je výsledkem komplexního procesu, který zahrnuje přímé účinky kontroly patogenů a nepřímé účinků, tj. indukci, rezistence a podporou růstu. Antagonismus *P. oligandrum* je mnohostranný a cílený proces. Zajímavé je, že se nezdá, že by narušovala biologickou rozmanitost mikroflóry na kořenech. *P. oligandrum* má atypický vztah s rostlinou, protože rychle proniká do kořenových tkání. Po kolonizaci kořenů, kvůli elicitaci *P. oligandrum* rostlinného obranného systému, jsou rostliny chráněny před řadou patogenů (Gerbore et al. 2014).

Pythium oligandrum Drechsler se ukázalo být vysoce úspěšným houbovým organismem se schopností vykazovat růst vůči hostitelským houbám, vylučovat enzymy degradující stěny a produkovat některé inhibiční metabolity. Oospory jsou hlavní struktury přežití a jsou aktivním materiálem pro biologickou kontrolu. Komerční přípravek Polyversum se používá v zemědělské praxi (Vesely & Kocova 2001).

Boček et al. (2012) uvádějí tyto účinky na rostliny. *Pythium oligandrum* přímo rozkládá plísňové patogeny (mykoparazitismus), inhibuje růst fytopatogenetiky mikroorganismů stimulací morfologické a biochemické bariéry v rostlině (indukovaná odolnost). Ovlivňuje produkci látky stimulující růst v rostlině a nepřímo zvyšuje příjem fosforu a minerálních látek rostlin (stimulace růstu).

3.6.5.2 *Pseudomonas fluorescens*

Pseudomonas spp. jsou dominantní skupinou půdních bakterií, které hrají klíčovou úlohu v podpoře růstu rostlin a kontrole patogenů hub (Mehrabi et al. 2016). *Pseudomonas*

fluorescens zahrnuje skupinu běžných nepatogenních saprofytů, které kolonizují půdní, vodní a rostlinné povrchové prostředí (Ganeshan & Kumar 2007).

Schopnost kolonizovat povrchy rostlin, což je vlastnost sdílená s mnoha bakteriálními rostlinnými patogeny, jsou přednosti, které přispívají k epifytické kondici na povrchu rostlin. Výhodou tohoto způsobu života je získávání železa a tolerance vůči stresu. Tyto schopnosti jsou společné jak bakteriím rostlinným, tak komensálním (Paulsen et al. 2005).

Jak již název napovídá (*P. fluorescens*), vylučuje rozpustný nazelenalý fluorescenční pigment zvaný fluorescein, zejména za podmínek nízké dostupnosti železa. Mnoho kmenů *Pseudomonas fluorescens* zvyšuje možnost růstu rostlin a snižuje závažnost různých onemocnění. Účinnost bakteriálních antagonistů u mykotických onemocnění byla často lepší samotná a někdy v kombinaci s fungicidy. *P. fluorescens* je potenciálním biologickým pesticidem pro augmentativní biologickou kontrolu mnoha chorob zemědělství a zahradnického významu (Ganeshan & Kumar 2007). Konkrétní bakteriální kmeny v určitém prostředí zabraňují infekčním onemocněním kořenů rostlin (Hass & Defago 2005).

Půdní bakterie spojené s kořeny mohou nabídnout možná řešení tohoto problému, tedy bojem proti patogenům s antimikrobiálními sloučeninami a zlepšením růstu rostlin (Mehrabi 2016). *P. fluorescens* produkuje soustavu antibiotik, vyrábí také kyanovodík a siderofory pyochelinu a pyoverdinu, které mohou potlačit cílové patogeny v rhizosféře prostřednictvím konkurence železa (Paulsen et al. 2005).

Omezujícím faktorem tohoto řešení je však to, že bakterie rhizosféry si mohou konkurovat s řadou antibakteriálních látek. Zatímco prostorová dynamika produkce antibiotik v rhizosféře je špatně pochopena, bakterie, které mají schopnost kontrolovat patogenní původce hub, mohou být méně účinnými, pokud jsou poraženy jinými bakteriemi. To znamená, že u zemědělských plodin, kde jsou houbové patogeny problematické, může být snížený výnos plodin způsoben zvýšeným bohatstvím bakterií potenciálních genotypů biologické kontroly. *P. fluorescens* produkuje čtyři metabolity, které jsou toxické pro houby nebo oomycety. Sekundární metabolity produkované *P. fluorescens* mají přímou úlohu v schopnosti bakterie potlačit onemocnění rostlin a mohou sloužit jako signály ovlivňující genovou expresi koinhabitujícími buňkami v rhizosféře. (Mehrabi 2016).

Kompletní genomová sekvence *P. fluorescens* poskytuje řadu pohledů na komensální životní styl a schopnosti biokontroly tohoto organismu. Odhalila cesty biosyntézy dosud neznámých sekundárních metabolitů, které mohou přispět k biokontrolě. Její potenciál používat jiné siderofory a různé sloučeniny odvozené od hostitele a jeho schopnost rezistence vůči antibiotikům a oxidačnímu stresu je pravděpodobně základem úspěchu *P. fluorescens* jako komensálního organismu ve vysoce konkurenčním prostředí rhizosféry (Paulsen et al. 2005).

3.6.5.3 *Paenibacillus polymyxa*

Mikrobiální rozmanitost je hlavním zdrojem biotechnologických produktů a procesů. Bakterie jsou nejvíce dominantní skupinou této rozmanitosti, která produkuje širokou škálu produktů průmyslového významu. Je jednou z nejvíce průmyslově významných fakultativních anaerobních bakterií (Lal & Tabacchioni 2009).

Tato rhizobakterie podporuje růst rostlin s širokým rozsahem hostitelů. Bakterie kolonizuje převážně kořenovou špičku, kde tvoří biofilm a antagonizuje oomycetické patogeny. Vzhledem k širokému spektru hostitelů, schopnosti tvořit endospory a schopnosti produkovat různé druhy antibiotik je *P. polymyxa* potenciálně dobře komerčně použitelným biokontrolním činidlem (Timmusk, Grantcharova & Wagner). Je fixátor dusíku, produkuje antimikrobiální látky a může být potenciálně aplikován na biofertilizátor v zemědělství (Hao & Chen 2017). Solubilizuje fosfor v půdě a produkuje exopolysacharidy, hydrolytické enzymy a cytokininy. Pomáhá také při bioflokulaci a při zvyšování pórovitosti půdy. Kromě toho je známo, že se vyrábí opticky aktivní 2,3 - butandiol (BDL), což je potenciálně hodnotná chemická sloučenina z různých sacharidů (Lal & Tabacchioni 2009).

Bylo prokázáno, že bakteriální buňky u sazenic kukuřice byly kolonizovány v epidermálních a kortikálních buňkách, mezibuněčných prostorech a cévním systému vnitřních prostor kořenů, stonků a listů kromě kořenových povrchů. Vyšší hustoty bakteriálních buněk v kořenech, stoncích a listech ukázaly, že buňky *P. polymyxa* mohou migrovat z kořenů na stonky a listy kukuřice (Hao & Chen 2017).

P. polymyxa se přirozeně vyskytuje v rhizosféře kukuřice. Výzkum prokázal, že homogennější populace *P. polymyxa* byla přítomna během středních fází růstu kukuřice (30. a 60. den po výsevu) než v první fázi (10 dnů) a po 90 dnech růstu kukuřice. Půdní mikroorganismy mohou podporovat růst rostlin prostřednictvím produkce různých hormonů, jako jsou cytokininy, auxiny, ethylenové, giberelinové a dusíkaté fenolové schopnosti nebo potlačením chorob rostlin způsobených škodlivým organismem. Bylo prokázáno, že *P. polymyxa* vykazuje schopnost fixovat dusík z atmosféry (Lal & Tabacchioni 2009).

Exopolysacharidy (EPS) produkované *P. polymyxa* jsou také užitečné pro zdravotnictví, zejména k diagnostice nemocí a výrobě léčiv. Syntéza hydrolytických enzymů uváděná jako biokonzervace zemědělských odpadů, která pomáhá řešit vážné environmentální problémy tím, že vytváří „bohatství z odpadů“, které mohou také působit jako produktivní biokontrolní látky proti patogenům (Daud et al. 2019).

3.6.5.4 Trichoderma harzianum

Trichoderma harzianum je houbový rod vyskytující se v mnoha regionech světa. Tyto houby jsou všudypřítomné v širokém okolí a prostředí, objevují se v půdě, v lesích atd. Tyto houby rostou jako symbiotické ve vztahu s rostlinami a podporují hojný růst kořenů. Druhy *Trichoderma* byly široce studovány z hlediska jejich schopnosti zlepšit růst rostliny, produkují antibiotika, parazitují jiné houby a konkurují škodlivým rostlinným mikroorganismům. Hledání účinných biokontrolních činidel pro řízení onemocnění rostlin se v posledních letech zintenzivnilo, aby se snížila závislost na ekologicky nebezpečných látkách (Harman 2000).

Rostliny ošetřené *Trichoderma* spp. byly schopny zvýšit příjem živin, což vede ke zvýšení růstu kořenů, výhonků a zlepšení intenzity růstu rostlin, což může mít za následek vyšší intenzitu fotosyntézy. To následně vede ke zvýšení tvorby škrobu v obilkách. *Trichoderma* spp. produkuje indol-3-octovou kyselinu (IAA), která podporuje laterální tvorbu kořenů. Studie dále ukázaly, že obsah proteinů ve výhoncích a kořenech rostlin kukuřice

ošetřených *T. harzianum* byl navýšen, dále se potvrdila i aktivnější absorpce dusičnanů a dalších iontů. *Trichoderma* spp. zvyšuje biologickou fixaci dusíku v půdě a příjem dusíku rostlinami. *Trichoderma* se izoluje pro růst a vývoj rostlin, které mají důležité ekonomické důsledky, jako např. zkrácení období a času růstu rostlin, jakož i zlepšení intenzity rostlin k překonání biotických a abiotických poškození, což má za následek zvýšení produktivity. (Akladious & Abbas 2012).

Tento kmen je schopen kolonizovat všechny části kořenového systému rostlin a modulovat složení mikrobiomu rhizosféry. Je zajímavé, že tyto schopnosti nejsou nijak zvlášť ovlivněny typem půdy, druhem rostlin ani geografickou zónou. Kolonizace kořenů *T. harzianum* a následné interakce mezi rostlinami a mikroby mohou být hluboké, pokud jde o kontrolu onemocnění rostlin, růst a produktivitu (Vinci et al. 2018).

Aplikace *T. harzianum* způsobuje zvýšení růstových parametrů, obsahu chlorofylu, škrobu, nukleových kyselin, celkový obsah proteinů a fytohormonů v kukuřičných rostlinách, při aplikaci na půdu nebo semena (Akladious & Abbas 2012). Pozitivní účinky kombinovaného ošetření *Trichoderma* a kompostu naznačují, že se může stát alternativou k hnojení fosforem (Vinci et al. 2018).

V půdě procházejí makro i mikro živiny komplexem dynamické rovnováhy solubilizace a nerozpustnosti těchto živin je velmi ovlivněno pH půdy a mikroflórou a to následně ovlivňuje jejich přístupnost pro absorpci pomocí kořenové soustavy. Fosfor je obvykle nedostatečný ve většině přírodních půd, protože je fixován jako nerozpustné železo a fosforečnany hlinité v kyselé půdě (zejména ty s pH nižším než 5,0) nebo fosforečnan vápenatý v alkalických půdách (pH nad 7,0). Nerozpustný fosforečnan vápenatý však může být rozpuštěn a zpřístupněn rostlinám působením půdních mikroorganismů půd a rhizosféry prostřednictvím mechanismu, o němž se předpokládá, že zahrnuje uvolňování organických kyselin (Altomare et al. 1999).

Mikrobiální biostimulantům a houbám podporujícím růst rostlin byla věnována značná pozornost v rámci rozvoje udržitelného zemědělství. Byla prokázána prospěšná interakce s rostlinami, protože jejich symbióza s plodinami může podporovat výnosy plodin. *Trichoderma* spp. mohou také působit jako činidla pro biokontrolu a jako induktory rezistence vůči chorobám u symbiotických rostlin (Vinci et al. 2018).

Zlepšení udržitelnosti zemědělských systémů vyžaduje vhodné využívání úrodnosti půdy a jejích fyzikálně-chemických vlastností. To závisí na biologických procesech odvozených z biologické rozmanitosti půdy (Singh et al. 2011). Půdní mikrobiota je zodpovědná za nepostradatelný příspěvek k udržitelnosti ekosystémů, protože její složky se podílejí na koloběhu živin, modulaci dynamiky sekvestrace organické hmoty a půdy, které mění fyzikální strukturu půdy a vodní režimy, čímž se zvyšuje účinnost rostlin a jejich zdraví. *Trichoderma harzianum* snižuje výskyt a závažnost zemědělsky významných onemocnění, aniž by způsobil významné změny v mikrobiálních společenstvech zemědělských půd (Ganuza et al. 2018).

4 Metodika

4.1 Charakteristika stanoviště

Výzkumná stanice Červený Újezd spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Nadmořská výška je 398 m, 50°04' zeměpisné šířky, 14°10' zeměpisné délky. Průměrná doba slunečního svitu je 1902 hodin, za vegetační období 1396 hodin (údaje stanice Praha - Karlov 1926 - 1950).

Klimatické podmínky ovlivňují vznik hnědozemí, hnědozemí illimerizovaných, vyluhování vrchních půdních horizontů a posun koloidních částic do spodiny.

Zájmové území je součástí mírně zvlněné Bělohorské plošiny. Terén pokusných ploch je jednoduchý, převážně s jižní expozicí, průměrná nadmořská výška je 405 m. n. m. (nejvyšší bod 420 m. n. m., je vrchol mírného svahu na jižním okraji území). Na území jsou hluboké kvarterní pokryvy, rovinný terén podmiňuje dobrý zásak srážkových vod, substráty mají dobrou vododržnost i dobrou vnitřní drenáž.

Zájmové území je geologicky tvořeno opukami křídového stáří, překrytými sprašemi a sprašovými pokryvy pleistocenními. Opuky jsou vápnité, se štěrkovým rozpadem. Spraše a nevápnité sprašové pokryvy jsou převažujícím půdním druhem.

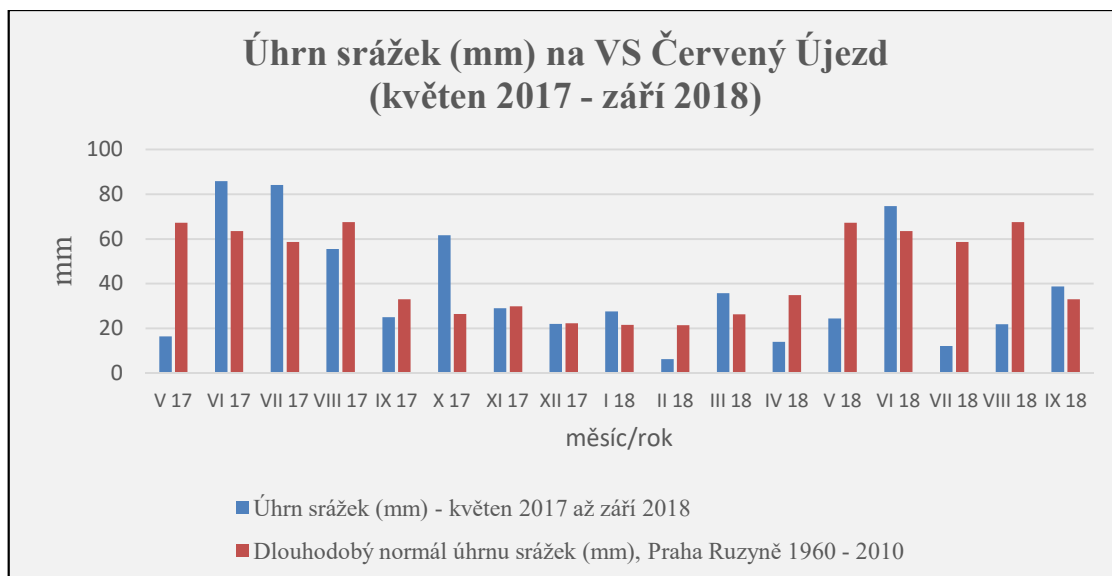
Zájmové území je geologicky tvořeno opukami křídového stáří, překrytými sprašemi a sprašovými pokryvy pleistocenními. Opuky jsou vápnité, se štěrkovým rozpadem. Spraše a nevápnité sprašové pokryvy jsou převažujícím půdním druhem.

4.1.2 Půdní podmínky

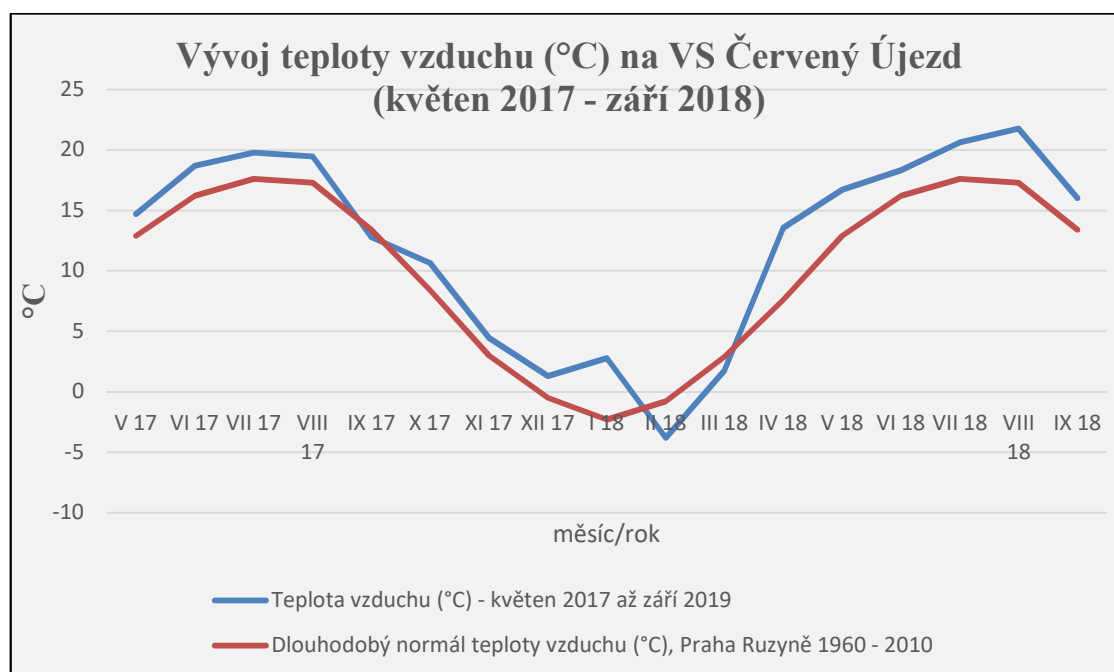
Pokusné plochy jsou situovány na východní straně katastru obce Červený Újezd. Genetickým půdním představitelem je hnědozem, sprašový pokryv. Hlavním půdotvorným procesem je illimerizace, dochází k okyselování povrchových vrstev půdního profilu, peptizaci koloidů a jejich vyplavování do spodiny. Tím se vytvořily charakteristické horizonty. Chemické vlastnosti půdy: mírný obsah humusu, reakce neutrální, střední sorpční kapacita, koloidní komplex je nasycen. Na sprašových pokryvech uhličitán vápenatý vyloužen. Obsah P, K je střední až dobrý.

4.1.3 Meteorologická měření

Meteorologická data stanoviště byla získána z dat meteorologické stanice Výzkumné stanice FAPPZ Červený Újezd. Oblast patří k nejteplejším oblastem Čech s ročním průměrem teplot mezi 8 – 9 °C. Vyznačuje se vegetačním obdobím, které trvá od dubna do září, s průměrem teplot přes 14°C.



Graf č. 1 – Úhrn srážek (mm) na VS Červený Újezd (květen 2017 - září 2018).



Graf č. 2 – Vývoj teploty vzduchu (°C) na VS Červený Újezd (květen 2017 – září 2018).

4.2 Agrotechnický popis

Pro pokus byl zvolen hybrid kukuřice Ronaldinio (FAO 240/250), který byl zaset 24. 4. 2018 s hustotou výsevu 80 tis. rostlin/ha a vzdáleností mezi řádky 75 cm. Jako předplodina byla použita pšenice ozimá. Rozměr sklizňové parcelky byl 30 m² (3 x 10 m). Parcelka tvořena po 4 řádcích. K přípravě půdy byla určena podzimní střední orba a jarní standartní předset'ová příprava půdy pro kukuřici. Aplikace hnojiv naširoko, která byla provedena 23. 4. 2018.

4.3 Založení pokusu

Pokus byl vedený podle metodiky uvedené v Tab. č. 1. Během vegetace nebyla využita insekticidní ani fungicidní ochrana, v roce 2018 na pokusné stanici nebylo potřeba aplikovat prostředky proti negativním činitelům. Aplikace hnojiva naširoko proběhla 23. 4. 2018, den před setím. Dávka hnojiva plošně 80 kg N.ha⁻¹ v čisté dávce, forma – močovina.

Tab. č. 1: Plán pokusu na stanici v Červeném Újezdě, rok 2018

K	Prosaro	0	FIX H+N	2	Trichoderma
Prosaro	0	FIX H+N	2	Trichoderma	K
0	FIX H+N	2	Trichoderma	K	Prosaro
FIX H+N	2	Trichoderma	K	Prosaro	0

Pokus byl založen s následujícími variantami:

1) Polyversum

- účinná látka *Pythium oligandrum*, dávka 100 g.ha⁻¹

Tvoří hydrolytické enzymy, které slouží k rozkladu buněčných struktur jiných houbových organizmů. Tvoří hydrolytické enzymy, které slouží k rozkladu buněčných struktur jiných houbových organizmů. Následně jsou takto degradované části využívány jako zdroj živin k vlastnímu růstu. Zvyšuje výnos silážní hmoty, snižuje napadení palic fuzáriemi. Je potřeba dbát na správnou aktivaci houby, na aplikaci v optimálním termínu a za příznivých povětrnostních podmínek (ne sucho, bez přímého slunce). Byla zvolena klasická meziřádková vzdálenost 75 cm. *Pythium oligandrum* bylo aplikováno 2× dle návodu na použití (Tomášek & Cihlár 2017).

2) FIX-H+N

- v dávce 1 l.ha⁻¹ formou postřiku ve fázi BBCH 12 (Tab. č. 2)

Přípravek byl aplikován přímo na rostliny a v bezprostřední vzdálenosti kolem rostliny. Aplikací dávka vody byla 600 l.ha⁻¹. V den aplikace přípravku s účinnou látkou Trichoderma bylo zataženo, v podvečer. Přípravek obsahuje dva druhy bakterií (*Pseudomonas fluorescens* a *Paenibacillus polymyxa*), které kolonizují rhizosféru a vytvářejí s kořeny plodin volnou symbiózu. Bakterie zajišťují rostlině lepší příjem živin a zároveň vážou vzdušný dusík do půdy. Dalším přínosem je produkce rostlinných hormonů (cytokininů), které podporují růst plodiny. Formulace přípravku přináší větší odolnost bakterií na slunci. Přesto se doporučuje aplikovat za oblačného počasí nebo navečer. Aby se buňky řádně dostaly ke kořenům, přípravek by měl být aplikován do vlhké půdy. Ideální podmínky jsou před deštěm, během něj nebo po dešti. Bakterie v přípravku pocházejí z našich klimatických podmínek a dobře snášejí široké rozmezí teplot (Anonym 2).

Bakterie složky FIX-H (osidlují okolí kořenové soustavy a chrání kořeny kukuřice proti houbovým chorobám (*Fusarium*, *Colletotrichum*). Zároveň vytlačují z půdy patogenní houby, které ohrožují následné plodiny (*Sclerotinia*, *Verticillium* a jiné). Bakterie upravují pH v okolí kořenové soustavy a pomáhají tak zlepšovat odolnost rostliny ve stresových obdobích. Produkují enzym podílející se na chemických procesech v půdě, při kterých se spotřebovávají volné vodíkové ionty (H^+), ovlivňující kyselost půd, rozkládají složité organické sloučeniny (nepřístupná forma živin) a dělají je volně přístupnými pro rostlinu (Anonym 3).

Bakterie složky FIX-N produkují rostlinné hormony - cytokininy. Rostlina má díky tomu zajištěn přísun cytokininů z půdy a šetří vlastní energii potřebnou k jejich tvorbě (tímto se zároveň zvyšuje koncentrace rostlinných hormonů v rostlinných pletivech). Podporuje imunitu rostlin. Bakterie vážou vzdušný dusík do půdy. Při dobrých vodo-vzdušných podmínkách dokáží navázat do půdy 15 - 40 kg N.ha⁻¹ (Anonym 3).

3) PROSARO

- 0,75 l.ha⁻¹, ve fázi před květem BBCH 33-69 (viz Tab. č. 2)

Dvousložkový systémově působící fungicid s výbornou protektivní a kurativní účinností proti mimořádně širokému spektru houbových chorob. Přípravek je určen proti napadení rostlin fuzariózou palic, spálou, rzí kukuřičnou a antraknózou kukuřice. Porost se ošetřuje 1x za vegetaci, podle signalizace (Fridrichová 2011).

4) *Trichoderma harzianum*

- Aplikace přípravku Supesivit v dávce 100 g.ha⁻¹ formou zálivky/postřiku ve fázi BBCH 12 (Tab. č. 2).

Přípravek byl aplikován přímo na rostliny a v bezprostřední vzdálenosti kolem rostliny. Aplikací dávka vody byla 600 l.ha⁻¹. V den aplikace přípravku s účinnou látkou *Trichoderma harzianum* bylo zataženo, bez slunce v podvečer dne.

Bakterie *Trichoderma harzianum* má schopnost růst v půdním prostředí s dostatkem živin jako saprofyt, tak růst jako mykoparazit. Jako saprofyt má výrazné celulolytické vlastnosti, je schopna rozkládat celulózu, završuje rozklad rostlinné hmoty v půdě. Vyznačuje se relativně rychlým růstem mycelia v novém prostředí (Nesrsta 2002). Tyto houby vyrůstají z kořenů do okolní půdy a tvoří vnější hyfální síť, která zvyšuje příjem minerálních živin a následně podporuje růst rostlin (Green 1999).

5) PhaNi stim (v plánu pokusu označen jako 0)

- komerční stimulační přípravek, aplikace 3,5 l.ha⁻¹. Přípravek byl aplikován ve fázi BBCH 15 (Tab. č. 2).

Přípravek reaguje na změny klimatických poměrů (klimatický stres) a snižování biologické hodnoty půdy (obsah humusu a půdních bakterií). Kapalné listové hnojivo

v základní kombinaci, a v přijatelné formě se stimulačními složkami na bázi esenciálních aminokyselin a biopolymerů, příznivě ovlivňující příjem a metabolizaci fosforu a dusíku rostlinou.

Podstatnou změnou je použití směsi biologicky aktivních polymerů, které mají razantní vliv na příjem živin. Tyto polymery jsou molekulárními přenašeči – transportéry molekul výživy dovnitř rostlinných buněk. Aplikací aktivátorů transportu na listy dostáváme aktivní látky přímo na místo průběhu metabolických reakcí v rostlině. Tím podporujeme příjem živin a jejich přeměnu na metabolity. Porost tak lépe odolává negativním klimatickým činitelům, patogenům a dává vyšší a kvalitnější úrodu (Anonym 4).

6) PRP SOL (pro porovnání přidán do výsledků)

- organické hnojivo, před setím naširoko 300 kg.ha⁻¹.

Jako přirozený obsah z matečných materiálů obsahuje vápník, mořskou sůl, malé množství hořčíku a stopové prvky. Napomáhá zvyšovat půdní úrodnost tím, že příznivě ovlivňuje půdní strukturu a biologickou aktivitu v půdě. Porosty po aplikaci rychleji zakořeňují, mají bohatší kořenový systém, porost je vyrovnanější. Přípravek se používá k urychlení rozkladu posklizňových zbytků, též k regeneraci půdy, ke zlepšení půdní struktury a zvýšení využitelnosti disponibilních zásob živin v půdě. Podpora přirozené úrodnosti půdy může překonat krátkodobý nedostatek vody. Je vhodný pro minimalizace, která podporuje biologický život v horní vrstvě půdního horizontu (Anonym 5).

7) Bajkal

- 3 l.ha⁻¹, BBCH 12 (Tab. č. 2), mikrobiologický preparát

Podporuje obnovení struktury půdy a její úrodnost, energii klíčení a růst semen, zvyšuje imunity rostlin, odolnost proti mrazu a suchu a proti patogenním organismům. Obnovuje ekologické rovnováhy a stabilizace ekosystému, přeměňuje organické látky na látky snadno osvojitelné rostlinami, stimuluje fotosyntézu, fyziologické procesy v rostlinné buňce a s tím spojený rozvoj vegetativních orgánů. Stimuluje vývoj kořenů a zlepšuje příjem prvků z hlubších vrstev půdy a předchází zhutnění půdy při bezorebných agrotechnických postupech (Anonym 6).

8) Kontrolní varianta (K)

- bez ošetření, stejná dávka N.ha⁻¹ jako ostatní varianty

Podle této makrofenologické stupnice byla provedena ošetření rostlin v pokusu.

Tab. č. 2: BBCH Kukuřice

Fenologické fáze podle BBCH: 08 - Kukuřice (BBCH)	
0	suché semeno (v této fázi jsou semena mořena)
1	počátek bobtnání
3	konec bobtnání (imbibice)
5	kořínek vystoupil ze semene
7	výstup koleoptile ze semene
9	vzcházení: koleoptile proniká nad povrch půdy
10	1. list vystupuje z koleoptile
11	1. list vyvinutý
12	2. list vyvinutý
13	3. list vyvinutý
14	4. list vyvinutý
15	5. list vyvinutý
16	6. list vyvinutý
17	7. list vyvinutý
18	8. list vyvinutý
19	9 a více listů vyvinuto
30	počátek prodlužovacího růstu
31	1. nodus (kolénko) patrné
32	2. kolénko patrné
33	3. kolénko patrné
34	4. kolénko patrné
35	5. kolénko patrné
36	6. kolénko patrné
37	7. kolénko patrné
38	8. kolénko patrné
39	9 a více kolének patrných
51	počátek metání lat: lata v pochvě dobře znatelná
53	špička laty viditelná
55	střední metání: (lata úplně viditelná), střední větve laty se rozvíjejí
59	konec metání (dolní větve laty plně rozvinuté)
61	samčí květenství: začátek květu: středy středních větví laty kvetou, samičí květenství: objevují se špičky palic v listových pochvách
63	samčí květenství: začíná prášení pylu, samičí květenství: viditelné špičky blizen ("vousy")
65	samčí květenství: plný květ: horní a dolní větve lat kvetou, samičí květenství: vlákna blizen plně vysunutá
67	samčí květenství: květ ukončen, samičí květenství: vlákna blizen začínají zasychat

69	konec květu
71	počátek tvorby plodu: zrna jsou zjistitelná: obsah vodnatý: cca 16 % sušiny
73	časná mléčná zralost
75	mléčná zralost: zrna ve středu palice jsou žlutobílá: obsah mléčný: asi 40 % sušiny zrna
79	druhově a odrůdově specifické velikosti zrna je dosaženo
83	časná vosková zralost: zrna těstovitá, na bázi ještě vlhká: asi 45 % sušiny zrna
85	vosková (silážní) zralost, zrna žlutavá až žlutá: těstovitá konzistence: asi 55 % sušiny zrna
87	fyziologická zralost: černá skvrna /vrstva na bázi/ zrna: asi 60 % sušiny v zrnu
89	plná zralost: zrna ztvrdlá a lesklá: asi 75 % sušiny v zrnu
97	rostlina odumřela
99	sklizňová zralost

(Zimolka et al. 2008)

4.4 Měřené charakteristiky

4.4.1 Hodnocení vzcházení

Vzcházení bylo hodnoceno ve fázi BBCH 14 (Tab. č. 2) kdy u kukuřice seté pozorujeme 4 pravé listy a listové páry nebo rozvinuté přesleny, byl počítán počet rostlin na sklizňový řádek.

4.4.2 Výška rostlin

Měření výšky rostlin pomocí metru proběhlo v termínu 23. 8. 2018. Počet opakování pro každou variantu byl 40. Hodnocení slouží k přesnějšímu určení, zda se jedná o náchylnost odrůdy k mykózám, (zejména fusariím), či zda se jedná spíše o důsledek předchozího napadení zavíječem.

4.4.3 Stupeň nakažení fuzárií

Hodnocení ve fázi 89 (plná zralost, těsně před sklizní), všechna opakování, na každém opakování se hodnotí 20 po sobě jdoucích rostlin na nesklizených okrajových řádcích po odloupení krycích listenů palic.

Hodnocené znaky:

- **Počet palic napadených snětí kukuřičnou (*Ustilago maydis*)**

Sledoval se počet všech palic napadených patogenem; výsledná hodnota je aritmetickým průměrem všech napadených palic na parcele, pokud není žádná palice fuzáriem napadena, uvádí se výsledná hodnota na parcele bod 9.

- **Stupeň napadení fuárii (9 – 1)**
Hodnotí se bodově každá napadená palice.

Tab. č. 3: Stupeň nakažení fuzárii

Stupeň	Popis
9	bez napadení
7	napadeno do 5 zrn na palici
5	napadeno do 15 zrn na palici
3	napadeno do 50 zrn na palici
1	napadeno více než 50 zrn na palici

4.4.4 Výnos kukuřice na siláž

Ruční sklizeň proběhla 23. 8. 2018. Sklízela se prostřední levý řádek: Pravý byl ponechán pro hodnocení výnosu zrnové kukuřice.

Zelená hmota byla zvážena a byl přepočítán výnos zelené na hektar, posléze po usušení řezanky, tedy vzorků o přibližné hmotnosti 650g, byl tento vzorek zvážen a přepočítán výnos suché hmoty rostlin na hektar.

4.4.5 Zjištění sušiny kukuřice na siláž

Z řezanky několika rostlin z každého opakování bylo odebráno cca 650g 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.

4.4.6 Výnos kukuřice na zrno

Sklizeň proběhla 19. 9. 2018 ručním olámáním palic z prostředního pravého řádku. Palice byly bezodkladně vymláčeny na pokusném sklízecím stroji Wintersteiger. Byla zvážena hmotnost zrn z jednotlivých opakování, byl zjištěn obsah sušiny usušením vzorků při teplotě 45 °C po dobu 48 h a byl přepočítán výnos zelené a suché hmoty zrn na výnos na hektar.

4.4.7 Statistické hodnocení

Ke statistickému hodnocení výsledků byl použit Fisher ANOVA LSD test. Program STATISTICA 12.

5 Výsledky

5.1 Hodnocení chorob kukuřice

5.1.1 Choroby stébla – rez

Byly prokázány statisticky významné rozdíly ve výskytu napadení rzí na listech kukuřice u varianty Polyversum 1x, oproti variantě s chemickým ošetřením Prosaro a variantě Polyversum 2x (viz tab. č. 4).

V tomto hodnocení se určoval procentuální podíl napadených listů 10 ks po sobě jdoucích rostlin na každém opakování. Polyversum 1x vykazovalo podíl napadení rzí na listech kukuřice vyšší o 1,11 %, než bylo zjištěno u varianty ošetřené Polyversum 2x. U varianty Prosaro byla četnost výskytu rzí nejnižší, tedy o 1,18 % nižší než u varianty Polyversum 1x, kde bylo naopak zjištěno nejvyšší procento napadení rzí. Lze konstatovat, a to vycházelo i v předešlých letech pokusů, že jen jedna aplikace přípravku Polyversum není dostatečně účinná.

Tab. č. 4: Vliv variant na podíl výskytu rzí na listech (podíl rzí na listech)

Varianta	Podíl výskytu (%)	Statistická průkaznost	
Prosaro	1,80	****	
Polyversum 2x	1,87	****	
Trichoderma	2,38	****	****
Kontrola (bez ošetření)	2,88	****	****
Polyversum 1x	2,98		****

LSD test; proměnná choroby stébla (%); Homogenní skupiny; (p = 0,05);

Chyba: meziskup. PČ = 1,2023, sv = 38,000

5.1.2 Choroby palic – fuzária

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly v napadení palic fuzárií u žádné z uvedených variant (Tab. č. 5). Při porovnávání jednotlivých variant nebyly zjištěny větší rozdíly v napadení *Fusarium*.

Varianta Polyversum 2x vykazovala o 0,9 stupně vyšší napadení fuzárií než bylo zjištěno u varianty ošetřené přípravkem Trichoderma. U varianty Trichoderma byl podle metodiky (Tab. č. 3) vyhodnocen stupeň napadení nejvyšší ze všech ostatních variant ošetření. Tato varianta vykazovala napadení fusarií do 5 zrn na palici kukuřice.

Varianta ošetřená Polyversum 2x vykazovala nejvyšší stupeň, tedy bez napadení patogenem (Tab. č. 3). Důvodem tohoto účinku je pravděpodobně zvolení správného termínu aplikace přípravku za příznivých klimatických podmínek a její opakovaná aplikace, při

kterém nastal přímý účinek tohoto biologického fungicidu a zároveň působil pomocí indukované rezistence.

Tab. č. 5: Vliv variant na výskyt fuzárií na palicích kukuřice seté

Varianta	Stupeň napadení	Statistická průkaznost
Trichoderma	7,6	****
Kontrola (bez ošetření)	7,8	****
Polyversum 1x	8,2	****
Prosaro	8,4	****
Polyversum 2x	8,5	****

LSD test; napadení fuzárií stupně ; Homogenní skupiny; (p = 0,05);
Chyba: meziskup. PČ = 0,40102, sv = 38,000

5.1.3 Průměrné počty sněti (*Ustilago maydis*) variant pokusu

Byly prokázány statisticky významné rozdíly ve výskytu sněti na rostlinách kukuřice. Největší výskyt sněti byl zjištěn u varianty Kontrola (bez ošetření). Tento výsledek je statisticky průkazný ve srovnání variantami ošetření Prosaro a Trichoderma. Statisticky neprůkazný je v porovnání s variantami Polyversum 1 a Polyversum 2 (Tab. č. 6), u kterých byla četnost rozdílu výskytu *Ustilago maydis* minimální (Tab. č. 6). Nejmenší výskyt sněti byl zjištěn u varianty Prosaro (0,25 Ks) oproti kontrole, která vykazovala 1,63 ks (Tab. č. 6). Mezi těmito variantami byl průměrný rozdíl ve výskytu 1,38 ks sledovaného pat genu.

Tab. č. 6: Průměrné počty sněti ve všech opakování každé varianty (hodnoceno na všech rostlinách)

Varianta	Počet sněti (ks)	Statistická průkaznost		
Prosaro	0,25			****
Trichoderma	0,88	****		****
Polyversum 1x	1,11	****	****	
Polyversum 2x	1,30	****	****	
Kontrola (bez ošetření)	1,63		****	

LSD test; průměrný počet ks sněti; Homogenní skupiny; (p = 0,05);
Chyba: meziskup. PČ = 0,40102, sv = 38,000

5. 2 Hodnocení výnosů

5.2.1 Průměrná hmotnost 1 rostliny (g)

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly v průměrné hmotnosti 1 rostliny v žádné z uvedených variant (Tab. č. 7). I přes neprůkazné výsledky, byly pozorovány zajímavé trendy v hmotnostech rostlin. Průměrná hmotnost jedné rostliny ve variantě ošetřené

Polyversum 2x byla o 60 g vyšší než bylo u varianty PRP - SOL. Phani-Stim byla v průměru hmotnosti jedné rostliny vyšší o 33 g oproti PRP - SOL. Varianta Bajkal a Trichoderma vykazovaly stejné rozdíly průměrné hmotnosti jedné rostliny kukuřice a to o 24 g než vykazovala varianta PRP - SOL. U Varianty FIX H+N byl prokázán nejmenší rozdíl v průměrné hmotnosti jedné rostliny v porovnání s variantou PRP - SOL. Rozdíl činil pouhé 4g ve prospěch varianty FIX H+N.

Tab. č. 7: Průměrná hmotnost jedné rostliny (g)

Varianta	Průměrná hmotnost rostliny (g)	Statistická průkaznost
PRP – SOL	448	****
FIX H+N	452	****
Kontrola (bez ošetření)	465	****
Trichoderma	472	****
Bajkal	472	****
Phani-Stim	481	****
Polyversum 2x	508	****

LSD test; proměnná hm 1 r (g); Homogenní skupiny; (p = 0,05);
Chyba: meziskup. PČ = 2418,2, sv = 21,000

5.2.2 Výnos zelené hmoty celých rostlin (t.ha⁻¹)

V rámci pokusu byly porovnávány i výnosy celých rostlin. Bylo potřeba ověřit, zda použité metody mají vliv na výši výnosu a zdali případné choroby nesnižují výnos celých rostlin a zrna.

Byly zjištěny zajímavé výnosové trendy u jednotlivých variant (viz Tab. č. 8). Varianta Polyversum 2x byla v průměru výnosu zelené hmoty vyšší o 2,82 t.ha⁻¹ oproti variantě PRP SOL.

Varianta Polyversum 2x vykazovala vyšší výnos o 1,57 t.ha⁻¹ než u variant s aplikací *Trichoderma* a Phani-Stim. Stejně tak s porovnáním s variantou FIX H+N, byl výnos u Polyversum 2x, větší o 2,22 t.ha⁻¹. Varianta ošetření Polyversum 2x prokázala ve srovnání s kontrolou o 2,64 t.ha⁻¹.

U Polyversum 2x nebyly prokázány statisticky významné ve výnosu zelené hmoty z celé rostliny u žádné z použitých variant (viz Tab. č. 8). V této variantě pokusu se Polyversum s aplikací 2x ,s účinnou látkou *Pythium oligandrum*, jeví jako ošetření s nejnižším vlivem na výnos zelené hmoty kukuřice. Významně ovlivňuje rostlinu svým působením na kořenech rostliny. Svými vlákny dokáže napadat fytopatogenní druhy hub a čerpat z nich živiny potřebné pro vlastní prospěch. To se v určitých letech může projevit významněji, v jiných letech při aplikaci na suchou půdu, méně.

Tab. č. 8: Výnos zelené hmoty z celé rostliny (t.ha⁻¹)

Varianta	Výnos (t.ha ⁻¹)	Statistická průkaznost
PRP – SOL	30,45	****
Kontrola (bez ošetření)	30,63	****
Bajkal	30,97	****
FIX H+N	31,05	****
Phani-Stim	31,70	****
Trichoderma	31,70	****
Polyversum 2x	33,27	****

LSD test; proměnná výnos (t.ha⁻¹); Homogenní skupiny; (p = 0,05);
Chyba: meziskup. PČ = 9,3277, sv = 21,000

5.2.3 Obsah suché hmoty celých rostlin (%)

Nejvyšší obsah suché hmoty byl zjištěn u odrůdy Bajkal (50,7%), výsledek je statisticky průkazný ve srovnání s variantami pokusu PRP – SOL, Trichoderma, FIX H+N a kontrolou. Statisticky neprůkazný je v porovnání s variantou Phani-Stim a Polyversum 2x. Naopak nejmenší obsah suché hmoty byl stanoven u varianty PRP – SOL (44,4%). Tento výsledek je statisticky průkazný pro všechny ostatní odrůdy vyjma varianty Trichoderma (Tab. č. 9).

Tab. č. 9: Obsah suché hmoty celých rostlin (%)

Varianta	Obsah suché hmoty (%)	Statistická průkaznost		
PRP – SOL	44,4			****
Trichoderma	46,9	****		****
FIX H+N	47,2	****		
Kontrola (bez ošetření)	47,5	****		
Phani-Stim	49,1	****	****	
Polyversum 2x	49,3	****	****	
Bajkal	50,7		****	

LSD test; proměnná obsah sušiny celých rostlin (%); Homogenní skupiny, (p = 0,05);
Chyba: meziskup. PČ = 2,9766, sv = 21,000

5.2.4 Výnos suché hmoty celých rostlin (t.ha⁻¹)

Byly prokázány statisticky významné rozdíly ve výnosu suché hmoty celých rostlin u variant Polyversum 2x, Bajkal a PRP - SOL.

Výnos suché hmoty Polyversum 2x byl o 2,87 t.ha⁻¹ vyšší než u varianty ošetřené PRP. Varianta Bajkal vykazovala o 2,17 t.ha⁻¹ vyšší výnos než bylo dosaženo u PRP - SOL (Tab. č. 10).

U Polyversum 2x, byl výnos suché hmoty celých rostlin vyšší o 0,7 t.ha⁻¹ v porovnání s variantou Bajkal. Taktéž u ostatních variant ošetření prokázalo Polyversum 2x vyšší výnos, o 0,82 t.ha⁻¹ u varianty Phani-Stim, o 1,52 t.ha⁻¹ v porovnání s variantou Trichoderma o 1,81 t.ha⁻¹ vyšší s porovnání s FIX H+N a o 1,86 t.ha⁻¹ v porovnání s kontrolní variantou.

Tab. č. 10: Výnos suché hmoty celých rostlin (t.ha⁻¹)

Varianta	Výnos suché hmoty (t.ha ⁻¹)	Statistická průkaznost	
PRP – SOL	13,52		****
Kontrola (bez ošetření)	14,53	****	****
FIX H+N	14,58	****	****
Trichoderma	14,87	****	****
Phani-Stim	15,57	****	****
Bajkal	15,69	****	
Polyversum 2x	16,39	****	

LSD test; proměnná výnos suché hmoty (t.ha⁻¹); Homogenní skupiny; (p = 0,05); Chyba: meziskup. PČ = 1,9766, sv = 21,000

5.2.5 Výnos zrna z čerstvé hmoty (t.ha⁻¹)

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly ve výnosu zrna z čerstvé hmoty u žádné z použitých variant (viz. Tab. č. 11).

Varianta Polyversum 2x byla ve výnosu zrna vyšší o 0,50 t.ha⁻¹ oproti kontrole. Důvodem menších rozdílů ve výnosu zrna je dřívější ukončení vegetace kukuřice, v roce 2018 tomu bylo již v polovině srpna, tedy o měsíc dřív, než je v těchto podmínkách běžné.

Výnos zrna byl nízký, jelikož doba nutná pro tvorbu a nalévání zrna, byla významně zkrácena.

Tab. č. 11: Výnos zrna z čerstvé hmoty (t.ha⁻¹)

Varianta	Výnos (t.ha ⁻¹)	Statistická průkaznost
FIX H+N	6,28	****
Trichoderma	6,40	****
Kontrola (bez ošetření)	6,42	****
Phani-Stim	6,48	****
Bajkal	6,50	****
PRP - SOL	6,75	****
Polyversum 2x	6,78	****

LSD test; proměnná výnos zrna čerstvá hmota (t.ha⁻¹); Homogenní skupiny; (p = 0,05); Chyba: meziskup. PČ = 0,76079, sv = 21,000

5.2.6 Obsah sušiny zrna (%)

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly v % obsahu sušiny zrna u žádné z pokusných variant (Tab. č. 12). U varianty PRP-SOL byl obsah sušiny vyšší pouze o 1% v porovnání s variantou Polyversum 2x. Obsah sušiny zrna byl prokazatelně vysoký u všech variant, což bylo způsobeno vysokými teplotami v období vegetace, nedostatkem vláhy a předčasným ukončením růstu rostlin.

Délka vegetačního období porostu byla přibližně o 30 dní kratší. Žádný z přípravků se významně nepodílel na tvorbě sušiny zrna kukuřice.

Tab. č. 12: Obsah sušiny zrna (%)

Varianta	Obsah sušiny (%)	Statistická průkaznost
Polyversum 2x	87,6	****
Trichoderma	87,8	****
FIX H+N	87,8	****
Phani-Stim	87,9	****
Bajkal	87,9	****
Kontrola (bez ošetření)	88,5	****
PRP – SOL	88,7	****

LSD test; proměnná obsah sušiny (%); Homogenní skupiny; ($p = 0,05$);
Chyba: meziskup. $P\check{C} = 0,55534$, $sv = 21,000$

5.2.7 Výnos suché hmoty zrna ($t \cdot ha^{-1}$)

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly ve výnosu zrna ze suché hmoty u žádné z použitých variant (viz Tab. č. 13).

Varianta PRP - SOL byla ve výnosu suché hmoty zrna vyšší o $0,31 t \cdot ha^{-1}$ oproti kontrole a vyšší o $0,47 t \cdot ha^{-1}$ oproti variantě FIX H+N.

Výsledné hodnoty výnosu suché hmoty zrna ($t \cdot ha^{-1}$) se výrazně nelišily. Tento výnos byl pravděpodobně ovlivněn vysokými teplotami a nízkým úhrnem srážek v období vegetace, které bylo výrazně zkráceno.

Tab. č. 13: Výnos suché hmoty zrna ($t \cdot ha^{-1}$)

Varianta	Výnos ($t \cdot ha^{-1}$)	Statistická průkaznost
FIX H+N	5,52	****
Trichoderma	5,62	****
Kontrola (bez ošetření)	5,68	****
Phani-Stim	5,70	****
Bajkal	5,71	****
Polyversum 2x	5,95	****
PRP - SOL	5,99	****

LSD test; proměnná výnos zrna suchá ($t \cdot ha^{-1}$); Homogenní skupiny; ($p = 0,05$);
Chyba: meziskup. $P\check{C} = 0,60079$, $sv = 21,000$

6 Diskuze

Kukuřice svým produkčním potenciálem a zvládnutou technologií pěstování patří mezi nejvýznamnější plodiny pěstované pro produkci silážní hmoty či zrna. Její výhodou je možnost uplatnění v různých klimatických podmínkách ČR, což se jeví jako její velký potenciál.

Cílem pokusu bylo zhodnotit kromě produkčních schopností použitého hybridu kukuřice Ronaldinio (FAO 240/250) i vliv biologických stimulačních přípravků na snížení výskytu napadení rostliny houbovými patogeny.

V diplomové práci byly zpracovány výsledky z jednoletého pokusu prezentující vegetační období v roce 2018. V první části diskuze budou zhodnoceny výsledky týkající se chorob kukuřice. V druhé části pak bude vyhodnocen vliv ošetření na výnos kukuřice.

• Choroby kukuřice

V rámci pokusu byly na porosty kukuřice aplikovány přípravky Polyversum 1x, Polyversum 2x, Prosaro, *Trichoderma harzianum*, přičemž tyto varianty byly srovnávány s neošetřenou kontrolní variantou. Nejnižší stupeň napadení rostlin *Fusarium* sp. na palicích kukuřice seté byl zjištěn u varianty ošetření Polyversum 2x. Důvodem těchto výsledků může být správně zvolený termín aplikace přípravku Polyversum (Tab. č. 5).

Testy Yacouba et. al (2016), které provedl ve skleníkové kultuře ukázaly, že stupeň napadení rostlinných řízků *Phaeomoniella chlamydospora*, jenž napadá rostliny révy vinné, (*Vitis vinifera*) vykazovaly významné snížení o 40 – 50%. Na tyto výsledky měla vliv kolonizace kořenového systému rostliny *Phythium olygandrum*.

Naopak Bocek et al. (2012), který testoval přípravek Polyversum zmiňuje, že výskyt plísně šedé na jahodách nebyl výrazně snížen ani po ošetření tímto přípravkem. Snížení vykazovalo pouze o 10 % nižší napadení porostu.

V rámci pokusu diplomové práce byla dále testována účinnost přípravků na výskyt sněti kukuřičné (*Ustilago maydis*). Nejvyšší výskyt této choroby byl zjištěn u varianty bez ošetření (varianta Kontrola). Naopak při ošetření chemickým přípravkem Prosaro se vyskytovalo pouze malé množství *Ustilago maydis* (0,25 ks). V porovnání s variantou bez ošetření byl rozdíl ve výskytu *Ustilago maydis* o 1,38 ks nižší (Tab. č. 6).

Výskyt sněti se naopak v našem pokusu ani po aplikaci Polyversum 1x a 2x výrazně nesnížil v porovnání s kontrolní variantou bez ošetření. Kontrolní varianta vykazovala o 0,52 ks vyšší výskyt sněti v porovnání s variantou Polyversum 1x, kde byl zjištěn výskyt 0,33 ks.

Novák (2019) ve svých pokusech na sóji, hrachu a kukuřici dokládá snížení výskytu houbových chorob na listech o 22 %.

Nejnižší podíl výskytu napadení rzí na listech rostlin kukuřice se projevil u varianty Prosaro. Ve srovnání s variantou Kontrola byl výskyt o 1,08 % nižší. Podíl napadených částí činil 1,8 %. U varianty Polyversum 2x byl výskyt o 1,01 % vyšší než u varianty Kontrola (Tab. č. 4). Ze všech vzorků bylo nejvyšší napadení právě u varianty Polyversum s jedním ošetřením porostu.

Lze tedy konstatovat, že jen jedna aplikace *Pythium olygandrum* není dostatečná pro udržení patogenů. Pro zvýšení účinnosti přípravku, vzhledem k výsledkům diplomové práce, je efektivnější aplikace nejen ve fázi BBCH 12-15, ale i před kvetením, dokud se dá do porostu s technikou zajet. Tento výsledek je patrný i z pokusů provedených v minulých letech.

V našem pokusu byl použit přípravek Supresivit v dávce 100 g.ha⁻¹ jehož účinnou látkou je *Trichoderma harzianum*, byl aplikován v ošetření před výskytem rzí, fuzárií a sněti

kukuřičné. V pokusu varianta *Trichoderma* vykazovala o 0,2 stupně nižší napadení fuzárií v porovnání s ošetřenou variantou Kontrola.

Vieira et al. (2018) uvádí zvýšená antagonistickou aktivitu proti *Fusarium oxysporum* na rostlinách fazolu.

Toto tvrzení potvrzuje také výzkum Kuzmanovské et al. (2018) u kterého výsledky ukázaly značné antagonistické schopnosti druhu *Trichoderma harzianum* proti všem testovaným izolátům *Botritis cinerea*. Inhibovaly růst mycelia a klíčivost konidií na rajčatech.

Příkladem pozitivního působení je také studie Sobowale et al. (2009), při které byl prokázán zlepšující vliv *Trichoderma harzianum* na inhibici růstu *Fusarium verticillioides*. Různé kmeny *T. harzianum* se projevily jako vhodné antagonisté.

V závěru výzkumu Harmann et al. (2004) vyplývá, že kořenová kolonizace *Trichoderma harzianum* zvyšuje růst a vývoj kořenů, příjem živin a účinnost využití dusíku rostlinou a proto se zvyšuje produktivita plodin.

To koresponduje s tím, co zjistil Sots et al. (2018). Ten uvádí, že podmínky výskytu patogenů na rostlinách nemusí korelovat s regionem původu. Ve skutečnosti je jeho výskyt silně závislý na prostředí v oblasti pěstování kukuřice (teplota, vlhkost, pH a osvětlení).

Při porovnání jednotlivých variant našeho pokusu nebyly zjištěny významnější rozdíly v napadení fuzárií. Nejvyšší stupeň v jeho studii (tedy bez napadení patogenem) vykazovala varianta Polyversum 2x. To může být důsledkem zvolení správného termínu aplikace přípravku za příznivých klimatických podmínek a navíc následné opakování této aplikace. Při opakování mohlo dojít k přímému účinku tohoto biologického fungicidu a zároveň působil pomocí indukované rezistence.

• Výnosy kukuřice

V rámci pokusů byly na porost aplikovány přípravky PRP-SOL, FIX H+N, *Trichoderma*, Bajkal, Phani-Stim a Polyversum 2x. Výsledky i zde byly srovnávány s neošetřenou kontrolní variantou.

Významné zvýšení hmotnosti jedné rostliny se projevilo u varianty ošetřené přípravkem Polyversum ze dvou opakováních. Výnos z takto ošetřené varianty se zvýšil o 43g v průměrné hmotnosti jedné rostliny oproti variantě bez ošetření (Tab. č. 7).

Výnos zelené hmoty z celé rostliny (viz tab. 8) ve variantě ošetření Polyversum 2x vykazovala množství o 2,64 t.ha⁻¹ vyšší oproti variantě Kontrola.

Ve výzkumu Bočka et al. (2012) byl biofungicid Polyversum, jehož účinnou látkou je *Phythium oligandrum*, testován na jahodníku, kde byl pozorován pouze nevýznamný nárůst výnosů. Přípravek nesnížil ani výskyt plísně šedé na rostlinách. Tento výsledek byl zřejmě ovlivněn vlivem průběhu klimatických podmínek (rozdíly v denních teplotách a srážkách).

Toto tvrzení se potvrdilo v pokusu Elad et al. (1994) ten uvádí, že účinnost přípravků je silně ovlivněna povětrnostními podmínkami.

Boček et al. (2012) uvádí tvrzení, že experimenty je potřebné zaměřit na optimalizaci času pro aplikaci přípravku s ohledem na průběh povětrnostních podmínek. Neprůkaznost výsledků u našeho pokusu potvrzuje tuto domněnku.

Při sledování výnosu zelené hmoty celých rostlin (t.ha⁻¹) byly zjištěny významné rozdíly u varianty Polyversum 2x a *Trichoderma*. Výnos suché hmoty celých rostlin u varianty Polyversum 2x byl o 2,64 t.ha⁻¹ vyšší než u varianty Kontrola. Varianta ošetřená *Trichoderma harzianum* vykázala výnos o 1,07 t.ha⁻¹ vyšší v porovnání s Kontrola (tab. č. 9).

U posouzení výnosu zrna z čerstvé hmoty rostlin kukuřice (t.ha⁻¹), vykazovala vyšší výnos varianta Polyversum 2x. Výnos z této varianty byl 6,78 t.ha⁻¹ a jeho zvýšení bylo vyšší než u

varianty Kontrola o $1.86 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ vyšší v porovnání s variantou Kontrola – tedy bez ošetření (Tab. č. 10).

Ve studiích Bécquer-Granados et al. (2018) vlivu *Trichoderma harzianum*, která byla prováděna za stresových podmínek zemědělského sucha za účelem vyhodnocení účinku kombinované inokulace *Bradyrhizobium* spp. a *Trichoderma harzianum* jehož ošetření ukázalo o 42,1% více biomasy než absolutní kontrola. Obecně byla účinnost použitých mikrobiálních inokula prokázána.

Výzkum Harmana (2006) potvrdil teorii o podpoře růstu rostlin kukuřice inokulací *Trichoderma harzianum*. Účinek pozitivně stimulující růst rostlin byl připisován zlepšením výživy rostlin, zejména lepšího přísunem dusíku a fosforu.

Z pokusu Vinci et al. (2018) vyplývá, že zejména kombinované použití přípravku *Trichoderma harzianum* a kompostu, významně zlepšuje absorpci P rostlinou a hojnost metabolitů souvisejících s fotosyntézou s pozitivním dopadem na produkované výhonky suché biomasy kukuřice.

V našem pokusu výnos suché hmoty zrna kukuřice nebyl statisticky průkazný. Výnos zrna byl u varianty PRP - SOL $5,99 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Tento výnos byl vyšší o $0,31 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v porovnání s variantou Kontrola (Tab. č. 12).

Další přípravek, kterým byl ošetřen porost, byl FIX H+N jehož účinnou látkou jsou *Peanibacillus polymyxa* a *Pseudomonas fluorescens*.

V našem pokusu byl sledován výnos zelené hmoty z celé rostliny, kde varianta ošetření přípravkem FIX H+N měla oproti variantě bez ošetření (Kontrola) vyšší výnos o $0,42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tab. č. 8¹). Výnos suché hmoty celých rostlin byl dokonce nižší než bylo dosaženo u varianty bez ošetření a to o pouhé $0,05 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tab. č. 10). Výnos u varianty ošetřené Polyversum 2x byl ve srovnání s kontrolou vyšší o $1,86 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Tab. č. 10).

Zvýšení výnosu potvrdil Singha et al. (2010) který prokázal, že již po ošetření semenáčků kukuřice nízkou koncentrací extraktem *Peanibacillus polymyxa* se významně zvýšil obsah chlorofylu. Zároveň ošetření zvýšilo aktivitu dusičnanové reduktázy v inokulovaných semenech kukuřice. Tyto výsledky naznačují ochranný charakter *Peanibacillus polymyxa* proti autotoxicitě kukuřice.

To potvrzuje i Jaffuel et al. (2019), že kombinovaná aplikace arbuskulárních mykorhizních hub, entomopatogenních bakterií *Pseudomonas fluorescens* a entomopatogenních nematodů podporuje růst a ochranu proti přirozenému zamoření škůdci a to bez negativních účinků. U dvou ze tří pokusů bylo zjištěno, že na plochách ošetřených entomopatogenními hárátky anebo entomopatogenními bakteriemi *Pseudomonas* byly kořeny méně poškozené než kořeny rostlin na kontrolních plochách. S těmito výsledky se shoduje Paddada et al. (2017) který uvádí značný význam *Peanibacillus polymyxa* a to při fixaci dusíku a podpoře celkového růstu kukuřice rostlin. Inokulace významně zvýšila biomasu kukuřičných rostlin ve srovnání s kontrolami bez očkování a rostlinami ošetřenými.

Akshita et al. (2016) Studie naznačují, že *Peanibacillus polymyxa* a jeho derivát značený GFP, je schopen zvyšovat celkový růst rostlin v průběhu celého životního cyklu kukuřice. To může mít souvislost s výzkumem Roquignya et al. (2018) který ukázal, že kyselina fenazin-1-karboxylová kyselina (PCA) produkovaná *Pseudomonas fluorescens* inhibovala růst *Phytophthora infestans*, ale také prokázala, že PCA je známá jako důležitá širokospektrální antimikrobiální sloučenina, která se podílí na biokontrolě různých rostlinných patogenů, včetně *Phytophthora* spp.

Weselovski et al. (2016) zjistil, že *Paenibacillus polymyxa* je rhizobakterie podporující růst rostlin, která by mohla být využívána jako šetrnější alternativa k chemickým hnojivům a pesticidům šetrnějším k životnímu prostředí.

Význam bakterií ve výživě rostliny dokládá také Karnwala & Mannana (2018), kde izolované kmeny bakterií mohou prospět zemědělství prostřednictvím antimikrobiální

aktivity, fixace dusíku, solubilizace fosfátů, produkce rostlinných hormonů nebo degradace lignocelulózy. Dále tato studie dat ukázala významné zlepšení velikosti kořenů a výhonků rýže po ošetření kmenem *Pseudomonas fluorescens* na 95% oproti 78,4% u kontrolního vzorku.

Lze tedy konstatovat z většiny výše uvedených výzkumů, že použití metod stimulace růstu má značný vliv na ošetřené porosty rostlin. Jsou významné především jako biostimulanty růstu. Tato varianta v našem pokusu byla pravděpodobně významně ovlivněna klimatickými podmínkami roku 2018. V důsledku teplého a suchého počasí byla vegetace předčasně ukončena v polovině srpna, tedy o měsíc dříve, než je v těchto podmínkách běžné. Výnos zrna byl tedy nízký, jelikož doba nutná pro tvorbu a nalévání zrna byla významně zkrácena.

V další části pokusu byl hodnocen obsah sušiny zrna (%). V tomto případě byl obsah sušiny v zrně kukuřice vysoký. Optimum sušiny v zrně kukuřice je 60 – 65 %. V pokusu byl naměřen obsah sušiny 88,7 % u varianty ošetřené PRP-SOL, který byl ve srovnání s variantou kontroly vyšší o 0,2 % . Nejnižší obsah sušiny byl naměřen u varianty Polyversum 2x a to 87,6 % (Tab. č. 11), rozdíl s kontrolní variantou činil 0,9 % . I ten nejnižší obsah zjištěné sušiny byl nadprůměrný. Tyto výsledky lze přičíst klimatickým podmínkám roku 2018, tedy vysokým teplotám a nedostatku srážek. I tady se významně projevilo zkrácení vegetační sezóny o 30 dní.

Výsledků, kterých bylo dosaženo z výnosu biomasy v pokusu diplomové práce a zrna na pokusné ploše, nebyly statisticky průkazné. To bylo způsobeno pravděpodobně vlivem klimatických podmínek, které se projevovaly vysokými teplotami a nízkým úhrnem srážek v rozhodujícím fyziologickém období růstu kukuřice, které zapříčinily nižší tvorbu výnosu.

I přes nepříznivé klimatické podmínky na stanovišti během vegetace bylo v našem pokusu prokázáno zlepšení a podpora růstu u rostlin ošetřených uvedenými přípravky, které obsahují půdní bakterie. Příznivě ovlivňují příjem živin rostlinou, zpřístupňují hůře dostupné živiny, přispívají k obranyschopnosti před škodlivými patogeny a zlepšují průběh fotosyntézy rostlin. Dá se říci, že toto ošetření má za následek zvýšení výnosu kukuřice.

Tyto prostředky dokážou využít svůj potenciál hlavně za příznivých klimatických podmínek, které značně ovlivňují následné působení. Dále je důležitá správná aplikace přípravku, tedy aplikace v určité fázi růstu rostliny. To může mít značný vliv na další působení a efektivitu přípravku.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit vliv biologických stimulačních postupů na produkční ukazatele a choroby kukuřice seté. Výsledky v žádné ze sledovaných charakteristik nedosáhly zásadního významu ve srovnání s jinými odbornými pracemi.

Vliv *Trichodermy* na inokulované rostliny byl pozitivní, ale nijak zásadně v porovnání s přínosy *Trichodermy* s jinými pokusy, kde se ve většině případů podílela na zlepšení výnosů rostliny a působila jako biostimulant růstu rostlin. Nižší účinnost může být také ovlivněna konkurencí mezi ostatními houbami v půdě a následným nedostatkem živin. Její nízká účinnost byla stimulována faktory, jež nemůžeme přímo ovlivnit. V roce založení pokusu to byly především nadprůměrně vysoké teploty a nízký úhrn srážek v průběhu celého vegetačního období. *Trichoderma herzianum* je typ půdní houby, která vyžaduje pro svou správnou činnost především optimální vlhkost půdy. A to především při vhodných klimatických podmínkách, které nejsou v aktuální situaci příznivé. Tento jev bude zřejmě i v dalších letech nadále přetrvávat. Možným, alespoň částečným řešením zlepšení činnosti *T. herzianum* v půdě je včasná aplikace dávky inokulace, tak aby nedocházelo ke konkurenci s ostatními půdními houbami.

Také přípravek Polyversum s účinnou látkou *Pythium oligandrum*, která nese potenciál vhodného biologického činidla proti širokému spektru patogenních hub, byl použit v našem pokusu. Podle výsledků z předešlých výzkumů vykazuje prospěšný vliv na hostitelské rostliny. To však zřejmě souvisí s tím, že většina pokusů, kde byly studie prováděny, byla realizována za odlišných klimatických podmínek a v prostředí skleníku nebo in-vitro. Zároveň se značně lišil i počet ošetřených rostlin, protože šlo o pokusy na menších plochách (skleník, in- vitro).

V našem výzkumu se nejprůkazněji projevila varianta pokusu ošetřená přípravkem Polyversum. Aplikace byla provedena ve dvou opakování. Dosáhla nejlepších výsledků v porovnání s ostatními variantami ošetření porostu. Avšak ani v tomto případě se nejednalo o výrazně pozitivně odlišné hodnoty, jak uvádějí některé zdroje. Ke zlepšení výsledků by bylo zapotřebí výskytu optimálních srážek a použití odrůd odolných rostlin kukuřice.

Výrazně pozitivní vliv se ovšem v našem pokusu neprokázal, tak jak bylo předpokládáno na začátku výzkumu.

Jak se podařilo prokázat, jako zásadní se projeví klimatické podmínky v pokusném roce. Teplé a suché podmínky snížily účinnost biologických houbových stimulantů, protože tyto stimulanty jsou v určité fázi vývoje závislé na množství vlhkosti. Zároveň se na pokusu negativně projevilo výrazné zkrácení vegetačního sezóny. To mělo za následek hlavně snížení množství biomasy a počtu a kvality zrna.

S vlhkostními podmínkami stanoviště souvisí i celkově dobrý zdravotní stav porostu. Takto extrémně suchý rok neposkytl vhodné podmínky pro rozvoj patogenů, což se projevilo i v konečném hodnocení především při hodnocení výnosů.

Po hodnocení pokusu se jeví jako perspektivní, zabývat se postupy, které eliminují nepříznivé klimatické podmínky. Rostliny se budou pravděpodobně v nejbližších letech muset vyrovnat s nízkým úhrnem srážek ve vegetačním období a velkým nárůstem teplot. Proto bude potřeba, aby zemědělci přizpůsobili postupy pěstování, včetně ochrany plodin, měnícím se klimatickým podmínkám.

Při hodnocení výskytu rzí na listech kukuřice byl nejúčinnější přípravek Polyversum. Jednorázové ošetření porostu tímto přípravkem není dostatečně účinné. Zlepšení jsme mohli pozorovat u opakované aplikace. Výskyt fuzárií byl úspěšně potlačen přípravkem Polyversum (2x). Důvodem tohoto účinku je pravděpodobně zvolení správného termínu aplikace přípravku za příznivých klimatických podmínek. Stejně jako její opakovaná aplikace, při

kterém nastal přímý účinek tohoto biologického přípravku. Vliv měla také indukovaná rezistence.

Přípravek Prosaro se osvědčil při potlačení výskytu sněti kukuřičné. Největší napadení touto chorobou bylo patrné dle předpokladu patrné u kontrolního vzorku bez ošetření. Pozitivní vliv přípravku Prosaro byl způsoben pravděpodobně jeho systémovým pronikáním i do částí rostlin, které nebyly přípravkem přímo zasaženy. Výhodou je jeho dlouhodobá účinnost. Přínosem je i jeho preventivní, kurativní a eradikativní účinek.

8 Literatura

Akladios, S. A., Abbas, S. M. 2012. Application of *Trichoderma harzianum* T22 as a biofertilizer supporting maize growth. *African Journal of Biotechnology* **11**: 8672-8683.

Altomare C, Norvell WA, Björkman T, Harman GE. 1999. Solubilization of Phosphates and Micronutrients by the Plant-Growth-Promoting and Biocontrol Fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. *Applied and Environmental Microbiology* **65**: 2926-2933; DOI: <https://aem.asm.org/content/aem/65/7/2926.full.pdf>.

Anonym 2. Available from: <http://www.monastechnology.cz/index.php/fix-hn> (accessed March 2019).

Anonym 3. Available from: <https://www.rwa.sk/media.php?...04...RWA%20FIX%20H-N> (accessed March 2019).

Anonym 4. Available from: <http://www.enviprodukt.cz/agro/produkty/phani-stim> (accessed March 2019).

Anonym 5. Available from: <https://www.kohaplant.sk/2010020020-prp-sol> (accessed March 2019).

Anonym 6. Available from: <http://www.manetech.cz/mikrobiaalni-pripravky/bajkal.html> (accessed March 2019).

Anonym1. Available from: https://genome.jgi.doe.gov/TriharT22_1/TriharT22_1.home.html (accessed March 2019).

Ashraf ZN. 2007. Identification of rhizobacteria from rice and maize for plant growth promotion and biological control of rice diseases. Available from: <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.578244>.

Badalíková B. 2012. Protierozní ochrana půdy v kukuřici. *Úroda* **12**: 40-42.

Bakan B, Melcion D, Molard DR, Cahagnier B. 2002. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**: 728–731.

Barnes AP, Wreford A, Butterworth MH, Semenov MA, Moran D, Evans N, Fitt BDL. 2010. Adaptation to increasing severity of phoma stem canker on winter oilseed rape in the UK under climate change. *The Journal of Agricultural Science* **148**: 683-694.

Bereš PK, Pruszyński G. 2008. Ochrana kukurydzy przed szkodnikami w produkcji integrowanej. *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura* **7**: 19-32.

Blandino M, Reyneri A, Vanara F, Pascale M, Haidukowski M, Saporiti M. 2009. Effect of sowing date and insecticide application against European corn borer (Lepidoptera: Crambidae) on fumonisin contamination in maize kernels. *Cereal research Communications* **38**: 75-82.

Boček S, Salaš P, Sasková H, Mokričková J. 2012. Effect of Alginure® (seaweed extract), Myco-Sin®VIN (sulfuric clay) and Polyversum® (*Pythium oligandrum* Drechs.) on yield and disease control in organic strawberries. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **60**(8), 19-28. DOI: 10.11118/actaun201260080019.

Boland GJ, Melzer MS, Hopkin A, Higgins V, Nassuth A. 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. *Canadian Journal of Plant Pathology* **26**: 335–350.

Boller EF, Avilla J, Joerg E, Malavolta C, Wijnands FG, Esbjerg P. 2004. Integrated Production Principles and Technical Guidelines 3rd Edition. IOBC/wprs Bulletin. ISBN 92-9067-163-5.

Bouma D. 2013. Hlavní škůdci kukuřice. Profi Press, Praha. Available from: <https://uroda.cz/hlavni-skudci-kukurice/> (accessed July 2017).

Bravo A, Likitvivanavong S, Gill SS, Soberón M. 2011. *Bacillus thuringiensis*: a story of a successful bioinsecticide. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* **41**(7), 423-43. DOI: 10.1016/j.ibmb.2011.02.006.

Buerger P, Hauxwell C, Murray D. 2007. Nucleopolyhedrovirus introduction in Australia. *Virologica Sinica* **22**: 173 – 179.

Calvo P, Nelson L, Kloepper JW. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil* **383**, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.

Crafts-Brandner SJ, Salvucci ME. 2002. Sensitivity of Photosynthesis in a C4 Plant, Maize, to Heat Stress. *Plant Physiology*. Available from <http://dx.doi.org/10.1104/pp.002170> (accessed August 2002).

Černý O. 2012. Kukuřice překonávající stresové období během vegetace. *Úroda* **11**: 16-17.

- Daud NS, Din ARJM, Rosli MA, Azam ZM, Othman ZN, Sarmidi MR. 2019. *Paenibacillus polymyxa* bioactive compounds for agricultural and biotechnological applications. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* **18**. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101092>.
- De Pascale S, Rouphael Y, Colla G. 2018. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic fading. *European Journal of Horticultural Science*. DOI: [10.17660/eJHS.2017/82.6.2](https://doi.org/10.17660/eJHS.2017/82.6.2).
- De Rossi, Luis R, Reis EM, Brustolin R. 2015. Fungicide baseline for mycelial sensitivity of *Exserohilum turcicum*, causal agent of northern corn leaf blight / Concentração de referência de fungicidas para a inibição miceliana de isolados de *Exserohilum turcicum* agente causal da hemintospório do milho. *Summa Phytopathologica* **41**: 25-30. DOI: [10.1590/0100-5405/1931](https://doi.org/10.1590/0100-5405/1931).
- Dorais M. 2007. Organic production of vegetables: State of the art and challenges. *Canadian Journal of Plant Science* **85**: 1055–1066. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjps07160>.
- Duan C, Qin Z, Yang Z, Li W, Sun S, Zhu Z, Wang X. 2016. Identification of Pathogenic *Fusarium* spp. Causing Maize Ear Rot and Potential Mycotoxin Production in China. *Toxins*. PLoS ONE **8**. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins8060186>.**
- Dupont J, White PJ, Carpenter MP, Schaefer EJ, Meydani SN, Elson CE, Woods M, Gorbach SL. 1990. Food uses and health effects of corn oil. *Journal of the American College of Nutrition*. PLoS ONE **9**. DOI: [10.1080/07315724.1990.10720403](https://doi.org/10.1080/07315724.1990.10720403).
- Eagri. 2019. Metodiky IOR. Available from: http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%22097a4ac9ec868121c8cd4d6f9a000ca0%22#ior|met:097a4ac9ec868121c8cd4d6f9a000ca0|kap1:skudci|kap2:2eb5788ffd084b2d28065f0ae3043a8e (accessed March).
- Eizaguirre M, Albajes R, López C, Sans A, Gemenó C. 2007. Inhibition of pheromone response in *Sesamia nonagrioides* by the pheromone of the sympatric corn borer, *Ostrinia nubilalis*. *Pest Management Science* **63**: 608–614.
- Elad Y, Köhl J, Fokkema N J. 1994. Control of infection and sporulation of *Botrytis cinerea* on bean and tomato by saprophytic bacteria and fungi. *European Journal of Plant Pathology*, **100**: 315–336.
- El-Katatny M, Idres MM. 2014. Effects of Single and Combined Inoculations with *Azospirillum brasilense* and *Trichoderma harzianum* on Seedling Growth or Yield Parameters of Wheat (*Triticum vulgare* L., Giza 168) and Corn (*Zea mays* L., Hybrid 310). *Journal of plant nutrition* **37**. DOI: [10.1080/01904167.2014.911322](https://doi.org/10.1080/01904167.2014.911322).
- Foley MF, Deacon JW. 1986. Susceptibility of *Pythium* spp and other fungi to antagonism by the mycorrhizal parasite *Phytium Oligandrum*. *Soil Biology and Biochemistry* **18**: 91-95. DOI: [10.1016/0038-0717\(86\)90108-2](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90108-2).

Foley MF, Deacon JW. 1986. Susceptibility of *Pythium* spp and other fungi to antagonism by the mycorrhizal parasite *Phytium oligandrum*. *Soil Biology and Biochemistry* .18: 91-95. DOI: 10.1016/0038-0717(86)90108-2.

Franeta F, Mikić S, Milovac Ž, Mitrović B, Indić D, Vuković S. 2019. Maize defence mechanisms against the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* Hübner (*Lepidoptera: Crambidae*). *International Journal of Pest Management*. 65: 23-32. DOI: 10.1080/09670874.2018.1454629.

Fridrichová V. 2011. Prosaro 250 EC - rozšíření registrace použití přípravku do kukuřice. Bayer CropScience Czech Republic. Available from <http://www.bayercropscience.cz/aktuality-1/aktuality/prosaro-250-ec-rozsireni-registrace-pouziti-pripravku-do-kukurice.aspx> (accessed April 2011) .

Gall J. 2011. Drátovci, larvy kovaříků, poškozují zeleninu. Jak jim v tom zabránit? Vlatava Labe media. Available from <https://www.ireceptar.cz/zahrada/choroby-a-skudci/dratovci-larvy-kovariku-poskozuji-zeleninu-jak-jim-v-tom-zabranit/> (accessed May 2011).

Ganuja M, Pastor N, Boccolini M, Erazo J, Palacios S, Oddino C, Reynoso MM, Rovera M, Torres AM. 2019. Evaluating the impact of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* ITEM 3636 on indigenous microbial communities from field soils. *Journal of Applied Microbiology* 126: 608-623 DOI: 10.1111/jam.14147.

Gawronska H. 2008. Biostimulators in modern Agriculture. Warsaw. Available from <http://asahisl.pl/bio/GENERAL%20ASPECTS.pdf#page=31> (accessed May 2008).

Gerbore J, Benhamou N, Vallance J, Le floch G, Grizard D, Regnault-Roger C, Rey P. 2014. Biological control of plant pathogens: advantages and limitations seen through the case study of *Pythium oligandrum*. *Environmental science and pollution research* 21 DOI: 10.1007/s11356-013-1807-6.

Green H, Larsen J, Olsson PA, Jensen DF, Jakobsen I. 1999. Suppression of the Biocontrol Agent *Trichoderma harzianum* by Mycelium of the Arbuscular Mycorrhizal Fungus *Glomus intraradices* in Root-Free Soil. *Applied and Environmental Microbiology*. April; 65(4): 1428–1434.

Hao T, Chen S. 2017. Colonization of Wheat, Maize and Cucumber by *Paenibacillus polymyxa*. *PLoS ONE (WLY78)* DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169980>.

Harman GE, Howell CHR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. 2004. *Trichoderma* species — opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*. Available from www.nature.com/articles/nrmicro797.

Harman GE. 2000. Myths and Dogmas of Biocontrol: Changes in Perceptions Derived from Research on *Trichoderma harzianum* T-22. *The American Phytopathological Society* **84**: 377 – 393.

Harman, G. E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma spp.* *Phytopathology* **96**: 190-194.

Hass D, Defago G. 2005. Biological control of soil-borne pathogens by fluorescent *pseudomonads*. *Nature Reviews Microbiology* **3**: 307–319.

Heijting S, van der Werf W, Kropff MJ. 2009. Seed dispersal by forage harvester and rigid - tine cultivator in maize. *Weed Research* **49**: 153–163.

Heller K. 2007. Możliwości ograniczania strat powodowanych przez suszę w uprawie roślin. Available from www.magazynfarmerski.pl/luty2007/klimat-2.php. 15.04.2008.

Horner NR, Grenville-Briggs LJ, Van West P. 2011. The oomycete *Pythium oligandrum* expresses putative effectors during mycoparasitism of *Phytophthora infestans* and is amenable to transformation. Available from www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22208599 (accessed September 2011).

Chandra Nayaka S, Udaya Shankar AC, Reddy MS, Niranjana SR, Prakash HS, Shetty HS, Mortensen CN. 2009. Control of *Fusarium verticillioides*, cause of ear rot of maize, by *Pseudomonas fluorescens*. *Pest management science* **65** DOI: 10.1002/ps.1751.

Chromý Z. 2007. Sněť kukuřičná – nejrozšířenější choroba kukuřice. *Ministersvo zemědělství, Praha*.

Jaffuel G, Imperiali N, Shelby K, Campos-Herrera R, Geisert R, Maurhofer M, Loper J, Keel Ch. 2019. Protecting maize from rootworm damage with the combined application of arbuscular mycorrhizal fungi, *Pseudomonas bacteria* and entomopathogenic nematodes. *Scientific Reports* 2019, **9**: 1-12.

Johnson GA, Hoverstad TR. 2002. Effect of row spacing and herbicide application timing on weed control and grain yield in corn (*Zea mays*). *Weed Technology* **16**: 548–553.

Juroszek P, Tiedemann A. 2013. Climatic changes and the potential future importance of maize diseases: a short review. *Journal of Plant Diseases and Protection*. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03356454>.

Jursík M, Sokup J. 2017. Regulace plevelů v kukuřici – současný stav a výhled do budoucna. Agromanual, České Budějovice. Available from: www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/regulace-plevelu-v-kukurici-soucasny-stav-a-vyhled-do-budoucna (accessed April 2017).

Karnwal A, Mannan MAU. 2018. Application of *Zea mays* L. Rhizospheric Bacteria as Promising Biocontrol Solution for Rice Sheath Blight. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science* **41**: 1613-1625.

Kellogg EA. 2013. C4 photosynthesis. *Science Direct*. Available from www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982213005071 (accessed July 2013).

Kmoch M, Holková L, Pokorný R, Čekal R. 2013. Identifikace a kvalifikace hub rodu *Fufarium* v obilkách kukuřice a ječmene pomocí metody založené na qPCR. *Certifikovaná metodika*. Brno. ISBN 978 – 80 – 7375 – 909 - 4

Kolařík P, Rotrekl J. 2012. Zavíječ kukuřičný. *Agromanuál* **7**: 28-29

Korbas M, Jajor E, Horoszkiewicz-Janka J. 2007 Fungicides in ecological agriculture. *Wybrane zagadnienia ekologiczne we wspólczesnym rolnictwie*. Tom 4. Przemyslowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań: 51-57.

Koubová D. 2010. Možnosti ochrany proti drátovcům. ÚZEI, *Agronavigator.cz*. Available from: www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=99700&ids=115(accessed March 2010).

Kovar M, Cerny I. 2007. Does improvement application of Atonik the antioxidant capacity in chicory plants?. *Proceedings of conf. Nové poznatky z genetiky a šľachtenia poľnohospodárskych rastlín*. SCPV Piešťany: 147-149.

Kulovaná Eliška. 2002. Doposud pomíjený škůdce zavíječ kukuřičný. *Úroda*. Available from www.uroda.cz/doposud-opomijeny-skudce-zavijec-kukuricny/ (accessed May 2002).

Lacey J, Magan N. 1991. Fungi in cereal grains: their occurrence and water and temperature relationships. *Cereal grain – Mycotoxins, fungi and quality in drying and storage* **26**: 77–118.

Lal S, Tabacchioni S. 2009. Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. *Indian journal of Microbiology* **49**: 2-10. DOI: [org/10.1007/s12088-009-0008-y](https://doi.org/10.1007/s12088-009-0008-y).

Leslie JF, Hall T, Pearson CHAS, Nelson PE, Toussoun TA. 1990. *Fusarium* spp. from Corn, Sorghum, and Soybean Fields in the Central and Eastern United States. *Phytopathology*. PLOS ONE **80** DOI: [10.1094/Phyto-80-343](https://doi.org/10.1094/Phyto-80-343).

- Lisovy MP, Trybel SO. 1998. Using the pest-resistant species and hybrids for integrated systems of plant protection. *Visnyk Agrarnoyi Nauky* **11**: 17-21.
- Lobell DB, Schlenker W & Costa-Roberts J, 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science* **333**: 616-620.
- Manley BS, Wilson HP, Hines TE. 2002. Management programs and crop rotations influence populations of annual grasses and yellow nutsedge. *Weed Science* **50**: 112–119.
- Mehrabi Z, McMillan VE, Clark IM, Canning G, Hammond-Kosack KE, Preston G, Hirsch PR, Mauchline TH. 2016. *Pseudomonas* spp. diversity is negatively associated with suppression of the wheat take-all pathogen. *Scientific Reports* **6**.
- Meissle M, Mouron P, Musa T, Bigler F, Pons F, Vasileiadis VP, Otto S, Antichi D, Kiss D, Pálinkás Z, Dorner Z, Van Der Weide R, Groten J, Czembor E, Adamczyk J, Thibord JB, Melander B, Nielsen GC, Poulsen RT, Zimmermann O, Verschwele A, Oldenburg E. 2010. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology*. DOI: [org/10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x).
- Melander B, Rasmussen IA, Barberi P. 2005. Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research. *Weed Science* **53**: 369–381.
- Melander B, Rasmussen IA, Barberi P. 2005. Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research. *Weed Science* **53**: 369–381.
- Michalski T, Bartos M. 2004. Podatność odmian kukurydzy na *Fusarium* spp. i *Ustilago maydis* (DC) Corda. *Progress in Plant Protection* **44**: 957–961.
- Mikulka J, Chodová D. 2000. Regulace plevelů v kukuřici. *Rostlinolékař* **3**: 5-8.
- Miransari M. 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen uptake. *Archives of Microbiology* **193**, 77–81 DOI: doi.org/10.1007/s00203-010-0657-6.
- Morrison EN, Emery JRN, Saville BJ. 2017. Fungal derived cytokinins are necessary for normal *Ustilago maydis* infection of maize. *Plant Pathology*. **66**(5), 726-742. DOI: [10.1111/ppa.12629](https://doi.org/10.1111/ppa.12629).
- Moudrý J, Moudrý J, Konvalina P, Kopta D, Šrámek J. 2008. Ekonomická efektivnost rostlinné bioprodukce. ISBN 978-80-7394-137-6.
- Murphy SD, Yakubu Y, Weise SF, Swanton CJ. 1996. Effect of planting patterns and inter - row cultivation on competition between corn (*Zea mays*) and late emerging weeds. *Weed Science* **44**: 865–870.
- Naibo B. 2002 *Helminthosporium* disease (*Exserohilum turcicum*, syn. *Helminthosporium turcicum*) in maize: advantages of varietal tolerance / *Helminthosporiose* (*Exserohilum turcicum*, syn. *Helminthosporium turcicum*) chez le maïs. *Perspectives Agricoles (France)*, **280** (92-97).
- Nedělník J. 2012. Fytopatologické aspekty pěstování kukuřice. *Úroda* **12**: 48-50.

Nesrsta M. 2002. Trichoderma pro biologickou ochranu proti rostlinným patogenům. Profi Press. Available from www.zahradaweb.cz/trichoderma-pro-biologickou-ochranu-proti-rostlinnym-patogenum/ (accessed 2002).

Oerke EC, 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* **144**: 31–43.

Ogliari JB; Guimarães MA, Geraldi IO; Camargo LEA. 2005. New resistance genes in the *Zea mays* – *Exserohilum turcicum* pathosystem. *Genetics and Molecular Biology* **28** DOI: [org/10.1590/S1415-47572005000300017](https://doi.org/10.1590/S1415-47572005000300017).

Oldenburg E, Ellner F. 2015. Distribution of disease symptoms and mycotoxins in maize ears infected by *Fusarium culmorum* and *Fusarium graminearum*, *Mycotoxin Research* **31**: 3, (117).

Oldenburg E, Brunotte J, Weinert J. 2007. Strategies to reduce DON contamination of wheat with different soil tillage and variety systems. *Mycotoxin Research* **23**: 73–77.

Padda KP, Puri A, Zeng Q, Chanway ChP, WU X. 2017. Effect of GFP-tagging on nitrogen fixation and plant growth promotion of an endophytic diazotrophic strain of *Paenibacillus polymyxa*. *Botany*. **95**: 933-942. DOI: [10.1139/cjb-2017-0056](https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0056).

Paulsen IT, Press CM, Ravel J, Kobayashi DY, Myers GSA, Mavrodi DV, DeBoy RT, Seshadri R, Ren Q, Madupu R, Dodson RJ, Durkin AS, Brinkac LM, Daugherty SC, Sullivan SA, Rosovitz MJ, Gwinn ML, Zhou L, Schneider DJ, Cartinhour SW, Nelson WC, Weidman J, Watkins K, Tran K, Khouri H, Pierson EA, Pierson LS, Thomashow LS, Loper JE. 2005. Complete genome sequence of the plant commensal *Pseudomonas fluorescens* Pf-5. *Nature Biotechnology* **23**: 873-878. DOI: [10.1038/nbt1110](https://doi.org/10.1038/nbt1110).

Petr J, Húska J et al. 1997. Speciální produkce rostlinná – I. Agronomická fakulta ČZU, Praha. ISBN 80-213-0152-X.

Picard Y, Tirilly Y, Benhamou N. 2000. Cytological Effects of Cellulases in the Parasitism of *Phytophthora parasitica* by *Pythium oligandrum*. *American Society for Microbiology Journals* **10**: 4305 – 4314 DOI: [10.1128/AEM.66.10.4305-4314.2000](https://doi.org/10.1128/AEM.66.10.4305-4314.2000).

Placinta CM, D’Mello JPF, MacDonald AMC. 1999. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Science Technology* **78**: 21–37.

Puri A, Padda K, Chanway Ch. 2016. Seedling growth promotion and nitrogen fixation by a bacterial endophyte *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R and its GFP derivative in corn in a long-term trial. *Symbiosis* **69**: 123-129 DOI: [10.1007/s13199-016-0385-z](https://doi.org/10.1007/s13199-016-0385-z).

- Reddy AR, Chaitanya KV, Vivekanandan M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology* **161**: 1189-1202.
- Rietter C, Richter E. 2013. Control methods and monitoring of Agriotes wireworms (Coleoptera: Elateridae). *Journal of Plant Diseases and Protection* **120**. DOI: org/10.1,,7/BF03356448.
- Roquigny R, Novinscak A, Arseneault T, Joly DI, Filion M. 2018. Transcriptome alteration in *italic Phytophthora infestans/italic* in response to phenazine-1-carboxylic acid production by *italic Pseudomonas fluorescens/italic* strain LBUM223. *BMC Genomics* **19**: 1-15. DOI: 10.1186/s12864-018-4852-1.
- Runge ECA, Benci JF. 2008. Climate Change: Has Climate Become More or Less Favorable for Growing Corn Over the Past Century. *Crop management*. DOI: 10.1094/CM-2008-0609-02-RS.
- Sadok W, Angevin F, Bergez J - E, Bockstaller C, Colomb B, Guichard L, Reau R, Doré T. 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for using multi - criteria decision - aid methods. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **28**: 163–174.
- Seitner D, Uhse S, Gallei M, Djamei A. 2018. The core effector Cce1 is required for early infection of maize by *Ustilago maydis*. *Molecular Plant Pathology* **19**: 2277-2287. DOI: 10.1111/mpp.12698.
- Serna-Saldivar SO. 2015. History of Corn and Wheat Tortillas. AACC International Press. Available from <https://doi.org/10.1016/B978-1-891127-88-5.50001-3> (accessed 2015).
- Schilling L, Matei A, Redkar A, Walbot V, Doehlemann G. Virulence of the maize smut *Ustilago maydis* is shaped by organ-specific effectors. *Molecular Plant Pathology* **15**: 780-789. DOI: 10.1111/mpp.12133.
- Schröder G, Goetzke G. 2006. Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) in Brandenburg – Besonderheiten und Versuchsergebnisse aus dem Oderbruch. *Gesunden Pflanzen* **58**: 143–151.
- Singh NB, Singh A, Singh D. 2010. Autotoxicity of maize and its mitigation by plant growth promoting rhizobacterium *Paenibacillus polymyxa*. *Allelopathy Journal* **25**: 195-204.
- Siregar ENW. 2015. Corn Starch As A Sources of Bioplastics (*Zea mays* Linn). Available from <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=11&sid=dc5dcf94-39da-4170-952b>

71c2744581e8%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT11ZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsoai.ocn950871400&db=edsoai (accessed May 2019).

Smutný V. 2012. Možnosti regulace plevelů v kukuřici v sušších podmínkách. Agromanual, České Budějovice. Available from: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/moznosti-regulace-plevelu-v-kukurici-v-sussich-podminkach>(accessed March 2012).

Sobowale AA, Odebode ACH, Cardwell KF, Bandyopadhyay R. 2009. Suppression of Growth of *Fusarium verticillioides* Niren. Using Strains of *Trichoderma harzianum* from Maize (*Zea mays*) Plant Parts and its Rhizosphere. Journal of Plant Protection Research **49**: 452-459. DOI: 10.2478/v10045-009-0072-7.

Sots SM, Bnyiak OV, Valevskaya LO. 2018. Use of corn grain in production of food products. Grain Products & Mixed Fodder's. PLoS ONE **18**: 20-25 .

Sots SM, Bnyiak OV. 2018. Use of corn grain in production of food products. Grain Products and Mixed Fodder's. PLoS ONE **18** DOI: 10.15673/gpmf.v18i2.969.

Starck Z. 2005. Growing assistant. Application of growth regulators and biostimulators in modern plant cultivation. Rolnik Dzierzawca **2**: 74-76.

Studničný P. 2012. Zvyšování suchovzdornosti hybridů kukuřice. Úroda **12**: 52-53.

Sucher J, BONI R, YANG P, Rogowsky P, Büchner H, Kastner Ch, Kumlehn J, Krattinger SG, Keller B. 2017. The durable wheat disease resistance gene Lr34 confers common rust and northern corn leaf blight resistance in maize. Plant Biotechnology Journal **15**: 489-496. DOI: 10.1111/pbi.12647.

Sychrová E. 2000. Houbové choroby kukuřice. Rostlinolékař **3**: 13-15.

Syngenta. 2019. Larvy kovaříků – drátovci. Syngenta. Available from: <https://www.syngenta.cz/larvy-kovariku-dratovci> (accessed May 2019).

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

Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH. *Paenibacillus polymyxa* Invades Plant Roots and Forms Biofilms. 2005. Appl Environ Microbiology **71**: 7292–7300. DOI: 10.1128/AEM.71.11.7292-7300.2005.

Tomášek J, Cihlár P. 2017. Využití přírodních způsobů pro intenzivní pěstování kukuřice. Agromanual: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/vyuziti-prirodnich-zpusobu-pro-intenzivni-pestovani-kukurice> (accessed May 2017).

Tóth P, Kmoch M. 2016. Významné choroby kukuřice. Agromanual, České Budějovice. Available from: www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/vyznamne-choroby-kukurice (accessed June 2016).

Václavík F. 2015. Stabilizace výnosů kukuřice. Profi Press, Praha. Available from: <http://www.asz.cz/filemanager/files/file.php?file=178816> (accessed March 2015).

Van Der Weide RY, Bleeker PO, Achten VTJM, Lotz LAP, Fogelberg F, Melander B. 2008. Innovation in mechanical weed control in crop rows. Weed Research **48**: 215–224.

Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, s.r.o., Praha.

Vasileiadis VP, Veres A, Loddo D, Masin R, Sattin M, Furlan L. 2017. Careful choice of insecticides in integrated pest management strategies against *Ostrinia nubilalis* (Hübner) in maize conserves *Orius* spp. in the field. Crop Protection **97**: 45-51. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.11.003.

VERCESI ML, KROGH PH, HOLMSTRUP M. 2006. Can *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn residues and Bt-corn plants affect life-history traits in the earthworm *Aporrectodea caliginosa*?. Applied Soil Ecology **32**: 180-187. DOI: 10.1016/j.apsoil.2005.07.002.

Vesely D, Kocova L. 2001. *Pythium oligandrum* as the biological control agent in the preparation of Polyversum. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Biological Sciences **49**: 209-218.

Vieira PM, Zeilinger S, Brandão RS, Vianna GR, Georg RC, Gruber S, Aragão FJL, Ulhoa CJ. 2018. Overexpression of an aquaglyceroporin gene in *Trichoderma harzianum* affects stress tolerance, pathogen antagonism and *Phaseolus vulgaris* development. Biological Control **126**: 185-191. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2018.08.012.

Vinci G, Cozzolino V, Mazzei P, Monda H, Spaccini R a Piccolo A. 2018. An alternative to mineral phosphorus fertilizers: The combined effects of *Trichoderma harzianum* and compost

on *Zea mays*, as revealed by 1H NMR and GC-MS metabolomics. *PLoS ONE* **13**: 1-15. DOI: 10.1371/journal.pone.0209664. ISSN 19326203.

Weselowski B, Nathoo N, Eastman A, MacDonald J, Yuan ZCh. 2016. Isolation, identification and characterization of *Paenibacillus polymyxa* CR1 with potentials for biopesticide, biofertilization, biomass degradation and biofuel production.

Woratanadharm T, Kmosek S, Banuett F. 2018. UmTea1, a Kelch and BAR domain-containing protein, acts at the cell cortex to regulate cell morphogenesis in the dimorphic fungus *Ustilago maydis*. *Fungal Genetics* **121**, 10-28. DOI: 10.1016/j.fgb.2018.09.002.

Yacoub A, Gerbore J, Magnin N, Chambon P, DUFOUR MC, Corio-Costet MF, Guyoneaud R, Rey P. 2016. Ability of *Pythium oligandrum* strains to protect *Vitis vinifera* L., by inducing plant resistance against *Phaeomoniella chlamydospora*, a pathogen involved in Esca, a grapevine trunk disease. *Biological Control* **92**: 7-16. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2015.08.005.

Yu EY, Gassmann AJ, Sappington TW. 2019. Effects of larval density on dispersal and fecundity of western corn rootworm, *Diabrotica virgifera virgifera* LeConte (*Coleoptera: Chrysomelidae*). *PLoS ONE* **14**: 1-19. DOI: 10.1371/journal.pone.0212696.

Záruba J. 2006. Nebezpečný škůdce kukuřice Bázlivec kukuřičný. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/dokumenty-a-publikace/informacni-letaky/skodlive-organismy/nebezpecny-skudce-kukurice.html> (accessed March 2019).

Zhan J, McDonald BA. 2011. Thermal adaptation in the fungal pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *Molecular Ecology* **20**: 1689–1701.

Zheng H, Chen J, Mu Ch, Makumbi D, Xu Y, Mahuku G. 2018. Combined linkage and association mapping reveal QTL for host plant resistance to common rust (*Puccinia sorghi*) in tropical maize. *BMC Plant Biology* **18**: 1-14 DOI: 10.1186/s12870-018-1520-1.

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