

Integrovaná ochrana v precizním zemědělství

Ing. Jan Lukáš, Ph.D.

Ing. Milan Hluchý, Ph.D.

Publikace vychází za podpory Ministerstva zemědělství ČR při České technologické platformě pro zemědělství

Ochrana polních plodin v udržitelném zemědělství

Úvod

Důsledkem do značné míry „zprůmyslněného“ hospodaření na orné půdě v posledních zhruba 50 letech je dramatické ochuzení půd o edafon (bakterie, houby, mezofaunu (roztoci, chvostoskoci aj. a makroedafon (např. žížaly). V důsledku desítek let trvajících aplikací toxických pesticidů a minerálních hnojiv (NPK) a zároveň nedostatečnému přísunu vhodných forem organické hmoty do půd došlo k dramatickému poklesu diverzity, množství i aktivity půdního edafonu. Díky tomuto procesu došlo také k významnému poklesu množství edafonem tvořených látek podílejících se na tvorbě půdní struktury. Důsledkem je zatmelení podorníčního horizontu půd s mnoha negativními důsledky.

Tento stav je nezbytné začít co nejdříve efektivně napravovat, přičemž je nezbytné, aby při tomto procesu nebyla ohrožena jak rentabilita zemědělské produkce, tak potravinová bezpečnost.

Jako jedna z významných cest z tohoto nežádoucího stavu se jeví (pokud zemědělské podniky nemají možnost zvýšit zásobení půdy komposty a hnojem) zvýšení přísunu organické hmoty do půdy (výživa edafonu) formou meziplodin a podsevů (kořenové exudáty, odumřelá biomasa kořenů a nadzemních částí rostlin) za současného omezování množství aplikovaných pesticidů toxických pro edafon.

Neustále významnější je rovněž skutečnost, že čím dále tím víc významných odběratelů – obchodních partnerů našich zemědělců začíná vyvíjet tlak na své dodavatele ve směru zvyšování udržitelnosti produkce a snižování obsahu reziduí pesticidů v produkovaných potravinách.

Cest k minimalizaci množství aplikovaných toxických pesticidů je řada. Jednou z nich je precizní zemědělství (např. aplikace postemergentních herbicidů pouze na plochy s plevely (aplikace řízená kamerovými systémy na postřikovačích nebo s využitím satelitních snímků a GPS).

Další možností je náhrada syntetických pesticidů (insekticidy, fungicidy aj.) netoxickými prostředky ochrany rostlin, které by měly zhruba srovnatelnou účinnost při potlačování cílových chorob či škůdců při zhruba srovnatelných nákladech.

Vzhledem k tomu, že v současnosti probíhá jak ve vyspělých státech (státy EU, USA, Japonsko aj.) tak v rozvíjejících se ekonomikách (Čína, Indie aj.) doslova

boom vývoje a testování netoxických prostředků ochrany rostlin a tento vývoj probíhá i v ČR, pokusím se alespoň typologicky seznámit zájemce o tento vývoj s těmito prostředky a poté s některými indikacemi, tedy chorobami či škůdci, které jsou už dnes relativně spolehlivě řešitelné netoxickými prostředky.

Prostředky ochrany a výživy polních plodin v udržitelném zemědělství.

Většina těchto prostředků je vhodná jak pro certifikovanou ekologickou produkci, tak pro integrovanou produkci. Následující text není vyčerpávajícím přehledem v ČR legálně použitelných prostředků udržitelné OR. Jedná se spíš o průřezový přehled různých typů prostředků, které jsou u nás, či v jiných státech EU (v těchto případech vždy upozorňuji na to, kde je daný prostředek registrován)

Přerušení vnitrodruhové komunikace feromony

Specifikace: pohlavní feromony hmyzu jsou většinou přísně druhově specifické látky, resp. směsi látek, vylučované do vzduchu speciálními žlázami na zadečcích neoplozených samic několika řádů hmyzu, např. motýlů, ale i brouků aj. Slouží k přilákání samců vlastního druhu za účelem oplodnění samic, tzn. k vnitrodruhové komunikaci mezi jedinci opačného pohlaví téhož druhu.

Některé druhy motýlů používají jen jeden feromon, mnohem častěji ale jeden druh používá kombinaci několika feromonů, jejichž procentuální poměr je přísně druhově specifický. Od poloviny sedmdesátých let 20. století jsou v ochraně rostlin intenzivně využívány synteticky vyrobené feromony stovek druhů motýlů k signalizaci metodou feromonových lapáků. Ke skutečně spěšnému, spolehlivému a ekonomicky akceptovatelnému uplatnění feromonů v přímé ochraně rostlin metodou „Mating disruption“ však vedla až práce týmu japonských vědeckých pracovníků pod vedením Dr. Kinyo Ogawy. Ti zvládli jak precizní výrobu feromonů v přijatelných cenách, tak výrobu spolehlivých odparníků schopných po dobu celé sezóny rovnoměrně odpařovat dostatečné množství feromonu a chránících aplikovaný feromon před znehodnocením jak UV složkou slunečního záření, tak působením bakterií. Významnou součástí úspěšného

vývoje technologie „Mating disruption“ bylo i zvládnutí poměrně složité technologie práce s feromony v terénu.

Způsob účinku: feromony se aplikují v množství řádově desítek až nižších stovek gramů na hektar, což je asi 10 miliard krát větší množství feromonu než produkuje jedna motýlí samička. Formulovány jsou ve formě různých odparníků. Zatím nejspolehlivější je typ odparníků v podobě tzv. „špaget“, který po dobu celé vegetační sezóny, tj. asi 6 měsíců relativně rovnoměrně odpařuje danou směs feromonů. Druhou variantou je postřik chráněných rostlin směsí inertního nosiče a feromonu. Po aplikaci se z takto vytvořených kapek odpařuje feromon či směs feromonů po dobu několika týdnů. Při odpařování „provoní“ feromony vzduch v celém ošetřeném porostu pole, sadu, vinice či lesa a navazují se na voskové vrstvy chránící povrch zelených částí rostlin před vyschnutím. Z těchto voskových vrstev se feromony znovu odpařují, takže po několika týdnech funguje jako sekundární odparník veškerá zelená hmota ošetřeného porostu.

Feromony působí u samců cílového druhu tak silný vzruch, že samci druhu, jejichž feromon byl aplikován, poté nejen že nenajdou v porostu provoněném podstatně koncentrovanější vůní syntetického feromonu vlastní samičku, ale nervový vzruch, který dostávají do tykadel je tak silný, že většina z nich není schopna ani vzlétnout a začít samičku vlastního druhu hledat na základě očního kontaktu. Kromě tohoto využití jsou k signalizaci letu mnoha druhů motýlů, brouků, ale např. i štítenek využívány synteticky vyrobené pohlavní feromonové lapače.

Výrazně odlišnou je vzhledem k využití pohlavních feromonů jak pro účely monitoringu, tak přímé ochrany metodou matení samců populace zavíječe kukuřičného. V rámci tohoto druhu existuje (i v ČR) několik populací (biotypů?) komunikujících na bázi různých poměrů jednotlivých feromonů a celá tato problematika má v případě zavíječe kukuřičného řadu nevyjasněných problémů. V důsledku této situace doposud nebyla přes řadu pokusů zvládnuto jak praktické využití feromonů k matení tohoto druhu (směs biotypů?), tak spolehlivá signalizace letu tohoto druhu.

Cílové druhy: v současnosti jsou feromony metodou „mating disruption“ využívány především v sadech, vinicích, sklenících a jen okrajově v polní produkci zeleniny. Na orné půdě je tato metoda využívána v Evropě zatím (pouze ve

Španělsku) proti můře bavlníkové (*H. armigera*), která se mj. stává vážným škůdcem (například kukuřice) i u nás.

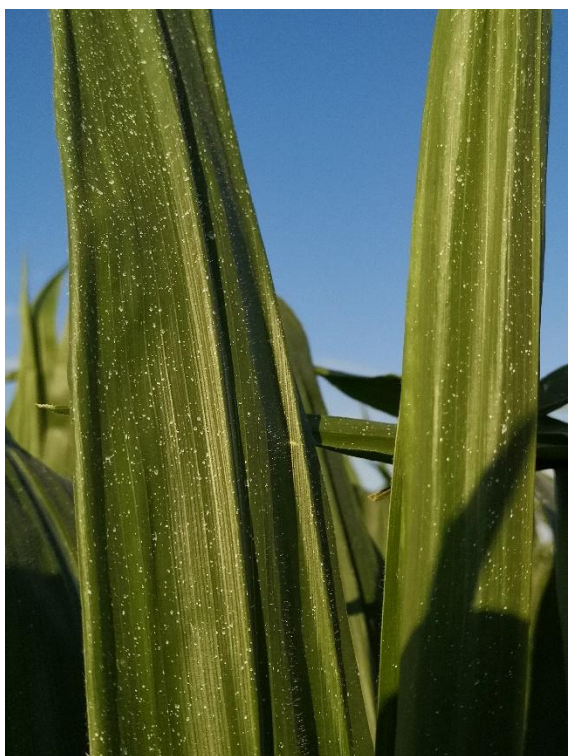
Slibných výsledků bylo i v ČR pokusně dosaženo s využitím pohlavních feromonů k matení dospělců bázlivce kukuřičného (*D. virgifera*) v kukuřici.



Dospělec můry bavlníkové



Housenka můry bavlníkové



Kukuřice ošetřená směsí feromonu bázlivce kukuřičného a nosiče (bílé kapky na povrchu listů).

Rostlinné extrakty

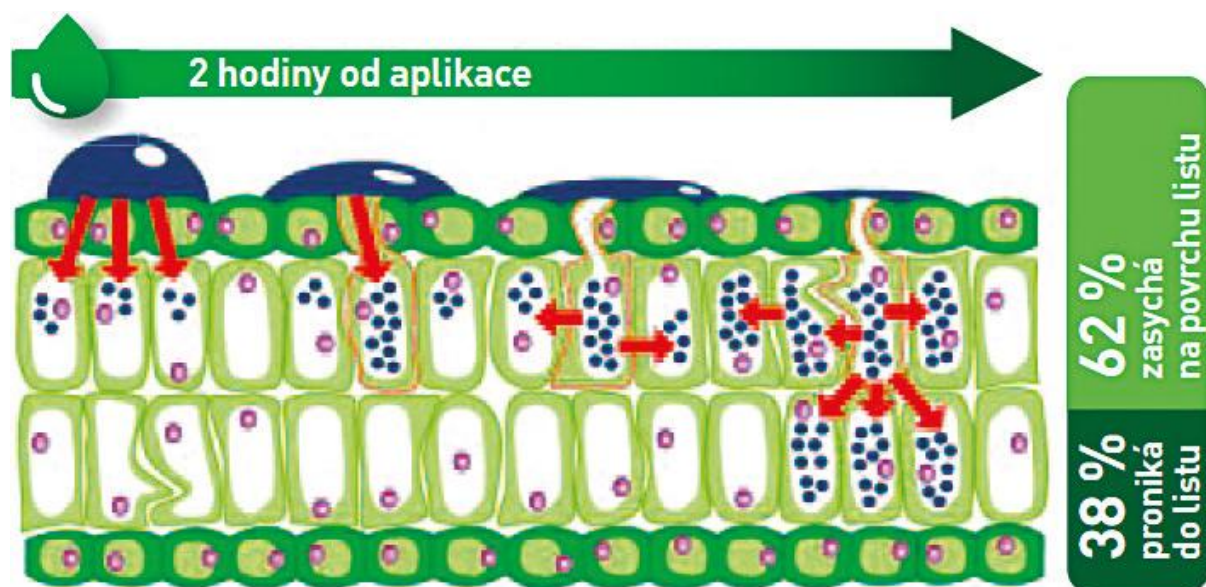
Azadirachtin

Specifikace: *Azadirachta indica* je strom vyskytující se v tropech jihovýchodní Asie, Afriky i Latinské Ameriky. Původem by snad měl být z Barmy. Insekticidní účinnost mají výtažky ze semen, které obsahují účinnou látku azadirachtin. V Indii jsou výtažky ze semen tohoto stromu používány k ochraně rostlin a zásob před škodlivým hmyzem, ale i ošetření vlasů proti vším již více než tisíc let.

Způsob účinku: účinná látka azadirachtin má několik mechanismů účinku. Jednak blokuje metabolismus ecdysonu – specifického hormonu členovců, který zodpovídá za svlékání staré kutikuly při přechodech mezi jednotlivými vývojovými stadii, či mezi jednotlivými instary larev. Proto je azadirachtin účinný na široké spektrum listožravého hmyzu (brouci, housenky motýlů, larvy pilatek, larvy dvoukřídlého hmyzu atd.) a na savý hmyz a roztoče (mšice, ploštice, molice, svilušky, hálčivci aj.). Dále má výrazný repelentní efekt, díky kterému silně omezuje žír listožravého hmyzu. Třetím efektem je snížení reprodukční kapacity

hmyzu poškozením reprodukčního chování a snížením množství kladených vajíček.

Použití a systém ochrany: přípravky na bázi azadirachtinu se aplikují ve vodní suspenzi (koncentrace 0,3–0,5 %) postřikem. Účinná látka je průduchy v listech vstřebávána do listů, kde zůstává aktivní po dobu několika dnů až týdnů. Čím déle zůstane účinná látka na povrchu ošetřených listů v kapalně fázi, tím déle a více je vstřebávána. Proto je vhodné ošetřovat přípravky na bázi azadirachtinu navečer, kdy jsou poté v noci vyšší vzdušné vlhkosti. Takto může být dovnitř rostliny vstřebáno až 40 % aplikovaného azadirachtinu. Velmi účinný je opakovaný postřik. S výhodou jsou přípravky na bázi azadirachtinu používány proti endogenně žijícím škůdcům, jako jsou například larvy podkopníčků (p. spirálový, p. ovocný, klíněnka ovocná), minujících much (vrtalky, vrtule třešňová), larvy pilatek (p. jablečná, p. švestková), v hálkách žijících mšic (např. mšička révokaz) a v erinaceích žijících roztočů (*Eriophyes vitis*). V organickém zemědělství jsou přípravky na bázi azadirachtinu používány i proti volně žijícímu savému hmyzu, jako jsou mšice, ploštice rodů *Lygus* a *Plesiocoris*, a roztočům, jako jsou svlušky, hálčivci apod. V ČR je přípravek na bázi azadirachtinu NeemAzal®-T/S registrován proti mandelince bramborové na bramborách. Ačkoli mechanismus účinku není selektivní, výsledky testů toxicity na užitečné organismy (predátoři, parazitoidi) ukazují na značnou selektivitu, danou pravděpodobně zředěním, případně deaktivací účinné látky v tělech fytofágů.



Do dvou hodin od aplikace se vstřebává až 38 % účinné látky.

Pomerančový olej

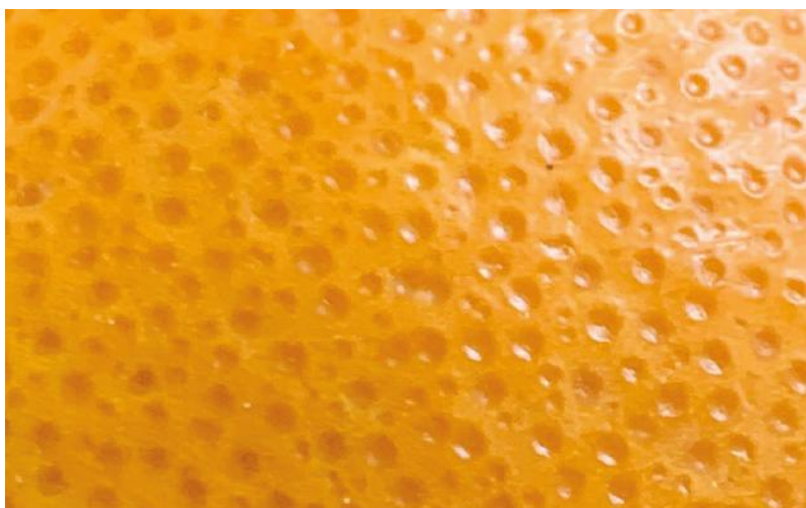
Specifikace: Mezi květem a dozráním plodů pomerančovníku čínského (*Citrus sinensis*) uplyne půl roku. Během této doby představuje plod pomerančovníku atraktivní substrát pro mnoho druhů jak fytofágního hmyzu, tak mnoha patogenů – hub, bakterií atd. Z důvodu ochrany plodů před škůdci a patogeny syntetizuje a ve vakuolách obalů (slupek) plodů pomerančovník hromadí pomerančovník několik desítek látek fungicidní a insekticidní povahy. Tyto látky obsažené v olejovitých silicích jsou cennou účinnou složkou přírodních insekticidů a fungicidů.

Způsob účinku: za studena lisované lipofilní silice z pomerančových slupek narušují ochrannou voskovou vrstvu kryjící povrch těla hub a členovců a prostupují do jejich měkkých tkání, v důsledku čehož takto ošetřený hmyz, roztoči a houby z důvodu vyschnutí hynou. Účinná látka proniká také do dýchacích orgánů členovců a způsobuje smrt udušením.

Použití v systému ochrany: Přípravky na bázi pomerančového oleje mají v ochraně rostlin mnohostranné použití. Obsahují mezi 4–6 % účinné látky – pomerančového oleje.

V nízkých koncentracích 0,1–0,2 % se používají jako účinná smáčedla (WETCIT®), která mění povrchové napětí postřikové kapaliny. Takto jednak snižují ztráty postřikové kapaliny, výrazně zlepšují pokryvnost ošetření kontaktními látkami (měď, síra aj.) a zabezpečují „plasticitu“ filmu kontaktní látky ještě několik dnů (podle počasí cca 4 dny) po postřiku. Díky tomu prodlužují vysokou účinnost těchto ošetření. Po této době podléhají degradaci bakteriemi.

Ve vyšších koncentracích (0,4–0,8 % postřikové kapaliny) mají přímý akaricidní, insekticidní a fungicidní efekt (OROGANIC®). Vysokou účinnost mají na mnoho druhů roztočů, jako jsou například svilušky. Tato účinnost se opět výrazně zvyšuje v kombinaci se sírou. Velmi vysokou účinnost mají tyto látky i na „měkké“ skupiny hmyzu, jako jsou třásněnky, molice, většina druhů mšic, larvy některých druhů brouků a podobně. V polních plodinách je přípravek OROGANIC® registrován k použití například proti larvám kohoutků, mšicím a třásněnkám na obilninách a proti mšicím a sviluškám na luskovinách.



Vakuoly v povrchové vrstvě kůry pomerančů obsahují cenné lipofilní silice s řadou látek insekticidní a fungicidní povahy syntetizovaných rostlinou pomerančovníku.

Přírodní pyrethriny

Specifikace: Kopretina *Ch. cinerariifolium* je vytrvalá bylina z čeledi složnokvětých původem z východního pobřeží Jadranu. V přírodě se vyskytuje od Istrie až po Albánii. Jako zdroj přírodních pyrethrinů se dnes pěstuje především v Keni, Tasmánii a řadě dalších zemí.

Způsob účinku: květenství *Ch. cinerariifolium* obsahu směs několika látek – pyrethrinů. Tyto látky mají poměrně výraznou insekticidní účinnost. Ze suchých květů se průmyslově extrahují pyrethtiny, které se pak formulují s olejem do podoby finálních insekticidních přípravků na ochranu rostlin. Výhodou (ve srovnání s chemicky syntetizovanými pyrethroidy) je jejich heterogenita (současný obsah několika látek s insekticidní účinností), díky které tak snadno neprobíhá selekce populací škůdců rezistentních vůči těmto látkám. Dalším rozdílem oproti syntetickým pyrethroidům je daleko nižší fotostabilita přírodních pyrethroidů, díky které se velmi rychle (vystaveny slunečnímu svitu v řádu hodin) rozpadají.

Použití v systému ochrany: přípravky na bázi přírodních pyrethrinů mají velmi široké spektrum insekticidní účinnosti. Zabíjí dospělce i larvy brouků, motýlů, ploštic a řady dalších řádů hmyzu. Díky nízké specifičnosti, což znamená poměrně vysokou iniciální účinnost například i vůči blanokřídlým parazitoidům, dravým plošticím a dalším skupinám užitečného hmyzu by měly být používány jen v

případech, kdy nemáme v systémech udržitelné produkce dostatečně účinné selektivnější prostředky (bakteriální, virové a jiné preparáty).



Kopretina *Ch. cinerariaefolium*, zdroj přírodních pyrethrinů

Extrakt z mořských řas

Ascophyllum nodosum

Specifikace: preparáty na bázi extraktu z mořské řasy *A. nodosum* mají již samostatně poměrně vysokou účinnost spočívající v podpoře přirozené imunity rostlin. Obsahují specifické polysacharidy, laminarin, algináty, rostlinné hormony (cytokinin), proteiny a další látky. Pokud se spojí s vhodnými aminokyselinami a s fosfonátem draselným, což je látka (fosfonáty = soli kyseliny fosforečné a kovů) obsažená i v tělech obratlovců a rostlin, kde hraje významnou roli v imunitním systému, vznikne mimořádně účinný aktivátor imunitního systému rostlin.

Způsob účinku: imunita rostlin je miliony let trvajícím procesem vývoje rostlin zdokonalovaný systém. Z celkového množství více než 40 000 genů tabáku (člověk jich má zhruba 23 000) jich zhruba třetina hraje roli v obranných mechanismech a procesech. Například je známo více jak dvacet biochemických reakcí zodpovídajících za autoimunitu rostlin, kterou v rostlinách ovlivňuje po aplikaci přípravků Alginure. Nejrychlejší reakcí na aplikaci Alginuru postřikem je zvýšená tvorba H_2O_2 (peroxidu vodíku), kterým rostlina reaguje na zjištěnou přítomnost patogena. Již do dvou hodin po ošetření rostlina řádově zvyšuje tvorbu peroxidu vodíku a doslova „vypálí“ patogenem napadenou část pletiva. Tu pak v dalším kroku zacelí korkovým pletivem. Další z mnoha reakcí, ale již pomalejších, je významně zvýšená tvorba PR proteinů (Patogen Relatid Proteins).

Jedním z nich je například chitináza, což je látka rozkládající chitin, jenž tvoří mj. i vnější kostru hub. Takto dojde k přímému napadení patogena uvnitř pletiva hostitele. Další biochemickou cestou je například tvorba kyseliny salicylové, která sama o sobě zabíjí bakterie a další patogeny a je prekurzorem řady PR proteinů. Dalším z mnoha efektů je zvýšená tvorba fytoalexinů (například vinařům známý resveratrol), což jsou látky podílející se na imunitě rostlin. Rostliny syntetizují tyto látky po aplikaci Alginuru ve výrazně zvýšené míře. Důležité také je, že tyto látky rostliny poté ze starých, již nefunkčních listů dále přemísťují jak do nově dorůstajících vegetačních vrcholů (mají nejvyšší výkon fotosyntézy), tak do plodů (ochrana semen = ochrana budoucí generace), ale i do kořenů a do dřeva (zdravé dřevo je důležité pro přezimování stromů a keřů). Nakonec se poté fytoalexiny ve zvýšené míře objevují i v plodech, odkud je přijímáme i my. V našem těle hrají rovněž v rámci imunitního systému významnou roli, přičemž jsme podobně jako v případě mnoha životně důležitých vitamínů, které naše tělo není schopno syntetizovat, odkázáni na jejich příjem z rostlin.

Použití v systému ochrany: Výše popsany efekt Alginuru při podpoře imunity rostlin ještě asi o 20 % zvyšuje současné použití mědi, nejlépe ve formě hydroxidu měďnatého. Tato aplikace Alginure jednak výrazně aktivuje imunitní systém révy, takže rostlina je schopna působením svých vlastních protilátek razantně potlačit patogena uvnitř svých pletiv a navíc je filmem měďnatého fungicidu chráněna před dalším průnikem patogena do svých pletiv. V případě již stávajícího kalamitního výskytu patogena v rostlině dosáhneme zvýšením aplikační koncentrace Alginuru na 1,5 % zastavení již masivně probíhající infekce.

V případě patogenů šířících se po povrchu rostlin, jako jsou například různá padlí, vykazovaly v pokusech samostatné aplikace směsi Alginuru s mědí cca 50 % účinnost. Tyto aplikace měly výrazný vliv i na potlačení některých endogenně uvnitř rostlin žijících škůdců. Významnou účinnost jsme v pokusech zaznamenali i v případě patogenů napadajících kořeny rostlin, například hlenky *Plasmodiophora brassicae* napadající kořeny brukvovité zeleniny.



Mořská řasa *Ascophyllum nodosum* využívaná k produkci aktivátorů imunity rostlin

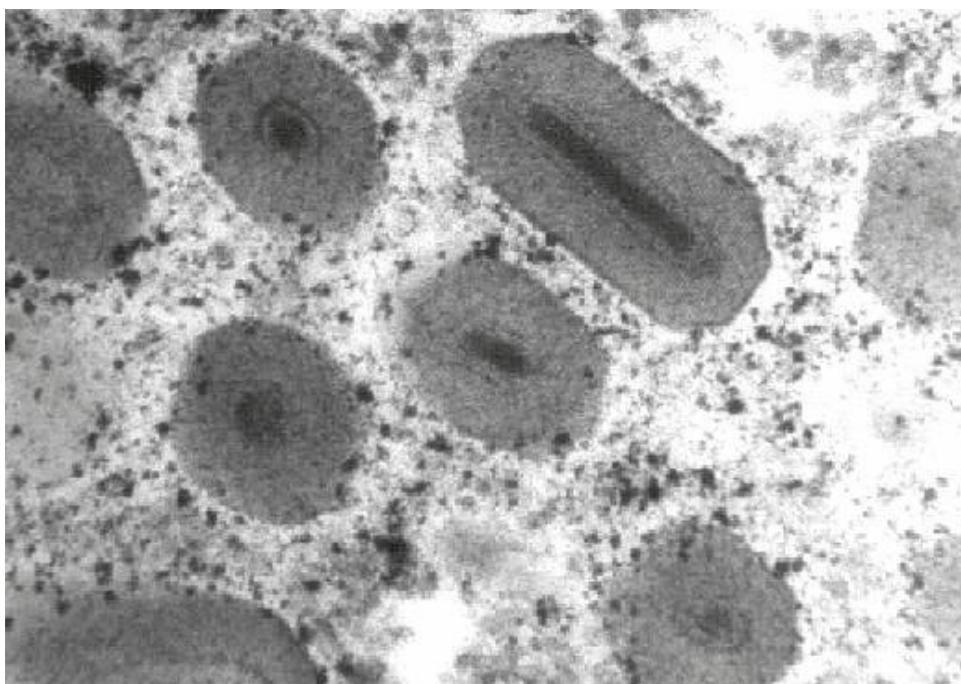
Entomopatogenní viry

Specifikace: virů způsobujících nemoci hmyzu jsou dnes známy stovky druhů. Z hlediska praktického použití v ochraně rostlin jsou nejvýznamnější tzv. granuloviry. Typické jsou tím, že virové partikule jsou obklopeny lipofilním bílkovinným obalem, přičemž tyto viry vytváří shluky, tzv. „granule“ viditelné i pod optickým mikroskopem. Granuloviry jsou většinou rodově či dokonce druhově specifické a vůči hostitelskému druhu mají velmi vysokou mortalitu. Uvedené vlastnosti – vysoká selektivita a současně vysoká patogenita pro hostitelský druh jsou s výhodou využívány v moderních systémech ochrany rostlin. V polní produkci je dnes (mimo ČR) poměrně rozšířené použití přípravků na bázi viru nukleární polyedrie můry bavlníkové (HearNPV). Tento preparát účinný proti extrémně polyfágnímu škůdci (v ČR např. významný škůdce kukuřice a některých druhů plodové zeleniny) je používán v mnoha plodinách - např. soji, kukuřici, rajčatech a mnoha dalších. Dalšími druhy škůdců, proti nimž jsou

vyvinuty a používány (mimo ČR) virové preparáty jsou můry *Spodoptera exigua*, *S. litoralis*, *S. frugiperda* a kvolesklec *Trichoplusia ni*.

Způsob účinku: virové preparáty působí požerově. Jsou extrémně virulentní a již pozření jedné až dvou virových partikulí larvou prvního instaru způsobuje v 50 % případů smrt housenky. Virové partikule po pozření housenkami jsou vysokým pH v trávicím traktu aktivovány (je narušen lipofilní bílkovinný obal). Vlastní viriony jsou transportovány hemolymfou do tukového tělesa housenky, kde se virus začne množit. V té době housenka ještě přijímá potravu. Ke smrti dochází ve stavu, kdy je celé tělo vyplněno virovými partikulemi schopnými další infekce. Viry z usmrčené housenky jsou tak zdrojem další nákazy. Při vyšší dávce pozřených virů hyne napadená housenka již v prvním instaru, při nižší dávce hyne o něco později.

Použití v systému ochrany: virové preparáty se aplikují postřikem. Moderní preparáty obsahují UV protektanty, které chrání vlastní viry před inaktivací UV složkou slunečního záření a adjuvanty, které po vyschnutí kapky postřikové tekutiny zabezpečí dlouhodobé ulpění účinné látky na ošetřené rostlině. Účinnost ošetření virovými preparáty je cca 10 dnů, přičemž je výrazně ovlivňována intenzitou slunečního záření. Přípravky jsou velmi koncentrované, takže k postřiku 1 ha sadu se používá 50–100 ml přípravku o koncentraci cca 3 až 7×10^{12} virových partikulí ve 100 ml. Virové preparáty je možno ve hluboce zmraženém stavu (-18°C) uchovávat po mnoho let bez ztráty účinnosti. Při postřiku je možno je míchat (tank mix) spolu s většinou jiných pesticidů, které mají pH v rozmezí 5–8. Výjimku tvoří měďnaté fungicidy, které viry inaktivují.



Virové partikule obsahující virion (tmavý střed)

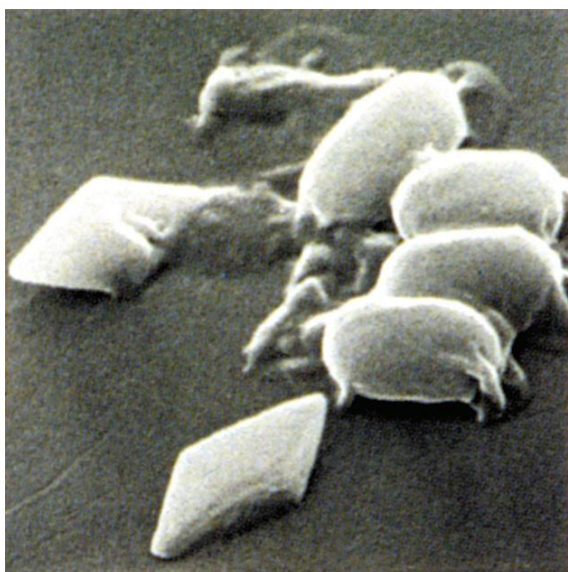
Entomopatogenní bakterie *Bacillus thuringiensis*

Specifikace: bakterie *Bacillus thuringiensis* byla popsána Berlinerem roku 1915 z housenek zavíječe moučného (*Ephestia kuehniella*). Tato bakterie je charakteristická tím, že při sporulaci vytváří typicky formovaný osmistěnný krystal toxinu, který působí pouze na hmyz. Dnes je známo mnoho kmenů působících specificky proti různým skupinám hmyzu. Některé z těchto kmenů jsou průmyslově produkovány a formulovány do podoby moderních, vysoce selektivních insekticidních přípravků. Například proti housenkám motýlů je používán kmen *kurstaki*, jehož bílkovinné krystaly jsou účinnou látkou přípravků Lepinox® Plus, Dipel, Foray aj. V přírodě koluje *B. t. kurstaki* jak v populacích housenek motýlů na bylinách a stromech, tak v půdě. Kmen *B.t. tenebrionis* účinný proti larvám brouků čeledi mandelinkovitých a nosatcovitých byl izolován z larev potměníka rodu *Tenebrio*. Krystaly toxinu tohoto kmene jsou účinnou látkou přípravku Novodor.

Způsob účinku: spory bakterie *B.thuringiensis*, resp. krystaly endotoxinu ve sporách obsažené, působí na cílový hmyz požírově. Po pozření larvou hmyzu se krystaly ve střevě aktivují a způsobí rozklad střevní stěny, v důsledku čehož nakažený hmyz hyne na bakteriální sepsi. Již během několika desítek minut po

požití toxinů housenkami dochází k ochrnutí svalstva trávicího traktu, v důsledku čehož zastavují housenky žít a během několika dnů hynou. V literatuře bývá často mylně uváděna teplota 15–18 °C jako nejnižší teplota nutná k dobré účinnosti těchto bakteriálních preparátů. Ve skutečnosti fungují přípravky na bázi *B.t.kurstaki* i při teplotách kolem 5 °C. Rozhodující je teplota, při které housenky cílových druhů hmyzu aktivně žerou.

Použití v systému ochrany: komerčně formulované přípravky (kapalné, práškové, granulované) jsou, pokud jsou řádně, tj. v chladu a tmě skladovány, účinné po dobu několika let. Přípravky se aplikují postřikem rostlin vodní suspenzí. Při aplikaci je důležité kvalitní, pokud možno stejnoměrné pokrytí celého povrchu rostlin drobnými kapičkami suspenze, které rychle po aplikaci vyschnou, čímž je zajištěna dlouhodobě vysoce účinná ochrana. Výrazného zvýšení účinnosti je dosahováno přidavkem smáčedla, např. Wetcitu. Díky smáčedlu, to znamená snížení povrchového napětí na hladině kapiček postřikové kapaliny dojde k lepšímu pokrytí povrchu ošetřovaných rostlin a částečnému průniku postřikové suspenze i do požerků vyhlodaných housenkami. Při žíru hmyz pozře letální dávku přípravku a hyne. Ošetření je účinné cca 7–10 dnů, poté dochází vlivem ultrafialové složky slunečního záření k rozkladu účinné látky. Proto je vhodné ošetřit i spodní stranu listů, kde je díky zastínění přípravek před touto inaktivací zčásti chráněn. Protože housenky prvních instarů po vylíhnutí z vajíčka mají k bakteriálnímu toxinu vyšší citlivost, je vhodné časovat ošetření do období líhnutí housenek z vajíček. V případě líhnutí nových housenek po dobu delší než 10 dnů, je vhodné ošetření opakovat. Přípravky na bázi *B. t. kurstaki* jsou s výhodou používány proti listožravým housenkám čeledí píďalkovitých, dále proti housenkám bekyní, bourovců a obalečů, jejichž housenky žijí alespoň zčásti volně. Housenky všech uvedených čeledí motýlů jsou vůči toxinu *B. t. kurstaki* velmi citlivé, a i při poměrně nízkých dávkách přípravků je dosahováno vysokých účinností. Ani přes dlouhodobé používání např. ve vinicích některých částí Evropy již déle než 50 let, zatím nebyla vůči těmto přípravkům v Evropě zjištěna rezistence. Kmen *B. t. tenebrionis* (Novodor) je účinný mj. na larvy mandelinky bramborové. V ČR však není momentálně registrován. Přípravky na bázi *B. thuringiensis* je možno aplikovat i ve směsi s většinou fungicidů, vyjma vysoce alkalických preparátů.



Bílkovinné krystaly a spory bakterie *Bacillus thuringiensis*

Entomopatogenní bakterie *Saccharopolyspora spinosa*

Specifikace: bakterie *S. spinosa* byla izolována roku 1985 ze zlomené cukrové třtiny na Panenských ostrovech. Tato bakterie vytváří v aerobním prostředí řetězce spor uzavřené v charakteristických „chlupatých“ trnitých pouzdrech (odtud název - trn = latinsky spina). Účinná látka spinosad je směs chemických sloučenin charakteristických přítomností molekuly aminocukru.

Způsob účinku: spinosad je směs vysoce aktivních látek s kontaktním a požerovým účinkem na hmyz mnoha řádů. Pro některé skupiny hmyzu je toxický jen ve stadiu dospělce, pro mnoho jiných ve více stádiích. V mnoha případech naopak působí na larvy a nezabíjí dospělé. Spinosin přerušuje nervové vzruchy při přenosu vzruchů na synapsích. Sekundárním efektem spinosinu je hyperexcitace nervového systému hmyzu. Není známa cros-rezistence mezi spinosinem a jinými skupinami účinných látek jak biologických, tak chemických insekticidů.

Použití v systému ochrany: Přípravky na bázi spinosadu jsou v mnoha zemích registrovány na zelenině proti třásněnkám, larvám brouků (např. mandelinky bramborové). Účinný je však proti mnoha dalším skupinám hmyzu z řádů motýlů, dvoukřídlých, brouků, třásnokřídlých, rovnokřídlých a blanokřídlých. Díky vysoké toxicitě vůči některým skupinám užitečných organismů (blanokřídlí parazitoidi, včely, dravé ploštice aj.) by měl být v systémech ekologického a integrovaného

pěstování používán v období minimálního výskytu těchto užitečných organismů. Rozhodně je nezbytné při jeho použití dodržovat bezpečnostní opatření uvedená na návodech k použití přípravků na jeho bázi.

Bakterie zvyšující odolnost rostlin před napadením patogeny - *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus megaterium* a jiné

Specifikace: v posledních letech se s prohlubujícími znalosti mikroorganismů objevuje na trhu řada bakteriálních preparátů, které potlačují některé houbové a bakteriální patogeny. V některých případech jsou formulovány i do podoby směsných přípravků (*T. harzianum* + *B. megaterium*).

Způsob účinku: mechanismem účinku je jednak kompetice na povrchu nadzemních částí rostlin, nebo kořenů. Vybrané bakteriální kmeny produkují sekundární metabolity, které narušují buněčné membrány hub a ve vyšších koncentracích jsou schopny způsobit až destrukci buněk některých patogenů. Řada těchto mikroorganismů také zpřístupňuje rostlinám v těsné blízkosti kořenů rostlin živiny. Například fosfor.

Použití v systému ochrany: tyto preparáty se aplikují dle aktivity konkrétního mikroorganismu buď postřikem na nadzemní části rostlin (například *Bacillus subtilis* - Serenade® ASO), nebo zálivkou, případně závlahou (*T. harzianum* + *B. megaterium* - Rizocore®). Mísitelnost závisí na konkrétním mikroorganismu a produktu.

Entomopatogenní houby - *Beauveria bassiana*

Specifikace: entomopatogenní houba *Beauveria bassiana* je v přírodních ekosystémech střední Evropy jedním z nejhojněji nalézaných entomopatogenních mikroorganismů. Na bázi mnoha různých kmenů této houby je v současnosti produkována řada přípravků. Na bázi kmene ATCC 74040 je produkován italský preparát Naturalis® registrovaný v ČR proti třásněnkám na jahodníku. V Rakousku byly z půd s hojným výskytem ponrav chroustů izolovány kmeny IMBST 5.031 a 95.041 používané v preparátu Melocont Pilzgerste také

proti ponravám chroustů. Přípravky na bázi spor těchto hub jsou formulovány buď jako suchý prášek, nebo olejový koncentrát. V okolních státech (Rakousko, Německo, Polsko) probíhá intenzivní zkoušení různých houbových preparátů proti larvám kovaříkovitých (drátovcům) žijícím v půdě.

Způsob účinku: spory *B. bassiana* na povrchu těla hmyzu při vysoké vzdušné vlhkosti klíčí, prorůstají kutikulu, uvnitř těla hmyzu se množí blastosporami a postupně během několika dnů hmyz zabijí. Hmyz napadený houbou rodu *Beauveria* je po uhynutí ve vlhkém prostředí porůstán bílým povlakem hustého mycelia, na kterém se ve fázi sporulace objeví bílé kulovité vzdušné konidie. Při sporulaci na mrtvém hmyzu jsou odškrcovány vzdušné konidie, které jsou rozšiřovány vzduchem, vodou, hmyzem atd. Pokud k uhynutí hmyzu dojde v půdě, z mrtvého hmyzu prorůstá mycelium půdou do okolí a narazí-li na jiný hmyz, dojde k jeho napadení. Uhyne-li napadený hmyz na povrchu půdy, pokryje se povrch uhynulého hmyzu hustým sporulujícím myceliem, ze kterého se uvolňují vzdušné konidie schopné další infekce, nebo schopné delší dobu přetrvávat v suchém prostředí.

Použití v systému ochrany: přestože houby rodu *Beauveria* nejsou z hlediska patogenity příliš specifické, existují kmeny s různou virulencí vůči různým skupinám hmyzu, případně hádátek. Podmínkou dobré účinnosti je, aby hmyz s konidiemi na povrchu kutikuly byl delší dobu v prostředí s velmi vysokou vzdušnou vlhkostí. Přípravky tohoto typu působí především preventivně, měly by se tedy používat při nižším napadení škůdci (např. na počátku jejich výskytu na plodině) k zabránění jejich přemnožení. Při zvýšeném výskytu škůdců je vhodné aplikaci opakovat 2–3x v intervalu 7–10 dnů. V různých státech střední Evropy jsou registrována k ochraně polních druhů zeleniny před třásněnkami, sviluškami či molicemi. Ke zvýšení míry konidií, které ulpí na povrchu ošetřeného hmyzu se doporučuje aplikace společně s vhodným smáčedlem. Ve sklenících na skleníkových zeleninách jsou přípravky tohoto typu účinné proti sviluškám, molicím, třásněnkám, a některým druhům mšic. Výsledky pokusů s aplikacemi proti drátovcům a larvám chroustů v půdě jsou silně závislé na vlhkosti půdy.

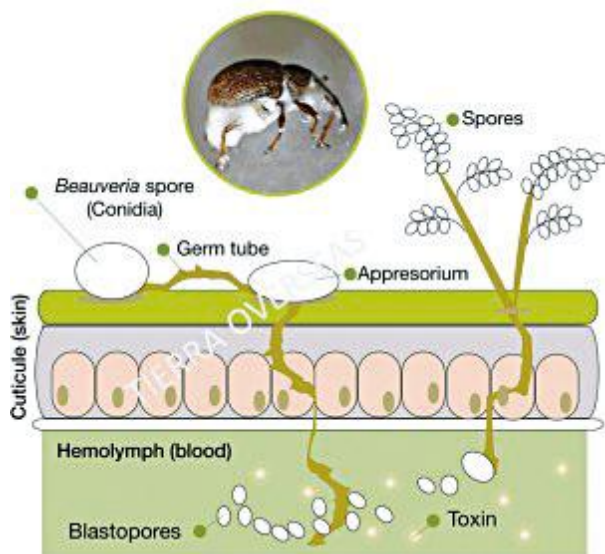


Schéma životního cyklu entomopatogenní houby *B. bassiana*

Entomopatogenní nematody *Heterorhabditis bacteriophora*

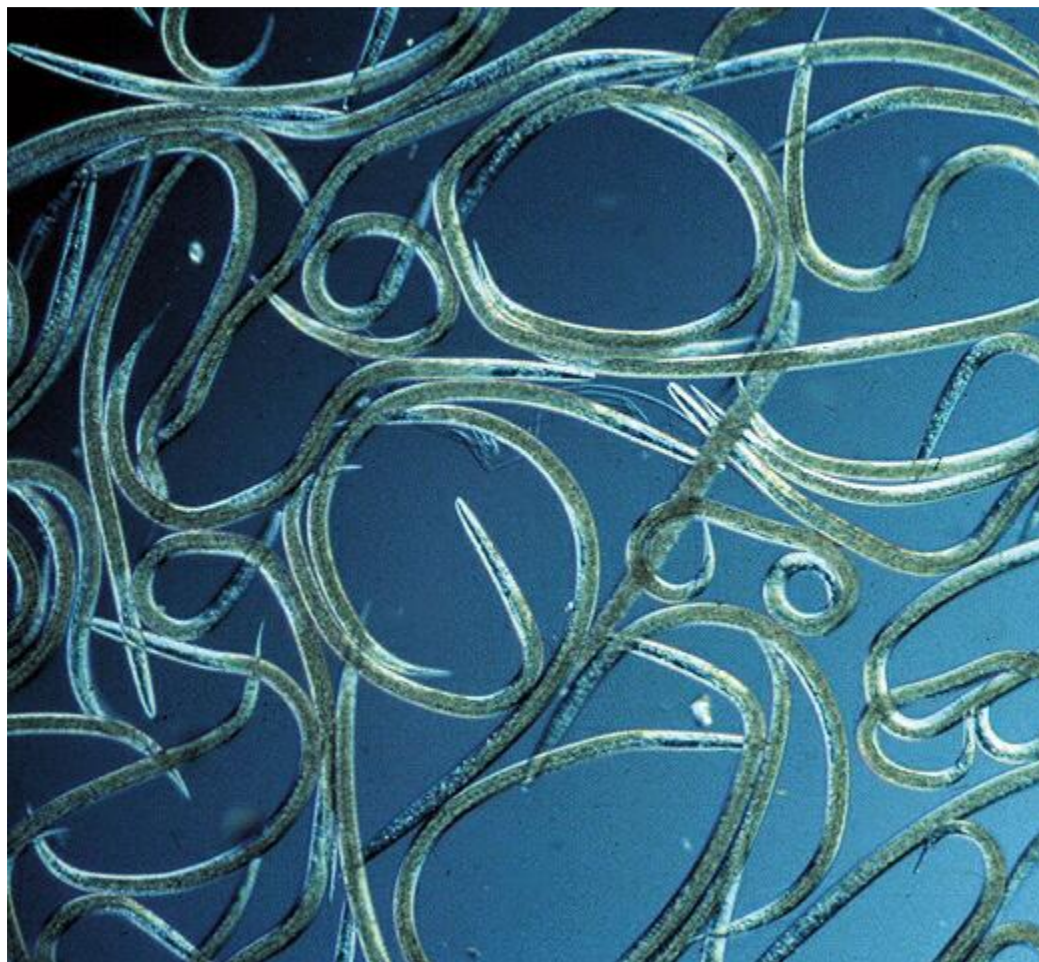
Specifikace: Uvedený druh nematod se vyskytuje v půdách mj. i střední Evropy. Již několik desetiletí jsou v přírodě vyhledávány a dále selektovány kmeny nematod účinně napadající různé skupiny hmyzu.

Způsob účinku: invazní larvy uvedených druhů nematod se v půdě aktivně pohybují a čichem vyhledávají hostitelský hmyz, který napadají. Pronikají do něj buď trávicím traktem (řitním, nebo ústním otvorem), nebo respiračním systémem. Po proniknutí do těla hostitele vyvrhují invazní larvy ze svého zažívacího traktu druhově specifické bakterie, které se v napadeném hmyzu množí a během několika dnů hostitele zabíjí. V takto namnožené bakteriální mase probíhá další vývoj nematodů. Larvy nematodů vstupují do 4. stadia, *H. bacteriophora* se vyvíjí v hermafroditní larvy, které kladou asi 1.500 vajíček, z nichž se vyvíjí pohlavní generace samců a samic. Po spáření samice kladou uvnitř mrtvého těla napadeného hmyzu vajíčka, z nichž se vyvíjí larvy prvního a posléze druhého a třetího instaru. Larva třetího instaru, tzv. invazní larvy vyputují ven a v půdě opět aktivně vyhledávají na vzdálenost několika desítek centimetrů dalšího hostitele. Délka celého vývoje závisí na teplotě. Obvykle trvá od 2 do 3 týdnů.

Použití v systému ochrany: přípravek Dianem[®] na bázi *Heterorhabditis bacteriophora* se aplikuje přikapáváním nebo postřikem „pod patu“ do řádků při

setí kukuřice. Aplikační dávka suspenze přípravku (invazních larev) je 200 – 400 l/ha. Hlístice zde přežívají několik týdnů a po vylíhnutí larev bázlivců je napadají, v nich se i množí a poté napadají invazní larvy další larvy bázlivce ve svém okolí. Při aplikaci je třeba dodržet aplikační doporučení výrobce uvedená na etiketě přípravku.

Ve slimácích parazituje a posléze je zabíjí hlístice *Phasmarhabditis hermaphrodita*.



Invazní larvy entopopatogenních nematodů

Hyperparazitické houby *Trichoderma* spp.

Specifikace: hyperparazitická houba *T. harzianum* popsaná Rifaiem v roce 1969 má mnoho kmenů s výrazně různou účinností na různé houbové patogeny. Na základě současných genetických analýz se původní druh rozpadá podle různých autorů na devět až více než třicet nových druhů. Rod *Trichoderma* je v přírodě

velmi rozšířený a vyskytuje se téměř ve všech typech půd. *Trichoderma* v půdě kolonizuje kořeny rostlin, kde jako hyperparazit napadá jiné houby, ze kterých čerpá energii pro svůj metabolismus. Mezi účinností vůči různým houbovým patogenům existují mezi kmeny/druhy r. *Trichoderma* velké rozdíly od velmi vysoké až po nulovou účinnost. *Trichoderma* spp. je ale také jedním z nejvýznamnějších kontaminantů a zdrojů ztrát při pěstování hub.

Způsob účinku: v literatuře je popisováno několik mechanismů účinku hub rodu *Trichoderma*. Jednak má již pouhá kolonizace rostlinných kořenů a acidifikace, ke které dochází v důsledku osídlení této zóny rostlinám zpřístupňovat fosfáty. Přítomnost hyf trichodermie na povrchu kořenů aktivuje obranné reakce rostlin, aniž by došlo ke skutečnému napadení rostlin. Díky tomu je rostlina schopna se lépe chránit před napadením především půdními patogeny např. rodů *Pythium*, *Fusarium*, *Sclerotinia* aj. *Trichoderma* však také přímo parazituje hyfy půdních patogenů. Při kontaktu s houbovými patogeny produkuje enzymy (např. chitinázu rozpouštějící chitin, jenž je stavební látkou těla hub) narušující buněčné stěny jiných hub. Následně do těchto hub proniká a ničí je. Některé kmeny trichodermie také produkují látky pro jiné houby toxické (antibiotika). Společným působením chitinázy a antibiotik dochází k razantnímu potlačení jiných hub. Dalším mechanismem antagonistického účinku trichodermie vůči jiným houbovým patogenům je přímá kompetice, to znamená soutěžení o živiny, vodu, prostor a zdroje obecně.

Použití v systému ochrany: přípravky na bázi *T. harzianum* mají v ochraně rostlin široké spektrum uplatnění. Jednak se používají k moření osiv, nebo namáčení kořenů rostlinného materiálu. Používají se i přimícháváním do pěstebního substrátu (například rašeliny) před výsadbou sazenic. Některé z nich je možno efektivně aplikovat i zálivkou na povrch půdy s následným lehkým zapravením do půdy. V některých případech se dokonce doporučuje i postřik na list. Vždy však záleží na doporučení výrobce toho kterého kmene a preparátu. Přípravky na bázi *T. harzianum* jsou většinou poměrně tolerantní až odolné vůči insekticidům a jejich reziduím v půdách. Nesmí však být mixovány, nebo vystaveny vysokým koncentracím reziduí látek s fungicidní účinností.



Mycelium *T. harzianum*

Komerčně produkováný hmyz - *Trichogramma brassicae*

Specifikace: *Trichogramma brassicae* je malá, přibližně 0,5 mm dlouhá parazitická vosička, která se přirozeně vyvíjí ve vajíčkách mnoha druhů motýlů. Jde o nejmenší hmyz na světě. Dospělci mají dobře vyvinutý jak čich, tak zrak a jsou schopni letu na krátkou vzdálenost (cca desítky centimetrů až decimetrů). Samice vyhledává především čichem vajíčka různých druhů motýlů, do nichž klade svá vajíčka. Při kladení nejprve vstříkne do vajíčka vbodnutým kladélkem malou kapičku jedu, kterým usmrtí embryo housenky vyvíjející se ve vajíčku. Poté naklade do hostitelského vajíčka své vlastní vajíčko. Samice je při kladení schopna určit podle velikosti parazitovaného vajíčka vhodné množství svých vajíček, která do hostitele naklade. U drobných vajíček makadlovek, obalečů a zavíječů je to od jednoho do cca 3-4 vajíček, u můr střední velikosti obvykle kolem 4 vajíček a v případě velkých vajíček např. bourovců a martináčů až kolem 30 vajíček. Samice je při parazitaci schopná zhruba určit stáří nalezeného vajíčka a klade pouze do vajíček zhruba v první polovině vývoje. Pokud je hostitelské vajíčko již starší (tedy dál, než zhruba v polovině svého vývoje), k parazitaci nedojde. Vývoje schopná jsou jak vajíčka oplozená (z nich se po dokončení vývoje líhnou samice, tak vajíčka neoplozená, z nichž se líhnou samci. V chovech mohou být jednotlivé druhy rodu *Trichogramma* chovány na vajíčkách mnoha druhů motýlů, takže specifita k hostiteli je klasifikována jako nepříliš výrazná. Uvnitř

parazitovaného vajíčka proběhne během cca 10–12 dnů vývoj vajíčka, larvy a kukly *Trichogrammy*.

Způsob účinku: *Trichogramma* při laboratorní produkci parazitovaná vajíčka hostitelského druhu motýla obsahující parazitoida v různých stádiích vývoje (vajíčka, larvy 1 – 3 instaru nebo kukly) jsou aplikována na pole, do skleníku či skladu. Zde dochází k dokončení vývoje parazitoida uvnitř parazitovaného motýlího vajíčka. Po vylíhnutí samice vyhledává ve svém nejbližším okolí (řádově několik metrů) vajíčka různých druhů motýlů. Samice *T. brassicae* je po vylíhnutí buď oplodněna (v tom případě klade jak vajíčka, z nichž se líhnou samci, tak vajíčka, z nichž se líhnou samice), nebo bez oplození klade jen samčí, ale životaschopná vajíčka. Maximálně jsou samice druhu *T. brassicae* schopny vyklást více než 100 vajíček. Pokud jsou v ošetřeném porostu i po cca 12–14 dnech čerstvá neparazitovaná motýlí vajíčka, probíhá dál parazitace jedinci následující generace *trichogrammy*. Využívány jsou rovněž kapsle, z nichž se líhnou celkem dvě generace parazitoida po dobu asi 20 dnů.

Použití v systému ochrany: Ve střední Evropě je dnes *T. brassicae* využívána v ochraně polních plodin především k ochraně kukuřice před zavíječem kukuřičným, případně můrou bavlníkovou. Díky tomu, že vysoce účinná ochrana je velmi závislá na přesném určení vhodného termínu aplikace, kvalitním pokrytí ošetřované plochy, určení vhodné dávky parazitoida dle populační hustoty cílového škůdce a kvalitě použitého bioagens, je ochrana dodávána formou kompletní služby. Ta zahrnuje doporučení vhodné dávky a formy (letecká aplikace volných parazitovaných vajíček nebo různé typy kapslí aplikované buď ručně nebo drony) parazitoida, aplikaci v optimálním termínu, následnou kontrolu účinnosti ochranného zásahu a případné doporučení dalších agrotechnických opatření.



Vosičky rodu *Trichogramma* na vajíčcích zavíječe kukuřičného.



Snůška vajíček zavíječe kukuřičného parazitovaná trichogrammou

Anorganické prvky a sloučeniny - síra

Specifikace: síra, přesto že je jedním z nejstarších prostředků ochrany rostlin, je stále významným prostředkem ochrany. V zemědělství je tímto způsobem využívána již více jak 180 let. Síra se používá buď čistá jako jemně mletý prášek

(k zaprašování) bez dalších úprav. Druhou, podstatně rozšířenější formou použití je aplikace cca 80 % síry koloidním postřikem. V současnosti přicházejí na trh moderní prostředky na bázi síry doplněné látkami, které zlepšují její stabilitu v suspenzi, přilnavost a další fyzikální vlastnosti při postřiku a následně prodlužují setrvání síry na povrchu ošetřených rostlin.

Způsob účinku: Síra je pro rostliny nezbytná pro přeměnu přijímaného nitrátového dusíku v aminokyseliny a je sama stavebním prvkem některých aminokyselin. Také je nezbytná pro tvorbu proteinů a chlorofylu. Za vyšších teplot síra sublimuje a fumiguje do porostu. Ve vyšších koncentracích je toxická i pro některé skupiny roztočů. Po odsíření elektrárenských exhalátů se dnes síra stává v půdách v některých případech dokonce nedostatkovým biogenním prvkem. Při použití síry jako prostředku ochrany rostlin nehrozí žádné riziko negativního vlivu reziduí síry v půdách a při dodržení předepsaných ochranných lhůt ani na rostlinách.

Použití v systému ochrany

Účinnost síry je významně závislá na teplotě. Optimální teplota pro fungování síry je cca při 16–25°C. Velmi dobrou účinnost mají přípravky na bázi síry například proti padlí na obilninách, hrachu a dalších plodinách.



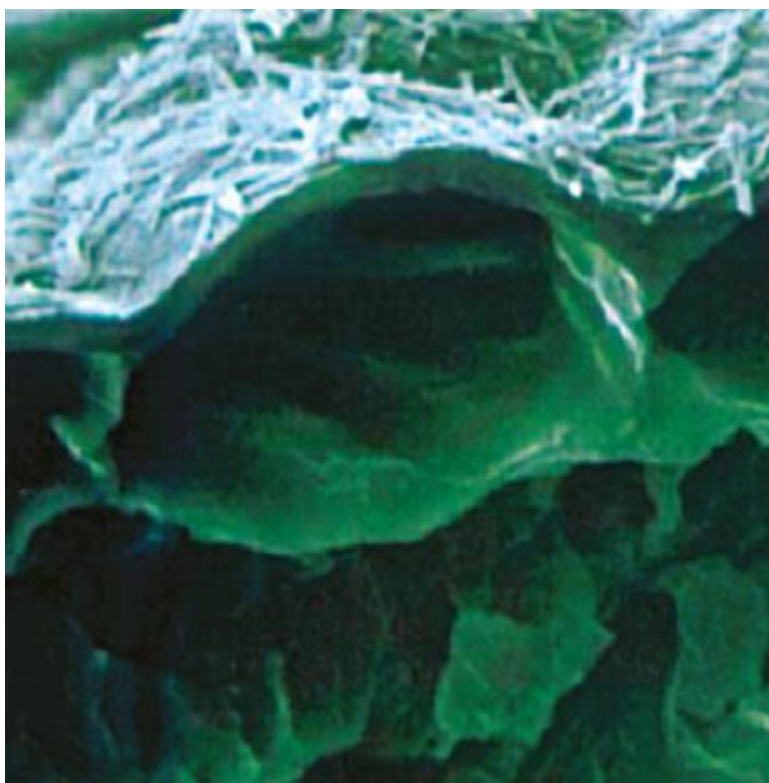
Krystaly síry

Anorganické prvky a sloučeniny – měď

Specifikace: měď je biogenní mikroelement, jenž je stavebním kamenem některých enzymů našeho těla i rostlin. V ochraně rostlin se využívá od roku 1855, kdy si francouzský profesor botaniky P. M. A. Millardet z univerzity v Bordeaux poté, co si všiml nižšího napadení okrajových keřů révy vinné postříkané vinaři (proto, aby hrozny znechutili kolemjdoucím) směsí síranu měďnatého a vápenného mléka, nově rozšířenou chorobou plísně révové. Poté založil pokusy, kterými prokázal účinnost této směsi proti peronospoře révy vinné. Roku 1855 tento objev publikoval. Na jižní Moravě (v Pavlově) byla tato směs pod názvem Kupfervitriol proti peronospoře poprvé použita roku 1890. V současnosti se používá jako účinné látky měďnatých fungicidů několika sloučenin. Hydroxidu měďnatého, oxychlorid měďnatého a některých dalších.

Způsob účinku: měďnaté sloučeniny jsou toxické jak vůči některým skupinám hub, tak bakterií. Na účinnost použitého přípravku má výrazný vliv chemická vazba mědi, velikost částic a formulace přípravku. Obecně platí, že přípravky na bázi hydroxidu měďnatého jsou při srovnatelné dávce mědi účinnější než například preparáty na bázi oxychloridu Cu.

Použití v systému ochrany: ačkoli je měď biogenním prvkem, vysoké koncentrace mědi v půdách mohou, především v kombinaci s nedostatkem humusu a organické hmoty v půdě, být toxické jak pro mnoho skupin půdních mikroorganismů (houby, bakterie), tak pro červy (žížaly, entomopatogenní hlístice a jiné) ale i pro kořeny kulturních rostlin. Kvůli tomu je nutné dávky aplikovaných měďnatých přípravků striktně omezit. Evropská legislativa v současnosti omezuje množství metalické mědi použitelné za jeden rok na hektar limitem 4 kg. Z těchto omezení musí vycházet i systém aplikace mědi v moderní udržitelné produkci. Zajímavou inovací v této souvislosti je používání kontaktně působící mědi v tank-mixu s Wetcitem. Tento ochranný film vytvořený na povrchu rostlin má jednak daleko lepší pokrývnost (podle našich měření až 6 násobně) a je navíc po dobu několika dnů plastický. To znamená že se spolu s růstem rostlinných pletiv rozpíná. Tento efekt trvá zhruba 4 dny od aplikace. Další velmi důležitou skutečností je fakt, že při použití v Tank-mixu s přípravkem Alginure® zvyšuje přídavek mědi i intenzitu vyvolaných obranných reakcí. Tento efekt odhadujeme na základě mnoha pokusů zhruba na 20% zvýšení. V současnosti je na trhu další zajímavá formulace mědi ve směsi s borovicovými terpeny. Borovicové terpeny zlepšují vlastnosti postřiku jako např. odolnost vůči smyvu, pokrývnost a redukci úletu a výrazně prodlužují dobu setrvání mědi na povrchu ošetřených rostlin.



Částice jemně mletého hydroxidu měďnatého na povrchu rostlinného pletiva

Podpora výživy rostlin probiotickými bakteriemi - *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus mucilaginosus*

Specifikace: první druhy rodu *Azotobacter* byly izolovány v Holandsku z půd roku 1901 Bejerickem. Winogradski popsal roku 1932 jev, při němž dochází činností této bakterie k přeměně vzdušného (rostlinám nepřístupného) dusíku v amoniak a následné uvolňování amoniaku do půdy. Poté začali vědci studovat tento jev s cílem zlepšení výživy rostlin a obohacování půdy těmito formami dusíku s cílem podpory úrodnosti půd. Tyto kmeny bakterií jsou izolovány z evropských půd. Z důvodu zvýšení délky skladovatelnosti plnohodnotného bakteriálního koncentrátu od okamžiku produkce na dobu až jednoho roku je při produkci použito v závěrečné fázi speciální změny kultivačního média, které přinutí bakterie k přechodu do stadia spor. V této podobě mají bakterie podstatně vyšší odolnost vůči širšímu rozmezí teplot a dalším vlivům jak při skladování, tak v průběhu aplikace. Tato dormantní fáze se v půdě po aplikaci aktivuje a je jak pasivně - vodou (déšť) či půdní makrofaunou, tak aktivně přemístěna do blízkosti kořenů rostlin, kde je pak plně aktivní. Takto je koncipován a formulován

přípravek Free N 100® vyráběný francouzskou firmou Gaiago. Podobně je na bázi bakterie *Bacillus mucilaginosus* koncipován přípravek Free PK. Tato bakterie je v mnoha směrech podobná druhu *A. chroococcum*, je ale výrazně odolnější vůči abiotickému stresu. Přípravek na její bázi je také formulován ve fázi spor. Díky tomu je rovněž možné jej na bakteriální produkt relativně dlouhou dobu (až jednoho roku) skladovat a při aplikaci míchat s mnoha látkami, jako jsou například i chemické herbicidy. Tento mikroorganismus zpřístupňuje kořenům rostlin nejen minerální živiny, jako je fosfor, draslík, vápník a hořčík, a stopové prvky, ale produkuje i komplex exudátů obsahující růstové hormony (kyselinu indolil 3 octovou, látky typu gibberelinů a cytokininy), které podporují růst kořenového systému rostlin. Díky tomu mají rostliny jak mohutnější kořenový systém, tak přístupnější živiny v okolí kořenů.

Způsob účinku: bakterie *Azotobacter chroococcum* je schopna fixovat a přeměňovat vzdušný dusík v reaktivní amoniakální, rostlinám přístupnou formu dusíku pomocí tvorby enzymu nitrogenázy. Tento enzym potřebuje ke své aktivitě v půdách poměrně nedostatkové mikroelementy molybden a stopové množství kobaltu. Bakterie potřebují ke svému rozvoji dostatkem makropórů provzdušněné půdy. Druhou podmínkou jejich intenzivního rozvoje je intenzivní příjem karbohydrátů (cukrů) z rostlinných exudátů. To je důvodem, proč jsou nalézány především v blízkosti kořenů rostlin. Tyto nesymbiotické bakterie fixující vzdušný dusík jsou schopny se srovnatelnou účinností adaptace na život v blízkosti kořenů mnoha čeledí rostlin. Například trav, různých čeledí dřevin, révy vinné, mnoha druhů zeleniny a mnoha dalších rostlin. Roční produkce dusíku přístupného pro rostliny těmito bakteriemi je odhadována na úrovni ekvivalentu 20–60 kg čistého N/ha. Intenzita fixace dusíku je výrazně závislá na plodině, půdních vlastnostech a průběhu počasí. Tímto způsobem lze při zachování, případně i mírném zvýšení výnosů nahradit na většině půd část množství aplikovaných minerálních hnojiv a tím přispět k obnově zdravých půd.

Použití v systému výživy: výživa rostlin a od toho odvozená fyziologická kondice jsou velmi úzce spjaty se schopností rostlin odolávat jak virům, bakteriálním a houbovým patogenům tak i mnoha škůdcům. Mnoho chorob, jako je například padlí jsou typické dispoziční choroby. Odhadem až k 50 % jejich škodlivosti dochází v důsledku nevyrovnané výživy, disharmonie mezi množstvím vody a vzduchu v půdě a dalším stresovým faktorům.

Přípravky na bázi bakteriálního inocula potřebují k plnému rozvoji bujně rostoucí rostlinu ve fázi intenzivního růstu, kdy rostliny produkují velké množství exudátů

jimiž půdní bakterie doslova krmí. Mimo sféru aktivního růstu kořenů produkujících exudáty jsou takto inokulativně aplikované bakterie rychle vyřazeny přirozeně se v půdě vyskytujícími mikroorganismy.

Tyto bakteriální koncentráty by měly být v polních plodinách aplikovány v dávce 0,3 - 0,5 litru přípravku na hektar. V případě přípravku Free N100® to je minimálně 1,7 - 2,5 bilionu ($1,7 - 2,5 \times 10^{12}$) na hektar, v případě Free PK to je minimálně $1,7 - 3 \times 10^{10}$, to je 17 - 30 miliard bakteriálních spor na hektar. Doporučená aplikační dávka vody je od 100 do 1000 litrů vody na hektar. Důležité je, aby k aplikaci nebyla použita chlorovaná voda. Chlor bakterie spolehlivě zabíjí. Pozor, dnes se vodovodní voda chloruje chlordioxidem, který čichem nepoznáme. K aplikaci musí být použita nechlorovaná voda (povrchová voda, dešťovka, neupravená voda ze studní, vrtů apod.) a vhodné je aplikovat tento postřik na vlhký povrch půdy. Pokud bychom už museli použít vodu z vodovodního řadu, pak je třeba ji upravit přidavkem cca 1 kg cukru na 1000 litrů vody, což baktericidní působení chloru odstraní. Optimálním termínem pro aplikaci u jednoletých plodin je období po výsevu a období vývoje mladých rostlinek. Po sklizni na podzim se tyto bakterie z půdy ztrácí, protože v důsledku chybějících kořenových exudátů podléhají kompetici přirozených bakteriálních společenstev.

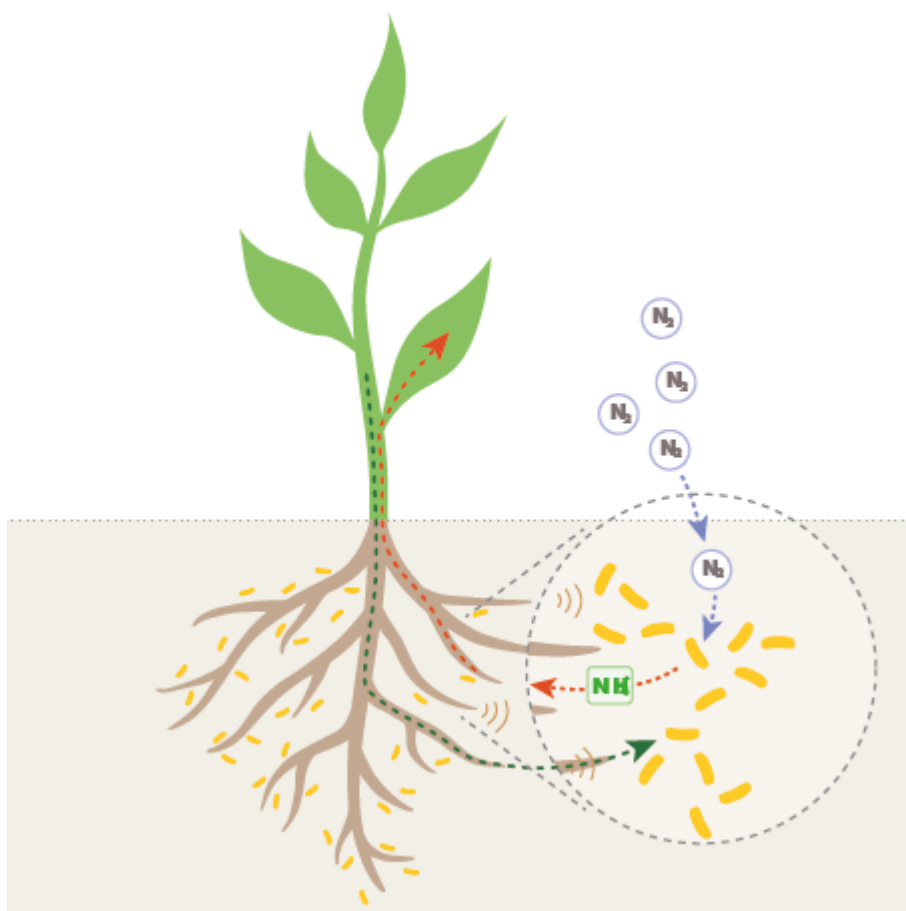


Schéma funkce bakteriálního preparátu FREE N100®

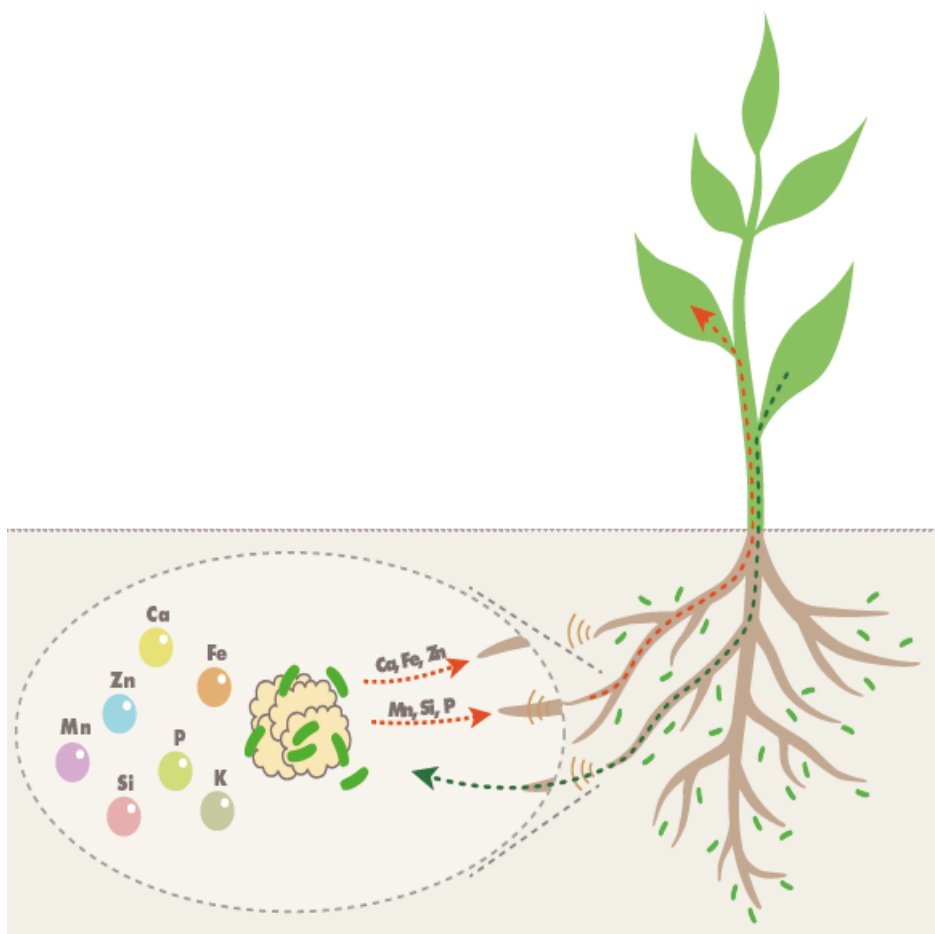


Schéma funkce bakteriálního preparátu FREE PK®

Možnosti ochrany rostlin s využitím nástrojů precizního zemědělství a integrované ochrany

Základem precizního zemědělství je aktivní práce s heterogenitou prostředí. Heterogenitou je v širším kontextu možné chápat proměnlivost prostředí v abiotické (půda, meteorologické jevy, voda, živiny, funkčnost postřikovačů atd.) a biotické podobě (biodiverzita, přítomnost škodlivých organismů, parazitoidů, predátorů). Z praktického pohledu je užitečné variabilitu prostředí nahlížet nejen z hlediska sledovaného faktoru (to, co způsobuje problém hodný pozornosti a řešení), prostoru (např. variabilita pozemku z hlediska půdních, vodních či morfologických poměrů) a času (např. začátek/maximum/konec výskytu

konkrétního škůdce, fenologická fáze vývoje rostliny atd.). Aktivním přístupem je popis, analýza, interpretace a syntéza těchto informací promítnutá do opatření, která se realizují na poli, v sadu či skleníku v návaznosti na odbornou rozvahu z pohledu biologických a agronomických znalostí a zkušeností. Precizní přístup zároveň klade nároky na přesnost činností ve smyslu kvality, jejich strukturování i kritické hodnocení s akcentem na data a faktech. Čím dál častěji se využívají modely, zpracování velkoobjemových dat a scénářové uvažování. Tradičně se využívá senzorová technika, která zažívá v posledních letech rozmach díky dostupnosti i novým možnostem zpracování přímo při sběru. Stejně tak dálkového průzkumu země i geolokační přesnost dat je na úrovni takové úrovně dostupnosti a kvality, že reálně přináší úspory z nevynaložených nákladů v některých oblastech spojených s hnojením polních plodin N nebo při managementu některých druhů plevelů (např. pcháč oset). Je evidentní, že nové pokročilé technologie mají v precizního zemědělství v integrované produkci plodin důležité postavení – od monitorování přes zpracování dat až po vyhodnocení informací. Vítanou předností je rychlost velkoplošného zisku dat v krátkém časovém úseku, které je možné opakovat do sestavené časových řad pro detekci trendů v dynamice faktorů. Pro vzorkování pozemku je možné využít širokou paletu senzorové techniky kontaktně či distančně.

V pozadí procesu sběru dat stojí premisa, že tato do té míry přesná, že jsou kvalitativně i kvantitativně vhodná pro další zpracování. Byť se toto může jevit jako samozřejmost, praxe dokládá obtíže plnění těchto nároků nebo dokonce přehlížení potřeby kontroly dat. Je-li toto splněno, tedy metodologicky korektní sběr s důležitými doplňkovými údaji (metadata), je možné přistoupit k samotnému zpracování dat korektními statistickými postupy a interpretací v biologickém/agronomickém kontextu. Zatímco sběr dat lze metodicky zaštitit a zpracování softwarově algoritmizovat a do značné míry zautomatizovat, pak

v posledním stupni hraje klíčovou úlohu kontextová biologická interpretace. Na tomto místě je třeba vyzdvihnout a zdůraznit nezastupitelnost roli agronoma s biologickým myšlením a jeho zkušeností. V centru správného využívání technologií a technologických postupů v precizním zemědělství tak nestojí na prvním místě technika, ať už jakkoliv sofistikovaná, ale člověk s pokročilým know-how, který ví, k čemu a proč tyto techniky využije a ve výsledku zhodnotí. A to jak v krátkodobém, tak i středně i dlouhodobém výhledu. Paradoxně je tento triviální poznatek klíčem i brzdou k pro rozšíření těchto technologií, neboť precizní technologie a integrovaný přístup k produkci i jejích ochraně vyhledávají a používají vysoce motivovaní zemědělci, kteří jsou schopni tento přístup úspěšně monetizovat na základě vyšší přidané hodnoty. Ta se neskrývá pouze v produkci jako takové, ale i v dalších statcích podstatných společnost i životní prostředí, které se promítají do pozitivních environmentálních i sociálních externalit.

Jak již bylo naznačeno – integrovaný přístup k produkci rostlin pracuje se všemi složkami, které mají vliv i na ochranu před škodlivými činiteli. Dále v textu jsou tedy krátce vyjmenovány a popsány technologie používané v precizním zemědělství synteticky využitelné v integrované produkci.

Variabilita abiotických faktorů může být způsobena různými faktory, jako jsou geografické podmínky, nadmořská výška, typ půdy, sezóna, klimatické podmínky – v oblastech s různými nadmořskými výškami se teplotní dynamika i srážkové úhrny mohou výrazně lokálně lišit, což může mít vliv na růst a vývoj vegetace. Podobně může mít různá půda různou kapacitu zadržování vody a živin, což ovlivňuje růst rostlin. Monitorování meteorologických proměnných je kromě toho důležité pro práci s různými plodinovými či teplotně vlhkostními modely pro simulační a predikční účely. Jejich integrace do systémů precizního

zemědělství polních plodin není prozatím tak samozřejmá jako například v produkci révy vinné či ovocnářství. V blízké budoucnosti se však předpokládá, že se stanou pevnou součástí komplexních expertních systému, které budou pomáhat při rozhodování nad velkými datovými soubory biologického, agronomického, meteorologického a ekonomického typu v podobě variant scénářů zohledňující konkrétní produkční cíl či záměr zemědělského podniku.

Optimalizace pojezdových linií nejjednodušeji zaveditelná do systému práce s nástroji precizního zemědělství, potažmo integrované produkce. Vyžaduje dostupnost hardware v podobě GNSS systémů s vysokou přesností, ideálně garantovanou kvalitou a dostupností RTK korekčního signálu, software pro optimalizaci trajektorií pojezdu a autopilotem vybavenou techniku. Samotný proces vychází z tvaru a morfologie půdního bloku (topografie terénu, překážky, příjezdy na pozemek). Softwarová optimalizace navrhne takový průběh linií, které minimalizují neproduktivní jízdy, otáčení na souvratích s ohledem na vynechané prostory. Výslednou pojezdovou linii je možné upravit s ohledem na průběh vrstevnic, nahrát v podobě souboru do autopilotu traktoru, kde jsou dále vymezeny kolejové meziřádky. Tímto způsobem jsou připraveny trasy pojezdů pro konkrétní agrotechnické operace. Organizace pojezdů tímto způsobem zároveň snižuje náklady na provoz aplikační

Technologie variabilního setí zohledňovat půdní podmínky pro dosažení optimální vzcházení, růstu a fitness plodin. V rozhodovacím řetězci pracuje s podkladovou aplikační mapu sestavenou na základě výnosového potenciálu. Podstatným rozhodnutím je volba strategie s ohledem na plodinu a odrůdu ve smyslu, kde zvyšovat/ snižovat výsevek. Výsledkem je různé množství jedinců v konkrétních zónách. Změna šířky řádků, hloubky setí a přítlak na secí botku s ohledem na dostupnost vody, velikost půdních agregátů, teploty další přístupem

k variabilnímu setí, který se snaží zohledňovat proměnlivost stanovištních podmínek, které se promítají do změny architektury rostlin, výšky porostu i alometrie (nerovnoměrnost růstu, vývinu) alokace energetických zásob mezi biomasu a výnos. Pro zemědělce se středním a vysokým výnosovým potenciálem nemá variabilní výsevek žádoucí ekonomický efekt. Při využití této technologie je podstatná i vyrovnanost porostu z hlediska kvality setí, tedy vyspělost techniky i zvládnutí postupu, na souvratích a v místech obsevů.

Variabilní hnojení je úspěšně rozšiřující se praktik, které pracuje s podkladem o zásobenosti půdy či rostlin živinami v kombinaci s výnosovým potenciálem. Strategie v tomto případě vychází z logiky zvýšeného odběru živin v místech realizovaného vysokého výnosového potenciálu. V těchto zónách je předpoklad zvýšení dávky. V místech nízkého výnosového potenciálu lze pak dávku adekvátně snížit. Takto nastavená variabilní strategie zásobního hnojení má ve spojení s průběžným vzorkováním pro skutečný stav živin potenciál zabránit přehnojování, resp. nedohnojování v rozdílných výnosových zónách.

Podobně hnojení dusíkem vychází ze základních map relativního výnosového potenciálu a znalosti obsahu N v rostlinách v klíčových vývojových fázích navázaných u obilnin především k regeneračnímu, produkčnímu, případně kvalitativnímu přihnojení. K průběžné kontrole výživového stavu vegetace je možné využít jak laboratorní rozbor, tak distanční metody spojené senzory s předpokladem korektní kalibrace. Opět je na místě rozvaha ohledně strategie aplikace N, která se v poslední době obecně přiklání k vyšším dávkám hnojení do míst s vysokým a středním výnosovým potenciálem a restrikcí do míst s nízkým potenciálem.

S tím úzce souvisí i precizní přístup k ochraně rostlin, která agreguje principy integrované ochrany s prostorovým aspektem a technickými možnostmi

spojenými moderních postřikovačů s vypínatelnými sekcemi či jednotlivými tryskami navázaných na telematiku zemědělské techniky. Pracuje se všemi informačními zdroji (vlastnosti/historie pozemku, rezistence odrůd, osevní postup atd.) a kontexty (socioekonomický, technický, meteorologický atd.) s cílem rozhodnout, zda je opodstatněné provádět nějaký zásah proti škodlivému organismu ať už jím je plevel, živočišný, houbový, bakteriální či virový původce potenciální škody na pěstované plodině. Zodpovězení otázky zda provést ochranné opatření není zcela triviální, jak by se mohlo na první pohled zdát. Tradiční rostlinolékařský přístup je orientovaný hledáním patologie systému, kde v centru pozornosti stojí škodlivý organismus. To není principiálně špatně neboť přesné určení příčiny problému, resp. přesná determinace je nenahraditelná a odvíjí se od ní další procesní kroky. Nicméně, z hlediska precizní ochrany rostlin a zodpovězení úvodní otázky je tomu předřazen fyziologický přístup, který se ptá „Jak velká část porostu je nezpochybnitelně zdravá?“. Odpověď může být totiž mnohem rychlejší, přitom časově i finančně méně náročná k zodpovězení. Zdravý porost lze totiž pomocí senzorové techniky snadno definovat, a následně i prostorově delimitovat

Pro sledování porostu je možné a vhodné porostu různé typy senzorů, které lze umístit fixně na pozemku, na zemědělské technice při prováděných pracovních či speciálních platformách typu jeřáb, letadlo, bezpilotní prostředek nebo satelitní nosič. Z hlediska typu čidla se v praxi ochrany precizní ochrany rostlin prosazují termální, spektrální (hyper-, multi-), radarové či aktivní laserové (LIDAR) senzory. Optimální je kombinace více typů senzorů, které pak umožňují fúzování datových vrstev krokovaných v časových řadách. Tento přístup dovoluje monitorovat dynamiku stavu porostu ve všech třech klíčových osách – faktorové, prostorové i časové. V případě, že informace z tohoto monitoringu indikují významný úbytek zdravého porostu směrem ke stresovanému, přichází ke slovu

přístup zaměřený na včasnou detekci patologických ohnisek. Zde jsou nezastupitelné termokamerové systémy, které, byť nespecificky, dokáží s velkým předstihem určit místa v porostu, která vykazují stresovou reakci rostlin. Ta vychází z principu – stresový podnět/uzavírání průduchů/zvýšení teploty povrchu rostlin. Efekt zavírání/otevírání průduchu provázený změnou povrchové teploty lze kvantifikovat pomocí teplotních indexů. Nejjednodušší index počítá s rozdílem povrchové teploty porostu (T_c) – aktuální teploty vzduchu (T_a), další rozšířený index CWSI se vypočte podle rovnice: $CWSI = (((T_c - T_a) - b) / (a - b))$, kde a je rozdíl mezi hodnotou aktuálního rozdílu teplot porostu a vzduchu ($T_c - T_a$) a spodní hraniční přímky pro plně transpirující porost při dané úrovni sytostního doplňku, b je rozdíl mezi $T_c - T_a$ a hodnotou maximálního rozdílu mezi teplotou vzduchu a nejvyšší teplotou netranspirujícího porostu a vzduchu.

V neposlední řadě lze ve spojitosti se spektrálními senzory sledovat změnu odrazivost vegetačního krytu pro podrobnější identifikaci biotických a abiotických stresorů, které vyvolávají snížení odrazivosti v oblasti NIR a nárůst v červené části spektra. Tyto změny jsou spojeny s posuny zastoupení jednotlivých rostlinných pigmentů. Jelikož ke změně dochází nejdříve v infračervené části spektra, je možné a vhodné navázat touto analýzou na termografickou detekci. Informace z multispektrálních nebo hyperspektrálních senzorů se informačně zjednodušují do podoby vegetačních indexů při využití jednoduchých aritmetických operací, které s dvou či více spektrálními pásmy pro zvýraznění vlastností zkoumané vegetace, jako například celkové množství a kvalita fotosyntetizujícího materiálu nebo stres v rostlině

S tím souvisí i potřeba rozlišovat podobné reakce rostlin vyvolané odlišnými podněty - výživovou deficiencí, toxicitou biocidních přípravků nebo hnojiv. V tento okamžik je vhodné tato prostorově lokalizované ohniska

prozkoumat s ohledem na původce. Zde přicházejí ke slovu tradiční metody polního vzorkování i laboratorních analýz, robustní metodologie sahající na škále od molekulárních metod (ELISA), přes metody založené na chemických (feromony) či fyzikálních principech (mikroskopování, ultrazvuk, NIR). Pokud je již systém v pokročilejší fázi patogeneze, která se může projevovat na úrovni strukturálních změn pletiv či fyziologie rostlin, je možné s úspěchem použít spektrální přístupy citlivé k těmto změnám (poměr zastoupení rostlinných barviv) či sledovat odlišnou růstovou dynamiku lidarovou technikou. Od determinace původce stresu, resp. zjištění intenzity / dynamiky / predikce vývoje se odvíjí další postupy a rozhodování směrem k přijmutí konkrétních opatření. Například v případě živočišných škůdců či houbových patogenů lze využít predikční modely založené na teplotních (vlhkostních) parametrech umožňujících časovou signalizaci potřebných chemických zásahů do předem vymezených ohnisek či zón výskytu.

Správné načasování ochranného zásahu se odvíjí od znalosti bionomie a biologie konkrétních druhů navázanou na dynamiku abiotických faktorů (teplota a vlhkost), které podmiňují rychlost jejich vývoje i šíření. V případě škodlivého hmyzu je dominantním faktorem určujícím rychlost jejich vývoje teplota. Ta je využívána v tzv. teplotních modelech, které na základě znalosti spodních prahů vývoje (SPV) a sumy efektivních teplot (SET) pro konkrétní druhy a jejich vývojová stadia determinují klíčové události (kladení vajíček, dobu vývoje larev, letovou aktivitu) spojené s predikcí časové dynamiky a timingu ochranných zásahů. Například pro mšici kyjátku travní je $SPV = 2.9^{\circ}C$ a $SET = 159ds$ (denní stupně /ds/ jsou hodnoty nad SPV). SET je kumulativní součet hodnot denních stupňů nad SPV, který se vypočítá $SETds = \sum ((T_{max}+T_{min})/2 - SPV)$, kde výpočet denní teploty $T=(T_{max}+T_{min})/2$ se nejvíce blíží hodnotě 24 hodinového průměru $\sum Th/24$ za předpokladu, že $T_{min} > SPV$. Po dosažení $SET = 159ds$ je vývoj mšic (narození-

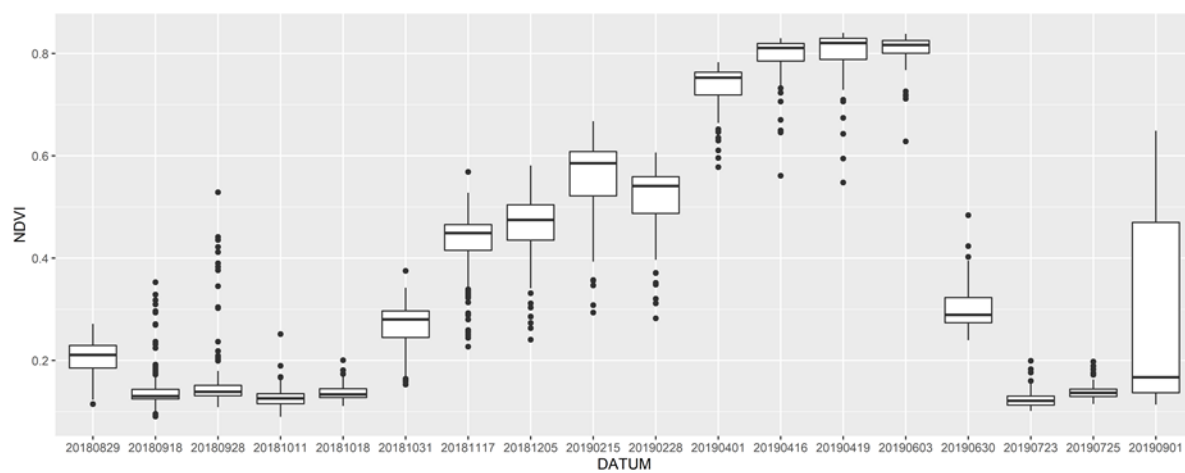
dospělost, resp. začátek nové generace mšic) a tedy i model, ukončen. Dlouhodobě je s úspěchem používán koncept tzv. prahů škodlivosti, který dovozuje, že existuje taková míra intenzity výskytu škodlivého organismu nad kterou je zdůvodnitelné (ať už z hledisky předpokládané škody nebo ekonomické ztráty) realizovat ochranný aplikační zásah. Potenciální ztráty na výnosu se liší v závislosti na odrůdě, pěstebních podmínkách konkrétním druhu škodlivého organismu v daných ekonomických podmínkách. Např. přítomnost 10 mšic kyjaty travní na praporcovém listu působí ztrátu váhy klasu o 6 %, 20 mšic o 12 % a 40 mšic o 17 %. Pro kyjátku osenní je uváděna při početnosti 5 mšic na klas ztrátu váhy klasu o 1 %, přítomnosti 10 mšic na klas působí ztrátu 8 % a 20 mšic poté ztrátu 17 % váhy klasu. Údaje zde uváděné jsou pravděpodobnostního charakteru s experimentální oporou v polních pokusech, přesto se mohou ve svých prahových úrovních lišit.

Pro houbové choroby je určující kombinace teploty a vlhkosti vzduchu, případně doba ovlhčení listů. Dostupnost a kvalita meteorologických dat, postihujících variabilitu sledovaného prostoru, jsou úzkým hrdlem přesnosti prediktivních modelů. Nejslabší místo celého systému je postihnutí variability lokálních meteorologických dat, resp. jejich dostupnost. Velmi dobře jsou modelové situace zpracovány pro trvalé kultury typu ovocných sadů a vinic, kdy bývá síť meteo čidel tradičně instalována a využívána. Ze sezónních plodin je podobně kvalitně zvládnutá i oblast v pěstování zeleniny.

U plevelů se úspěšně, kromě tradičních agrotechnických a chemických postupů, v poslední době prosazují i vysoce selektivní mechanické, laserové, elektrické ošetřovací techniky. V neposlední řadě nabývá na důležitosti vzájemné propojování senzorů při managementu sběru dat s využitím možností 5G sítí v podobě internetu věcí (IoT). On-line sběr dat a obrazová analýza umožňuje

v současnosti i automatizovanou detekci některých sledovaných druhů (např. obaleč kukuřičný) druhu, průběžné sledování, detekci prvního výskytu a celkové dynamiky výskytu v čase. V této souvislosti nelze nezmínit, že tato technologie sebou nese i zvýšené nároky na zabezpečení těchto sítí s ohledem na koncová zařízení a data samotná.

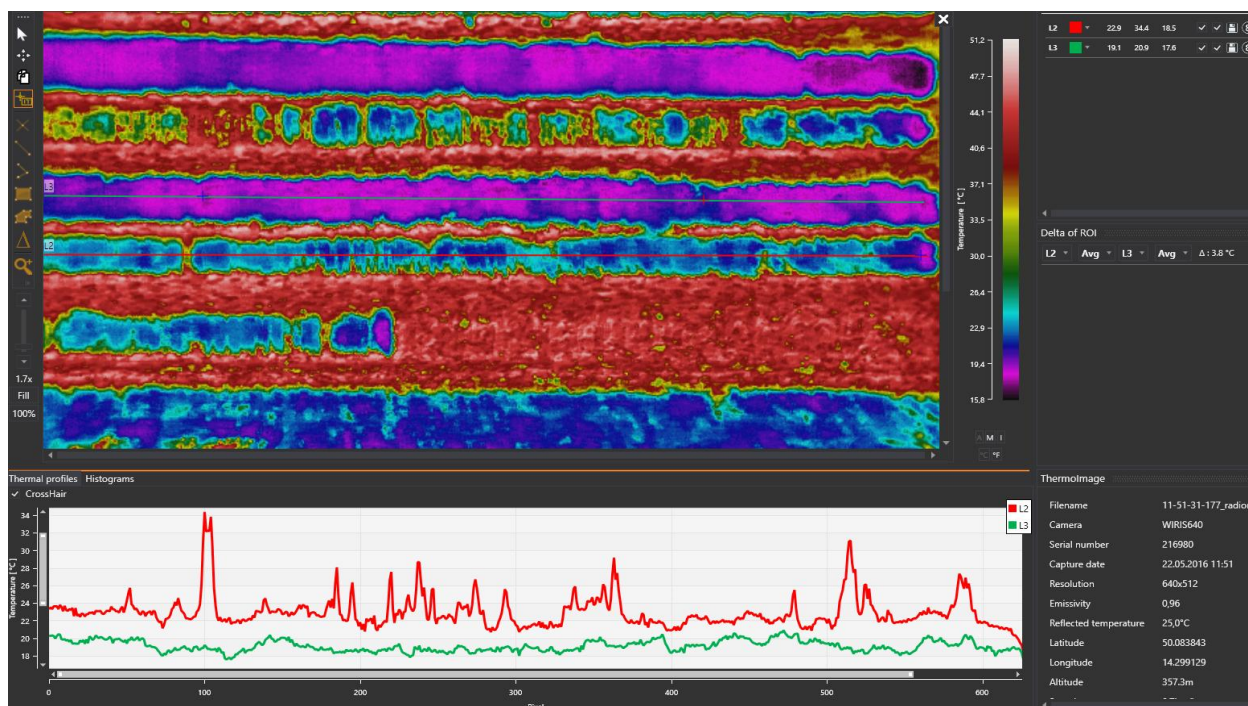
Navzdory velmi pokročilým a propracovaným metodám ochrany rostlin, je jejich integrace do praxe precizního zemědělství chápána více izolovaně než v souvislostech integrované ochrany a produkce. Důvody lze spatřovat v limitech technické vybavenosti i absenci vysoce kvalifikovaného personálu disponujícího sdílenými kompetencemi z oblasti biologických/agronomických/technologických/IT znalostí. Praktickou překážkou může být doposud neuspokojivé zvládnutí komplexního monitoringu škodlivých organismů nebo projevů jejich přítomnosti v prostorovém měřítku pro tvorbu podkladových aplikačních map, ale i koncovky v podobě strukturovaného ochranného zásahu v porostu zemědělských plodin, která vyžaduje v minimální podobě navigaci techniky nad aplikační mapou, v ideálním případě pak postřikovací techniku s vypínáním sekcí či konkrétních trysek. Tato technika není prozatím obecně rozšířená a v praxi využívaná v takové míře, aby mohla naplno využít všech výhod, které tato technologie nabízí.



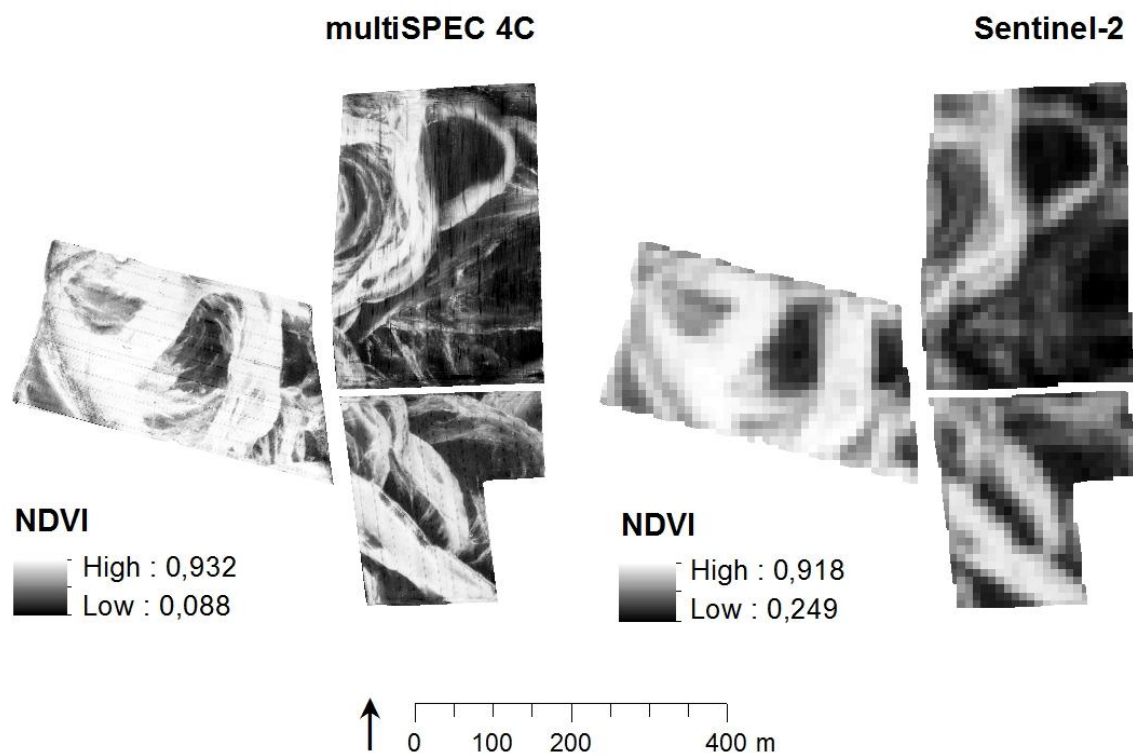
Obr. Příklad časové řady sběru spektrálních dat vyjádřených indexem NDVI na pozemku s ozimou pšenicí



Obr. Bezpilotní prostředek (UAV) s nádrží pro postřikovou jichu pro ochranu před škodlivými organismy



Obr. Využití termálního senzoru pro detekci BYDW. Červená křivka ukazuje reakci různých odrůd ozimé pšenice v podobě zvýšené teploty v povrchu listů ve srovnání se stejným setem kontrolních odrůd (zelená křivka).



Obr. Porovnání prostorového rozlišení a heterogenity pozemku z multispektrální kamery s rozlišením 10 cm na pixel a z družice Sentinel-2 s rozlišením 10 m na pixel.

Index	Vzorec	Reference
Xanthophylové indexy		
Fotochemický reflektanční index PRI_{570}	$(R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$	Gamon et al. (1992)
Normalizovaný PRI_{norm}	$PRI_{570} / [R_{DVI} \cdot (R_{700}/R_{670})]$	Berni et al. (2009)
Fotochemický reflektanční index PRI_{s15}	$(R_{515} - R_{531}) / (R_{515} + R_{531})$	Hernández et al. (2011)
sFotochemický reflektanční index $sPRI$	$(R_{560} - R_{510}) / (R_{560} + R_{510})$	Elvanidi et al. (2017)
Strukturální indexy		
Normalizovaný diferenční vegetační index $NDVI$	$(R_{790} - R_{670}) / (R_{790} + R_{670})$	Rouse et al. (1974)
Renormalizovaný diferenční vegetační index $RdVI$	$(R_{790} - R_{670}) / ((R_{790} + R_{670}) \cdot 0.5)$	Rougean and Breon (1995)
Optimalizovaný půdou adjustovaný vegetační index $OSAVI$	$(1 + 0.16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)$	Rondeaux et al., 1996
$mrSRI$	$(R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{670})$	Elvanidi et al. (2017)
$mrNDVI$	$(R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2 \cdot R_{445})$	Elvanidi et al. (2017)
Chlorofylové indexy		
Transformovaný chlorofylový absorbní a reflektanční index $TCARI$	$3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700}/R_{670})]$	Haboudane et al. (2002)
$TCARI / OSAVI$	$[3 \cdot [(R_{700} - R_{670}) - 0.2 \cdot (R_{700} - R_{550}) \cdot (R_{700}/R_{670})]] / [(1 + 0.16) \cdot (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0.16)]$	Gamon et al. (1992)
Vodní indexy		
Normalizovaný diferenční vodní index $NDWI$	$(R_{820} - R_{1240}) / (R_{820} + R_{1240})$	Gao (1996)
Jednoduchý poměrový vodní index $SRWI$	R_{800}/R_{1200}	Zarco-Tejada & Ustin (2001)
Index vodního pásma WBI	R_{970} / R_{900}	Peñuelas et al. (1997)
$NMDI$		
Moisture Stress Index MSI	R_{1600}/R_{820}	Hunt and Rock (1989)
Hyperspectral Normalized Difference Vegetation Index $hNDVI$	$(R_{900} - R_{685}) / (R_{900} + R_{685})$	Rouse et al. (1974)
Normalized Difference Infrared Index $NDII$	$(R_{820} - R_{1649}) / (R_{820} + R_{1649})$	Hardisky et al. (1983)
Maximum Difference Water Index $MDWI$	$(R_{max1500-1750}) - (R_{min1500-1750}) / ((R_{max1500-1750}) + (R_{min1500-1750}))$	Eitel et al. (2006)
Ratio Index	(R_{1650}/R_{1220})	Elvidge and Lyon (1985)

Tab. Příklady vegetačních indexů a způsobu jejich výpočtu

Literatura

K dispozici u autorů (lukas@vurv.cz, m.hluchy@biocont.cz)

Integrovaná ochrana v precizním zemědělství

Autor: Ing. Jan Lukáš, Ph.D.; Ing. Milan Hluchý, Ph.D.

Grafika: Česká technologická platforma pro zemědělství

Tiskárna: SYNERGIE: 4U s.r.o.

Vydání: první

Rok vydání: 2024

Za obsahovou a jazykovou správnost díla odpovídá autor.

Žádná část této publikace nesmí být kopírována nebo reprodukována bez písemného svolení autorů.