

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Fakulta rybnářství a ochrany vod

Ústav akvakultury a ochrany vod

Bakalářská práce

**Integrovaná ochrana rostlin v
akvaponických systémech**

(přehledová studie)

Autor: Jan Urbásek

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.

Studijní program a obor: B4103 Zootechnika, Rybnářství

Forma studia: Prezenční

Ročník: 3.

České Budějovice, 2022

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění, souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě. Zveřejnění probíhá elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

Podpis studenta: _____ Jan Urbásek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé práce doc. Ing. Janu Mrázovi, Ph.D. za jeho trpělivost, cenné připomínky a odbornou pomoc při vypracování této bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu při mém studiu.

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta rybnářství a ochrany vod

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Jan URBÁSEK
Osobní číslo: V18B040P
Studijní program: B4103 Zootechnika
Studijní obor: Rybnářství
Téma práce: Integrovaná ochrana rostlin v akvaponických systémech, přehledová studie
Zadávající katedra: Ústav akvakultury a ochrany vod

Zásady pro vypracování

Cílem bakalářské práce bude vypracovat literární rešerši zaměřenou na problematiku integrované ochrany rostlin v akvaponických systémech. Vzhledem k tomu, že je literatura zaměřená na tuto problematiku v akvaponických velmi omezena, bude práce vycházet především z dostupných informací o ochraně rostlin v hydroponických systémech či při pěstování rostlin ve sklenících. Úkolem studenta bude možnosti integrované ochrany z jiných systémů kriticky zhodnotit a navrhnout takové strategie, které by mohly být v různých akvaponických systémech využitelné. Dále vyzníká ty oblasti, které potřebují další vědecký výzkum a vývoj tak, aby mohla být integrovaná ochrana rostlin v různých typech akvaponických systémů komerčně využívána.

Rozsah pracovní zprávy: 30-50 stran
Rozsah grafických prací: dle potřeby
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

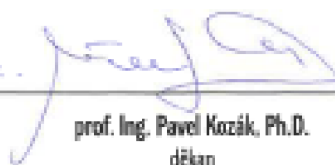
Seznam doporučené literatury:

Fujiwara, K., Iida, Y., Iwai, T., Aoyama, C., Inukai, R., Ando, A., Ogawa, J., Ohnishi, J., Terami, F., Takano, M., Shinohara, M., 2013. The rhizosphere microbial community in a multiple parallel mineralization system suppresses the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *Microbiology Open*, 2, 997-1009.
Graber, A., Junge, R., 2009. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246: 1477-156.
Hussein, M.A., Metwally, H.M., Abd Elraouf, M., 2015. Foliar application of native bio-formulated entomopathogenic nematodes against diamondback moth in aquaponic agriculture. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences* 6, 1030-1035.
Joly, A., Junge, R., Bardocz, T., 2015. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles* 1(2), 3-5.
Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C.J., Heinsbroek, L.T.N., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R., Verreth, J.A.J. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: a perspective on environmental sustainability. *Aquaculture Engineering* 43, 83-93.
Pilinszky, K., Bittsanszky, A., Gyulai, G., Komives, T., 2015. Plant protection in aquaponic systems. *Aquaculture* 435, 275-276.
Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R., Smits, T.H.M. 2017. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology* 199, 613-620.
Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A. 2014. Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589*. Rome, FAO. 262 s.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.
Ústav akvakultury a ochrany vod

Datum zadání bakalářské práce: 11. ledna 2019
Termín odevzdání bakalářské práce: 4. května 2020

V Českých Budějovicích dne 25. února 2019

U. z. 
prof. Ing. Pavel Kozák, Ph.D.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD
Základní číslo: 728/01
369 25 Vodňany (2)

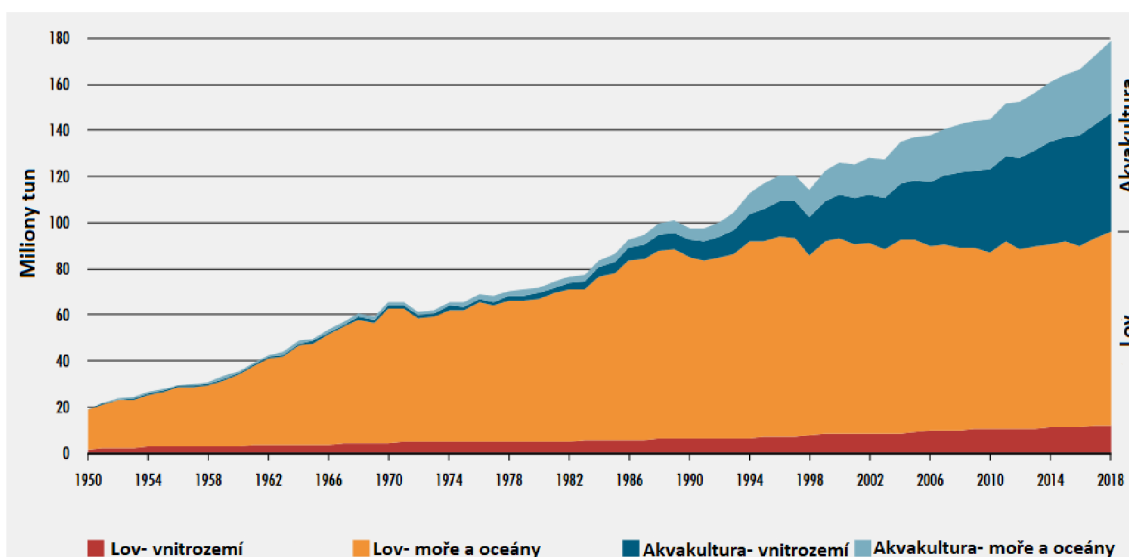

doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D.
ředitel

Obsah

1. Úvod	7
2. Akvaponický systém	8
2.1. Jednosmyčkový systém	9
2.2. Dvousmyčkový systém	12
2.3. Vícesmyčkový systém.....	13
3. Integrovaná ochrana rostlin.....	14
4. Posouzení opatření na ochranu rostlin pro jejich použití v akvaponických systémech.....	16
4.1. Preventivní opatření.....	16
4.1.1. Bariérový způsob pěstování rostlin	16
4.1.2. Systém all in – all out	17
4.1.3. Kontrola kvality vstupního materiálu.....	17
4.1.4. Kontrola kvality závlahové vody.....	18
4.1.5. Monitoring výskytu patogenních organismů v pěstebním prostředí.....	18
4.1.6. Pěstování rostlin odolných vůči ekonomicky významným chorobám a škůdcům	19
4.1.7. Kontrola pěstebních podmínek.....	19
4.1.8. Kontrola zdravotního stavu rostlin.....	20
4.2. Cílené zásahy proti chorobám a škůdcům	20
4.2.1. Fyzikální způsoby ochrany.....	21
4.2.2. Biologická ochrana	22
4.2.3. Komerční přírodní přípravky určené k ošetření rostlin.....	30
4.2.4. Rostliny s potenciálním využitím k IOR v akvaponických systémech.....	32
4.2.5. Chemická ochrana	35
4.2.6. Vyhodnocení toxicity vybraných insekticidů a fungicidů	37
4.2.7. Dopady aplikace pesticidů na biologickou filtraci.....	41
4.2.8. Vliv pesticidů na mineralizaci	42
5. Zhodnocení problémů a návrh dalšího vývoje	43
6. Závěr.....	46
7. Přehled použité literatury	47
8. Přílohy	59
8. Abstrakt.....	60
9. Abstract	61

1. Úvod

Poptávka po rybách jako potravíně je celosvětově velmi vysoká a v současné době je již zřejmé, že přirozená produkce ekosystémů tuto poptávku nebude schopna pokrýt. Zintenzivnění rybolovu je prakticky nemožné, množství ulovených ryb stagnuje již od devadesátých let dvacátého století (FAO, 2018). Populace některých druhů mořských ryb již zkolabovaly a přes zavedenou ochranu se nedaří jejich populaci obnovit (Hutchings a Reynolds, 2004, Essington a kol., 2015). Možným řešením uspokojení poptávky je zvýšená produkce ryb v akvakulturních systémech. V roce 2018 dosahovala téměř poloviny celosvětové spotřeby ryb pro lidskou konzumaci a má stoupající tendenci (FAO, 2020).



Graf č. 1: Graf vývoje produkce ryb a lovu (přepřacováno z FAO 2020)

Akvakulturní systémy se intenzivně vyvíjí. Příkladem tohoto vývoje jsou třeba akvaponické systémy, které byly vyvinuty na základě již zaběhlých recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) s cílem využít jejich odpady (Lennard a Leonard, 2004). Oba systémy pracují s alespoň částečně uzavřenou cirkulací vody, díky tomu jsou vhodné i pro oblasti s relativním nedostatkem vody. Jedním z hlavních problémů RAS jsou živiny, které se ve vodě akumulují. Vypouštění těchto na živiny bohatých vod má poté negativní vliv na ekosystém (Martins a kol. 2011).

Akvaponický systém sdružuje produkci ryb s produkcí rostlinnou, zejména produkcí zeleniny (Diver a Rinehart, 2000). Začlenění rostlinné produkce je v tomto systému velmi důležité, protože odpadní látky vznikající při chovu ryb jsou využívány rostlinami a představují pro ně živiny. Zlepšují tak kvalitu vody a zvyšují využití živin obsažených v krmivu ryb (Hu a kol., 2015).

Rizikovým faktorem akvaponických systémů je jako u každého intenzivního systému chovu ryb a systému pěstování rostlin výskyt chorob ryb i rostlin. Léčebná a preventivní opatření musí brát v úvahu obě složky systému (Folorunso a kol., 2020). To omezuje použití určitých přípravků, které by mohly být toxické pro ryby nebo naopak pro rostliny, či by v nich mohly zanechávat rezidua nepřijatelná pro následné využití rostlin nebo ryb jako potraviny (Rakoczy a kol., 2012). Tato bakalářská práce shrnuje poznatky o akvaponických systémech a ochraně rostlin v nich. Součástí práce je porovnání toxicity vybraných přípravků pro ochranu rostlin pro ryby chované v těchto systémech. Přestože všechny zvolené přípravky jsou schválené pro použití v systému integrované ochrany rostlin, některé z nich jsou pro ryby vysoce toxické a jejich použití v akvaponických systémech může být velmi rizikové. Dále jsou v práci navržena vhodná řešení problémů se škůdci a chorobami ve vztahu k různým typům akvaponických systémů.

2. Akvaponický systém

Akvaponie jsou multi-trofickým systémem, který kombinuje prvky recirkulačního chovu ryb a hydroponie (Tidwell a kol., 2012). V těchto systémech je na živiny bohatá voda využívána k růstu rostlin. Tento princip probíhá v přírodě na všech stojatých i tekoucích vodách a lidé jej využívají od pradávna. Příklady využívání principů akvaponie jsou známy již od Aztéků z období 1150-1350 před našim letopočtem, kteří využívali mělkých jezer k pěstování plodin (Turcios a kol., 2014). Dalším příkladem je kombinace chovu ryb a pěstování rýže z jihovýchodní Asie. Tato praktika se zde objevuje již před 1500 lety (Coche, 1967). Základy moderních akvaponických systémů byly vytvořeny na konci 70. a počátku 80. let vědci z New Alchemy Institute na Státní univerzitě Severní Karoliny v USA (Love a kol., 2014). Průzkum provedený týmem pod vedením Davida C. Lova z roku 2014 ukazuje, že zájem o akvaponii má rostoucí trend, což zjevně odráží stále rostoucí lidskou potřebu po efektivnějším a ekologičtějším zemědělství.

Největší výzvou pro provozovatele akvaponických systémů je jejich složitost a komplexnost. Při budování a následném provozu je nutné zahrnout celou řadu nezbytných multidisciplinárních faktorů. Právě komplexnost a složitost akvaponického systému je největší výzvou pro provozovatele. Kromě správně navrženého provozu z hlediska stavebního projektu a samotné technologie je potřebné zvládnout akvaponickou výrobu po stránce biologické, biochemické a biotechnologické (Yep a Zheng, 2019). V neposlední řadě je požadována znalost výpočetní techniky v rámci správy automatického počítačového systému, který řídí podmínky v akvaponickém prostředí. Mezi kritické faktory vyžadující stálou kontrolu a korekci patří pH vody, obsah živin a fosforu ve vodě a ochrana před škůdci a nemocemi (Shafeena, 2016).

U akvaponických systémů rozeznáváme tři základní typy, které mohou být dále modifikovány a rozšiřovány. Prvním z nich je jednosmyčkový systém (anglicky: coupled [one-loop] system), druhým je dvousmyčkový systém (anglicky: decoupled [double-loop] system) a třetím typem je vícesmyčkový systém (anglicky: decoupled [multi-loop] system) (Goddek a kol., 2019). Tyto systémy jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách 2.1., 2.2. a 2.3.

2.1. Jednosmyčkový systém

Jednosmyčkový akvaponický systém

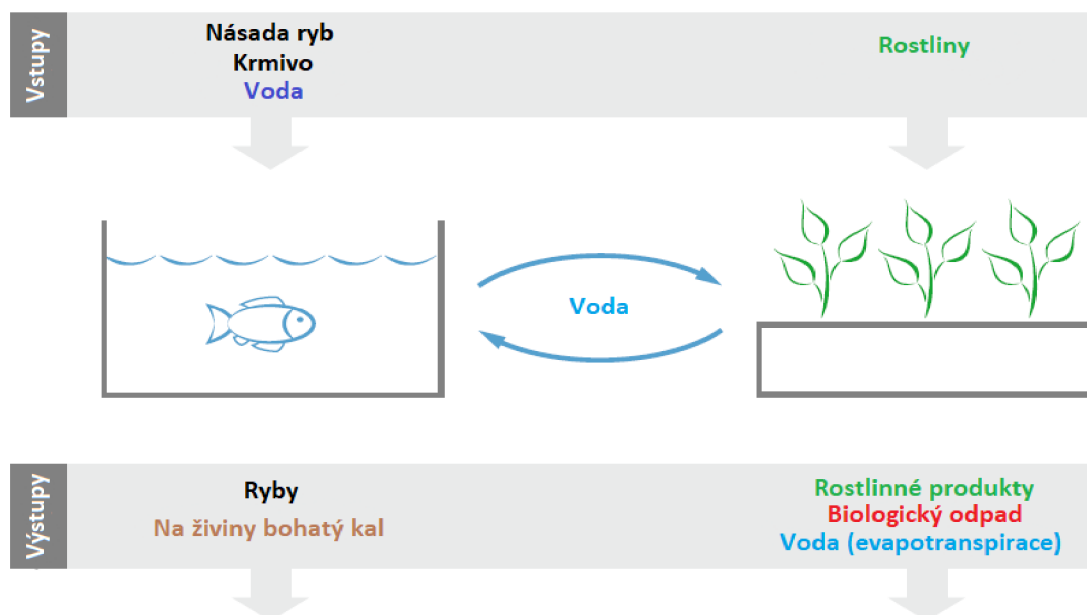


Schéma č. 1: Jednosmyčkový akvaponický systém (přepřacováno z Aquaponics food production systems, Goddek a kol., 2019)

Schéma č. 1 zobrazuje jeden ze tří základních typů akvaponického systému. Jednosmyčkový systém je založen na přímé cirkulaci vody mezi chovnými nádržemi a pěstebními záhony. V různých úpravách se jedná o nejběžněji používaný systém v komerčních akvaponických systémech (Shafeena, 2016). Ve výše uvedeném schématu se jedná o nejméně sofistikovanou verzi jednosmyčkového systému, kterou lze v praxi rozšiřovat o další části, aby se zvýšila jeho efektivita a možnosti praktického využití. Jako možná rozšíření lze použít například biologickou filtraci, která zefektivní odbourávání dusíkatých látek. Další možností je použití mechanické filtrace, která přímo sníží problémy se zanášením systému kaly a dalšími nečistotami, které při provozu vznikají (Surnar a kol., 2015). Je vhodné také využít UV lampy, které zabíjí bakterie a jiné patogeny ve vodě a tím snižují riziko propuknutí chorob u ryb (Pantarella a kol., 2015).

Jednosmyčkový systém má své výhody i nevýhody. Ty, které považují za nejdůležitější, jsou popsány v následujících odstavcích. Jak je výše zmíněno, tak voda stále cirkuluje mezi chovnými nádržemi a pěstebními záhony v uzavřeném oběhu. Díky tomu lze takový systém použít i v oblastech, kde jsou problémy s dostatkem vody, neboť stačí kompenzovat vodu z evapotranspirace. Nenáročnost na zdroj vody umožňuje použití jednosmyčkového systému v místech, kde by konvenční chov ryb i pěstování rostlin byl problematický právě z důvodu nedostatku vody (Goddek a kol., 2019).

Další výhodou je snížení ekologického dopadu chovu ryb na životní prostředí, protože nedochází k vypouštění na živiny bohatých vod do přírody, které při intenzivním chovu ryb mohou způsobovat problémy v ekosystému (Martins a kol. 2011).

Uzavřenost tohoto akvaponického systému je však spojena i s problémy. Jedním z nich je nutnost téměř perfektního vyvážení „rostlinné“ a „živočišné“ části, protože pokud tyto dva sektory nejsou v rovnováze, tak buď dochází k hromadění živin ve vodě (následkem toho k problémům s rybami) nebo naopak k nedostatku živin, což má za následek špatný růst rostlin (Yep a Zheng, 2019). Tato nutnost vyvážení potom systém omezuje ve výběru druhů chovaných ryb i pěstovaných rostlin a nutí k přísnému dodržování poměru obou klíčových článků, což zvyšuje náročnost plánování pěstebních cyklů ve spojitosti s cykly chovu ryb (Delaide, 2017).

Uzavřené propojení části chovné a pěstební také komplikuje možnosti obohacování vody o živiny, které jsou esenciální pro dobrý růst rostlin a jejich prosperitu, protože to může mít negativní dopad na chované ryby (Delaide, 2017).

Problémy také mohou nastat s chorobami a parazity, kteří se při absenci UV lampy dokážou silně a rychle rozšířit v chovné části a způsobit velmi závažné problémy následkem vysoké koncentrace chovaných ryb při relativně nízkém objemu vody (Pantanella a kol., 2015), která nepřetržitě cirkuluje v uzavřeném prostředí.

To, že voda z pěstebních záhonů jde bez jakékoliv zásadní úpravy zpět do chovných nádrží, omezuje rostlinolékařské možnosti, protože velká část konvenčně používaných metod k ošetření rostlin má negativní dopad na vodní organismy a tím je nelze využít v jednosmyčkovém systému. Jejich použití by tak mohlo mít za následek úmrtí ryb a prospěšných bakterií (třeba z biologické filtrace) (Goddek a kol., 2019).

Dalším nedostatkem tohoto systému je ztráta živin v kalech z chovných nádrží. Tyto kaly vznikají ze zbytků potravy a výkalů ryb, a díky tomu obsahují velké množství živin. Tyto živiny však nelze v rámci jednosmyčkového systému efektivně využít a je tedy nutné kal odstraňovat, což snižuje efektivitu využití živin z krmiva (Delaide, 2017).

2.2. Dvousmyčkový systém

Dvousmyčkový akvaponický systém

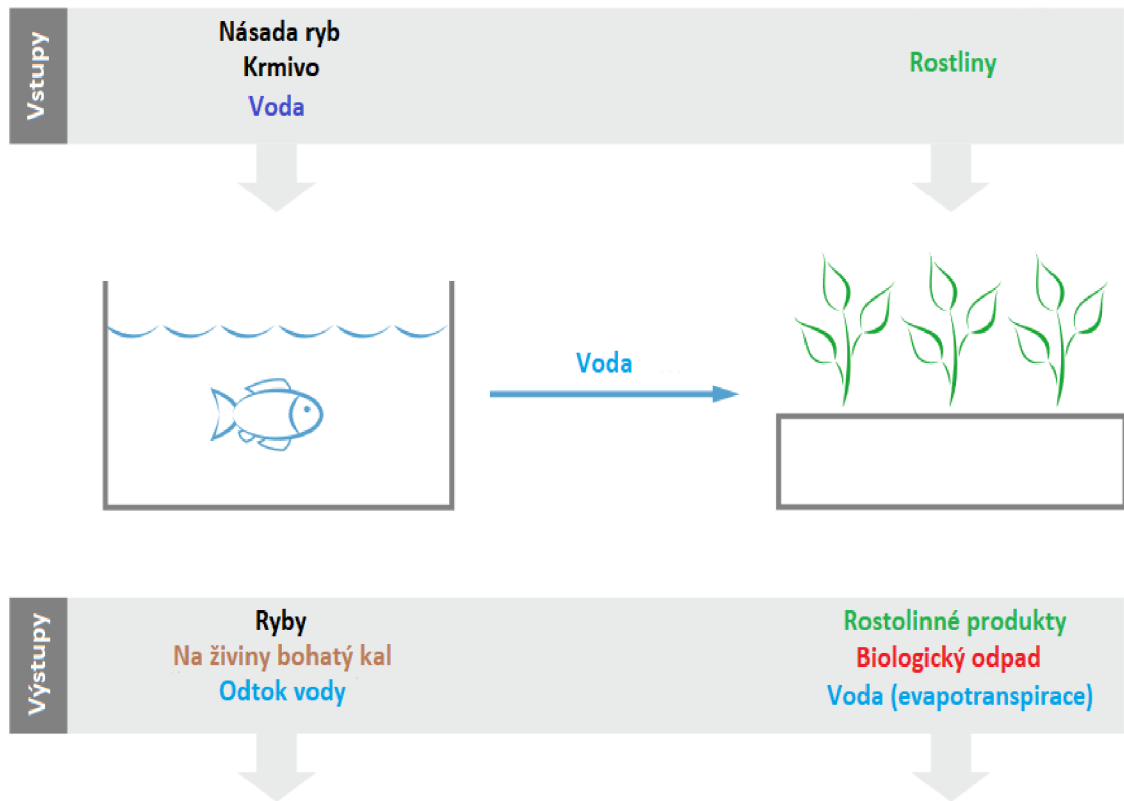


Schéma č. 2: Dvousmyčkový akvaponický systém (přepřacováno z Aquaponics food production systems, Goddek a kol., 2019)

Na schématu č. 2 je zobrazena varianta systému s dvěma okruhy. Hlavním rozdílem mezi jednosmyčkovým systémem a dvousmyčkovým je, že se voda ve dvousmyčkovém systému nevrací z rostlinné části přímo do části chovné (Goddek a Keesman, 2020). V případě systému na schématu č. 3 se voda do chovné části nevrací vůbec. Toto rozvržení má stejně jako předchozí svá úskalí, ale i výhody.

Částečné oddělení dvou hlavních částí (chovné a pěstební) přináší hned několik výhod. Díky tomuto rozdělení lze nastavit vhodnější podmínky jak pro chov ryb, tak pro pěstování rostlin, čímž lze dosáhnout lepších výsledků, protože není nutné dosahovat kompromisu parametrů vody. V praxi to znamená, že lze pro ryby nastavit co nejvhodnější podmínky chovu (pH, teplota, množství rozpuštěných látek ve vodě, ...) a to stejné platí i pro rostliny. To přináší možnosti zefektivnění obou částí a dosažení větší produktivity. Díky tomu lze také vybírat z širší palety pěstovaných rostlin i chovaných ryb a lépe reagovat na požadavky trhu (Goddek a Keesman, 2020).

2.3. Vícesmyčkový systém

Vícesmyčkový akvaponický systém

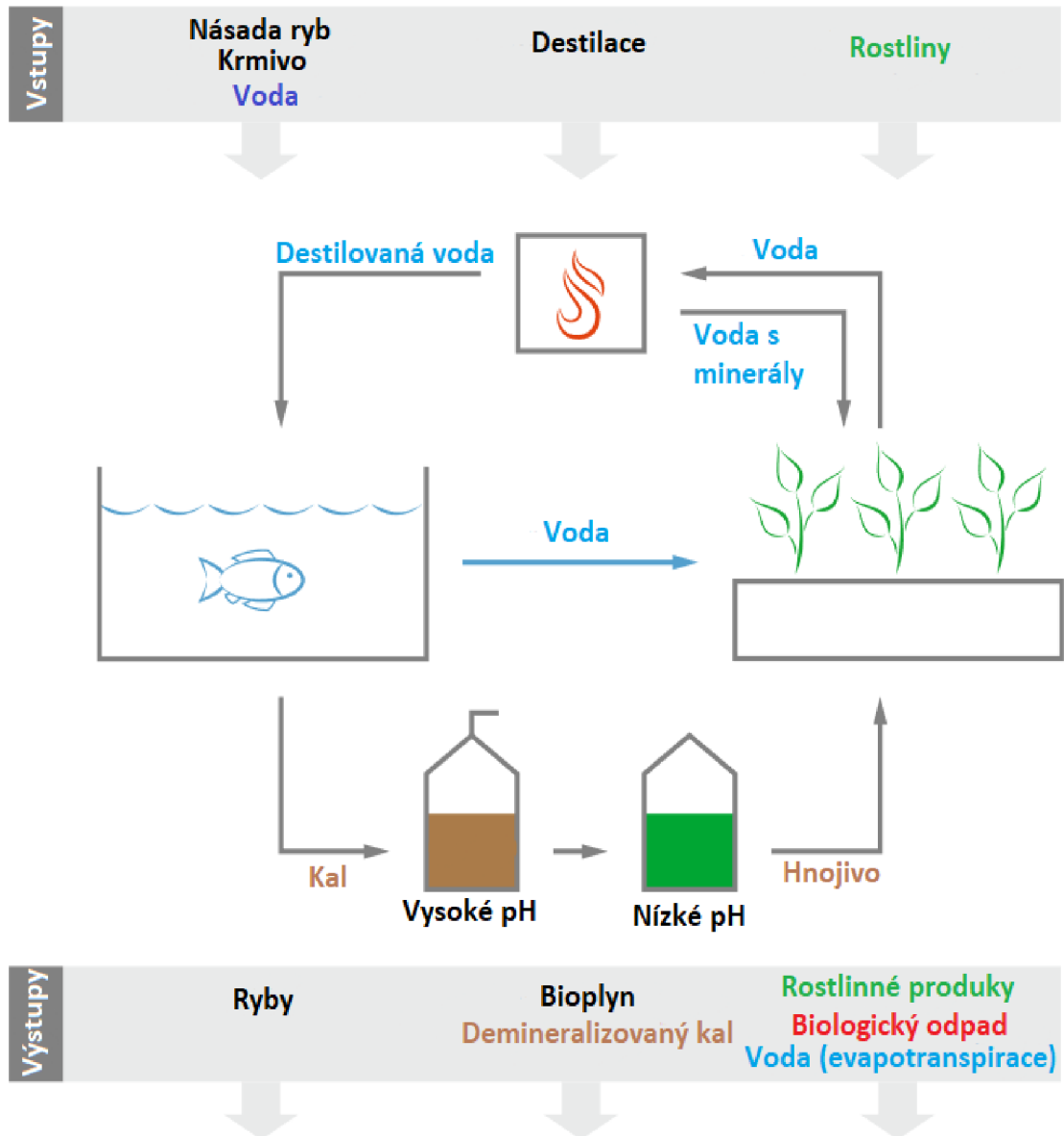


Schéma č. 3: Vícesmyčkový akvaponický systém (přepřeváno z Aquaponics food production systems, Goddek a kol., 2019)

Schéma č. 3 pojednává o vícesmyčkovém systému, který má co nejvíce zefektivnit využití živin, minerálů a vody v systému. Oproti předchozím dvou zmíněným systémům dochází ke zpracování na živiny bohatého kalu pomocí bioreaktoru, díky tomuto procesu získáme hnojivo pro rostliny a také vedlejší produkt – bioplyn (Delaidé a kol. 2019). Další součástí zobrazeného systému je destilace, sloužící k udržení minerálů v rostlinné části produkce, aby měly potřebné živiny a nedocházelo k nutnosti kompromisu v kvalitě vody z pohledu ryb (Goddek a kol. 2019).

3. Integrovaná ochrana rostlin

Integrovaná ochrana rostlin (IOR) začala vznikat po druhé světové válce, kdy si lidé začali uvědomovat, že nevybíravé používání pesticidů bude do budoucna ekologicky problematické. První projekty spojené s IOR byly zaměřeny na žluťásku *Colias eurytheme* a mšice *Theriophis trifolii* (Ehler, 2006). Od té doby se stala IOR dominantním paradigmatem, avšak její reálné použití v zemědělství zůstává stále nízké (Parsa a kol., 2014). Jak již bylo nastíněno, tak stále nedošlo ke globálnímu snížení objemu používaných pesticidů. Dále také dochází k šíření škodlivých organismů po celém světě, které je způsobeno snadnější přepravou zboží a lidí na větší vzdálenosti a také klimatickými změnami, což má za následek výskyt většího množství různých škodlivých organismů. Tyto invazní organismy poté přináší nové výzvy pro efektivní využití IOR (Pretty a kol., 2015).

IOR je strategie kontroly škůdců, chorob a plevelů, která se zaměřuje na dlouhodobou prevenci a potlačení výskytu škůdců, chorob a plevelů při co nejnižším dopadu na lidské zdraví, životní prostředí a necílené organismy (Flint a kol., 2021). Koncept IOR je založen na mnoha různých způsobech ochrany, mezi které patří biologická ochrana (používání přirozených nepřátel škůdců, chorob a plevelů), úprava pěstebních podmínek, zodpovědná aplikace chemických prostředků a další (Mullen a kol., 1997).

Podle logického řetězce událostí, které mohou nastat, jsou stanoveny základní principy používané v IOR (Barzman a kol., 2015), které lze dále rozvíjet a upravovat podle aktuální situace a zkušeností.

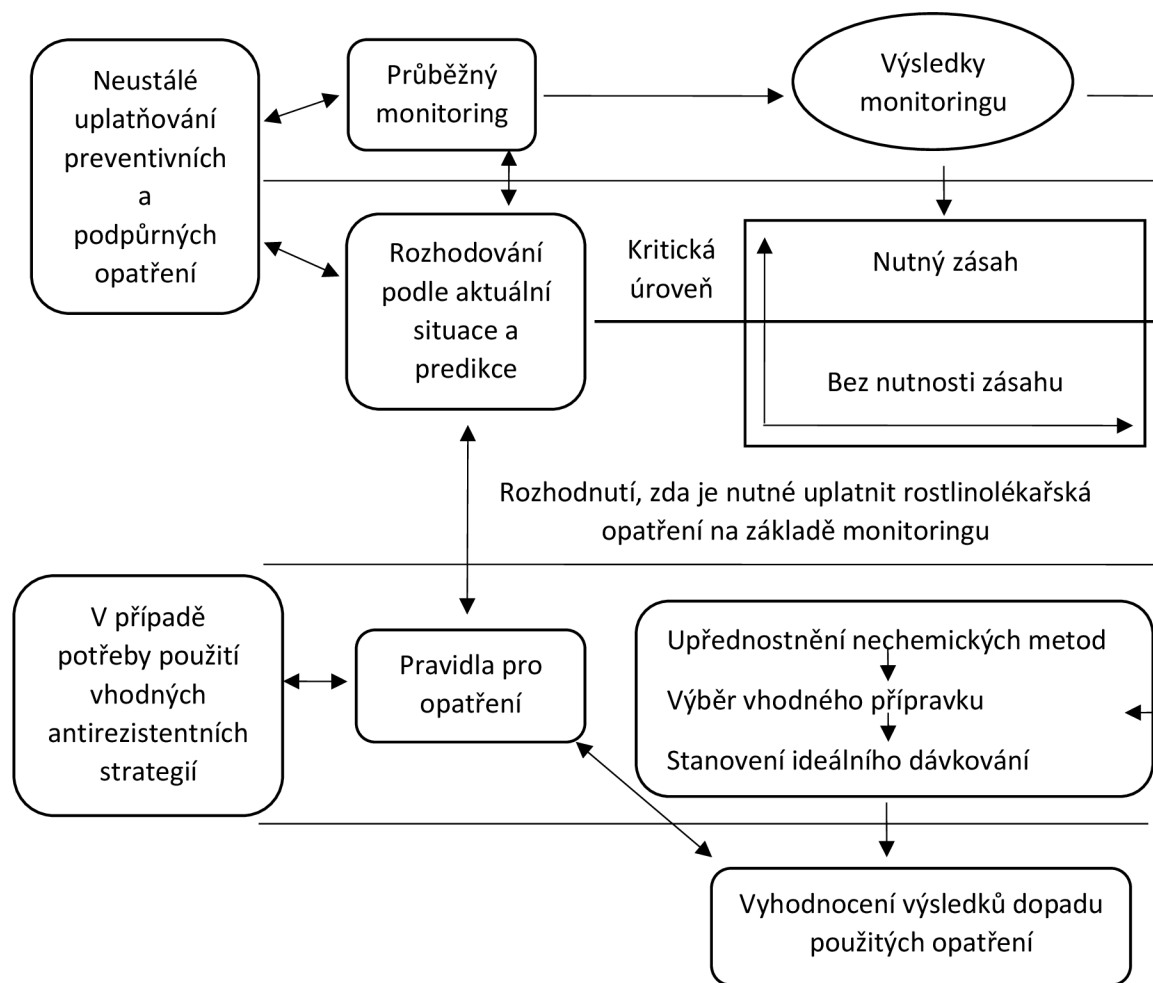


Schéma č. 4: Zjednodušené schéma principů používaných v IOR (přepřacováno z Barzman a kol., 2015)

4. Posouzení opatření na ochranu rostlin pro jejich použití v akvaponických systémech

4.1. Preventivní opatření

Preventivní opatření mají za cíl omezit riziko proniknutí patogenních organismů do produkčního prostředí. Vzhledem k uzavřenému charakteru akvaponických systémů je zavedení preventivních opatření do těchto systémů po technické stránce možné a může vést k dobrým výsledkům. Preventivní opatření by tak mohla být základem pro úspěšné pěstování rostlin v akvaponických systémech. Inspirací pro zavedení různých preventivních opatření můžeme hledat v mnoha oblastech činností, zejména vysoko-produkčních systémech rostlinné (Canadian Food Inspection Agency, 2017), ale i živočišné výroby (Ontario Livestock & Poultry Council – Home, 2012).

4.1.1. Bariérový způsob pěstování rostlin

Bariérový způsob pěstování rostlin spočívá v izolaci pěstebního prostředí od okolního prostředí, v angličtině je označován jako Controlled Environment Agriculture (CEA) (Shamshiri a kol., 2018). Uzavřený systém brání průniku patogenních organismů do pěstebního prostředí, navíc umožňuje snadnější regulaci pěstebních podmínek.

Vstup pracovníků do pěstebního prostředí by měl být vybavený hygienickou smyčkou, kde si pracovníci vymění oblečení a obuv. Vzduch na vstupu by měl být filtrován, technologie by měla být bezokenní. Bariérový způsob pěstování je využíván ve vysokoprodukčních sklenicích a hydroponických systémech (Shamshiri a kol., 2018).

Výhody: při dodržení doporučených operačních postupů je možné výrazně omezit riziko průniku patogenních organismů do pěstebního prostředí.

Nevýhody: vyšší finanční náklady na pořízení technologie, její údržbu a vyšší nároky na pracovníky.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky možné, nejlépe již při návrhu systému.

4.1.2. Systém all in – all out

Systém je založen na turnusovém managementu pěstebních cyklů. Mezi jednotlivými pěstebními cykly je veškerý rostlinný materiál z produkčního prostředí odstraněn. Pěstební prostředí tak může projít důkladnou očištěnou nebo i dezinfekcí (Kleczewski a Egel, 2011). Systém je používán v hydroponických produkčních systémech, ale princip all in – all out je široce využíván i ve vysokoprodukční živočišné výrobě (chov brojlerů, produkce vajec, výkrmových prasat) (Scheidt a kol., 1995). Tento způsob pěstování je vhodný zejména pro krátkodobé kultury.

Výhody: při dodržení doporučených operačních postupů je možné eliminovat výskyt patogenních organismů mezi jednotlivými pěstebními cykly. Brání usídlení patogenu v pěstebním prostředí.

Nevýhody: pěstební technologie musí být pro systém all in – all out přizpůsobená. Musí být izolovaná od okolního prostředí a technické vybavení musí být uzpůsobeno pro snadnou a účinnou očištění a dezinfekci. To zvyšuje finanční náklady.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: pokud je při návrhu akvaponického systému s all in – all out systémem počítáno, je jeho použití možné. Je nutné vzájemné přizpůsobení chovu ryb s turnusovým pěstebním systémem rostlin.

4.1.3. Kontrola kvality vstupního materiálu

Materiál vstupující do pěstebního prostředí by měl být prostý patogenních organismů a jejich zárodků. Je nutné kontrolovat pěstební substrát (pokud se používá) na výskyt plísní, vajíčků parazitů, chemické složení, pH a podobně (Papasolomontos, 2013). Rostlinný materiál by měl být kontrolován na výskyt virových a bakteriálních onemocnění, patogenních plísní a hub a parazitů. V případě možnosti je vhodná karanténa vstupního rostlinného materiálu. Kvalitní a bezpečný vstupní materiál je naprosto nezbytný pro úspěšnou produkci (Getter, 2015). V živočišné produkci jsou zavedené tzv. SPF chovy. Jedná se o chovy prosté specifikovaných patogenů (v angličtině specified pathogen free) (Furuta a kol., 1980).

Výhody: eliminace rizik znehodnocení pěstebního prostředí, popřípadě pěstebního cyklu.

Nevýhody: vyšší finanční náklady na testování materiálu, popřípadě nákup certifikovaného materiálu nebo náklady na karanténu rostlin.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné, ale je nutné zvýšit požadavky na kvalitu rostlinného materiálu nad rámec povinných fyto-sanitárních opatření daných legislativou.

4.1.4. Kontrola kvality závlahové vody

Závlahová voda pro produkci rostlin musí mít vhodné složení obsahu potřebných živin, pH, teploty a bakteriálního složení (Goddek a kol., 2015).

Výhody: předpoklady pro dobrý růst rostlin, kontrola výskytu reziduí léčiv v produkovaných rostlinách.

Nevýhody: finanční náklady na analýzu složení vody

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné.

4.1.5. Monitoring výskytu patogenních organismů v pěstebním prostředí

Ve vysokoprodukčních pěstebních systémech je potřebná kontinuální kontrola růstu a zdravotního stavu rostlin, aby bylo možné při výskytu prvních příznaků poruch růstu nebo projevů onemocnění či výskytu škůdců, zavést co nejdříve potřebná opatření pro nápravu problému a zamezení šíření choroby případně škůdců na další rostliny (Folorunso a kol., 2020). Monokultura pěstovaných rostlin v umělém prostředí bez rozvinutého ekosystému vzájemně se regulujících různých organismů může mít za následek explozivní šíření choroby nebo škůdců (Wenda-Piesik a Piesik, 2021). Podcenění kontroly zdravotního stavu rostlin tak může vést ke ztrátě produkce celého produkčního systému. Kontrola zdravotního stavu rostlin bývá zejména vizuální, ale například pro kontrolu výskytu létajících škůdců se využívají atrahující lepkové pásy (Cornell Greenhouse Horticulture). Při výskytu nespecifických příznaků poruch růstu nebo choroby je vhodné podrobné laboratorní vyšetření.

Výhody: včasná diagnostika umožňuje brzké zavedení opatření pro nápravu poruchy růstu nebo pro eliminaci či potlačení výskytu choroby nebo škůdce. Umožňuje předcházet velkým ekonomickým ztrátám způsobených poškozením produkce.

Nevýhody: je potřebný vysoce kvalifikovaný personál.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné.

4.1.6. Pěstování rostlin odolných vůči ekonomicky významným chorobám a škůdcům

Snaha o snížení spotřeby chemických přípravků na ochranu rostlin vede mimo jiné k motivaci šlechtit rostliny alespoň částečně odolné vůči ekonomicky důležitým chorobám. V poslední době tak byly zavedeny například odrůdy okurek nebo rajčat odolných vůči několika různým patogenům (McGrath a kol., 2012).

Výhody: menší vnímavost a případné ztráty při zavlečení choroby nebo škůdců do produkčního systému.

Nevýhody: složitější šlechtění zohledňující nejen produkční vlastnosti rostlin a nároky konzumentů, ale také odolnost vůči vybraným patogenním organismům.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné.

4.1.7. Kontrola pěstebních podmínek

Vzhledem k možnosti úpravy a řízení klimatu v pěstební části systému lze výskyt a rozvoj chorob a škůdců částečně regulovat tím, že jim nedáme vhodné podmínky k životu a k tomu, aby prosperovali. Tímto způsobem se zamezí zásadnějšímu ekonomickému dopadu na produkci (Papasolomontos, 2013). Regulace pěstebních podmínek však primárně slouží k nastavení takového klimatu, které vyhovuje rostlinám, protože silné a zdravé rostliny jsou parazity a chorobami napadány méně a samy se dokážou efektivněji bránit (Hasan a kol., 2018).

Výhody: v komerčních akvaponiích lze tyto podmínky upravovat pomocí automatizovaných systémů nebo pár „kliknutími“ v řídicím systému.

Nevýhody: nelze těchto opatření využívat u všech problematických patogenních organismů, kvůli potřebě nastavení vhodných pěstebních podmínek pro rostliny, které jsou zároveň dobré nebo přímo ideální také pro některé choroby a škůdce.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné.

4.1.8. Kontrola zdravotního stavu rostlin

Zdravotní stav rostlin je jednou z nejdůležitějších cest, jak předcházet výskytu chorob a škůdců. Zdravé a vitální rostliny jsou odrazem dodržování výše zmíněných preventivních opatření. Aby rostliny v akvaponii dobře prosperovaly, tak je potřeba jim nastavit vhodné pěstební podmínky, vybrat kvalitní sazenice (případně osivo), sledovat kvalitu závlahové vody a další parametry (Hasan a kol., 2018).

Výhody: zdravé rostliny jsou odolnější proti napadení škůdci a chorobami, lze dosáhnout větší produkce kvalitních plodin a také lze odhalit počátky napadení poměrně rychle.

Nevýhody: nutnost proškolení personálu, u velkých akvaponických farem může být kontrola časově náročná.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: technicky snadné, komplikace mohou nastat pouze v případě, že dojde k prolnutí několika problémů zároveň, kdy nemusí být snadné identifikovat, co je příčinou špatné vitality rostlin. Je tedy důležité situaci důsledně vyhodnotit a rozhodnout, zda je zásah potřebný či nikoliv. Teprve poté lze přistoupit k cíleným zásahům.

4.2. Cílené zásahy proti chorobám a škůdcům

Ve vysokoprodukčních systémech se často uplatňuje preventivní chemické ošetření pěstovaných rostlin (Assche a Vangheel, 1989). Tento postup je však v akvaponii velice problematický. Přidáním rybochovné části značně omezujeme možnosti použití chemických přípravků kvůli jejich časté toxicitě pro vodní organismy (Folorunso a kol. 2020). Následkem limitace využitelnosti „tradiční“ chemické cesty ošetřování rostlin je nutné využít jiné cílené zásahy proti chorobám a škůdcům. Inspirací pro tyto zásahy mohou být metody využívané v jiných produkčních systémech, jako jsou hydroponie a skleníky. Z cílených zásahů vyjma chemické ochrany se nabízí možnost využití fyzikální a biologické ochrany (Assche a Vangheel, 1989).

4.2.1. Fyzikální způsoby ochrany

Fyzikální způsoby ochrany jsou založeny především na odstraňování napadených rostlin nebo jejich částí, mechanickém sběru škůdců a používání lapacích pásů a lepových desek (Hrudová a kol. 2009). Do kategorie fyzikální ochrany také lze zařadit používání UV lamp k sterilizaci vody v systému (Mori a Smith, 2019).



Obrázek č. 1: Ukázka efektivity lepových desek (Zahradacentrum, 2021)

Prostředky fyzikální ochrany mají díky svému principu fungování dobrou využitelnost ve všech typech akvaponických systémů. Vzhledem k faktu, že slouží jako lapače škůdců, tak nemůže následkem jejich použití dojít ke kontaminaci vody a nechtěným dopadům na chované ryby a biologickou filtraci. Na trhu jsou k dostání různé lepové pastě (obrázek č. 1), desky, nátěry i lepidla ve spreji, které přitahují škůdce, ti se na ně přilepí a postupně hynou. Z hlediska využitelnosti v akvaponických systémech jsou nejzajímavější lepové pastě a desky, které jsou dobře dostupné, jejich použití je snadné. Jak je popsáno v kapitole 4.1.5., tak jsou také dobrým indikátorem potenciálního výskytu škůdců a jejich četnosti, následkem čehož lze stanovit další vhodná opatření (Prasad a Prabhakar, 2012).

Výhody: dostupnost na trhu, snadné použití, nehrozí rizika pro ryby, nízké nároky na odbornost personálu.

Nevýhody: nevýhodami těchto produktů je většinou zaměření pouze na určité stádium škůdce a jejich efektivita, protože za jejich pomoci nelze dosáhnout úplného odstranění škůdce ze systému, ale jen snížení jeho četnosti. Lepové pasty a desky jsou určeny také pouze pro omezené spektrum škůdců (dřepčící, molice, třásněnky, smutnice, nosatci, píďalky a některé další). Problémy mohou také nastat při kombinaci s biologickou ochranou, protože hrozí riziko, že se na lepy budou chytat i bioagens.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: z hlediska akvaponií lze použití produktů fyzikální ochrany doporučit. Nelze je však brát jako všespásné, spíše na ně pohlížet jako doplněk jiných opatření a možnost lepší detekce škůdců a jejich četnosti.

4.2.2. Biologická ochrana

Jedná se o specifický typ ochrany za použití biopesticidů, které definujeme jako přípravky obsahující buď mikroorganismy a viry (takzvané mikrobiální přípravky) nebo bioagens, což jsou přípravky s makroorganismy, buď parazity (organismy, které se živí v tělech nebo na těle hostitele, ale většinou jej neusmrcují), parazitoidy (jejich vývoj probíhá zpravidla uvnitř těla hostitele a po dokončení vývoje hostitel zemře) nebo predátorů (tyto dravé organismy usmrcují svoji kořist a následně ji pozřou) (Hrudová a kol. 2009).

Přípravky biologické ochrany lze rozdělit do skupin podle toho, jaké obsahují živočichy. Nejvíce dostupné jsou přípravky na bázi bioagens, které jsou založeny hlavně na používání hmyzu nebo pavoukocvů. Dále jsou v ČR schváleny a na trhu dostupné i přípravky obsahující hlístice, bakterie, houby nebo viry. Tyto skupiny jsou stručně popsány v následujících kapitolách včetně příkladů organismů, které jsou obsaženy v produktech povolených k použití v ČR.

Součástí použití biologické ochrany jsou také tzv. banker plants (obrázek č. 2), které slouží jako zásobárna potravy pro bioagens. Příkladem mohou být například mšice *Rhopalosiphum padi*, které parazitují obiloviny a následně slouží jako potrava například pro parazitické vosičky *Aphidius colemani* (Miller a Rebek, 2018). Tyto mšice nenapadají běžně pěstované rostliny v akvaponických systémech, ale vosičky parazitují i jiné druhy mšic, které mohou způsobovat škody v pěstební části akvaponického systému (Prado a kol., 2015).



Obrázek č. 2: Banker plants a příklad jejich umístění (P. L. Light systems. 2021)

Výhody: jedná se o ekologické řešení výskytu patogenních organismů, vhodné k použití ve sklenících a poměrně dobře dostupné na trhu. Vzhledem k způsobu fungování biopesticidů je jejich použití ve všech akvaponických systémech naprosto bezpečné, což je jejich velkou výhodou.

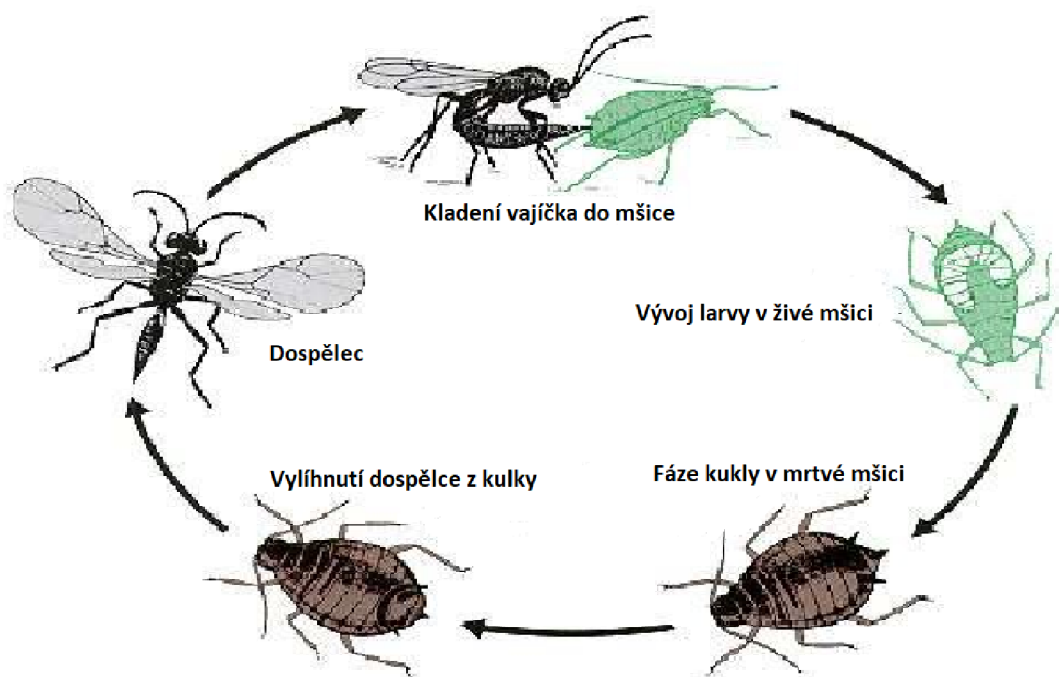
Nevýhody: jde o používání živých organismů, což provází mnoho komplikací ohledně skladování (většinou nelze dlouhodobě skladovat) a problémů s dopravou. Také je problematická provázanost mezi patogenními organismy a použitým biopesticidem, protože pokud dojde k zredukování populace patogenu, tak také poklesne nebo úplně zanikne populace použitého biologického preparátu, což má za následek nutnost zopakování celého procesu, pokud se patogen po nějaké době v systému znovu objeví (tomuto problému se dá předcházet využitím banker plants). Další velkou nevýhodou je problematické sladění biopesticidů a klasických pesticidů, obvykle je nutné vybrat jednu z těch cest a tu pak využívat. Využívání biologické ochrany komplikuje také vysoká náročnost na odbornost personálu a jeho proškolení, který musí být většinou schopen velmi přesně určit patogen a k němu vhodný biologický preparát.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: biopesticidy by se mohly v akvaponických systémech stát hlavním nástrojem v boji proti patogenním organismům, vzhledem k problematičnosti použití chemických přípravků s ohledem k rybám.

4.2.2.1. Produkty biologické ochrany založeny na hmyzích bioagens

Produkty, které obsahují hmyz, jsou na trhu prostředků biologické ochrany zastoupeny v největší míře. Jejich potenciál použitelnosti v akvaponiích je vysoký díky tomu, že mají snadnou dostupnost a v komerčních akvaponických systémech jim lze poskytnout vhodné podmínky k zajištění účinnosti. Další podstatnou výhodou je fakt, že tyto produkty se zaměřují na poměrně běžné škůdce, kteří mohou způsobovat významné hospodářské škody a mohou být cestou, jak se vyhnout aplikaci pesticidů. Pokud má dojít k uplatnění pesticidů, tak je důležité volit takové, které nejsou pro aplikované druhy hmyzu škodlivé nebo dokonce letální (Prado a kol. 2015).

Majoritní skupinou hmyzu zastoupenou v přípravcích biologické ochrany jsou parazitické vosičky (*Aphidius colemani*; obrázek č. 3, *Aphelinus abdominalis*, *Encarsia formosa*, *Eretmocerus eremicus*, *Trichogramma evanescens*, *T. pintoi*). Parazitické vosičky se používají k redukci mšic, molic, svlušek, třásněnek a dalších (Prado a kol. 2015). Potenciál aplikovatelnosti parazitických vosiček v komerčních akvaponických systémech je vysoký a mohly by se stát efektivní alternativou k pesticidům.



Obrázek č. 3: Životní cyklus *Aphidius colemani* (přepřacováno z Fernández-Grandon, 2012)

Mezi další hmyz, který lze využít v integrované ochraně rostlin v akvaponiích, náleží bejlmorky (*Aphidoletes aphidimyza*, *Feltiella acarisuga*). Larvy bejlmorek predují na mšicích a sviluškách (Boulanger a kol. 2019). Larvy zlatoočky obecné (*Chrysoperla carnea*; obrázek č. 4) vysávají mšice, molice a také třásněnky (Amarasekare a Shearer, 2013). Dalším hmyzem s potenciálem použití je dravá ploštěnka (*Macrolophus pygmaeus*), která je predátorem mšic, molic, svilušek, třásněnek a vajíček makadlovky (*Tuta absoluta*) (Urbaneja a kol., 2009).



Obrázek č. 4: Larva zlatoočky obecné (*C. carnea*) predující na mšici (Koppert Products, 2021)

Výhody: poměrně dobře dostupné, snadné na použití, zaměření na významné škůdce, nízké nároky na odbornost a proškolenost personálu.

Nevýhody: krátká doba skladovatelnosti, špatně kombinovatelné s klasickými pesticidy, následkem redukce parazitů dochází také k redukci populací aplikovaného hmyzu.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: velice snadné a vhodné pro všechny typy akvaponických systémů.

4.2.2.2. Produkty biologické ochrany založeny na pavoukocích

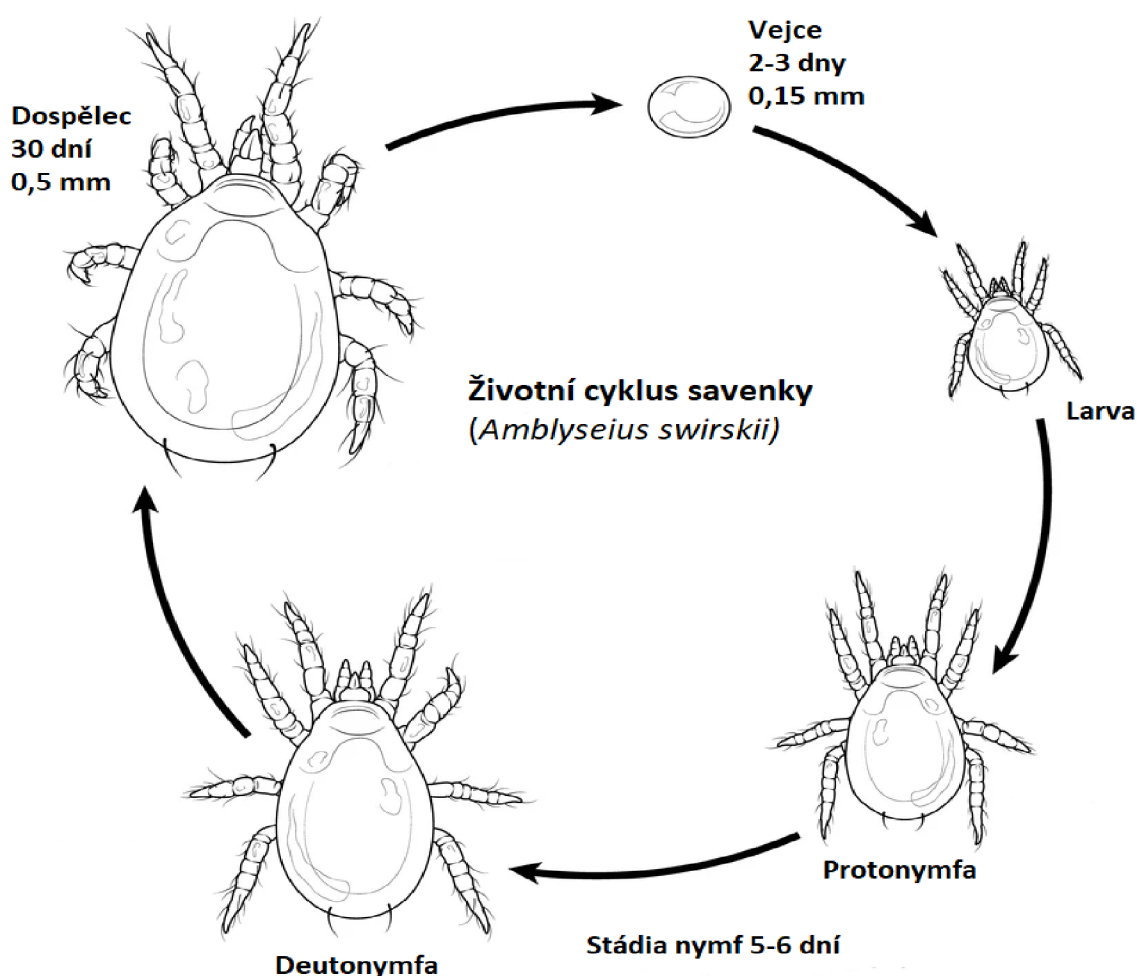
Biopesticidy založené na použití pavoukoců jsou z pohledu výhod i nevýhod podobné těm s hmyzem. Sice není k použití v ČR povoleno tak široké spektrum produktů jako těch obsahujících hmyz, ale stále mají velký potenciál pro komerční využití v akvaponiích.

Pro použití v ČR jsou schváleny přípravky obsahující *Amblydromalus limonicus* a savenka (*Amblyseius swirskii*; obrázek č. 5), které jsou určeny k aplikaci při výskytu třásněnek a molic (Buitenhuis a kol., 2015). Dále jsou na trhu produkty se savečkou oranžovou (*Phytoseiulus persimilis*) a *Neoseiulus californicus* zaměřené na redukci hlavně svlušek a roztočků (Skirvin a Fenlon, 2003).

Výhody: stejné jako u hmyzích biopesticidů.

Nevýhody: stejné jako u hmyzích biopesticidů.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: stejné jako u hmyzích biopesticidů.



Obrázek č. 5: Životní cyklus savenky (*Amblyseius swirskii*) (Shopify, 2021)

4.2.2.3. Produkty biologické ochrany založené na bakteriích

Bakteriální produkty biologické ochrany fungují jak k ochraně proti některým chorobám, tak i vybraným škůdcům. U některých vyvstává otázka jejich kombinovatelnosti s biologickou ochranou za použití hmyzu a pavoukoců, proto by bylo vhodné před použitím provést testování jejich vzájemné snášenlivosti. Pro použití v ČR jsou schváleny *Bacillus thuringiensis* ssp. *Kurstaki* se zaměřením na housenky motýlů, blýskavku červivcovitou (*Spodoptera exigua*), černopásku bavlníkovou (*Helicoverpa armigera*), makadlovku (*T. absoluta*) a zápředníčka polního (*Plutella xylostella*) (Broza a Sneh, 1994). Dále lze použít dva kmeny *Bacillus amyloliquefaciens*, kmen QST 713 a FZB 24. První z nich je určen proti bakteriální tečkovitosti rajčete a druhý proti plísni rajčete, padlí rajčete (obrázek č. 6), padlí papriky a hnědé skvrnitosti rajčat (Elanchezhiyan a kol., 2018). Také je schválen přípravek s *Bacillus pumilus* QST 2808 s účinností proti padlí papriky a rajčete (Serrano a kol., 2011).



Obrázek č. 6: Rajče napadené padlím (upraveno z Jones a kol., 2001)

Výhody: dobrá alternativa k chemickým pesticidům, lepší možnosti dlouhodobého skladování oproti bioagens.

Nevýhody: náročnější na odbornost personálu kvůli obtížnější přesné identifikaci chorob a aplikaci přípravku. Problematická kombinovatelnost s chemickými pesticidy a potenciální komplikace při kombinování s bioagens.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: přípravky biologické ochrany obsahující bakterie lze doporučit k použití ve všech typech akvaponických systémů.

4.2.2.4. Produkty biologické ochrany založené na houbách

Houbové produkty biologické ochrany lze rozdělit na entomopatogenní a mykoparazitické. První skupina umožňuje redukci škůdců z řádu hmyzu (insekticidní) a druhá je zaměřena proti houbovým chorobám a plísním (fungicidní).

Tato kategorie produktů biologické ochrany není moc rozšířena co do početnosti využívaných organismů. Povolena je *Beauveria bassiana* kmen GHA, která je vhodná pro boj s mšicemi a molicemi (Castrillo a kol., 2003). Druhou schválenou houbou je *Pythium oligandrum* M1, kterou lze použít k redukci plísně okurkové. Schválenou houbou je i *Pythium oligandrum*, která je také zaměřena proti plísni okurkové, ale je schválena i pro použití proti plísni na rajčatech (Gabrielová a kol., 2018).

Výhody: stejně jako u bakteriálních produktů lze tyto přípravky skladovat.

Nevýhody: poměrně úzké pole působnosti, nutnost dobré odbornosti a proškolenosti personálu, nelze je kombinovat s chemickými fungicidy.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: stejně jako u předcházejících přípravků biologické ochrany lze ty houbové doporučit k použití ve všech typech akvaponických systémů.

Tabulka č. 1: Příklady produktů založených na houbách

zaměření	rod houby	přípravek
Insekticid	<i>Beauveria</i>	Mycotrol
Insekticid	<i>Isaria</i>	Mycomite
Insekticid	<i>Metarhizium</i>	Biocane
Insekticid	<i>Lecanicillium</i>	Mycotal
Fungicid	<i>Coniothyrium minitans</i>	Contans
Fungicid	<i>Pythium oligandrum</i>	Polyversum

4.2.2.5. Produkty biologické ochrany založeny na hlísticích

Z této skupiny je schváleno pouze háďě (*Steinernema carpocapsae*; obrázek č. 7), které lze využít k redukci housenek a larev brouků (Han a Ehlers, 2000).



Obrázek č. 7: Háďě (*Steinernema carpocapsae*) (Evergreen Growers Supply, LLC, 2013)

Výhody: při dostatečném počtu jedinců má rychlý nástup účinnosti, nízká náročnost na odbornost personálu. Mají poměrně široký záběr cílových organismů.

Nevýhody: špatná skladovatelnost, stejně jako u bioagens, pokud dojde k redukci populace škůdce, tak také poklesne nebo naprosto zmizí prospěšné hlístice.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: použití lze doporučit ve všech typech systémů, avšak do budoucna by bylo dobré rozšířit spektrum nabízených živočichů o více druhů.

4.2.2.6. Produkty biologické ochrany založeny na virech

Stejně jako u hlístic, tak i z virů je schválený k použití v ČR a dostupný pouze jeden. Tímto virem je virus mozaiky pepina kmen CH2 izolát 1906, který lze aplikovat při problémech s virem mozaiky pepina (*Pepino mosaic virus*) (Hanssen a kol., 2009).

Výhody: jako jediný z biologické ochrany je zaměřen na virovou chorobu.

Nevýhody: nutná vysoká odbornost personálu, pouze úzké zaměření na jednu chorobu a jeden biopesticid.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: použití tohoto viru je technicky proveditelné ve všech typech akvaponických systémů, do budoucna je však nutný další výzkum, který by vedl k rozšíření spektra působení produktů obsahujících viry.

4.2.3. Komerční přírodní přípravky určené k ošetření rostlin

Na trhu jsou již dostupné přípravky sloužící k ochraně rostlin, které jsou založeny na látkách získaných z přírodních zdrojů. Těchto přípravků je menší množství v porovnání s tradičními chemickými produkty. Některé z přírodních přípravků jsou uvedeny v tabulce č. 2. Většina z uvedených produktů má formu koncentráту, který se poté po zředění aplikuje za pomoci rozprašovače přímo na povrchy rostlin nebo dokonce rovnou na škůdce (působí kontaktně, pokud by nebyl aplikován na škůdce, tak nebude fungovat) (Martini a kol., 2012).

Komerční přírodní přípravky lze rozdělit do třech kategorií. První z nich jsou produkty s insekticidním účinkem. Tyto insekticidy fungují buď jako odpuzovače škůdců nebo je přímo zabíjejí (Ware a Whitacre, 2004). Druhou skupinou jsou pomocné přípravky, které podporují vitalitu rostlin a díky tomu i zvyšují jejich schopnost obrany proti chorobám a škůdcům. Fungicidy jsou třetí skupinou, ty slouží buď k přímému boji s plísňovými chorobami nebo mají preventivní účinek s cílem zamezení rozvoje plísní. Některé přípravky z první a třetí kategorie také obsahují další pomocné látky, které mají docílit celkového posílení zdravotního stavu rostlin (Martínez, 2012).

Přípravky na rostlinné bázi by se mohly stát šetrnější alternativou k tradičním přípravkům používaných v boji proti škůdcům (Pavela, 2007), avšak obecně jejich komerční použití je spojeno s mnoha problémy, které brání plošnému využívání jak při pěstování ve sklenících, tak v akvaponických systémech, kde celou situaci ještě komplikuje jejich potenciální toxicita pro ryby (Folorunso a kol. 2020).

Výhody: hlavní výhodou použití látek z rostlin je snížení zátěže na prostředí a možnost dlouhodobé aplikace s nižším dopadem na necílené organismy, půdu i vody (jak povrchové, tak podzemní). Díky širokému spektru rostlin vykazujících využitelnost v IOR lze také pomocí látek z nich získaných lépe předcházet tvorbě rezistence, která u komerčních přípravků může způsobovat problémy. Další velkou výhodou je možnost

kombinování přírodních preparátů s biologickou ochranou. Například přípravky, které působí jako odpuzovače škůdců, nezpůsobují použitým živočichům z biologického přípravku žádné problémy. Také pomocné přípravky jsou vhodné v kombinaci s těmi biologickými, protože jejich cílem je posílení rostlin, a ne zahubení živočichů.

Nevýhody: Hlavní nevýhodou je vyšší cena, která v dnešní době není schopna konkurovat běžně využívaným chemickým přípravkům. Menší výběr přípravků, než je tomu o chemických pesticidů.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: potenciál přípravků na přírodní bázi je vysoký, avšak v dnešní době jsou některé komerční přírodní přípravky určené k ošetření rostlin v akvaponických systémech nepoužitelné kvůli absenci dat o toxicitě pro ryby a další vodní organismy (tabulka č. 2 obsahuje sloupec s LC50 pro ryby, tento údaj je však dohledatelný pouze u jedné třetiny uvedených přípravků) a také není v některých případech doposud nijak zkoumána jejich stabilita v akvaponii a s tím spojená jejich možná akumulace. Problém taky nastává při stanovení účinného dávkování pro velké systémy, jako jsou komerční akvaponické farmy. Látky z rostlin však mohou mít dobrou využitelnost v budoucnosti, jako částečná nebo i úplná náhrada za chemické přípravky, proto by bylo dobré směřovat výzkumné úsilí tímto směrem, už jen díky potenciálu snížení ekologického dopadu na prostředí způsobeného používáním chemických látek v boji se škůdci.

Tabulka č. 2: Komerční přírodní přípravky

zaměření	účinná látka	přípravek	LC50 mg/l
Insekticid	Azadirachtin	NeemAzal T/S	160
Insekticid	Pyrethrin	PYREGARD	5,2
Insekticid	Pyrethrin+řepkový olej	Spruzit	-
Insekticid	Mydlice+skořice	NATURA Bylinková směs na svilušky	-
Insekticid	Pongamia+lněný olej	Natura Symfonie 3 v 1	-
Insekticid	Routa+saturejka	KP Skleník protekt koncentrát	-
Insekticid	Spinosad	SpinTor	100
Pomocný prostředek	Pongamia	ROCK EFFECT	-
Pomocný prostředek	Kopřiva+dub	Bylinky (INPORO)	0,19
Pomocný prostředek	Kopřiva+přeslička	Plodová zelenina (INPORO)	-
Fungicid	Přeslička rolní	NATUR F	100
Fungicid	Lecitin	BioAn	-
Fungicid	Kasein	BioAn	-
Fungicid	Hřebíček+skořice	NATURA Bylinková směs na plísň	-
Fungicid	Šalvěj lékařská	KP Protekt koncentrát	-

Toxicita přípravků byla zjištěna podle bezpečnostních listů získaných od výrobců přípravků.

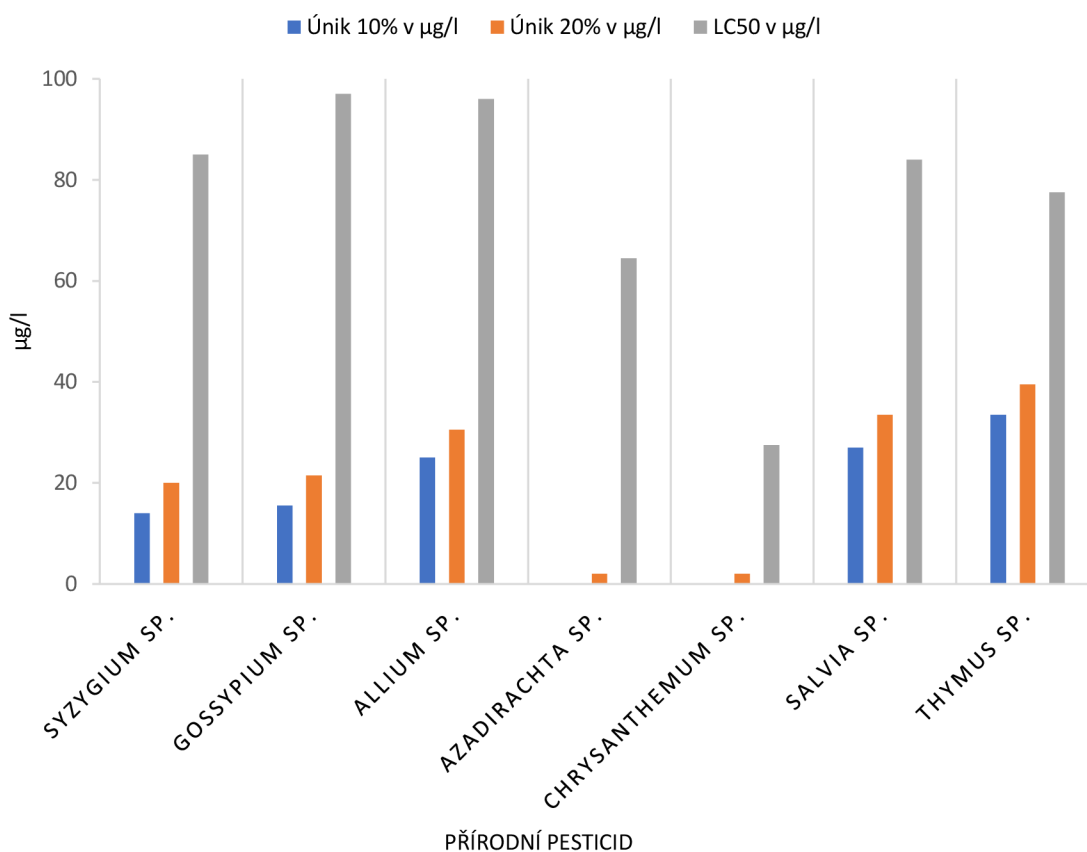
4.2.4. Rostliny s potenciálním využitím k IOR v akvaponických systémech

Existuje mnoho rostlin, z kterých lze získat látky s potvrzenými insekticidními účinky. V tabulce č. 3 jsou uvedeny rostliny, u kterých je odbornou literaturou podložena jejich účinnost pro vybrané druhy škůdců, které mohou být problematické při pěstování rostlin v akvaponickém systému (svilušky, molice, mšice a další) (Pavela, 2007). Látky s insekticidním účinkem obsahují i další druhy rostlin, ale často u nich není potvrzena použitelnost vůči škůdcům rostlin pěstovaných v akvaponických systémech, z tohoto důvodu nebyly tyto druhy rostlin do tabulek zařazeny.

Výhody: popsáno v přechozí kapitole

Nevýhody: popsáno v přechozí kapitole

Možnost zavedení do akvaponických systémů: stejně jako u již používaných komerčních přípravků na přírodní bázi, tak i výtažky z jiných rostlin jsou problematické. To je způsobeno nedostatkem dat spojených s toxicitou pro ryby a další vodní organismy. Tento fakt je zmíněn i v publikaci Folorunsa a kol. z roku 2020. Folorunso v jeho publikaci konstatuje, že co se týká výtažků z přírodních rostlin, tak jsou jejich dopady na necílené organismy (ryby a další vodní organismy) známy málo nebo vůbec. Přesto se mu podařilo vytvořit porovnání LC50 pro některé přírodní pesticidní látky. Toto zhodnocení porovnává letální koncentrace s možnými úniky aplikovaného pesticidu (10% a 20% únik). Výsledky zhodnocení jsou zobrazeny v přepracovaném v grafu č. 2. Z grafu vyplývá, že rozdíly mezi množstvím uniklé látky a letální koncentrací jsou markantní u všech uvedených látek, avšak ani na základě těchto dat nelze doporučit tyto přípravky k okamžitému použití v akvaponiích. Stále je třeba další výzkum, který bude zaměřen na NOEC u chovaných ryb a také dopady na další necílené organismy, které jsou nepostradatelné k dobrému fungování akvaponického systému.



Graf č. 2: Porovnání LC50 přírodních pesticidů s 10% a 20% únikem z aplikované dávky (přepřacováno z Folorunso a kol., 2020)

Tabulka č. 3: Rostliny s insekticidním účinkem

Rostlina	Cílený organismus	Zdroj
Acorus sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.), blýskavky (<i>Amphipyra</i>)	Sharma a kol., 2008; Talukder a kol., 1970
Aframomum latifolium	molice bavlníková (<i>Bemisia tabaci</i>)	Tia a kol., 2011
Allium sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	Khater a kol., 2009; Kim a kol., 2012; Machial a kol., 2010
Armoracia rusticana	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	Park a kol., 2006
Artemisia sp.	široké spektrum účinnosti (molice, třásněnky, mšice, ...)	Kim a kol., 2012; Soliman, 2007; Negahban a kol., 2007; Yi a kol., 2006; Liu a kol., 2006
Carum sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.) a další	Seo a kol., 2009; Khater a kol., 2009; Yeom a kol., 2012
Chenopodium ambrosioides	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	Park a kol., 2008; Cloyd a Chiasson, 2007; Pandey a kol., 2013
Cinnamomun sp.	bejlomorky (<i>Resseliella</i> sp.)	Kim a kol., 2012; Liu a kol., 2006
Citrus sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.), molice bavlníková (<i>Bemisia tabaci</i>) a další	Park a kol., 2008; Ribério a kol., 2010; Villafane a kol., 2011
Coriandrum sativum	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.)	Yi a kol., 2006
Cuminum cyminum	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	Park a kol., 2008
Cupressus sempervirens	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.)	Yi a kol., 2006
Cymbopogon sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.), mšice broskvoňová (<i>Myzus persicae</i>)	Park a kol., 2008; Pinheiro a kol., 2013

Rostlina	Cílený organismus	Zdroj
Eucalyptus sp.	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.) a mnohé další	Park a kol., 2006; Kim a kol., 2012; Juan a kol., 2011; Cheng a kol., 2009
Eupatorium sp.	mšice broskvoňová (<i>Myzus persicae</i>)	Sosa a kol., 2012
Flourensia oolepis	mšice broskvoňová (<i>Myzus persicae</i>), smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	García a kol., 2007
Laurus novocanariensis	různé mšice	Rodilla a kol., 2008
Lavandula sp.	široké spektrum účinnosti (svilušky, mšice, ...)	González-Coloma a kol., 2006; Kim a kol., 2012; Cosimi a kol., 2009; Benelli a kol., 2012; Sertkaya a kol., 2010
Lippia sp.	molice bavlníková (<i>Bemisia tabaci</i>)	Tia a kol., 2011
Majorana hortensis	mšice maková (<i>Aphis fabae</i>)	Abbassy a kol., 2009
Melaleuca sp.	široké spektrum účinnosti	Kim a kol., 2012; Yi a kol., 2006; Park a kol., 2011; Noosidum a kol., 2008; Sim a kol., 2006
Micromeria fruticosa	sviluška chmelová (<i>Tetranychus urticae</i>), molice bavlníková (<i>Bemisia tabaci</i>)	Çalmaşur a kol., 2006
Myristica fragrans	smutnicovití (<i>Lycoriella</i> sp.)	Park a kol., 2008; Kostić a kol., 2013
Myrtus communis	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.)	Yi a kol., 2006;
Nepeta racemosa	molice bavlníková (<i>Bemisia tabaci</i>)	Çalmaşur a kol., 2006; Zhu a kol., 2012
Ocimum sp.	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.) a mnohé další	Kerdchoechuen a kol., 2010; Kostić a kol., 2008; Chang a kol., 2009; Popović a kol., 2006
Origanum sp.	široké spektrum účinnosti (svilušky, třásněnky, molice, ...)	Khalfi a kol., 2008; Kordali a kol., 2008
Rosmarinus sp.	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.)	Kim a kol., 2012; Yi a kol., 2006;
Salvia sp.	mandelinka bramborová (<i>Leptinotarsa decemlineata</i>), třásněnky (<i>Thrips</i> sp.) a další	Kim a kol., 2012; Yi a kol., 2006; Ulukanli a kol., 2012
Thuja occidentalis	třásněnky (<i>Thrips</i> sp.)	Yi a kol., 2006
Thymus sp.	různé mšice a mnohé další	Kim a kol., 2012; Machial a kol., 2010; Park a kol., 2008; Pavela, 2011; Koc a kol., 2012; Salama a kol., 2012

4.2.5. Chemická ochrana

Jak již bylo zmíněno v úvodu do kapitoly cílených zásahů proti škůdcům a chorobám tak možnosti chemické ochrany jsou značně omezeny a před aplikací jakéhokoliv přípravku, který by mohl být problematický, je nutné dobře zvážit hned několik faktorů. Prvním a zároveň nejdůležitějším faktorem je typ systému, v kterém zvažujeme využití chemické ochrany. Jednotlivé typy systémů jsou popsány v kapitolách 2.1., 2.2., 2.3. Dalším velice zásadním faktorem je toxicita samotného přípravku na necílené organismy. Pro akvaponické systémy se jedná zejména o toxicitu pro ryby a jiné vodní organismy. Pokud využíváme biologickou ochranu, tak i toxicita s ohledem k použitým organismům biologické ochrany může být problematická (Martinou a kol., 2014).

V přílohách č. 1 a č. 2 jsou uvedeny příklady účinných látek pro ochranu rostlin proti nejvýznamnějším chorobám a škůdcům rostlin. Z této tabulky je patrné, že řada z nich je vysoce toxická pro ryby. Před jejich případným použitím je proto nutné důkladně prostudovat bezpečnostní list a zvážit riziko jejich použití v akvaponických systémech. Je nutné upozornit, že i přípravky na bázi rostlinných výtažků mohou být pro ryby toxické.

Vzhledem k toxicitě mnoha komerčně využívaných přípravků je na první pohled jasné, že jejich aplikace v akvaponickém systému je složitá. Problémy s toxicitou pro vodní organismy závisí na typu akvaponie, ve které by byl přípravek použit. Nejmarkantnější komplikace spojené s toxicitou jsou u jednosmyčkového systému, který je zároveň komerčně nejčastěji využíván. Větší potenciál využitelnosti chemických přípravků mají systémy s dvěma a více smyčkami (Goddek a kol. 2019).

Výhody: odzkoušená účinnost v podobných produkčních systémech (skleníky, hydroponie, ...), okamžitý nebo velice rychlý nástup účinku.

Nevýhody: hlavní nevýhodou je toxicita velkého množství chemických přípravků pro ryby a vodní organismy, dále také ekologické dopady na prostředí, tvorba rezistence u patogenních organismů, finanční nákladnost a nutnost dobře proškoleného personálu.

Možnost zavedení do akvaponických systémů: potenciál použitelnosti chemických přípravků v jednotlivých typech akvaponických systémů na ošetření rostlin je popsán v následujících třech podkapitolách.

4.2.5.1. Možnost využití v jednosmyčkových systémech

Vzhledem k tomu, že jednosmyčkový systém je založen na uzavřené cirkulaci vody mezi chovnou a pěstební částí, nemá velká část komerčně používaných přípravků k ochraně proti chorobám a škůdcům reálné využití. Limitující je jejich toxicita pro vodní organismy, proto je nevyhnutelné před aplikací jakéhokoliv přípravku řešit jak akutní, tak chronické následky a zvážit rizika s tím spojená. Nelze nahlížet pouze na samotnou toxicitu, ale také na výši rizika toho, jestli se přípravek po aplikaci může dostat do vody a tím i k rybám (Bittsánszky a kol., 2015).

Chemická ochrana je v jednosmyčkovém systému velice problematická, ale i přesto má jistý potenciál, vzhledem k její efektivitě, dostupnosti a zkušenostem s jejím využitím v jiných intenzivních způsobech pěstování rostlin (hydroponie, skleníky, ...). Její případné používání v tomto systému je stále spojeno s mnoha otázkami, které je nutné pro jednotlivé přípravky před jejich použitím v komerčních jednosmyčkových akvaponických systémech zodpovědět a zaměřit na ně budoucí výzkum. První z těchto otázek je možnost kontaminace vody přípravkem, který chceme použít. Dále kolik přípravku se do systému dostane po jeho použití a jaký dopad by tato kontaminace měla na chovnou část systému včetně biologické filtrace. Další otázkou je stálost přípravku a následná kumulace ve vodě, následkem které by mohlo dojít k překročení bezpečné koncentrace a negativnímu dopadu na chovnou část systému. I když má aplikovaný přípravek stanovenou vysokou LC50 (koncentrace přípravku, který za určitý čas (u ryb 96 hodin) zahubí 50 % cílových organismů) a NOEC (nejvyšší testovaná koncentrace látky, která nezpůsobila statisticky významný účinek v porovnání s kontrolou), tak pokud není známa jeho odbouratelnost a schopnost se ve vodě kumulovat, je jeho reálné využití sporné, protože při dlouhodobém používání může dojít k překročení snesitelné koncentrace (Folorunso a kol. 2020).

4.2.5.2 Možnost využití chemické ochrany ve dvousmyčkových systémech

Potenciál využitelnosti chemické ochrany v tomto systému je vysoký. Díky tomu, že voda proudí pouze z chovné části do pěstební a poté se nevrací zpět k rybám (Monsees a kol., 2017), se lze vyhnout problémům s toxicitou u použitých přípravků. Zásadní je k reálnému použití dosáhnout kompletního oddělení dvou hlavních částí tohoto akvaponického systému. Nejlépe toho lze docílit stavebním oddělením prostoru

s chovnými nádržemi a pěstební částí, aby nehrozilo riziko kontaminace vody v chovné části přímo při aplikaci chemického přípravku na rostliny, ke kterému by mohlo dojít třeba u použití přípravků, které se aplikují za pomoci rozprašovačů.

4.2.5.3. Možnosti využití chemické ochrany ve vícesmyčkových systémech

Jak je popsáno v kapitole 2.3., tak vícesmyčkový systém lze považovat za kombinaci dvou předešlých systémů. Voda se sice z pěstební části dostává zpět k rybám, ale nejedná se o neupravenou vodu, nýbrž prochází procesem destilace, který je primárně určen k odstranění živin a minerálů, aby v chovné části nebyla jejich koncentrace příliš vysoká a zároveň bylo možné dosáhnout pro rostliny vhodného pěstebního prostředí (Goddek a kol., 2019). Tento krok jako „vedlejší produkt“ by mohl mít schopnost z vody odstranit také chemické přípravky nebo jejich koncentraci aspoň snížit, což by silně rozšířilo možnosti využití chemických přípravků. Pokud by byly obě části stavebně odděleny a k rybám by se mohla dostat pouze voda a nemohlo dojít ke kontaminaci vzduchem, tak po teoretické stránce věci by aplikace chemických přípravků měla být možná stejně jako u dvousmyčkového systému, avšak je zde velké riziko, že proces odstranění chemických látek z vody nemusí dobře fungovat nebo může dojít k nějakému technickému problému a přestane fungovat úplně, což by mohlo mít silně negativní dopad na rybochovný úsek systému. Kvůli možnosti ohrožení rybí obsádky a biologické filtrace je nutné použití každého přípravku velice pečlivě zvážit a počítat s případnými komplikacemi.

4.2.6. Vyhodnocení toxicity vybraných insekticidů a fungicidů

Tabulky č. 4 a č. 5 obsahují látky, které jsou na českém trhu dostupné, jsou povoleny k IOR a zároveň jsou zaměřeny na nejběžnější škůdce a plísňové choroby, které mohou způsobovat problémy v akvaponiích. Důraz byl kladen na výběr účinných látek, a ne na jednotlivé přípravky, proto je ke každé látce uveden pouze jeden komerční přípravek jako příklad.

Pro stanovení toxicity látek byl použit UVI akvaponický systém (akvaponický systém vytvořený týmem z University of the Virgin Islands). Výpočet předpokládané koncentrace byl stanoven na základě celkového objemu vody v systému (111 196 l), celkové plochy pěstebních záhonů (219,6 m²), objemu vody v pěstebních záhonech (506,4 l/m²) a předpokládaného 10% úniku aplikované účinné látky do vody v akvaponii (Folorunso a kol., 2020).

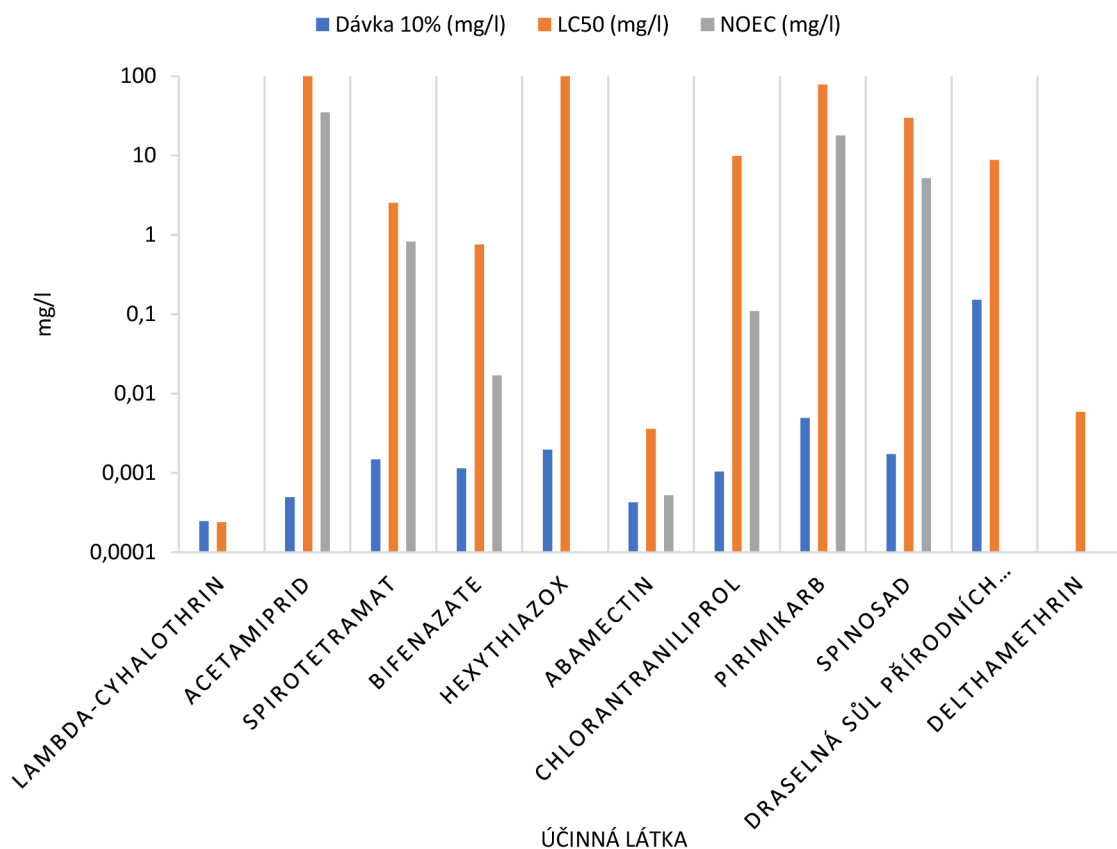
Předpokládané hodnoty mg/l účinné látky, při 10% úniku použitého výrobcem doporučeného množství přípravku, vylučují u některých produktů jejich použití v akvaponii kvůli překročení hodnoty LC50, většina přípravků LC50 ale nepřekračuje. Použité hodnoty LC50 i NOEC jsou stanoveny pro pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*), což nezaručuje stejný dopad na jiné druhy ryb a další vodní organismy.

Porovnání předpokládané koncentrace při 10% úniku s LC50 a NOEC je zobrazeno v grafech č. 3 a č. 4. U některých účinných látek chybí údaj NOEC, což je způsobeno nestanovením této hodnoty pro druhy ryb, které jsou chované v komerčních akvaponiích, tento fakt přidává na nutnosti dalšího výzkumu, a to hlavně u fungicidních přípravků, u kterých hodnoty NOEC, pro druhy ryb chovaných v akvaponiích, nejsou často stanoveny.

Z porovnání předpokládaného úniku s LC50 nebo NOEC vyplývá, že některé látky jako např. lambda-cyhalothrin jsou pro použití v akvaponiích naprosto nevhodné kvůli jejich toxicitě vůči rybám. Jiné látky jako např. abamectin nebo mancozeb sice při úniku 10 % nedosahují hodnot LC50 ani NOEC, avšak rozdíl mezi těmito hladinami není nijak signifikantní, takže jejich použití by vyžadovalo silnou obezřetnost. Na základě dostupných dat se ukazuje, že některé komerční insekticidy a fungicidy by neměly mít negativní dopady na chované ryby, jedná se např. o acetamiprid, pirimikarb, penconazole nebo azoxystrobin. U těchto látek je LC50 i NOEC mnohem vyšší než předpokládaný únik 10 %, ale i tak je nutná vysoká opatrnost, při použití chemických přípravků, a ověření možné akumulace v systému nebo negativního dopadu na jiné necílové organismy jako jsou např. nitrifikační bakterie, pro které nejsou tyto hodnoty běžně testovány, proto je nutná obezřetnost i s ohledem k těmto organismům.

Tabulka č. 4: Insekticidní přípravky povolené v ČR k IOR

Zaměření	Účinná látka	Přípravek
I (molice)	lambda-cyhalothrin	KARATE SE ZEON TECHNOLOGIÍ @ 5 CS
I (molice)	acetamiprid	MOSPILAN 20 SP
A (molice)	spirotetramat	MOVENTO 150 OD
I/A (svilušky)	bifenazate	FLORAMITE 240 SC
A (svilušky)	hexythiazox	NISSORUN 10 WP
I/A (svilušky)	abamectin	VERTIMEC @ 1,8 SC
I	Chlorantraniliprol	CORAGEN@ 20 SC
I (mšice)	pirimikarb	Pirimor@ 50 WG
I	spinosad	SPINTOR
I/A	draselná sůl přírodních mastných kyselin	Flipper
I	delthamethrin	DECIS MEGA



Graf č. 3: Insekticidní přípravky povolené v ČR k IOR

Hodnoty LC50, NOEC a dávky 10 % jsou uvedeny v příloze č. 1.

Zařazení přípravků do IOR zjištěno podle údajů na stránkách:

http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|prip|uredni

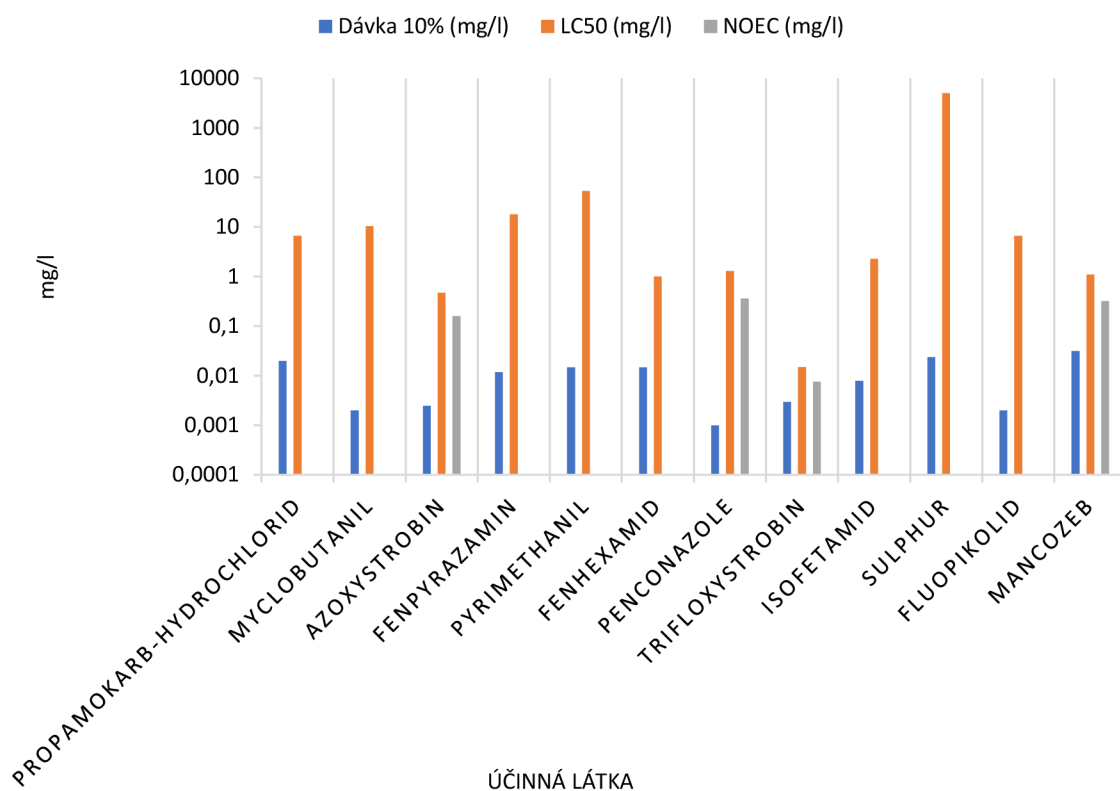
Toxicita přípravků byla zjištěna podle bezpečnostních listů zveřejněných na stránkách

<https://www.agromanual.cz>.

Dávkování bylo zjištěno z návodů k použití získaných od výrobců přípravků.

Tabulka č. 5: Fungicidní přípravky povolené v ČR k IOR

Účinná látka	Přípravek
propamokarb-hydrochlorid	Infito®
myclobutanil	TALENT
azoxystrobin	AMISTAR®
fenpyrazamin	PROLECTUS
pyrimethanil	Minos®
fenhexamid	Teldor® 500 SC
penconazole	TOPAS® 100 EC
trifloxystrobin	Zato® 50 WG
Isofetamid	Kenja® 400SC
sulphur	Sulfurus
fluopikolid	Infito®
mancozeb	RIDOMIL GOLD MZ PEPITE



Graf č. 4: Fungicidní přípravky povolené v ČR k IOR

Hodnoty LC50, NOEC a dávky 10 % jsou uvedeny v příloze č. 2.

Zařazení přípravků do IOR zjištěno podle údajů na stránkách:

http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|prip|uredni

Toxicita přípravků byla zjištěna podle bezpečnostních listů zveřejněných na stránkách

<https://www.agromanual.cz>.

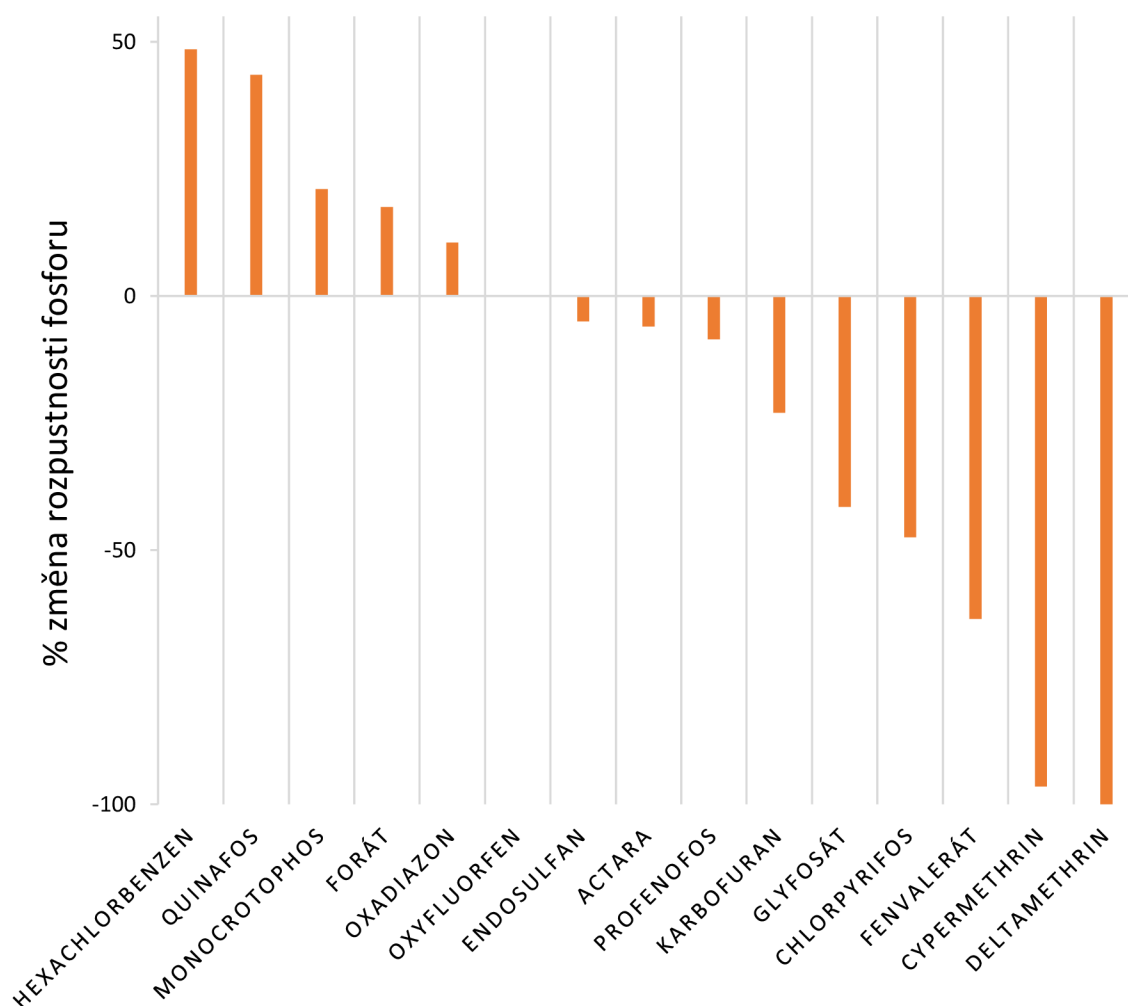
Dávkování bylo zjištěno z návodů k použití získaných od výrobců přípravků.

4.2.7. Dopady aplikace pesticidů na biologickou filtraci

Jak již bylo zmíněno výše, tak před použitím jakéholiv přípravku, k ošetření rostlin v akvaponii, je nutné myslet na dopady na necílené organismy. Hlavní problémem v tomto ohledu je nedostatek studií zaměřených na tuto problematiku. V roce 2021 publikovali Raškovič a kol. studii, která se zabírala dopadem tří komerčně dostupných pesticidů na proces nitrifikace. Konkrétně se jednalo o dva přípravky založené na přírodní látce (pyrethrin a azadirachtin), třetí přípravek obsahoval syntetický chlorpyrifos. Výsledkem Raškovičova pokusu bylo, že pouze azadirachtin měl negativní dopad na proces nitrifikace, a to jak na fázi nitritace, tak i na nitrataci. Další dvě zkoumané látky nevykazovaly signifikantní rozdíl v porovnání s kontrolou. Jako největší problém shledává Raškovič nedostatek studií, které by byly zaměřeny na dopady způsobené kombinací více toxických látek na ryby (v tomto případě kombinace pesticidu, amoniaku a dusitanů).

4.2.8. Vliv pesticidů na mineralizaci

Použití pesticidů má dopady i na rozpustnost látek potřebných pro dobrý růst a kondici pěstovaných rostlin. Toto je způsobeno úzkým spojením mezi procesem biodegradace pesticidů se změnou pH, teploty a dalšími faktory, které ovlivňují mineralizaci (Siddique a kol., 2002). Tyto změny mají přímé dopady na rozpustnost fosforu ve vodě. Procentuální změny rozpustnosti fosforu způsobené vybranými pesticidy jsou zobrazeny v grafu č. 5. Pozitivní nebo nulový dopad měly hexachlorbenzen, quinafos, monocrotophos, forát, oxadiazon a oxyfluorfen. Ostatní sledované pesticidy měly dopad negativní. Cypermethrin s deltamethrinem zhoršili rozpustnost o téměř 100 % (Folorunso a kol. 2020).



Graf č. 5: Vliv pesticidů na rozpustnost fosforu (přepočováno z Folorunso a kol., 2020)

5. Zhodnocení problémů a návrh dalšího vývoje

Integrovaná ochrana rostlin v akvaponických systémech je teprve v počátcích, a proto je její komerční využití problematické. Na základě zkušeností z hydroponií a skleníků se ukazuje jako nejzásadnější prevence, na kterou je potřeba dát vyšší důraz.

Možnosti implementace jednotlivých opatření jsou shrnuty v tabulce č. 6. Většina opatření je v jisté podobě využitelná v akvaponiích.

Tabulka č. 6: Využitelnost jednotlivých typů opatření v akvaponických systémech

Opatření	Jednosmyčkový systém	Dvosmyčkový systém	Vícesmyčkový systém
Preventivní opatření	Použitelné	Použitelné	Použitelné
Fyzikální způsoby ochrany	Použitelné	Použitelné	Použitelné
Biologická ochrana	Použitelné	Použitelné	Použitelné
Chemická ochrana	Silně problematické	Použitelné (po zabránění kontaminace vody v chovných nádržích)	Použitelné (po zabránění kontaminace vody v chovných nádržích)
Přírodní přípravky	Některé použitelné po otestování toxicity	Použitelné (po zabránění kontaminace vody v chovných nádržích)	Použitelné (po zabránění kontaminace vody v chovných nádržích)

Preventivní opatření, používaná například v hydroponiích, jsou dobře využitelná i pro akvaponie. Aby mohly správně fungovat, tak musí být pamatováno na mnoho z nich již při stavbě systému, což značně komplikuje jejich zavedení do již fungujících akvaponií.

Nejproblématictější je použití chemických přípravků. Používání chemických pesticidů provází hned několik aspektů. Prvním z nich je možnost vzniku rezistence u chorob a škůdců, aby se vzniku rezistence předešlo, je nutné střídat různé přípravky, což v akvaponiích lze jen těžko, kvůli malému množství účinných látek vhodných pro akvaponie. Používání chemických produktů značně komplikuje fakt, že nejpoužívanějším typem akvaponie je jednosmyčkový systém. V hledem k tomu, že se vrací nijak neupravená voda v jednosmyčkovém systému z pěstebních záhonů přímo do chovných nádrží, eliminuje to použití mnoho účinných pesticidních látek. Důvodem je potenciální toxicita jak pro ryby, tak i pro jiné vodní organismy. U některých látek je již toxicita prokázána, ale u jiných data chybí, a proto je nutné provést další výzkum, který bude zaměřený přímo na reálné krátkodobé i dlouhodobé dopady jejich aplikace v jednosmyčkovém systému. Tuto komplikaci lze částečně řešit výstavbou dvosmyčkového nebo vícesmyčkového systému. Je nutné ale doporučit rozložení

akvaponie tak, aby byly chovná a pěstební nádrž stavebně odděleny. Tím lze předejít nechtěné kontaminaci vody v nádržích s rybami (např. neopatrností personálu). Problematika použití chemické ochrany rostlin v akvaponiích je podrobněji popsána v kapitolách 4.2.3. a 4.2.5.

Jako potenciální náhrada, za tradiční chemické pesticidy, mohou v budoucnu posloužit přípravky na přírodní bázi. Dle dostupné literatury existuje mnoho rostlin, které vykazují pesticidní účinky (jejich seznam je v kapitole 4.2.4.). Avšak v dnešní době je u velké části těchto látek z přírodních zdrojů plošné používání v komerčních systémech nereálné, což je znovu způsobeno nedostatkem dat ohledně jejich toxicity pro vodní organismy a možnou kumulací ve vodě. Největší problémy jsou znovu u jednosmyčkových systémů. Problematika komerčních přípravků na přírodní bázi je podrobněji popsána v kapitole 4.2.3.

V integrované ochraně rostlin v akvaponiích jsou v dnešní době největší problémy s plísňovými chorobami, které mohou způsobovat značné ekonomické ztráty na rostlinných produktech. Pro tyto choroby totiž neexistuje moc alternativ k tradičním chemickým látkám. Lze jim předcházet důsledným dodržováním různých preventivních opatření, avšak jakmile se nějaká z plísňových chorob v systému rozšíří, tak je její eliminace bez použití chemických přípravků složitá. Z biologické ochrany existuje pouze velmi omezené množství schválených mykoparazitických přípravků. Fyzikální způsoby ochrany jsou, až na pár výjimek, proti mykotickým chorobám špatně použitelné. Guzman-Plazola a kol. v publikaci z roku 2003 popisují, že zvýšení relativní vzdušné vlhkosti může pomoci proti padlí na rajčatech. Znovu největší potenciál vykazují přípravky na přírodní bázi. Rozšíření možností, jak eliminovat plísňové choroby, by mělo být do budoucna jedním z hlavních cílů výzkumu.

Poměrně solidní možnosti ochrany existují proti škůdcům. Jako efektivní se ukazují různá preventivní opatření, fyzikální způsoby ochrany, přípravky na rostlinné bázi a mnohé další. Pro IOR proti škůdcům v akvaponických systémech je však nejzásadnější biologická ochrana. Na trhu je dostupný poměrně široký výběr živočichů, které lze použít proti různým škůdcům. Díky biologické ochraně lze ve většině případů zamezit rozvoji zásadnějších problémů se škůdci. Největším nedostatkem biologické ochrany je špatná kombinovatelnost s některým z dalších opatření (chemická ochrana, fyzikální ochrana i některé přírodní látky mohou zahubit aplikované živočichy). Možnosti kombinace

biologické ochrany a jiných opatření také vyžadují podrobnější výzkum a ověření jejich kombinovatelnosti v praxi.

Další vývoj IOR v akvaponických systémech by se měl ubírat směrem ke zdokonalení jednotlivých opatření, jejich přizpůsobení pro podmínky akvaponie a navržení přesných postupů, které budou kombinovat jednotlivé metody ochrany bez toho, aby docházelo k jejich vzájemné negativní interakci a nebezpečným dopadům na vodní organismy žijící v chovné části systému (ryby, bakterie). Velký potenciál je u prostředků na přírodní bázi, pro které však nejsou většinou stanoveny toxicity pro vodní organismy, znovu je proto nutné na tyto přípravky zaměřit budoucí výzkum a snažit se navrhnout vhodné přírodní přípravky pro akvaponie, jako náhradu za tradiční chemické pesticidy. Jednou z nejúčinnějších metod IOR je stále biologická ochrana, na její další rozvoj by také měl být kladen důraz, aby se rozšířil počet využitelných a schválených přípravků.

6. Závěr

Na základě informací o ochraně rostlin v hydroponických systémech a sklenících se v bakalářské práci podařilo zhodnotit možnosti implementace již používaných metod integrované ochrany rostlin do akvaponických systémů. Také byly v práci vytipovány oblasti, které mají do budoucna potenciál využitelnosti v akvaponických systémech, ale k jejich praktickému využití je nutný další vědecký výzkum a ověření jejich použitelnosti v komerčních systémech. Na základě průzkumu, na trhu dostupných a pro integrovanou ochranu rostlin v ČR schválených přípravků, bylo zjištěno, že navrhnutí účinného řešení krizových situací způsobených škůdci a chorobami je v akvaponiích velice komplikované. Z tohoto důvodu by měl být kladen důraz v první řadě na preventivní opatření, která se ukazují jako nejúčinnější metoda ochrany rostlin v komerčních systémech. Dále je také nutný další výzkum možností použití přípravků na přírodní bázi, které sice mají vysoký potenciál, ale jejich využití v akvaponiích je nedostatečně otestované.

7. Přehled použité literatury

Abbassy, M. A., Samir A. M. A., Rasha Y. A. R., 2009. Insecticidal and synergistic effects of *Majorana hortensis* essential oil and some of its major constituents. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 131(3), 225-232.

Amarasekare, K. G., Shearer, P. W., 2013. Comparing effects of insecticides on two green lacewings species, *Chrysoperla johnsoni* and *Chrysoperla carnea* (*Neuroptera: Chrysopidae*). *Journal of economic entomology*. 106(3), 1126-1133.

Amblyseius SWIRSKII. Shopify [online]. soundhorticulture.com [cit. 01.09.2021].
Dostupné na: <https://www.soundhorticulture.com/products/amblyseius-swirskii?variant=30500040516>.

Assche, C., Vangheel, M., 1989. Plant protection in hydroponics. In *International Symposium on Growth and Yield Control in Vegetable Production*. 260, 363-376.

Barzman, M., Bärberi, P., Birch, A., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J. E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J. R., Messean, A., Moonen, A.C., Ratnadass, A., Ricci, P., Jean-Louis S., Sattin M., 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(4), 1199-1215.

Benefits of Using Banker Plants | P.L. Light Systems. P.L. Light Systems - The Lighting Knowledge Company [online]. pllight.com [cit. 01.09.2021]. Dostupné na: <https://pllight.com/the-benefits-of-using-banker-plants/>

Benelli, G., Flamini, G., Canale, A., Cioni, P. L., Conti, B., 2012. Toxicity of some essential oil formulations against the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (*Diptera Tephritidae*). *Crop Protection*. 42, 223–229.

Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge, R., Schmautz, Z., Komives, T., Has, C. A. R., Otto, H., 2015. Plant protection in ecocycle-based agricultural systems: Aquaponics as an example. In: *Proceedings of the International Plant Protection Congress (IPPC)*, Berlin, August 24-27, 2016, pp. 1.

Broza, M., Sneh, B., 1994. *Bacillus thuringiensis* ssp. *kurstaki* as an effective control agent of lepidopteran pests in tomato fields in Israel. *Journal of Economic Entomology*. 87(4), 923-928.

Boulanger, F. X., Jandricic, S., Bolckmans, K., Wäckers, F. L., Pekas, A., 2019. Optimizing aphid biocontrol with the predator *Aphidoletes aphidimyza*, based on biology and ecology. *Pest management science*. 75(6), 1479-1493.

Buitenhuis, R., Murphy, G., Shipp, L., Scott-Dupree, C., 2015. *Amblyseius swirskii* in greenhouse production systems: a floricultural perspective. *Experimental and Applied Acarology*. 65(4), 451-464.

Çalmasur, Ö., Aslan, İ., Şahin, F., 2006. Insecticidal and acaricidal effect of three Lamiaceae plant essential oils against *Tetranychus urticae* Koch and *Bemisia tabaci* Genn. *Industrial Crops and Products*. 23(2), 140–146.

Castrillo, L. A., Vandenberg, J. D., Wraight, S. P., 2003. Strain-specific detection of introduced *Beauveria bassiana* in agricultural fields by use of sequence-characterized amplified region markers. *Journal of Invertebrate Pathology*. 82(2), 75-83.

Cloyd, R. A., Chiasson, H. 2007. Activity of an Essential Oil Derived from *Chenopodium ambrosioides* on Greenhouse Insect Pests. *Journal of Economic Entomology*. 100(2), 459–466.

Coche, A. G., 1967. Fish culture in rice fields a world-wide synthesis. *Hydrobiologia*. 30(1), 1-44.

Cosimi, S., Rossi, E., Cioni, P. L., Canale A., 2009. Bioactivity and qualitative analysis of some essential oils from Mediterranean plants against stored-product pests: Evaluation of repellency against *Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) and *Tenebrio molitor* (L.). *Journal of Stored Products Research*. 45(2), 125–132.

de Carvalho Ribeiro, N., da Camara, C. A. G., de Souza Born, F., de Siqueira, H. Á. A., 2010. Insecticidal Activity against *Bemisia Tabaci* Biotype B of Peel Essential Oil of *Citrus sinensis* var. pear and *Citrus aurantium* Cultivated in Northeast Brazil. *Natural Product Communications*. 5(11), 1934578X1000501.

Delaide, B. *A study on the mineral elements available in aquaponics, their impact on lettuce productivity and the potential improvement of their availability*. Liège, 2017. Nепublikovaná disertační práce. Université de Liège.

Delaide, B., Monsees, H., Gross, A., Goddek, S., 2019. Aerobic and anaerobic treatments for aquaponic sludge reduction and mineralisation. *Aquaponics food production systems*, 247 s.

Diver, S., Rinehart, L., 2000. *Aquaponics-Integration of hydroponics with aquaculture*. Attra.

Ehler, L., 2006. Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest management science*. 62, 787-789.

Elanchezhian, K., Keerthana, U., Nagendran, K., Prabhukarthikeyan, S. R., Prabakar, K., Raguchander, T., Karthikeyan, G., 2018. Multifaceted benefits of *Bacillus amyloliquefaciens* strain FBZ24 in the management of wilt disease in tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 103, 92-101.

Essington T., Moriarty P., Froehlich H., Hodgson E., Koehn L., Oken K., Siple M., Stawitz C., 2015. Fishing amplifies forage fish population collapses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 112, 6648-6652.

FAO, 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome, 227 s.

FAO, 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action*. Rome, 206 s.

Fernandez-Grandon, G. M. 2012. *The effect of the aphid sex pheromone on the aphid Myzus persicae and its parasitoid Aphidius colemani*. Southampton, 2012. Disertační práce. University of Southampton.

Flint, M., Daar, S., Molinar, R., 2021. *Establishing Integrated Pest Management Policies and Programs: A Guide for Public Agencies*. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, 893 s.

Folorunso, E., A., Roy, K., Gebauer, R., Bohatá, A., Mráz, J., 2020. Integrated pest and disease management in aquaponics: A metadata-based review. *Reviews in Aquaculture*. 13(2), 971-995.

Fujiwara, K., Iida, Y., Iwai, T., Aoyama, Ch., Inukai, R., Ando, A., Ogawa, J., Ohnishi, J., Terami, F., Takano, M., Shinohara, M., 2013. The rhizosphere microbial community in a multiple parallel mineralization system suppresses the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum*. *MicrobiologyOpen*. 2, 997-1009.

Furuta, K., Ohashi, H., Obana, J., Sato, S., 1980. Performance of 3 successive generations of specified-pathogen-free chickens maintained as a closed flock. *Laboratory Animals*. 14(2), 107-112.

Gabrielová, A., Mencl, K., Suchánek, M., Klimeš, R., Hubka, V., Kolařík, M., 2018. The oomycete *Pythium oligandrum* can suppress and kill the causative agents of dermatophytoses. *Mycopathologia*. 183(5), 751-764.

García, M., González-Coloma, A., Donadel, O. J., Ardanaz, C. E., Tonn, C. E., Sosa, M. E., 2007. Insecticidal effects of *Flourensia oolepis* Blake (Asteraceae) essential oil. *Biochemical Systematics and Ecology*. 35(4), 181-187.

Getter, K., 2015. Inspecting incoming plant material is key to greenhouse pest control. Michigan State University Extension, Department of Horticulture. 43, 1-88.

Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K., Jijakli, M., Thorarinsdottir, R., 2015. Challenges of Sustainable and Commercial Aquaponics. Sustainability. 7, 4199-4224.

Goddek, S., Joyce, A., Wuertz, S., Körner, O., Bläser, I., Reuter, M., Keesman, K. J., 2019. Decoupled aquaponics systems. Aquaponics food production systems, 201 s.

Goddek, S., Keesman, K. J., 2020. Improving nutrient and water use efficiencies in multi-loop aquaponics systems. Aquaculture International. 28, 2481–2490.

González-Coloma, A., Martín-Benito, D., Mohamed, N., García-Vallejo, M., Soria, A. C., 2006. Antifeedant effects and chemical composition of essential oils from different populations of *Lavandula luisieri* L. Biochemical Systematics and Ecology. 34(8), 609–616.

Greenhouse Vegetable Sector Biosecurity Guide - Plant health - Canadian Food Inspection Agency, 2017. Canadian Food Inspection Agency / Agence canadienne d'inspection des aliments [online]. Inspection.canada.ca [cit. 03.06.2021]. Dostupné na: <https://inspection.canada.ca/plant-health/plant-pests-invasive-species/biosecurity/greenhouse-vegetable-sector-biosecurity-guide/eng/1484722296145/1484722331070>

Guzman-Plazola, R. A., Davis, R. M., Marois, J. J., 2003. Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). Crop Protection. 22(10), 1157–1168.

Han, R., Ehlers, R. U., 2000. Pathogenicity, development, and reproduction of *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema carpocapsae* under axenic in vivo conditions. Journal of invertebrate pathology. 75(1), 55-58.

Hanssen, I. M., Paeleman, A., Vandewoestijne, E., Van Bergen, L., Bragard, C., Lievens, B., Thomma, B. P. H. J., 2009. Pepino mosaic virus isolates and differential symptomatology in tomato. Plant Pathology. 58(3), 450-460.

Hasan, M., Sabir, N., Singh, A. K., Singh, M. C., Patel, N., Khanna, M., Pragnya, P., 2018. Hydroponics Technology for Horticultural Crops. Tech. Bull. 188(2018), 30.

Hrudová, E., Pokorný R., Vichová J., 2006. Integrovaná ochrana rostlin. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 153 s.

Hu, Z., Lee, J., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A., Samir, K., 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. Bioresource Technology. 188, 92-98.

Hutchings, J. a Reynolds, J., 2004. Marine Fish Population Collapses: Consequences for Recovery and Extinction Risk. *Bioscience*. 54, 297-309.

Chang, C. L., Cho, I. K., Li, Q. X., 2009. Insecticidal Activity of Basil Oil, trans-Anethole, Estragole, and Linalool to Adult Fruit Flies of *Ceratitis capitata*, *Bactrocera dorsalis*, and *Bactrocera cucurbitae*. *Journal of Economic Entomology*. 102(1), 203–209.

Cheng, S., Huang, C., Chen, Y., Yu, J., Chen, W., Chang, S., 2009. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two eucalyptus species. *Bioresource Technology*. 100(1), 452–456.

Chrysopa | Koppert Products. Koppert Biological Systems [online]. [koppert.com](https://www.koppert.com/chrysopa/) [cit. 01.09.2021]. Dostupné na: <https://www.koppert.com/chrysopa/>

Jones, H., Whipps, J. M., Gurr, S. J., 2001. The tomato powdery mildew fungus *Oidium neolycopersici*. *Molecular Plant Pathology*. 2(6), 303–309.

Juan, L. W., Lucia, A., Zerba, E. N., Harrand, L., Marco, M., Masuh, H. M., 2011. Chemical Composition and Fumigant Toxicity of the Essential Oils From 16 Species of Eucalyptus Against *Haematobia irritans* (Diptera: Muscidae) Adults. *Journal of Economic Entomology*. 104(3), 1087–1092.

Kdy, kde a jaké lapače - leповé desky - použít? [zahradacentrum.cz](https://www.zahradacentrum.cz) – vše pro Vaši zahradu: články, zahradní kalendář, fórum a poradna [online]. [zahradacentrum.cz](https://www.zahradacentrum.cz) [cit. 01.09.2021]. Dostupné z: <https://www.zahrada-centrum.cz/clanky/359-kdy-kde-a-jake-lapace-lepove-desky-pouzit>

Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., Singkornard, S., Matta, F. B., 2010. Essential Oils from Six Herbal Plants for Biocontrol of the Maize Weevil. *HortScience*. American Society for Horticultural Science. 45(4), 592–598.

Khalfi, O., Sahraoui, N., Bentahar, F., Boutekedjiret, C., 2008. Chemical composition and insecticidal properties of *Origanum glandulosum* (Desf.) essential oil from Algeria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88(9), 1562–1566.

Khater, H. F., Ramadan, M. Y., El-Madawy, R. S., 2009. Lousicidal, ovicidal and repellent efficacy of some essential oils against lice and flies infesting water buffaloes in Egypt. *Veterinary Parasitology*. 164(2–4), 257–266.

Kim, G., Lee, S., Noh, H., Kwon, H., Kim, S., Kim, Y., 2012. Effects of Natural Bioactive Products on the Growth and Ginsenoside Contents of *Panax ginseng* Cultured in an Aeroponic System. *Journal of Ginseng Research*. 36(4), 430–441.

Koc, S., Oz, E., Aydin, L., Cetin, H., 2012. Acaricidal activity of the essential oils from three Lamiaceae plant species on *Rhipicephalus turanicus* Pom. (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*. 111(4), 1863–1865.

Kordali, S., Cakir, A., Ozer, H., Cakmakci, R., Kesdek, M., Mete, E., 2008. Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*. 99(18), 8788–8795.

Kostić, I., Petrović, O., Milanović, S., Popović, Z., Stanković, S., Todorović, G., Kostić, M., 2013. Biological activity of essential oils of *Athamanta haynaldii* and *Myristica fragrans* to gypsy moth larvae. *Industrial Crops and Products*. 41, 17–20.

Kostić, M., Popović, Z., Brkić, D., Milanović, S., Sivčev, I., Stanković, S., 2008. Larvicidal and antifeedant activity of some plant-derived compounds to *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Limantriidae). *Bioresource Technology*. 99(16), 7897–7901.

Kleczewski, N. M., Egel, D., 2011. *Commercial Greenhouse and Nursery Production: Sanitation for Disease and Pest Management*. Purdue extension, 4 s.

Lennard, W. A., Leonard, B. V., 2004. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International*. 12(6), 539-553.

Liu, C. H., Mishra, A. K., Tan, R. X., Tang, C., Yang., Shen, Y. F., 2006. Repellent and insecticidal activities of essential oils from *Artemisia princeps* and *Cinnamomum camphora* and their effect on seed germination of wheat and broad bean. *Bioresource Technology*. 97(15), 1969-1973.

Love, D., Fry, J., Genello, L., Hill, E., Frederick, J., Li, X., Semmens, K., 2014. An International Survey of Aquaponics Practitioners. *PLoS*. 9(7), e102662.

Machial, C. M., Shikano, I., Smirle, M., Bradbury, R., Isman, M. B., 2010. Evaluation of the toxicity of 17 essential oils against *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae) and *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Pest Management Science*. 66(10), 1116–1121.

Martini, X., Kincy, N., Nansen, C., 2012. Quantitative impact assessment of spray coverage and pest behavior on contact pesticide performance. *Pest management science*. 68(11), 1471-1477.

Martins, C., Eding, E., Verreth, J., 2011. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentration of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Food Chemistry. 126(3), 1001-1005.

Martinou, A. F., Seraphides, N., Stavrinides, M. C., 2014. Lethal and behavioral effects of pesticides on the insect predator *Macrolophus pygmaeus*. Chemosphere. 96, 167-173.

Martínez, J. A., 2012. Natural fungicides obtained from plants. In Fungicides for plant and animal diseases. IntechOpen, 28 s.

McGrath, M. T., Menasha, S. R., and LaMarsh, K. A., 2012. Evaluation of downy mildew resistance in experimental hybrids of cucumber. Plant Disease Management Reports 7:V018.

Mori, J., Smith, R., 2019. Transmission of waterborne fish and plant pathogens in aquaponics and their control with physical disinfection and filtration: A systematized review. Aquaculture. 504, 380–395.

Monsees, H., Kloas, W., Wuertz, S., 2017. Decoupled systems on trial: eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. PloS one. 12(9), e0183056.

Mullen, J., Norton, G., Reaves, D., 1997. Economic Analysis of Environmental Benefits of Integrated Pest Management. Journal of Agricultural & Applied Economics. 29(2), 243-53.

Negahban, M., Moharramipour, S., Sefidkon, F., 2007. Fumigant toxicity of essential oil from *Artemisia sieberi* Besser against three stored-product insects. Journal of Stored Products Research. 43(2), 123–128.

Noosidum, A., Prabaripai, A., Chareonviriyaphap, T., Chandrapatya, A., 2008. Excito-repellency properties of essential oils from *Melaleuca leucadendron* L., *Litsea cubeba* (Lour.) Persoon, and *Litsea salicifolia* (Nees) on *Aedes aegypti* (L.) mosquitoes. Journal of Vector Ecology. 33(2), 305–312.

Ontario Livestock & Poultry Council - Home [online]. ontlpc.ca [cit. 10.04.2021]. Dostupné na: http://www.ontlpc.ca/pdfs/downloads/olpc-plant_web.pdf

Pandey, A. K., Singh, P., Palni, U. T., Tripathi, N. N., 2013. Bioefficacy of plant essential oils against pulse beetles *Callosobruchus* spp. (Coleoptera: Bruchidae) in pigeon pea seeds with particular reference to *Clausena pentaphylla* (Roxb.) DC. Archives Of Phytopathology And Plant Protection. 46(12), 1408–1416.

Pantarella, E., Cardarelli, M., di Mattia, E., Colla, G, 2015. Aquaponics and food safety: Effects of UV sterilization on total coliforms and lettuce production. *Acta Horticulturae*. 1062, 71–76.

Papasolomontos, A., Baudoin, W., Baeza E., Teitel, M., Kacira, M., Wali, M. A., ..., Bartzanas, T., 2013. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for Mediterranean climate areas. FAO – Plant Production and Protection Paper. 217, 399-426.

Park, H., Kim, J., Chang, K., Kim, B., Yang, Y., Kim, G., Shin, S., Park, I., 2011. Larvicidal Activity of Myrtaceae Essential Oils and Their Components Against *Aedes aegypti*, Acute Toxicity on *Daphnia magna*, and Aqueous Residue. *Journal of Medical Entomology*. 48(2), 405–410.

Park, I., Choi, K., Kim, D., Choi, I., Kim, L., Bak, W., Choi, J., Shin, S., 2006. Fumigant activity of plant essential oils and components from horseradish (*A Armoracia rusticana*), anise (*Pimpinella anisum*) and garlic (*Allium sativum*) oils against *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae). *Pest Management Science*. 62(8), 723–728.

Park, I., Kim, J. N., Lee, Y., Lee, S., Ahn, Y., Shin, S., 2008. Toxicity of plant essential oils and their components against *Lycoriella ingenua* (Diptera: Sciaridae). *Journal of Economic Entomology*. 101(1), 139–144.

Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T., Condori, B., Crespo-Pérez, V., Hobbs, S., Kroschel, J., Ba, M., Rebaudo, F., Sherwood, S., Vanek, S., Faye, E., Herrera, M., Dangles, O., 2014. Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111(10), 3889-3894.

Pavela, R., 2007. Possibilities of botanical insecticide exploitation in plant protection. *Pest Technology*. 1(1), 47-52.

Pavela, R., 2011. Insecticidal and repellent activity of selected essential oils against of the pollen beetle, *Meligethes aeneus* (Fabricius) adults. *Industrial Crops and Products*. 34(1), 888-892.

Prado, S. G., Jandricic, S. E., Frank, S. D., 2015. Ecological Interactions Affecting the Efficacy of *Aphidius colemani* in Greenhouse Crops. *Insects*. 6, 538-575.

Pinheiro, P. F., de Queiroz, V. T., Costa, A. V., de Paula Marcelino, T., Pratisoli, D., 2013. Insecticidal activity of citronella grass essential oil on *Frankliniella schultzei* and *Myzus persicae*. *Ciência e Agrotecnologia*. 37(2), 138–144.

Popović, Z., Kostić, M., Skorić, S., 2006. Bioactivities of Essential Oils from Basil and Sage To *Sitophilus Oryzae*L. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 20(1), 36–40.

Prasad, Y., Prabhakar, M., (2012). "Pest monitoring and forecasting." *Integrated pest management: principles and practice*. Oxfordshire, UK: Cabi. 41-57.

Pretty, J., Bharucha, Z., 2015. *Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa*. *Insects*. 6(1), 152-182.

Rakocy, J., Masser, M., Losordo, T., 2012. *Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture*. Tidwell J. H. (ed) *Aquaculture Production Systems*. 344–386.

Rašković, B., Dvořák, P., Mráz, J., 2021. Effects of Biodegradable Insecticides on Biofilter Bacteria: Implications for Aquaponics. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 21(4), 169-177.

Rodilla J. M., Tinoco, M. T., Gimenez, C., Cabrera, R., Martín-Benito, D., Castillo, L., Gonzalez-Coloma, A., 2008. *Laurus novocanariensis* essential oil: Seasonal variation and valorization. *Biochemical Systematics and Ecology*. 36(3), 167–176.

Salama, M. M., Taher, E. E., El-Bahy, M. M., 2012. Molluscicidal and Mosquitocidal Activities of the Essential oils of *Thymus capitatus* Hoff. et Link. and *Marrubium vulgare* L. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 54(5), 281–286.

Sampling for Whitefly Nymphs on Poinsettias, 2015. Cornell Greenhouse Horticulture [online] greenhouse.cornell.edu [cit. 06.05.2021]. Dostupné na: <http://www.greenhouse.cornell.edu/pests/pdfs/insects/>

Seo, S., Kim, J., Lee, S., Shin, Ch., Shin, S., Park, I., 2009. Fumigant Antitermitic Activity of Plant Essential Oils and Components from Ajowan (*Trachyspermum ammi*), Allspice (*Pimenta dioica*), Caraway (*Carum carvi*), Dill (*Anethum graveolens*), Geranium (*Pelargonium graveolens*), and Litsea (*Litsea cubeba*) Oils against Japanese Termite (*Reticulitermes speratus* Kolbe). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57(15), 6596–6602.

Serrano, L., Manker, D., Brandi, F., Cali, T., 2011. The use of *Bacillus subtilis* QST 713 and *Bacillus pumilus* QST 2808 as protectant fungicides in conventional application programs for black leaf streak control. In VII International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Bananas and Plantains: Towards Sustainable Global Production. 986, 149-155.

Sertkaya, E., Kaya, K., Soylu, S., 2010. Acaricidal activities of the essential oils from several medicinal plants against the carmine spider mite (*Tetranychus cinnabarinus* Boisd.) (Acarina: Tetranychidae). *Industrial Crops and Products*. 31(1), 107–112.

Shafeena, T., 2016. Smart Aquaponics System: Challenges and Opportunities. *European Journal of Advances in Engineering and Technology*. 3(2), 52-55

Shamshiri, R., Kalantari, F., Ting, K. C., Thorp, K. R., Hameed, I. A., Weltzien, C., ..., Shad, Z. M., 2018. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. 11(1), 1–22.

Sharma, P. R., Sharma, O. P., Saxena, B. P., 2008. Effect of sweet flag rhizome oil (*Acorus calamus*) on hemogram and ultrastructure of hemocytes of the tobacco armyworm, *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). *Micron*. 39(5), 544–551.

Scheidt, A. B., Cline, T. R., Clark, L. K., Mayrose, V. B., Van Alstine, W. G., Diekman, M. A., Singleton, W. L., 1995. The effect of all-in-all-out growing-finishing on the health of pigs. *Swine Heal Prod*. 3, 202-5.

Skirvin, D. J., Fenlon, J. S., 2003. The effect of temperature on the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental & applied acarology*. 31(1), 37-49.

Steinernema carpocapsae (aka Millenium) - Evergreen Growers Supply, LLC. Supplier of Beneficial Insects, Natural Fungicides & Insecticides, Sticky Tape, and Pheromone Lures - Evergreen Growers Supply, LLC [online]. Copyright © 2013 [cit. 02.09.2021]. Dostupné z: <https://www.evergreengrowers.com/millenium-group-carpo.html>

Siddique, T., Okeke, B. C., Arshad, M., Frankenberger, W. T., 2002. Temperature and pH effects on biodegradation of hexachlorocyclohexane isomers in water and a soil slurry. *Journal of agricultural and food chemistry*. 50(18), 5070-5076.

Sim, M., Choi, D., Ahn, Y., 2006. Vapor Phase Toxicity of Plant Essential Oils to *Cadra cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Economic Entomology*. 99(2), 593–598.

Soliman, M. M., 2007. Phytochemical and toxicological studies of *Artemisia* L. (Compositae) essential oil against some insect pests. *Archives Of Phytopathology And Plant Protection*. 40(2), 128–138.

Sosa, M. E., Lancelle, H. G., Tonn, C. E., Andres, M. F., Gonzalez-Coloma, A., 2012. Insecticidal and nematicidal essential oils from *Argentinean eupatorium* and *Baccharis* spp. *Biochemical Systematics and Ecology*. 43, 132–138.

Surnar, S. R., Sharma, O. P., Saini V. P., 2015. Aquaponics: Innovative farming. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2(4), 261-263

Talukder, D., Khanam, L. M., 1970. Toxicity of Four Plant Based Products Against Three Stored Product Pests. *Journal of Bio-Science*. 17, 149–153.

Tia, E. V., Adima, A. A., Niamké, S. L., Jean, G. A., Martin, T., Lozano, P., Menut, Ch., 2011. Chemical Composition and Insecticidal Activity of Essential oils of two Aromatic plants from Ivory Coast against *Bemisia tabaci* G. (Hemiptera: *Aleyrodidae*). Natural Product Communications. 6(8), 1934578X1100600.

Turcios, A., Papenbrock, J., 2014. Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents-What Can We Learn from the Past for the Future? Sustainability. 6, 836-856.

Ulukanli, Z., Karaörklü, S., Cenet, M., Sagdic, O., Outurk, I., Balcilar, M., 2012. Essential oil composition, insecticidal and antibacterial activities of *Salvia tomentosa* Miller. Medicinal Chemistry Research. 22(2), 832–840.

Urbaneja, A., Montón, H., Mollá, O., 2009. Suitability of the tomato borer *Tuta absoluta* as prey for *Macrolophus pygmaeus* and *Nesidiocoris tenuis*. Journal of Applied Entomology. 133(4), 292-296.

Villafañe, E., Tolosa, D., Bardón, A., Neske, A., 2011. Toxic Effects of *Citrus aurantium* and *C. limon* Essential Oils on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Natural Product Communications. 6(9), 1934578X1100600.

Ware, G. W., Whitacre, D. M., 2004. An introduction to insecticides. The pesticide book, 496 s.

Wenda-Piesik, A., Piesik, D., 2021. "Diversity of Species and the Occurrence and Development of a Specialized Pest Population—A Review Article" Agriculture. 11(1), 16.

Yeom, H., Kang, J., Park, I., 2012. Insecticidal and Acetylcholine Esterase Inhibition Activity of Apiaceae Plant Essential Oils and Their Constituents against Adults of German Cockroach (*Blattella germanica*). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 60(29), 7194-7203.

Yep, B., Zheng, Y., 2019. Aquaponic trends and challenges—A review. Journal of Cleaner Production. 228, 1586-1599.

Yi, C., Choi, B., Park, H., Park, Ch., Ahn, Y., 2006. fumigant toxicity of plant essential oils to *Thrips palmi* (Thysanoptera: *Thripidae*) and *Orius strigicollis* (Heteroptera: *Anthocoridae*). Journal of Economic Entomology. 99(5), 1733–1738.

Zhu, J., Qin, J., Chang, R., Zeng, Q., Cheng, X., Zhang, F., Jin, H., Zhang, W., 2012. Chemical Constituents of Plants from the Genus *Euonymus*. Chemistry & Biodiversity. 9(6), 1055–1076.

Zhu, S., Shulin, Ch., 2002. The impact of temperature on nitrification rate in fixed film biofilters. *Aquacultural Engineering*. 26(4), 221-237.

8. Přílohy

Příloha č. 1: Insekticidní přípravky povolené v ČR k IOR

Účinná látka	Dávka 10 % v mg/l	LC50 mg/l	NOEC mg/l
lambda-cyhalothrin	0,0002	0.00024	-
acetamiprid	0,0005	100	35
spirotriamet	0,0015	2,54	0,825
bifenazate	0,0011	0,76	0,017
hexythiazox	0,0020	100	-
abamectin	0,0004	0,004	0,00052
Chlorantraniliprol	0,0010	9,900	0,11
pirimikarb	0,0049	79	18
spinosad	0,0017	30	5,2
draselná sůl přírodních mastných kyselin	0,1517	8,79	-
delthamethrin	0,0001	0,006	-

Příloha č. 2: Fungicidní přípravky povolené v ČR k IOR

Účinná látka	Dávka 10 % v mg/l	LC50 mg/l	NOEC mg/l
propamokarb-hydrochlorid	0,0197	6,6	-
myclobutanil	0,0020	10,3	-
azoxystrobin	0,0025	0,47	0,16
fenpyrazamin	0,0118	18	-
pyrimethanil	0,0148	53	-
fenhexamid	0,0148	1,01	-
penconazole	0,0010	1,3	0,36
trifloxystrobin	0,0030	0,015	0,0075
Isofetamid	0,0079	2,27	-
sulphur	0,0237	5000	<100
fluopikolid	0,0020	6,6	-
mancozeb	0,0316	1,1	0,32

Zdroje dat příloh č. 1. a č. 2:

Zařazení přípravků do IOR zjištěno podle údajů na stránkách:

http://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|prip|uredni

Toxicita přípravků byla zjištěna podle bezpečnostních listů zveřejněných na stránkách

<https://www.agromanual.cz>.

Dávkování bylo zjištěno z návodů k použití získaných od výrobců přípravků.

8. Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo vypracování literární rešerše zaměřené na problematiku integrované ochrany rostlin (IOR) v akvaponických systémech. Vzhledem k tomu, že literatura zaměřena na IOR v akvaponických systémech je velice omezena, tak práce vychází především z informací o ochraně rostlin při pěstování ve sklenících či hydroponiích.

Jednotlivé metody ochrany rostlin byly zhodnoceny na základě jejich využitelnosti v různých typech akvaponických systémů. Při hodnocení byla také v potaz brána jejich reálná možnost aplikace na komerčních akvaponických farmách.

Jako nejúčinnější se ukazuje prevence. Při dodržování přísných preventivních opatření lze velmi dobře předcházet vzniku markantnějších problémů. Následné vyřešení vzniklých problémů může být poměrně dost komplikované a mohou zapříčinit nezvratné ekonomické ztráty na rostlinných produktech.

Při ochraně rostlin ve sklenících a hydroponiích je v dnešní době běžně využívána chemická ochrana. Aplikace chemických pesticidů je však v akvaponiích silně problematická s ohledem na jejich možnou toxicitu pro vodní organismy. Vzhledem k omezeným možnostem použití tradičních chemických pesticidů je proto nutné hledat jiné alternativy. Jednou z těchto alternativ by se mohly stát přírodní přípravky založené na výtažcích z rostlin. Existuje velké množství rostlin, které vykazují pesticidní účinky, avšak možnost jejich aplikace je bez dalšího výzkumu velice omezena, protože u většiny přípravků rostlinného původu nejsou stanoveny toxicity pro vodní organismy. V této práci byl vytvořen přehled na trhu dostupných produktů z rostlin, které by mohly být použitelné proti problematickým škůdcům a chorobám. Také na základě literárních zdrojů vznikl seznam rostlin, které lze doporučit k budoucímu výzkumu využitelnosti a zařazení do systému IOR velkých akvaponických farem.

Klíčová slova: akvaponie, integrovaná ochrana rostlin, IOR, pěstování rostlin, chov ryb

9. Abstract

The aim of this bachelor thesis was to develop a literature search focused on the issue of integrated pest management (IPM) in aquaponics. Due to the fact that the literature focused on IPM in aquaponics is very limited, the work is based primarily on information about plant protection used in greenhouses or hydroponics.

Individual methods of plant protection were evaluated based on their applicability in various types of aquaponic systems. The evaluation also considered their real usage in commercial aquaponic farming.

Prevention is proving to be the most effective. By following strict preventive measures, more significant problems can be prevented. Subsequent resolution of the problems can be quite complicated and can cause irreversible economic losses on plant products.

Chemical protection is now commonly used in plant protection in greenhouses and hydroponics. However, the application of chemical pesticides in aquaponics is highly problematic due to their possible toxicity to aquatic organisms. Due to the limited possibilities of using traditional chemical pesticides, it is therefore necessary to look for other alternatives. Natural products based on plant extracts could become one of these alternatives. There is a large number of plants that have pesticidal effect, but the possibility of their application is without further research very limited, as most products of plant origin have not been tested for their toxicity to aquatic organisms. In this work has been created an overview of plant products available on the market that could be used against problematic pests and diseases. Also based on literature sources there has been created a list of plants that can be recommended for future research into usability and inclusion in the IPM system of large aquaponic farms.

Keywords: aquaponics, integrated pest management, IPM, plant production, fish farming