

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2022

Kryštof Holub

Univerzita Hradec Králové
Přírodovědecká univerzita
Katedra biologie

**Vliv chemizace prostředí na hmyzí opylovače
rostlin se zaměřením na zástupce blanokřídlého
hmyzu**

Bakalářská práce

Autor: Kryštof Holub
Studijní program: B0511A030001, Bakalářský, Prezenční
Studijní obor: Systematická biologie a ekologie
Vedoucí práce: RNDr. Martin Kubeš, Ph.D.
Odborný konzultant: doc. Mgr. Petr Bogusch, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem v seznamu odborné literatury uvedl všechny prameny, z kterých jsem vycházel.

v Hradci Králové dne:

Kryštof Holub

Poděkování:

Rád bych poděkoval panu doc. Mgr. Petru Boguschovi, Ph.D. za přidělené zajímavé téma a panu RNDr. Martinu Kubešovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost a trpělivost, kterou mi v průběhu psaní bakalářské práce věnoval.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je popsat problematiku používání různých chemických látek určených pro ochranu rostlin, které mají ať již přímo nebo nepřímo za následek zvýšený úhyn blanokřídlých opylovačů, především včel.

V první části je popsána anatomie, morfologie, fyziologie a ekologie dvou hlavních zástupců blanokřídlých opylovačů, tzn. včely a čmeláka. Dále následuje stručné uvedení čtenáře do historie chovu včel, včetně informací o typických onemocněních (parazitárních, virových a houbových) a používání chemických látek při jejich léčbě, které druhotně zhoršují kvalitu života vybraných opylovačů. Kromě toho jsou zmíněny i vhodné přírodní alternativy.

Druhá část je věnována základním skupinám chemických látek používaných v ochraně rostlin a plodin včetně ověření existence šetrnějších způsobů ochrany zemědělských plodin, které by zároveň byly pro opylovače méně škodlivé.

Ve třetí části jsou navrženy vhodné biologické a analytické metody, které by se pro tento druh výzkumu mohly s výhodou použít a byly současně dostupné. Předložená práce by měla nabídnout souhrnný přehled dané problematiky i představy a plány autora, jak přistoupit k řešení budoucích praktických úkolů diplomové práce.

Klíčová slova

včela, čmelák, včelařství, parazité, nemoci, pesticidy, neonikotinoidy

Annotation

The aim of this bachelor thesis is to describe the use of various chemicals for plant protection, which directly or indirectly result in increased mortality of wild pollinators, especially bees.

In the first part, the anatomy, morphology, physiology and ecology of the two main representatives of Hymenoptera pollinators, i.e. the bee and the bumblebee, are described. This is followed by a brief introduction to the history of bee keeping, including information on typical diseases (parasitic, viral and fungal) and the use of chemical treatment that secondarily impair the quality of life of selected pollinators. In addition, suitable natural alternatives are mentioned.

The second part is devoted to the basic groups of chemicals used in plant and crop protection, including the verification of environmentally friendly methods of crop protection that should be less harmful to pollinators.

The third part proposes suitable biological and analytical methods that could be advantageously used for this kind of research and are available. The presented thesis should offer a comprehensive overview of the subject as well as the author's ideas and plans on how to approach future practical tasks of diploma thesis.

Keywords

bee, bumblebee, beekeeping, parasites, diseases, pesticides, neonicotinoids

Obsah

Úvod	9
Teoretická část.....	10
1 Historie chovu včel a využívání včelích produktů	10
2 Ekologie opylovačů kulturních plodin v české krajině	12
3 Čmeláci	14
3.1 Biologie čmeláka	15
3.1.1 Anatomie a fyziologie čmeláka.....	15
4 Včely	18
4.1 Biologie včely	18
4.1.1 Anatomie a fyziologie včely	19
4.2 Počátek používání pesticidů a jejich neblahý vliv pro včely	29
5 Faktory ohrožující opylovače.....	31
5.1 Parazité.....	31
5.1.1 Kleštík včelí (<i>Varroa destructor</i>)	32
5.2 Bakteriální onemocnění.....	35
5.2.1 Hniloba včelího plodu (<i>Melissococcus plutonius</i>).....	36
5.2.2 Mor včelího plodu (<i>Paenibacillus larvae</i>).....	38
5.3 Virózy	40
5.3.1 Virus deformovaných křídel.....	40
5.3.2 Virus pytlíčkovitého plodu.....	41
5.4 Houbová onemocnění.....	43
5.4.1 Zvápenatění včelího plodu	43
5.4.2 Nosematóza.....	44
5.5 Chemické látky	46
5.5.1 Insekticidy se zaměřením na neonicotinoidy	46
5.5.2 Herbicidy	50
5.5.3 Fungicidy	51
6 Možné metodické postupy ve výzkumu.....	53
6.1 Postup při získávání materiálu a jeho analýza v navazující diplomové práci	54
6.2 QuEChERS metoda.....	55

Závěr	57
Seznam obrázků	59
Seznam použitých zdrojů	61

Úvod

Rozmnožování hospodářských a divokých druhů rostlin je závislé na hmyzích opylovačích, kteří hrají v tomto ohledu důležitou roli. Včely byly využívány člověkem již od pravěku využívány jako součást různých náboženských rituálů, o čemž víme z jeskynních maleb. Člověk postupem času přicházel do užšího kontaktu se včelami až došlo k vytvoření prvních základů včelařství. Včelařská činnost ale byla odjakživa ohrožována působením parazitů, virových a bakteriálních onemocnění. K těmto faktorům se s rozvojem průmyslu přidaly i chemické přípravky. Tyto postřiky vždy úspěšně dokázaly lidem v boji s různými škůdci pomoci při ochraně zemědělských rostlin a zajištění dostatečných výnosů. V posledních letech se ale hojně využívání těchto přípravků stalo jedním z hlavních důvodů kolísání populace hmyzích opylovačů vedle neustále se měnícího přirozeného prostředí, globálních klimatických změn, vysazování monokultur a narůstající populace lidí, která má za následek rozšiřování jednolitých zemědělských ploch na jejichž místě se dříve rozkládalo území s vysokou biologickou diverzitou, díky které se zde nacházelo velké množství blanokřídlých opylovačů a dostatek různorodé potravy pro celé vegetační období.

Cílem této bakalářské práce je rešerše dostupných informací o úbytku vybraných druhů blanokřídlých opylovačů z důvodu nemocí, parazitů a člověkem využívaných chemických látek v ochraně plodin v zemědělství. Dále se bude zabývat vhodnou metodikou pro sledování vybraných modelových zástupců blanokřídlého hmyzu, odběru a analytického zpracování vzorků.

Těmto problémům se do jisté míry věnovali ve svých bakalářských pracích studenti Karolína Varmužová (2010), Simona Otypková (2021) a Vít Bureš (2021).

Teoretická část

1 Historie chovu včel a využívání včelích produktů

Historie počátků včelařství sahá do doby, kdy pravěcí lidé žili jeskynním životem před desítkami tisíci lety. Z této doby se dochovaly jeskynní malby staré více jak 7000 let, zkameněliny včel z dávných dob a podobné historické nálezy díky kterým je možné tuto informaci potvrdit (Eroğlu, 2020). Mezi nejznámější a jedno z prvních vyobrazení tohoto soužití můžeme zařadit skalní malbu v Pavoučích jeskyních u Valencie ve Španělsku, jejíž vznik se datuje do doby před více než 8000 lety a na níž je zobrazena lidské postava přistupující ke včelímu hnízdu, zatímco několik včel se vznáší kolem ní (Ayala et al., 2013). Tento jeskynní náčrt poukazuje na velmi důležité spojení mezi včelami a lidmi, kteří byli schopni riskovat i život pro získání cenné potravy v podobě medu, který sloužil jako pochoutka, tak i jako látka s mnoha léčivými účinky. Získávání medu pravěkými lidmi s pomocí jednoduchých dřevěných a kamenných nástrojů můžeme dnes pozorovat například u šimpanzů což naznačuje, že sběr medu mohl být důležitým krokem v evoluci schopnosti používat nástroje (Genty et al., 2009; Prendergast et al., 2021).

Při výzkumech v egyptských faraonských hrobkách byl nalezen 3 200 let starý sušený med a nálezy prastarých tabulek a svitků potvrdily, že staří Egypťané hojně tento včelí výrobek využívali pro potravinářské, lékařské a náboženské účely. Starověký Egypt byl také jedním z prvních oblastí, kde se objevilo mobilní včelařství (Crittenden, 2011). Jeho podstatou byl převoz úlů mezi různými oblastmi s vysazenými rostlinami, což pomohlo ke zvýšení medové produkce a již v této době byla známa souvislost mezi opylováním rostlin a vyššími výnosy při sklizni (Eroğlu, 2020).

Ve svých spisech popsal léčivé účinky medu řecký filozof Pythagoras, který kladl důraz na jeho životadárnou sílu. Hojivé vlastnosti medu se využívaly pro léčbu kardiovaskulárních problémů, problémů s játry, žaludkem a astmatem a pomáhal ulevit od bolesti při léčbě popálenin a ran (Ren et al., 2014). K poznatkům Pythagora se přidal i filozof Aristoteles, který pozoroval včelí chování a popsal vývoj larev a jejich vývoj po dospělosti. Uvedl, že včely si nektar ukládají do žaludku a pyl přenášejí na nohou, navštěvují stále stejnou rostlinu, pokud se na ní nachází nektar a pyl a zůstávají závislé na druhu rostliny, který opylují (Eroğlu, 2020).

Mimo využití včel pro potravinářské a lékařské účely, včely byly považovány za symbol zdraví, bohatství a moci (Akre et al., 1991). Například Napoleon Bonaparte považoval včelu medonosnou za symbol tvrdé práce, pořádku a zdraví. Stala se tak důležitou součástí prvního francouzského císařství, představovala jeho hodnoty,

kteřé toužil Napoleon udržet, a tak vydal značné úsilí o začlenění motivu včely do tehdejších francouzských vzorů (Prendergast et al., 2021).

Skutečné včelařství má však kořeny až v době, kdy lidé vybrali jen nutnou část medu z úlu, aniž by při tom zničili bránící se včelstvo (Ferrari et al., 2008). Jako řešení tohoto problému se začaly vyrábět různé druhy včelích úlů. Následně po velmi dlouhou dobu nedošlo k žádnému významnému rozvoji včelařských poznatků a včelařství se udržovalo pouze jako tradiční obor předávaný z generace na generaci. K dalšímu rozvoji došlo až s počátkem 16. století díky rozvoji vědy a techniky, kdy se včelařské znalosti významně rozšířily (DeMera et al., 2004). Hlavním cílem výzkumů bylo najít metodu, díky které by bylo možné získávat med z úlu bez drastického poškození včelstva. Za tímto účelem bylo učiněno několik pokusů o vývoj vhodného zařízení určeného k chovu včel. Řešením tohoto problému se ukázal být až objev využívání rámečků, které bylo možné i s plástvemi snadno vyndat bez poškození úlu (Žračka et al., 2018). Kromě získávání poznatků o chovu včel začali vědci studovat anatomii a fyziologii včel. V roce 1609 Charles Butter zjistil, že včelí královna je samice a prohlásil, že by se tento název neměl považovat jako titul rovný královně lidského území (Antonius, 2019). Do poznatků o rozmnožování včel přispěl JC Fabricius popisem rozmnožování včelí matky v roce 1787, ale biologie rozmnožování včel byla důkladně popsána až o více jak půl století později v roce 1845 Matthiasem Trentsenským (Eroğlu, 2020).

I přes několikatisícileté využívání včel člověkem nebyla včela nikdy zcela domestikována. Místo toho jsme se naučili s nimi nakládat pro svoji potřebu za pomoci úlů, které usnadňují odebírání medu a vosku nebo přemísťování včelstva na vhodné místo. Ve většině ohledů se však domácí včely od svých divokých příbuzných do značné míry neliší (Oldroyd, 2012).

Od 17. století se včela medonosná rozšířila téměř do všech obyvatelných koutů zeměkoule, většinou díky lidské přepravě. Med byl jediným sladidlem dostupným pro první africké, blízkovýchodní a evropské civilizace a využíval se tedy jako sladilo až do doby, než byly vyvinuty metody rafinace cukru z cukrové řepy a třtiny (Ollerton et al., 2011; Vanengelsdorp et al., 2010).

V poslední době se věnuje pozornost možnostem využití včelích produktů v medicíně, především včelího jedu, kterým by mohlo být možné léčit mnoho lidských onemocnění. Jed může být do lidského těla vpraven injekcí nebo přímým včelím bodnutím. Jeho hlavní složka, v podobě toxinu melitinu, má potenciál při léčbě zánětů a onemocnění centrálního nervového systému, jako je Parkinsonova choroba, Alzheimerova choroba a amyotrofická laterální skleróza (Kim et al., 2019; Park et al., 2015; Ye et al., 2016). Melitin navíc prokázal slibné účinky proti různým typům rakoviny a antivirovou aktivitu, dokonce i proti viru lidské imunodeficiency (HIV). Mnoho studií popsalo biologickou aktivitu složek včelího jedu a zahájilo

preklinické studie s cílem zlepšit potenciální využití apitoxinu a jeho složek jako nové generace léčiv (Wehbe et al., 2019).

Včelařství je dnes jednou z nejrozšířenějších zemědělských činností na světě. V současné době je na světě přibližně 56 milionů včelstev a vyprodukuje se z nich 1,2 milionu tun medu. Čína patří mezi země s největším počtem včelstev a produkcí medu (211 tisíc tun). Země, kam se dováží nejvíce medu, jsou Německo, USA, Japonsko, Velká Británie, Itálie, Švýcarsko, Francie, Rakousko a další evropské země (Eroğlu, 2020).

2 Ekologie opylovačů kulturních plodin v české krajině

Opylující hmyz je klíčovou složkou evropské biodiverzity a poskytuje důležité ekosystémové služby pro plodiny a planě rostoucí rostliny. Stále častěji se objevují důkazy o úbytku volně žijících i zdomácnělých opylovačů a o souběžném úbytku rostlin, které jsou na nich závislé (Potts et al., 2015). Množí se i důkazy, že úbytek některých rostlin může vést i k následnému úbytku živočišných druhů na nich přímo či nepřímo závislých. Klesající populace opylujícího hmyzu může znamenat tragédii, neboť by měla zásadní dopad na reprodukci rostlin jak zemědělsky využívaných, tak i volně rostoucích (Biesmeijer et al., 2006).

V současné době je největší výzvou pro zemědělství zajistit potraviny pro lidskou potřebu, aniž by se změnila agrobiologická rozmanitost a související ekosystémové služby. Celosvětová intenzifikace zemědělských ekosystémů vedla k tragickým ztrátám biologické rozmanitosti a v posledních desetiletích lze pozorovat ztrátu hmyzích opylovačů v intenzivně obhospodařované krajině (Noel et al., 2021).

Velkou roli v tomto úbytku hrají mj. pesticidy, které jsou primárně určeny proti rostlinným škůdcům, ale působí negativně i na opylující hmyz. Ačkoli jsou škodlivé důsledky smrtícího působení pesticidů na zdraví včel medonosných zřejmé, stále větší obavy vzbuzuje také subletální působení těchto chemických látek. Jako subletální považujeme látky, které hmyz neusmrtí, ale negativně ovlivňují jeho životní funkce. Expozice pesticidům ve vysokých dávkách je významným příčinným faktorem poklesu populace včely medonosné, subletální expozice pro ně však také představuje určité nebezpečí a zátěž. Negativně ovlivňuje zejména reprodukci, imunitu, fyziologii a kognici (získávání informací z okolí) včel. Dále způsobují narušení rozmnožování, zejména snižuje množství nakladených vajíček a brání správnému vývoji larev. Způsobuje četná poškození mozkových funkcí (učení se, paměť, smyslové vnímání), ovlivňuje harmonii a produktivitu v úlu a schopnost vyhledávat nové zdroje potravy (Chmiel et al., 2020).

Kvůli narůstajícím obavám z klesajících populací hmyzích opylovačů bylo vytvořeno několik studií a projektů, mezi které patří například projekt STEP (Status and Trends of European Pollinators), který si dal za cíl zdokumentovat klíčové faktory způsobující úbytek blanokřídlých opylovačů, mj. zkoumá klíčové funkční markery spojené s nedostatkem opylení a vytváří červený seznam pro některé skupiny evropských opylovačů. Tyto činnosti společně vytvářejí základ pro budoucí programy monitorování opylovačů. STEP rovněž posuzuje relativní význam potenciálních příčin úbytku opylovačů, včetně změny klimatu, ztráty a fragmentace stanovišť, vzájemné působení agrochemikálií, patogenů, invazních druhů a světelného znečištění (Potts et al., 2015).

Včela medonosná, především *Apis mellifera*, zůstává celosvětově ekonomicky nejcennějším opylovačem rostlinných monokultur a výnosy některých ovocných plodin, semen a ořechů by se bez těchto opylovačů snížily o více než 90 %. Pokud divoké včely nenavštěvují zemědělská pole, jsou řízeně umístované včelí úly pro zemědělce často jediným řešením, jak zajistit opylování plodin (Klein et al., 2006).

Do skupiny efektivních opylovačů můžeme rovněž zařadit čmeláky, kteří jsou velmi důležití a výkonní opylovači a jsou schopni vyhledávat potravu i v drsných a nepříznivých podmínkách ve srovnání s jinými druhy včel. Hrají významnou roli při opylování zemědělských plodin, jako jsou například léčivé, aromatické, okrasné a různé další zahradnické rostliny. Jsou hojní a většinou se omezují na rostliny vyskytující se v mírném pásmu. Dále mohou opylovat i rostliny vysokohorské vegetace, která je pro včely často mimo dosah z důvodu nízkých teplot, které jsou pro včely nepříjemné. Jsou to úspěšnější opylovači, kteří jsou schopni navštívit velké množství květů a přenosem většího množství pylu zvyšují šance na oplození jednotlivých rostlin. Čmelák je schopen opylovat tím, že při letu vytváří vibrace s pomocí letových svalů a tím rychle vytlačuje pyl z prašníků. Na rozdíl od čmeláků včely medonosné kmitají svými letovými svaly pomalu, a proto jsou považovány za nekompetentní opylovače rostlin, které potřebují opylení technikou sonikace, což je opylení za využití vibrací. Je zcela zřejmé, že populace čmeláků na celém světě v posledních sedmi desetiletích rovněž postupně klesá v důsledku intenzifikace zemědělství a ztráty stanovišť, odlesňování, nadměrné pastvě, používání pesticidů a klimatických změn. Jsou považováni za klíčové druhy ve většině suchozemských ekosystémů, protože jejich opuštěná hnízda může následně využít celá řada komenzálních i parazitických živočichů (Parrey et al., 2021).

3 Čmeláci

Neudržitelné využívání ekosystémů lidskou společností dostalo biodiverzitu hmyzu do velmi špatného stavu. Čmeláci jsou v této souvislosti oblíbeným příkladem vysoce diverzifikované skupiny opylovačů, jejichž úbytek je vzhledem k neocenitelným ekosystémovým službám, které poskytují, velmi znepokojivý (Maluf a Neves, 2021; Williams et al., 2009). Tento druh opylovačů stále více přitahuje pozornost vědců kvůli dramatickému poklesu jejich populací na celém světě, a tak se stali relevantním modelem v oblasti ekologie, evoluce a biogeografie (Ghisbain et al., 2021). Čmeláci patří do jedné z nejdůležitějších skupin hmyzích opylovačů a příslušníci této skupiny opylují nejen divoce rostoucí rostliny, ale i zemědělsky pěstované plodiny (Polce et al., 2018). Jsou nedílnou součástí skupiny divokých opylovačů původních rostlinných společenstev v ekosystémech mírného pásma a jejich nedávná domestikace zvýšila jejich hospodářský význam při opylování plodin na úroveň, kterou překonává pouze včela medonosná. Jejich mohutná velikost, dlouhé jazyky a bzučivé opylování (vysokofrekvenční bzučení, které uvolňuje pyl z květů) významně zvyšují účinnost přenosu pylu u plodin s mnohamiliardovým obratem, jako jsou rajčata a bobuloviny (Cameron et al., 2011).



Obrázek 1: Čmelák sající nektar, foto: Skitterphoto, dostupné z: <https://pixabay.com/cs/photos/včela-čmelák-květ-makro-zahrada-535247/>

Faktory, které způsobují pokles populací čmeláků, jsou většinou spekulativní. Jedna z přesvědčivých, ale neověřených hypotéz o příčině úbytku čmeláků ve Spojených státech, se týká šíření údajně zavlečeného patogenu *Nosema bombi*, což je obligátní nitrobuněčný mikrosporidiový parazit, který se běžně vyskytuje u čmeláků v celé Evropě, ale v Severní Americe není z velké části prozkoumán. Patogenní účinky *Nosema bombi* se mohou lišit v závislosti na druhu hostitele a zahrnují snížení růstu

kolonií a délky života a zdatnosti jedinců. Za poklesem populace čmeláků by ale mohly být i genetické faktory (Cameron et al., 2011).

3.1 Biologie čmeláka

Čmeláci se vyskytují na většině území světa, ale nejčastěji preferují podnebí mírného pásu. Můžeme je dále najít na území Afriky a v Indii. Některé druhy byly zavlečeny do Austrálie a na Nový Zéland (Britannica, 2020).

V zásadě rozeznáváme dva rody: *Bombus*, čmeláci stavějící hnízda, a *Psithyrus*, parazitičtí čmeláci. Některé druhy jsou někdy řazeny do třetího rodu, *Bombias*. Ve Velké Británii se vyskytuje asi 19 druhů rodu *Bombus* a 6 druhů rodu *Psithyrus*. V Severní Americe se vyskytuje asi 50 druhů rodu *Bombus* a některé druhy rodu *Psithyrus* (Britannica, 2020). V České republice žije přibližně 30 druhů, z nichž nejčastěji potkáme čmeláka zemního (*Bombus terrestris*), čmeláka hájového (*Bombus lucorum*) či čmeláka skalního (*Bombus lapidarius*) (Stoček, 2019).

Čmeláci jsou robustní a chlupatí, v průměru měří asi 1,5 až 2,5 cm a jsou obvykle černí s širokými žlutými nebo oranžovými pruhy. Často hnízdí v zemi, obvykle v opuštěných ptačích nebo myších hnízdech (Britannica, 2020). Svoji vnitřní anatomii se podobají včelám medonosným. Přesto se od sebe nápadně liší – jsou větší, kulatější a jasně žlutí. Kromě toho má královna, trubec a dělnice odlišnou strukturu těla (BeesWiki, 2021). Anatomie čmeláka se dělí na tři hlavní části – hlavu, hrudník a zadeček.

3.1.1 Anatomie a fyziologie čmeláka

Hlava čmeláka

Čmeláci mají na hlavě pět očí, dvě tykadla a dvoje mandibuly. Dvě velké složené oči jsou viditelné, ale jejich tři ocelli lze těžko rozeznat (Tian a Hines, 2018). Tykadla čmeláků jsou všestranná a plní klíčové funkce. Fungují jako čidla pachů, světla, elektrického pole a chemických látek. Mandibuly chrání jemný jazyk, který slouží ke sběru nektaru. Ústa čmeláků slouží k přijímání potravy, žvýkání a tvorbě medu (BeesWiki, 2021). Dýchání se děje skrze spirakuly, což jsou párové otvory po stranách jejich těla. Vzduch je nasáván při jejich pohybu. Spirakuly jsou připojeny k trubicím zvaným tracheje, a kromě nich mají čmeláci také vzduchové váčky (Bumblebee, nedatováno).

Hrudník čmeláka

Hrudník se nachází mezi hlavou a břichem a zahrnuje křídelní svaly, křídla, vzduchové otvory (neboli spirakuly) a nohy. Nachází se zde dva velké svaly, které ovládají pohyb křídel hmyzu (Vogt, 1986). Tyto svaly nejsou přímo připojeny ke

křídly jako u ptáků, místo toho svaly hrudníku způsobují jejich nepřímý pohyb. Podélný sval táhne křídla zepředu dozadu, zatímco ostatní svaly je stlačují shora dolů, což umožňuje jejich pohyb k sobě. Čmeláci mají navíc tři páry nohou zašpičatělých jako hřebínky, aby maximalizovaly sběr pylu (BeesWiki, 2021).

Zadeček čmeláka

V zadečku čmeláka se nachází většina jeho orgánů včetně trávicí soustavy. Zadeček je zakončen žihadlem, které se nachází pod konečником. Zadeček se také vyznačuje hustým ochlupením a tento znak je udržuje v teple a pomáhá při sběru pylu. Podél zadečku se řadí sedm párů vzduchových otvorů, které slouží k příjmu kyslíku do těla. Celkem se na těle nachází 20 jednotlivých otvorů z nichž je každý napojen na tracheu rozvádějící kyslík po celém těle. Čmelák příjem vzduchu reguluje kontrakcemi zadečku (BeesWiki, 2021).

Vosk je vylučován žlázami v břiše mezi chitinovými destičkami. Nohama se seškrabuje a tvaruje se podle potřeby (Hines et al., 2017). Používá se ke stavbě medných nádob, jako obal na vajíčka, pro vystlání uvnitř některých použitých kokonů, aby se v nich udržel nektar či med, a někdy jako obal celého hnízda. Vosk vylučuje královna při zakládání hnízda a dělnice druhý den po dosažení dospělosti. Po týdnu sekrece klesá. V této době tráví většina dělnic většinu času v hnízdě vykonáváním prací. Teprve později opouštějí hnízdo a vydávají se na nebezpečnou cestu pro vyhledání potravy (Bumblebee, nedatováno).

Stejně jako ostatní hmyz má i čmelák tzv. exoskelet, což je kostra na vnější straně těla tvořená tvrdými chitinovými destičkami. Chitin je dusíkatý polysacharid nerozpustný ve vodě, alkoholu, zředěných kyselinách a trávicích šťávách. Exoskelet tedy zamezuje čmelákovi dále růst poté, co se jako dospělý jedinec vylíhne z kukly (Bumblebee, nedatováno). Čmeláci dělnice a královny mají pylové košíčky na svých zadních nohách. Špičaté a hřebínkovité chloupky vytvářejí pylové košíčky, když na ně čmelák tlačí pyl a nektar (Tasei a Aupinel, 2008). Čmeláci jsou chlupatější než ostatní hmyz sbírající nektar. Celé jejich tělo při sběru potravy shromažďuje pyl, který pak čistí a přenáší do váčků. Při průletu nad rostlinami často pyl odpadáva na jiné květy a tím napomáhá šíření pylu (BeesWiki, 2021).

Čmeláci jsou velmi defenzivní. Při vyrušení často vydávají bzučivý zvuk, který je způsoben vibrací letových svalů. To zvyšuje jejich tělesnou teplotu a připravuje je na obranný let (Plowright a Jay, 1968). Bzučivý zvuk může fungovat také jako varování pro vetřelce. Vzhledem k tomu, že nemají stejnou stavbu jedového aparátu jako včely medonosné, neztrácejí žihadlo v rance oběti, a jsou tak schopni opakovaného bodnutí (Hermann, 2017). Čmeláci žihadlo je modifikovaný ovipozitor – trubice pro kladení vajíček, která je v době, kdy ji jedinec nepoužívá, ukryta v dutině na zadním konci břicha a mají ho pouze královny a dělnice. Samice se podle potřeby zapojují do obranných činností kolonie, včetně hlídání hnízda a boje proti

případným predátorům. To může vyžadovat, aby dělnice nebo královna svá žihadla použily. Královna jej může využít při střetu s jinou královnou, když spolu soupeří o hnízdiště (BuzzAboutBees, nedatováno).

Rozmnožování čmeláka

Čmeláci jsou považováni za primitivně eusociální, protože mezi královnou a dělnicemi kolonie je velmi malá anatomická diverzita a existuje mezi nimi značná reprodukční konkurence. Kolonie má obvykle malou velikost a v mnoha koloniích žije 50-600 jedinců. Hnízda si obvykle tvoří v prohlubních v zemi, v tunelech nebo pod trsy trávy (Nunney, 2007). Některé druhy si staví voskovou stříšku, tzv. involucrum, která slouží jako izolace a ochrana. Po probuzení z hibernace začnou královny čmeláků hledat místo pro hnízdo. Jakmile jej najdou, připraví si voskové nádoby, z nichž mnohé slouží k uskladnění pylu a nektaru. Některé ale slouží k ukládání vajíček. Zásobami pylu a nektaru jsou krmeny rostoucí larvy, které procházejí čtyřmi vývojovými stadii (Rembold et al., 1980). Larvy posledního stádia vývoje spřádají hedvábný kokon a následně se kuklí. Po dokončení své přeměny se z kokonu prokoušou a vylezou jako dospělci. Zkráceně se tedy vývojový cyklus čmeláků skládá ze tří stádií – larva, kukla a dospělec (Hermann, 2017).

Z první snůšky se zpravidla vyvine čtyři až osm dělnic. Krátce poté, co se tyto dělnice vyvinou v dospělé, převezmou od královny povinnosti spojené se sběrem pylu a péčí o úl. Královna se poté věnuje kladení vajíček. Po určitou dobu se rodí pouze dělnice a kolonie se rozrůstá (Britannica, 2020).

Královny čmeláků potlačují kladení vajíček u dělnic v raných hnízdech prostřednictvím fyzických a chemických forem dominance. V pozdější fázi sezóny jsou dělnice méně pod jejím vlivem a začínají také klást vajíčka (Hermann, 2017). S postupem času se v hnízdech začínají objevovat jedinci, kteří nejsou dělnicemi. Jsou to nové královny a samci, kteří se později rozmnoží. Čmeláci samci opouštějí hnízdo a obvykle se nevracejí. Nesbírají pyl a svůj čas tráví krmením nektaru z květů a snahou o páření. Nové královny opouštějí hnízdo a brzy poté se páří. Chování při páření se u jednotlivých druhů liší, ale obvykle se jedná o několik málo samců, kteří spolu tak či onak soupeří, přičemž většina samců se neúčastní páření (Allen, 1960). Po námluvách se nové královny intenzivně živí pylem a nektarem a energii ukládají ve formě tuku v těle. Ten poté využijí k zajištění energie během dlouhé hibernace. Na začátku podzimu přestává královna klást vajíčka a kolonie včetně královny postupně vymírá (Bumblebee Conservation Trust, nedatováno). V tomto období se na zbývajících vajíčkách a larvách v hnízdě přiživují larvy některých mūr a brouků (Britannica, 2020). Pouze nové královny přežívají až do příštího jara tím, že přezimují v podzemí (Bumblebee Conservation Trust, nedatováno).

4 Včely

Jedná se o velmi různorodou skupinu blanokřídlého hmyzu. Jejich výskyt je, s výjimkou Antarktidy, kosmopolitní a včely navíc sdílejí důležitý společný znak, který je jednoznačně odlišuje od ostatních zástupců z řad blanokřídlého hmyzu – a to je fakt, že se živí pouze pylem (Macek J. et al., 2010). Ten je pro včely esenciální. Využíván je jako potrava pro včelí potomky a samice ho využívají jako zdroj proteinů pro vývin vaječnicků. Drtivá většina dospělců se naopak živí nektarem. V tropech se včely specializují na opylování různých druhů stromů, v mírném pásmu se zaměřují spíše na ovocné stromy, keře a byliny (Michener, 2007). Přežití většiny druhů rostlin závisí na stabilní populaci včel, které zprostředkovávají rostlinnou reprodukci. Pokud by došlo k jejich vymizení, znamenalo by to ohrožení jak volně žijících rostlin, tak i plodin pěstovaných člověkem (Bureš, 2021).



Obrázek 2: Včela medonosná, foto: Erik_Karits, dostupné z: <https://pixabay.com/cs/photos/včela-hmyz-okřídlený-hmyz-křídla-6518669/>

4.1 Biologie včely

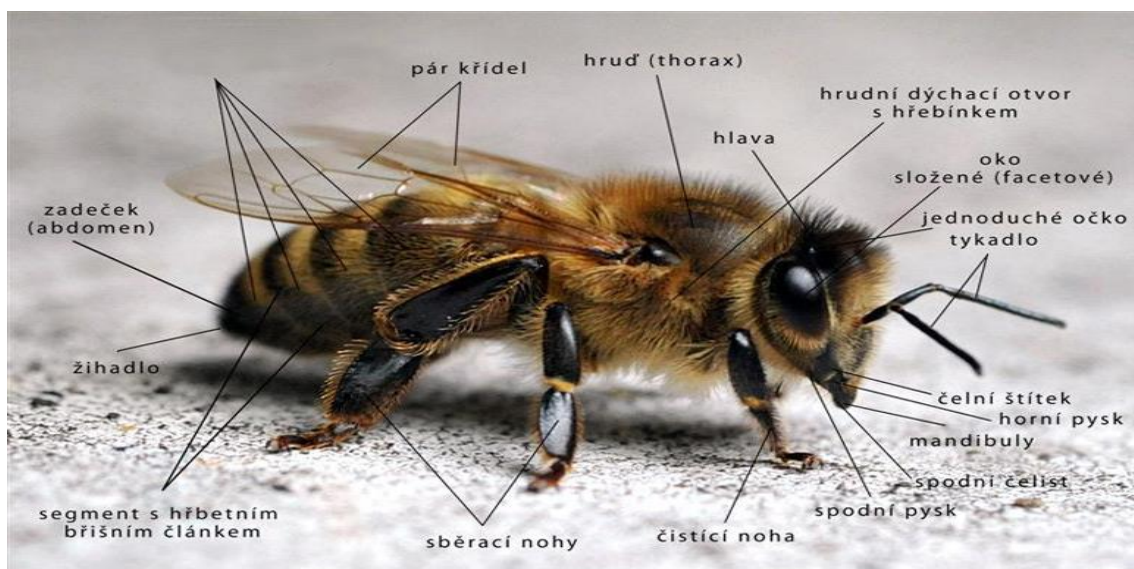
Včela medonosná (*Apis mellifera*) je jedním z nejznámějších zástupců blanokřídlého hmyzu a ze všech druhů včel je v hospodářství nejvíce využívána (iVčelařství, 2021). Patří mezi vysoce sociální hmyz, který je schopen pokročilé komunikace s pomocí včelích tanců a feromonů a vytváří společenství s dokonalou dělbou práce. Jedinci se v rámci společenství dělí na matku, dělnice a trubce. Tyto tři skupiny od sebe odlišuje velikost, vývoj, vzhled a způsob života (ZOO Chleby, 2013).

V současné době se zástupci včely medonosné nachází po celém světě a během geologického vývoje Země vznikly i různé poddruhy, které se adaptovaly na různé podmínky v oblastech, ve kterých se vyskytují. Mezi tyto poddruhy řadíme severskou včelu (*Apis mellifera mellifera*), italskou včelu (*Apis mellifera ligustica*) a včelu korutanskou (*Apis mellifera carnica*) (Ptáček, 2005). K užitečným opylovačům se řadí i včely samotářky, které tvoří druhově nejbohatší skupinu včel. Od společenského uspořádání včely medonosné se liší tím, že se dělí pouze na kasty samců a samic. V České republice patří mezi nejznámější druhy zednice rezavá (*Osmia bicornis*) a zednice rohatá (*Osmia cornuta*) (Sedivy et al., 2014).

4.1.1 Anatomie a fyziologie včely

Tělo dospělé včely medonosné, jako u většiny hmyzu, tvoří tři části – hlava, hrud' a zadeček. Článkování, které bylo původně po celém těle, se zachovalo pouze u zadečku. Povrch těla tvoří chitinizovaná zevní kostra (exoskelet), která slouží jako podpora pro tělo hmyzu, mechanická a chemická ochrana, a také zabraňuje růstu jedince (Český svaz včelařů, 2014).

Zevní kostra je dále kryta rozvětvenými chloupky, na které se při sběru potravy na květech lepí pylová zrna. Většina hmyzu má na těle několik chloupků, které jim pomáhají při vnímání hmatu, ale tyto jemně rozvětvené chloupky jsou pro včely jedinečné. Část pylu se přenáší na jiné rostliny, čímž dochází k oplodnění květů. Zbytek je později sčesan do pylového košíčku. Tento košíček je tvořen dlouhými tuhými chloupky, které obtácejí širokou zploštělou část zadní nohy včely. Tuhé chloupky na ostatních nohách slouží k vyčesávání pylových zrn z těla, která jsou zhutněna a uložena v pylovém košíčku pro přepravu zpět do úlu (University of Arkansas, nedatováno).



Obrázek 3: Anatomie včely medonosné – popis, foto: iVčelařství, dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/content/fck/images/podstranky/upravene-obrazky-pro-seo/anatomie-vcely-medonosne-popis.jpg>

Hlava včely

Na hlavě včely medonosné se nachází oči, tykadla a ústní ústrojí (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Každé složené oko obsahuje více než 6500 samostatných fazet, které jí umožňují vidět dopředu, do stran, nad i pod sebe. Kromě toho včely vnímají všechny barvy viditelné pro člověka kromě červené, která se jim jeví jako černá. Stejně jako mnoho dalších druhů hmyzu vidí UV světlo jako samostatnou barvu, čehož nejsou lidé schopni. Zatímco my pozorujeme okolí ve viditelném (barevném) spektru, včely vidí mimo něj až do ultrafialového spektra – vnímají barvy, které my nemáme možnost pozorovat. Rostliny se této včelí vlastnosti přizpůsobily tím, že jejich okvětní lístky mají často vzory v ultrafialovém spektru, což k nim láká včely a další opylovače a šance na opylení se tím zvyšuje (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Včely jsou díky dobře vyvinutým orientačním orgánům schopny se od úlu vzdálit i několik kilometrů. I přes svůj primitivní mozek dokáží odhadnout vzdálenost a směr ke zdroji potravy a tuto informaci předávají ostatním včelám, což zajišťuje efektivní způsob získávání potravy. Jako měřítko vzdálenosti používají úbytek potravy v jejich žaludku a slunce využívají jako kompas, a i když je zakryto mrakem, včely se mohou orientovat odhadem jeho polohy sledováním polarizovaného světla, které na obloze vytváří (Srinivasan,2003). Mají také tři jednoduché oči, zvané *ocelli*, které jsou seskupeny blízko horní části hlavy. Ty jsou citlivé na světlo, avšak nedokáží zaostřit obraz a s největší pravděpodobností slouží k orientaci na světle. Včelí tykadla jsou pokryta tisíci smyslovými buňkami pro hmat a čich. Dokáží vnímat pachy mnohem ostřeji, než jakýkoliv savec a pach je velmi důležitý faktor při hledání potravy a pro komunikaci mezi členy včelstva. Tyto citlivé orgány také předávají informace o rychlosti vzduchu a pomáhají jedinci se orientovat během letu (University of Arkansas, nedatováno).

Co se týče ústních otvorů včely medonosné, tak těch mají více. Čelisti neboli mandibuly, jsou spojeny s mohutnými svaly a jsou využívány pro sběr a odstraňování nečistot z úlu, k útoku na vetřelce a k jemné manipulaci s voskem do dokonale tvarovaných plástů (University of Arkansas, nedatováno). Chobot je zatahovací sací ústní část složená z několika trubiček, které slouží k pití vody, nektaru a medu (Honey Bee Research Centre, nedatováno).

Vnitřek hlavy včely vyplňuje mozek a několik důležitých žláz (University of Arkansas, nedatováno). Larvy mají mozek se suboesofageálním gangliem a jedenáct ganglií, podélných rohů tvořených dvojicemi nervů. Dospělé včely mají větší mozek se suboesofageálním gangliem a sedmi ganglii, která tvoří ventrální provazce probíhající pod trávicím traktem (Llorente,2021). Včelí dělnice mají hypofaryngeální žlázu, která produkuje mateří kašičku neboli včelí mléko. Touto bohatou směsí bílkovin a vitaminů jsou všechny včelí larvy krmeny první tři dny života, poté jsou dělnice a trubci krmeni směsí pylu a medu. Pokud je larva samičky nepřetržitě krmena mateří kašičkou, rychle se z ní vyvine včelí královna. Tato

výživná strava zůstane jedinou potravou, kterou královna kdy konzumuje, a umožní jí udržet vysokou úroveň nepřetržité produkce vajíček (University of Arkansas, nedatováno).

Hrudník včely

Hrudník tvoří střední část těla. Obsahuje svaly, které umožňují pohybové funkce. K hrudníku jsou připojena křídla a nohy. Stejně jako většina hmyzu má včela medonosná šest nohou a tři páry křídel (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Tři páry silných nohou včelám poskytují velmi stabilní základnu pro chůzi nebo stání, která zajišťuje, že se při pohybu mohou vždy alespoň tři nohy dotýkat povrchu. Každá noha je vybavena drápkou pro uchopení nerovného povrchu a také lepkavou pokožkou pro uchopení hladkého povrchu. Každý pár nohou je také vybaven speciálními strukturami a uspořádáním řas pro odstranění pylu a nečistot (University of Arkansas, nedatováno). Hrudníkem prochází břišní nervová mícha, srdce a jícn, ale většinu prostoru uvnitř hrudníku zabírají sady silných letových svalů. Nachází se zde dvě hrudní ganglia. Nervy, které vycházejí z prvního z nich, směřují do prvního páru nohou. Nervy z druhého ganglia směřují k letovým svalům a druhému a třetímu páru nohou (Llorente,2021). Slinné žlázy jsou umístěny ventrálně, blízko přední části hrudníku, a spojují se kanálem s ústní dutinou v hlavě (University of Arkansas, nedatováno).

Schopnost létat daleko a rychle výrazně přispěla k úspěchu včel. Mohou pátrat po potravě do vzdálenosti až tří kilometrů od úlu a dosahovat rychlosti až 15 kilometrů za hodinu (University of Arkansas, nedatováno). Včely medonosné jsou příliš těžké na to, aby mohly létat, pokud by se jejich křídla pohybovala pouze dopředu a dozadu. Místo toho se jejich křídla kroutí a pohybují se ve tvaru osmičky, čímž získávají větší výkon (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Včely mají čtyři křídla, ale řada malých háčků, tzv. hamulí, je spojuje do jediné letové plochy. Když je včela v klidu, může si křídla od sebe oddělit a složit je zpět (University of Arkansas, nedatováno).

Zadeček včely

Zadeček chrání orgány trávicí soustavy. Nachází se zde pět dalších ganglií, které regulují funkci střev a dýchacích orgánů. Poslední dvě, o něco větší než ostatní, regulují rozmnožovací orgány a žihadlo. V důsledku tohoto rozložení nervové soustavy funguje každá ze tří částí těla včely medonosné (hlava, hrudník a břicho) víceméně nezávisle. O tomto se lze přesvědčit tím, že hmyzu odstraníme hlavu. Zbytek těla může pokračovat v pohybu z jedné části do druhé, pohybovat křídly a pokračovat ve svých životních funkcích po dlouhou dobu, ale nakonec nenávratně umírá (Llorente,2021). Dále se zde nachází srdce, jedový váček, několik žláz a také rozmnožovací orgány. U včelích matek zabírají velkou část prostoru vaječníky, které jsou příčinou větší velikosti břicha. U sterilních dělnic však zůstávají nevyvinuté. Na spodní straně zadečku se nacházejí voskové žlázy, které vylučují vločky včelího

vosku, který je využíván ke tvorbě pláství (University of Arkansas, nedatováno). Vosk má zpočátku bílou barvu, která se později zabarvuje do žluta až hněda (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Na jeho výrobě a tvorbě spolupracuje mnoho včel. Aby včely zmetabolizovaly půl kilogramu vosku, musí spotřebovat nejméně osm kilogramů medu (University of Arkansas, nedatováno). Nachází se zde také tukové buňky tvořící tenké blány, které jsou rozptýlené podél břišních stěn. Mezi ně patří oenocyty, což jsou buňky, které hrají roli související s metabolismem vosku (Llorente,2021).

V zadečku se nachází další orgány, jako je například medný plást (nazývaný také medný žaludek) což je místo, kam včelí dělnice ukládají nasbíraný nektar na cestu zpět do úlu, aniž by ho strávily. Svalový ventil zvaný *proventriculus* může být uzavřen, čímž se nektar nedostane do žaludku (University of Arkansas, nedatováno). Plodnice je rozšiřitelná, což včele umožňuje nést větší náklad. V úlu může být obsah plodiště vyvržen ústy zpět k uložení do medné buňky nebo k nakrmení dalších včel pomocí trofalaxe (předávání potravy mezi jedinci komunity). Pravý žaludek (*ventriculus*) je místem primárního trávení pylu a nektaru. Je svinutý a ve skutečnosti je asi dvakrát delší než tělo včely (Llorente,2021).

Zadní část střeva se skládá ze střeva a konečníku, kde dochází k opětovnému využití produktů látkové výměny a ke zpětnému vstřebávání přebytečné vody do těla (University of Arkansas, nedatováno). Četné Malpighiovy trubice se napojují na bazální konec zadního střeva a volně plují v břišní dutině. Fungují podobně jako ledviny obratlovců, odstraňují přebytečné soli a metabolické odpady z krve a koncentrují je do střeva, kde mohou být odstraněny (University of Arkansas, nedatováno). V jeho distální části se nachází rektální ampula, která má hlavní úlohu při vstřebávání vody a zadržování výkalů do doby, než dojde k jejich vynesení mimo úl (Llorente,2021). Konečník je roztažitelný a může pojmout velký objem odpadních látek. Včely udržují pečlivě hnízda čistá tím, že zadržují v konečníku odpadní látky, dokud nemohou podniknout "očistný let" mimo úl. V klimatických oblastech s dlouhými a chladnými zimami mohou včely na tento úkol čekat i několik týdnů nebo měsíců (University of Arkansas, nedatováno).

Včely medonosné nemají specifický orgán pro výměnu plynů (Llorente,2021). Místo toho mají po stranách břicha malé otvory pro výměnu vzduchu, kterým se říká plicní sklípky (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Dále k tomu slouží tracheální systém, který se skládá ze spirákul, tracheí, vzduchových váčků a tracheol. Spirakuly jsou vnější otvory, které slouží k ventilaci. U larev i dospělců jich je 10 párů a všechny kromě druhého, který je velmi malý, mají uzavírací chlopně. Spirakuly se otevírají v reakci na nízkou koncentraci kyslíku nebo vysokou koncentraci oxidu uhličitého v tkáních a umožňují vstup a výstup vzduchu (Llorente,2021).

Oběhový systém včely medonosné se skládá z dlouhé trubice, která probíhá celým tělem. Na břišním konci je uzavřená a v hlavě otevřená. Táhne se podél trávicí

trubice. Jeho hlavní funkcí je transport živin a odstraňování odpadních látek. Jejími součástmi jsou: hemolymfa, břišní a hřbetní bránice, srdce, aorta a tykadlové váčky (Llorente,2021). Hemolymfa je komplexní tekutina, která obsahuje buňky zvané lymfocyty. Tyto buňky mají fagocytární schopnost, vykonávají vlastní pohyby a volně cirkulují tělem pokaždé, když je srdce poháná do mozku (Llorente,2021). Srdce hmyzu je jen řada svalnatých komor spojených s aortou – trubicí, která vede dopředu k hlavě. V uvolněném stavu se krev z břišní dutiny dostává do srdečních komor otvory zvanými ostioly – malé otvory. Když se srdce stáhne, ostioly se uzavřou a krev je vytlačena aortou dopředu do mozku, odkud se vrací zpět do hrudního koše a cestou omývá všechny orgány a svalové tkáně. Tento typ otevřeného oběhového systému je pro malý hmyz vyhovující (University of Arkansas, nedatováno).

Žihadlo

Žihadlo včely medonosné je složeno ze tří částí a je připojeno k jedovému váčku a mají ho pouze včelí dělnice a královna. Dělnice mají ostnaté žihadlo, které lze použít jen jednou (Honey Bee Research Centre, nedatováno). Jeho konec má podobu háčku na ryby, takže může snadno proniknout kůží, ale pro včelu je poté nemožné ho vytáhnout zpět ven. Když tedy bodne, žihadlo a připojený jedový váček se jí vytrhne z břicha a včela krátce poté zahyne. Dřík žihadla je modifikovaný ovipozitor (struktura pro kladení vajíček), a proto se vyskytuje pouze u včel dělnic. U královen je žihadlo hladké, což znamená, že ho může využít pro kladení vajíček, pro sebeobranu (Honey Bee Research Centre, nedatováno) a pro bodnutí konkurenční matky (University of Arkansas, nedatováno). Jedová žláza blanokřídlých má epidermální původ a vyvinula se ze samičí přídatné pohlavní žlázy. Žihadlový aparát je odvozen přímo od ovipozitoru jejich předka Clitogastra. Jedová žláza se skládá z jednoho nebo více sekrečních vláken, která se otevírají do rezervoáru, v níž je uložen jed. Ten je produkován dlouhou tenkou, stočenou a rozvětvenou žlázou a skládá se z několika toxických bílkovin a peptidů. Královny mají žlázy výrazně větší než dělnice. Královny používají jed během soubojů s jinými konkurenčními královnami, zatímco dělnice jej používají k obraně kolonie a sebe sama, když jsou vystaveny nebezpečí v podobě predátorů (Peiren et al., 2008).

Obranný aparát je nezbytný pro přežití druhu. Bez něj by přitažlivost medu pro lidi a ostatní živočichy zmizela už před staletími. Tento obranný orgán se skládá především z žihadla a jedového váčku. Žihadlo má dvojici lancet k sobě připojených tak, že tvoří kanálek, kterým prochází jed. Jed pak vychází ven zahnutými zuby neboli vousky, které opásávají špičku lancet. Každá lanceta má asi devět zubů, jejichž špičky jsou otočeny dozadu jako háček. Když se včely snaží žihadlo odstranit, nedaří se jim to, a v tomto boji ztrácejí tento orgán a část střeva, což vede k jejich smrti (Llorente, 2021). Včely si původně vyvinuly žihadla spolu s jedem proti příslušníkům vlastního druhu z jiných včelstev nebo proti dravému hmyzu. Nicméně biologická a biochemická reakce členovců na včelí jed není dobře prozkoumána. Jed

včely medonosné je koktejl různých biologicky aktivních látek včetně peptidů, proteinů, aminů a aminokyselin rozpuštěných ve vodném roztoku. Včelí jed obsahuje především melitin (tvoří přibližně 50 % sušiny), fosfolipázy, hyaluronidázu, další enzymy a malé biologicky aktivní látky s volnými aminovými skupinami (dopamin, histamin, serotonin a noradrenalin). Intoxikace včelím jedem vyvolává v postiženém organismu silný stres, přičemž antistresová reakce je obecně řízena nervovým a endokrinním systémem (Bodláková et al., 2022).

Rozmnožování a životní cyklus včely medonosné

Včely medonosné se ve skutečnosti rozmnožují několika způsoby. Včelstvo potřebuje k udržení populace 40 000 až 60 000 včel během teplé sezóny neustálý přísun nových včel. Pokud jsou tedy podmínky příznivé, jsou neustále odchováváni noví včelí potomci. Dalším způsobem rozmnožování včel je rozmnožování na úrovni včelstva. Včelstvo jako celek se může rozmnožovat procesem, který se nazývá rojení včel. Při rojení se populace včelstva rozdělí, přičemž polovina populace se vydá na nové místo, kde si vytvoří druhý domov (Carolina Honeybees, 2021).

Včelstva se skládají z jedné královny, tisíců dělnic a několika tisíců sezónních samců (trubců), kteří jsou chováni pouze v období rozmnožování, kdy je ve včelstvu dostatek zdrojů. Navzdory své přechodné přítomnosti ve včelstvu mají trubci důležitou funkci páření s panenskými královnami, čímž přenášejí geny kolonie na své partnerky pro produkci oplozených vajíček, ze kterých se následně vylíhnou dělnice (Rangel et al., 2019).

Rozmnožovací orgán u královen je tvořen dvěma hruškovitými vaječníky. Ty jsou tvořeny dlouhými trubicemi zvanými ovarioly, které jsou zakončeny malými špičkami. Tyto koncovky jsou zasunuty poblíž břišní strany srdce. Vaječníky jsou plné vajíček (oocytů) v různých stadiích zrání. Královna může naklást až 3000 vajíček denně, i když normální stav je, že jich naklade pouze okolo 1500. Za rok může královna naklást až 200 000 vajíček. Vaječníky končí samostatnými vejcovody, které se pak spojují ve společném kanálku neboli středním vejcovodu. Na jeho bázi komunikuje se spermatékou, v níž se hromadí spermie až do jejich použití (Llorente, 2021).

Rozmnožovací soustava trubců se skládá ze dvou varlat, dvou chámovodů, dvou semenných váčků, dvou hlenových žláz, ejakulačního kanálku a kopulačního orgánu. Ve varlatech se tvoří spermie. Jak trubci dospívají, varlata ztrácejí na velikosti, až se zmenší na 1/3 své původní velikosti (Llorente, 2021).

Když nastane čas rozmnožování, královna přiletí na místo, kde čekají tisíce trubců a za letu se s několika z nich spáří. Sameček trubce se na královnu usadí, zasune do ní svůj endofalus a ejakuluje sperma. Samci včely medonosné se mohou pářit pouze sedmkrát až desetkrát. Po dosažení svého limitu zůstane trubcův endofalus přichycený ke královně a následně dojde k jeho oddělení od těla a samec umírá

z důvodu roztrženého břicha. I trubci, kteří přežijí pářící let, jsou vyhozeni z hnízda, protože splnili svůj jediný účel. Panenské královny se páří jednou za život. Po několika stycích s trubci si královna uloží ve svých vaječnicích až 100 milionů spermií. Královna použije jen několik těchto spermií najednou, aby byla schopna oplozovat vajíčka po celý svůj život. Pokud královně za jejího života dojdou spermie, nové generace královen se páří a vytvářejí vlastní včelstva (Orkin, nedatováno).

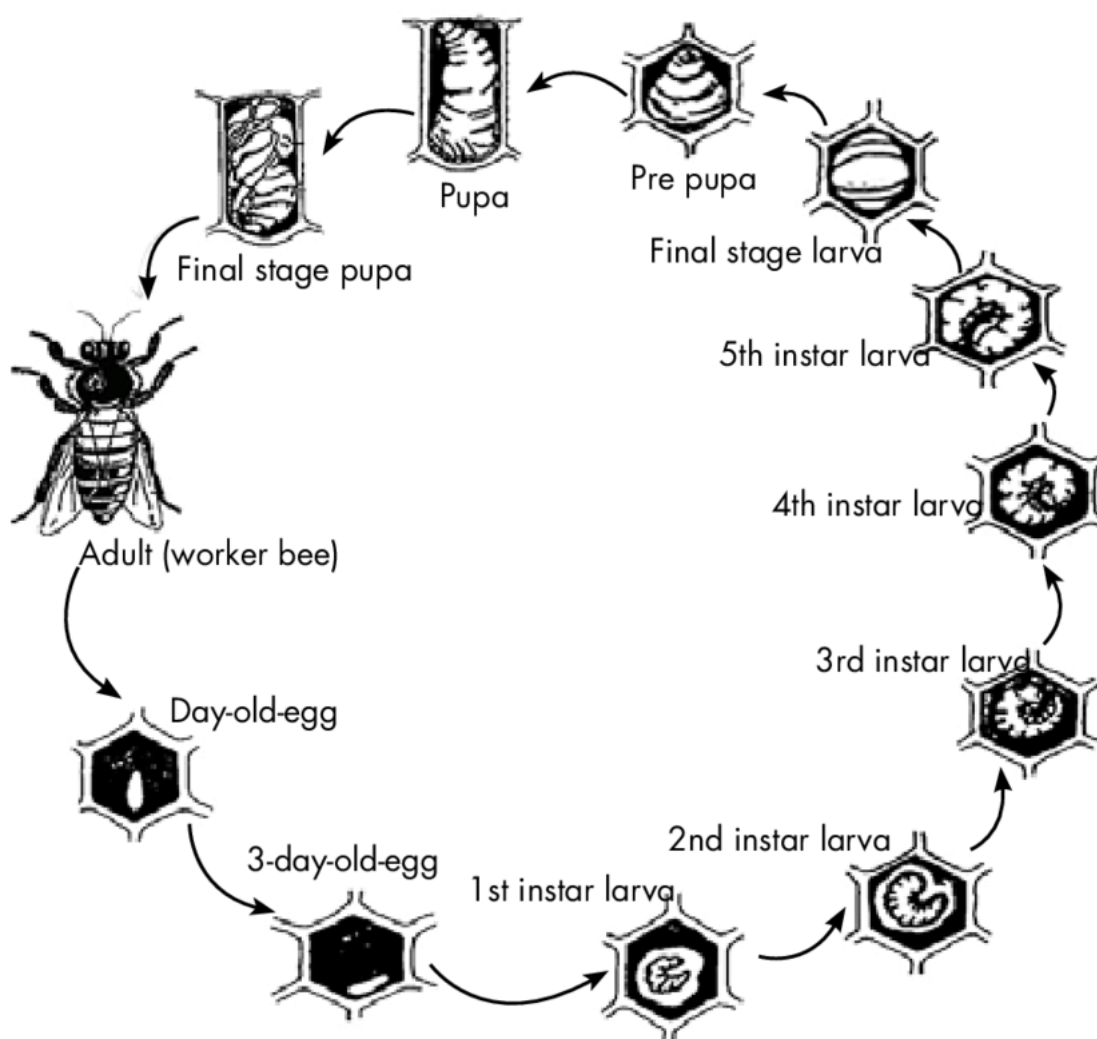
Proces páření iniciuje četné behaviorální, fyziologické a molekulární změny, které ovlivňují plodnost matky a její vliv na včelstvo. Například příjem spermatu trubců může modulovat aktivaci vaječníků královny, produkci feromonů a následné chování dělnic. Hlavní složka spermatu – semenná tekutina, která pochází především z přídatných žláz trubců, obsahuje komplexní směs proteinů, jako jsou proteázy, antioxidanty a antimikrobiální proteiny. Jakmile královna uskuteční poslední pářící let a uloží spermie do spermatéky, trvale vykazuje sníženou fototaxi a sexuální vnímavost. Královna zůstává ve včelstvu a klade vajíčka, pokud se neúčastní rojení, které je zahájeno produkcí panenských matek, po níž následuje odlet rezidentní královny s přibližně polovinou dělnic. Zbývající dělnice se pak věnují novým panenským královnám (Brutscher et al., 2019).

Včelí královny určují pohlaví svých potomků: když vajíčka procházejí vaječником do vejcovodu, může královna určit, zda bude konkrétní vajíčko oplodněno, či nikoli. Z neoplozených vajíček se stávají včelí trubci, zatímco z oplozených vajíček se vyvíjejí dělnice a královny. Dělnice se nepáří, ale mohou klást neoplozená vajíčka, z nichž se následně stávají samci včely medonosné. Královny kladou vajíčka do strukturálních oválných buněk, které se nachází u stropu hnízda. Včelí dělnice tyto buňky naplní mateří kašičkou, aby zabránily pádu larev. Budoucí dělnice jsou krmeny mateří kašičkou během prvních dvou dnů, zatímco budoucí královny ji dostávají po celou dobu larválního období. Vývoj jednotlivých členů včelstva se liší v závislosti na kastě: samci včel potřebují 24 dní pro správný vývoj od vajíček po dospělce, zatímco dělnice potřebují 21 dní a královny pouze 16 dní (Orkin, nedatováno).

Změny feromonů královny po páření, které jsou klíčovým způsobem chemické komunikace mezi včelami, mění také chování okolních dělnic v úlu. Například oplodněné královny a starší panny jsou ochotněji přijímány a vyvolávají větší reakci dělnic než panenské královny, protože produkují kompletnější sadu feromonů. Reakce kolonie je definována tím, že dělnice olizují královnu a dotýkají se jí tykadly, aby přenesly její feromony do celé kolonie. Starší panny nakonec vykazují aktivaci vaječníků a zvýšenou produkci feromonů, ale oplodněné královny stále produkují více feromonů a jsou pro dělnice atraktivnější než starší panny. Navíc pokud jsou dělnice aklimatizovány na feromonový profil jedné královny, mohou agresivně reagovat na královny s cizím feromonovým profilem tím, že je obklopují a obtěžují je. Feromony jsou dále schopny inhibovat aktivaci vaječníků, kladení vajíček a chování u dělnic. Včelstva vedená spářenými královnami sbírají více pylu než ta vedená

panenskými královnami. To má zásadní důsledky pro dlouhodobé přežití kolonií, protože sběr pylu je spojen s přežitím zimy (Brutscher et al., 2019).

Životní cyklus včely medonosné má čtyři základní fáze mezi vajíčkem a dospělou včelou, ať už se jedná o dělnici, trubce nebo královnu, i když doba potřebná k vylíhnutí z vaječné buňky se u každé z nich mírně liší. Tyto základní fáze jsou – vajíčko, larva, kukla a dospělec (BuzzAboutBees, 2021).



Obrázek 4: Životní cyklus včely medonosné od vajíčka po dospělého jedince (instar znamená fázi mezi každým svlékáním), foto: Harish Sharma, dostupné z: <https://www.researchgate.net/figure/The-honeybee-life-cycle-egg-to-adult-instar-refers-to-the-stage-between-ea>

Vajíčko klade včelí královna do voskové šestiboké vaječné buňky, je velké asi jako zrnko rýže a zpočátku stojí v buňce vzpřímeně, ale třetí den se převrátí na bok. Včelí královna může naklást až 2 000 nebo 3 000 vajíček denně. Z oplozených vajíček se stanou samičky (dělnice nebo potenciální královny). Z neoplozených se stanou trubci (samci včely medonosné), jejichž vajíčka se kladou do "trubčích buněk", což jsou větší buňky než ty pro včelí dělnice. Potenciální budoucí včelí královna je nakladena do speciální buňky, která se nazývá "buňka královny" (BuzzAboutBees, 2021).

Mladá královna klade vajíčka organizovaně, každé z nich je umístěno vedle ostatních v buňce. Královny začínají klást vajíčka do středu rámu buňky, takže dělnice mohou na vnější okraje umístit med, mateří kašičku a další potravu pro larvy. S přibývajícím věkem však královna klade méně vajíček v méně uspořádaném vzoru. Když královna naklade včelí vajíčko, připevní se k buňce slizovým vláknem. V první fázi vývoje se vytváří trávicí soustava, nervový systém a vnější obal. Po třech dnech se z vajíček vylihnou larvy, které včely dělnice krmí medem, mateří kašičkou a dalšími tekutinami z rostlin. Tyto larvy včely medonosné nemají nohy, oči, tykadla ani křídla (Orkin, nedatováno).



Obrázek 5: Vajíčka včely medonosné, foto: xiSerge, dostupné z: https://cdn.pixabay.com/photo/2020/08/13/15/15/bee-5485502_960_720.jpg

Larva včely pouze požívá potravu a nikdy neopouští jednotlivé voskové buňky. Rostou rychlým tempem v pětistupňovém vývoji zvaném metamorfóza a zvětšují se až 1500krát oproti původní velikosti. Během svého vývoje jsou zhruba 10 000krát navštíveny dospělými včelími ošetřovatelkami, které je kontrolují, krmí, a nakonec uzavírají buňky. Včely dělnice přinášejí potravu a umísťují ji do buněk – larvy přímo nekrmí (Bee Health, 2021). Jak larva roste, několikrát svlékne svoji pokožku. Přibližně po 6 dnech (podle toho, zda se jedná o dělnici, trubce nebo královnu) pokryjí včely dělnice vaječnou buňku vrstvou vosku (BuzzAboutBees, 2021).



Obrázek 6: Larva včely medonosné, foto: PollyDot, dostupné z:
https://cdn.pixabay.com/photo/2014/04/12/17/39/honey-bee-larvae-322532_960_720.jpg

Poslední stádium, někdy označované jako prepupa, se před uzavřením buňky voskovým uzávěrem nakrmí další potravou. Vývojové stadium kukly trubců trvá 6,5 dne, dělnic 6 dní a matek 5,5 dne. Při poklesu teploty v hnízdě trvá vývoj déle. Když larva plně doroste a vyplní buňku, změní se na kuklu. Stádium kukly je stádiem změny, kdy larva podobná housence rychle získává rysy dospělce. Činí tak stále ve stejné buňce, kterou nyní dělnice zakryly voskem. Larva se poté uzavře do hedvábného kokonu, kde nepřijímá potravu a nepohybuje se (Bee Health, 2021). Během této fáze se z larvy vyvine dospělá včela s křídly, nohama, hlavou, hrudníkem a zadečkem (BuzzAboutBees, 2021).



Obrázek 7: Vývoj kukly trubce, foto: Waugsberg, dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drohnenpuppen_81b.jpg

4.2 Počátek používání pesticidů a jejich neblahý vliv pro včely

Zemědělství se poprvé objevilo asi před 10 000 lety v Mezopotámii, kde lovci a sběrači původně sbírali jedlá semena. Pěstování pšenice, ječmene, hrachu, čočky, cizrny, hořké viky a lnu následovalo poté, co se obyvatelstvo více usadilo a zemědělství se stalo způsobem života. Podobně byly v Číně domestikovány rýže a proso, zatímco v oblasti Sahelu v Africe se zhruba před 7 500 lety začala pěstovat rýže a čirok. Místní plodiny byly nezávisle domestikovány v západní Africe a pravděpodobně i na Nové Guineji a v Etiopii. Ve třech oblastech Ameriky byly obdobně nezávisle na sobě domestikovány kukuřice, dýně, brambory a slunečnice (Unsworth, 2010).

Protože se lidé v minulosti museli také potýkat s různými druhy chorob a škůdců, bylo nutné vymyslet způsoby, jak svoji úrodu ochránit a vyhnout se tak hladomoru (Unsworth, 2010).

Naše znalosti o nejstarších formách ochrany proti škůdcům sahají do doby před přibližně 10 000 lety (Handley, 2019). První záznamy o použití insekticidů pocházejí z doby před 4500 lety od Sumerů, kteří používali sloučeniny síry k hubení hmyzu a roztočů (Unsworth, 2010), zatímco Číňané asi před 3200 lety používali insekticidy

získávané z rostlin (Handley, 2019). Písemnosti ze starověkého Řecka a Říma ukazují, že se při potírání chorob rostlin, plevelů, hmyzu a živočišných škůdců zkoušelo náboženství, lidová magie a používání metod, které lze označit za chemické. Protože neexistoval chemický průmysl, musely být všechny používané produkty buď rostlinného, nebo živočišného původu, případně, pokud byly minerální povahy, snadno získatelné nebo dostupné. Tak se například proti plísním používaly kouřové látky. Principem bylo spálení nějakého materiálu, například slámy, plev, odřezků z živého plotu, krabů, ryb, trusu, volských nebo jiných zvířecích rohů, na návětrné straně, aby se kouř, nejlépe zapáchající, rozšířil po celém sadu, obilí nebo vinici. Obecně se věřilo, že takový kouř zažene nákazu či plíseň. Kouř se používal také proti hmyzu, stejně jako různé rostlinné výtažky, například z hořké lupiny nebo divoké okurky. Dehet lidé nanášeli na kmeny stromů, aby zachytil lezoucí hmyz. Plevel se hubil hlavně ručně, ale jsou popsány i různé "chemické" metody, například používání soli nebo mořské vody. Pyrethrum, které se získává ze sušených květů *Chrysanthemum cinerariaefolium*, se jako insekticid používá již více než 2000 let. Peršané jej používali k ochraně uskladněného obilí a později křížáci přinesli do Evropy informace, že sušené kulaté sedmikrásy potlačují vši. Mnoho anorganických chemických látek se od starověku používalo jako pesticidy, směs Bordeaux na bázi síranu měďnatého a vápna se dodnes používá proti různým houbovým chorobám (Unsworth, 2010). Číňané pokračovali ve vývoji technologie ochrany proti škůdcům a v roce 300 n. l. začali používat biologickou ochranu, kdy v citrusových sadech zakládali hnízda mravenců k hubení housenek a dřevokazných brouků. Mezitím se Evropané po pádu Římské říše stále více spoléhali na náboženskou víru než na biologické znalosti. Tento úpadek zvrátila renesance a v 17. století se probudil zájem o biologickou kontrolu a v Evropě byla znovuobjevena a/nebo zavedena řada přírodních pesticidů (Handley, 2019).

V 19. století se začaly vyrábět chemické pesticidy za pomoci extrakce z rostlinných zdrojů. V této době byly z tabáku purifikovány sloučeniny nikotinu, z květů řimbaby bylo extrahováno pyrethrum a z kořenů kožnatce byl izolován rotenon. Kromě toho byly uznány kyanidy jako toxické sloučeniny v peckách některých druhů ovoce. Ve viktoriánské éře byly tradiční metody hubení škůdců oficiálně zkoumány a podrobena vědecké metodě. Výsledkem bylo přečištění chemických sloučenin pro komerční a domácí použití a elementární sloučeniny byly smíchány, aby vznikly účinnější pesticidy. Skromné počátky jednoduchých přírodních repelentů a fyzikálních prostředků proti škůdcům přerostly v chemický a zemědělský průmysl hledající nové a dokonalejší metody (FisherScientific, 2016).

Ve 30. a 40. letech 20. století byly vyvinuty první organické selektivní herbicidy, původně jako výsledek práce na chemických látkách pro regulaci růstu rostlin. Bezprostřední dopad byl na obiloviny a v mnohem menší míře na hrách a travní porosty (Handley, 2019).

Období od roku 1946 bylo popsáno jako "věk pesticidů", který byl rozdělen Robertem L. Metcalfem do tří fází: éra optimismu (1946 - 1962), éra pochybností (1962-1976) a éra integrované ochrany rostlin (1976 - současnost). Toto rozdělení vystihuje změny vědeckého klimatu v tomto období. V době čtyřicátých a počátku padesátých let minulého století se všeobecně věřilo, že velké dávky jednoduchých organických látek mohou zcela zlikvidovat škůdce a problémy, které způsobují (Metcalf, 1980).

Později se ale začaly objevovat pochybnosti o jejich hojném využívání. Tímto problémem se zabývali entomologové Edgar H. Strickland a Vincent B. Wigglesworth a o desítky let poté vyšla kniha Rachel Carsonové *Mlčící jaro*, která zpochybnila představu, že chemické látky přinášejí výhody, ale zanedbatelná rizika. Tyto pochybnosti se neustále prohlubovaly, až 15. mezinárodní entomologický kongres v roce 1976 rozhodně odmítl široké používání širokospektrálních a perzistentních pesticidů (Handley, 2019).

5 Faktory ohrožující opylovače

Faktorů, které svým působením negativně ovlivňují hmyzí opylovače, je mnoho. Řadíme do nich parazity, virózy, chemické postřiky. Nemalý význam má i lidské působení na krajinu, kterou přetváří k obrazu svému a snižuje tak její diverzitu, a přispívání ke globálnímu oteplování produkcí obrovského množství oxidu uhličitého. Zmíněné faktory by mohly vést k závažnému úbytku rostlin na těchto opylovačích závislých, což by znamenalo velký problém pro celé lidstvo.

5.1 Parazité

Pro hmyz, který žije společensky v koloniích, bývá obvykle typické, že trpí celou řadou onemocnění a parazitů. Včely medonosné nejsou výjimkou. Napadení společenstva může mít vliv na zdraví včelstva, a to od mírného stresu až po zánik kolonie. Zatímco některé druhy těchto škůdců se ve včelích úlech vyskytují poměrně často, tak s jinými se můžeme setkat jen zřídka, a proto je pro včelaře důležité, aby o nich věděli, naučili se je rozpoznávat a následně byli schopni je účinně eliminovat. Toto je naprosto důležité zejména proto, že z nakaženého úlu se může parazit lehce roznést do jiného, který je v blízkém okolí. (Guzmán-Novoa et al., 2010). Mezi nejzávažnějšího parazita včely medonosné můžeme bezesporu zařadit kleštíka včelího (*Varroa destructor*)

5.1.1 Kleštík včelí (*Varroa destructor*)

Kleštík včelí je parazitický roztoč, který napadá pouze kolonie včel a způsobuje nemoc zvanou varroáza. Pro včely představuje nebezpečí tím, že dokáže významně oslabit včelstva a tyto následně snadněji podléhají nejrůznějším sekundárním virovým onemocněním. Z těchto důvodů patří kleštík včelí mezi nejškodlivější parazity včely medonosné na světě (Vanengelsdorp et al., 2010). Svého hostitele poškozují konzumací včelí hemolymfy, a především tukové tkáně, která tvoří hlavní složku jeho potravy (Traynor et al., 2020).



Obrázek 8: *Varroa destructor*, foto: USGS Bee Inventory and Monitoring Lab, dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varroa_destructor_1_2019-09-06-19.12.07_ZS_PMax_UDR_\(48697155713\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varroa_destructor_1_2019-09-06-19.12.07_ZS_PMax_UDR_(48697155713).jpg)

Téměř celá většina životního cyklu roztoče probíhá uvnitř včelích pláství, kde se živí tukovými tělíčky včelích kulek a způsobuje tak morfologické a behaviorální změny v jejich vývoji (Smith et al., 2021). Jejich rozmnožovací cyklus je rozdělen do dvou fází – reprodukční (parazitování včelího plodu) a foretická (parazitování dospělých včel). Ve foretické fázi parazit využívá svého hostitele k přepravě a slouží mu jako zdroj potravy (Ramsey et al., 2019).

V reprodukční fázi klade samice roztoče vajíčka ke včelím larvám. K vyhledávání vhodných hostitelů využívají takzvané kairomony, což jsou chemické komunikační prostředky, které vylučují včelí larvy a díky kterým je schopen kleštík vyhledat ideální cíl pro naklazení vajíček. Nejvíce preferují trubčí snůšku, kde mají výrazně zvýšený reprodukční potenciál. Dostupnost larev dělnic a trubčích larev se v průběhu sezóny mění, což ovlivňuje podíl varroózy v plástech a na dospělých včelách. Po vniknutí do buňky se samice schová do potravy určené pro larvu a nehybně vyčkává. Svoji imobilitou minimalizuje šanci odebrání včelími dělnicemi, které buňku před zapečetěním často kontrolují. Po uzavření buňky se parazit začne pohybovat, pozře zbytek plodové potravy a uzavře se spolu s larvou do kokonu. Během této fáze vytvoří v kutikule včely poměrně velký otvor, který udržuje otevřený díky antikoagulantům obsažených v jeho slinách, jako přípravu potravního místa jak pro sebe, tak pro budoucí potomstvo (Ramsey et al., 2019). Následně začne klást svá vajíčka. Jejich počet závisí na místě, kde byla umístěna. V buňce s trubčí larvou může naklást až 7 vajíček, zatímco v té s dělničí jich může být maximálně 6. Po vylíhnutí procházejí kleštící stádii protonymfy a deutonymfy a po jejich dovršení je jejich vývoj závislý výhradně na potravě v podobě larválního tuku získávaného z otvoru, který připravila jejich matka. Do larvy je vždy zhotoven pouze jeden otvor, aby se snížilo riziko krvácení kukel, které by znamenalo utopení roztočů. Tím, že je neustále otevřen, se také zvyšuje riziko infekce larvy (Roth et al., 2020).



Obrázek 9: Kleštík včelí na larvě včely medonosné, foto: Kika De La Garza Subtropical Agricultural Research Center Weslaco, dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vorroa_Mite_on_pupa.JPG#/media/File:Vorroa_Mite_on_pupa.JPG

Po dosažení pohlavní dospělosti u nymf kleštíka přichází období páření a kladení dalších vajíček. Tato fáze končí v době, kdy dospělá včela opustí buňku spolu s matkou a dospělými samicemi a v buňce zůstanou pouze nedospělé samice a samčí kleštíci (Roth et al., 2020). Dochází tedy k foretické fázi, kdy se dospělé samice často přenášejí na včelí ošetřovatelky, na kterých se následně živí jejich tukem. Dlouho se věřilo, že kleštík včelí využívá jako zdroj potravy hemolymfu včely. Po zkoumání jejich čelistí, trávicího a vylučovacího systému ale došlo ke zjištění, že matka se musí na včelím tělním tuku živit za účelem produkce vajíček a mnoho stop tuku bylo také nalezeno ve vnitřnostech dospělců parazitujících na včelách (Traynor et al., 2020).

Zbavení se takového parazita je velmi obtížné. Dříve bylo možné se těchto roztočů zbavit za pomoci různých chemických látek, ale kleštík včelí si postupem času vytvořil vůči těmto pesticidům jistou imunitu. Dále zde existuje možnost, že chemické ošetření může včelám uškodit více než parazitickému roztoči. Ve snaze získat účinnou zbraň proti kleštíkově a neublížit přitom včelám se testuje nový druh houby *Metarhizium anisopliae*, který by měl v úlu tyto roztoče likvidovat. Při množení houby se uvolňují spory, které, když se usadí na parazitovi, začnou provrtávat jeho exoskelet svými vlákny a tím ho zahubí. Problémem ale této jinak dokonalé zbraně je, že se nedokáže množit ve vysoké teplotě, která v úlu může dosahovat až 35 °C. Začal tedy vývoj jiné odrůdy, která by byla vůči vyšším teplotám rezistentní a vznikla houba *Metarhizium brunneum*. Vědci u tohoto druhu museli také zvýšit její agresivitu z důvodu opakovaného množení v laboratoři a rizika ztráty schopnosti vyvolat infekci. Při testování byla spolu s houbou využita hnědá rýže, kterou se po vložení do úlu snažily včely vynést ven, a přitom roznášely houbové spory. Pro porovnání byly úly ošetřeny kyselinou šťavelovou, která je pro boj s roztoči včelaři hojně využívána (Stokstad, 2021). Princip působení tohoto přípravku je ten, že po ošetření napadeného úlu dojde k výparům, které jsou pro roztoče smrtelné. Kyselina šťavelová působí hlavně na buňky středního střeva, které po kontaktu s přípravkem začnou odumírat a následně způsobí úhyn jedince. Bylo potvrzeno, že kyselina nijak negativně neovlivňuje dospělé včely medonosné, ale je

vysoce toxická pro jejich larvy. Proto je důležité, aby se pesticid používal pouze v době, kdy se včelí larvy v úlu nevyskytují (Terpin et al., 2019).



Obrázek 10: Včela pokrytá krystaly kyseliny šťavelové, foto: Chamblis, dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beecrystals.PNG>

Po několika dnech došel výzkum k závěru, že i při velmi malé dávce spor *Metarhizium brunneum* byla úmrtnost roztočů podobná, jako u využití chemikálie. Nevýhodou tohoto ekologicky šetrného řešení je časová náročnost při pěstování houby a vysoká cena. Výzkum tedy pokračuje za účelem vytvoření účinnějšího druhu a finanční dostupnosti (Stokstad, 2021).

5.2 Bakteriální onemocnění

Kromě parazitů ohrožují včely také dva druhy bakterií – *Melissococcus plutonius* a *Paenibacillus larvae* – způsobující hnilobu a mor včelího plodu. Cílem napadení je zárodek v larválním stádiu a šíření nemoci může mít katastrofické účinky pro včelí kolonii (Kane et al., 2021).

5.2.1 Hniloba včelího plodu (*Melissococcus plutonius*)

Původcem onemocnění nazývaného hniloba včelího plodu je grampozitivní bakterie *Melissococcus plutonius*, která byla poprvé pozorována a kultivována v roce 1912. V úlu se šíří prostřednictvím dospělých včelích dělnic a k nákaze většinou dochází při odebírání kontaminovaného medu z cizího bakterií oslabeného úlu (Kane et al., 2021).

Onemocnění postihuje larvy trubců, dělnic a včelích královen. Vnímavost larev k infekci závisí na kvalitě podávané potravy, věku, genetice a velikosti, která je klíčová pro nabytí dostatečného počtu bakterií pro zajištění toho, že se jí imunitní systém hostitele nedokáže ubránit (Lewkowski et al., 2018).

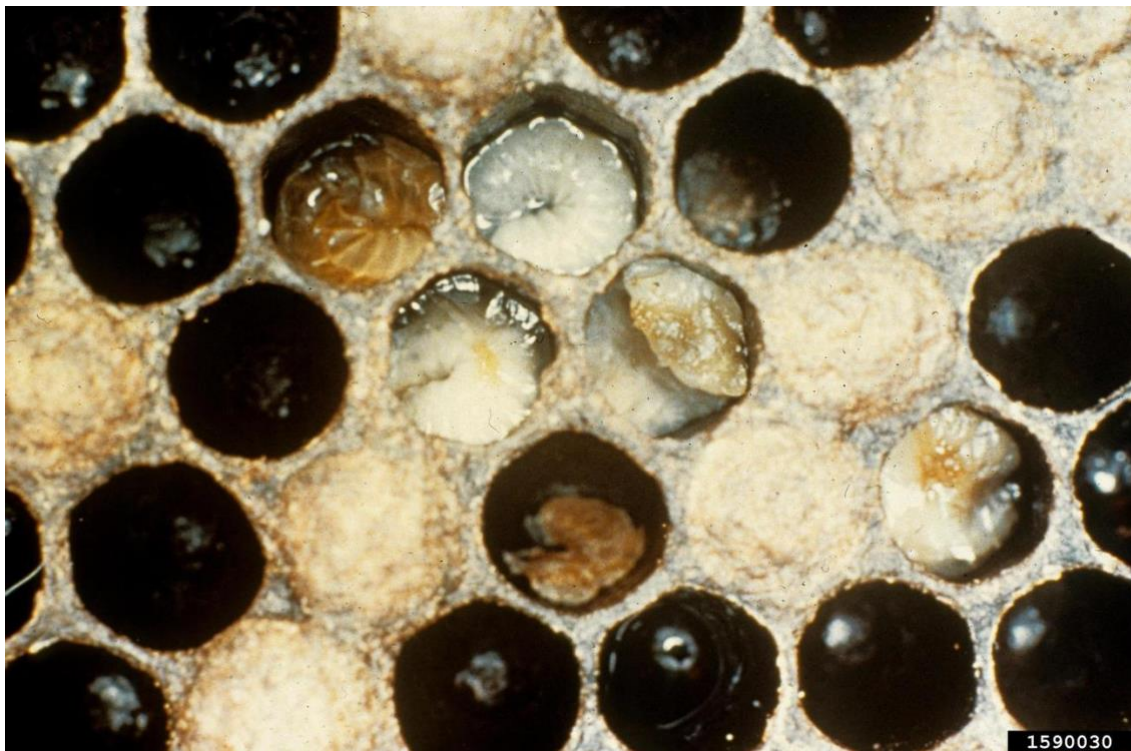
Do potravy určené larvám se může bakterie dostat prostřednictvím bakteriálních zbytků ve včelstvu či nepřímo od včelích ošetřovatelek, které čistily buňku, v níž byly infikované výkaly po předešlé larvě. Z odebraných vzorků výkalů bylo zjištěno, že bakterie se sice mohou vyskytovat v celém úlu, ale jejich rozmnožovací cyklus je vázán na střední střevo larev. Tento způsob rozmnožování velmi často ohrožuje scénář, kdy larva zemře dříve, než se stihne vyprázdnit a bakteriální kolonie je spolu s ní následně vynesena ven z úlu bez možnosti se dále šířit. U přeživších larev se začnou projevovat příznaky onemocnění v podobě nabývání zkrouceného tvaru či



Obrázek 11: Larva napadená *Melissococcus plutonius*, foto: Georgia Department of Agriculture, dostupné z: <https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590031.jpg>

celkové deformace a s postupujícím onemocněním ztrácí larva svůj tvar a začne se zbarvovat do barev od žluté až po tmavě hnědou. Bakterie poté larvu zahubí tím, že jí odepře přísun živin z podávané potravy a ta následně vyhladoví (Kane et al., 2021).

Nakažení úlu bakterií se dá zjistit několika způsoby. Prvním může být podrobné pozorování příznaků pouhým okem u nakažené larvy, jako je žlutavá barva, viditelné tracheje a nepřírozené zakroucení u dospělé larvy (Milbrath et al., 2021). K podrobnému testování se využívají PCR metody, kdy se buď odebírají vzorky z medu a dospělých včel, nebo se mohou využít i úlové zbytky sbírané za pomoci papíru uloženého na jeho dně (Biová et al., 2021).



Obrázek 12: Příznaky hniloby včelího plodu (*Melissococcus plutonius*), foto: Georgia Department of Agriculture, dostupné z: <https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590030.jpg>

Způsob léčby nemocí u včely medonosné je naprosto odlišný od ostatních živočichů, u kterých je dostačující vyléčit jednotlivce. Ve včelí kolonii je tento způsob neproveditelný, neboť jakmile se u larvy nemoc začne navenek projevovat, je pro její záchranu příliš pozdě, a proto se upřednostňuje zamezení dalšímu šíření bakterie do ostatních včelstev. Prevence je ale také velmi náročná, protože včely létají na mnohakilometrové vzdálenosti, kde mohou přijít do kontaktu s příslušníky jiné včelí kolonie. Ten může způsobit rozsáhlé šíření *Melissococcus plutonius*. Aby se tomu předešlo, včelaři musí přijmout jistá opatření. S nakaženým či podezřelým úlem musí manipulovat v jednorázových rukavicích, kterých se pak mohou lehce zbavit. Dále je nutné kontaminované úly zakrýt, aby se předešlo návštěvám zdravých včel, které oslabený úl vnímají jako snadný zdroj medu, který se pokouší ukrást. Po podstoupení těchto opatření existuje několik způsobů, jak se s hnilobou včelího moru vypořádat. Mezi nejvhodnější strategie se řadí pozorování a vyčkávání, léčba antibiotiky či spálení infikovaného úlu. V oblastech, kde je velmi malá šance, že by se nakažená včela dostala do kontaktu se zdravými včelami z jiné kolonie, se upřednostňuje likvidace úlu spálením. Pokud se ale nakažený včelí úl nachází v oblasti s frekventovaným výskytem včel z jiných úlů, je spálen a u zdravých

včelstev jsou preventivně použita antibiotika. Tento postup léčby je ale jen dočasným řešením, neboť bakterie si postupem času vůči nim vytváří rezistenci a včelařům poté nezbude nic jiného než své úly spolu se včelami spálit. Tento způsob je velice efektivní, ale pro včelaře to má citelné finanční následky (Kane et al., 2021).

5.2.2 Mor včelího plodu (*Paenibacillus larvae*)

Mor včelího plodu je onemocnění způsobované grampozitivní bakterií *Paenibacillus larvae* a jako u *Melissococcus plutonius* se roznáší při loupení medu zdravými včelami z napadených a slabých úlů. Med v infikovaných úlech tyto bakterie velmi dobře uchovává a dospělé včely jsou využívány jako výhodné prostředí pro spory pro přežití zimního období. K přenosu může také dojít během rojení, kdy spolu včely přicházejí do úzkého kontaktu. K hlavním způsobům přenosu bakterie se řadí manipulace materiálu včelaři. Bakteriální spory jsou schopné se na nich udržet i desítky let a včelař si nemusí uvědomit, že je jeho vybavení kontaminované a může tak nevědomky bakterii přenést do naprosto zdravého včelího společenstva. Z důvodu závažnosti byla v mnoha zemích zavedena kontrola, registrace a likvidace nakažených úlů. Pro vyvážení včelařského materiálu za hranice potřebuje majitel licenci, která potvrzuje, že jeho kolonie nebyla nikdy morem včelího plodu postižena (Kane et al., 2021).

Bakterie *Paenibacillus larvae* postihuje, stejně jako *Melissococcus plutonius*, včelí larvy, které musí pozřít sporami kontaminovanou potravu do 36 hodin po vylíhnutí z vajíčka a následně dojde k množení v jejím středním střevě (Ebeling et al., 2016) za produkce enzymů a toxinů narušujících střevní epitel. Po jeho rozložení se bakterie dostávají do hemocoelu (tělní tekutina) a nedlouho poté larva umírá (De Graaf et al., 2015). Ani po smrti hostitele se bakterie nepřestává množit a postupně rozkládá jeho tělo na hnilobnou hmotu do doby, než vyčerpá všechny možné živiny. V tu chvíli začne vytvářet bakteriální spory a z včelí buňky vznikne vysoce infekční místo. Při čištění nakaženého místa včelí ošetřovatelkou dojde k její kontaminaci a ta pak nevědomky roznáší bakteriální spory do dalších buněk, což vede k rozsáhlému šíření bakterie a hromadnému umírání larev vedoucího až ke kolapsu celého společenstva (Ebeling et al., 2016).

Nejjednodušší způsob, jak poznat, že je úl bakterií napaden, je pozorným pozorováním pláství a larev. Plástve jsou při nakažení deformované a nemají pravidelný tvar. U larev se výskyt bakterie pozná podle jejich karamelové barvy či hnilobného zápachu (De Graaf et al., 2015) připomínající uhynulou rybu, zápach slepičího kurníku či hnijící maso (Kane et al., 2021).



Obrázek 13: Včelí larva napadená morem včelího plodu (*Paenbacillus larvae*), foto: Gerogia Department of Agriculture, dostupné z: <https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590024.jpg>

Na rozdíl od hniloby včelího plodu je mor včelího plodu většinou závažný problém a nedá se řešit vyčkáváním a pozorováním, zdali se kolonie s touto nemocí vypořádá. Pokud tedy včelař zjistí, že je jeho včelstvo infikováno, je nejlepší volbou počkat do večera, kdy je včelstvo shromážděno v úlu, a následně jej spálit pro dosažení maximální účinnosti sterilizace. Antibiotika se v tomto případě využívají pro potlačení dalšího množení bakterií, ale je nutno vzít v potaz, že je nedokážou eliminovat a existuje tu riziko dalšího přenosu při opětovném využití kontaminovaného materiálu (Kane et al., 2021).

Do dnešní doby neexistuje žádný účinný způsob, kterým by se dalo proti včelímu moru bojovat. Byly vyzkoušeny všechny možné typy antibiotik, fungicidů a různých typů bakteriofágů. Tyto metody ale sloužily pouze jako dočasné řešení a nadměrné využívání chemikálií vedlo jak k ohrožení včelího společenstva, tak i případné zbytky ve sbíraném medu by mohly u člověka vyvolat zdravotní potíže (Iorizzo et al., 2020). Vhodnější alternativu by mohly představovat extrakty z rostlin, ve kterých jsou přítomny terpenoidní a fenolické sloučeniny známé pro svoji antimikrobiální aktivitu. Účinky těchto látek sice měly úspěch při likvidaci bakterií, ale jejich vliv na včely není zcela prozkoumán (Testa et al., 2020). Jedno ze slibných přírodních řešení by ale mohlo být využití probiotických bakterií, přesněji *Lactiplantibacillus plantarum*, patřící mezi bakterie mléčného kvašení, která by měla pomoci aktivovat imunitní systém larvy a narušit bakteriální rovnováhu v napadeném středním střevě, čímž by zabránila jejímu dalšímu množení. Výzkum určený tématu týkajícího se inhibujících účinků probiotik proti *Paenibacillus larvae*

jejich efektivnost potvrdil, ale hledání řešení stále pokračuje, neboť na rozdíl od mikrobioty ryb, savců a člověka je úloha probiotik ve včelí mikrobiotě málo prozkoumána (Iorizzo et al., 2020).

5.3 Virózy

Populace včel medonosných jsou po napadení parazity, hlavně kleštíkem včelím, náchylné k napadení různými virovými onemocněními, které působí nemalé problémy v jejich koloniích (Vanengelsdorp et al., 2010). Mezi nejznámější a nejzávažnější můžeme zařadit virus deformovaných křídel či virus pytlíčkovitého plodu (Chen et al., 2012).

Viry jsou odedávna přítomny ve všech živých organismech, bez kterých by nebyly schopny se rozmnožovat. Jejich přenos je v koloniích včely medonosné různorodý, přičemž mezi nejčastější patří infekce včelí ošetřovatelky při vyklízení fekálních zbytků v buňce po nakažené larvě. Dále se virové částice šíří při přímém kontaktu jedinců, prostřednictvím infikované potravy (Chen et al., 2012) a také v nově snesených vajíčkách, pokud byla matka virem napadena (Yañez et al., 2020).

5.3.1 Virus deformovaných křídel

Virus deformovaných křídel je jedním z mnoha virů postihujících společenstva včely medonosné a kvůli úzkému spojení s kolapsem včelstva vyvolaného kleštíkem včelím je jedním z nejvíce zkoumaných virů dnešní doby (De Miranda et al., 2010). Částice viru se usídlují a reprodukují v nervovém centru jedince, v epitelu středního střeva, tukové tkáni včelí královny a rozmnožovacích orgánech (Koziy et al., 2019). Ze zcela nejasných důvodů nevyvolává virus deformovaných křídel bez přítomnosti *V. destructor* negativní dopad na kondici hostitele ani se neprojevuje viditelnými příznaky. V přítomnosti kleštíka ale způsobuje klinické příznaky, jako je úhyn kukel a dospělých včel s deformovanými křídly, nafouklým a zkráceným břichem a výraznou změnou barvy (De Miranda et al., 2010).

Kleštík včelí je nejen přenašečem viru deformovaných křídel, ale i jeho pomocníkem. Morfologické znaky poukazující na napadení virem se objevují až při vysoké úrovni infekce. Kleštík tento proces pomáhá urychlit tím, že parazituje na těle jedince a postupně oslabuje jeho imunitní systém, který se stává bezbranným vůči virové reprodukci (Locke et al., 2017).

Jediné možné řešení, jak se projevů a šíření viru zbavit, je předejít tomu, aby se *V. destructor* dostal do včelího úlu. Jakmile se virus začne spolu s kleštíkem šířit, není jiná možnost než úl spálit (Kevill et al., 2021). V poslední době ale probíhá výzkum týkající se vlivu butyrátu (sůl kyseliny máselné), který se při pokusu využíval jako doplněk včelí stravy, na obnovu napadené nervové soustavy jedince.



Obrázek 14: Včela medonosná infikovaná virem deformovaných křídel, foto: Stefan De Konink, dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honey_bee_with_Deformed_Wing_Virus_and_Varroa_destructor.jpg

Virus deformovaných křídel je pro hostitele nebezpečný hlavně tím, že mu poškozuje houbovitou část mozku což má pak za následek sníženou efektivitu při přenosu nervových signálů a uchování dlouhodobé paměti. Ta hraje důležitou roli hlavně při orientaci včely v prostoru a její schopnosti se po dlouhé cestě za sběrem pylu vrátit zpět do svého úlu. Butyrát úspěšně potlačuje tyto negativní vlivy a pomáhá s napravením škody způsobené na nervovém systému jedince tímto virem. Studie dále prokázala, že by bylo možné jej využít pro překonání subletálního působení pesticidů na včelí společenstvo (Tang et al., 2021).

5.3.2 Virus pytlíčkovitého plodu

Virus pytlíčkovitého plodu způsobuje onemocnění postihující larvální stádium včely medonosné ve fázi vytváření kukly. Zdravá larva je schopna se zakuklit do 4 dní poté, co byla její buňka zapečetěna ale infikovaná larva toho není schopna (Bailey et al., 1964), přičemž dochází v prostoru mezi tělem a nesvlečenou pokožkou k akumulaci ecdysiální tekutiny obsahující miliony virových částic vytvářející vakovitý vzhled, který je pro tuto nemoc charakteristický. Virus larvu obvykle zabíjí v posledním larválním stádiu a jeho částice mohou zůstat životaschopné i v mrtvých larvách, medu nebo pylu až po čtyři týdny. Zatímco jsou larvy hlavním cílem infekce, virus může napadnout i včelí dělnice a výrazně ovlivnit jejich dlouhověkost (Li et al., 2019).



Obrázek 15: Larva vykazující symptomy nákazy virem pytlíčkovitého plodu, foto: University of Georgia, dostupné z: http://agrillife.org/txapiaryinspection/files/2014/09/sacbrood_georgia.jpg

Kleštík včelí hraje výraznou roli v přenosu viru a jeho množení díky konzumaci tukové tkáně včel a oslabení jejich imunitního systému (Deng et al., 2020). Jakmile je dospělý včelí jedinec virem napaden, dochází k reprodukci virových částic, aniž by se projevil zjevné příznaky. Velké množství částic se hromadí zejména v hypofaryngeálních žlázách a takto infikované včely nejsou schopny přijímat pyl. Z toho důvodu se jejich délka života rapidně sníží a takto nakažené roznášejí virové částice po úlu prostřednictvím kontaktu s ostatními včelami (Bailey et al., 1972).

Aby se předešlo nákaze virem pytlíčkovitého plodu je v první řadě důležité se zbavit *V. destructor* v úlu. Bez tohoto roztoče nemá virus přirozené prostředí pro množení a imunitní systém včely jej obvykle přemůže (Li et al., 2019). Efektivní léčba při infekci virem dosud neexistuje. Infekci lze zmírnit například výměnou včelí královny či odstraněním infikovaných plástů z úlu. Těmito opatřeními ale nelze zamezit šíření viru mezi včelami. Účinnou pomůckou by ale mohla být RNA interference (obraný mechanismus buňky proti cizorodé RNA), která byla použita u včelích larev a významně šíření viru potlačila. Použití RNAi je ale ve velkém měřítku omezeno z důvodu velké finanční náročnosti a možných neprozkoumaných vedlejších účinků. Jako levnější a přírodní alternativa byla zkoumána rostlina s antivirotickými účinky boryt barvířský (*Radix isatidis*) používána po mnoho staletí v tradiční čínské medicíně pro léčbu virových onemocnění u člověka. Extrakt této rostliny vykazoval

inhibiční účinky na replikaci virových částic a výrazně podpořil larevní imunitní systém (Sun et al., 2021).

5.4 Houbová onemocnění

Houby jsou mnohobuněčné, eukaryotické, heterotrofní organismy, které byly považovány za nejstarší členy rostlinné říše, ale v závislosti na stavu imunity zvířat se z nich staly oportunní patogeny. Zvápenatění včelího plodu či nosematóza jsou vážná onemocnění opylovačů, především včely medonosné, která jsou vyvolávána působením parazitické třídy hub vyvolávající značné škody v jejich koloniích (Kashyap et al., 2019).

5.4.1 Zvápenatění včelího plodu

Zvápenatění včelího plodu je způsobeno houbovým patogenem *Ascosphaera apis*, který napadá zapečetěnou i nezapečetěnou snůšku larev včely medonosné. Patogenní spory pronikají spolu s potravou do střeva kde, za vhodných podmínek, se začínají rozvíjet (Kane et al., 2021). Po uzavření buňky včelí ošetřovatelkou dojde k vytvoření myceálních hyfů, kterými jsou z larvy postupně odsávány živiny, spotřebovávají zbytek těla hostitele a následně vytvářejí na povrchu uhynulé larvy bílou plíseň. Ta po vyschnutí vytvoří křídově bílou hmotu a v průběhu tvoření spor se začne její barva měnit na skvrnitě až zcela černou. Každá mrtvá larva obsahuje až 100 milionů spor, které mohou v prostředí zůstat infekční po mnoho let a mezi včelstvy se šíří prostřednictvím loupeživých včel a přemísťováním infikovaného včelařského vybavení (Jensen et al., 2015).

Hlavním zdrojem spor *Ascosphaera apis* jsou pylová zrna. Včelí dělnice jsou vůči infekci imunní, ale slouží jako hlavní přenašeči patogenu při krmení larev nebo čištění použitých buněk (Kane et al., 2021). Protože patří k oportunistickým parazitům, vyskytuje se v úlu při událostech, které ve včelím společenstvu vyvolávají stresové situace, například invaze kleštíka včelího (Castagnino et al., 2020). Příznaky napadení úlu se projevují až v pozdějších fázích nákazy výskytem křídovitých larev nebo drobných otvorů ve vosku vedoucích do buňky, kdy včelí ošetřovatelka vyzorovala výskyt plísně na uhynulé larvě a snažila se ji z buňky vyjmout (Kane et al., 2021). Jakmile tedy včelař usoudí, že je úl infikován, měl by postupně vyměnit části úlu za nové, aby se dokázal zbavit většiny spor a všechny používané nástroje podrobit dezinfekci. Dalším řešením může být výměna nemocné královny, přechod na kvalitní a certifikovanou potravu, nebo umístění úlu na méně vlhké a chladné místo, které by sporám omezilo příhodné podmínky pro růst (Castagnino et al., 2020).

Boj s *A. apis* je velice obtížný z důvodu vysoké odolnosti jejích spor, které obvykle dokáží odolat mnoha druhům fungicidů, jejichž používání se snaží většina včelařů vyhnout z důvodu jejich negativních vlivů na zdraví včelstva (Aronstein et al., 2010).



Obrázek 16: Křídovité zbytky po larvách vynesené před vstup do úlu včelími ošetřovatelkami, foto: Jeff Pettis, dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ascospheara_apis_\(Maasen_ex_Claussen\)_L.S._Olive_%26_Spiltoir_1324048.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ascospheara_apis_(Maasen_ex_Claussen)_L.S._Olive_%26_Spiltoir_1324048.jpg)

V průběhu let byla vyvinuta a zavedena řada alternativních strategií boje proti této houbě. Probíhalo testování široké škály chemoterapeutických sloučenin z hlediska jejich schopnosti potlačovat houbovou reprodukci. Řada testovaných látek ale nedosáhla takové úrovně kontroly, jaká je potřebná pro úspěšné potlačení choroby. Slibné účinky prokázaly esenciální oleje s obsahem fenolických a terpenoidních sloučenin s inhibujícím účinkem na rozmnožování škůdce. Vysokým obsahem těchto látek disponují rostliny jako je máta peprná (*Mentha piperita*) či horský pepř (*Tasmannia lanceolata*). Využití přírodních náhražek synteticky vyrobených antibiotik by mělo snížit šance *A. apis* vytvoření rezistence a dále redukovat výskyt zbytků antibiotik v úlu na minimum (Ansari et al., 2017).

5.4.2 Nosematóza

Onemocnění zvané nosematóza způsobují organismy nazývané mikrosporidie. Dříve se tato skupina řadila mezi prvoky, ale po porovnání příbuzenských znaků na molekulární úrovni došlo k jejich zařazení mezi houby (Edlund et al., 1996). Nejvýznamnějším zástupcem a původcem tohoto onemocnění je *Nosema apis* (Galajda et al., 2021).

Spory *N. apis* se do jedince dostávají při požití kontaminované potravy uloupené z nakaženého úlu a v některých případech došlo k přenosu po kontaktu se včelími chloupky (Galajda et al., 2021). Obvykle se nosematóze říká „tichý zabiják“, neboť

napadení jedinci nevykazují žádné viditelné znaky nemoci až do doby, kdy je kolonie silně zamořena (Kane et al., 2021). Ovšem příznaky vyzorovala výzkumná síť COLOSS (Prevention of honey bee colony losses) a uvedla, že infikovaný úl se pozná podle včel s abnormálním umístění křídel, oteklých zadečků, mazlavých žlutých výkalů na vnějšku úlu, zkřídovatělých včel před vstupem do úlu a redukcí rychlosti tvorby medu. Nejpřesnější způsob, jak nemoc potvrdit, je s použitím mikroskopické analýzy uhynulých jedinců (Higes et al., 2008).



Obrázek 17: Žluté výměšky pokrývající úl značící přítomnost *Nosema Apis*, foto: Georgia Department of Agriculture, dostupné z: <https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590042.jpg>

Mikrosporidie se množí především ve střevech včely do požadovaného počtu a následně rozpustí střevní epitel za účelem invaze jejích tělních tekutin. Takto narušená střevní tkáň dodává sladkou vůni výkalům, které zaručují, že budou pozřeny zdravou včelou a rozšíří spory po kolonii (Galajda et al., 2021). Své hostitele *N. apis* poškozují především tak, že v její přítomnosti v organismu není jedinec schopen efektivně vstřebat proteiny v potravě, což vede k neschopnosti živit larvy a královnu a včelstvo tak předčasně stárne. Ovlivněn je také růst kolonie. Jestliže je královna infikována, především konzumací potravy od nakažených dělnic, dojde u ní k pozastavení snášení vajec a na vrcholu infekce dojde k jejímu úhynu (Fries et al., 2015).

Aktuálně se léčba napadených úlů provádí za použití vypařovacích desek s kyselinou mravenčí či kyselinou šťavelovou používaných také pro hubení kleštěka včelího (Underwood et al., 2009). Jelikož ale není zcela jasný jejich vliv dlouhodobého působení na zdraví včelstva, je snaha využívat přírodě bližší metody, jako je využití bifidobakterií a laktobacilů pro jejich sekreci antibiotických

metabolitů redukuje výskyt spor *N. apis* v úlu za současné podpory zdraví včel (Baffoni et al., 2016). Aplikace probiotik, například *Parasacharibacter apium*, pomohla ke zlepšení zdraví nakažených jedinců, ale na počet spor vliv neměla (El Khoury et al., 2018). Kromě probiotik byly testovány i rostlinné flavonoidy získané z rostliny *Cryptocaria alba* vykazující účinky potlačující mikrosporidiální aktivitu (Bravo et al., 2017). Výroba těchto extraktů a doplňků stravy pro včely musí být vysoce standardizovaná, aby byla zajištěna jistota účinnosti v terénu (Burnham et al., 2019).

5.5 Chemické látky

Hmyzí opylovači představují v přírodě důležitou složku, bez které by život na Zemi chřadl. Jejich zdraví ohrožuje mnoho velmi dobře prozkoumaných faktorů – parazitů, virů, bakterie a houby. Těmto nepříjemnostem se člověk naučil čelit různými přírodními prostředky – pálením infikovaných úlů, pokusy o léčbu rostlinnými výtažky apod. Tyto metody ale bývají většinou časově i finančně náročné, a proto se muselo přistoupit k uměle vytvořeným látkám určeným pro snadnou a levnou likvidaci škůdců a zároveň neškodných pro hmyzí opylovače. Chemické postřiky měly zpočátku úspěch. Včelaři dokázali své včely chránit před zhoubným kleštíkem včelím či proti různým druhům bakterií a plísní a pro včely chemikálie nepředstavovaly výraznou hrozbu. S postupem času došlo ke zjištění, že parazité se dokázali postřikům přizpůsobit a na opylovačích se jejich účinek projevil v podobě subletálních efektů, jako je neschopnost se po cestě za pylem vrátit zpět do úlu, podvyživenost a špatné zdraví královny. Takto oslabená kolonie je náchylná k infekci což může vést až k jejímu kolapsu (Colwell et al., 2017).

5.5.1 Insekticidy se zaměřením na neonicotinoidy

Insekticidy jsou za poslední století hojně využívány jako způsob efektivní kontroly výskytu hmyzích škůdců způsobujících rozsáhlé škody na zemědělské úrodě. V dnešní době jich existuje mnoho druhů, ale mezi globálně nejvyužívanější se řadí neonicotinoidy (Colwell et al., 2017).

Neonicotinoidy jsou syntetické chemické sloučeniny strukturou podobné nikotinu. Mají společný způsob účinku, který ovlivňuje centrální nervovou soustavu hmyzu vazbou na nikotinové acetylcholinové receptory, takže se dají využít proti širokému spektru hmyzu. Jsou to také systémové insekticidy, které mohou být přijímány kořeny rostlin a následně rozvedeny do zbytku těla čehož se využívá při ošetřování semen (nátěr osiva) (Simon-Delso et al., 2015). Aplikace insekticidu na semena se provádí před výsevem za účelem potlačení, regulace či odpuzování hmyzu a dalších škůdců. Nátěr osiva se provádí u široké řady plodin, mezi které patří kukuřice, sója, řepka olejná, slunečnice a bavlna (Hladik et al., 2018). Takto ošetřená semena ale zvyšují pravděpodobnost výskytu chemických látek v plodinách z nich vypěstovaných, a to včetně listů, pylu a nektaru. Množství obsahu neonicotinoidů

vstřebaného rostlinou vyrostlou z chemicky ošetřených semen se pohybuje mezi 2-20 % (Alford et al., 2017), množství v pylu a listech se většinou velmi liší. Zemědělské plodiny ale nejsou jediné rostliny, ve kterých se neonikotinoidy mohou vyskytovat. Jejich výskyt byl zjištěn také v planě rostoucích rostlinách přiléhajících k zemědělským plochám, což naznačuje jejich schopnost šířit se mimo místo aplikace a být přijímány necílovými rostlinami (Botías et al., 2016; Krupke et al., 2012).

K vlastnostem neonikotinoidů patří jejich vysoká rozpustnost ve vodě, a proto byly často detekovány ve vodních tocích po celém světě, včetně povrchového odtoku (potoky, řeky), podzemní vody a mokřady (De Perre et al., 2015; Huseeth et al., 2014; Lamers et al., 2011). Při testování vzorků vody ve světě byl v 89-100 % z nich zjištěn imidakloprid, který je prvním komerčně dostupným neonikotinoidem (Lamers et al., 2011; Sánchez-Bayo et al., 2014; Starner et al., 2012; Van Dijk et al., 2013). Studie v USA, zaměřené na širší spektrum neonikotinoidů, zjistily výskyt alespoň jednoho typu v 76 % vzorků z intenzivně zemědělsky využívané oblasti na severozápadě USA (Hladik et al., 2014), přičemž nejvyšší koncentrace se objevily krátce po výsadbě, a v 53 % vzorků, které zahrnovaly různé způsoby využití půdy (Hladik et al., 2016). Na území kanadských prérií byl výskyt neonikotinoidů zjištěn v mokřadech během vegetačního období i mimo něj (Main et al., 2014). Zdroj insekticidů ve vodě může být různý – od postřiků přes částice až po půdní aplikaci (Huseeth et al., 2014).

Obecně lze říct, že v zemědělských oblastech se nejčastěji vyskytují tři neonikotinoidy používané především pro ochranu osiva – klotianidin, imidakloprid a thiamethoxam – zatímco v městských oblastech je nejčastěji zachycen imidakloprid (Hladik et al., 2016).

Hromadné využívání neonikotinoidů pro ochranu zemědělských plodin se ukázalo jako neškodné pro člověka, ale u hmyzích opylovačů, hlavně u včel a čmeláků, se postupem času po pozření chemicky ošetřeného pylu či jiných částí rostlin projeví vedlejší subletální efekty neonikotinoidů. Jedince zprvu nijak zvlášť neovlivňují, ale s postupem času se začne jejich negativní vliv projevovat (Mitchell et al., 2017).

Obavy z dopadů používání neonikotinoidů na životní prostředí začaly v roce 1996, kdy francouzští včelaři vypožorovali souvislost mezi používáním imidaklopridu, který byl v té době novým a revolučním přípravkem v boji s hmyzími škůdci, s úhynem včel medonosných (Bonmatin et al., 2005). Od té doby se staly včely medonosné zdrojem obav z používání neonikotinoidů. Tři nejčastěji využívané neonikotinoidy (klotianidin, imidakloprid a thiamethoxam) jsou klasifikovány jako vysoce toxické pro včely při orálním požití. Opylovači mohou být pesticidům vystaveni, když konzumují nektar nebo pyl ošetřené plodiny, která kvete (Goulson et al., 2013) nebo prostřednictvím prachu ze semenných obalů (Giorio et al., 2021). V současné době existují četné důkazy o tom, že chronická expozice je dostatečná k tomu, aby měla na včely škodlivé účinky (Henry et al., 2012). V laboratorních

studiích bylo prokázáno, že expozice reálným dávkám v terénu zhoršuje kognitivní a navigační schopnosti, snižuje úspěšnost při hledání potravy, potlačuje imunitní reakci, snižuje životaschopnost zásob spermatu a životnost matek (Gill et al., 2012; Lundin et al., 2015; Pisa et al., 2021; Whitehorn et al., 2012).

V podrobnější studii neonikotinoidu thiamethoxamu byl testován rozdíl mezi akutním a chronickým působením neonikotinoidů na včelu medonosnou. Po akutním vystavení pesticidu (1,34 ng/včela) se u jedinců výrazně prodloužila délka vznášivého letu (+78 %) a dosažená vzdálenost při hledání potravy (+ 72 %) zatímco chronická expozice délku letu (- 54 %), dosaženou vzdálenost (- 56 %) a průměrnou rychlost letu (- 7 %) významně snížila. Za dva dny nepřetržité expozice se do těla jednotlivých včel dostalo 1,96 – 2,90 ng thiamethoxamu (smrtečná dávka pro včelu se pohybuje mezi 1–10 μ M). Výsledky studie poprvé prokázaly, že akutní a chronická expozice významně pozměnily schopnosti včel létat. Přestože akutní dávka pesticidu výrazně prodloužuje délku letu a vzdálenost, kterou je včela schopna urazit, většinou u včel způsobuje dezorientaci a snižují tím šanci k návratu domů (Fischer et al., 2014).

Životní cyklus včel je řízen jejich citlivostí na světlo, která se mění v závislosti na jejich věku, a určuje jejich pracovní pozici v úlu. Mladé včely se zdržují spíše v temných částech úlu (negativní fototaxe) a dospělé dělnice se pohybují okolo úlu či preferují světlá místa uvnitř kolonie (pozitivní fototaxe) (Southwick et al., 1987). Při pohybu uvnitř hnízda i mimo něj vyžadují včely koordinovanou chůzi a šplhání. V úlu chodí a šplhají po plástech a komunikují spolu tancem, což vyžaduje koordinovanou lokomoci (Tautz et al., 1996). Studie zaměřující se na vliv thiamethoxamu na motoriku a fototaxi včel ukázaly, že akutní vystavení jedince tomuto pesticidu pro něj není nijak ovlivňující (Charreton et al., 2015), ale chronická expozice způsobila, že u testovaných jedinců se výrazně snížily jejich motorické schopnosti (Tosi et al., 2017). Thiamethoxam měl vliv i na fototaxi včel, kdy při chronické expozici včel zvýšil jejich pohyb ke zdroji světla. Včely vylétávaly z úlu a zpět se již nevracely. Toto chování je podobné včelám infikovaným parazity, které opustí kolonii a zahynou pro zvýšení šance přežití společenstva (Thamm et al., 2010). Pozměněná vnímavost světla by mohla mít vliv na zdraví kolonie a na řád rozdělení práce v úlu (Tosi et al., 2017).

Rozdílné účinky expozice se ale prokázaly u testovaných neonikotinoidů thiaklopridu a imidaklopridu, které byly použity za účelem zjištění jejich vlivu na feromonovou komunikaci a vnímavost pachů. Pachy slouží včelám k lokalizaci zdroje potravy ve vnějším prostředí, zatímco v úlu plní feromony, jako je například mandibulární feromon královny a poplašné feromony, důležité funkce při regulaci života včelstva vyvolávání agresivních reakcí proti vetřelcům a parazitům. Expozice k pesticidům by mohla souviset s narušením pachové citlivosti (Favaro et al., 2022). Případné změny v detekci těkavých látek květů mohou způsobit narušení potravního chování včel, což má důsledky jak pro přežití včel, tak pro jejich

opylovací činnost. Jako sociální hmyz jsou včely medonosné také silně závislé na feromonální komunikaci, např. při uvolňování a vnímání mandibulárního feromonu královny a feromonu snůšky uvnitř úlu nebo poplašného a agregačního feromonu mimo úl (Ma et al., 2018; Paoli et al., 2021). Feromony dále ovlivňují motivaci, učení a paměť včel (Baracchi et al., 2020). Favaro et al. (2022) zjistili, že chronická expozice u včel působila pouze v krátkém časovém rozmezí, kdy včely vystavené thiaklopridu vykazovaly zvýšené reakce na rostlinné těkavé látky, mandibulární feromon královny a na poplašný feromon. U imidaklopridu se akutní a chronická expozice prokázala bez účinku, avšak akutní vystavení těmito dvěma pesticidům vyvolalo u včel zvýšenou degeneraci přijímaného signálu. Celkově tedy včely vystavené působení imidaklopridu a thiaklopridu vykazovaly negativní odpověď na krátkou dobu, avšak u další generace se projeví jen jako méně závažné.

Neonikotinoidní pesticidy se široce používají k systémové ochraně plodin proti kousavému a savému hmyzu. Jejich soustavná aplikace však zvyšuje riziko úbytku opylovačů. Úbytek především včelích populací způsobuje výrazné snížení výnosů obilovin.

Nesmíme ovšem zapomínat ani na další významnou skupinu hmyzích opylovačů, tedy čmeláky, na které mají neonikotinoidy obdobné účinky jako u včel medonosných. Dlouhodobá expozice pesticidům se u čmeláků projevuje snížením schopnosti kognitivního vnímání a paměti (Samuelson et al., 2016), která hraje důležitou roli v získávání potravy, neboť čmeláci se učí vyhledávat cenné zdroje potravy a opakovaně se k nim vracet. Schopnost vyhledávání potravy je proto klíčová pro zajištění výživové stability čmeláčích hnízd. Subletální účinky neonikotinoidů se ve čmeláčích koloniích projeví sníženou spotřebou potravy (Mercer et al., 2020).

Většina studií se shoduje na tom, že vystavení čmeláků neonikotinoidním pesticidům vedlo k výraznému snížení motivace při hledání potravy. Čmeláci při ošetření vyššími dávkami neonikotinoidů méně navštěvovaly květy, sbíraly méně sacharózy a zřídka se vraceli k původnímu zdroji potravy po návratu do hnízda (Cresswell et al., 2012; Cresswell et al., 2014; Laycock et al., 2014; Thompson et al., 2015).

Většina výzkumů prováděných na čmeláčích se zaměřuje na dělnice, ale zvláštní význam mají účinky neonikotinoidů pozorované u královen. Královny jsou nejen jedinými nositelkami oplozených vajíček, z nichž se rodí dělnice, ale jsou také zodpovědné za obnovu populace každé jaro po zimním spánku (Alford et al., 1969). Wu-Smart et al. (2018) vyzorovali řadu významných dopadů po aplikaci imidaklopridu, včetně úmrtnosti, prodloužení doby snášení vajíček a snížení tělesné hmotnosti. Expozice klothianidinu, neonikotinoidu působícího na nervový systém hmyzu, měla negativní dopad na přežívání matek během hibernace a vedla ke ztrátě hmotnosti během tohoto období (Fauser et al., 2017). Podobný účinek měla i

expozice thiamethoxamu před přezimováním, kdy došlo ke snížení počtu královen kladoucích vajíčka a také ke zpoždění iniciace kolonií u královen, které byly kladení vajíček schopné (Baron et al., 2017). Úspěšnost čmeláčí královny je jedním z nejkritičtějších aspektů životního cyklu čmeláků pro určení úspěšnosti budoucí populace.

Na úspěchu populace se podílí i čmeláčí samci. Ti mohou být produkováni samicemi v případě úhynu královny, ale za normálních podmínek se této činnosti ujímá královna. Panenské královny se páří ještě před přezimováním a bylo zjištěno, že kvalita spermatu může mít vliv na jejich přežití při hibernaci (Alaux et al., 2004). Toto zjištění naznačuje, že zdraví samců je důležité pro funkčnost populace, ale není jasné, který aspekt zdraví trubců je nejkritičtější. Jen málo studií se zabývalo účinky neonicotinoidů na trubce, částečně kvůli mylné představě, že trubci jsou užiteční pouze pro páření. Dalšími důvody nedostatku údajů o trubcích může být to, že jsou v hnízdě přítomni až v pozdějších fázích vývoje hnízda a po krátké době hnízdo opouštějí, aby si našli partnery (Alford et al., 1969).

5.5.2 Herbicidy

Neonicotinoidní pesticidy jsou hlavní příčinou špatného zdraví a úhynu včelích společenstev, a proto jsou jejich účinky přednostně zkoumány. Tyto chemické přípravky ovšem nejsou jediné, které včelám a čmelákům škodí.

Herbicidy člověk využíval po velmi dlouhou dobu jako prostředek proti nežádoucím plevelům a invazním rostlinám, které zemědělských plodinám škodí mnoha způsoby – odčerpávání živin, vytváření stínu, produkce toxických metabolitů apod. Nejsnadnějším způsobem likvidace je využití glyfosátových herbicidů. Účinná látka glyfosát, u které se věřilo, že je pro blanokřídlé opylovače neškodná, při dlouhodobé expozici narušuje jejich mikrobiální společenstvo a činí je zranitelnějšími vůči infekcím (Straw et al., 2021). Na plevele působí glyfosát tak, že blokuje enzym, který používají k tvorbě několika klíčových aminokyselin. Živočichové tento enzym neprodukují, ale používají ho některé bakterie. Absence tohoto enzymu je pro bakterie ve včelí a čmeláčí mikrobiotě kritická a činí opylovače zranitelnější vůči smrtelným infekcím (Motta et al., 2018).

Pro objasnění této hypotézy došlo k testování několika stovek včel, které byly nakaženy bakterií *Serratia marcescens*, což je bakterie vyskytující se ve velmi malém množství v úlech a včelích útrobach, kde může způsobit infekci napadením jiných částí těla včely. Hmyz krměný roztokem s obsahem glyfosátu přežil infekci v počtu 12 % z testovaných jedinců oproti 47 % přeživších včel, kterým glyfosát nebyl podán (Cornwall et al., 2018).

Výsledky studie zabývající se vlivem glyfosátu na včelí navigační schopnosti prokázaly, že expozice vysokým dávkám herbicidu výrazně zvýšila dobu návratu včely do úlu a někteří jedinci podnikali zbytečně dlouhé cesty při návratu zpět do

kolonie. Vystavení herbicidu tedy mohlo narušit schopnost učení, ovlivnit obnovu paměti a manévry, které jsou pro úspěšné shánění potravy nezbytné. Přítomnost dezorientovaných sběračů potravy by znamenala výrazné snížení zásob potravy s následným snížením populace včely medonosné (Balbuena et al., 2015). Kromě vlivu na navigační schopnosti a paměť byl dále zjištěn odpor včel sbírat vodu pro výživu larev a výrazně potlačená schopnost šplhání (Luo et al., 2021).

Testován byl i nejpoužívanější přípravek pro likvidaci plevelu s obchodním názvem Roundup, využívaný jak v polním měřítku, tak i na zahrádkách. V popisu produktu uvádí výrobce jeho nízkou toxicitu pro včelu medonosnou, avšak toto tvrzení vyvrací mnoho studií potvrzujících opak (Abraham et al., 2018; Artz et al., 2015; Ciarlo et al., 2012).

V dnešní době na zemědělsky obdělávaných půdách převažují geneticky upravené rostliny, které jsou vůči glyfosátovým herbicidům odolné a již od 90 let se využívání těchto přípravků exponenciálně zvýšilo (Benbrook et al., 2016). Nárůst zvýšeného používání glyfosátových přípravků by mohl mít velké dopady na biologickou rozmanitost a zejména na necílové organismy.

Nežádoucí plevely lze ale likvidovat bez využití herbicidních přípravků. Mezi přírodní alternativy patří použití kukuřičného lepku, octa, páry a mořské soli. Využití páry probíhalo i na polích, ovšem brzy se ukázalo, že se jedná o velmi neefektivní metodu. Při aplikaci octa či mořské soli můžeme ovlivnit kvalitu půdy, a tím ohrozit pěstované rostliny. Kukuřičný lepek slouží jako prevence růstu plevelu potlačením růstu jejich kořenů, ale nijak neovlivňuje již vyklíčené rostliny a jeho působnost v půdě je poměrně krátká (4-7 týdnů) (Chong, 2003). Tyto strategie se dají využívat pouze na zemědělsky obdělávané půdě menšího měřítka a ve většině případů jsou jen velmi krátkodobým řešením.

5.5.3 Fungicidy

Fungicidy, chemické látky sloužící pro odstranění houbových chorob a plísní, tvoří velkou část trhu s pesticidy a předpokládá se, že jejich používání v budoucnu poroste. Jejich účinky na blanokřídlé opylovače nebyly tak podrobně zkoumány, jako u insekticidů (Cullen et al., 2019), přestože jejich aplikace v celosvětovém měřítku převyšují aplikace insekticidů a herbicidů (Jess et al., 2018).

Vzhledem k tomu, že houbové choroby ohrožují celou řadu potravinářských plodin, je používání fungicidů považováno za zásadní pro celosvětovou potravinovou bezpečnost (Strange et al., 2005). Fungicidy se často používají preventivně a u některých plodin se mohou aplikovat až desetkrát za sezónu (Reilly et al., 2012). V důsledku toho se včely, které hledají potravu v zemědělském prostředí, setkávají s fungicidy častěji než s insekticidy, protože jsou považovány za bezpečnější pro včely a lze je aplikovat i v době, kdy kvetou plodiny atraktivní pro hmyz (Favaro et al., 2019). V důsledku toho jsou rezidua fungicidů běžně detekována v koloniích včely

medonosné i v jejich bezprostředním okolí, což je vystavuje potenciálně vysokému riziku expozice (David et al., 2016; Sanchez-Bayo et al., 2014).

Zatímco fungicidy obvykle nejsou považovány za akutně toxické pro včely, například přípravek Organocide Bee Safe (Johnson et al., 2015), některé účinné látky s nízkou toxicitou mohou pro včely představovat riziko, pokud jsou v prostředí přítomny opakovaně po celou sezónu (Long et al., 2016; Tsvetkov et al., 2017). Letální i subletální dopady těchto látek se projevují nejen v koloniích včel medonosných, ale i u včel divokých, včel samotárek a čmeláků (Belsky et al., 2020; Cullen et al., 2019). Nejpoužívanější fungicid dnešní doby chlorothalonil negativně ovlivňuje úspěšnost růstu kolonií pozorovaných blanokřídlých opylovačů a jejich přežití (Bernauer et al., 2015). Při aplikaci dalších nejběžnějších fungicidů (iprodion, captan) na pozorovanou kolonii včel medonosných došlo ke zvýšené mortalitě larev i dospělců včely medonosné (Dai et al., 2018; Dominigues et al., 2017; Fischer et al., 2017). Stejně efekty se projevily i u vybraných včel samotárek (Ladurner et al., 2005; Ladurner et al., 2008). Aplikované fungicidy dále negativně ovlivňovaly životní pochody včel medonosných, jako je její potravní chování (Degrandi-Hoffman et al., 2015), schopnost vrátit se do svého úlu (Artz et al., 2015) a snížení životaschopnosti spermií trubců (Fischer et al., 2018). Existuje i možnost, že fungicidy mají synergické účinky s jinými insekticidy nebo mitocidy (přípravky používané proti roztočům), čímž se zvyšuje jejich toxicita pro včely (Biddinger et al., 2013; Iwasa et al., 2004; Tosi a Nieh, 2019). Nelze vynechat i pravděpodobnost zvýšení náchylnosti čmeláků a včel k patogenům (Glavinic et al., 2019; McArt et al., 2017; Paris et al., 2020).

Jedna z těchto studií zabývající se problémem vedlejších účinků na blanokřídlé opylovače uvedla, že mezi nejzávažnější fungicidy se řadí ty, které snadno kontaminují pyl a nektar. Mezi zmíněné pesticidy patří například systémový azoxystrobin, boskalid, karbendazim, a také hojně využívaný kontaktní fungicid chlorothalonil. Testované fungicidy nepředstavovaly žádné riziko pro dospělé včelí dělnice při krátkodobé expozici, ovšem expozice dlouhodobá pro tento druh představuje jistou hrozbu (Rondeau a Nigel, 2022).

Negativní vlivy byly zkoumány i v molekulárním měřítku. Příkladem může být zjištění, že konzumace pylu ošetřeného fungicidem Pristine výrazně snížila koncentraci molekul ATP v letových svalech včelích dělnic, z čehož vyplývá fungicidní vliv na mitochondriální dýchání (Degrandi-Hoffman et al., 2015). U jmenovaného přípravku bylo dále vyzorováno, že inhibuje i další mitochondriální funkce, což se projevuje zvýšenou hladinou CO₂ a vyšší teplotou včelího hrudníku během krátkého vznášivého letu (Campbell et al., 2016).

Problematika využívání fungicidů v obrovském měřítku a hrozba výrazné redukce biologické rozmanitosti byla podnětem k hledání přírodních alternativ. Pro boj s nežádoucími plevele byl vyvinut přípravek Fungastop. Studie, soustředěná na

testování tohoto přípravku, pozorovala jeho účinnost a zdali jeho aplikace nijak neohrožuje blanokřídlé opylovače (Martínez-Romero et al., 2008).

Pokus probíhal ve Španělsku na poli s hlávkovým salátem, který je velmi citlivý na napadení mikrobiálními organismy (Qiu et al., 2017). Velikost úrody ohrožují nejrozšířenější druhy plísní *Botrytis* a *Sclerotinia* (Chitrampalam et al., 2011). Po desítky let byly využívány syntetické fungicidy, ale během posledních let dochází k obavám spotřebitelů kvůli jejich karcinogenním účinkům, problémům s toxickými rezidui, znečištění životního prostředí a tvorby mikrobiální rezistence (Diánez et al., 2002; Marín et al., 2003). Mezi strategie, které mají za úkol tyto syntetické pesticidy nahradit, patří využití antagonistických organismů, jako je *Trichoderma hamatum* a *Coniothyrium minitans* (Rabeendran et al., 2006) či aplikace esenciálních olejů a rostlinných extraktů (Tripathi et al., 2004).

Nejslibnější účinky projevily již zmíněný přírodní fungicid Fungastop, který při pokusu prokázal antimikrobiální účinky blízké účinkům běžně používaných syntetických pesticidů, přičemž jeho výhodou je, že je přírodní a vyhýbá se tak účinkům syntetických fungicidů (toxicita, vznik rezistence, ohrožení lidského zdraví). Fungastopem ošetřená zelenina dále prokázala delší dobu skladovatelnosti (a to až o dva týdny) (Martínez-Romero et al., 2008). Nejnovější studie zabývající se účinkem tohoto přípravku proti *Sclerotinia sclerotiorum*, způsobující hnilobu mrkve, prokázala jeho inhibiční účinky proti jejím biologickým faktorům díky obsahu silic máty peprné a výrazně prodloužil skladovací dobu testované zeleniny (Ojaghian et al., 2020).

6 Možné metodické postupy ve výzkumu

K řešení nepříznivých vedlejších účinků pesticidů na včely je zapotřebí revidovat postupy pro jejich registraci. Aby mohl být pesticid využíván k ošetřování rostlin je zapotřebí jej posoudit z hlediska toxicity pro včelu medonosnou, která byla původně vybrána jako reprezentativní model nadčeledi Apoidea čítající přibližně 20 000 druhů včel (Cressley et al., 2013). Tento systém hodnocení je ale poměrně zastaralý, neboť životní strategie ostatních druhů včel se mohou podstatně lišit. Při usmrcení samotářských včel pesticidy je jejich nahrazení obtížné a dále existují i případy, kdy pesticidy, neškodné pro včelu medonosnou, svými vedlejšími účinky výrazně uškodily ostatním druhům včel. V současné době se hodnotí přežití dospělých včel medonosných pouze po krátké expozici pesticidu, přestože je velmi důležité testovat také chronickou toxicitu, toxicitu pro larvy a subletální účinky (Desneux et al., 2007). Přísnější testování pesticidů proto musí zahrnovat širší škálu scénářů expozice a zohledňovat biologické vlastnosti u jednotlivých druhů opylovačů (Gallai et al., 2009).

Testování včelích úlů na obsah pesticidů je prováděno včelaři za předpokladu, že se vyskytne podezření nadměrného vymírání jedinců. K odběru vzorků musí dojít co nejdříve po nalezení mrtvých včel a mezi vzorky se počítá uhynulý jedinec, pyl, vosk a med, v nejlepším případě všechny tyto položky dohromady (Stoner et al., 2012). Následně je nutné vzorky zamrazit až do doby, kdy proběhne jejich analýza za využití nejrůznějších analytických metod (García-Valcárcel et al., 2019). K nejčastěji používané metodě extrakce vzorků před vlastní analýzou patří QuEChERS metoda (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe – Rychlá, Snadná, Levná, Efektivní, Robustní a Bezpečná).

6.1 Postup při získávání materiálu a jeho analýza v navazující diplomové práci

V rámci bakalářské práce bylo původně plánováno věnovat se i praktickým úkolům se zaměřením na vybrané druhy včel *Osmia bicornis* a *Osmia cornuta*. Doposud došlo k rozpracování následujících úkolů – vypracování literární rešerše, ověření funkčnosti hnízdních bloků na vybraných lokalitách a zvolení vhodných metodických postupů. V blízké době dojde, po konzultaci se školitelem, k výběru nejpoužívanějších pesticidů v rámci ČR. Pravděpodobně by se jednalo o testování na obsah pesticidů v půdě a ve včelím pylu. Primárně by se vyplatilo testovat obsah herbicidů, neboť patří mezi aktuálně nejvyužívanější a vybrány by byly herbicidy popsané v bakalářské práci. Systémové insekticidy, přesněji řečeno neonikotinoidy, byly na přelomu let 2018/2019 zakázány Evropskou komisí (Bajko, 2018), a proto by pravděpodobně jejich výskyt na vybraných lokalitách byl vzácný a testování by se mohlo zaměřit pouze na výskyt jejich reziduí.

Přípravy pro výzkum proběhly zhotovením jednoduchých hnízd tvořených vyvrtáním děr do dřevěných bloků a umístěných pod primitivní stříšku, která má za úkol udržovat hnízdo suché a poskytovat tak příhodné podmínky pro obsazení zkoumanými včelami. Jednotlivé dřevěné bloky k sobě nejsou pevně přidělané, pouze jsou k sobě připevněny stahovacím mechanismem. Toto provedení poskytuje lepší dostupnost ke sběru vzorků včelích produktů a larev za účelem jejich analýzy. Hnízda byla umístěna ve vybraném ovocném sadu na jižní Moravě, která je typickou oblastí pro *Osmia cornuta* a ve východních Čechách, kde se nejčastěji vyskytuje *Osmia bicornis*. Vzorky získané z v přírodě umístěných hnízd ale mohou být zkresleny či jejich extrakce ohrožena. Hnízdo je v přírodě náchylné k napadení parazity, viry, bakteriemi, živočichy nebo může být odcizen. Jako řešení, které by snížilo tato rizika, se nabízí chov včel v laboratorních podmínkách. Tento chov se provádí v umělém plástu, do kterého se umístí larvy z vybraného úlu. Larvy jsou následně krmeny speciální potravou a uchovávány v inkubátoru, kde se udržuje optimální teplota a vlhkost. Chov *in vitro* je tedy v porovnání s ponecháním hnízda v sadu praktičtější.

Hnízda, umístěná ve vybraných lokalitách, byla již kontrolována a bylo potvrzeno, že se uvnitř uhnízdily očekávané druhy včel. Po určité době proběhne sběr vzorků půdy a z včelích hnízd, které budou zaslány pro analýzu na těžké kovy a obsah vybraných pesticidů na katedru chemie PřF UHK. Testování na těžké kovy je poměrně častá záležitost, ovšem testování obsahu pesticidů v půdě a včelích vzorcích tak časté není a mohlo by znamenat delší čekací dobu na výsledky.

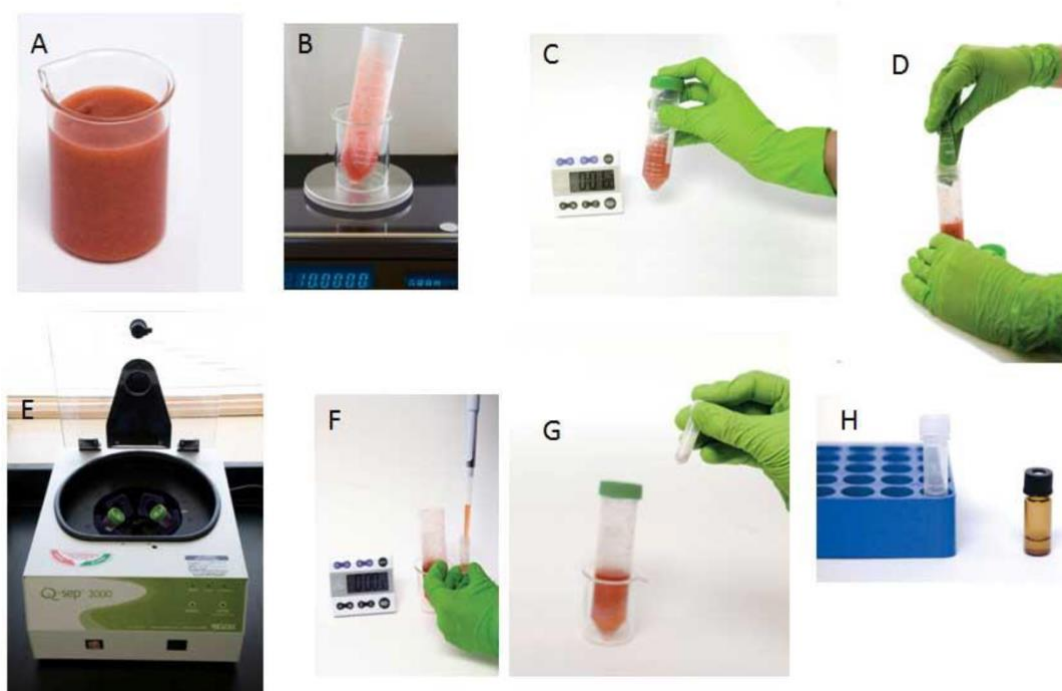
Po zisku dat ohledně znečištění půdy těžkými kovy a vlivu používaných pesticidů na pozorované druhy včel dojde k jejich zpracování a následně mohou být využity pro ukázání na skutečnost, že populace blanokřídlých opylovačů je ohrožena a je nutné přepracovat strategie péče o zemědělskou půdu.

6.2 QuEChERS metoda

Při analýze více reziduí pesticidů se využívá QuEChERS metoda což je extrakční metoda, která nahradila méně efektivní metody díky mnoha výhodám. Kromě analýzy pesticidů se tato metoda využívá pro detekci a analýzu léčiv, polycyklických aromatických uhlovodíků a několika perzistentních organických polutantů (Kim et al., 2019).

QuEChERS metoda byla původně zavedena pro monitoring pesticidů více tříd a reziduí v různých zemědělských produktech s vysokým obsahem vody (Anastassiades et al., 2003). S postupem času došlo k mnoha úpravám pro analýzu široké škály pesticidů (González-Curbelo et al., 2015). Cílem této metody je zjednodušit a zefektivnit extrakční a purifikační postupy, minimalizovat náklady,

zatímco většina ostatních metod vyžaduje více kroků, značné množství rozpouštědel a času (Grimalt et al., 2016).



Obrázek 18: QuEChERS metoda, foto: Julie Kowalski a Jack Cochran, dostupné z:

<https://www.yumpu.com/en/document/view/26235659/quechers-a-primer-separation-science>

A) homogénizovaný vzorek, B) příprava požadované hmotnosti vzorku, C) přidání acetonitrilu a protřepání, D) přidání extrakčních solí a protřepání, E) vložení vzorků do centrifugy, F) odebrání malé části vzorku a jeho čištění za použití absorbentů, G) protřepání vzorku, H) vzorek připravený k analýze

Principem QuEChERS metody je extrakce látek, které mají menší polaritu, než má voda. Materiály obsažené v balení s testovacími nástroji se mohou lišit podle toho, jaké typy matic máme v plánu testovat. Pro jednotlivé matrice existuje určitý typ sorbentu. Testované matrice se dělí na běžnou (okurky, melouny), tukovou (ryby, mléko), pigmentovou (mrkev, víno) a vysoce pigmentovanou (červená paprika, špenát). Jakmile je vše připraveno, může dojít k fázi vytváření vzorku (Lehotay et al., 2020).

Po důkladné přípravě vzorku (Obr. 18) může dojít k jeho podrobné analýze, která se obvykle provádí za využití kapalinové chromatografie s tandemovou hmotnostní spektrometrií (Kim et al., 2019).

Závěr

Cílem práce bylo shrnout z dostupné literatury informace o historii soužití člověka a blanokřídlých opylovačů, dále obecnou biologii a životní cyklus včely medonosné a čmeláka. Na tyto kapitoly navazuje popis nejznámějších nemocí, jako je například varoáza, hniloba včelího plodu či virus deformovaných křídel.

Hlavní cíl práce se soustředí především na pesticidy, které jsou člověkem využívány pro kontrolu škůdců a zajištění zemědělské úrody. Mnoho studií však prokázalo, že vedlejší účinky těchto chemických látek výrazně negativně ovlivňují životnost jedinců nejen v koloniích, ale také poškozují samotářsky žijící druhy. Aby se negativní vliv pesticidů projevilo, museli být jedinci těmto látkám vystaveni po delší dobu (chronická expozice). Chemické postřiky na opylovače nepůsobily tak, že by je ihned po aplikaci zahubily jako škodlivý hmyz, pro který byly primárně určeny. Včelám a čmelákům škodily jejich subletálními (ne-smrtebnými) účinky vedoucími až ke kolapsu kolonie či hromadnému vymírání způsobeného špatnou pamětí a schopností učení, poškozením imunity, zhoršením motoriky důležité pro pohyb a sběr potravy a zvýšením mortality larev i dospělců.

Kromě výše uvedených obav týkajících se toxicity jednotlivých neonikotinoidů je také málo známo o potenciální toxicitě kombinace různých neonikotinoidů v jedné oblasti či jejich metabolitů. Studie ukázaly, že metabolity neonikotinoidů mohou být stejně toxické jako mateřská sloučenina, takže rozklad nemusí znamenat sníženou toxicitu (Casida, 2011; Suchail et al., 2004). Neonikotinoidy se vyskytují ve složitě směsi spolu s jinými druhy stresorů v prostředí. Ošetřená semena neobsahují pouze neonikotinoidní insekticidy, ale mohou také obsahovat různé druhy fungicidů, herbicidů a regulátorů růstu rostlin. V životním prostředí se neonikotinoidy mohou vyskytovat společně s dalšími kontaminanty, jako jsou hnojiva, kovy a léčiva. Tyto vícenásobné stresory mohou působit aditivně, synergicky nebo antagonisticky. Hodnocení účinků chronické expozice necílových organismů složitým a měnícím se směsím chemických látek představuje pro vědce velkou výzvu (Sharma et al., 2015).

Vědeckých důkazů, pomáhajících rozhodovacím orgánům při zvažování přínosů používání neonikotinoidů a jejich nepříznivých účinků na necílové organismy, rychle přibývá, ale stále zůstává ve znalostech mnoho mezer. Budoucí výzkum by se měl zaměřit na uvážlivou, nikoliv plošnou aplikaci neonikotinoidů tak, aby se omezila rezistence škůdců a aby se snížily dopady na životní prostředí. V oblastech, kde se použití neonikotinoidů jeví jako nejlepší dostupná možnost, je zapotřebí minimalizace prašnosti strojů (šíření pesticidů v prachu), snížení povrchového odtoku a zjištění možnosti využití břehových porostů ke snížení kontaminace

vodních systémů. Dalším cílem by mělo být zkoumání, jak efektivně ochránit úrodu proti škůdcům bez využití jediného pesticidu.

Přírodní řešení nadměrného využívání synteticky vytvořených pesticidů jsou aktuálně jen velmi málo prozkoumaná, neboť i když se přírodní alternativy pesticidů osvědčily jako podobně efektivní, jejich nevýhodou je časová a finanční náročnost.

Tato bakalářská práce bude sloužit jako teoretický podklad k navazující diplomové práci, která bude zaměřena na konkrétní druh včely.

Seznam obrázků

Seznam obrázků

- OBRÁZEK 1: ČMELÁK SAJÍCÍ NEKTAR, FOTO: SKITTERPHOTO, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://PIXABAY.COM/CS/PHOTOS/VČELA-ČMELÁK-KVĚT-MAKRO-ZAHRADA-535247/](https://pixabay.com/cs/photos/vcela-čmelák-květ-makro-zahrada-535247/)
- OBRÁZEK 2: VČELA MEDONOSNÁ, FOTO: ERIK_KARITS, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://PIXABAY.COM/CS/PHOTOS/VČELA-HMYZ-OKŘÍDLENÝ-HMYZ-KŘÍDLA-6518669/](https://pixabay.com/cs/photos/vcela-hmyz-okřídlený-hmyz-křídla-6518669/)
- OBRÁZEK 3: ANATOMIE VČELY MEDONOSNÉ – POPIS, FOTO: IVČELAŘSTVÍ, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://WWW.IVCELARSTVI.CZ/CONTENT/FCK/IMAGES/PODSTRANKY/U-PRAVENE-OBRAZKY-PRO-SEO/ANATOMIE-VCELY-MEDONOSNE-POPIS.JPG](https://www.ivcelarstvi.cz/content/fck/images/podstranky/u-pravene-obrazky-pro-seo/anatomie-vcely-medonosne-popis.jpg)
- OBRÁZEK 4: ŽIVOTNÍ CYKLUS VČELY MEDONOSNÉ OD VAJÍČKA PO DOSPĚLÉHO JEDINCE (INSTAR ZNAMENÁ FÁZI MEZI KAŽDÝM SVLÉKNUTÍM), FOTO: HARISH SHARMA, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://WWW.RESEARCHGATE.NET/FIGURE/THE-HONEYBEE-LIFE-CYCLE-EGG-TO-ADULT-INSTAR-REFERS-TO-THE-STAGE-BETWEEN-EA](https://www.researchgate.net/figure/the-honeybee-life-cycle-egg-to-adult-instar-refers-to-the-stage-between-ea)
- OBRÁZEK 5: VAJÍČKA VČELY MEDONOSNÉ, FOTO: XISERGE, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://CDN.PIXABAY.COM/PHOTO/2020/08/13/15/15/BEE-5485502_960_720.JPG](https://cdn.pixabay.com/photo/2020/08/13/15/15/bee-5485502_960_720.jpg)
- OBRÁZEK 6: LARVA VČELY MEDONOSNÉ, FOTO: POLLYDOT, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://CDN.PIXABAY.COM/PHOTO/2014/04/12/17/39/HONEY-BEE-LARVAE-322532_960_720.JPG](https://cdn.pixabay.com/photo/2014/04/12/17/39/honey-bee-larvae-322532_960_720.jpg)
- OBRÁZEK 7: VÝVOJ KUKLY TRUBCE, FOTO: WAUGSBERG, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:DROHNENPUPPEN_81B.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drohnennpuppen_81b.jpg)
- OBRÁZEK 8: VARROA DESTRUCTOR, FOTO: USGS BEE INVENTORY AND MONITORING LAB, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:VARROA_DESTRUCTOR,_1_2019-09-06-19.12.07_ZS_PMAX_UDR_\(48697155713\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varroa_destructor,_1_2019-09-06-19.12.07_ZS_PMAX_UDR_(48697155713).jpg)
- OBRÁZEK 9: KLEŠTÍK VČELÍ NA LARVĚ VČELY MEDONOSNÉ, FOTO: KIKA DE LA GARZA SUBTROPICAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER WESLACO, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:VARROA_MITE_ON_PUPA.JPG#/MEDIA/FILE:VARROA_MITE_ON_PUPA.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Varroa_mite_on_pupa.jpg#/media/File:Varroa_mite_on_pupa.jpg)
- OBRÁZEK 10: VČELA POKRYTÁ KRYSTALY KYSELINY ŠŤAVĚLOVÉ, FOTO: CHAMBLIS, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:BEECRYSTALS.PNG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BeeCrystals.png)

- OBRÁZEK 11: LARVA NAPADENÁ MELISSOCOCCUS PLUTONIUS, FOTO: GEORGIA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://BUGWOODCLOUD.ORG/IMAGES/384X256/1590031.JPG](https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590031.jpg)
- OBRÁZEK 12: PŘÍZNAKY HNILOBY VČELÍHO PLODU (MELISSOCOCCUS PLUTONIUS), FOTO: GEORGIA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, DOSTUPNÉ Z: [HTTPS://BUGWOODCLOUD.ORG/IMAGES/384X256/1590030.JPG](https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590030.jpg)
- OBRÁZEK 13: VČELÍ LARVA NAPADENÁ MOREM VČELÍHO PLODU (PAENBACILLUS LARVAE), FOTO: GEORGIA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://BUGWOODCLOUD.ORG/IMAGES/384X256/1590024.JPG](https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590024.jpg)
- OBRÁZEK 14: VČELA MEDONOSNÁ INFIKOVANÁ VIREM DEFORMOVANÝCH KŘÍDEL, FOTO: STEFAN DE KONINK, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:HONEY_BEE_WITH_DEFORMED_WING_VIRUS_AND_VARROA_DESTRUCTOR.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Honey_bee_with_deformed_wing_virus_and_varroa_destructor.jpg)
- OBRÁZEK 15: LARVA VYKAZUJÍCÍ SYMPTOMY NÁKAZY VIREM PYTLÍČKOVITÉHO PLODU, FOTO: UNIVERSITY OF GEORGIA, DOSTUPNÉ Z:
[HTTP://AGRILIFE.ORG/TXAPIARYINSPECTION/FILES/2014/09/SACBROOD-GEORGIA.JPG](http://agrilife.org/txapiaryinspection/files/2014/09/sacbrood-georgia.jpg)
- OBRÁZEK 16: KŘÍDOVITÉ ZBYTKY PO LARVÁCH VYNESENÉ PŘED VSTUP DO ÚLU VČELÍMI OŠETŘOVATELKAMI, FOTO: JEFF PETTIS, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://COMMONS.WIKIMEDIA.ORG/WIKI/FILE:ASCOSPHAERA_APIS_\(MAASEN_EX_CLAUSSEN\)_L.S._OLIVE_%26_SPILTOIR_1324048.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ascospaera_apis_(Maasen_ex_Claussen)_L.S._olive_%26_Spiltoir_1324048.jpg)
- OBRÁZEK 17: ŽLUTÉ VÝMĚŠKY POKRÝVAJÍCÍ ÚL ZNAČÍCÍ PŘÍTOMNOST NOSEMA APIS, FOTO: GEORGIA DEPARTMENT OF AGRICULTURE, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://BUGWOODCLOUD.ORG/IMAGES/384X256/1590042.JPG](https://bugwoodcloud.org/images/384x256/1590042.jpg)
- OBRÁZEK 18: QUECHERS METODA, FOTO: JULIE KOWALSKI A JACK COCHRAN, DOSTUPNÉ Z:
[HTTPS://WWW.YUMPU.COM/EN/DOCUMENT/VIEW/26235659/QUECHERS-A-PRIMER-SEPARATION-SCIENCE](https://www.yumpu.com/en/document/view/26235659/quechers-a-primer-separation-science)
- A) HOMOGENIZOVANÝ VZOREK, B) PŘÍPRAVA POŽADOVANÉ HMOTNOSTI VZORKU, C) PŘIDÁNÍ ACETONITRILU A PROTŘEPÁNÍ, D) PŘIDÁNÍ EXTRAČNÍCH SOLÍ A PROTŘEPÁNÍ, E) VLOŽENÍ VZORKŮ DO CENTRIFUGY, F) ODEBRÁNÍ MALÉ ČÁSTI VZORKU A JEHO ČIŠTĚNÍ ZA POUŽITÍ ABSORBENTŮ, G) PROTŘEPÁNÍ VZORKU, H) VZOREK PŘIPRAVENÝ K ANALÝZE

Seznam použitých zdrojů

Knihy, publikace a odborné články

Macek J. et al. (2010): Blanokřídli České republiky I. – žahadloví. – Academia, 524 s., Praha

MICHENER, Ch. The bees of the world [online]. 2nd ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2007, updated 2007 [cited 07 March 2022]. Available from:

https://www.academia.edu/42735777/_Charles_D_Michener_The_Bees_of_the_World_BookZZ_org_. ISBN 13: 978-0-8018-8573-0.

Internetové a další zdroje

About Honey Bees | Types, races, and anatomy of honey bees. *University of Arkansas System Division of Agriculture Cooperative Extension Service* [online]. Copyright © [cit. 03.04.2022]. Dostupné z: <https://www.uaex.uada.edu/farm-ranch/special-programs/beekeeping/about-honey-bees.aspx>

ABRAHAM, John, Grace Senami BENHOTONS, Isaac KRAMPAH, Jehoshaphat TAGBA, Carlos AMISSAH a Janice Dwomoh ABRAHAM. Commercially formulated glyphosate can kill non-target pollinator bees under laboratory conditions. *Entomologia Experimentalis et Applicata* [online]. 2018, **166**(8), 695-702 [cit. 2022-07-06]. ISSN 00138703. Dostupné z: doi:10.1111/eea.12694

AKRE, Roger D., Laurel D. HANSEN a Richard S. ZACK. Insect Jewelry. *American Entomologist* [online]. 1991, **37**(2), 90-95 [cit. 2022-07-07]. ISSN 2155-9902. Dostupné z: doi:10.1093/ae/37.2.90

ALAUX, Cédric, Fabrice SAVARIT, Pierre JAISSON a Abraham HEFETZ. Does the queen win it all? Queen?worker conflict over male production in the bumblebee, *Bombus terrestris*. *Naturwissenschaften* [online]. 2004, **91**(8) [cit. 2022-07-05]. ISSN 0028-1042. Dostupné z: doi:10.1007/s00114-004-0547-3

ALFORD, Adam, Christian H. KRUPKE a Michael J. STOUT. Translocation of the neonicotinoid seed treatment clothianidin in maize. *PLOS ONE* [online]. 2017, **12**(3) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0173836

ALFORD, D. V. A Study of the Hibernation of Bumblebees (Hymenoptera: Bombidae) in Southern England. *The Journal of Animal Ecology* [online]. 1969, **38**(1) [cit. 2022-07-05]. ISSN 00218790. Dostupné z: doi:10.2307/2743

ALLEN, M.Delia. The honeybee queen and her attendants. *Animal Behaviour* [online]. 1960, **8**(3-4), 201-208 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00033472. Dostupné z: doi:10.1016/0003-3472(60)90028-2

ANASTASSIADES, Michelangelo, Steven J LEHOTAY, Darinka ŠTAJNBAHER a Frank J SCHENCK. Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* [online]. 2003, **86**(2), 412-431 [cit. 2022-06-29]. ISSN 1060-3271. Dostupné z: doi:10.1093/jaoac/86.2.412

ANSARI, Mohammad Javed, Ahmad AL-GHAMDI, Salma USMANI, Khalid Ali KHAN, Abdulaziz S. ALQARNI, Manpreet KAUR a Noori AL-WAILI. In vitro evaluation of the effects of some plant essential oils on *Ascosphaera apis*, the causative agent of Chalkbrood disease. *Saudi Journal of Biological Sciences* [online]. 2017, **24**(5), 1001-1006 [cit. 2022-06-27]. ISSN 1319562X. Dostupné z: doi:10.1016/j.sjbs.2016.04.016

ANTONIUS, Claudia. The Bee as a Symbol – A Short Journey through Western Art History. *Bee World* [online]. 2019, **96**(4), 124-128 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0005-772X. Dostupné z: doi:10.1080/0005772X.2019.1664008

ARONSTEIN, K.A. a K.D. MURRAY. Chalkbrood disease in honey bees. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2010, **103**, S20-S29 [cit. 2022-06-27]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2009.06.018

ARTZ, Derek R., Theresa L. PITTS-SINGER a Nicolas DESNEUX. Effects of Fungicide and Adjuvant Sprays on Nesting Behavior in Two Managed Solitary Bees, *Osmia lignaria* and *Megachile rotundata*. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(8) [cit. 2022-07-06]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0135688

AYALA, Ricardo, Victor H. GONZALEZ a Michael S. ENGEL. Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae). In: VIT, Patricia, Silvia R. M. PEDRO a David ROUBIK, ed. *Pot-Honey* [online]. New York, NY: Springer New York, 2013, 2013-11-19, s. 135-152 [cit. 2022-07-07]. ISBN 978-1-4614-4959-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4614-4960-7_9

BAFFONI, L., F. GAGGIÀ, D. ALBERONI, R. CABBRI, A. NANETTI, B. BIAVATI a D. DI GIOIA. Effect of dietary supplementation of *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* strains in *Apis mellifera* L. against *Nosema ceranae*. *Beneficial Microbes* [online]. 2016, **7**(1), 45-51 [cit. 2022-06-27]. ISSN 1876-2883. Dostupné z: doi:10.3920/BM2015.0085

BAILEY, L. a E. F. W. FERNANDO. Effects of sacbrood virus on adult honeybees. *Annals of Applied Biology* [online]. 1972, **72**(1), 27-35 [cit. 2022-06-26]. ISSN 0003-4746. Dostupné z: doi:10.1111/j.1744-7348.1972.tb01268.x

BAILEY, L., A.J. GIBBS a R.D. WOODS. Sacbrood virus of the larval honey bee (*Apis mellifera* Linnaeus). *Virology* [online]. 1964, **23**(3), 425-429 [cit. 2022-06-26]. ISSN 00426822. Dostupné z: doi:10.1016/0042-6822(64)90266-1

- BAJKO, Jaroslav. *Zákaz pesticidů škodlivých pro včely* [online]. 2018. Česká republika: Moderní včelař, 2018 [cit. 2022-07-13]. ISSN 978-80-907142-0-5. Dostupné z: <https://www.modernivcelar.eu/5723-zakaz-pesticidu-skodlivych-pro-vcely>
- BALBUENA, María Sol, Léa TISON, Marie-Luise HAHN, Uwe GREGGERS, Randolph MENZEL a Walter M. FARINA. Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation. *Journal of Experimental Biology* [online]. 2015, **218**(17), 2799-2805 [cit. 2022-07-06]. ISSN 1477-9145. Dostupné z: doi:10.1242/jeb.117291
- BARACCHI, David, Amélie CABIROL, Jean-Marc DEVAUD, Albrecht HAASE, Patrizia D'ETTORRE a Martin GIURFA. Pheromone components affect motivation and induce persistent modulation of associative learning and memory in honey bees. *Communications Biology* [online]. 2020, **3**(1) [cit. 2022-07-05]. ISSN 2399-3642. Dostupné z: doi:10.1038/s42003-020-01183-x
- BARON, Gemma L., Vincent A. A. JANSEN, Mark J. F. BROWN a Nigel E. RAINE. Pesticide reduces bumblebee colony initiation and increases probability of population extinction. *Nature Ecology & Evolution* [online]. 2017, **1**(9), 1308-1316 [cit. 2022-07-05]. ISSN 2397-334X. Dostupné z: doi:10.1038/s41559-017-0260-1
- Bee Brood (Basic Bee Biology for Beekeepers) – Bee Health. *Bee Health* [online]. Copyright © 2021 [cit. 11.04.2022]. Dostupné z: <https://bee-health.extension.org/bee-brood-basic-bee-biology-for-beekeepers/>
- BEE SWIKI.COM. Bumblebee Anatomy | Parts Of A Bumblebee. *BeesWiki.com* [online]. Velká Británie: BeesWiki.com, 2021 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://beeswiki.com/bumblebee-anatomy/>
- BELSKY, Joseph a Neelendra K. JOSHI. Effects of Fungicide and Herbicide Chemical Exposure on Apis and Non-Apis Bees in Agricultural Landscape. *Frontiers in Environmental Science* [online]. 2020, **8** [cit. 2022-07-07]. ISSN 2296-665X. Dostupné z: doi:10.3389/fenvs.2020.00081
- BENBROOK, Charles M. Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe* [online]. 2016, **28**(1) [cit. 2022-07-06]. ISSN 2190-4707. Dostupné z: doi:10.1186/s12302-016-0070-0
- BERNAUER, Olivia, Hannah GAINES-DAY a Shawn STEFFAN. Colonies of Bumble Bees (*Bombus impatiens*) Produce Fewer Workers, Less Bee Biomass, and Have Smaller Mother Queens Following Fungicide Exposure. *Insects* [online]. 2015, **6**(2), 478-488 [cit. 2022-07-07]. ISSN 2075-4450. Dostupné z: doi:10.3390/insects6020478
- BIDDINGER, David J., Jacqueline L. ROBERTSON, Chris MULLIN, et al. Comparative Toxicities and Synergism of Apple Orchard Pesticides to *Apis mellifera* (L.) and

Osmia cornifrons (Radoszkowski). *PLoS ONE* [online]. 2013, **8**(9) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0072587

BIESMEIJER, J. C., S. P. M. ROBERTS, M. REEMER, et al. Parallel Declines in Pollinators and Insect-Pollinated Plants in Britain and the Netherlands. *Science* [online]. 2006, **313**(5785), 351-354 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.1127863

Biologie včely medonosné - Odborné informace - Český svaz včelařů, z.s. - Základní organizace Dohalice. [online]. Copyright © 2004 [cit. 21.03.2022]. Dostupné z: <https://www.vcelaridohalice.cz/odborne-informace/biologie-včely-medonosne/>

BIOVÁ, Jana, Jean-Daniel CHARRIÈRE, Silvie DOSTÁLKOVÁ, Mária ŠKRABIŠOVÁ, Marek PETŘIVALSKÝ, Jaroslav BZDIL a Jiří DANIHLÍK. Melissococcus plutonius Can Be Effectively and Economically Detected Using Hive Debris and Conventional PCR. *Insects* [online]. 2021, **12**(2) [cit. 2022-06-25]. ISSN 2075-4450. Dostupné z: doi:10.3390/insects12020150

BODLÁKOVÁ, Karolina, Jan ČERNÝ, Helena ŠTĚRBOVÁ, Roman GURÁŇ, Ondřej ZÍTKA a Dalibor KODRÍK. Insect Body Defence Reactions against Bee Venom: Do Adipokinetic Hormones Play a Role?. *Toxins* [online]. 2022, **14**(1) [cit. 2022-04-04]. ISSN 2072-6651. Dostupné z: doi:10.3390/toxins14010011

BONMATIN, J. M., I. MOINEAU, R. CHARVET, M. E. COLIN, C. FLECHE a E. R. BENGSCHE. Behaviour of Imidacloprid in Fields. Toxicity for Honey Bees. In: LICHTFOUSE, Eric, Jan SCHWARZBAUER a Didier ROBERT, ed. *Environmental Chemistry* [online]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, s. 483-494 [cit. 2022-07-04]. ISBN 3-540-22860-8. Dostupné z: doi:10.1007/3-540-26531-7_44

BOTÍAS, Cristina, Arthur DAVID, Elizabeth M. HILL a Dave GOULSON. Contamination of wild plants near neonicotinoid seed-treated crops, and implications for non-target insects. *Science of The Total Environment* [online]. 2016, **566-567**, 269-278 [cit. 2022-07-04]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.05.065

BRAVO, J., V. CARBONELL, B. SEPÚLVEDA, C. DELPORTE, C.E. VALDOVINOS, R. MARTÍN-HERNÁNDEZ a M. HIGES. Antifungal activity of the essential oil obtained from *Cryptocarya alba* against infection in honey bees by *Nosema ceranae*. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2017, **149**, 141-147 [cit. 2022-06-27]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2017.08.012

BRITANNICA. Bumblebee. *Encyclopedia Britannica* [online]. Velká Británie: Encyclopædia Britannica, 2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/animal/bumblebee>

BRUTSCHER, Laura M., Boris BAER a Elina L. NIÑO. Putative Drone Copulation Factors Regulating Honey Bee (*Apis mellifera*) Queen Reproduction and Health: A Review. *Insects* [online]. 2019, **10**(1) [cit. 2022-04-11]. ISSN 2075-4450. Dostupné z: doi:10.3390/insects10010008

BUMBLEBEE. The bumblebee body. *Bumblebee.org* [online]. Velká Británie: Bumblebee, c1997–2020 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.bumblebee.org/body.htm>

BURNHAM, Andre J. Scientific Advances in Controlling *Nosema ceranae* (Microsporidia) Infections in Honey Bees (*Apis mellifera*). *Frontiers in Veterinary Science* [online]. 2019, **6** [cit. 2022-06-27]. ISSN 2297-1769. Dostupné z: doi:10.3389/fvets.2019.00079

BUZZABOUTBEES.NET. Do Bumble Bees Sting And Can they Sting More Than Once?. *Bees Are Amazing* [online]. USA: BuzzAboutBees.Net, c2010–2022 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.buzzaboutbees.net/do-bumble-bees-sting.html>

BUZZABOUTBEES.NET. Honey Bee Life Cycle. *BuzzAboutBees* [online]. USA: BuzzAboutBees, c2010–2022 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.buzzaboutbees.net/honey-bee-life-cycle.html>

CAMERON, Sydney A., Jeffrey D. LOZIER, James P. STRANGE, Jonathan B. KOCH, Nils CORDES, Leellen F. SOLTER a Terry L. GRISWOLD. Patterns of widespread decline in North American bumble bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2011, **108**(2), 662-667 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1014743108

CAMPBELL, Jacob B., Rachna NATH, Juergen GADAU, Trevor FOX, Gloria DEGRANDI-HOFFMAN a Jon F. HARRISON. The fungicide Pristine® inhibits mitochondrial function in vitro but not flight metabolic rates in honey bees. *Journal of Insect Physiology* [online]. 2016, **86**, 11-16 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00221910. Dostupné z: doi:10.1016/j.jinsphys.2015.12.003

CASIDA, John E. Neonicotinoid Metabolism: Compounds, Substituents, Pathways, Enzymes, Organisms, and Relevance. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2011, **59**(7), 2923-2931 [cit. 2022-07-05]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf102438c

CASTAGNINO, Guido Laércio Bragança, Ana MATEOS, Aránzazu MEANA, Lucia MONTEJO, Luis Vicente ZAMORANO ITURRALDE a Maria Teresa CUTULI DE SIMÓN. Etiology, symptoms and prevention of chalkbrood disease: a literature review. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal* [online]. 2020, **21** [cit. 2022-06-27]. ISSN 1519-9940. Dostupné z: doi:10.1590/s1519-9940210332020

- CIARLO, Timothy J., Christopher A. MULLIN, James L. FRAZIER, Daniel R. SCHMEHL a Guy SMAGGHE. Learning Impairment in Honey Bees Caused by Agricultural Spray Adjuvants. *PLoS ONE* [online]. 2012, **7**(7) [cit. 2022-07-06]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0040848
- COLWELL, Megan J., Geoffrey R. WILLIAMS, Rodger C. EVANS a Dave SHUTLER. Honey bee-collected pollen in agro-ecosystems reveals diet diversity, diet quality, and pesticide exposure. *Ecology and Evolution* [online]. 2017, **7**(18), 7243-7253 [cit. 2022-07-04]. ISSN 2045-7758. Dostupné z: doi:10.1002/ece3.3178
- COLWELL, Megan J., Geoffrey R. WILLIAMS, Rodger C. EVANS a Dave SHUTLER. Honey bee-collected pollen in agro-ecosystems reveals diet diversity, diet quality, and pesticide exposure. *Ecology and Evolution* [online]. 2017, **7**(18), 7243-7253 [cit. 2022-07-04]. ISSN 2045-7758. Dostupné z: doi:10.1002/ece3.3178
- CORNWALL, Warren. Common weed killer—believed harmless to animals—may be harming bees worldwide. *Science* [online]. 2018 [cit. 2022-07-06]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aav5169
- CRENNA, Eleonora, Olivier JOLLIET, Elena COLLINA, Serenella SALA a Peter FANTKE. Characterizing honey bee exposure and effects from pesticides for chemical prioritization and life cycle assessment. *Environment International* [online]. 2020, **138** [cit. 2022-04-29]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2020.105642
- CRESSEY, Daniel. Europe debates risk to bees. *Nature* [online]. 2013, **496**(7446), 408-408 [cit. 2022-06-29]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/496408a
- CRESSWELL, James E, François-Xavier L ROBERT, Hannah FLORANCE a Nicholas SMIRNOFF. Clearance of ingested neonicotinoid pesticide (imidacloprid) in honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus terrestris*). *Pest Management Science* [online]. 2014, **70**(2), 332-337 [cit. 2022-07-05]. ISSN 1526498X. Dostupné z: doi:10.1002/ps.3569
- CRESSWELL, James E., Christopher J. PAGE, Mehmet B. UYGUN, et al. Differential sensitivity of honey bees and bumble bees to a dietary insecticide (imidacloprid). *Zoology* [online]. 2012, **115**(6), 365-371 [cit. 2022-07-05]. ISSN 09442006. Dostupné z: doi:10.1016/j.zool.2012.05.003
- CRITTENDEN, Alyssa N. The Importance of Honey Consumption in Human Evolution. *Food and Foodways* [online]. 2011, **19**(4), 257-273 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0740-9710. Dostupné z: doi:10.1080/07409710.2011.630618
- CULLEN, Merissa G., Linzi J. THOMPSON, James C. CAROLAN, Jane C. STOUT, Dara A. STANLEY a James C. NIEH. Fungicides, herbicides and bees: A systematic review of

existing research and methods. *PLOS ONE* [online]. 2019, **14**(12) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0225743

DAI, Pingli, Cameron J. JACK, Ashley N. MORTENSEN, Jeffrey R. BLOOMQUIST a James D. ELLIS. The impacts of chlorothalonil and diflubenzuron on *Apis mellifera* L. larvae reared in vitro. *Ecotoxicology and Environmental Safety*[online]. 2018, **164**, 283-288 [cit. 2022-07-07]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2018.08.039

DAVID, Arthur, Cristina BOTÍAS, Alaa ABDUL-SADA, Elizabeth NICHOLLS, Ellen L. ROTHERAY, Elizabeth M. HILL a Dave GOULSON. Widespread contamination of wildflower and bee-collected pollen with complex mixtures of neonicotinoids and fungicides commonly applied to crops. *Environment International* [online]. 2016, **88**, 169-178 [cit. 2022-07-07]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2015.12.011

DE GRAAF, Dirk C, Adriana M ALIPPI, Karina ANTÚNEZ, et al. Standard methods for American foulbrood research. *Journal of Apicultural Research* [online]. 2015, **52**(1), 1-28 [cit. 2022-06-25]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.3896/IBRA.152.1.11

DE MIRANDA, Joachim R. a Elke GENERSCH. Deformed wing virus. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2010, **103**, S48-S61 [cit. 2022-06-26]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2009.06.012

DE PERRE, Chloé, Tracye M. MURPHY a Michael J. LYDY. Fate and effects of clothianidin in fields using conservation practices. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 2015, **34**(2), 258-265 [cit. 2022-07-04]. ISSN 07307268. Dostupné z: doi:10.1002/etc.2800

DEGRANDI-HOFFMAN, Gloria, Yanping CHEN, Emily WATKINS DEJONG, Mona L. CHAMBERS a Geoffrey HIDALGO. Effects of Oral Exposure to Fungicides on Honey Bee Nutrition and Virus Levels. *Journal of Economic Entomology*[online]. 2015, **108**(6), 2518-2528 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0022-0493. Dostupné z: doi:10.1093/jee/tov251

DEMERA, Jason H. a Esther R. ANGERT. Comparison of the antimicrobial activity of honey produced by *Tetragonisca angustula* (Meliponinae) and *Apis mellifera* from different phytogeographic regions of Costa Rica. *Apidologie* [online]. 2004, **35**(4), 411-417 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido:2004033

DENG, Yanchun, Hongxia ZHAO, Shuo SHEN, Sa YANG, Dahe YANG, Shuai DENG a Chunsheng HOU. Identification of Immune Response to Sacbrood Virus Infection in *Apis cerana* Under Natural Condition. *Frontiers in Genetics* [online]. 2020, **11** [cit. 2022-06-26]. ISSN 1664-8021. Dostupné z: doi:10.3389/fgene.2020.587509

DESNEUX, Nicolas, Axel DECOURTYE a Jean-Marie DELPUECH. The Sublethal Effects of Pesticides on Beneficial Arthropods. *Annual Review of Entomology* [online]. 2007, **52**(1), 81-106 [cit. 2022-06-29]. ISSN 0066-4170. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.ento.52.110405.091440

DIÁNEZ, F., M. SANTOS, R. BLANCO a J. C. TELLO. Fungicide resistance in *Botrytis cinerea* isolates from strawberry crops in Huelva (southwestern Spain). *Phytoparasitica* [online]. 2002, **30**(5), 529-534 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0334-2123. Dostupné z: doi:10.1007/BF02979759

DICKS, Lynn V., Tom D. BREEZE, Hien T. NGO, et al. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nature Ecology & Evolution* [online]. 2021, **5**(10), 1453-1461 [cit. 2022-03-26]. ISSN 2397-334X. Dostupné z: doi:10.1038/s41559-021-01534-9

DOMINGUES, Caio E.C., Fábio Camargo ABDALLA, Paulo José BALSAMO, Beatriz V.R. PEREIRA, Moema de Alencar HAUSEN, Monica Jones COSTA a Elaine C.M. SILVA-ZACARIN. Thiamethoxam and picoxystrobin reduce the survival and overload the hepato-nephrotoxic system of the Africanized honeybee. *Chemosphere* [online]. 2017, **186**, 994-1005 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2017.07.133

EBELING, Julia, Henriette KNISPEL, Gillian HERTLEIN, Anne FÜNFHAUS a Elke GENERSCH. Biology of *Paenibacillus* larvae, a deadly pathogen of honey bee larvae. *Applied Microbiology and Biotechnology* [online]. 2016, **100**(17), 7387-7395 [cit. 2022-06-25]. ISSN 0175-7598. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-016-7716-0

EDLUND, Thomas D., Jing LI, Govinda S. VISVESVARA, Michael H. VODKIN, Gerald L. MCLAUGHLIN a Santosh K. KATIYAR. Phylogenetic Analysis of β -Tubulin Sequences from Mitochondrial Protozoa. *Molecular Phylogenetics and Evolution* [online]. 1996, **5**(2), 359-367 [cit. 2022-06-27]. ISSN 10557903. Dostupné z: doi:10.1006/mpev.1996.0031

EL KHOURY, Sarah, Andrée ROUSSEAU, Alexandre LECOEUR, et al. Deleterious Interaction Between Honeybees (*Apis mellifera*) and its Microsporidian Intracellular Parasite *Nosema ceranae* Was Mitigated by Administering Either Endogenous or Allochthonous Gut Microbiota Strains. *Frontiers in Ecology and Evolution* [online]. 2018, **6** [cit. 2022-06-27]. ISSN 2296-701X. Dostupné z: doi:10.3389/fevo.2018.00058

EROĞLU, Özgür. HISTORICAL DEVELOPMENT AND CURRENT STATUS OF BEEKEEPING IN TURKEY AND THE WORLD. *ATLAS JOURNAL* [online]. 2020, **6**(27), 345-354 [cit. 2022-04-22]. ISSN 2619-936X. Dostupné z: doi:10.31568/atlas.433

FAUSER, ALINE, CHRISTOPH SANDROCK, PETER NEUMANN a BEN M. SADD. Neonicotinoids override a parasite exposure impact on hibernation success of a key

bumblebee pollinator. *Ecological Entomology* [online]. 2017, **42**(3), 306-314 [cit. 2022-07-05]. ISSN 03076946. Dostupné z: doi:10.1111/een.12385

FAVARO, Riccardo, Jacob ROVED, Albrecht HAASE a Sergio ANGELI. Impact of Chronic Exposure to Two Neonicotinoids on Honey Bee Antennal Responses to Flower Volatiles and Pheromonal Compounds. *Frontiers in Insect Science* [online]. 2022, **2** [cit. 2022-07-05]. ISSN 2673-8600. Dostupné z: doi:10.3389/finsc.2022.821145

FAVARO, Riccardo, Lisbeth Marie BAUER, Michele ROSSI, Luca D'AMBROSIO, Edith BUCHER a Sergio ANGELI. Botanical Origin of Pesticide Residues in Pollen Loads Collected by Honeybees During and After Apple Bloom. *Frontiers in Physiology* [online]. 2019, **10** [cit. 2022-07-07]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi:10.3389/fphys.2019.01069

FERRARI, S., M. SILVA, M. GUARINO a D. BERCKMANS. Monitoring of swarming sounds in bee hives for early detection of the swarming period. *Computers and Electronics in Agriculture* [online]. 2008, **64**(1), 72-77 [cit. 2022-07-07]. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2008.05.010

FISHER, Adrian, Chet COLEMAN, Clint HOFFMANN, Brad FRITZ a Juliana RANGEL. The Synergistic Effects of Almond Protection Fungicides on Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Forager Survival. *Journal of Economic Entomology* [online]. 2017, **110**(3), 802-808 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0022-0493. Dostupné z: doi:10.1093/jee/tox031

FISHER, Adrian, Juliana RANGEL a Nicolas DESNEUX. Exposure to pesticides during development negatively affects honey bee (*Apis mellifera*) drone sperm viability. *PLOS ONE* [online]. 2018, **13**(12) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0208630

FISCHER, Johannes, Teresa MÜLLER, Anne-Kathrin SPATZ, Uwe GREGGERS, Bernd GRÜNEWALD, Randolf MENZEL a Dhruva NAUG. Neonicotinoids Interfere with Specific Components of Navigation in Honeybees. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(3) [cit. 2022-07-05]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0091364

FRIES, Ingemar, Marie-Pierre CHAUZAT, Yan-Ping CHEN, et al. Standard methods for *Nosema* research. *Journal of Apicultural Research* [online]. 2015, **52**(1), 1-28 [cit. 2022-06-27]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.3896/IBRA.1.52.1.14

GALAJDA, Richard, Alexandra VALENČÁKOVÁ, Monika SUČIK a Petra KANDRÁČOVÁ. *Nosema* Disease of European Honey Bees. *Journal of Fungi* [online]. 2021, **7**(9) [cit. 2022-06-27]. ISSN 2309-608X. Dostupné z: doi:10.3390/jof7090714

GALLAI, Nicola, Jean-Michel SALLES, Josef SETTELE a Bernard E. VAISSIÈRE. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with

pollinator decline. *Ecological Economics* [online]. 2009, **68**(3), 810-821 [cit. 2022-06-29]. ISSN 09218009. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolecon.2008.06.014

GARCÍA-VALCÁRCEL, Ana Isabel, Maria Teresa MARTÍNEZ-FERRER, José Miguel CAMPOS-RIVELA a Maria Dolores HERNANDO GUIL. Analysis of pesticide residues in honeybee (*Apis mellifera* L.) and in corbicular pollen. Exposure in citrus orchard with an integrated pest management system. *Talanta* [online]. 2019, **204**, 153-162 [cit. 2022-06-29]. ISSN 00399140. Dostupné z: doi:10.1016/j.talanta.2019.05.106

GENTY, Emilie, Thomas BREUER, Catherine HOBATER a Richard W. BYRNE. Gestural communication of the gorilla (*Gorilla gorilla*): repertoire, intentionality and possible origins. *Animal Cognition* [online]. 2009, **12**(3), 527-546 [cit. 2022-07-07]. ISSN 1435-9448. Dostupné z: doi:10.1007/s10071-009-0213-4

GHISBAIN, Guillaume. Are Bumblebees Relevant Models for Understanding Wild Bee Decline?. *Frontiers in Conservation Science* [online]. 2021, **2** [cit. 2022-04-10]. ISSN 2673-611X. Dostupné z: doi:10.3389/fcosc.2021.752213

GILL, Richard J., Oscar RAMOS-RODRIGUEZ a Nigel E. RAINE. Combined pesticide exposure severely affects individual- and colony-level traits in bees. *Nature* [online]. 2012, **491**(7422), 105-108 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature11585

GIORIO, Chiara, Anton SAFER, Francisco SÁNCHEZ-BAYO, Andrea TAPPARO, Andrea LENTOLA, Vincenzo GIROLAMI, Maarten Bijleveld VAN LEXMOND a Jean-Marc BONMATIN. An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 1: new molecules, metabolism, fate, and transport. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2021, **28**(10), 11716-11748 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-017-0394-3

GLAVINIC, Uros, Tanja TESOVNIK, Jevrosima STEVANOVIC, Minja ZORC, Ivanka CIZELJ, Zoran STANIMIROVIC a Mojca NARAT. Response of adult honey bees treated in larval stage with prochloraz to infection with *Nosema ceranae*. *PeerJ* [online]. 2019, **7** [cit. 2022-07-07]. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.6325

GONZÁLEZ-CURBELO, M.Á., B. SOCAS-RODRÍGUEZ, A.V. HERRERA-HERRERA, J. GONZÁLEZ-SÁLAMO, J. HERNÁNDEZ-BORGES a M.Á. RODRÍGUEZ-DELGADO. Evolution and applications of the QuEChERS method. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* [online]. 2015, **71**, 169-185 [cit. 2022-06-29]. ISSN 01659936. Dostupné z: doi:10.1016/j.trac.2015.04.012

GOULSON, Dave a David KLEIJN. REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology* [online]. 2013, **50**(4), 977-987 [cit. 2022-07-04]. ISSN 00218901. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2664.12111

GRIMALT, Susana a Pieter DEHOUCK. Review of analytical methods for the determination of pesticide residues in grapes. *Journal of Chromatography A* [online]. 2016, **1433**, 1-23 [cit. 2022-06-29]. ISSN 00219673. Dostupné z: doi:10.1016/j.chroma.2015.12.076

GUZMÁN-NOVOA, Ernesto, Leslie ECCLES, Yireli CALVETE, Janine MCGOWAN, Paul G. KELLY a Adriana CORREA-BENÍTEZ. Varroa destructor is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. *Apidologie* [online]. 2010, **41**(4), 443-450 [cit. 2022-06-10]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido/2009076

HANDLEY, John. *Pesticides - A brief history and analysis* [online]. 2019. 2019 [cit. 2022-04-29]. ISSN 1751-2646. Dostupné z: <https://www.pitchcare.com/news-media/pesticides-a-brief-history-and-analysis.html>

HENRY, Mickaël, Maxime BÉGUIN, Fabrice REQUIER, et al. A Common Pesticide Decreases Foraging Success and Survival in Honey Bees. *Science* [online]. 2012, **336**(6079), 348-350 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.1215039

HERMANN, Henry R. Social Nonprimate Animals. *Dominance and Aggression in Humans and Other Animals* [online]. Elsevier, 2017, 2017, s. 63-73 [cit. 2022-04-17]. ISBN 9780128053720. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-805372-0.00004-3

HIGES, Mariano, Raquel MARTÍN-HERNÁNDEZ, Cristina BOTÍAS, et al. How natural infection by *Nosema ceranae* causes honeybee colony collapse. *Environmental Microbiology* [online]. 2008, **10**(10), 2659-2669 [cit. 2022-06-27]. ISSN 14622912. Dostupné z: doi:10.1111/j.1462-2920.2008.01687.x

HINES, Heather M., Paige WITKOWSKI, Joseph S. WILSON, Kazumasa WAKAMATSU a Matthew SHAWKEY. Melanic variation underlies aposematic color variation in two hymenopteran mimicry systems. *PLOS ONE* [online]. 2017, **12**(7) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0182135

HLADIK, Michelle L. a Dana W. KOLPIN. First national-scale reconnaissance of neonicotinoid insecticides in streams across the USA. *Environmental Chemistry* [online]. 2016, **13**(1) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1448-2517. Dostupné z: doi:10.1071/EN15061

HLADIK, Michelle L., Anson R. MAIN a Dave GOULSON. Environmental Risks and Challenges Associated with Neonicotinoid Insecticides. *Environmental Science & Technology* [online]. 2018, **52**(6), 3329-3335 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0013-936X. Dostupné z: doi:10.1021/acs.est.7b06388

HLADIK, Michelle L., Dana W. KOLPIN a Kathryn M. KUIVILA. Widespread occurrence of neonicotinoid insecticides in streams in a high corn and soybean

producing region, USA. *Environmental Pollution* [online]. 2014, **193**, 189-196 [cit. 2022-07-04]. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2014.06.033

Honey Bee Anatomy - Honey Bee Research Centre. *Home - Honey Bee Research Centre* [online]. Dostupné z: <https://hbrc.ca/honey-bee-anatomy/>

How do Bees Reproduce? - Carolina Honeybees. *Carolina Honeybees* [online]. Copyright © 2022 Carolina Honeybees, LLC [cit. 03.04.2022]. Dostupné z: <https://carolinahoneybees.com/how-do-bees-reproduce/>

HUSETH, Anders S., Russell L. GROVES a Christopher J. SALICE. Environmental Fate of Soil Applied Neonicotinoid Insecticides in an Irrigated Potato Agroecosystem. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(5) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0097081

CHARRETON, Mercédès, Axel DECOURTYE, Mickaël HENRY, Guy RODET, Jean-Christophe SANDOZ, Pierre CHARNET, Claude COLLET a James C. NIEH. A Locomotor Deficit Induced by Sublethal Doses of Pyrethroid and Neonicotinoid Insecticides in the Honeybee *Apis mellifera*. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(12) [cit. 2022-07-05]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0144879

CHEN, Yanping. Viruses and Viral Diseases of the Honey Bee, *Apis mellifera*. LIU, Tongxian a Le KANG, ed. *Recent Advances in Entomological Research* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, 2011, s. 105-120 [cit. 2022-06-26]. ISBN 978-3-642-17814-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-17815-3_6

CHITRAMPALAM, P., B. M. WU, S. T. KOIKE a K. V. SUBBARAO. Interactions Between *Coniothyrium minitans* and *Sclerotinia minor* Affect Biocontrol Efficacy of *C. minitans*. *Phytopathology*® [online]. 2011, **101**(3), 358-366 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0031-949X. Dostupné z: doi:10.1094/PHYTO-06-10-0170

CHMIEL, John A., Brendan A. DAISLEY, Andrew P. PITEK, Graham J. THOMPSON a Gregor REID. Understanding the Effects of Sublethal Pesticide Exposure on Honey Bees: A Role for Probiotics as Mediátor of Environmental Stress. *Frontiers in Ecology and Evolution* [online]. 2020, **8** [cit. 2022-04-28]. ISSN 2296-701X. Dostupné z: doi:10.3389/fevo.2020.00022

CHONG, Calvin. Experiences with Weed Discs and Other Nonchemical Alternatives for Container Weed Control. *HortTechnology* [online]. 2003, **13**(1), 23-27 [cit. 2022-07-06]. ISSN 1063-0198. Dostupné z: doi:10.21273/HORTTECH.13.1.0023

IORIZZO, Massimo, Bruno TESTA, Silvia Jane LOMBARDI, et al. Antimicrobial Activity against *Paenibacillus* larvae and Functional Properties of *Lactiplantibacillus plantarum* Strains: Potential Benefits for Honeybee Health. *Antibiotics* [online]. 2020, **9**(8) [cit. 2022-06-25]. ISSN 2079-6382. Dostupné z: doi:10.3390/antibiotics9080442

IWASA, Takao, Naoki MOTOYAMA, John T. AMBROSE a R. Michael ROE. Mechanism for the differential toxicity of neonicotinoid insecticides in the honey bee, *Apis mellifera*. *Crop Protection* [online]. 2004, **23**(5), 371-378 [cit. 2022-07-07]. ISSN 02612194. Dostupné z: doi:10.1016/j.cropro.2003.08.018

JENSEN, Annette Bruun, Kathrine ARONSTEIN, José Manuel FLORES, Svjetlana VOJVODIC, María Alejandra PALACIO a Marla SPIVAK. Standard methods for fungal brood disease research. *Journal of Apicultural Research* [online]. 2015, **52**(1), 1-20 [cit. 2022-06-27]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.3896/IBRA.1.52.1.13

JESS, Stephen, David MATTHEWS, Archie MURCHIE a Michael LAVERY. Pesticide Use in Northern Ireland's Arable Crops from 1992–2016 and Implications for Future Policy Development. *Agriculture* [online]. 2018, **8**(8) [cit. 2022-07-07]. ISSN 2077-0472. Dostupné z: doi:10.3390/agriculture8080123

JINDRA, Jan. *Anatomie včely* [online]. Copyright © 2016 [cit. 2022-03-07] Dostupné z: http://www.jivcela.sweb.cz/soubory/vcely2.html?fbclid=IwAR2A1zU5tl3r-iOAe2fPzflQgsKMD5aT_5wa_580KERZA_6SoW-P9EKemig#_Toc504209543

JOHNSON, Reed M. Honey Bee Toxicology. *Annual Review of Entomology* [online]. 2015, **60**(1), 415-434 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0066-4170. Dostupné z: doi:10.1146/annurev-ento-011613-162005

KANE, Terry Ryan a Cynthia M. FAUX. *Honey Bee Medicine for the Veterinary Practitioner* [online]. Hoboken, NJ: Wiley, 2021 [cit. 2022-06-25]. ISBN 9781119583370. Dostupné z: doi:10.1002/9781119583417

KASHYAP, Dipti, Harshita PANDEY, Kamal JAISWAL a Suman MISHRA. Fungal Diseases of Honey Bees: Current Status and Future Perspective. GUPTA, Arti a Nagendra Pratap SINGH, ed. *Recent Developments in Fungal Diseases of Laboratory Animals* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2019, 2019-06-29, s. 7-27 [cit. 2022-06-27]. Fungal Biology. ISBN 978-3-030-18585-5. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-030-18586-2_2

KEVILL, J. L., K. C. STAINTON, D. C. SCHROEDER a S. J. MARTIN. Deformed wing virus variant shift from 2010 to 2016 in managed and feral UK honey bee colonies. *Archives of Virology* [online]. 2021, **166**(10), 2693-2702 [cit. 2022-06-26]. ISSN 0304-8608. Dostupné z: doi:10.1007/s00705-021-05162-3

KIM, Kyung Hwa, Seung Young LEE, Jaekwon SHIN, Jae-Taeg HWANG, Hat Nim JEON a Hyunsu BAE. Dose-Dependent Neuroprotective Effect of Standardized Bee Venom Phospholipase A2 Against MPTP-Induced Parkinson's Disease in Mice. *Frontiers in Aging Neuroscience* [online]. 2019, **11** [cit. 2022-07-07]. ISSN 1663-4365. Dostupné z: doi:10.3389/fnagi.2019.00080

KIM, Leesun, Danbi LEE, Hye-Kyung CHO a Sung-Deuk CHOI. Review of the QuEChERS method for the analysis of organic pollutants: Persistent organic pollutants, polycyclic aromatic hydrocarbons, and pharmaceuticals. *Trends in Environmental Analytical Chemistry* [online]. 2019, **22** [cit. 2022-06-29]. ISSN 22141588. Dostupné z: doi:10.1016/j.teac.2019.e00063

KLEIN, Alexandra-Maria, Bernard E VAISSIÈRE, James H CANE, Ingolf STEFFAN-DEWENTER, Saul A CUNNINGHAM, Claire KREMEN a Teja TSCHARNTKE. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2007, **274**(1608), 303-313 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0962-8452. Dostupné z: doi:10.1098/rspb.2006.3721

KOZIY, Roman V., Sarah C. WOOD, Ivanna V. KOZII, Claire Janse VAN RENSBURG, Igor MOSHYNSKYI, Ihor DVYLYUK a Elemir SIMKO. Deformed Wing Virus Infection in Honey Bees (*Apis mellifera* L.). *Veterinary Pathology* [online]. 2019, **56**(4), 636-641 [cit. 2022-06-26]. ISSN 0300-9858. Dostupné z: doi:10.1177/0300985819834617

KRUPKE, Christian H., Greg J. HUNT, Brian D. EITZER, Gladys ANDINO, Krispn GIVEN a Guy SMAGGHE. Multiple Routes of Pesticide Exposure for Honey Bees Living Near Agricultural Fields. *PLoS ONE* [online]. 2012, **7**(1) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0029268

LADURNER, E., J. BOSCH, W. P. KEMP a S. MAINI. Foraging and Nesting Behavior of *Osmia lignaria*/I (Hymenoptera: Megachilidae) in the Presence of Fungicides. *Journal of Economic Entomology* [online]. 2008, **101**(3), 647-653 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00220493. Dostupné z: doi:10.1603/0022-0493(2008)101[647:FANBOO]2.0.CO;2

LADURNER, Edith, Jordi BOSCH, William P. KEMP a Stefano MAINI. Assessing delayed and acute toxicity of five formulated fungicides to *Osmia lignaria* Say and *Apis mellifera*. *Apidologie* [online]. 2005, **36**(3), 449-460 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido:2005032

LAMERS, Marc, Maria ANYUSHEVA, Nguyen LA, Van Vien NGUYEN a Thilo STRECK. Pesticide Pollution in Surface- and Groundwater by Paddy Rice Cultivation: A Case Study from Northern Vietnam. *CLEAN - Soil, Air, Water* [online]. 2011, **39**(4), 356-361 [cit. 2022-07-04]. ISSN 18630650. Dostupné z: doi:10.1002/clen.201000268

LAYCOCK, Ian, Katie C. COTTERELL, Thomas A. O'SHEA-WHELLER a James E. CRESSWELL. Effects of the neonicotinoid pesticide thiamethoxam at field-realistic levels on microcolonies of *Bombus terrestris* worker bumble bees. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. 2014, **100**, 153-158 [cit. 2022-07-05]. ISSN 01476513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2013.10.027

LEHOTAY, Steven J., Kyung Ae SON, Hyeyoung KWON, Urairat KOESUKWIWAT, Wusheng FU, Katerina MASTOVSKA, Eunha HOH a Natchanun LEEPIPATPIBOON.

Comparison of QuEChERS sample preparation methods for the analysis of pesticide residues in fruits and vegetables. *Journal of Chromatography A* [online]. 2010, **1217**(16), 2548-2560 [cit. 2022-06-30]. ISSN 00219673. Dostupné z: doi:10.1016/j.chroma.2010.01.044

LEWKOWSKI, Oleg a Silvio ERLER. Virulence of *Melissococcus plutonius* and secondary invaders associated with European foulbrood disease of the honey bee. *MicrobiologyOpen* [online]. 2018, **8**(3) [cit. 2022-06-25]. ISSN 2045-8827. Dostupné z: doi:10.1002/mbo3.649

LI, Jianghong, Tingyun WANG, Jay EVANS, et al. The Phylogeny and Pathogenesis of Sacbrood Virus (SBV) Infection in European Honey Bees, *Apis mellifera*. *Viruses* [online]. 2019, **11**(1) [cit. 2022-06-26]. ISSN 1999-4915. Dostupné z: doi:10.3390/v11010061

LLORENTE, Jesús. Bee's internal anatomy. *Foundation Amigos de las Abejas* [online]. Španělsko: Fundación Amigos de las Abejas, © 2008-2021 [cit. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.abejas.org/en/bees-internal-anatomy/>

LOCKE, Barbara, Emilia SEMBERG, Eva FORSGREN, Joachim R. DE MIRANDA a Stephen J. MARTIN. Persistence of subclinical deformed wing virus infections in honeybees following Varroa mite removal and a bee population turnover. *PLOS ONE* [online]. 2017, **12**(7) [cit. 2022-06-26]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0180910

LONG, Elizabeth Y. a Christian H. KRUPKE. Non-cultivated plants present a season-long route of pesticide exposure for honey bees. *Nature Communications* [online]. 2016, **7**(1) [cit. 2022-07-07]. ISSN 2041-1723. Dostupné z: doi:10.1038/ncomms11629

LUNDIN, Ola, Maj RUNDLÖF, Henrik G. SMITH, Ingemar FRIES, Riccardo BOMMARCO a Nigel E. RAINÉ. Neonicotinoid Insecticides and Their Impacts on Bees: A Systematic Review of Research Approaches and Identification of Knowledge Gaps. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(8) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0136928

LUO, Qi-Hua, Jing GAO, Yi GUO, et al. Effects of a commercially formulated glyphosate solutions at recommended concentrations on honeybee (*Apis mellifera* L.) behaviours. *Scientific Reports* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2022-07-06]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-020-80445-4

MA, R, G VILLAR, C M GROZINGER a J RANGEL. Larval pheromones act as colony-wide regulators of collective foraging behavior in honeybees. *Behavioral Ecology* [online]. 2018, **29**(5), 1132-1141 [cit. 2022-07-05]. ISSN 1045-2249. Dostupné z: doi:10.1093/beheco/ary090

MAIN, Anson R., John V. HEADLEY, Kerry M. PERU, Nicole L. MICHEL, Allan J. CESSNA, Christy A. MORRISSEY a Christopher Joseph SALICE. Widespread Use and Frequent Detection of Neonicotinoid Insecticides in Wetlands of Canada's Prairie Pothole Region. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(3) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0092821

MAIN, Anson R., Nicole L. MICHEL, Michael C. CAVALLARO, John V. HEADLEY, Kerry M. PERU a Christy A. MORRISSEY. Snowmelt transport of neonicotinoid insecticides to Canadian Prairie wetlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 2016, **215**, 76-84 [cit. 2022-07-04]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2015.09.011

MALUF, R.V. a Juliano C.S. NEVES. Bumblebee field as a source of cosmological anisotropies. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*[online]. 2021, **2021**(10) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1475-7516. Dostupné z: doi:10.1088/1475-7516/2021/10/038

MARÍN, Antonio, José OLIVA, Carlos GARCIA, Simón NAVARRO a Alberto BARBA. Dissipation Rates of Cyprodinil and Fludioxonil in Lettuce and Table Grape in the Field and under Cold Storage Conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [online]. 2003, **51**(16), 4708-4711 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0021-8561. Dostupné z: doi:10.1021/jf021222e

MARTÍNEZ-ROMERO, Domingo, Maria SERRANO, Gloria BAILÉN, et al. The use of a natural fungicide as an alternative to preharvest synthetic fungicide treatments to control lettuce deterioration during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* [online]. 2008, **47**(1), 54-60 [cit. 2022-07-07]. ISSN 09255214. Dostupné z: doi:10.1016/j.postharvbio.2007.05.020

MCART, Scott H., Christine URBANOWICZ, Shaun MCCOSHUM, Rebecca E. IRWIN a Lynn S. ADLER. Landscape predictors of pathogen prevalence and range contractions in US bumblebees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2017, **284**(1867) [cit. 2022-07-07]. ISSN 0962-8452. Dostupné z: doi:10.1098/rspb.2017.2181

Mechanics of Honey Bee Mating. *Orkin Termite Treatment, Pest Control & Exterminator Service* [online]. Copyright © 2022 Orkin LLC [cit. 11.04.2022]. Dostupné z: <https://www.orkin.com/pests/stinging-pests/bees/honey-bees/mechanics-of-honey-bee-mating>

MERCER, Nathan H, Nicholas M TEETS, Ricardo T BESSIN, John J OBRYCKI a Matthew GINZEL. Supplemental Foods Affect Energetic Reserves, Survival, and Spring Reproduction in Overwintering Adult *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environmental Entomology* [online]. 2020, **49**(1), 1-9 [cit. 2022-07-05]. ISSN 0046-225X. Dostupné z: doi:10.1093/ee/nvz137

METCALF, R L. Changing Role of Insecticides in Crop Protection. *Annual Review of Entomology* [online]. 1980, **25**(1), 219-256 [cit. 2022-04-29]. ISSN 0066-4170. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.en.25.010180.001251

MILBRATH, Meghan O'Grady, Peter Daniel FOWLER, Samuel K ABBAN, Dawn LOPEZ, Jay D EVANS a Margarita M LOPEZ-URIBE. Validation of Diagnostic Methods for European Foulbrood on Commercial Honey Bee Colonies in the United States. *Journal of Insect Science* [online]. 2021, **21**(6) [cit. 2022-06-25]. ISSN 1536-2442. Dostupné z: doi:10.1093/jisesa/ieab075

MITCHELL, E. A. D., B. MULHAUSER, M. MULOT, A. MUTABAZI, G. GLAUSER a A. AEBI. A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science* [online]. 2017, **358**(6359), 109-111 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aan3684

MOTTA, Erick V. S., Kasie RAYMANN a Nancy A. MORAN. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2018, **115**(41), 10305-10310 [cit. 2022-07-12]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1803880115

NOEL, Grégoire, Julie BONNET, Sylvain EVERAERTS, et al. Distribution of wild bee (Hymenoptera: Anthophila) and hoverfly (Diptera. *Biodiversity Data Journal* [online]. 2021, **9** [cit. 2022-04-10]. ISSN 1314-2828. Dostupné z: doi:10.3897/BDJ.9.e60665

NUNNEY, L. Pupal period and adult size in *Drosophila melanogaster*: a cautionary tale of contrasting correlations between two sexually dimorphic traits. *Journal of Evolutionary Biology* [online]. 2007, **20**(1), 141-151 [cit. 2022-07-07]. ISSN 1010-061X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1420-9101.2006.01214.x

OJAGHIAN, Seyedmohammadreza, Ling WANG, Jing-Ze ZHANG a Guan-Lin XIE. Inhibitory effect of Fungastop and Bion against carrot soft rot caused by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Phytoparasitica* [online]. 2020, **48**(1), 95-106 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0334-2123. Dostupné z: doi:10.1007/s12600-019-00780-9

OLDROYD, BENJAMIN P. Domestication of honey bees was associated with expansion of genetic diversity. *Molecular Ecology* [online]. 2012, **21**(18), 4409-4411 [cit. 2022-04-22]. ISSN 09621083. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-294X.2012.05641.x

OLLERTON, Jeff, Rachael WINFREE a Sam TARRANT. How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos* [online]. 2011, **120**(3), 321-326 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00301299. Dostupné z: doi:10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

PAOLI, Marco a Giovanni C. GALIZIA. Olfactory coding in honeybees. *Cell and Tissue Research* [online]. 2021, **383**(1), 35-58 [cit. 2022-07-05]. ISSN 0302-766X. Dostupné z: doi:10.1007/s00441-020-03385-5

PARIS, Laurianne, Elodie PEGHAIRE, Anne MONÉ, Marie DIOGON, Didier DEBROAS, Frédéric DELBAC a Hicham EL ALAOUI. Honeybee gut microbiota dysbiosis in pesticide/parasite co-exposures is mainly induced by *Nosema ceranae*. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2020, **172** [cit. 2022-07-07]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2020.107348

PARK, Soojin, Hyunjung BAEK, Kyung-Hwa JUNG, Gihyun LEE, Hyeonhoon LEE, Geun-Hyung KANG, Gyeseok LEE a Hyunsu BAE. Bee venom phospholipase A2 suppresses allergic airway inflammation in an ovalbumin-induced asthma model through the induction of regulatory T cells. *Immunity, Inflammation and Disease* [online]. 2015, **3**(4), 386-397 [cit. 2022-07-07]. ISSN 2050-4527. Dostupné z: doi:10.1002/iid3.76

PARREY, Aejaz H., Rifat H. RAINA, Babu SADDAM, Purnima PATHAK, Sanjeev KUMAR, V.P. UNİYAL, Devanshu GUPTA a Sajad A. KHAN. Role of Bumblebees (Hymenoptera: Apidae) in Pollination of High Land Ecosystems. *Agricultural Reviews* [online]. 2021, (Of) [cit. 2022-04-10]. ISSN 0976-0741. Dostupné z: doi:10.18805/ag.R-2159

PEIREN, Nico, Dirk C. DE GRAAF, Frank VANROBAEYS, Ellen L. DANNEELS, Bart DEVREESE, Jozef VAN BEEUMEN a Frans J. JACOBS. Proteomic analysis of the honey bee worker venom gland focusing on the mechanisms of protection against tissue damage. *Toxicon* [online]. 2008, **52**(1), 72-83 [cit. 2022-04-04]. ISSN 00410101. Dostupné z: doi:10.1016/j.toxicon.2008.05.003

PISA, Lennard, Dave GOULSON, En-Cheng YANG, et al. An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2021, **28**(10), 11749-11797 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-017-0341-3

PLOWRIGHT, R. C. a S. C. JAY. Caste differentiation in bumblebees (*Bombus* Latr: Hym.) I. — The determination of female size. *Insectes Sociaux* [online]. 1968, **15**(2), 171-192 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0020-1812. Dostupné z: doi:10.1007/BF02223465

POLCE, Chiara, Joachim MAES, Xavier ROTLLAN-PUIG, et al. Distribution of bumblebees across Europe. *One Ecosystem* [online]. 2018, **3** [cit. 2022-03-26]. ISSN 2367-8194. Dostupné z: doi:10.3897/oneeco.3.e28143

POTTS, Simon G, Jacobus C BIESMEIJER, Riccardo BOMMARCO, et al. Developing European conservation and mitigation tools for pollination services: approaches of the STEP (Status and Trends of European Pollinators) project. *Journal of Apicultural*

Research [online]. 2015, **50**(2), 152-164 [cit. 2022-04-10]. ISSN 0021-8839. Dostupné z: doi:10.3896/IBRA.1.50.2.07

PRENDERGAST, Kit S., Jair E. GARCIA, Scarlett R. HOWARD, Zong-Xin REN, Stuart J. MCFARLANE a Adrian G. DYER. Bee Representations in Human Art and Culture through the Ages. *Art & Perception* [online]. 2021, **10**(1), 1-62 [cit. 2022-04-22]. ISSN 2213-4905. Dostupné z: doi:10.1163/22134913-bja10031

PTÁČEK, Vladimír. *Přírodovědecká fakulta MUNI* [online]. [cit. 2022-03-07] Dostupné z: <https://www.sci.muni.cz/ptacek/AFH-vypracovane-otazky/14-Vcela-medonosna-charakteristika-druhu.htm?fbclid=IwAR1pruV1MYfHxdmGE4zm-cFrvxwqL08rHefiddgYO1vmsiUXRyIVh9WbIZQ>

QIU, Yichen, Yuhang ZHAO, Juan LIU a Ya GUO. A statistical analysis of the freshness of postharvest leafy vegetables with application of water based on chlorophyll fluorescence measurement. *Information Processing in Agriculture* [online]. 2017, **4**(4), 269-274 [cit. 2022-07-07]. ISSN 22143173. Dostupné z: doi:10.1016/j.inpa.2017.08.001

RABEENDRAN, N., E.E. JONES, D.J. MOOT a A. STEWART. Biocontrol of Sclerotinia lettuce drop by *Coniothyrium minitans* and *Trichoderma hamatum*. *Biological Control* [online]. 2006, **39**(3), 352-362 [cit. 2022-07-07]. ISSN 10499644. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocontrol.2006.06.004

RAMSEY, Samuel D., Ronald OCHOA, Gary BAUCHAN, et al. Varroa destructor feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2019, **116**(5), 1792-1801 [cit. 2022-06-10]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1818371116

RANGEL, Juliana a Adrian FISHER. Factors affecting the reproductive health of honey bee (*Apis mellifera*) drones—a review. *Apidologie* [online]. 2019, **50**(6), 759-778 [cit. 2022-04-11]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1007/s13592-019-00684-x

REILLY, Timothy J., Kelly L. SMALLING, James L. ORLANDO a Kathryn M. KUIVILA. Occurrence of boscalid and other selected fungicides in surface water and groundwater in three targeted use areas in the United States. *Chemosphere* [online]. 2012, **89**(3), 228-234 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2012.04.023

REMBOLD, Heinz, Jean-Pierre KREMER a Gabriele M. ULRICH. CHARACTERIZATION OF POSTEMBRYONIC DEVELOPMENTAL STAGES OF THE FEMALE CASTES OF THE HONEY BEE, *APIS MELLIFERA* L. *Apidologie* [online]. 1980, **11**(1), 29-38 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido:19800104

REN, Zong-Xin, Hong WANG, Peter BERNHARDT a De-Zhu LI. Insect pollination and self-incompatibility in edible and/or medicinal crops in southwestern China, a

global hotspot of biodiversity. *American Journal of Botany* [online]. 2014, **101**(10), 1700-1710 [cit. 2022-07-07]. ISSN 00029122. Dostupné z: doi:10.3732/ajb.1400075

RONDEAU, Sabrina a Nigel E. RAINE. Fungicides and bees: a review of exposure and risk. *Environment International* [online]. 2022, **165** [cit. 2022-07-07]. ISSN 01604120. Dostupné z: doi:10.1016/j.envint.2022.107311

ROTH, Morgan A, James M WILSON, Keith R TIGNOR, Aaron D GROSS a Matthew MESSENGER. Biology and Management of *Varroa destructor* (Mesostigmata: Varroidae) in *Apis mellifera* (Hymenoptera. *Journal of Integrated Pest Management* [online]. 2020, **11**(1) [cit. 2022-06-10]. ISSN 2155-7470. Dostupné z: doi:10.1093/jipm/pmz036

SAMUELSON, Elizabeth E. W., Zachary P. CHEN-WISHART, Richard J. GILL a Ellouise LEADBEATER. Effect of acute pesticide exposure on bee spatial working memory using an analogue of the radial-arm maze. *Scientific Reports* [online]. 2016, **6**(1) [cit. 2022-07-05]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/srep38957

SANCHEZ-BAYO, Francisco a Koichi GOKA. Impacts of Pesticides on Honey Bees. CHAMBO, Emerson Dechechi, ed. *Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research* [online]. InTech, 2016, 2016-05-20 [cit. 2022-04-29]. ISBN 978-953-51-2411-5. Dostupné z: doi:10.5772/62487

SÁNCHEZ-BAYO, Francisco a Ross V. HYNE. Detection and analysis of neonicotinoids in river waters – Development of a passive sampler for three commonly used insecticides. *Chemosphere* [online]. 2014, **99**, 143-151 [cit. 2022-07-04]. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2013.10.051

SANCHEZ-BAYO, Francisco, Koichi GOKA a Raul Narciso Carvalho GUEDES. Pesticide Residues and Bees – A Risk Assessment. *PLoS ONE* [online]. 2014, **9**(4) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0094482

SEDIVY, Claudio a Silvia DORN. Towards a sustainable management of bees of the subgenus *Osmia* (Megachilidae; *Osmia*) as fruit tree pollinators. *Apidologie* [online]. 2014, **45**(1), 88-105 [cit. 2022-04-28]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1007/s13592-013-0231-8

SHARMA, K.K., U.S. SINGH, Pankaj SHARMA, Ashish KUMAR a Lalan SHARMA. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. *Journal of Applied and Natural Science* [online]. 2015, **7**(1), 521-539 [cit. 2022-07-05]. ISSN 2231-5209. Dostupné z: doi:10.31018/jans.v7i1.641

SIMON-DELISO, N., V. AMARAL-ROGERS, L. P. BELZUNCES, et al. Systemic insecticides (neonicotinoids and fipronil): trends, uses, mode of action and metabolites. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 2015, **22**(1), 5-

34 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0944-1344. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-014-3470-y

SMITH, Jada, Xaryn L. CLEARE, Krispn GIVEN a Hongmei LI-BYARLAY. Morphological Changes in the Mandibles Accompany the Defensive Behavior of Indiana Mite Biting Honey Bees Against Varroa Destructor. *Frontiers in Ecology and Evolution* [online]. 2021, **9** [cit. 2022-06-10]. ISSN 2296-701X. Dostupné z: doi:10.3389/fevo.2021.638308

SOUTHWICK, Edward E. a Robin F.A. MORITZ. Social control of air ventilation in colonies of honey bees, *Apis mellifera*. *Journal of Insect Physiology* [online]. 1987, **33**(9), 623-626 [cit. 2022-07-05]. ISSN 00221910. Dostupné z: doi:10.1016/0022-1910(87)90130-2

SRINIVASAN, M.V. Honeybee navigation. *Current Biology* [online]. 2003, **13**(23) [cit. 2022-04-21]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi:10.1016/j.cub.2003.11.005

STARNER, Keith a Kean S. GOH. Detections of the Neonicotinoid Insecticide Imidacloprid in Surface Waters of Three Agricultural Regions of California, USA, 2010–2011. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. 2012, **88**(3), 316-321 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0007-4861. Dostupné z: doi:10.1007/s00128-011-0515-5

STOČEK, Petr. Druhy čmeláků u nás. *Dilnahammer.cz* [online]. Brno: DILNA HAMMER, 2019 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.dilnahammer.cz/druhy-cmelaku-v-ceske-republice/>

STOKSTAD, Erik. Scientists evolve a fungus to battle deadly honey bee parasite. *Science* [online]. 2021 [cit. 2022-06-10]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.abj8369

STONER, Kimberly A., Brian D. EITZER a Subba Reddy PALLI. Movement of Soil-Applied Imidacloprid and Thiamethoxam into Nectar and Pollen of Squash (*Cucurbita pepo*). *PLoS ONE* [online]. 2012, **7**(6) [cit. 2022-06-29]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0039114

STRANGE, Richard N. a Peter R. SCOTT. Plant Disease: A Threat to Global Food Security. *Annual Review of Phytopathology* [online]. 2005, **43**(1), 83-116 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0066-4286. Dostupné z: doi:10.1146/annurev.phyto.43.113004.133839

STRAW, Edward A., Edward N. CARPENTIER a Mark J. F. BROWN. Roundup causes high levels of mortality following contact exposure in bumble bees. *Journal of Applied Ecology* [online]. 2021, **58**(6), 1167-1176 [cit. 2022-07-12]. ISSN 0021-8901. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2664.13867

- SUCHAIL, Séverine, Laurent DEBRAUWER a Luc P BELZUNCES. Metabolism of imidacloprid in *Apis mellifera*. *Pest Management Science* [online]. 2004, **60**(3), 291-296 [cit. 2022-07-05]. ISSN 1526-498X. Dostupné z: doi:10.1002/ps.772
- SUN, Liping, Xueqi ZHANG, Shufa XU, Chunsheng HOU, Jin XU, Dongxiang ZHAO a Yanping CHEN. Antiviral Activities of a Medicinal Plant Extract Against Sacbrood Virus in Honeybees. *Virology Journal* [online]. 2021, **18**(1) [cit. 2022-06-26]. ISSN 1743-422X. Dostupné z: doi:10.1186/s12985-021-01550-y
- TANG, Cheng-Kang, Yu-Hsien LIN, Joe-Air JIANG, et al. Real-time monitoring of deformed wing virus-infected bee foraging behavior following histone deacetylase inhibitor treatment. *IScience* [online]. 2021, **24**(10) [cit. 2022-06-26]. ISSN 25890042. Dostupné z: doi:10.1016/j.isci.2021.103056
- TASEI, Jean-Noël a Pierrick AUPINEL. Nutritive value of 15 single pollens and pollen mixes tested on larvae produced by bumblebee workers (*Bombus terrestris* , Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* [online]. 2008, **39**(4), 397-409 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido:2008017
- TAUTZ, Jürgen, Kristin ROHRSEITZ a David C. SANDEMAN. One-strided waggle dance in bees. *Nature* [online]. 1996, **382**(6586), 32-32 [cit. 2022-07-05]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/382032a0
- TERPIN, Bethany, Deja PERKINS, Stephanie RICHTER, Jennifer Kraft LEAVEY, Terry W. SNELL a John A. PIERSON. A scientific note on the effect of oxalic acid on honey bee larvae. *Apidologie* [online]. 2019, **50**(3), 363-368 [cit. 2022-06-23]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1007/s13592-019-00650-7
- TESTA, Bruno, Silvia Jane LOMBARDI, Enzo MACCIOLA, Mariantonietta SUCCI, Patrizio TREMONTE a Massimo IORIZZO. Efficacy of olive leaf extract (*Olea europaea* L. cv Gentile di Larino) in marinated anchovies (*Engraulis encrasicolus*, L.) process. *Heliyon* [online]. 2019, **5**(5) [cit. 2022-06-25]. ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01727
- THAMM, Markus, Sabine BALFANZ, Ricarda SCHEINER, Arnd BAUMANN a Wolfgang BLENAU. Characterization of the 5-HT_{1A} receptor of the honeybee (*Apis mellifera*) and involvement of serotonin in phototactic behavior. *Cellular and Molecular Life Sciences* [online]. 2010, **67**(14), 2467-2479 [cit. 2022-07-05]. ISSN 1420-682X. Dostupné z: doi:10.1007/s00018-010-0350-6
- THE BUMBLEBEE CONSERVATION TRUST. The bumblebee lifecycle. *Bumblebee Conservation Trust* [online]. Velká Británie: The Bumblebee Conservation Trust, c2021 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: <https://www.bumblebeeconservation.org/lifecycle/>

The Evolution of Chemical Pesticides [online]. 2011. Fisher Scientific, 2016 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: <https://www.fishersci.ca/ca/en/publications/lab-reporter/2016/issue-4/the-evolution-chemical-pesticides.html>

THOMPSON, Helen M, Selwyn WILKINS, Sarah HARKIN, Sarah MILNER a Keith FA WALTERS. Neonicotinoids and bumblebees (*Bombus terrestris*): effects on nectar consumption in individual workers. *Pest Management Science* [online]. 2015, **71**(7), 946-950 [cit. 2022-07-05]. ISSN 1526498X. Dostupné z: doi:10.1002/ps.3868

TIAN, Li a Heather M. HINES. Morphological characterization and staging of bumble bee pupae. *PeerJ* [online]. 2018, **6** [cit. 2022-07-07]. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.6089

TOSI, S. a J. C. NIEH. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, alters honey bee activity, motor functions, and movement to light. *Scientific Reports* [online]. 2017, **7**(1) [cit. 2022-07-05]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-017-15308-6

TOSI, S. a J. C. NIEH. Lethal and sublethal synergistic effects of a new systemic pesticide, flupyradifurone (Sivanto ®), on honeybees. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. 2019, **286**(1900) [cit. 2022-07-07]. ISSN 0962-8452. Dostupné z: doi:10.1098/rspb.2019.0433

TOSI, Simone, Giovanni BURGIO a James C. NIEH. A common neonicotinoid pesticide, thiamethoxam, impairs honey bee flight ability. *Scientific Reports* [online]. 2017, **7**(1) [cit. 2022-07-05]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-017-01361-8

TRAYNOR, Kirsten S., Fanny MONDET, Joachim R. DE MIRANDA, Maeva TECHER, Vienna KOWALLIK, Melissa A.Y. ODDIE, Panuwan CHANTAWANNAKUL a Alison MCAFEE. Varroa destructor: A Complex Parasite, Crippling Honey Bees Worldwide. *Trends in Parasitology* [online]. 2020, **36**(7), 592-606 [cit. 2022-06-10]. ISSN 14714922. Dostupné z: doi:10.1016/j.pt.2020.04.004

TRIPATHI, Pramila a N.K DUBEY. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology* [online]. 2004, **32**(3), 235-245 [cit. 2022-07-07]. ISSN 09255214. Dostupné z: doi:10.1016/j.postharvbio.2003.11.005

TSVETKOV, N., O. SAMSON-ROBERT, K. SOOD, et al. Chronic exposure to neonicotinoids reduces honey bee health near corn crops. *Science* [online]. 2017, **356**(6345), 1395-1397 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aam7470

UNDERWOOD, Robyn M. a Robert W. CURRIE. Indoor Winter Fumigation With Formic Acid for Control of *Iacarapis woodi*/I (Acari: Tarsonemidae) and *Nosema*

Disease, INosema/I sp. *Journal of Economic Entomology* [online]. 2009, **102**(5), 1729-1736 [cit. 2022-06-27]. ISSN 00220493. Dostupné z: doi:10.1603/029.102.0501

UNSWORTH, John. History of pesticide use. *International Union Of Pure And Applied Chemistry* [online]. Velká Británie: International Union Of Pure And Applied Chemistry, 2010, 10.5.2010 [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: https://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31

VAN DIJK, Tessa C., Marja A. VAN STAALDUINEN, Jeroen P. VAN DER SLUIJS a Nicolas DESNEUX. Macro-Invertebrate Decline in Surface Water Polluted with Imidacloprid. *PLoS ONE* [online]. 2013, **8**(5) [cit. 2022-07-04]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0062374

VANENGELSDORP, Dennis a Marina Doris MEIXNER. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2010, **103**, S80-S95 [cit. 2022-06-10]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2009.06.011

VANENGELSDORP, Dennis a Marina Doris MEIXNER. A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of Invertebrate Pathology* [online]. 2010, **103**(21), S80-S95 [cit. 2022-04-22]. ISSN 00222011. Dostupné z: doi:10.1016/j.jip.2009.06.011

Včela medonosná - vývojová stádia včely medonosné. *Včelařské potřeby a včelařství, medovina* [online]. Copyright © 2021 [cit. 21.03.2022]. Dostupné z: https://www.ivcelarstvi.cz/vcela-medonosna/?fbclid=IwAR1uZ4yPndPR9L0at-ig1odyfOG0iH0gVNwH1zr6S_jlajU_ZV4-yy_MK5E

Včela medonosná | ZOO Chleby. *Úvodní stránka | ZOO Chleby* [online]. Copyright © 2013 ZOO Chleby o.p.s. [cit. 21.03.2022]. Dostupné z: https://www.zoochleby.cz/vcela-medonosna-5952/?fbclid=IwAR2zpdBo4htBhvmjkHrWhXSPDnt_RI5Spn0KPpwm8a8mxs7oK8bt_dD3SI

VOGT, F. Daniel. Thermoregulation in Bumblebee Colonies. II. Behavioral and Demographic Variation throughout the Colony Cycle. *Physiological Zoology* [online]. 1986, **59**(1), 60-68 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0031-935X. Dostupné z: doi:10.1086/physzool.59.1.30156091

WEHBE, Rim, Jacinthe FRANGIEH, Mohamad RIMA, Dany EL OBEID, Jean-Marc SABATIER a Ziad FAJLOUN. Bee Venom: Overview of Main Compounds and Bioactivities for Therapeutic Interests. *Molecules* [online]. 2019, **24**(16) [cit. 2022-04-04]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules24162997

WHITEHORN, Penelope R., Stephanie O'CONNOR, Felix L. WACKERS a Dave GOULSON. Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen

Production. *Science* [online]. 2012, **336**(6079), 351-352 [cit. 2022-07-04]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.1215025

WILLIAMS, Paul H. a Juliet L. OSBORNE. Bumblebee vulnerability and conservation world-wide. *Apidologie* [online]. 2009, **40**(3), 367-387 [cit. 2022-07-07]. ISSN 0044-8435. Dostupné z: doi:10.1051/apido/2009025

WU-SMART, Judy a Marla SPIVAK. Effects of neonicotinoid imidacloprid exposure on bumble bee (Hymenoptera: Apidae) queen survival and nest initiation. *Environmental Entomology* [online]. 2018, **47**(1), 55-62 [cit. 2022-07-05]. ISSN 0046-225X. Dostupné z: doi:10.1093/ee/nvx175

YAÑEZ, Orlando, Niels PIOT, Anne DALMON, et al. Bee Viruses: Routes of Infection in Hymenoptera. *Frontiers in Microbiology* [online]. 2020, **11** [cit. 2022-06-26]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2020.00943

YE, Minsook, Hwan-Suck CHUNG, Chanju LEE, et al. Neuroprotective effects of bee venom phospholipase A2 in the 3xTg AD mouse model of Alzheimer's disease. *Journal of Neuroinflammation* [online]. 2016, **13**(1) [cit. 2022-07-07]. ISSN 1742-2094. Dostupné z: doi:10.1186/s12974-016-0476-z

ŻRAŁKA, Jarosław, Christophe HELMKE, Laura SOTELO a Wiesław KOSZKUL. THE DISCOVERY OF A BEEHIVE AND THE IDENTIFICATION OF APIARIES AMONG THE ANCIENT MAYA. *Latin American Antiquity* [online]. 2018, **29**(3), 514-531 [cit. 2022-07-07]. ISSN 1045-6635. Dostupné z: doi:10.1017/laq.2018.21

Bakalářské práce

BUREŠ, V. *Příčiny úbytku včel (Anthophila) v krajině: Bakalářská práce. Praha: Univerzita Karlova, 2021.*

OTYPKOVÁ, S. *Proč mizí z krajiny čmeláci? Hlavní příčiny a důsledky celosvětové krize opylovačů: Bakalářská práce. Olomouc: Univerzita Palackého, 2021.*

PTÁČKOVÁ, B. *Čmelák, výukový program pro předškolní vzdělávání: Bakalářská práce. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2009.*

VARMUŽOVÁ, K. *Včela medonosná, její mikroflóra a choroby: Bakalářská práce. Brno: Masarykova univerzita, 2010.*