

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-
och växtproduktionsvetenskap

Neonikotinoiders inverkan på pollinatörer

Neonicotinoid impact on pollinators

Jerker Andervad och Erika Bernalt



Självständigt arbete • 15 hp

Trädgårdsingenjör:odling – kandidatprogram

Alnarp 2017

Neonikotinoiders inverkan på pollinatörer

Neonicotinoids impact on pollinators

Jerker Andervad och Erika Bernalt

Handledare: Mattias Larsson, SLU, Institutionen för växtskyddsbiologi

Examinator: Anders Nilsson, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0495

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör:odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: No bees no oranges av Oakschmied Honey (CC Attribution-ShareAlike)

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *Neonikotinoid, pollinatör, honungsbi, vilda bin, pesticid, insekticid, humla, imidaklopid, diversitet*

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Abstract

Neonicotinoids (NN) are among the most commonly used pesticides worldwide. Sub-lethal levels of the pesticide have been discovered in flower strips adjacent to sprayed fields. The spreading of NN throughout the plant, to nectar, pollen and guttation, will affect non-target species such as pollinators. Chronic exposure of NN leads to accumulation in bee colonies over time. The global decline in pollinators is due to complex interactions with synergistic outcome.

Contributing factors are: climate change, agricultural intensification, food shortages, virus and pesticide usage. Inhibition of the pollination service may severely affect crop production, and human welfare and food security will be endangered. The economic value of pollination worldwide is estimated to 153 billion euros. NN affect the honeybee dance and reduce drone sperm by 39 %. Bumblebees exposed to NN show an alternated foraging ability and short-term memory is affected negatively. NN affect anatomical growth of bumblebee queens with defects in ovaries and impaired physiology. Reproduction of the bumblebee decreases and production of new queens is reduced by 85%. Field trials has found that both solitary bees and bumblebee density decreases with NN coated seeds.

Sammanfattning

Neonikotinoider (NN) hör till världens mest använda pesticider mot skadedjur. NN sprider sig i naturen och har hittats i dammpartiklar, mark och ytvatten. NN sprids i hela plantan till nektar, pollen och guttationsdroppar vilket i sin tur drabbar oavsiktliga mål som pollinatörer. Kronisk exponering av NN leder över tid till att pesticiden ackumuleras i bikolonier. Förluster av insektpollinatörer beror på ett komplext samspel med synergistisk utgång. Bidragande faktorer är: brist på föda, sjukdomar, klimatförändringar, intensifierade jordbruk, virus och bekämpningsmedel. En försämrad pollineringsstjänst gör att mångfalden av vilda växter minskar, växtodling försvåras och människans välfärd och livsmedelssäkerhet påverkas. Det totala ekonomiska värdet av pollineringen i hela världen har räknats till 153 miljarder euro. NN reducerar honungsbinas dans och minskar drönarnas spermieantal med 39 %. När humlor exponeras för NN presterar de sämre i födosökandet och korttidsminnet påverkas negativt. NN påverkar humledrottningens anatomiska tillväxt, ger missbildningar på äggstockarna och försämrad fysiologi. Humlans förmåga att föda upp sin egen avkomma minskar och produktionen av nya humledrottningar reduceras med 85 %. I fält har det visat sig att både humlor och solitärbins densitet minskar med NN-betat frö.

Innehåll

Abstract	3
Sammanfattning.....	4
Inledning	6
Bakgrund och problembeskrivning	6
Syfte och avgränsning	7
Frågeställning	7
Metod.....	7
Neonikotinoider.....	8
Verkningsmekanism och sammansättning	8
Användning.....	11
Spridning.....	13
Pollinering.....	14
Värde	14
Diversitet.....	15
Förluster av pollinatörer	16
Labb och fältförsök.....	17
Effekter av neonikotinoider på pollinatörer	18
Socialitet och kommunikation.....	18
Födosökande och navigering.....	19
Reproduktion och fortlevnad	20
Diskussion	22
Referenser	26

Inledning

Bakgrund och problembeskrivning

Pollinering är en ekosystemtjänst av avgörande betydelse för vår livsmedelsproduktion, bevarandet av den vilda floran samt ekosystemens stabilitet (Potts et al. 2010). Utan pollineringstjänsten skulle stora delar av vår vilda flora försvinna och 35 % av alla grödor som odlas skulle drabbas. I det moderna jordbruket förlitas det i stor utsträckning på att pollinering ska utföras av honungsbin (EASAC 2015). Vilda bin kan dock fungera som ännu mer effektiva pollinatörer i jämförelse med honungsbin (ATL 2013). Pollinatörer utför pollinering med olika förutsättningar. En del är generalister och andra specialister. Några har långa tungor och vissa korta, vilket i sin tur avgör vilka blommor de kan hämta pollen i (Stenmark 2016a, b). Olika arter besöker även olika nivåer i blomställningar (EASAC 2015). Den forskning som bedrevs under år 2015 angående NN och dess effekter är främst koncentrerad till att röra hur honungsbin påverkas (Lundin et al. 2015).

Pollinatörer är hotade och kolonier dör ut (Vanbergen et al. 2013). Flera artikelförfattare (Kearns et al. 1998, Potts et al. 2010, Brittain & Potts 2011, Whitehorn et al. 2012, Goulson 2015) pekar på att en av de bidragande faktorerna är användandet av växtskyddsmedel. NN är en av de mest spridda pesticiderna i världen (Goulson 2013) och används främst för att bekämpa specifika skadedjur i jordbruken (Jeschke & Naunen 2008). Användandet av NN i växtskyddssammanhang har varit under diskussion mer eller mindre sedan de introducerades för drygt tjugo år sedan. Efter publicering av vetenskapligt material som visat på risker för miljö och honungsbin har det debatterats huruvida användningen av dem bör minskas (EASAC 2015).

2012 beslutade europakommissionen att EFSA, European Food Safety Authority, skulle utreda säkerheten i användandet av tre olika NN: imidaklopid, klotianidin och tiametoxam. Resultatet av undersökningen blev ett beslut om begränsning av brukandet av dessa.

Restriktionen gällde över en treårig period. Enligt EFSA (2016) pågår fortfarande en genomgång av vetenskaplig information. En ny bedömning äger rum i januari 2017. I väntan på beslut har flera länder givits undantagstillstånd för användning av NN och utanför EU används NN fortfarande i stor utsträckning (Carrington 2013a, Carrington 2015).

Syfte och avgränsning

Litteraturstudiens syfte är att undersöka NN:s verkningsmekanismer och kemiska sammansättning. Ta reda på hur de används och sprids, samt hur de påverkar pollinatörernas livsviktiga egenskaper och beteenden. Avsikten är även att ta reda på värdet av pollineringsstjänsten. Att titta på diversitetens betydelse för hur effektiv pollineringsstjänsten är. Studien går inte in på hur markorganismer, däggdjur och vattenlevande organismer påverkas. Uppsatsen ska lyfta fram forskning som behandlar andra pollinatörer än honungsbin.

Frågeställning

1. Vilket verknings sätt har NN, hur används de och hur sprids de?
2. Vilket värde har pollineringsstjänsten? Kan pollineringsstjänsten effektiviseras av diversitet bland pollinatörer? Vilka faktorer bidrar till förluster av pollinatörer?
3. Har NN subletala effekter på pollinatörer? Vilka egenskaper och beteenden inskränks när pollinatörer exponeras för NN?

Metod

Det här arbetet är en litteraturstudie, det vill säga en sammanställning av vetenskapliga artiklar. Artiklarna har sökts fram via databasen web of science och SLU:s sökmotor Primo. Genom att titta på artikelförfattarnas referenser har nya studier hittats. Ibland har även artikelförfattare specifikt rekommenderat annan forskning i sina studier. Relevanta rapporter har även hämtats från hemsidor tillhörande jordbruksverket, SLU, STEP, EASAC, och EFSA. Övrig

information har hämtats från tidningars webbplatser. Alla källor har granskats med ett kritiskt förhållningsätt. Av varje vetenskaplig tidskriftsartikel gjordes en kort sammanställning för att ge en översikt över materialet. Artiklarna fördes in i källhanteringsprogrammet End note där de sedan delades in i under-kategorier utifrån den tänkta strukturen i uppsatsen. Ett fåtal källor exkluderades senare i resultatet på grund av att liknande information hittats i annan text, eller på grund av avgränsningen. Under arbetets gång har loggbok förts för att visa hur arbetet fördelats och hur samarbetet fortskred.

Neonikotinoider

Verkningsmekanism och sammansättning

Det finns sju olika aktiva substanser som hör till NN-familjen på marknaden: imidaklopid, klotianidin, acetamiprid, nitenpyram, tiametoxam, tiaklopid och dinotefuran (Elbert et al. 2008). NN är toxiska för insekter i små mängder (Goulson 2013). LD50-värdet för honungsbin är 4 nanogram klotianidin. LD50: dos som dödar 50% av alla individer. Som jämförelse är LD50 för bekämpningsmedlet DDT ungefär 1/10 000-del av det värdet.

NN är systemiska, vilket innebär att de tas upp i de behandlade plantorna och sprids i växtens vaskulära system (Elbert et al. 2008). Växten blir giftig att konsumera och drabbar därför främst insekter som är saftsugande eller gnagande. NN är alltså speciellt aktiva på individer ur ordningen Hemiptera, som vita flygare, bladlöss och andra växtsugare (Jeschke et al. 2013). Genom vidare utveckling har NN anpassats till att fungera som kontroll även för arter ur till exempel Coleoptera och Lepidoptera: skalbaggar och fjärilar.

NN är neurotoxiner som är designade för att imitera den naturligt förekommande signalsubstansen acetylkolin hos insekter (Jeschke et al. 2013). Pesticiden verkar som en agonist vilken stimulerar aktivitet genom att binda till en specifik typ av receptorer (Elbert et al. 2008). Dessa benämns i litteraturen som nAChR.

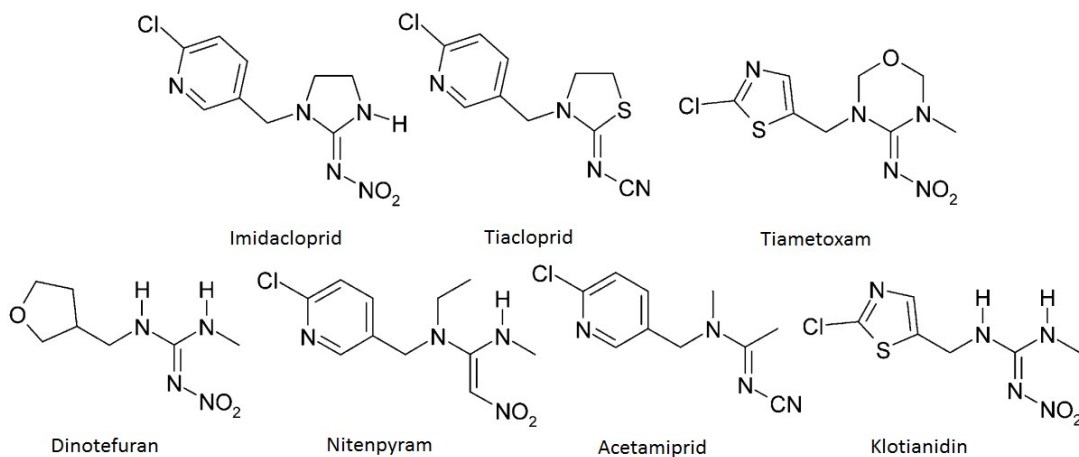
Receptorerna är belägna i nervsystemet hos insekten (Jeschke et al. 2013). NN bidrar till samma form av aktivitet som den naturliga signalsubstansen, men utför också en blockering av signalflödet vilket förhindrar normal synapsfunktion (EASAC 2015). Detta åsamkar paralyser och död hos den påverkade insekten. Enzymer hos insekten klarar inte att bryta NN:s syntetiska sammansättning och därför ackumuleras pesticiden i insektens kropp. Effekten av NN är selektivt inriktad på leddjur (Tomizawa & Casida 2005). Eftersom uppbyggnaden av signalreceptorer skiljer sig åt mellan insekter och ryggradsdjur, påverkar pesticiden inte ryggradsdjur på samma sätt.

Insekticider med NN består efter besprutning på en bladyta cirka 3 till 5 dagar och bryts därefter ned av fotolysen (EASAC 2015). Nedbrytning i jord beror mycket på hur medlet exponeras för sol och vilken temperatur som råder, samt jordens beskaffenhet. Insekticiden försvinner på sikt genom hydrolys, fotolys, mikrobiell nedbrytning och urlakning (EASAC 2015). Nya produkter har utvecklats för att ge bättre hårdighet mot regn, bättre spridning på en bladyta och ökad penetrering av blad (Elbert et al. 2008). Vissa produkter kombinerar NN med andra insekticider, som vissa typer av pyretroider för att bredda verkningsspektrat.

En föregångare till NN var den botaniska insekticiden, (S)-nikotin, en alkaloid som togs fram ur vissa *Nicotiana*-arter (Jeschke et al. 2013). (S)-nikotinet verkade på likande sätt som NN, men hade en mer generell och mindre effektiv verkan. (S)-nikotinet hade även hög toxicitet mot däggdjur, varför den senare försvann ur forskningen. NN-relaterad forskning påbörjades på 70-talet då Shell Development Companys Biological Research Center i Modesto, Kalifornien började utveckla en nitromethylen (Jeschke & Nauen 2008). Denna nitromethylen hade effekt på nAChR-receptorn hos insekter. Vidare design ledde till nitroenaminen, nithiazin som kan betraktas som den första viktiga beståndsdel för NN. Nithiazin kunde inte användas speciellt mycket i fält på grund av för hög degradering i hydrolys och solexponering (Matsuda et al. 2001). Nihon Tokushu Noyaku Sezo KK arbetade med att ta fram en mer stabil funktionell grupp vilket

resulterade i upptäckten av imidakloprid (Jeschke & Nauen 2008). Jämfört med nithiazin visade sig imidakloprid 125-faldigt mer effektiv mot den i risodling betydelsefulla skadegöraren, *Green rice leafhopper*-*Nephotettix nigropictus*. Den var även 10 000-falt mer aktiv som bekämpningsmedel jämfört med det äldre (S)-nikotinet.

Imidakloprid brukar användas för att beskriva NN tekniskt, eftersom det var den första NN och därför att den förblir den mest framgångsrika (Elbert et al. 2008). Farmaceutiskt klassificeras NN som antingen N-nitroguanidiner (imidakloprid, tiametoxam, klotianidin, dinotefuran), nitrometylen (nitenpyram) och N-cyano-amidiner (acetamiprid och tiakloprid). Syntesen av imidakloprid uppnåddes genom att sätta samman heterocykliska gruppen 6-kloropyrid-3-ylmetyl till 2-(Nitro-imino)imidazolin-strukturen (Jeschke & Nauen 2008). Imidakloprid och tiakloprid från Bayer CropScience och tiametoxam från Syngenta är cykliska sammansättningar. Nitenpyram från Sumitomo chemical takeda agro company, acetamiprid från Nippon soda, klotianidin från Sumitomo chemical takeda agro company/Bayer crop science och dinotefuran från Mitsui Chemicals är öppenkedjade sammansättningar (Jeschke & Nauen 2008).



Figur 1. Överst: cykliska sammansättningar. Underst: Öppenkedjade sammansättningar. Efter förlaga från Elbert et al. (2008).

Användning

Applicering av NN kan ske på flera sätt, men det som har blivit vanligast idag är i betning av frö (EASAC 2015). Att så med frön som är betade med en NN som aktiv ingrediens har blivit rutinmässig praxis i storskalig odling av till exempel majs, vete och raps (Goulson 2013). NN kan också appliceras genom spridning av granulat i jorden, soil drench-teknik som går ut på att odlingssubstratet genomdränks av pesticiden, besprutning, injicering i stubbar eller träd, samt spridning med bevattningsvattnet (Elbert et al. 2008). Soil drench passar bra i odling med permanenta växter som citrusträd, till exempel för bekämpning av skadegöraren *Phyllocnistis citrella* (Elbert et al. 2008). Applicering med bevattning kan fungera i droppslang till odling av grönsaker. Injicering i stammar på äppelträd är ett sätt att kontrollera skadegöraren *Eriosoma lanigerum* (Elbert et al. 2008).

De fysiokemiska egenskaperna hos en pesticid som NN är av stor betydelse för dess användbarhet (Jeschke et al. 2013). Relativ fotostabilitet är oumbärligt för användning i fält. För att NN ska kunna verka systemiskt och fungera i tekniker som betning behöver de ha förmåga att kunna upptas i rötter och transporteras vidare. Molekylen egenskaper beror på vattenlöslighet och lipofilitet, detta avgör genomsläpplighet i membran och transport i ett biotiskt system (Jeschke et al. 2013).

Lipofilitet innebär förmåga till löslighet i fett och insekticider med hög sådan är vanligen inte systemiska (Jeschke et al. 2013). NN har övergripande låga lipofila värden och transporteras därför lätt i det vaskulära systemet, ut till nya skott. Dock är upptag i rötter större hos en mer lipofil insekticid. De cykliska strukturerna som exempelvis imidaklopid har en något högre grad av fettlöslighet och följaktligen bättre upptag i rötter (Jeschke et al. 2013). De icke-cykliska strukturerna, som nitenpyram är mest lättransporterade i xylem. Grad av lipofilitet bidrar till skiftande kvalitéer hos olika NN, vilket senare avgör vilka appliceringstekniker (Tabell 1) som de är mest lämpade för (Jeschke et al. 2013).

Det är vanligt att använda NN i grönsaker, äppelfrukt, stenfrukt,

citrus, bomull, majs, potatis, sockerbeta, raps, soja, med mera (Elbert et al. 2008). NN:s uppenbara effektivitet som växtskyddsmedel, med verkan på många olika skadegörare, har bidragit med snabb spridning av användandet (Jeschke & Nauen 2008). NN har fungerat bra för skadegörare som har blivit resistenta mot andra pesticider, till exempel för bekämpning av bladlöss som är resistenta mot många organofosfater (Elbert et al. 2008). Vissa insekter som olika vita flygare, dvärgstriten *Orosius orientalis* och *Mango leaf hopper - Idioscopus nagpurensis*, har dock utvecklat resistens mot NN i vissa delar av världen. NN har på senare tid börjat ingå som ingrediens i allt fler generiska produkter vilket har lett till ökad resistens hos insekter (Elbert et al. 2008).

Tabell 1. Olika neonikotinoider och deras användningsområden. Visar vilken appliceringsteknik och vilka skadedjur som de är bäst utformade för. Efter förlaga från Elbert et al. (2008)

NN	Antal grödor	Utökat spektrum av skadedjursskydd	Blad-applicering	Jord-applicering	Betning
Imidaklopid	140	Trips Ullsköldlöss Minerare Termiter	** (*)	***	** (*)
Nitenpyram	12	–	**	*	–
Acetamiprid	60	Äppelvecklare Kålmal	***	*	–
Tiametoxam	115	Ullsköldlöss Skinnbaggar Minerare Termiter	***	***	**
Tiaklopid	50	Äppelvecklare Skalbaggar	***	–	–
Klotianidin	40	Ullig bladlus Orientalisk fruktfjäril Diabrotica virgifera	** (*)	**	***
Dinotefuran	35	Sköldlöss Trips Ullsköldlöss	***	**	–

Spridning

NN har tidigare ansetts som relativt säkra på grund av högre selektivitet jämfört med andra pesticider (Elbert et al. 2008). Därför har de betraktats som mer funktionella för bevarande av nyttiga organismer. Men eftersom pestiden sprids i hela plantan och då även till nektar, pollen och ut i guttationsdroppar kan den även drabba oavsiktliga mål som livnär sig på sådant (EASAC 2015). I mätningar av bins honung från England har klotianidin och tiametoxam identifierats (Jones & Turnbull 2016). Även imidaklopid förekom i mindre doser. Det finns flera studier som visar att NN upptäcks i biprodukter (Lopez, et al. 2016, Mogren & Lundgren 2016). Kronisk exponering av NN leder över tid till att pestiden ackumuleras i bikolonier (Tison 2016). Medföljande rester i binas insamling hamnar i maten som de lagrar. Även naturliga fiender i en IPM-strategisk odling kan drabbas av NN (EASAC 2015). När nyttodjuret konsumerar en individ som blivit exponerad för NN erhåller de i sin tur nivåer som kan vara skadliga.

NN har hittats i dammpartiklar, mark och ytvatten, vilket bevisar att de sprider sig i naturen (Chagnon 2015, Mogren & Lundgren 2016). Vid sådd av insektsbetat frö kan det bildas damm, som genom vindavdrift sprider NN utanför fältet (EASAC 2015). Platser där rester av NN hittas är ofta i odlade fält och intilliggande natur (David et al. 2016). De förekommer även i stadsmiljöer, fast det är mindre vanligt än i odlingsmark. Nivåerna som hittats har uppmätts till både subletala och letala nivåer för vissa insekter (Chagnong 2015). Även i blad från växter i utkanter av rapsfält med betade frön har subletala och letala nivåer av NN uppmätts (Botias et al. 2016). Insekter som lever i utkanten av fälten är inte mål för behandlingen, men de blir alltså exponerade för NN.

I fält används ofta blomsterremсор och blommande kanter för att ge boplats åt nyttoinsekter (Botias et al. 2016). Mindre isolerade områden som är avsatta för bibehållande av ekosystem ger emellertid inte alltid tillräckligt med utrymme och uppskov från NN-exponering för insekter (Mogren & Lundgren 2016). Blomsterremсор som är anlagda för att hjälpa insekter och förbättra bins hälsa kan istället

utgöra ännu en exponerande miljö, om NN ackumuleras från intilliggande fält. Blommande rapsfält anses vara en fördel för pollinatörer som kan dra nytta av dem för mat (Woodcock et al. 2016). När rapsfälten varit behandlade med NN har det dock visat sig att pollinatörer som livnärt sig på rapsen blivit negativt påverkade (Woodcock et al. 2016).

Pollinering

Värde

De naturliga ekosystemen bidrar med stora fördelar för oss människor, allt från att växter producerar syre till skadedjurskontroll (Kearns et al. 1998). Dessa fördelar kallas för ekosystemtjänster. Pollinering är en viktig ekosystemtjänst som innebär att pollen flyttas från en blomma till en annan så att sexuell reproduktion kan ske. 308 006 arter blommande växter, det vill säga 87,5 % av världens blommor, pollineras av djur (Ollerton et al. 2011). Pollinerande insekter och djur ser till att vi bland annat kan producera växter för utsädesfrön och mat som frukt, grönsaker, bär och nötter. Globalt sett är 35 % av alla grödor som produceras för att ätas beroende av djurpollinering. 87 av de största grödorna i världen förlitar sig på djurpollinering (Klein et al. 2007). Även om det finns vissa stapelgrödor som skulle klara sig bra utan pollinering skulle vår diet förändras och försämrats avsevärt. Vitaminer och antioxidanter som hittas i de grödor som kräver djurpollinering skulle försvinna utan tjänsten (Klein 2007).

Det totala ekonomiska värdet av pollineringen i hela världen har räknats till 153 miljarder euro, det vill säga 9,5 % av världens jordbruksproduktion år 2005 (Gallai 2009). Bara i Sverige beräknades insektspollinerings ekonomiska värde år 2009 ligga på mellan 189 och 325 miljoner svenska kronor (Jordbruksverket 2016). I denna siffra är endast marknadsvärdet för grödorna inräknade och pollineringen som sker av vilda växter är utelämnat. Studier gjorda i äppelodling och jordgubbsodling visar också att det inte bara är kvantiteten som blir

lidande av en minskande pollineringsstjänst utan även kvaliteten (Garratt et al. 2014, Klatt et al. 2014). Detta kan få betydelse för faktorer rörande hållbarhet i efterskördshanteringen (Klatt et al. 2014).

Diversitet

Europa har mer än 2500 arter av vilda bin och humlor (STEP 2016) och i Sverige finns det 300 vilda arter av bin varav ca 40 är humlor (Stenmark 2016a, b). Ändå bedrivs forskningen mest på kommersiellt gångbara bin som *Apis mellifera*, *Bombus terreicola* och *Bombus occidentalis* (Goulson 2015). Jordbruken var tidigare beroende av vilda pollinatörer för pollinering (Kevan & Philips 2001). Idag förlitar sig bland annat fruktodlare och växthusodlare på kommersiella pollinatörer (Batra 2001). I Sverige köper många växthusodlare, liksom i andra länder världen över, in *Bombus terrestris* som är en mörk jordhumla av den sydeuropeiska rasen (Stenmark 2016a). Införsel av främmande arter kan utgöra en risk; de kan föra med sig sjukdomar och parasiter som smittar inhemska humlor och bin. Smitter humlan och parar sig med en svensk mörk jordhumla förs även andra gener in i svenska populationer.

A. mellifera är det mest spridda och använda honungsbiet världen över och lever därmed i många olika klimat (Crane 1990); ibland långt ifrån dess ekologiska ursprung. Detta kan göra sig påmint när honungsbiet gärna stannar inomhus vid regn, blåst och kyla (Stenmark 2016b). Vilda bin däremot jobbar i de flesta väder samt börjar tidigare på våren, när fruktträden blommar, eftersom de trivs i kyligare klimat. De arbetar även fler timmar per dag än honungsbin. Att endast förlita sig på honungsbin är ett skört system av många anledningar (Rader et al. 2016). 10 till 30 % av alla honungsbin dör över vintern och de hotas bland annat av virus, sjukdomar, för lite och för dålig näring samt *Varroa* - ett kvalster som parasiterar på honungsbiet.

Honungsbiet är generalist, vilket innebär att de samlar nektar och pollen från de flesta blomväxter (Kristiansen 2016). Humlor och solitärbin är specialister vilket innebär att de flyger till en eller några få

växtarter för att samla pollen. Vilda bin kan vara dubbelt så effektiva pollinatörer jämfört med tambin (Rundlöf et al. 2015). Humlor kan surr-pollinera (STEP 2016). Surr-pollinering är en teknik humlan använder sig av för att möjliggöra att pollenet lossnar. Detta krävs i grödor som till exempel tomat, paprika och blåbär. Vidare är murarbin mer effektiva pollinatörer på äpplen och humlor mer effektiva pollinatörer på bönor (STEP 2016). Gårdar som underhåller sina vilda pollinatörer kan minska insatskostnader genom att slippa hyra honungsbisamhällen (STEP 2016). Vilda pollinatörer klarar sig så länge ekosystemen inte förstörs (EASAC 2015).

Enligt Brittain et al. (2013) gynnar biodiversitet ekosystemtjänster som pollinering. Detta såg artikelförfattarna i ett fältförsök i en mandelodling i Kalifornien. Pollinerings effektiviteten mellan biet *A. mellifera* och andra icke-apis bin jämfördes. I de odlingar där *A. mellifera* och icke-apis bin blandades blev pollinerings tjänsten som bäst. Artikelförfattarna menar att om förståelsen för hur interaktioner mellan olika pollinatörer fungerar skulle pollineringen kunna effektiviseras. Pollinerande insekter som flugor, skalbaggar, fjärilar, mott, getingar och myror är inte lika utforskade som bin (Rader et al. 2016). Dessa bidrar dock med pollinering av blommande grödor med upp till 39 %. De är inte lika effektiva som bin, men de gör fler besök. Andra pollinatörer än bin har inte har samma krav på att landskapets naturliga ängsmiljöer bevaras. De verkar vara mer toleranta för förändringar i markanvändningen. Flugor, skalbaggar, fjärilar, mott, getingar och myror förstärker pollinerings tjänsten (Rader et al. 2016).

Förluster av pollinatörer

Potts et al. (2010) har sammanfattat och granskat studier som demonstrerar och förklarar stora förluster av pollinatörer. Sammanfattningen pekar på hur det är flera samverkande faktorer som bidrar till förlusterna. Potts et al. (2010) menar att de viktigaste bidragande faktorerna är: förändringar i markanvändning, ökad spridning av bekämpningsmedel, minskad mångfald, invasion av

främmande arter, spridning av patogener samt klimatförändringar. Några av dessa faktorer har bland andra Kearns et al. (1998) redan påpekat: användningen av kemikalier, förändringar i markanvändning, intensifierat jordbruk och invasioner av främmande växter och djur.

Vanbergen et al. (2013) utvecklar Potts förklaringar till förlusterna och menar att minskningen av pollinatörer beror på ett komplext samspel med synergistisk utgång. Det komplexa samspelet innefattar faktorer som: brist på föda, sjukdomar och andra biologiska processer. När pollineringsstjänsten minskar får det många negativa konsekvenser (Potts et al. 2010). Ekosystemens stabilitet förstörs, mångfalden av vilda växter minskar, växtodling försvåras och människans välfärd och livsmedelssäkerhet påverkas. Orsakerna till förlusterna av pollinatörer är dock inte tillräckligt säkerställda, menar Goulson (2015). Övervakningssystemen är otillräckliga och fokus på Nordamerika och Europa gör bilden missvisande. Goulson (2015) uppmanar till att forskningen framöver ska belysa sambanden mellan orsaker och att man inte tittar på orsakerna som enskilt verkande faktorer.

Precis som Vanbergen et al. (2013) menar Goulson (2015) att den stress som bin och andra pollinatörer utsätts för grundas i synergistiska interaktioner. Exempelvis att bekämpningsmedel inte agerar additivt utan snarare i ett samspel med annan stress som bina och pollinatörer utsätts för. Det behövs metoder för att studera detta så att lagstiftningen kan förändras därefter. I väntan på direktiv vill Goulson uppmana till förebyggande åtgärder med mer hållbara jordbruksmetoder med minskad bekämpningsanvändning.

Labb och fältförsök

De labbförsök som är med i litteraturstudien har använt fältrealistiska anpassningar för att de ska kunna kopplas till verkligheten i ett jordbrukslandskap. Det innebär exempelvis att de arter som blir prövade för NN-påverkan kan bli matade med en sockerlösning

innehållande samma mängd NN som uppmäts i pollen i en fröbetad rapsodling (Whitehorn et al. 2012). Den mängden kan vara runt omkring 1ppb till 2,4ppb (ppb – parts per bilion, miljarddel) (Piironen et al. 2016, Stanley et al. 2015 b). Effekten har alltid jämförts med kontrollgrupper av slumpvis utvalda individer som matats med föda utan insekticider. Laboratorieförsök har kritiserats för att använda för höga exponeringsvärden av NN på försöksindividerna. Men i realiteten i fält kan värdena visa sig vara ännu högre (David et al. 2016).

Fältstudier genomförs ofta genom att mäta pesticidrester i miljön som pollinatörer vistas i (Lundin et al. (2015). Nivåerna som uppmäts i miljön jämförs med mätningar i pollinatörernas kolonier. I ett experiment kan bikupor placeras nära besprutade fält. Sedan jämförs resultaten med bikupor som fått stå nära en obesprutad miljö. Eftersom bin kan flyga långa sträckor kan det vara svårt att få säkra resultat (Lundin et al. 2015).

Effekter av neonicotinoider på pollinatörer

Socialitet och kommunikation

Honungsbin är sociala insekter vilket innebär att hela kolonin övervintrar, inte bara drottningen som hos den halvsociala humlan (Kristiansen 2016). Social samverkan mellan honungsbin är en förutsättning för att deras samhällen ska växa. Honungsbin kommunicerar med en vaggande dans för att tala om för varandra vart föda finns (Kristiansen 2016). Exponering av tiaklopid i fält visar rubbningar i dessa beteendemönster (Tan et al. 2014, Tison et al. 2016). Bland annat reducerades bidansens aktivitet.

Eiri & Nieh (2012) visar även att intag av imidaklopid minskar binas dans. Bidansen ökar chanserna för kolonierna att hitta föda. En inskränkning av binas dans kan därmed ha en betydande effekt på kolonihälsan. Subletala nivåer av imidaklopid påverkar honungsbins omdöme genom att de blir mer benägna att besöka farliga födokällor. När bin i ett försök fick livnära sig på nektar som innehöll imidaklopid,

slutade de att undvika rovdjur i form av bålgetingar (Tan et al. 2014). Kontrollbina undvek tydligt bålgetingen. Myran är liksom honungsbiet en social insekt. Imidaklopid påverkade aggressiviteten hos den Argentinska myran *Linepithema humile* och den inhemska myran *Monomorium antaciticum* (Barbieri et al. 2013). Detta gjorde i sin tur att interaktionerna i myrsamhällena stördes.

Födosökande och navigering

I naturen måste pollinatörer kunna hantera olika sorters blommor smidigt (Stanley et al. 2015b). Störningar i inlärningsförmåga implicerar att individer kan behöva tillbringa längre tid för att hantera en mer komplex blomma eller att upptäcka var på blomman nektar finns tillgängligt. Inläring och minne är grundläggande för hur samhällen av vilda bin kan lyckas med matinsamling och bildande av nya kolonier (Whitehorn et al. 2012). Normal förmåga till hågkomst är även en förutsättning för att bin och humlor ska kunna navigera (Tison et al. 2016). Navigering krävs för att bin och humlor ska kunna hitta hem, orientera sig när de flyger och hitta föda. Tiametoxam har visat sig ha en negativ påverkan på humlans korttidsminne och förmågan att lära sig dofter (Stanley et al. 2015b).

Stanley et al. (2015a) har i en äppelodling tittat på hur pollineringsstjänsten av humlor påverkades när de utsattes för tiametoxam. Äpplena som producerades bildade färre kärnor vilket tyder på en sämre utförd pollinering. Humlorna som blev exponerade för tiametoxam visade på bristande navigering och sämre födosökande. De gjorde färre besök i blommorna och samlade mindre pollen. Effekterna var tydliga på koloninivå men ej på individnivå (Stanley et al. 2015a). Även honungsbin har visat sig prestera sämre i födosökandet, navigering och träffsäkerhet när de utsatts för NN (Tison et al. 2016, (Garbuzov et al. 2015). Födosökandet försämrades även hos eldmyran *Solenopsis invicta* när de utsattes för imidaklopid (Wang et al. 2015). Eldmyran är en invasiv skadegörare, en insekt många helst vill bli av med. Wang et al. (2015) drar dock slutsatsen att studien visar att även önskvärda myror skadas av NN.

Kessler et al. (2015) iakttog att bin och humlor som fick välja mellan föda med eller utan NN oftare valde föda med NN. Om bin i fält inriktar sig på att samla föda där NN finns kan det leda till att kolonier till sist ackumulerar större koncentrationer av pesticiden. Att bin och humlor föredrar föda med imidaklopid och tiametoxam är en indikation på att NN kan påverka deras neurologiska mekanismer enligt Kessler et al. (2015). Neurologiska mekanismer kan vara att bin hittar till rätt plats och kommer ihåg platser med tillfredsställande föda.

Reproduktion och fortlevnad

Humlor och honungsbin är beroende av sina drottningar för att deras samhällen ska överleva (Whitehorn et al. 2012). För humlor kan det räcka med en liten försvagning för att kolonin ska hamna under kapaciteten att föda fram drottningar. I humlans årscykel är det endast nya drottningar som överlever vintern som kan starta nya kolonier när våren kommer. Om kolonierna inte lyckas med att producera drottningar, innebär det att bibehållandet av populationen försämras. I Whitehorns et al. (2015) labbförsök med humlor förlorades 85% i produktionen av nya drottningar när de exponerades för imidaklopid jämfört med kontrollgruppen.

2013 publicerade Food & Environment Research Agency (FERA) i Storbritannien, en rapport som handlade om påverkan på humlans kolonier av NN-betning (Goulson 2015). Studien var en respons på Whitehorn et al. (2012) om drottningdöd orsakat av imidaklopid. Whitehorn kritiserades av FERA eftersom humlorna i försöket inte hade haft något annat val än att livnära sig på NN-kontaminerad mat. FERA syftade till att göra om försöket med ett mer verklighetstroget tillvägagångssätt. FERA:s slutsats av studien blev att det inte fanns något sammanhang mellan betning och färre drottningar och försämrade prestation hos kolonier. Goulson (2015) hävdar emellertid att analysmetoderna som användes för bearbetning av den framtagna datan komplicerade resultatet. Goulsons analys av FERA:s resultat visade på raka motsatsen till deras slutsatser. Goulson (2015) menar att studien i själva verket visar att konventionellt och vanligt

förekommande lantbrukspraxis signifikant försämrar tillväxten hos humlans kolonier. Studien är således en av de första att visa på ett samband mellan NN och koloniförluster.

Enligt Williams et al. (2015) har det generellt antagits att drottningdöd kan vara en bakomliggande orsak till att kolonier har dött de senaste åren. I studien som denne genomför visar sig klotianidin och tiametoxam påverka drottningarnas anatomiska tillväxt, snarare än förändring i beteende. Detta yttrade sig i försämrad fysiologi och missbildningar på äggstockarna. Störningar i den normala utvecklingen av äggstockar har även iakttagits av Laycock et al. (2012). Dessa såg även en signifikant minskning i humlans förmåga att föda upp sin egen avkomma när de utsattes för imidaklopid. Exponering av NN dödar inte drottningarna, men avkomman påverkas och färre arbetsbin föds fram. Straub et al. (2016) studerade istället effekten på drönare. Levande spermier minskade med 39% och livslängden hos dessa förkortades. När honungsbin parar sig måste stora kvantiteter av livsduglig sperma kunna hålla sig i god kvalitet under en lång tid. Detta för att det ska kunna lagras upp i speciella organ hos drottningen för en tid (Straub et al. 2016).

Om bins motståndskraft försvagas kan det vara en bidragande orsak till dagens reducerade bisamhällen. Brandt et al. (2016) visar i sin studie hur bin som utsätts för tiaklopid och imidaklopid får en minskad densitet av försvarsceller och försämrad antimikrobiell aktivitet. Detta innebär en reducering av immunförsvarets funktion vilket i sin tur kan leda till ett mer patogenkänsligt bisamhälle.

Även pollinerande fjärilar kan ses försvagade. Larven av monarkfjärilen *Danaus plexippus* visar reducerad tillväxt när den utsätts för klotianidin och imidaklopid (Krischik 2015, Pecenka et al. 2015). Monarkfjärilens larver är beroende av *Asclepias* som föda. När larverna exponerades för *Asclepias* innehållande NN minskade chansen för överlevnad markant.

Rundlöf et al. (2015) genomförde en studie som har visat stort vetenskapligt värde, eftersom den ger en klar och tydlig bild av påverkan i fält. Studien undersökte svenska rapsodlingar sådda med

frön betade med medlet Elado från Bayer, som består av klotianidin och pyretroiden beta-cyflutrin. Studien iakttog densitet av vilda bin, bobyggande av solitärbiet *Osmia bicornis*, koloni-utveckling hos *B. terrestris* och koloni-styrka hos honungsbiet *A. mellifera*. De kom fram till att fröbetningen orsakade minskad densitet av humlor och solitärbin oberoende av väderförhållanden. Solitärbiets bobyggande minskade och i inget av de insektbetade fälten hade honor av arten börjat producera de specifika kammare där uppfödning sker. Betningen korrelerade med försvagning av tillväxt för humlor och en förlorad förmåga till normal produktion av drottningar. Honungsbina som förekom i försöket visade sig inte signifikant påverkade av betningen på samma sätt som de vilda bina. Här visas också som i andra studier att pollenet som bina samlat in innehöll NN. Enligt Rundlöf et al. (2015) kvarstår fortfarande frågor rörande vilka mekanismer som ligger bakom NN påverkan på pollinatörer och hur effekterna kommer att te sig över en längre tid.

Diskussion

Det finns argument för att NN-betning är viktig för jordbruket i ett land som Sverige. Mats Andersson från Bayer crop science har hävdade att användning av NN har minskat antal spruttillfällen och att betningsmetod minskar mängden aktiv substans som sprids i en odling (Lehrman 2012). Sveriges Frö- och Oljeväxtodlare anser att rapsodlingen i Sverige omöjliggörs om NN-användning inte tillåts, det skriver de i ett öppet brev till miljöminister Lena Ek. I Finland har kemikalieverket Tukes valt att gå emot EU:s restriktions-policy och tillåter användning av betningsmedlen Elado och Cruise, eftersom de anser att odling av rybs och raps annars inte är möjlig i landet (Nilsson 2015). De hävdar att övrig bekämpning med till exempel pyretroider är mer giftig för miljön och pollinatörer. Eftersom ingen konsensus har uppnåtts i debatten har det uppstått en situation där länder inom EU tillämpar olika bestämmelser.

Kemiföretagen vill framhäva att andra hot mot pollinatörer är viktigare att adressera, så som sjukdomar, minskat habitat och virus (Carrington 2013b). De argumenterar också för att matproduktionen kan äventyras vid förbud mot NN, samt att bönder kommer återgå till äldre och mer skadliga typer av pesticider. Syngenta har uttryckt att bevisningen är för svag, gällande om pesticider är en stor bidragande faktor till nedgång i pollinatörernas hälsa. Talespersoner för Bayer Cropscience har sagt att företaget fasthåller vid att NN är säkra för bin, om de används på ett ansvarsfullt sätt (Carrington 2013b).

Det är viktigt att beslutsfattare förhåller sig neutrala till industrins påtryckningar. Syngenta försökte till exempel revidera en pressrelease från EFSA angående risker med NN, genom förmaningar om rättsliga processer (CEO 2013). Det torde också vara viktigt att se över strategier för rätt granskning av studier. Precis som Goulson (2015) hävdar kan metoder med kollegial granskning behöva tillämpas för viktiga och omdebatterade frågor. Som Goulson beskriver det, finns det risk för en inskränkning av tillförlitligheten till forskning, om specifika studier kan tolkas på olika sätt med vitt skilda slutsatser som följd. Goulson förespråkar utökad kollegial granskning av studier för att undvika misstag och tvetydigheter. Särskilt när det gäller forskning som kan vara beslutsgrundande.

Det finns även vissa artikelförfattare som menar att fokus är fel när det pratas om bekämpningsmedel som ett av de stora hoten mot pollinatörer. Barbosa et al. (2015) vill problematisera debatten kring användandet av NN. Artikelförfattarna menar att vi inte vet tillräckligt mycket om interaktionen mellan pesticider och pollinatörer. De inleder med att referera till Aesops fabler om insekter, för att visa på hur djupt rotat biet är i vår kultur. Därifrån vill de påvisa att allmänheten är allt för känslomässigt engagerad för att bedöma rätt i frågan om bidöd. Det är oklart om författarna härmed syftar till att de studier som utförts på pollinatörer och NN också skulle vara påverkade av känslor. Det är svårt att se varför Barbosa et al. (2015) för debatten hit. De skulle istället kunna lyfta fram och ge plats åt de värden som pollinerings-tjänsten faktiskt har för jordbruket.

Laboratorieförsök går generellt att kritisera för att vara svåra att applicera direkt på verkliga förhållanden. Olika labbförsök med NN kritiserar till exempel för att de har studerat effekter hos pollinatörer på för högt använda doser. Det går också att se potential i försök som utförs i en helt kontrollerad miljö, eftersom det finns goda möjligheter att mäta upp exakta resultat. Fältförsöken kritiserar på samma grunder, att de inte är tillräckligt verklighetstroga. Ett väl utfört fältförsök ska kunna peka på verkliga förhållanden, det vill säga, visa hur saker och ting förhåller sig i ett konventionellt jordbrukslandskap. Det kan dock vara svårt att säkerställa att data från en specifik plats, med sina ekologiska förutsättningar, går att översätta till andra platser. Olika tidpunkter kan ge skiftande mätningar och variationer som väderförhållanden kan inverka.

Den mesta forskningen om pollinatörer är fokuserad på Nordamerika och Europa, vilket kan ge en missvisande bild av hur det ser ut i andra delar av världen. Dessutom är forskningen koncentrerad till ett fåtal arter av pollinatörer, som honungsbiet *A. mellifera* och humlorna *B. terrestris* och *B. occidentalis*, även fast det är bevisat att en diversitet av pollinatörer effektiviserar pollinerings tjänsten.

De studier som gjorts sedan EU tog beslut om restriktion bygger allt mer upp bevisningen på att NN har subletala effekter på pollinatörer. Även om både labbförsöken och fältförsöken inte gått att efterlikna verkligheten exakt, indikerar dessa att NN har en negativ påverkan på pollinatörer. Livsviktiga egenskaper och beteenden hos honungsbin, humlor, vilda bin, myror och fjärilslarver reduceras och störs av NN.

Förutom pollinatörer finns det även andra nyttiga organismer som störs av stor pesticidanvändning. Detta riskerar att skapa en ond cirkel av växande skadedjursproblematik och ökad användning av bekämpning. När nyttiga insekter som naturliga fiender oavsiktligt drabbas kan det medföra större utbrott av skadegörare (EASAC 2015). Det fortsätter även efter att pesticidanvändningen avbyts, eftersom återhämtning av naturliga fiender kan vara långsam. Om pesticider sedan kontinuerligt användas för att minska ekonomiska förluster från

skadedjuren, kan det resultera i en snabbare utveckling av resistens. Avsaknad av specifika typer av naturliga fiender kan även medföra att arter som tidigare inte varit viktiga ur växtskyddssynpunkt växer till ett problem (EASAC 2015).

Det är alltså långt fler organismer som påverkas av pesticider. Forskningen visar att användning av NN kan vara riskabel för ekosystemtjänster och nyttiga organismer som till exempel pollinatörer. EU tycks vara rätt ute med en restriktiv policy gentemot dessa pesticider. Omvärlden skulle troligen behöva följa exemplet. Eventuellt skulle andra typer av NN som inte omfattas av begränsningen också behöva prövas och tas med. Verklighetstrogen forskning som pågår under längre period efterlyses. Tills dess en större konsensus uppnåtts i frågan bör arbetet för omställning till mer hållbara metoder och IPM fortskrida. De länder som väljer att gå emot EU:s rekommendation bör vara medvetna om att NN-användningen innebär en ökad stress för pollinatörer.

Referenser

Anonym, ATL (2013). *Överdriven tro på honungsbin*. Tillgänglig: <http://www.atl.nu/lantbruk/overdriven-tro-pa-honungsbin/> [2016-11-04]

Barbieri, R. F., Lester, P. J., Miller, A. S. & Ryan, K. G. (2013) A neurotoxic pesticide changes the outcome of aggressive interactions between native and invasive ants. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280, 1772. DOI: 10.1098/rspb.2013.2157

Barbosa, W. F. Smagghe, G. Guedes, R. N. C. (2015). Pesticides and reduced-risk insecticides, native bees and pantropical stingless bees: pitfalls and perspectives. *Pest Management Science*, vol 71, nr 8, sid 1049-1053. DOI: 10.1002/ps.4025.

Batra, S. W. T. (2001). *Coaxing pollen bees to work for us*. In C. Stubbs & F. Drummond (Eds.), *Bees and crop pollination: Crisis, crossroads, conservation* (85–93). Lanham, MD: Entomological Society of America.

Botias, C., David, A., Hill, E. M. & Goulson, D. (2016) Contamination of wild plants near neonicotinoid seed-treated crops, and implications for non-target insects. *Science of the Total Environment*, 566, 269-278. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.05.065

Brandt, A. Gorenflo, A. Siede, R. Meixner, M. Buchler, R. (2016). The neonicotinoids thiacloprid, imidacloprid, and clothianidin affect the immunocompetence of honey bees (*Apis mellifera* L.) *Journal of Insect Physiology*, vol 86, sid 40-47. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2016.01.001.

Brittain, C. & Potts, S. G. (2011) The potential impacts of insecticides on the life-history traits of bees and the consequences for pollination. *Basic and Applied Ecology*, 12(4), 321-331. DOI: 10.1016/j.baae.2010.12.004

Brittain, C., Williams, N., Kremen, C. & Klein, A. M. (2013) Synergistic effects of non-*Apis* bees and honey bees for pollination services. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280(1754), 7. DOI: 10.1098/rspb.2012.2767

Carrington, D (2013a). US government sued over use of pesticides linked to bee harm. *The Guardian*. [2016-12-30]. Tillgänglig: <https://www.theguardian.com/environment/2013/mar/22/us-government-sued-pesticides-bee-harm>.

Carrington, D (2013b). Bees and the European neonicotinoids pesticide ban: Q&A. *The Guardian*. [2016-12-30]. Tillgänglig:

<https://www.theguardian.com/environment/2013/apr/29/bees-european-neonicotinoids-ban>.

Carrington, D (2015). UK suspends ban on pesticides linked to serious harm in bees. *The Guardian*. [2016-12-30]. Tillgänglig: <https://www.theguardian.com/environment/2015/jul/23/uk-suspends-ban-pesticides-linked-serious-harm-bees>.

Corporate Europe Observatory (CEO) (2013). *Pesticides against pollinators*. Tillgänglig: <https://corporateeurope.org/agribusiness/2013/04/pesticides-against-pollinators>. [2016-12-12]

Chagnon, M. Kreuzweiser, D. Mitchell, E. A. Morrissey, C. A. Noome, D. A. Van der Sluijs, J. P. (2015) Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. *Environmental Science and Pollution Research*, vol 22, sid 119-134. DOI: 10.1007/s11356-014-3277-x

Crane, E. (1990). *Bees and beekeeping: Science, practice and world resources*. Ithaca, NY: Comstock.

David, A. Botias, C. Abdul-Sada, A. Nicholls, E. Rotheray, E. L. Hill, E. M. Goulson, D. (2016). Widespread contamination of wildflower and bee-collected pollen with complex mixtures of neonicotinoids and fungicides commonly applied to crops. *Environment International*, vol 88, sid 169-178. DOI: 10.1016/j.envint.2015.12.011

Eiri, D.M. & Nieh, J.C. (2012) A nicotinic acetylcholine receptor agonist affects honey bee sucrose responsiveness and decreases waggle dancing. *Journal of Experimental Biology*, 215: 2022-2029. DOI: 10.1242/jeb.068718.

Elbert, A., Haas, M., Springer, B., Thielert, W. & Nauen, R. (2008) Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Management Science*, 64(11), 1099-1105. DOI: 10.1002/ps.1616

European Food Safety Authority (EFSA) (2016) *Pesticides and bees: EFSA to update neonicotinoid assessments*. Tillgänglig: <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/160111> [2016-12-13]

European Academies Science Advisory Council (EASAC) (2015). *Ecosystem services, agriculture and neonicotinoids*. Halle. German National Academy of Science Leopoldina

Gallai, N. Salles, J.M. Settele, J. Vaissiere, B. E. (2009) Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline, vol 68, nr 3, sid 810-821. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.014.

- Garbuzov, M. Couvillon, M. J. Schurch, R. Ratnieks, F. L. W. (2015). Honey bee dance decoding and pollen-load analysis show limited foraging on spring-flowering oilseed rape, a potential source of neonicotinoid contamination. *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol 203, sid 62-68. DOI: 10.1016/j.agee.2014.12.009
- Garratt, M. P. D., Breeze, T. D., Jenner, N., Polce, C., Biesmeijer, J. C. & Potts, S. G. (2014) Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 184, 34-40. DOI: 10.1016/j.agee.2013.10.032
- Goulson, D (2013). REVIEW: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology*, Vol 50, nr 4. Sid: 977-987. DIO:10.1111/1365-2664.12111
- Goulson, D. (2015). Neonicotinoids impact bumblebee colony fitness in the field; a reanalysis of the UK's Food & Environment Research Agency 2012 experiment. *Peerj*, vol 3. DOI: 10.7717/peerj.854
- Hladik, M. L., Vandever, M. & Smalling, K. L. (2016) Exposure of native bees foraging in an agricultural landscape to current-use pesticides. *Science of the Total Environment*, 542, 469-477. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.077
- Jeschke, P. & Nauen, R (2008). Neonicotinoids—from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Management Science*, Vol 64 nr 11. Sid 1084-1098. DOI: 10.1002/ps.1631
- Jeschke, P. Nauen, R. Beck, M. E. (2013). Nicotinic Acetylcholine Receptor Agonist: A Milestone for Modern Crop Protection. *Angewandte Chemie*, Vol 52 sid. 9464-9485. DOI: 10.1002/anie.201302550
- Jones, A. & Turnbull, G. (2016) Neonicotinoid concentrations in UK honey from 2013. *Pest Management Science*, vol 72, nr 10, sid: 1897-1900. DOI: 10.1002/ps.4227
- Jordbruksverket (2016) *Pollinering gynnar din skörd*. Tillgänglig: <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/ettriktodlingslandskap/mangfaldpaslatten/pollinering/pollineringgynnardinskor.d.4.5d7f124b1529bb0218e65b6a.html> [2016-11-25]
- Kearns, C. A., Inouye, D. W. & Waser, N. M. (1998) Endangered mutualisms: The conservation of plant-pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29, 83-112. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.83
- Kessler, S. C. Tiedeken, E. J. Simcock, K. L. Derveau, S. Mitchell, J. Softley, S. Stout, J. C. Wright, G. A. (2015). Bees prefer foods containing

neonicotinoid pesticides. *Nature*, vol 521, nr 7550, sid 74-U145. DOI: 10.1038/nature14414

Kevan, P. G., & Phillips, T. P. (2001). The economic impacts of pollinator declines: An approach to assessing the consequences. *Conservation Ecology*, 5, 8. DOI: 10.5751/ES-00272-050108

Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E. & Tschardtke, T. (2014) Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 281(1775). DOI: 10.1098/rspb.2013.2440

Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C. & Tschardtke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274(1608), 303-313. DOI: 10.1098/rspb.2006.3721

Krischik, V., Rogers, M., Gupta, G. & Varshney, A. (2015) Soil-Applied Imidacloprid Translocates to Ornamental Flowers and Reduces Survival of Adult *Coleomegilla maculata*, *Harmonia axyridis*, and *Hippodamia convergens* Lady Beetles, and Larval *Danaus plexippus* and *Vanessa cardui* Butterflies. *Plos One*, 10(3). DOI: 10.1371/journal.pone.0119133

Kristiansen Fabricius. L (2016) Mina första år som biodlare. Sveriges Biodlares Riksförbund. Roos Printing AB. Tillgänglig: <http://www.biodlarna.se/website1/50.0.1.0/665/910122%20Mina%200f%C3%B6rsta%20%C3%A5r%20som%20biodlare%20Webb%20Jan-16.pdf> [2016-12-13]

Laycock, I. Lenthall, K. M. Barratt, A. T. Cresswell, J. E. (2012). Effects of imidacloprid, a neonicotinoid pesticide, on reproduction in worker bumble bees (*Bombus terrestris*). *Ecotoxicology*, Vol: 21. Nr: 7 Sid: 1937-1945. DOI: 10.1007/s10646-012-0927-y

Lehrman A (2012). *Workshop: Neonikotinoider – välsingelse eller hot?* Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet – institutionen för ekologi. (Växtskyddsnotiser, Årgång 67). Tillgänglig: <https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/ckb/publikationer/dokumentation/neonikotinoider-sammanfattning-2011.pdf>. [2016-12-12]

Lopez, S. H. Lozano, A. Sosa, A. Hernando, M. D. Fernandez-Alba, A. R. (2016) Screening of pesticide residues in honeybee wax comb by LC-ESI-MS/MS. A pilot study. *Chemosphere*, vol 163, sid 44-53. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.07.008

Lundin, O., Rundlof, M., Smith, H. G., Fries, I. & Bommarco, R. (2015) Neonicotinoid Insecticides and Their Impacts on Bees: A Systematic

Review of Research Approaches and Identification of Knowledge Gaps. *Plos One*, 10(8), 20. DOI: 10.1371/journal.pone.0136928

Matsuda, K. Buckingham, S.D. Kleier, D Rauh, J. J. Grauso, M Sattelle, D.B (2001). Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *TRENDS in Pharmacological Sciences*, vol. 22 No.11. Sid 573-580. Doi: PII: S0165-6147(00)01820-4.

Mogren, C. & L. Lundgren, J. G.(2016). Neonicotinoid-contaminated pollinator strips adjacent to cropland reduce honey bee nutritional status. *Scientific Reports*, vol 6, sid 10. DOI:10.1038/srep29608.

Nilsson, A. (2015) Finland får undantag från EU- förbud. *LAND: Lantbruk & Skogsland*. 13 februari.

Ollerton, J., Winfree, R. & Tarrant, S. (2011) How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120(3), 321-326. DOI: 10.1111/j.1600-0706.2010.18644.x

Pecenka, J. R. & Lundgren, J. G. (2015) Non-target effects of clothianidin on monarch butterflies. *Science of Nature*, 102(3-4). DOI: 10.1007/s00114-015-1270-y

Piironen, S. Botias, C. Nicholls, E. Goulson, D. (2016) No effect of low-level chronic neonicotinoid exposure on bumblebee learning and fecundity. *Peerj*, vol 4. Sid: 18. DOI: 10.7717/peerj.1808.

Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O. & Kunin, W. E. (2010) Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345-353. DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.

Rader, R./Bartomeus, I./Garibaldi, L. A./Garratt, M. P. D./Howlett, B. G./Winfree, R./Cunningham, S. A./Mayfield, M. M./Arthur, A. D./Andersson, G. K. S./Bommarco, R./Brittain, C./Carvalheiro, L. G./Chacoff, N. P./Entling, M. H./Fouly, B./Freitas, B. M./Gemmill-Herren, B./Ghazoul, J./Griffin, S. R./Gross, C. L./Herbertsson, L./Herzog, F./Hipolito, J./Jaggar, S./Jauker, F./Klein, A. M./Kleijn, D./Krishnan, S./Lemos, C. Q./Lindstrom, S. A. M./Mandelik, Y./Monteiro, V. M./Nelson, W./Nilsson, L./Pattemore, D. E./Pereira, N. D./Pisanty, G./Potts, S. G./Reemerf, M./Rundlof, M./Sheffield, C. S./Scheper, J./Schuepp, C./Smith, H. G./Stanley, D. A./Stout, J. C./Szentgyorgyi, H./Taki, H./Vergara, C. H./Viana, B. F./Woyciechowski, M. (2016) Non-bee insects are important contributors to global crop pollination. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(1), 146-151. DOI: 10.1073/pnas.1517092112

Rundlöf, M. Andersson, G. K. S. Bommarco, R. Fries, I. Hederstrom, V. Herbertsson, L. Jonsson, O. Klatt, B. K. Pedersen, T. R. Yourstone, J. Smith, H. G. (2015). Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature*, vol 521. Nr 7550. Sid 77-U162. DOI: 10.1038/nature14420.

Stanley, D. A. Garratt, M. P. D. Wickens, J. B. Wickens, V. J. Potts, S. G. Raine, N. E. (2015 a). Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees. *Nature*, vol 528, nr 7583, Sid: 548-+. DOI: 10.1038/nature16167.

Stanley, D. A. Smith, K. E. Raine, N. E. (2015 b). Bumblebee learning and memory is impaired by chronic exposure to a neonicotinoid pesticide. *Scientific Reports*, vol 5, sid 10. DOI: 10.1038/srep16508.

Stenmark Magnus (2016a) *Humlör*. Jönköping: Jordbruksverket [Broschyr] Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/download/18.8e04a5f15891f622e353105/1479987717869/ovr265_14v7.pdf [2016-11-15]

Stenmark Magnus (2016b) *Honungsbin*. Jönköping: Jordbruksverket [Broschyr] Tillgänglig: http://www2.jordbruksverket.se/download/18.8e04a5f15891f622e354412/1479988832851/ovr265_13v4.pdf [2016-11-15]

STEP (2016) *Status and trends of european pollinators*. Tillgänglig: <http://www.step-project.net/> [2016-11-15]

Straub, L. Villamar-Bouza, L. Bruckner, S. Chantawannakul, P. Gauthier, L. Khongphinitbunjong, K. Retschnig, G. Troxler, A. Vidondo, B. Neumann, P. Williams, G. R. (2016). Neonicotinoid insecticides can serve as inadvertent insect contraceptives. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, vol: 283, nr: 1835, sid 8. DOI: 10.1098/rspb.2016.0506.

Tan, K. Chen, W. W. Dong, S. H. Liu, X. W. Wang, Y. C. Nieh, J. C. (2014). Imidacloprid Alters Foraging and Decreases Bee Avoidance of Predators. *Plos One*, vol 9, nr 7, sid 8. DOI: 10.1371/journal.pone.0102725.

Tison, L. Hahn, M. L. Holtz, S. Rossner, A. Greggers, U. Bischoff, G. Menzel, R. (2016). Honey Bees' Behavior Is Impaired by Chronic Exposure to the Neonicotinoid Thiacloprid in the Field. *Environmental Science & Technology*, vol 50, nr 13, sid 7218-7227. DOI: 10.1021/acs.est.6b02658.

Tomizawa, M, & Casida, J.E. (2005) Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanism of selective action. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*, vol: 45, sid: 247-268. DOI: 10.1146/annurev.pharmtox.45.120403.095930

Vanbergen, A. J., Baude, M., Biesmeijer, J. C., Britton, N. F., Brown, M. J. F., Brown, M., Bryden, J., Budge, G. E., Bull, J. C., Carvell, C., Challinor, A. J., Connolly, C. N., Evans, D. J., Feil, E. J., Garratt, M. P., Greco, M. K., Heard, M. S., Jansen, V. A. A., Keeling, M. J., Kunis, W. E., Marris, G. C., Memmott, J., Murray, J. T., Nicolson, S. W., Osborne, J. L., Paxton, R. J., Pirk, C. W. W., Polce, C., Potts, S. G., Priest, N. K., Raine, N. E., Roberts, S., Ryabov, E. V., Shafir, S., Shirley, M. D. F., Simpson, S. J., Stevenson, P. C., Stone, G. N., Termansen, M., Wright, G. A. & Insect Pollinators, I. (2013) Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5), 251-259. DOI: 10.1890/120126

Wang, L., Zeng, L. & Chen, J. (2015) Sublethal Effect of Imidacloprid on *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) Feeding, Digging, and Foraging Behavior. *Environmental Entomology*, 44(6), 1544-1552. DOI: 10.1093/ee/nvv127

Whitehorn, P. R. O'Connor, S. Wackers, F. L. Goulson, D. (2012). Neonicotinoid Pesticide Reduces Bumble Bee Colony Growth and Queen Production. *Science* vol 336, nr 6079, sid 351-352. DOI:10.1126/science.1215025

Williams, G. R. Troxler, A. Retschnig, G. Roth, K. Yanez, O. Shutler, D. Neumann, P. Gauthier, L. (2015). Neonicotinoid pesticides severely affect honey bee queens. *Scientific Reports*, vol 5, sid 8. DOI: 10.1038/srep14621.

Woodcock, B. A. Isaac, N. J. B. Bullock, J. M. Roy, D. B. Garthwaite, D. G. Crowe, A. Pywell, R. F. (2016). Impacts of neonicotinoid use on long-term population changes in wild bees in England. *Nature Communications*, vol 7, sid 8. DOI: 10.1038/ncomms12459.