



UPPSALA
UNIVERSITET

Naturliga fiender ger biologiskt växtskydd i hållbara odlingssystem

Maria Johnsson

Independent Project in Biology
Självständigt arbete i biologi, 15 hp, vårterminen 2012
Institutionen för biologisk grundutbildning, Uppsala universitet

Sammandrag

I termen biologiskt växtskydd inbegrips bekämpningsmetoder mot skadedjur som utesluter syntetiskt framställda kemikalier. Framförallt avses utnyttjandet av naturliga fiender till de organismer som reducerar skördar. Kemiska besprutningsmedel skapar problem för miljön, växter och djur inklusive människan påverkas negativt av de artificiella substanserna som inhaleras eller oavsiktligen intas med födan. Flera kemiska ämnen blir kvar länge i mark eller vattendrag och eventuella negativa effekter av den ständiga exponeringen är ännu inte klart utredda. Biologiskt växtskydd inom jordbruket är ett miljövänligare alternativ och en mer hållbar lösning då skadeorganismer sannolikt inte utvecklar resistens mot predatorer och parasiter. Den här uppsatsen uttröner att det idag finns ett par hundra nyttoorganismer för biologisk kontroll på marknaden och ungefär tio procent av jordens åkerarealer är skadedjursreglerade med naturliga fiender. Den relativt hårt reglerade globala marknaden försvårar en utbredd användning av biologiska kontrollorganismer men är delvis befogad då främmande arters påverkan på befintliga näringsvävar är svåra att förutse och en alltför invasiv introducerad art, svår att återkalla. Genom att fokusera på att förbättra förutsättningarna för inhemska naturliga fiender slipper man den typen av riskavvägning.

Inledning

Människan har fram till idag omvandlat stora delar av jordens landyta till högproducerande områden för framställning av material och föda. Det intensiva jordbrukets negativa miljöpåverkan i form av föroreningar, jorderosion, fragmentering och förlust av naturliga habitat står i konflikt med behovet av omfattande matproduktion (Bennett & Saunders 2010). Ett centralt problem är att artrikedomen bland växter och djur hotas av de monokulturer som moderna jordbrukslandskap representerar. När en typ av gröda odlas över stora arealer simplificeras landskapet vilket ändrar förutsättningarna för organismerna i landskapet. Abiotiska faktorer som solstrålning och flöde av vind och vatten förändras samtidigt som det förenklade landskapet går miste om de biotiskt främjande processer som normalt erhålls vid interaktion mellan olika organismer (Bennett & Saunders 2010, Geiger *et al.* 2010). De konstgjorda agrara systemen dominerar landskapsbilden och begränsar inhemska växtlighet varpå tillhörande organismer går förlorade (Timothy *et al.* 2011). Negativa effekter erhålles inte bara i fälten utan sprider sig även till intilliggande miljöer, som till följd minskar den biologiska mångfalden i jordbrukslandskapet världen över (Matson *et al.* 1997). Den intensiva omvandlingen av naturliga habitat till utbredda odlingslandskap anses vara den starkast bidragande faktorn till den globala förlusten av arter (MA 2005).

Homogena odlingar är känsligare mot angrepp av de växtsjukdomar som orsakar problem för jordbrukare (Wilby & Thomas 2002, Timothy *et al.* 2011). Dels tillhandahåller monokulturerna optimala födoförhållanden för utbredning av skadeorganismer, därtill leder degraderingen av diversitet på alla nivåer till att man går miste om de värdefulla ekosystemfunktioner som missgynnar skadegörare (Timothy *et al.* 2011). Den förstärkta risken för utbredning av skadedjur i konventionella odlingar skapar ett ständigt behov av kemiska bekämpningsmedel. Kemikalier har en mängd negativa effekter på miljön samt folkhälsan vilket redogörs för längre fram, dessutom utvecklar skadedjur runt om i världen ständigt resistens mot nya artificiella besprutningsmedel (van Lenteren 2012).

Miljövänligare och mer långsiktiga odlingsmetoder går under samlingsnamnet integrerat växtskydd (på engelska: integrated pest management, IPM). Integrerat växtskydd syftar till att samordna flera effektiva åtgärder för att hantera skadedjur och patogena mikroorganismer med minsta möjliga inverkan på omgivningen både lokalt och globalt (Pande 2010). Biologisk

kontroll, där man utnyttjar ekosystemtjänster i form av naturliga fiender för att reglera skadedjur, är ett centralt begrepp inom IPM för att minimera användningen av kemikalier. Metoden beskrivs som utnyttjandet av en organism för att reducera populationen av en annan organism (Debach 1964). Kontrollen är en mänsklig manipulation av den ömsesidiga påverkan som naturligt råder mellan konkurrerande arter i ett ekosystem. Levande organismer används för att hantera odlingens skadedjur eller konkurrerande växtlighet. Exempel på nyttoorganismer av den här typen är prederande invertebrater, parasiter, fytofager och patogener (Waage *et al.* 1988). Beroende på sammanhang inkluderas andra typer av biologisk bekämpning i termen biologisk kontroll såsom genmodifierade, pestresistenta grödor och ljudtekniker eller doftmolekyler som avskräcker skadegörare (Eilenberg *et al.* 2001).

Det här arbetet syftar till att reda ut begreppet biologisk kontroll av skadegörande insekter med hjälp av naturliga fiender i ett odlings-sammanhang. Jag vill undersöka huruvida denna bekämpningsmetod kan vara en del av en tänkbar framtida lösning i en nödvändig utveckling av ett mer miljövänligt men bibehållet effektivt jordbruk. För att skapa en uppfattning om metodens kapacitet kartläggs modern forskning samt historiska och nutida tillämpningar i fält, såväl framgångsrika som misslyckade. I syfte att motivera ämnesvalet behandlas inledningsvis problematiken kring kemiska bekämpningsmedel. Frågeställningarna är följande:

1. Vilka hot finns kopplade till användningen av kemiska bekämpningsmetoder?
2. Vilken typ av organismer kan nyttjas som vektorer för biologisk kontroll?
3. Vad krävs för framgångsrik biologisk kontroll?
4. Hur stor roll har naturliga fiender som biologiska växtskydd i ett framtida ekologiskt och ekonomiskt hållbart odlings-system?

Effekter av agrikulturell intensifiering och kemikalieanvändning

Utbredningen av åkermark under de senaste hundra åren har varit nödvändigt för att klara av att livnära en mycket hastigt växande befolkning. Mellan år 1700 och 1980 ökade den av människan kultiverade markytan med 466 % (Matson *et al.* 1997). År 2009 var cirka 40 % av jordens totala landyta omvandlad till åkermark (The World Bank Institute 2012). För att ytterligare möta efterfrågan på föda utvecklades under andra världskriget kemiskt framställda insekt- och ogräskydd som gjorde det möjligt att specialisera odlingar och öka produktiviteten per ytenhet. I kombination med konstgödslingsmetoder och manipulerade sädeslag med hög avkastning ledde det fram till vad som under 1960-talet kom att gå under den något motsägelsefulla benämningen ”den gröna revolutionen” (Matson *et al.* 1997).

Artificiella substanser som används för att döda, driva tillbaka eller kontrollera växt- eller djurorganismer som anses vara skadegörare kallas med gemensamt namn för pesticider (NIEHS 2012). Agrara pesticider riktar sig bland annat mot oönskad växtlighet, insekter, kvalster eller nematoder som riskerar att reducera skördar. De delas huvudsakligen in i tre kategorier beroende på målgrupp och är följande; herbicider vilka motverkar ogrästtillväxt, insekticider som behandlar utbrott av växtätande eller parasiterande insekter och fungicider som tacklar svampangrepp, exempelvis mögel (NIEHS 2012).

Kemikalieanvändningen och intensifieringen som den möjliggör för jordbruket anses generellt minska den biologiska mångfalden (Geiger *et al.* 2010). Sedan mitten på 1900-talet har landskapet i Sverige förändrats dramatiskt på grund av intensifiering och specialisering inom både skogs- och jordbruk. Det som tidigare var små gårdar integrerade i ett skogslandskap har idag generellt omvandlats till vidsträckta produktionsfält med enformig växtlighet (Ihse

1995). Traditionella betesmarker vilka hör till landets artrikaste vegetationstyper är starkt hotade av intensifieringen (Bernes 2011). Enligt Ihse (1995) har 67 % av Sveriges naturbetesmarker försvunnit sedan 50-talet och för de som finns kvar utgör fragmentering och hög artificiell näringstillförsel från intilliggande, hårt brukade marker, stor fara.

Vanligen tillförs växtskyddsmedlen genom besprutningsmetoder med dålig specificitet. Pimentel (1995) visar att så lite som 0.1 % av en pesticid som appliceras på odlingar, når den tänkta skadegöraren. Resterande andel av bekämpningsmedlet mynnar ut i kontaminering av mark, luft och vattendrag. Många av kemikalierna har lång nedbrytningstid och ackumuleras högre upp i näringskedjan hos djur och människor, speciellt fåglar och fiskar har visat sig vara känsliga (Tabell 1). Exponeringen för de toxiska ämnena hos människan sker dels direkt då odlare hanterar växtskyddsmedlen, dels indirekt genom födointag och inandning (Pimentel 1995). Vid indirekt exponering lagras rester av pesticiderna i fettvävnader hos människor och djur. Där kan deras samlade endokrina verkan förstärkas så att den överskrider den förväntade additiva effekten och även tillsynes ofarliga ämnen blir skadliga (Vonier *et al.* 1996). Forskare diskuterar i vilken grad kemikalier är relaterade till åkommor som astma, allergier, cancer, neurologiska sjukdomar och fosterdefekter (Schafer & Kegley 2002). Tidiga utvecklingsstadier exponeras direkt för substanserna via moderkakan då många organ ännu är utvecklade och lätt tar skada. Unga individer är sedan extra känsliga på grund av högt födointag per gram kroppsvikt. Aktuell forskning visar samband mellan relativt små intag av organofosfater från besprutade frukt och grönsaker och utveckling av ADHD-symptom hos barn (Kuehn 2010).

Upptag av kemikalier sker genom hud och ögonvävnad, vid inandning och intag av förgiftad föda. Lantbrukare kan drabbas av akuta hälsoeffekter då de hanterar pesticiderna. I mindre utvecklade länder är försiktighetsåtgärder vid hantering samt regleringen av tillåtna kemikalier ofta otillräcklig (Panuwet *et al.* 2012). Världshälsoorganisationen (WHO) beräknar att mer än 350 000 människor avlider varje år på grund av oavsiktlig förgiftning av kemikalier, två tredjedelar av fallen är i utvecklingsländer (WHO 2003). Exempelvis kan direkt exponering för organofosfater orsaka andningssvårigheter, nedsatt syn och okontrollerade muskelkontraktioner (EPA 1999, genom Panuwet *et al.* 2012).

Användningen av pesticider ger i varierande mån skadliga effekter på växter och djur utöver de som är avsedda. Då detta sker samtidigt som deras naturliga habitat ständigt ersätts med homogena odlingslandskap minskar många arter i antal och riskerar att utrotas (Matson *et al.* 1997, Geiger *et al.* 2010, Timothy *et al.* 2011). Fåglar som lever i anslutning till besprutade fält påverkas indirekt när kemiska växtskyddsmedel eliminerar de insekter som är deras födokälla (Taylor *et al.* 2006). Flera ämnen inverkar dessutom negativt på många arters fortplantningsförmåga genom att rubba deras hormonsystem (Vonier *et al.* 1996). Gibbs *et al.* (2009) undersökte samband mellan jordbruk och utrotning av ett antal hotade arter i Kanada. De fann att områden där arter gått förlorade sammanföll med de områden som var mest besprutade. Sambandet var signifikant även då man kontrollerade för mängden förlorade habitat (Gibbs *et al.* 2009).

Förenta nationernas miljöprogram (UNEP) listar 12 av de mest svårnedbrytbara, kemiska ämnen med negativ inverkan på människor och ekosystem (POP). Nio av dem är syntetiskt framställda pesticider, se Tabell 1. Några är extremt toxiska för människor och djur, aldrig kan exempelvis vara dödligt för en vuxen man vid intag över fem gram (Stockholm Convention 2008). Användningen av DDT är ett historiskt exempel på hur gifter ackumuleras i näringskedjan och skapar problem för toppredatorer, det som kallas biomagnifiering. DDT nyttjades flitigt som insekticid efter andra världskriget vilket sammanföll med en drastisk

minskning av rovfågelpopulationer, både till storlek och antal. I slutet på 1950-talet visade forskning att minskningen berodde på nedsatt reproduktiv förmåga hos fåglarna till följd av DDT-resternas förtunnande effekt på fåglarnas äggskal (Newton & Bogan 1974).

Tabel 1. Sammanställning av POP (persistant organic pollutants) använda inom jordbruk. Från UNEP, the Stockholm Convention (2008).

	Användningsområde	Miljöeffekt	Hälsoeffekt	Mänsklig exponering
<i>Aldrin</i>	Termiter, gräshoppor, majsrotbaggar	Dödlig effekt: fåglar fiskar	Dödlig effekt	Kött – och mejeriprodukter
<i>Klordan</i>	Generell insekticid	Dödlig effekt: fåglar och fiskar	Försvagar immunsystemet Cancerogent	Förorenad luft
<i>Dieldrin</i>	Jordbundna skadeorganismer	Toxiskt: fiskar, groddjur (Abnormal fosterutveckling)	Ackumuleras i fettvävnaden	Livsmedel, ex. pastöriserad mjölk
<i>DDT</i>	Generell insekticid	Toxiskt ¹ : fåglar (Reducerad reproduktionsförmåga)	Kroniska hälsoproblem	Livsmedel
<i>Endrin</i>	Kvalster, sorkar	Toxiskt ¹ : fiskar	Inga kända	Inga direkta i dagsläget
<i>Heptaklor</i>	Generell insekticid	Dödlig effekt: fåglar och gnagare	Klassat som möjligt cancerogent ämne	Livsmedel
<i>Hexaklorobensen</i>	Delkomponent i många pesticider Behandling av frön	Toxiskt i större doser för flera arter (Reducerad reproduktionsförmåga)	Dödsfall, hudskador, metaboliska sjukdomar	Livsmedel
<i>Mirex</i>	Myror och termiter	Toxiskt ¹ : fåglar, kräfdjur och växter	Klassat som möjligt cancerogent ämne	Köttprodukter
<i>Toxafen</i>	Generell insekticid	Toxiskt ¹ : fiskar (Reducerad reproduktionsförmåga)	Klassat som möjligt cancerogent ämne	Livsmedel

¹Lång halveringstid i jord (10 år eller mer).

POP-pesticiderna har använts intensivt inom jordbruk över hela världen men står idag under särskild reglering, åtminstone i västvärden. Ämnenas långsamma nedbrytningstid gör dock att de kan transporteras enorma sträckor i akvatiska kretslopp eller i gasform i atmosfären och blir på så sätt kvar i globala system många år efter utsläppen (Wania *et al.* 1996). Även mycket låga doser av POP har en negativ inverkan och oväntat höga halter återfinns i råvaror i länder där de varit förbjudna sedan årtionden (Schafer & Kegley 2002). I Sverige är Kemikalieinspektionen ansvarig myndighet för implementeringen av Stockholmkonventionen rörande POP samt för miljökvalitetsmålet ”giftfri miljö”. Landets mest akuta problem med toxiska kemikalier berör höga dioxinhalter i fisk från Östersjön och i ammande kvinnors bröstmjölk (KEMI 2006).

Biologisk kontroll

Människan är helt beroende av tjänster och varor som naturen tillhandahåller. Utöver det vi direkt skördar, framförallt i form av föda och virke, erbjuder ekosystem bland annat naturlig rening av luft och vatten, återvinning av näringsämnen, reglering av klimatet, pollinering av växter samt estetiska värden (Costanza *et al.* 1997). Ekosystemtjänster har definierats som de processer och förutsättningar i ett ekosystem som bidrar till människans välbefinnande (Daily 1997) och skiljer sig alltså från begreppet ekosystemfunktion som inte involverar människans värderingar. Reglering av växtsjukdomar genom naturliga fiendeorganismer är en typ av ekosystemtjänst som, tillsammans med förmågan att reducera jorderosion, främja jordens goda mikroorganismer och reglera vattenavrinning, är särskilt intressanta för jordbruket (Fiedler *et al.* 2008).

Målet för appliceringen av biologisk kontroll är att få ner de skadegörande populationerna till en nivå där de endast orsakar rimlig ekonomisk skada (Debach 1964). Genom biologisk kontroll bekämpas framförallt (1) skadegörande evertebrater med hjälp av predatorer, patogener och parasiter, (2) ogräs med hjälp av herbivorer och patogener samt (3) växtsjukdomar med antagonistiska mikroorganismer, så kallad inducerad resistens (Eilenberg 2001, Alström 2004). Sådana naturliga fiender kommer hädanefter att benämnas som biologiska kontrollvektorer. Biologisk kontroll delas i de flesta sammanhang in i tre kategorier: klassisk, augmentativ samt bevarande kontroll. Augmentativ biologisk kontroll är en direktöversättning av det engelska begreppet (augmentative biological control) som används i det här arbetet i brist på vedertaget svenskt begrepp. De tre kategorierna överlappar i viss mån med varandra.

Klassisk biologisk kontroll

Det avsiktliga införandet av en exotisk, vanligen co-evolverad, biologisk kontrollvektor för permanent etablering och långsiktig skadedjursbekämpning (Eilenberg *et al.* 2001).

Med klassisk biologisk kontroll avses människans import av organismer vilka används som kontrollerande vektorer för andra exotiska, invasiva arter (Debach 1964). Skadedjur och sjukdomar som bekämpas är ofta oavsiktligt importerade genom människan i ett tidigare skede till platser där de inte har någon naturlig fiende och därför har kunnat sprida sig ohämmat. Sådan växtohyra bekämpas med fiendeorganismer hämtade från den skadegörande populationens ursprungsmiljö (Debach 1964). Relativt få individer av den naturliga fienden introduceras till det nya geografiska området med målet att de snabbt och permanent ska etablera sig i miljön för att skapa varaktig kontroll av skadedjuret (Waage *et al.* 1988, Lenteren 2012).

Människan har länge förstått nyttan med att återskapa ekologiska sammanhang för introducerade arter vilka riskerar att ta över nya områden (Kaaya 1993). På 1800-talet ökade intresset för detta då tilltagande internationell handel och resande resulterade i ökad global spridning av både jordbruksgrödor och deras skadegörare. En av de första riktigt framgångsrika introduktionerna – och något av en milstolpe för fältet biologisk kontroll – var 1888 då *Rodolia cardinalis*, en ursprungligen australiensk nyckelpigeart, lyckades hämma utbredningen av *Icerya purchasi* (sköldlus) bland citrusodlingar i Kalifornien (Debach 1964). *Icerya purchasi* hade oavsiktligt importerats från Australien 20 år tidigare och hotade vid tidpunkten hela Kaliforniens citrusindustri. Inom loppet av två år lyckades *R. cardinalis* få ned populationerna till ofarliga nivåer (Debach 1964). År 1919 myntade professor Harry Smith vid University of California för första gången uttrycket biologisk kontroll (Smith 1919).

Året därpå lyckades man med att introducera en annan biologisk kontrollvektor i Australien. En växt från Sydamerika, *Opuntia ficus-indica* (fikonkaktus) hade etablerat sig som ett extremt invasivt ogräs och orsakade stora förluster av jordbruksarealer (Caltagirone 1981). Med hjälp av artens naturliga fiende, *Cactoblastis cactorum* (kaktusmal), hämtad från Argentina samt *Dactylopius opuntiae* (kochellinlus), kunde man stoppa den aggressiva utbredningen av *O. ficus-indica* (Caltagirone 1981). Både *C. cactorum* och *D. opuntiae* har sedan dess framgångsrikt använts på andra ställen i världen för att reglera *Opuntia spp.*

I slutet på 1920-talet skedde en tredje omtalad introduktion av en biologisk kontrollvektor, denna på Fiji för att rädda öns kokospalmer från *Levuana iridescens* (kokosmal). *Bessa remota* introducerades och lyckades inom ett par år reducera populationen av *L. iridescens* så fullkomligt att den svårligen kunde återfinnas. Det är omdiskuterat i vilken mån introduktionen ledde till en lokal utrotning av den skadegörande malen, som å andra sidan inte heller verkade härstamma från ön (Kuris 2003).

Mellan 1860 och 1980 beräknas mer än 2000 exotiska arter ha introducerats världen över vid ungefär 600 olika tillfällen av skadedjursutbrott, omkring hälften av dessa fall resulterade i introduktionerna i någon grad av reducering av skadedjurspopulationerna (Hall *et al.* 1980). Enligt aktuella beräkningar anses ungefär 10 % av världens jordbruksmarker vara utsatta för behandling med klassisk biologisk kontroll (Lenteren 2012). Då metoden lyckas är den extremt kostnadseffektiv, uppskattningar av kostnad i proportion till förtjänst är så höga som 1: 20-500 (opublicerade data av Lenteren).

Augmentativ biologisk kontroll

Det avsiktliga tillförandet av levande organismer som biologiska kontrollvektorer med förväntningen att de kommer att föröka sig och kontrollera skadegörare under en längre tid, men inte permanent (Eilenberg *et al.* 2001).

En utveckling av den klassiska kontrollen blev möjlig då man kunde föda upp framgångsrika, nyttiga organismer storskaligt. Strategin går ut på att släppa ut större mängder av kontrollorganismer under en begränsad tidsperiod för att snabbt bemästra ett skadedjursutbrott (van Lenteren 2012). Vid den här typen av biologisk skadedjurbekämpning kan kontrollvektorerna vara endera importerade eller inhemska arter. Tillförandet av kontrollvektorer är inte primärt tänkt att resultera i en bestående etablering av den naturliga fienden. Den upprepade tillförseln av naturliga fiender som fodras gör denna metod mer kostsam än den klassiska varianten. Kostnaderna kan ofta likställas med de man har vid kemisk bekämpning (van Lenteren 2012). Det finns två huvudsakliga metoder. Vid den ena släpps mycket stora mängder av den kontrollerande organismen ut i odlingen för att kontrollera en enskild generation av skadegörare, en form av översvämningsteknik (Waage *et al.* 1988). Vid den andra tvingas man periodvis återinföra den kontrollerande organismen, så kallad säsongsbunden inokulering (Waage *et al.* 1988). Vanligen beror detta på att den importerade arten inte klarar av förhållandena i landet året runt, den kan således förväntas kontrollera skadedjur under en säsong.

Idag finns omkring 150 arter av naturliga fiender under kommersiell försäljning dock är tillämpningen av augmentativ biologisk kontroll relativt sparsamt utbredd, 0,4 % av kultiverade marker beräknas vara behandlade med denna växtskyddsmetod (van Lenteren 2012). I Europa har augmentativ biologisk kontroll använts framför allt i växthus där man lätt kan reglera frisläppandet. I en amerikansk utvärdering av augmentativ kontroll i fält visade sig 5 av 31 undersökta tillämpningar av naturliga fiender ha fått ner tätheten av skadedjur under tolerabla gränser (Collier 2004). Fallen berörde bland annat majs, äpple och

sojabönsodlingar. Studien jämförde skillnader mellan augmentativ kontroll och konventionell bekämpning med pesticider och fann att i de flesta (men inte alla) fall verkade kemikalierna effektivare samt till en lägre kostnad (Collier 2004).

Bevarande biologisk kontroll

Förändringar i miljön eller befintliga brukningsmetoder för att skydda och underlätta för naturliga fiender eller andra skadedjursreducerande organismer som redan finns på plats (Eilenberg et al. 2001).

Bevarande biologisk kontroll involverar ingen tillförsel av kontrollerande vektorer utan syftar istället till att bemästra skadedjursutbrott genom att förbättra förutsättningarna för de naturliga fiender som redan finns i omgivningen (Eilenberg 2001). Miljön modifieras för att skydda nyttoorganismerna samt erbjuda dem resurser som kan öka deras effektivitet och förekomst. Framför allt strävar man efter att erhålla mer heterogena miljöer vilket kan bidra till ökad täthet och artrikedom av naturliga fiender. Detta kan bland annat ske genom samodling av olika grödor eller att annan vegetation i anslutning till åkrar tillåts och får fungera som buffertzoner med skydd och föda (Skrivin *et al.* 2011). En annan metod för att främja naturliga fiender är att erbjuda dem alternativa födokällor, till exempel honungsdagg eller artificiella näringssprayer (Jonsson 2008). Det kan vara viktigt eftersom många predatorer är beroende av födokällor förutom deras bytesdjur under tidiga stadier i livet.

Bevarande biologisk kontroll har på senare tid lyfts fram som ett intressant forskningsområde. God kunskap om de naturliga fiendeorganismernas ekologi och de samhällen inom vilka de verkar, såväl som skadedjurens, är nödvändigt för lyckad tillämpning (Jonsson 2008). En av utmaningarna ligger i att finna tekniker som specifikt främjar arter av naturliga fiender utan att samtidigt gynna de skadliga. Baggen *et al.* (1999) gjorde laboratorieexperiment som påvisade hur *Phthorimaea operculella* (potatismal) och en parasitoid till denna, *Copidosoma koehler*, påverkades av tillgång på nektar från fyra olika grödor. *Copidosoma koehler* främjades av alla grödornas närvaro medan det fanns en växt från släktet *Phacelia* som den skadegörande *P. operculella* inte kunde utnyttja. Blommans morfologi gjorde nektaren otillgänglig. Förhållanden av denna typ ger klart bättre förutsättningar för lyckad bevarande biologisk kontroll.

Olika typer av biologiska kontrollvektorer

De organismer som används för att kontrollera skadedjur och växtsjukdomar missgynnar i någon mån den skadliga organismen, de benämns ibland som antagonister. Insekter prederar eller parasiterar på varandra medan nyttiga mikroorganismer i jorden kan konkurrera ut sämre sådana genom antibios (utsöndring av nedbrytande enzymer eller toxiner) (Ahlström 2004). Till de mest välkända organismgrupperna som kan förväntas kunna reglera insektspopulationer genom predation hör nyckelpigor, bönsyrsor, spindlar, fåglar och fladdermöss (Debach 1964). Inom växtodling används ofta insekter och kvalster som biologiska kontrollvektorer för att reglera populationer av skadliga insekter (Debach 1964).

Utöver predatorer är en grupp av biologiska kontrollvektorer parasitoider. Parasitoider är en typ av parasiter som utnyttjar andra organismer genom att lägga ägg och låta dem kläckas och utvecklas inuti värdorganismen vilket slutligen tar död på denna (Smith & Capinera 2000). Detta är en vitt utbredd strategi bland insektsgrupper som steklar och flugor, ofta med komplicerade livscyklar. Då deras värdorganism råkar vara en skadegörande art är parasitoiderna väl lämpade som nyttodjur. I förhållande till prederande nyttodjur är parasitoidernas främsta fördel deras målspecificitet som specialister (Smith & Capinera 2000).

Ytterligare en grupp av biologiska kontrollvektorer är patogener. Här inkluderas mikroorganismer såsom virus, bakterier och svampar vilka orsakar sjukdomar hos sin värdorganism (Ahlström 2004). Även nematoder och protozoer (urdjur) kan verka effektivt emot skadedjur (Lenteren 2010). Det finns en del så kallade bioinsekticider på marknaden som är baserade på patogena mikroorganismer, *Bacillus thuringiensis* är en av de mest använda bakterierna för detta ändamål (Smith & Capinera 2000). Andra markbundna mikroorganismer kan därutöver ha förmågan att avtoxifiera giftiga organiska ämnen eller på andra sätt främja tillväxtprocesser hos växterna och därmed bidra till en ökad skörd (Doran & Zeiss 2000).

Enligt en sammanställning av van Lenteren (2010) finns det fyra taxonomiska insektsgrupper varifrån majoriteten av de biologiska kontrollvektorerna härrör, de är i tur och ordning Hymenoptera (52 %), Acari (13 %), Coleoptera (12 %) samt Heteroptera (8 %). Utöver leddjur utnyttjas ett tiotal arter rundmaskar (Lenteren 2010). Några exempel ses i Figur 1.



Figur 1. Agrikulturella skadedjur och naturliga fiender. Från vänster: larvstadium av *Helicoverpa armigera* (brunaktigt knöfly), en globalt spridd fytofag som orsakar omfattande skador bland annat i bomullsfält; Effektiv predator tillhörande familjen Tetragnathidae (käckspindlar); Coccinellidae (nyckelpigor) ätandes en skadegörande *Acyrtosiphon pisum* (ärtbladlus). Fotografier av Scott Bauer med tillstånd från upphovsrättsinnehavaren (USDA 2012).

Ekologiska förutsättningar för framgångsrik biologisk kontroll

Biologisk mångfald i jordbrukslandskapet

Förutsättningarna för ekosystem att erbjuda människan tjänster som biologisk kontroll är tätt kopplat till biodiversitet (Geiger *et al.* 2010). Man brukar beskriva diversitet på gen-, art-, samt ekosystemnivå och graden av variation på respektive nivå har betydelse för tillgången av ekosystemtjänster (Mooney *et al.* 1995). Genetisk variation inom populationer krävs för att populationer ska klara av att anpassa sig till eventuella miljöförändringar i omgivningen och för att bibehålla en hög artrikedom är det viktigt med olika typer av mikrohabitat inom ekosystemet (Mooney *et al.* 1995). En faktor som man förstått är en grundläggande förutsättning för ekosystem är sammansättningen av mikroorganismer i jorden. År 1998 hölls en stor konferens i USA för att uppmärksamma jorddegradering som ett av jordbrukets främsta globala problem. En uppsamling av konferensen av Doran and Zeiss (2000) ger en bild av god, hälsokraftig jord som basen för allt annat liv. Jordbiotans tillhandahåller för

växterna livsviktiga processer i form av vattenreservoarer, kompostering av växt – och djurrester samt transformation och återvinning av näringsämnen. Det är enormt viktigt eftersom växtsamhällets vitalitet ger så kallade kaskadeffekter uppåt i näringsväven där herbivorer är beroende av primärproduktionen, som i sin tur avgör livsdugligheten hos herbivorens naturliga fiender och så vidare (Doran & Zeiss 2000).

Landskapsstrukturen kan främja den lokala mångfalden och bidra till ökade ekosystemtjänster genom att förbättra förutsättningarna för naturligt förekommande, nyttiga, fiendeorganismer. Man kan erhålla positiva effekter av andelen angripna grödor genom att manipulera odlingar eller deras omgivning (Meeka *et al.* 2002, Skirvin *et al.* 2011). Breda kantzoner med blomväxter eller annan naturlig växtlighet ökar tätheten och diversiteten av invertebrater genom att erbjuda dem alternativa födokällor och skydd (Johnsson *et al.* 2008, Meeka *et al.* 2002). En generell ökning av nyttiga insekter bör i sin tur öka den naturliga kontrollen av skadedjur i intilliggande fält (spillover effect på engelska). Skirvin *et al.* (2011) undersökte hur vegetationszoner inkorporerade i salladsfält i Storbritannien påverkar förekomsten av *Nasonovia ribisnigri* (sallatsbladlus) och fann att antalet bladlöss på salladsplantorna ökade med avståndet till vegetationszonerna. Effekten avtog relativt snabbt, tio meter från blomstren var antalet bladlöss detsamma som för kontrollplantor varför fält av alternativ vegetation i, och inte bara kring, odlingar ansågs värdefullt för den biologiska kontrollen.

Homogena agrikulturella landskap har sämre förutsättningar att erbjuda alternativa övervintringsområden åt insektspopulationer som agerar kontrollvektorer då årliga grödor försvinner vid höstskörden (Björkman & Eklund 2004, Skirvin *et al.* 2011). Enkla åtgärder som att skapa grästäckta åsar i centrala delar av fältet ökar mängd och antal arter av nyttiga insekter avsevärt genom att erbjuda vinterskydd (Thomas *et al.* 1991). Vid Sveriges lantbruksuniversitet har man funnit att tätheten av skadegörande bladbaggar i energiskog av *Salix viminalis* (korgvide) ofta exploderar året efter skörd. Normalt hålls populationerna nere med biologisk kontroll av framförallt *Orthylus marginalis* (skinnbaggar), dessa lämnar inte fälten under vintern varpå de försvinner med skörden medan bladbaggarna som övervintrar i andra miljöer snabbt och obehindrat kan återkolonisera nästkommande vår (Björkman och Eklund 2004). Sådana problem kan lösas genom att lämna kvar mindre bestånd av *Salix*.

Generalister/specialister

Biologisk kontroll med naturliga fiender bygger på kunskap om ekosystemets näringsvävar. Predation är vanligtvis täthetsberoende så till vida att rovdjurets effektivitet i fråga om antal fångade byten är beroende av tillgången på bytesdjur i dess omgivning. Därutöver kategoriseras djur i allmänhet som specialister (monofager) eller generalister (polyfager) beroende på hur smalt eller brett födospektra de har.

Klassisk biologisk kontroll har huvudsakligen varit inriktat på att finna effektiva kontrollvektorer specialiserade på just den art man avser att bekämpa (Clercq 2002). Optimalt utrotas dock inte skadedjurspopulationen helt utan ett lågt individantal blir kvar så att den naturliga fiendeorganismen kan fortleva, under sådana förhållanden skapas varaktiga växtskydd. Specialister är i högre grad beroende av bytespopulationens täthet. Evans och Youssef (1992) undersökte sambandet mellan den spatiala förekomsten av prederande insekter och tätheten av *Acyrtosiphon pisum* (ärtbladlöss) i ett fält av *Medicago sativa* (blålucern). De fann att fält med många bladlöss korrelerade väl med ett högt individantal av en relativt födospecialiserad art av Coccinellidae (nyckelpigor) men däremot inte alls med antalet generalistpredatorer som Nabidae (fältrovskinnbaggar) och arter av Lygaeidae (fröskinnbaggar).

Både generalister och specialister har fördelaktiga egenskaper som kontrollvektorer, där specialister är målspecifika och effektiva är generalister bra på att etablera sig och överleva under knappare förhållanden (Clerq 2002). Organismer med tydliga födopreferenser är känsligare för bland annat fragmentering och miljöförändringar. De får dessutom svårt att överleva om skadedjurspopulationen effektivt bekämpas medan generalister kan introduceras i förebyggande syfte redan innan skadedjuren etablerat sig (Clerq 2002). För augmentativ biologisk kontroll har generalister fördelar som att de är lättare att föda upp i fabriker men de kräver utförligare riskbedömningar i initieringssteget då sannolikheten för att de blir bestående i miljön är stor. Tillförsel av främmande generalister kommer påverka organismer utöver målorganismen i betydligt större utsträckning än vad specialister gör vilket kan leda till oönskad minskning av andra arter (Louda *et al.* 1997, Boettner *et al.* 2000).

Artsammansättningen av kontrollvektorer

Det finns belägg för att hög artrikedom hos biologiska kontrollvektorer kan öka predationen av odlingens skadedjur (Öberg *et al.* 2011). Öberg *et al.* (2011) diskuterar möjligheten att aktiviteten hos flera alternativa fiendepredatorer ökar risktagandet hos bytesdjuret vilket bidrar till en effektivare bekämpning. Deras undersökning fokuserar på två spindelsläkten, *Theridion* och *Pardosa*, som eventuella biologiska kontroller för *Meligethes aeneus* (pollenbagge) i rapsodlingar. I en annan studie visades effektiviteten av den biologiska kontrollen i potatisfält vara främjad av en jämn fördelning mellan nyttiga predatorer och patogener (Crowder *et al.* 2010). Anledningen ansågs vara en kraftfull trofisk kaskadeffekt där plantorna gynnades då den hotande *Leptinotarsa decemlineata* (Coloradoskalbagge) missgynnades som ett resultat av högre överlevnad hos andra *L. decemlineata*-prederande skalbaggar. Den ökade överlevnaden kunde härledas till ett högre födointag per capita genom minskad intraspecifik konkurrens i det mer heterogena predatorsamhället. Jämn fördelning bland kontrollvektorerna ökade grödornas biomassa (Crowder *et al.* 2010).

Sambandet mellan hög diversitet hos nyttiga organismer och framgångsrik reglering av skadedjur är inte entydigt positiva. Med flera generalistarter av naturliga fiender i ett odlingssystem kan den biologiska kontrollen missgynnas på grund av de äter varandra (Snyder & Wise 2001). Hur väl samhället av naturliga fiender fungerar beror i stor utsträckning på hur mycket organismernas födonischer överlappar (Jonsson *et al.* 2008). Skilda nischer antingen i tid (dags – eller årsaktivitet) eller spatialt (olika mikrohabitat) ger fördelaktig effekt på den biologiska kontrollen (Öberg *et al.* 2011). Växksamhällen kan dessutom domineras av olika skadedjur under olika delar av säsongen så att en kontrollvektor som verkar till grödans fördel i början av sommaren skyddar sämre eller kan till och med ha en negativ inverkan under den senare perioden. Snyder och Wise (2001) gjorde försök i två olika grönsaksodlingar (*Cucumis sativus* (gurka) och *Cucurbita pepo* (squash)) med Carabidae (jordlöpare) och Lycosidae (vargspindlar) som reglerande vektorer av växtätande insekter. I dessa familjer finns gott om prederande generalister. Effekten av predatorernas inverkan på den första trofiska nivån (växterna) var beroende av vilken typ av herbivorer som dominerade systemen. I gurkan kunde Carabidae och Lycosidae tillsammans bidra till en reduktion av skadedjuren bara i början av säsongen då en viss typ av herbivor var rikligast förekommande. För squashen motverkades kontrolleffekten under den senare halvan då herbivorsammansättningen förändrades. Carabidae var fortfarande till skadedjurens nackdel medan Lycosidae motverkade kontrolleffekten genom att attackera andra insekter som var med och bidrog till att hålla nere skadedjurspopulationer. Familjerna hade dock ingen direkt negativ inverkan på varandra (Snyder & Wise 2001).

Diversa predatorsamhällen i agrikulturella system är mindre känsliga för störningar vilket bör ses som fördelaktigt. Studien av Crowder *et al.* (2010) kunde bekräfta att ekologiska gårdar i

signifikant högre utsträckning hade en jämnare artfördelning av nyttiga organismer jämfört med konventionella odlingar.

Integrerat växtskydd (IPM)

För optimal biologisk kontroll med naturliga fiender är det fördelaktigt att integrera frisläppandet av kontrollvektorer med strategier och jordbruksmetoder som främjar deras fortlevnad och effektivitet. Integrerat växtskydd (IPM) är en internationell arbetsmetod som tagits fram åt jordbrukare för att sammanföra fyra ofta svårförenliga mål; ekologisk hållbarhet, ekonomisk duglighet, social acceptans och miljösäkerhet (Pande 2010). Specifika IPM-program finns tillgängliga för olika grödor, vilka baserar sig på att odlingar fortlöpande övervakas för att avväga om och när skadedjurspopulationer riskerar att nå en skadlig nivå, först då sätts resurser in med kemiska bekämpningsmedel som en sista åtgärd (Smith & Capinera 2000). Som ett fortsatt steg i åtgärdsprogrammet identifieras skadedjuren noggrant för att undvika att överksamma växtskydd tas i bruk i onödan. Dessförinnan satsas omfattande resurser på att förebygga skadedjursutbrott genom att främja biologisk mångfald bland organismer som kan tillhandahålla nyttiga ekosystemfunktioner. Viktiga preventiva komponenter för IPM är rotation av grödor, val av resistenta varianter av grödor och odlingar med en mer heterogen miljö som gynnar förekomsten av naturliga fiender.

Integrerat växtskydd kan ses som ett ramverk för arbetet med att minimera de skadliga effekter som jordbruket har på miljön. Biologisk kunskap om skadedjurens livscyklar och deras växelverkan med sin omgivning kombineras med hänsyn till samhällsliga aspekter såsom ekonomiska förutsättningar och attityder hos lantbrukare och konsumenter (Pande 2010).

Risker med biologisk kontroll

Faran med att använda sig av levande organismer för att reglera populationer av andra levande organismer är bristen på kontroll av spridning och inverkan av kontrollvektorerna på resten av ekosystemet. De ekologiska riskerna bör således vara i fokus vid utvärderingar. Fall har dokumenterats där importerade biologiska kontrollvektorer har haft en negativ inverkan på inhemska flora och fauna utöver den art som var målet för introduktionen. Boettner *et al.* (2000) utvärderade till exempel en parasitisk generalistfluga, *Compsilura concinnata*, som importerats till USA för att kontrollera en skadegörande art av Saturniidae (påfågelspinnare). Efter undersökningar bedömdes *C. concinnata* även var ansvarig för omfattande reducering av tre andra inhemska och oskadliga malar av samma familj med en faktor uppemot 80 %. Ett annat exempel är den växtätande veveln *Rhinocyllus nicus* som importerats för att kontrollera europeiska tistlar av släktet *Carduus*, bland annat i Nordamerika. I studier har arten visats ge indirekta och direkt negativa effekter på sin omgivning (Louda *et al.* 1997). *Rhinocyllus nicus* breda födonisk och geografiska utbredningsområde har gett upphov till direkt ogynnsam inverkan på andra tistelarter samtidigt med en indirekt minskning av inhemska populationer av Tephritidae (borrflugor) som konkurrerar om samma mikrohabitat som den biologiska kontrollvektorn (Louda *et al.* 1997).

De biologiska kontrollmetoder vilka involverar exotiska fiendeorganismer är de som huvudsakligen förknippas med svåröversedda negativa ekologiska effekter såsom utrotning av andra konkurrerande inhemska arter (Kuris 2003, Müller-Schärer & Schaffner 2008). Marknaden för massproducerade kontrollorganismer är världsomfattande varför tillgängligheten av icke inhemska arter är god och införseln kräver nationell reglering. Då arter som är generalister, helt eller delvis under sin livstid, utnyttjas som kontrollvektorer kan

de själva skapa direkta skador på grödor om skadedjuren eller andra alternativa födokällor blir knappa (Clercq 2002).

För att minimera riskerna med spridning av kontrollvektorer bör det för varje fall göras en riskbedömning angående vektorns inverkan på befintliga arter och näringsvävar. Det moderna tillvägagångssättet för klassisk biologisk kontroll kräver generellt utvärdering av flera faktorer i den aktuella miljön: målorganismens ekologi, möjliga kontrollvektorer och deras specificitet som växtskydd, introduktion och spridning av vektorer samt metodens potential ekologiskt och ekonomiskt (Müller-Schärer & Schaffner 2008).

Statliga regelverk för tillförande av biologiska kontrollvektorer

Det finns internationella och nationella föreskrifter och avtal som syftar till en säker hantering av biologiska kontrollvektorer mellan länder, framförallt för att undvika import av organismer som riskerar att skada miljön, människans hälsa eller den biologiska mångfalden. Till de mest övergripande bestämmelserna hör två internationella konventioner; den internationella konventionen gällande växtskydd (IPPC 1997) samt konventionen om biologisk mångfald (UNEP 1992), där den förstnämnda delvis utgår från den senare.

Länder som har en historisk erfarenhet av negativa effekter i samband med introduktioner av biologiska kontrollvektorer har bättre etablerade regelverk för import av kontrollvektorer. Australien, Kanada, Nya Zeeland och USA är exempel på sådana länder medan Europa som tidigare framförallt varit exportör av kontrollvektorer haft en relativt oreglerad marknad (Hunt *et al.* 2011). I USA kontrollerar naturvårdsverket (EPA) handeln med biologiska kontrollvektorer och där finns effektiva regelverk jämfört med Europa.

I Europa omfattas export och import av mikroorganismer (bakterier, virus) sedan 1991 av EU-direktivet för utsläpp av växtskyddsmedel på marknaden (Rådets direktiv 1991). Bara de preparat som godkänts i enighet med direktivet är tillåtna i medlemsländerna. För handel med makroorganismer som biologiska växtskydd (insekter, nematoder, spindeldjur) finns inte samma övergripande regelverk men den EU-politiska stödorganisationen REBECA (reglering av biologiska kontrollvektorer) jobbar för att samordna och utveckla registreringsprocedurer för makroorganismer (Hunt *et al.* 2011). Ett fåtal länder, Sverige inkluderat, har egna bestämmelser för godkännande och införande av makroorganismer. Kemikalieinspektionen (KEMI) är ansvarigt organ i det fallet.

Diskussion och slutsatser

Det är ett utmanande arbete att göra samlade bedömningar angående hur utbredd användningen av växtskyddstekniker med naturliga fiender är eller skulle kunna bli. Få vetenskapliga rapporter ger siffror på bruk eller tillgängligheten av biologiska kontrollvektorer för lantbrukare.

För den här litteraturöversikten har ett urval gjorts där hänsyn har tagits till både positiva och mer kritiska rapporter. Mitt intryck att en övervägande del av forskarna ser biologisk kontroll som ett huvudsakligt framtida redskap för att klara av att minska användningen av skadliga pesticider (Clercq 2002, Jonsson *et al.* 2008, Lenteren 2012 m.fl.). Antagligen är det inte med dagens produktionsbehov möjligt att helt ersätta kemiska bekämpningsmetoder med biologiskt växtskydd men utökad tillämpning av naturliga fiender i kombination med resistent grödor bör kunna utgöra en större del av skadedjursbekämpningen. Trots att sideffekterna med biologisk kontroll och riskerna associerade med introduktioner av exotiska arter flitigt diskuteras (här: Louda *et al.* 1997, Boettner *et al.* 2000) har naturliga fiender en

enorm fördel gentemot pesticider i fråga om målspecificitet. Flera studier uttrycker en oro för att hård reglering vid införsl av kontrollvektorer i många länder ska komma att bromsa utvecklingen samt tillämpningen av den biologiska kontrollen med naturliga fiender (Clerq 2002, Hunt *et al.* 2011).

Kritiska jämförelser mellan kemisk och biologisk skadedjurskontroll som den av Collier (2004) kan tyckas bortse från långsiktiga och ekologiska förtjänster. Kemiska bekämpningsmedel är effektiva till en relativt låg kostnad och har kraft att omedelbart utplåna skadedjursutbrott. Målet är inte detsamma för biologisk kontroll, där godtas en låg nivå av skördeföruster i utbyte mot att miljön hålls giftfri och ett hållbart jordbruk erhålls. Då man arbetar med bevarande biologisk kontroll i agrara system kan ökningen i diversitet hos naturliga fiender dessutom bidra med andra fördelaktiga ekosystemtjänster såsom cirkulation av näringsämnen, begränsning av jorderosion och ökad biologisk mångfald (Fiedler *et al* 2008, Jonsson *et al.* 2008). Jag skulle anse att en rättvis analys kräver att alla dessa faktorer värdesätts och tas med i bedömningen.

Framtida forskning verkar absolut nödvändig, dels för att finna nya, verkningsfulla biologiska kontrollvektorer, dels för att utveckla metoder för att optimera förutsättningarna för kontrollvektorer efter frisläppandet. Tillförsel av biologiska kontrollvektorer bör kombineras mer med de tekniker som används vid bevarande biologisk kontroll så att de blir så kostnadseffektiva som möjligt. Det kräver mycket kunskap från odlarnas sida, där är programmen för integrerat växtskydd viktiga verktyg. Dessutom krävs ytterligare förståelse kring agrara näringsvävar och hur fördelningen av arter i dessa påverkar varandra. Exempelvis leder modifieringar av miljön som ökar förekomsten av naturliga fiender inte nödvändigtvis till ökad kontroll av skadedjur. Som i Snyder och Wises (2001) studie kan olika arter av naturliga fiender ha en negativ inverkan på varandra. Organismerna som nyttjas är sällan begränsade till de fält där de ska appliceras varför det är viktigt att arbeta utifrån ett landskapsperspektiv.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min tålmodiga och inspirerande handledare Katariina Kiviniemi. Dessutom vill jag tacka mina medstudenter Adam Ekholm, Oscar Edwards, Per Lundberg och Linn Holmstedt för värdefulla kommentarer och uppmuntran under arbetets gång. Sist ett tack för tillåtelsen att använda bilder från forskningsenheten vid USAs jordbruksdepartement (USDA), tagna av Scott Bauer.

Referenser

- Ahlström S. 2004. Biologisk bekämpning av sjukdomar i jordbruksgrödor. Faktablad om växtskydd. Jordbruk (1100-5025). Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Baggen LR, Gurr GM, Meats A. 1999. Flowers in tri-trophic systems: mechanisms allowing selective exploitation by insect natural enemies for conservation biological control. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **91**: 155–161.
- Bennett AF, Saunders DA. 2010. Habitat fragmentation and landscape change. I: Sodhi NS, Erlich PR. *Conservation biology for all*, ss 88-106. Oxford university press inc., New York.
- Bernes C. 2011. Biologisk mångfald i Sverige. Naturvårdsverket, Solna.
- Björkman C, Eklund K. 2004. Harvesting disrupts biological control of herbivores in a short-rotation coppice system. *Ecological Applications* **14**: 1624-1633

- Boettner GH, Elkinton JS, Boettner, CJ. 2000. Effects of a biological control introduction on three nontarget native species of saturniid moths. *Conservation biology* **14**: 1798-1806
- Caltagirone LE. 1981. Landmark examples of biological control. *Annual Review of Entomology* **26**: 213-232
- Clercq PD. 2002. Dark clouds and their silver linings: Exotic generalist predators in augmentative biological control. *Neotropical Entomology* **31**: 169-176.
- Collier T, Steenwyk R. 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control* **31**: 245-246.
- Costanza R, d'Arge R, deGroot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* **387**: 253-260.
- Crowder DW, Northfield TD, Strand MR, Snyder WE. 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. *Nature* **466**: 109-112.
- Daily GC. 1997. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington DC.
- DeBach P. 1964. *Biological control of insect pests and weeds*. Chapman and Hall, London.
- Doran JW, Zeiss MR. 2000. Soil and health sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* **15**: 3-11.
- Eilenberg J, Hajek A, Lomer C. 2001. Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl* **46**: 387-400.
- Evans EW, Youssef NN. 1992. Numerical responses of aphid predators to varying prey density among Utah alfalfa fields. *Journal of the Kansas Entomological Society* **65**: 30-38.
- FAO. 2009. *How to feed the world in 2050: Global agriculture towards 2050*. WWW-dokument:
http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/HLEF2050_Global_Agriculture.pdf. Hämtad 2012-07-23.
- Fiedler AK, Landis DA, Wratten SD. 2008. Maximizing ecosystem services from conservation biological control: the role of habitat management. *Biological Control* **45**: 254-271.
- Geiger F, Bengtsson J, Berendse F, Weisser WW, Emmerson M, Morales MB, Ceryngier P, Liira J, Tschamntke T, Winqvist C, Eggers S, Bommarco R, Pärt T, Bretagnolle V, Plantegenest M, Clement LW, Dennis C, Palmer C, Onate JJ, Guerrero I, Hawro V, Aavik T, Thies C, Flohre A, Hänke S, Fischer C, Goedhart PW, Inchausti P. 2010. Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* **11**: 97-105.
- Gibbs KE, Mackey RL, Currie DJ. 2009. Human land use, agriculture, pesticides and losses of imperiled species. *Diversity and Distributions* **15**: 242-253.
- Hall RW, Ehler LE, Bisabri-Ershadi B. 1980. Rate of success in classical biological control of arthropods. *Bulletin of the Entomological Society of America* **26**: 111-114
- Hunt EJ, Antoon JM, Loomans, Kuhlmann U. 2011. *An international comparison of invertebrate biological control agent regulation: What can Europe learn? I: Ehleres R-U, Regulation of biological control agents, 1th ed, ss.79-112*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Ihse M. 1995. Swedish agricultural landscapes - patterns and changes during the last 50 years, studied by aerial photos. *Landscape and Urban Planning* **31**: 21-37.
- Jonsson M, Wratten SD, Landis DA, Gurr GM. 2008. Recent advances in conservation biological control of arthropods by arthropods. *Biological Control* **45**: 172-175.
- Kaaya GP. 1993. Achieving sustainable food production in Africa: Roles of pesticides and biological control agents in integrated pest management. *Insect Science and its Application*. **15**: 223-234.

- KEMI. 2006. National implementation plan for the Stockholm convention on persistent organic pollutants for Sweden. Report 4/06. Kemikalieinspektionen, Stockholm.
- Kuehn BM. 2010. Increased risk of ADHD associated with early exposure to pesticides, PCBs. *Journal of the American Medical Association* **304**: 27-28.
- Kuris AM. 2003. Did biological control cause extinction of the coconut moth, *Levuana iridescens*, in Fiji? *Biological Invasions* **5**: 133–141.
- Louda SM, Kendall D, Connor J, Simberloff D. 1997. Ecological effects of an insect introduced for the biological control of weeds. *Science* **277**: 1088–1090.
- Matson PA, Parton W J, Power A G, Swift M J. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* **227**: 504-509.
- Meeka B, Loxtonb D, Sparksa T, Pywella R, Picketta H, Nowakowskic M. 2002. The effect of arable field margin composition on invertebrate biodiversity. *Biological Conservation* **106**: 259–271.
- MA, Millennium Ecosystem Assessment. 2005. What are the current trends and drivers of biodiversity loss? I: Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis, ss. 42-59. World Resources Institute, Washington, DC.
- Mooney H, Lubchenco J, Dirzo R, Sala O. 1995. Biodiversity and ecosystem functioning: basic principles. I: Heywood V. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press.
- Müller-Schärer H, Schaffner U. 2008. Classical biological control: exploiting enemy escape to manage plant invasions. *Biological Invasions* **10**: 859–874.
- Newton II, Bogan JJ. 1974. Organochlorine residues, eggshell thinning and hatching success in British sparrowhawks. *Nature* **249**: 582-583.
- NIEHS, National institute of environmental health science. 2012. Pesticides. WWW-dokument: <http://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/pesticides/index.cfm>. Hämtad 2012-04-06.
- Panuwet P, Siriwong W, Prapamontol T, Ryan B, Fiedler N, Robson MG, Barr DB. 2012. Agricultural pesticide management in Thailand: status and population health risk. *Environmental Science & Policy* **17**: 72-81.
- Pimentel D. 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* **8**: 17-29.
- Pande YD. 2010. Philosophy of integrated pest management. I: Sharma GD. 2010. *Integrated Pest Management*. Global Media, Delhi. (e-bok)
- Rådets direktiv. 1991. Council directive concerning the placing of plant protection products on the market 91/414/EEC. WWW-dokument <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0414:en:NOT>. Hämtad 2012-05-23.
- Schafer KS, Kegley SE. 2002. Persistent toxic chemicals in the US food supply. *Journal of Epidemiology and Community Health* **56**: 813-817.
- Skirvin DJ, Kravar-Garde L, Reynolds K, Wright C, Mead A. 2011. The effect of within-crop habitat manipulations on the conservation biological control of aphids in field-grown lettuce. *Bulletin of Entomological Research* **101**: 623-631.
- Smith HA, Capinera JL. 2000. ENY-822 (IN120) Natural Enemies and Biological Control. WWW-dokument 2011: <http://edis.ifas.ufl.edu/in120>. Hämtad 2012-04-26.
- Smith HS. 1919. On some phases of insect control by the biological method. *Journal of Economic Entomology* **12**: 288–292.
- Snyder WE, Wise HW. 2002. Contrasting trophic cascades generated by a community of generalist predators. *Ecology* **82**: 1571-1583.

- Stockholm Convention. 2008. The 12 initial POPs under the Stockholm Convention. WWW-dokument:
<http://chm.pops.int/Convention/ThePOPs/The12InitialPOPs/tabid/296/Default.aspx>.
 Hämtad: 2012-04-06.
- Taylor RL, Maxwella BD, RJ Boikb. 2006. Indirect effects of herbicides on bird food resources and beneficial arthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **116**: 157–164.
- The World Bank Institute. 2012. Agriculture and rural development data. WWW-dokument 2009: <http://data.worldbank.org/topic/agriculture-and-rural-development>. Hämtad 2012-03-29.
- Thomas MB, Wratten SD, Sotherton NW. 1991. Creation of island habitats in farmland to manipulate populations of beneficial arthropods: predator densities and emigration. *Journal of Applied Ecology* **28**: 906-917.
- Timothy DM, Werling BP, Landis DA, Gratton C. 2011. Agricultural landscape simplification and insecticide use in the midwestern United States. *PNAS* **15**: 11500-11505
- UNEP. 1992. The convention on biological diversity. WWW-dokument: <http://www.cbd.int/>. Hämtad 2012-05-23.
- USDA. 2012. United States department of agriculture: photo gallery. WWW-dokument: <http://www.ars.usda.gov/is/graphics/photos/>. Hämtad 2012-05-25.
- van Lenteren JC. 2012. The state of commercial augmentative biological control: Plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl* **57**:1–20.
- Vonier PM, Crain DA, McLachlan JA, Guillette LJ, Arnold SF. 1996. Interaction of environmental chemicals with the estrogen and progesterone receptors from the oviduct of the American alligator. *Environmental Health Perspectives* **104**: 1318-1322.
- Waage JK, Greathead DJ, Brown R, Paterson RRM, Haskell PT, Cook RJ, Krishnaiah K. 1988. Biological control: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **318**: 111-128.
- Wania F, Mackay D. 1996. Tracking the distribution of persistent organic pollutants. *Environmental Science & Technology* **30**: 390A–396A.
- WHO (World Health Organization). 2003. The world health report. Shaping the future. WHO, Geneva.
- Wilby A, Thomas MB. 2002 Natural enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* **5**: 353-360.
- Öberg S, Cassel-Lundhagen A, Ekbom B. 2011. Pollen beetles are consumed by ground- and foliage dwelling spiders in winter oilseed rape. *Entomoliga Experimentalis et Applicata* **137**: 256-262.