



LUNDS
UNIVERSITET

Ekologiska risker och möjligheter med *Bacillus thuringiensis* - grödor: en systematisk litteraturstudie

Ecological risks and benefits with *Bacillus thuringiensis* - crops: a systematic literature study



Johan Ekefäll

Magisterarbete 15 hp

Lund Universitet 2026

MVEM03 Miljö- och hälsoskydd: Examensarbete för magisterexamen

Ekologiska risker och möjligheter med *Bacillus thuringiensis*-grödor: en systematisk litteraturstudie

Ecological risks and benefits with *Bacillus thuringiensis*-crops: a systematic literature study

Johan Ekefäll

Handledare: Ilhami Alkan Olsson

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Magister

Kurstitel: Examensarbete för magisterexamen

Kurskod: MVEM03

Utgivningsort: Lund

Utgivningsår: 2026

Omslagsbild: Scanpix

Innehållsförteckning

Abstract.....	1
Populärvetenskaplig sammanfattning.....	2
1. Inledning.....	3
1.1. Kunskapslucka.....	4
1.2. Forskningsläge.....	4
1.3. Syfte och forskningsfrågor.....	4
2. Metod.....	5
2.1 Avgränsningar.....	5
2.2. Sökstrategi.....	5
2.3. Urvalsprocess.....	6
2.4. Analysmetod.....	7
2.5. Dataextrahering.....	8
2.6 Översikt artiklar.....	8
2.7 Jämförelse mellan studierna.....	8
3. Resultat.....	9
3.1. Översikt av identifierade teman.....	9
3.2. Ekologiska risker kopplade till Bt-grödor.....	10
3.2.1 Insektsresistens.....	10
3.2.2 Påverkan på icke-målorganismer (NTOs).....	12
3.2.3 Ekologiska möjligheter kopplade till Bt-grödor.....	13
4. Diskussion.....	15
4.1. Huvudfynd.....	15
4.2 Resultat reflektion – Varför ser mönstren ut så här?.....	17
4.3 Begränsningar & implikationer – Vad kan man inte säga säkert?.....	17
4.4 Vad betyder resultaten för fortsatt forskning/praktik?.....	18
Referenser.....	19

Abstract

This study examines the ecological risks and benefits of *Bacillus thuringiensis*-crops (Bt crops) through a systematic literature review. The aim is to analyse what ecological risks and benefits are highlighted in current research on Bt crops. The study focuses especially on insect resistance, effects on non-target organisms, and ecological effects in comparison with conventional farming systems.

The results show that one of the clearest ecological risks linked to Bt crops is that some pest insects can develop resistance. Several studies show that resistance has developed in some cases, while others show that this does not always happen. The results vary depending on factors such as species, crop type, and farming conditions. Another recurring theme in the research is the effect on non-target organisms. Most of the studies included in this review show small or non-significant negative effects, but there are also examples where certain organisms may be affected under specific conditions.

The study also shows that Bt crops can offer ecological benefits. Compared with crops treated with chemical insecticides, Bt crops may contribute to reduced pesticide use, lower greenhouse gas emissions, and in some cases a higher abundance of beneficial organisms in the farming environment.

At the same time, the review shows that the research does not always present the same picture. The differences between the studies can largely be understood in relation to the methods used, the organisms studied, the ecological level examined, and the environmental context of the studies.

Overall, the study shows that Bt crops are linked to both ecological risks and ecological benefits. The clearest risk concerns insect resistance, while the effects on non-target organisms are usually limited but cannot be fully excluded. The study also shows that more long-term and methodologically robust research is needed to provide a clearer understanding of the ecological effects of Bt crops.

Nyckelord: GMO, Bt, *Bacillus thuringiensis*, insektsresistens, icke-målorganismer

Key words: GMO, Bt, *Bacillus thuringiensis*, insect resistance, Non target organisms

Populärvetenskaplig sammanfattning

Denna studie undersöker ekologiska risker och möjligheter med *Bacillus thuringiensis* grödor (Bt-grödor) genom en systematisk litteraturstudie. Syftet är att, utifrån aktuell forskning, analysera vilka ekologiska risker och möjligheter som kopplas till odling av Bt-grödor. Studien fokuserar särskilt på insektsresistens, påverkan på icke-målorganismer samt ekologiska effekter i jämförelse med konventionella odlingssystem.

Resultaten visar att en av de tydligaste ekologiska riskerna med Bt-grödor är att vissa skadeinsekter kan utveckla resistens. Flera studier visar att resistens har uppstått i vissa fall, medan andra visar att det inte alltid sker. Resultaten varierar beroende på bland annat art, gröda och odlingsförhållanden. Ett annat återkommande tema i forskningen är påverkan på icke-målorganismer. De flesta studier som ingår i denna litteraturstudie visar små eller inga signifikanta negativa effekter, men det finns också exempel där vissa organismer påverkas under särskilda förhållanden.

Studien visar också att det finns ekologiska möjligheter med Bt-grödor. Jämfört med grödor som behandlas med kemiska insektsmedel kan Bt-grödor bidra till minskad användning av bekämpningsmedel, lägre utsläpp av växthusgaser och i vissa fall en större förekomst av nyttiga organismer i odlingsmiljön.

Samtidigt visar genomgången att forskningen inte alltid ger samma bild. Skillnaderna mellan studiernas resultat kan till stor del förstås utifrån vilka metoder som använts, vilka organismer som har studerats, vilken ekologisk nivå som undersökts samt i vilken miljöstudierna har genomförts.

Sammanfattningsvis visar studien att Bt-grödor är kopplade till både ekologiska risker och ekologiska möjligheter. Den tydligaste risken handlar om insektsresistens, medan påverkan på icke-målorganismer oftast verkar vara liten men inte helt kan uteslutas. Studien visar också att det behövs fler långsiktiga och metodologiskt starka studier för att ge en tydligare bild av Bt-grödors ekologiska effekter.

1. Inledning

Människan har domesticerat grödor i tusentals år genom att välja egenskaper baserat på grödans kvalitet, avkastning och resistens mot sjukdomar för att sedan para grödorna med varandra för att få fram en gröda med dessa förbättrade egenskaper (Vicini, 2017). Det var år 1995 som GM-grödor (Genetiskt modifierade) blev godkända för kommersiellt bruk och har sedan dess inte visat sig vara någon fara för människan (Goodman, 2024). Idag är åtta olika grödor odlade i USA, dessa är majs, sojabönor, bomull, raps, alfalfa, sockerbetor, papaya och ett flertal varianter av squash, vars egenskaper varierar från ogräsmedel-tolerans, insektsresistens, ökad tolerans mot torka, sjukdomsresistens eller reducerat lignin (Vicini, 2017).

Grödor som klassas som GMO har blivit implementerade med gener från en annan art eller organism för att få fram dess fördelaktiga egenskaper (Vicini, 2017). Det är främst två olika genetiskt modifierade egenskaper som har blivit kommersialiserade, HT (Tolerans mot ogräsmedel), samt Bt (*Bacillus thuringiensis*) som gör vissa grödor resistenta mot framförallt insektsangrepp från ordningen fjärilar (*Lepidoptera*) och skalbaggar (*Coleoptera*) genom att kunna uttrycka ett visst insekticid-protein från Bt (Noack et al, 2024). Som därmed resulterar i ingen eller låg skada på *Bacillus thuringiensis* grödan (Bt-grödan).

På grund av specificiteten av Bt-proteiner kan andra insekter som till exempel leddjur hjälpa till vid bekämpning av andra skadedjur på grödor, såsom bladlöss. Utöver förmågan att attrahera leddjur som i sin tur bekämpar bladlöss, kan Bt-grödor även reducera svampangrepp (Carzoli et al, 2018). Den första Bt-grödan var en potatissort som var resistent mot coloradoskalbaggen (*Leptinotarsa decemlineata*) (Pogodzińska, 2020). För att skydda sina grödor mot insektsangrepp och sjukdomar, använder många bönder världen över kemikalier. Flera av dessa kemikalier har negativ påverkan på miljön och på oss människor som konsumerar dessa grödor. Forskningens framsteg inom GMO har lyckats framställa GM-grödor, som har skapats specifikt för att kunna motstå skadeangrepp, utan användningen av kemikalier (Platani et al, 2022).

Inom den Europeiska unionen kultiveras GM-grödor enbart i ett fåtal länder, med strikta regler. Framförallt Spanien hade enorma problem med majsmott (*Ostrinia nubilalis*). Denna insekt orsakade stora skador på grödan, som till slut gav vika och föll samman. Tack vare Bt-varianten Monsanto MON 810, kunde detta problem undvikas (Pogodzińska, 2020). Trots att GMO har visat flera fördelar och inga negativa effekter på människans hälsa, så är flera

europiska länder skeptiska, som leder till restriktiva politiska beslut för framtida odlingar av GMO (Pogodzińska, 2020).

1.1. Kunskapslucka

Det finns en stor och växande mängd forskning som berör detta område, men den är ofta spridd och fragmenterad mellan olika ekologiska nivåer och forskningsinriktningar. En del av litteraturen fokuserar till exempel på processer på individnivå, såsom beteende, fysiologiska anpassningar eller interaktioner mellan olika organismer. Andra studier inriktar sig på populationsnivån och undersöker dynamik, reproduktion, genetisk variation eller populationsstruktur. Ytterligare forskning sker på ekosystemnivå, där fokus ligger på näringskedjor, energiflöden och ekosystemtjänster. Utöver dessa nivåskillnader finns det också en uppdelning mellan olika organismgrupper som exempelvis växter, djur, svampar och mikroorganismer. Resultaten från en grupp eller nivå är inte alltid direkt överförbara till en annan, vilket kan försvåra översikten och helhetsförståelsen. Sammantaget innebär detta att även om forskningen inom området är omfattande så saknas ibland integrerande perspektiv som binder samman de olika nivåerna och organismgrupperna. För att få en mer komplett förståelse krävs därför fler tvärvetenskapliga studier som kan skapa en sammanfattning av tidigare forskningsresultat.

1.2. Forskningsläge

Forskningen kring Bt-grödors ekologiska effekter visar ett brett spektrum av resultat, där vissa studier lägger tonvikten på miljönytta och andra pekar på risker och osäkerheter. Fältet präglas därför av oenighet och variation i slutsatser beroende på metod, art, geografiskt område och tidsperiod.

1.3. Syfte och forskningsfrågor

Syftet med denna uppsats är att, utifrån aktuell forskning, undersöka vilka ekologiska risker och möjligheter som kopplas till odling av Bt-grödor. Studien fokuserar särskilt på insektsresistens, påverkan på icke-målorganismer samt ekologiska effekter i jämförelse med konventionella odlingssystem. Uppsatsen syftar också till att analysera hur och varför forskningsresultaten skiljer sig åt mellan olika studier.

1. Vilka ekologiska risker och möjligheter med Bt-grödor framkommer i aktuell forskning?
2. Hur skiljer sig forskningen åt i sina bedömningar av Bt-grödors ekologiska effekter, och hur kan dessa skillnader förstås?

2. Metod

Denna uppsats genomförs som en systematisk litteraturstudie med avsikt att identifiera, kritiskt granska och syntetisera tidigare forskning rörande ekologiska risker och möjligheter kopplade till Bt-grödor. Den systematiska metodansatsen möjliggör en transparent, strukturerad och reproducerbar genomgång av det aktuella forskningsläget och är särskilt ändamålsenlig för områden där empiriska resultat uppvisar variation mellan olika studier och kontextuella förhållanden (Pope et al, 2006).

2.1 Avgränsningar

Denna studie har fokuserat på att använda artiklar från 2012-2025 för att fånga den moderna utvecklingen och därmed undvika förlegade metoder. Studien har även avgränsats till USA och Europa där Bt-grödor är särskilt relevanta. USA och Europa valdes eftersom majoriteten av empiriska studier av Bt-grödor är genomförda där och databaserna gav flest relevanta träffar för dessa regioner. Efter att ha läst sammanfattningen av studierna så sorterades flera bort på grund av att de studier som faktiskt gjorts, inte hade gjorts i Europa eller USA även om en geografisk avgränsning som omfattade Europa och USA hade verkställts. Det var även flera studier som visade en sammanfattning, men som tyvärr inte kunde hittas i databasen, så även de blev bortsorterade.

2.2. Sökstrategi

Sökstrategin har genomförts i fyra iterativa steg.

1. För att hitta relevanta studier så användes artiklar som innehöll sökord och nyckelbegrepp som: Bt crops study, Bt crops, Bt crops AND ecological effects, Bt crops AND ecological possibilities, Bacillus thuringiensis AND soil AND effect, Risks and opportunities of GM crops, GMO crops och Insect Pests AND Bt Crops AND the United States. Sökningen gjordes 1-10 december 2025. På PubMed kunde inte regionfilter appliceras, därför fick artiklarna gås igenom manuellt efter sökning. Antalet träffar för PubMed är gjort utan regionfilter.

2. Booleska operator som AND användes för att avgränsa sökningar och inkludera relaterade termer.

3. Filter och avgränsningar gjordes för årtalen 2012-2025 för att fånga den moderna utvecklingen och undvika äldre studier. Samt filtrerades sökningen till enbart engelska och för regionerna Europa och USA.

4. Databaser som användes var Web of science och Pubmed. Dessa databaser gav flest resultat med mest relevant information för denna studie (se tabell 1).

Tabell 1. Översikt över sökord och antal träffar i PubMed respektive Web of Science

PubMed Antal träffar	Web of Science Antal träffar
Bt crops, 1354	Bt crops, 1526
Bt crops study, 819	Bt crops study, 811
Bacillus thuringiensis AND soil AND effect, 354	Bacillus thuringiensis AND soil AND effect, 201
Bt crops AND ecological effects, 96	Bt crops AND ecological effects, 88
Bt crops AND ecological possibilities, 9	Bt crops AND ecological possibilities, 15
Risks and opportunities of GM crops, 32	Risks and opportunities of GM crops, 31
GMO crops, 1044	GMO crops, 351
Insect Pests AND Bt Crops AND the United States, 184	Insect Pests AND Bt Crops AND the United States, 153

2.3. Urvalsprocess

Dubbletter togs bort under urvalsprocessen av relevanta studier, titel och abstrakt lästes för att kunna sortera bort irrelevanta artiklar. I majoriteten av de utvalda artiklarna så lästes hela studien för att säkerställa att alla kriterier för denna studie uppnåddes. Manuell sökning gjordes även på flera av de artiklar som hade valts ut för att kunna hitta ännu mer relevant information. Vetenskapliga studier inkluderades om de var publicerade i vetenskapligt granskade tidskrifter, undersökte miljömässiga konsekvenser av Bt-grödor och var genomförda i Europa eller USA. Om studierna saknade empiriskt underlag, inte redovisade miljömässiga effekter eller låg utanför det avgränsade geografiska området så exkluderades studierna.

Steg 1 – Tog bort dubbletter

Steg 2 – Titelgranskning

Steg 3 – Abstraktgranskning

Steg 4 – Fulltextgranskning

Steg 5 – Exkluderingsorsaker (ej empirisk, ej relevans, ej rätt region)

Efter att filter för region, årtal och språk hade applicerats gav de samlade sökningarna i PubMed och Web of Science totalt 7068 sökträffar. Eftersom flera av sökningarna överlappade varandra förekom samma artikel i flera sökresultat. Siffran 7068 motsvarar därför inte 7068 unika artiklar och ska inte förstås som antalet artiklar som granskades individuellt. Överlappningar och dubletter kontrollerades manuellt under urvalsprocessen.

Det första urvalet gjordes genom att titlarna på cirka 200 artiklar granskades, främst från de mest relevanta sökresultaten. Efter denna granskning återstod cirka 80 artiklar som gick vidare till abstraktgranskning. Därefter valdes cirka 40 artiklar ut för mer noggrann läsning. Flera av dessa valdes bort eftersom de inte passade studiens fokus tillräckligt väl. Totalt 27 artiklar användes för att presentera en bredare överblick över forskningsfältet, medan 14 artiklar slutligen inkluderades i den fördjupade analysen.

Eftersom det inte var möjligt att läsa samtliga sökträffar i fulltext valdes artiklar som tydligt låg utanför studiens syfte bort. Detta gällde exempelvis artiklar som inte behandlade Bt-grödor, ekologiska effekter, påverkan på icke-målorganismer eller som saknade relevant vetenskapligt innehåll. Antal citeringar användes som stöd för att identifiera centrala artiklar, men det huvudsakliga urvalskriteriet var artiklarnas relevans för studiens syfte och forskningsfrågor.

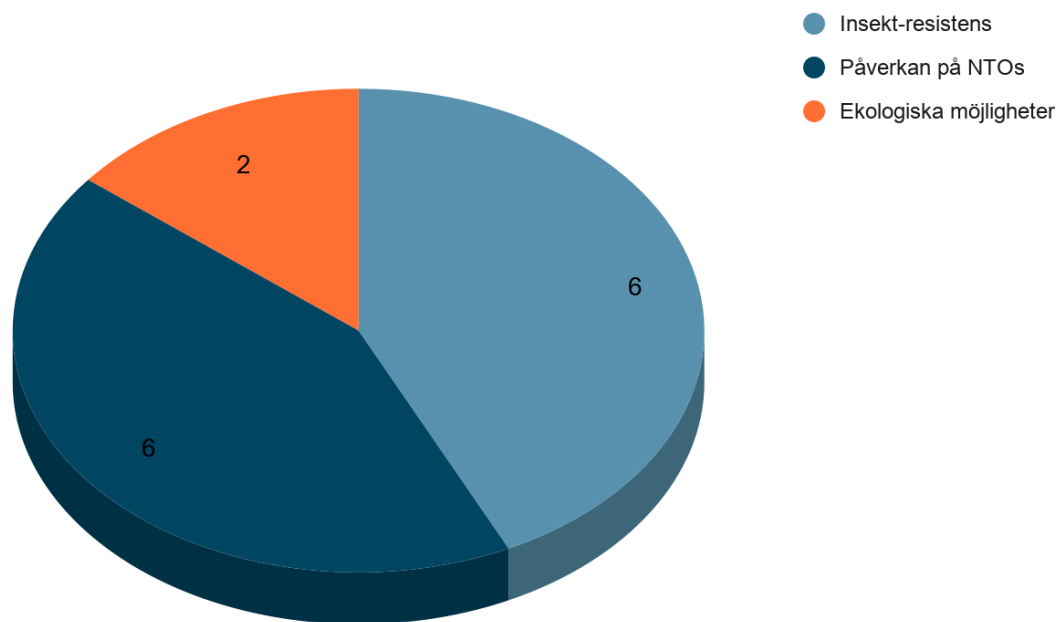
2.4. Analysmetod

Själva analysen gjordes i flera steg. Titeln och abstraktet lästes först i samtliga studier, detta gjordes för att hitta de olika ekologiska teman som är kopplade till Bt-grödor. Efter att ha gjort detta så lästes de återstående delarna av artiklarna och de viktiga avsnitten markerades för att kunna sorteras tematiskt. De olika temana justerades och utvecklades i samband med att fler studier analyserades. Studiernas syfte, metod och huvudsakliga slutsatser jämfördes för att kunna hitta likheter och skillnader mellan resultaten. Därefter kunde studierna sorteras in i olika teman. Skillnaderna i forskningsresultaten analyserades genom att sättas i relation till studiernas metodologiska ansatser, de undersökta organismerna samt de ekologiska nivåerna. Teman som är relevanta för studien som Insektsresistens, Påverkan på NTOs och Ekologiska möjligheter kunde enkelt väljas ut efter att ha läst titeln och sammanfattningen. Flera artiklar sällades bort för att de var väldigt korta eller för att resultatet saknades.

2.5. Dataextrahering

Från varje inkluderad artikel extraherades centrala informationskomponenter, innefattande studiens övergripande syfte, den metodologiska ansats som tillämpats, urvalsstrategi och provtagningsdesign, den ekologiska organisationsnivå som studien fokuserade på (exempelvis individ-, populations-, samhälls- eller ekosystemnivå), samt de huvudsakliga resultat och slutsatser som presenterades. Detta möjliggjorde en systematisk och jämförbar analys av forskningens innehåll och kvalitet.

2.6 Översikt artiklar



Figur 1. Diagram över fördelningen av de utvalda artiklarna för denna studie. Totalt 14 artiklar.

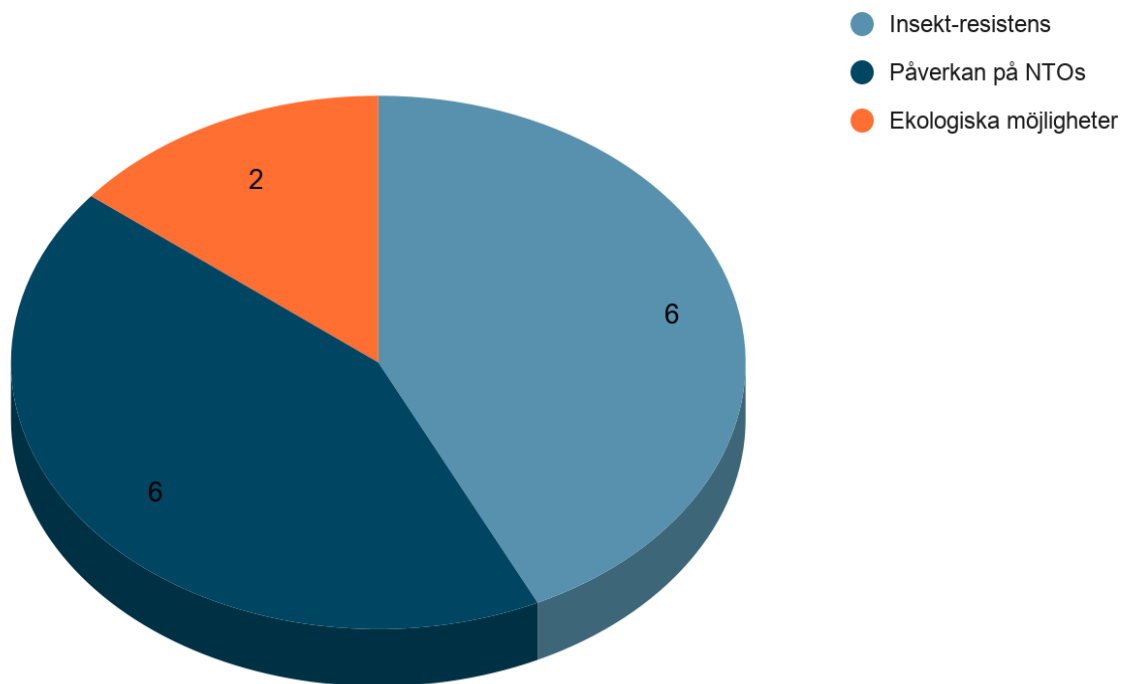
2.7 Jämförelse mellan studierna

Flera av de utvalda studierna har undersökt om insektsresistens uppstår vid odling av Bt-grödor. Andra studier försöker ta reda på om NTOs (Non-target organisms) skadas vid odling av Bt-grödor. Andra studier jämför om odling av Bt-grödor jämfört med icke-Bt-grödor, möjligtvis påverkar mängden av mykorrhiza i jorden. Det var även flera studier som har djupdykt i hur sekundära pester kan påverka Bt-grödor och hur jordorganismer kan påverkas.

3. Resultat

Analysen av 14 vetenskapliga artiklar visar resultat som visar de ekologiska effekter av Bt-grödor. Den här analysen visar att forskningen kan organiseras kring en mängd olika teman som berör ekologiska risker och möjligheter. I detta kapitel redovisas dessa teman samt de övergripande mönster som kan identifieras i forskningen.

3.1. Översikt av identifierade teman



Figur 2. Diagram över fördelningen av de utvalda artiklarna för denna studie. Totalt 14 artiklar.

I denna studie har tre relevanta teman identifierats och använts för att kunna ge en bild över hur Bt-grödor påverkar miljön både negativt och positivt. I och med att Bt-grödor är genetiskt modifierade grödor så finns det flera risker för djur och natur. Bland annat Insektsresistens och Påverkan på NTOs. En kategori med möjligheter har också identifierats och fått temat Ekologiska möjligheter.

Tabell 2. Översikt över inkluderade studier

Författare	Land	Gröda	Organismgrupp	Metod	Huvudresultat	Tema
Tabashnik et al, 2023	USA	Olika Bt-grödor	Flera insektsarter	Litteraturöversikt	Minskad och ökad resistens	Insektsresistens
Tabashnik, 2013	USA	Olika Bt-grödor	Flera insektsarter	Fältstudie	Minskad och ökad	Insektsresistens

					resistens	
Gassmann, 2021	USA	Majs	Västerländsk Majsrotmask	Litteraturöversikt	Resistens	Insektresistens
Sumerford et al, 2013	USA	Olika Bt-grödor	Flera insektsarter	Litteraturöversikt	Minskad och ökad resistens	Insektresistens
Gassmann et al, 2012	USA	Majs	Västerländsk Majsrotmask	Fältstudie	Minskad och ökad resistens	Insektresistens
Hitchon et al, 2015	USA	Majs	Västerländsk Majsrotmask	Litteraturöversikt	Minskad och ökad resistens	Insektresistens
Cagáň et al, 2025	Slovakien	Majs	Hoppstjärtar	Fältstudie	Ingen signifikant skillnad	NTOs
Neher et al, 2014	USA	Majs	Maskar	Fält & laboratoriestudie	Ingen signifikant skillnad	NTOs
Čerevková et al, 2018	Slovakien	Majs	Maskar	Fältstudie	Ingen signifikant skillnad	NTOs
Höss et al, 2013	Tyskland	Majs	Maskar	Laboratoriestudie	Negativa effekter	NTOs
Mandal et al, 2020	Storbritannien	Bomull	Mikroorganismer	Litteraturöversikt	Ingen signifikant skillnad	NTOs
Liu et al, 2015	USA	Raps	Maskar & mikroorganismer	Fältstudie	Ingen effekt	NTOs
Carzoli et al, 2018	USA	Majs	Monarkfjärilen & människan	Litteraturöversikt	Låga eller icke-existerande risker	Ekologiska möjligheter
Koch et al, 2015	USA	Olika Bt-grödor	Flera olika arter	Litteraturöversikt	Inga negativa effekter	Ekologiska möjligheter

3.2. Ekologiska risker kopplade till Bt-grödor

3.2.1 Insektresistens

Vad visar forskningen?

I en studie av 22 mal-fjärilsarter och två skalbaggsarter under en period av 25 år studerades 73 olika fall, i dessa påvisade 30 av fallen ingen resistensutveckling, 26 fall visade på uppbyggd resistens och 17 var i farozonen för att bli resistent. Av de 26 fallen som utvecklat resistens, stod *H.zea* för fem av fallen, *S. frugiperda* för fyra av fallen och *D.v. virgifera* för

fyra av fallen. Alltså utgjorde tre arter hälften av all uppmätt resistensutveckling. De resterande 13 fallen utgjordes av andra insektsarter i studien. För *S. frugiperda* var det även fem fall som var i farozonen. Det visar att just denna art är väldigt kapabel att utveckla resistens (Tabashnik et al, 2013; Tabashnik et al, 2023). Mer specifikt så har resistens mot Bt-grödor uppstått i de flesta fall för den västerländska majsrotmasken (Gassmann et al, 2012; Hitchon et al, 2015; Gassmann, 2021). Forskningen visar också att Bt-grödor med en hög andel Bt-gener har högre förutsättningar för att motverka resistensutveckling mot insekter (Sumerford et al, 2013). Forskare har utvecklat flera strategier för att få bukt med resistensutveckling. En av dem är användningen av refuger. Refuger bland Bt-odlingar är odlingar av icke-Bt-grödor där skadedjuren kan söka skydd som bidrar till att icke-resistenta skadedjur kan para sig med resistenta skadedjur som i vissa fall för sina gener vidare, detta gör att nästa generation skadedjur inte är resistenta mot Bt-grödorna (Tabashnik et al, 2013).

Hur många studier pekar i denna riktning?

Tre av de utvalda studierna pekar i riktningen att den västerländska majsrotmasken utvecklar resistens mot Bt-grödor och att den är en av de allvarligaste pesterna för Bt-grödor idag (Gassmann et al, 2012; Hitchon et al, 2015; Gassmann, 2021). Två av de utvalda studierna pekar mot liknande resultat när det gäller långvariga resultat av resistensutveckling mot olika sorters insekter (Tabashnik et al, 2013; Tabashnik et al, 2023). En av studierna menar på att det finns skillnader mellan hur olika Bt-grödor framkallar resistens, beroende på hur pass mycket Bt-gener grödan har (Sumerford et al, 2013).

Finns det variation eller motstridiga resultat?

Vissa studier pekar på uppbyggd resistensutveckling över tid (Gassmann et al, 2012; Hitchon et al, 2015; Gassmann, 2021). Andra långvariga studier visar att resistensutveckling sker i färre fall jämfört med ingen resistensutveckling. Flera av fallen ligger dock i riskzonen för att utveckla resistens (Tabashnik et al, 2013; Tabashnik et al, 2023).

Resultaten visar att de flesta insekter inte blir resistenta mot Bt-grödor över tid. Men det finns flera fall där resistensutveckling ligger i farozonen. Om resistens sker kan det ta något år upp till flera år beroende på Bt-gröda och insektens art.

3.2.2 Påverkan på icke-målorganismer (NTOs)

Vad visar forskningen?

En forskningsstudie som gjordes angående effekten av Bt-grödor på hoppstjärtar påvisade ingen skillnad på förekomst och effekt eller antal arter på ytaktiva hoppstjärtar mellan Bt-majs och icke-Bt-majs (Cagán et al, 2025).

I USA gjordes en studie som visade att Bt-majs inte påverkar rundmaskar negativt runt rhizosfären och vid ruttnande rötter (Neher et al, 2014). Närvaron av Bt-raps visade heller ingen direkt påverkan på rundmaskar och de mikrobiella samhällena vid rhizosfären hos vild-senap (Liu et al, 2015). Ett långvarigare experiment på förekomsten av olika typer av rundmaskar som klassificerades i trofiska grupper som bakterie-ätare, svamp-ätare, predatorer, allätare, svamp-rots-ätare och obligata växtparasiter, gjordes under en tvåårsperiod på fyra olika områden i Sverige, Danmark, Slovakien och Spanien med varierande miljö. Resultaten visar att pH-nivåerna var betydligt högre för proven från Spanien jämfört med de andra. I proven från 2013 för Sverige och Spanien så visade det sig att kolhalten var något högre. Under detta experiment togs prover för Spanien enbart för år 2013 och hade en annan typ av majs-variant, därför analyserades dessa prover separat. Kvävehalten var betydligt lägre i proven från 2013 för Sverige, Danmark och Slovakien, även proportionerna av kol/kväve för samma årtal och plats visade en ökning. Resultaten visade också stor skillnad på förekomsten av de olika rundmaskarna. De olika områdena visade att bakterie-ätare, svamp-ätare, obligata-växt-parasiter och predatorer var mer vanligt förekommande under år 2013, jämfört med år 2014 där svamp-ätare, allätare, predatorer, svamp-rots-ätare och obligata-växt-parasiter förekom oftare (Čerevková et al, 2018). Enligt analysmetoder pekar resultaten på att provåret visade en större skillnad på antalet rundmaskar jämfört med område och majs-variant. Experimentet visade också att områden planterade med Bt-majs jämfört med icke-Bt-majs inte visade någon signifikant skillnad på jordens värden (Čerevková et al, 2018). Ytterligare studier som gjordes på NTOs, där tre specifika Bt-proteiner testades, påvisade att alla visade en hämmande effekt på fortplantningen hos *C.elegans*, som är en typ av rundmask som lever i jorden (Höss et al, 2013). Studier som granskat de ekologiska risker som framkallats av GM-grödor är förhållandevis få. De flesta studier som gjorts fram till 2020 så var påverkan extremt låg och ofta ej signifikant jämfört med influenser från normala bakgrundsfluktuationer i andra jordparametrar (Mandal et al, 2020). Några studier visade att GM-grödor orsakade en betydande förändring i struktur och funktion på den inhemska jordens mikrobiella egenskaper, jordens heterogenitet och

varierande näringsmässiga krav av GM-grödor. Men brister på passande kontroller medförde stora svårigheter att tolka den verkliga effekten av GM-grödor på jordens mikroorganismer. Även den praktiska effekten av GM-grödor på jord-biotan och rhizosfären begränsades på grund av bristen på robusta studier (Mandal et al, 2020).

Hur många studier pekar i denna riktning?

Fem av de sex studierna påvisar att Bt-grödor har en extremt låg eller ingen märkbar effekt på NTOs (Neher et al, 2014; Liu et al, 2015; Čerevková et al, 2018; Mandal et al, 2020; Cagán et al, 2025).

Finns det variation eller motstridiga resultat?

En av de sex studierna visade negativa resultat angående Bt-grödor. Denna studie visade att en typ av rundmask fick en inhiberande effekt på dess fortplantning (Höss et al, 2013). De resterande studierna visade inga eller ej signifikanta negativa effekter av odling av Bt-grödor (Neher et al, 2014; Liu et al, 2015; Čerevková et al, 2018; Mandal et al, 2020; Cagán et al, 2025).

Resultaten visar att fem av sex studier påvisar väldigt låga eller ej signifikanta effekter av Bt-grödor. En av studierna påvisar dock att en viss typ av rundmask får negativa konsekvenser angående dess utveckling på grund av Bt-grödor.

3.2.3 Ekologiska möjligheter kopplade till Bt-grödor

Vad visar forskningen?

En analys över 42 fältexperiment påvisade att NTOs var mer vanligt förekommande omkring Bt-grödor som majs och bomull jämfört med grödor som i stället skötts med kemiska insektsmedel. Proteiner från Bt visade även att honungsbipopulationer och deras överlevnad inte påverkades negativt (Koch et al, 2015). EPA (Environmental protection agency) har dragit slutsatsen att det inte finns någon signifikant risk för att vilda populationer av sojabönor eller majs uttrycker Bt-gifter i USA. Enligt EPA finns det dock en risk för genöverföring i områden där vild bomull existerar (Koch et al, 2015). Omfattande tester av Bt-grödor har påvisat att växthusgaser kan reduceras vid odling av Bt-grödor på grund av att

bönder kan reducera användandet av jordbruksmaskiner och behöver därför inte längre bespruta sina grödor i flera omgångar (Koch et al, 2015).

Hur många studier pekar i denna riktning?

Studien visar på positiva resultat av odling av Bt-grödor. Studien påvisar dock negativa och positiva resultat beroende på gröda. Framförallt Bt-bomull har en risk att kunna sprida gener till populationer som inte är av Bt-varianten (Koch et al, 2015).

Finns det variation eller motstridiga resultat?

En studie visar att det finns en osäkerhet angående Bt-bomull i USA, där man menar att det finns en risk för genöverföring mellan Bt och icke-Bt-bomull (Koch et al, 2015).

Bt-grödor visar en enorm förmåga för resistens mot de insekter som grödan är genetiskt modifierad att motstå. Det visas även att Bt-grödor har en större artrikedom jämfört med grödor som skötts med insektsmedel. Det finns heller ingen risk för att genöverföring mellan Bt-majs, Bt-sojabönor och icke-Bt-majs och icke-Bt-sojabönor kommer att uppstå. Det finns dock en risk att Bt-bomull kan överföra sina gener till icke-Bt-bomull.

Skillnader i forskningsresultat och bedömningar

Resultaten i de granskade studierna visar både likheter och vissa skillnader. Skillnaderna verkar främst bero på valet av metod, ekologisk nivå, geografisk kontext och vilka organismer som har studerats.

När det gäller insektsresistens framträder en tydlig skillnad mellan studierna. Forskning om västerländsk majsrotmask visar att denna skadeinsekt i flera fall har utvecklat resistens mot Bt-majs (Gassmann et al, 2012; Hitchon et al, 2015; Gassmann, 2021). Samtidigt visar Tabashnik et al. (2013; 2023), som analyserar ett större antal fall över en längre tidsperiod, att resistens inte alltid uppstår och att fall utan resistens är något vanligare än fall där resistens utvecklas. Skillnaden ligger alltså i att vissa studier pekar på ett tydligt problem hos en specifik skadeinsekt, medan andra ger en mer övergripande och blandad bild av situationen.

För påverkan på NTOs finns det tre studier som man kan se distinkta likheter mellan. Dessa tre studier påvisar att NTOs ej blir påverkade av Bt-grödor. Specifikt så menar Neher et al, (2014) att rundmaskar som lever runt rhizosfären inte blir påverkade av Bt-majs och Liu et al, (2015) påvisar att Bt-raps inte har någon negativ påverkan på rundmaskar som lever runt dess rhizosfär. Mandal et al, (2020) menar att bristen på robusta studier och passande kontroller medför stora svårigheter att tolka den verkliga effekten av GM-grödor på jordens

mikroorganismer, jord-biotan och påverkan på rhizosfären. Anledningen till att en studie visar negativa resultat kan bero på att vissa studier är fältexperiment och andra är labbexperiment, som lättare fångar upp negativa resultat.

När det gäller ekologiska möjligheter, beskriver studien främst positiva effekter, till exempel så visar Bt-grödor att bönder inte behöver bespruta sina grödor, som leder till en bättre miljö fri från gifter men även minskade utsläpp av växthusgaser (Koch et al, 2015). Koch et al, 2015 menar också att det inte finns någon risk för att vilda populationer av sojabönor eller majs för över sina gener till icke-Bt-grödor, som i sin tur börjar uttrycka Bt-proteiner i sina gener. Det finns dock en risk för att Bt-bomull för över sina gener till vild-bomull (Koch et al, 2015).

En rimlig förklaring till de varierande resultaten är att studierna riktar sig mot olika organismer och använder skilda studiedesigner. När en undersökning inriktas på en särskilt känslig art, till exempel västerländsk majsrotmask så blir tecken på resistensutveckling tydligare. Översikter som sammanställer flera arter eller många fall visar däremot en mer blandad bild. På samma sätt kan effekter på icke-målorganismer skilja sig beroende på om försöken genomförs i laboriemiljö eller i fält. Labbstudier fångar ofta upp potentiella negativa effekter lättare, medan fältstudier påverkas av flera faktorer och kan därför ibland visa svagare eller otydliga effekter.

4. Diskussion

4.1. Huvudfynd

Insektsresistens: I en studie av 22 mal-fjärilsarter och två skalbaggsarter under en period av 25 år studerades 73 olika fall. I dessa påvisade 30 av fallen ingen resistensutveckling, 26 fall visade på uppbyggd resistens och 17 var i farozonen för att bli resistenta. Av de 26 fallen som utvecklade resistens, stod *H.zea* för fem av fallen, *S. frugiperda* för fyra av fallen och *D.v. virgifera* för fyra av fallen. Alltså utgjorde tre arter hälften av all uppmätt resistensutveckling. De resterande 13 fallen utgjordes av andra insektsarter i studien. För *S. frugiperda* var det även fem fall som var i farozonen. Det visar att just denna art är väldigt kapabel för att utveckla resistens mot Bt-grödor (Tabashnik et al, 2013; Tabashnik et al, 2023).

Resultaten av studien tyder på att resistens byggs upp i flera fall men att majoriteten av fallen ändå pekar på att resistens inte byggs upp. Vissa specifika arter verkar också vara mer benägna att utveckla resistensutveckling jämfört med andra. Detta kan bero på att vissa arter

utsätts för ett starkare och mer långvarigt selektionstryck i odlingssystem där samma Bt-gröda används under lång tid. Det kan också hänga samman med artskillnader i biologi, livscykel och förmåga att anpassa sig till Bt-toxinet. En betydande del, cirka 23 procent av fallen är i farozonen att utveckla resistens. Dessa resultat kan bero på när studien påbörjades för den specifika insekten, var den gjordes, vilken gröda, studien gjordes på och dess miljö.

Påverkan på Icke-målorganismer (NTOs): Ett långvarigare experiment på förekomsten av olika typer av rundmaskar som klassificerades i trofiska grupper som bakterie-ätare, svamp-ätare, predatorer, allätare, svamp-rots-ätare och obligata växtparasiter, gjordes under en tvåårsperiod på fyra olika områden i Sverige, Danmark, Slovakien och Spanien med varierande miljö. Resultaten visar att pH-nivåerna var betydligt högre för proven från Spanien jämfört med de andra. I proven från 2013 för Sverige och Spanien så visade det sig att kolhalten var något högre. Under detta experiment togs prover för Spanien enbart för år 2013 och hade en annan typ av majs-variant, därför analyserades dessa prover separat. Kvävehalten var betydligt lägre i proven från 2013 för Sverige, Danmark och Slovakien, även proportionerna av kol/kväve för samma årtal och plats visade en ökning.

Resultaten visade också stor skillnad på förekomsten av de olika rundmaskarna. De olika områdena visade att bakterie-ätare, svamp-ätare, obligata-växt-parasiter och predatorer var mer vanligt förekommande under år 2013, jämfört med år 2014 där svamp-ätare, allätare, predatorer, svamp-rots-ätare och obligata-växt-parasiter förekom oftare (Čerevková et al, 2018). Enligt analysmetoder pekar resultaten på att provåret visade en större skillnad på antalet rundmaskar jämfört med område och majs-variant. Experimentet visade också att områden planterade med Bt-majs jämfört med icke-Bt-majs inte visade någon signifikant skillnad på jordens värden (Čerevková et al, 2018)

Dessa resultat pekar på att valet av område samt årsvariationer påverkar resultaten signifikant. Studien visar att det påverkade mer än själva effekten av Bt-majs-odlingen. Detta tyder på att effekterna på icke-målorganismer ofta är små eller svåra att urskilja, eftersom naturliga variationer i miljön kan ha större betydelse än Bt-grödan i sig. En möjlig förklaring är att Bt-toxinet främst är utvecklat för att påverka målorganismer, vilket gör att effekterna på andra organismer ofta blir svagare eller mer osäkra. Anledningen till att årsvariationer påverkar resultaten så mycket kan bero på variationer i pH-värde, kol-halt, kvävehalt och kol/kväve proportioner. Skillnaderna kan också bero på det faktum att proverna för Spanien enbart togs under ett år jämfört med de andra, som testades under två separata årtal. Mängden

av de olika rundmaskarna varierade beroende på årtal, som också kan vara en indikation på variationen av resultaten för Bt-områden jämfört med icke-Bt-områden när man ser på hur Bt-toxinet påverkar rundmaskarna.

4.2 Resultat reflektion – Varför ser mönstren ut så här?

Det finns ett starkt selektionstryck för att Bt-grödor är designade för att döda målarten. De individer som har resistens överlever och kan därmed föröka sig. Insekter har en väldigt snabb utvecklingshastighet som gör att resistens kan utvecklas relativt snabbt. Många fall av resistens och flera fall av risk för resistens visar ett konsekvent mönster (Tabashnik et al, 2023). Detta gör också att resistensen blir tydligare i studier som fokuserar på särskilt känsliga eller hårt exponerade arter. Icke målorganismer (NTOs) blir inte lika påverkade av Bt-toxinet i och med att toxinet inte är designat för dem. Den naturliga variationen mellan jordar, klimat och år påverkar mer än Bt-toxinet i sig. Detta resulterar i att effekten oftast blir liten, men med vissa undantag och osäkerheter (Čerevková et al, 2018). Skillnader mellan laboratoriestudier och fältstudier kan också bidra till detta, eftersom laboratoriestudier ofta lättare fångar upp små effekter medan fältstudier påverkas av många faktorer samtidigt (Höss et al, 2013). Det finns få långtidsstudier som därmed gör resultaten osäkra.

4.3 Begränsningar & implikationer – Vad kan man inte säga säkert?

Det går inte med säkerhet att säga att resistensutveckling kommer att ske när olika insekter är exponerade för Bt-grödor i och med att 30 av 76 fall i en långtidsstudie inte visade det. Det går heller inte att dra slutsatsen att ingen resistens kommer att ske då resistensutveckling skedde i 26 av 76 fall. Det går inte att dra en övervägande slutsats för alla arter eftersom resistens kan vara artspecifik. Resultaten angående hur lång tid det tar att utveckla resistens är oförutsägbart och varierar beroende på fall och miljö (Tabashnik et al, 2023). Bt-grödor är heller inte helt ofarliga för NTOs i och med att resultaten varierar mellan studier och organismer (Höss et al, 2013). Graden av påverkan varierar mellan miljöer, platser och år och syns ibland bara under specifika förhållanden. Eftersom det finns relativt få långtidsstudier är det svårt att avgöra den långsiktiga effekten fullt ut. Otillräckliga kontroller och metodologiska brister gör det svårt att fastställa den exakta effekten på jordens mikrobiella samhällen. Resultaten tyder på låg påverkan men det finns osäkerheter kring de långsiktiga effekterna, specifika arter och miljöer. Många studier visar låg påverkan på NTOs men det går inte att säga att Bt-grödor alltid är helt riskfria för alla organismer. Effekterna av Bt-grödor kan variera beroende på miljö och odlingsförhållanden, därför går det inte att

garantera att positiva effekter som fler nyttodjur eller minskade svampangrepp alltid uppstår i alla odlingssystem. Att miljö, plats och studiedesign spelar så stor roll innebär därför att resultaten bör förstås som kontextberoende snarare än helt generella (Čerevková et al, 2018).

4.4 Vad betyder resultaten för fortsatt forskning/praktik?

För att förstå när och hur resistens uppstår över tid, krävs det fler långsiktiga studier eftersom resultaten varierar mellan olika fall. För att förstå mekanismerna bakom resistens krävs mer forskning inom detta område.

Dessa studier kan sedan användas för att kunna bromsa och eventuellt förhindra resistensutveckling. Sammanfattningsvis innebär resultaten att framtida forskning bör fokusera på att förstå, förebygga och hantera resistensutveckling för att bibehålla Bt-grödors effektivitet under lång tid framöver. Många effekter kan vara svåra att upptäcka på kort sikt och kan ha en stor variation beroende på år och plats. Därför krävs det fler långsiktiga studier även till detta tema. Resultaten visar att naturliga variationer ofta har större påverkan än själva Bt-grödorna, därför bör framtida forskning fokusera mer på olika miljöförhållanden. Vissa av de negativa effekterna av Bt-grödor har endast kunnat observeras under kontrollerade förhållanden, för att kunna se Bt-grödornas maximala potential krävs även fler studier som kopplar ihop laboratorie- och fältresultat. Sammanfattningsvis tyder resultaten på låg risk, men samtidigt finns ett behov av mer omfattande och metodologiskt tillförlitlig forskning för att få en tydligare helhetsbild. Ytterligare undersökningar kring interaktioner mellan hur Bt-grödor påverkar samspelet mellan skadedjur och dess naturliga fiender är viktigt för framtida forskning. För att säkerställa att fördelarna med Bt-grödor gäller generellt, är det viktigt för framtida forskning att undersöka resultaten mellan olika odlingssystem och miljöer. De sammanfattade resultaten visar att framtida forskning bör inriktas på att verifiera långsiktiga fördelar samt vidare undersöka möjliga risker.

Referenser

- Bonny, S. (2015). Genetically Modified Herbicide-Tolerant Crops, Weeds, and Herbicides: Overview and Impact. *Environmental Management*, 57(1), pp.31–48. doi:<https://doi.org/10.1007/s00267-015-0589-7>.
- Cagáň, L., Minarčíková, L., Pavel Šebek, P., Čížek, L and Habušťová, O.S. (2025). Effects of genetically modified maize MON810 on surface-active springtails (Collembola). *Entomologia Experimentalis et Applicata*. doi:<https://doi.org/10.1111/eea.13539>.
- Carzoli, A.K., Aboobucker, S.I., Sandall, L.L., Lübberstedt, T.T. and Suza, W.P. (2018). Risks and Opportunities of GM crops: Bt Maize Example. *Global Food Security*, [online] 19, pp.84–91. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.10.004>.
- Čerevková, A., Miklisová, D., Szoboszlay, M., Tebbe, C.C. and Cagáň, L. (2018). The responses of soil nematode communities to Bt maize cultivation at four field sites across Europe. *Soil Biology and Biochemistry*, 119, pp.194–202. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.023>.
- Gassmann, A. (2021). Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm: Effects of Pest Biology, the Pest–Crop Interaction and the Agricultural Landscape on Resistance. *Insects*, 12(2), p.136. doi:<https://doi.org/10.3390/insects12020136>.
- Gassmann, A.J. (2012). Field-evolved resistance to Bt maize by western corn rootworm: Predictions from the laboratory and effects in the field. *Journal of Invertebrate Pathology*, 110(3), pp.287–293. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jip.2012.04.006>.
- Goodman, R.E. (2024). Twenty-eight years of GM Food and feed without harm: why not accept them? *GM crops & food*, 15(1), pp.40–50. doi:<https://doi.org/10.1080/21645698.2024.2305944>.
- Hilbeck, A. and Otto, M. (2015). Specificity and Combinatorial Effects of Bacillus Thuringiensis Cry Toxins in the Context of GMO Environmental Risk Assessment. *Frontiers in Environmental Science*, 3. doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00071>.
- Hitchon, A.J., Smith, J.L., French, B.W. and Schaafsma, A.W. (2015). Impact of the Bt Corn Proteins Cry34/35Ab1 and Cry3Bb1, Alone or Pyramided, on Western Corn Rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) Beetle Emergence in the Field. *Journal of Economic Entomology*, 108(4), pp.1986–1993. doi:<https://doi.org/10.1093/jee/125>.
- Höss, S., Menzel, R., Gessler, F., Nguyen, H.T., Jehle, J.A. and Traunspurger, W. (2013). Effects of insecticidal crystal proteins (Cry proteins) produced by genetically modified maize (Bt maize) on the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Environmental Pollution*, 178, pp.147–151. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.002>.
- Koch, M.S., Ward, J.M., Levine, S.L., Baum, J.A., Vicini, J.L. and Hammond, B.G. (2015). The food and environmental safety of Bt crops. *Frontiers in Plant Science*, 06. doi:<https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00283>.
- Liu, Y., Li, J., C. Neal Stewart, Luo, Z. and Xiao, N. (2015). The effects of the presence of Bt-transgenic oilseed rape in wild mustard populations on the rhizosphere nematode and microbial communities. *Science of The Total Environment*, 530-531, pp.263–270. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.073>.

Mandal, A., Sarkar, B., Owens, G., Thakur, J.K., Manna, M.C., Niazi, N.K., Jayaraman, S. and Patra, A.K. (2020). Impact of genetically modified crops on rhizosphere microorganisms and processes: A review focusing on Bt cotton. *Applied Soil Ecology*, 148(103492), p.103492. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103492>.

Neher, D.A., Muthumbi, A.W.N. and Dively, G.P. (2014). Impact of coleopteran-active Bt corn on non-target nematode communities in soil and decomposing corn roots. *Soil Biology and Biochemistry*, 76, pp.127–135. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.05.019>.

Noack, F., Engist, D., Gantois, J., Gaur, V., Hyjazie, B. F., Larsen, A., M’Gonigle, L. K., Missirian, A., Qaim, M., Sargent, R. D., Souza-Rodrigues, E., & Kremen, C. (2024). Environmental impacts of genetically modified crops. *Science*, 385(6712). <https://doi.org/10.1126/science.ad9340>

Platani, M., Sokefun, O., Bassil, E., & Apidianakis, Y. (2022). Genetic engineering and genome editing in plants, animals and humans: Facts and myths. *Gene*, 856, 147141. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.147141>

Pogodzińska, K. (2020). GMO IN THE OPINION OF FARMERS. *Problems of Agricultural Economics*, 264(3), pp.144–161. doi:<https://doi.org/10.30858/zer/127807>.

Pope, C., and Mays, N. (Eds.). (2006). *Qualitative Research in Health Care* (3rd ed.). Oxford: Blackwell/BMJ Books, 3rd edition

Sumerford, D.V., Head, G.P., Shelton, A., Greenplate, J. and Moar, W. (2013). Field-Evolved Resistance: Assessing the Problem and Ways to Move Forward. *Journal of Economic Entomology*, [online] 106(4), pp.1525–1534. doi:<https://doi.org/10.1603/EC13103>.

Tabashnik, B.E., Brévault, T. and Carrière, Y. (2013). Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, [online] 31(6), pp.510–521. doi:<https://doi.org/10.1038/nbt.2597>.

Tabashnik, B.E., Fabrick, J.A. and Carrière, Y. (2023). Global Patterns of Insect Resistance to Transgenic Bt Crops: The First 25 Years. *Journal of Economic Entomology*, 116(2). doi:<https://doi.org/10.1093/jee/toac183>.

Tagliabue, G. (2016). The EU legislation on “GMOs” between nonsense and protectionism: An ongoing Schumpeterian chain of public choices. *GM Crops & Food*, 8(1), 57–73. <https://doi.org/10.1080/21645698.2016.1270488>

Vicini, J.L. (2017). GMO crops in animal nutrition. *Animal Frontiers*, 7(2), pp.9–14. doi:<https://doi.org/10.2527/af.2017.0113>.

