



# Odlingssystem med hållbart växtskydd

---

*Cropping systems with sustainable crop protection*

Ola Lundin & Hanna Friberg



# Odlingssystem med hållbart växtskydd

*Cropping systems with sustainable crop protection*

Ola Lundin

SLU, institutionen för ekologi

Hanna Friberg

SLU, institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi

**Utgivare:**

Sveriges lantbruksuniversitet

**Utgivningsår:**

2022

**Utgivningsort:**

Uppsala

**Illustration:**

Ola Lundin

**ISBN:**

978-91-576-9934-3

**Nyckelord:**

ogräs, skadeinsekt, växtpatogen, växtsjukdom, integrerat växtskydd

## Sammanfattning

I ett odlingssystem med hållbart växtskydd tas hänsyn till ekologiska, ekonomiska och sociala konsekvenser av de växtskyddsstrategier som används. Det innebär bland annat att man eftersträvar minimerade skördeförlostur på grund av skadegörare och ogräs, en så liten negativ påverkan av insatserna som möjligt på människor, djur och miljö, och en produktion som är konkurrenskraftig, lönsam och säker ur ett arbetsmiljöperspektiv. I den här rapporten sammanställs information om hållbara odlingssystem avseende växtskydd, med det övergripande syftet att ge en ökad insikt i var vi befinner oss idag vad gäller odlingssystem med hållbart växtskydd, och vilka åtgärder och insatser som behövs för att ta fler steg mot ökad hållbarhet. Rapporten fokuserar på svensk växtproduktion inom jordbruk och i viss mån trädgårdsodling, men inte skogsbruk, prydnadsväxter eller fritidsodling.

Många rapporter och studier om hållbart växtskydd har fokuserat på ekonomisk och ekologisk hållbarhet, men de som även inkluderar social hållbarhet har ökat på senare år. De exakta definitionerna och vad som inkluderas skiljer sig åt mellan olika studier och rapporter vilket påverkar slutsatserna. Vi har inte funnit studier som skattar växtskyddets hållbarhet i Sverige jämfört med andra länder. Däremot finns det jämförelser för enstaka grödor eller enskilda aspekter av växtskydd, och sammanställningar av hur växtskyddsmedel används i olika länder.

Indikatorer för att skatta hållbarheten är ett viktigt verktyg i arbetet för en ökad hållbarhet. De indikatorer som för närvarande används inom växtskyddsområdet är framför allt kopplade till användningen av och risker med växtskyddsmedel. Vi bedömer att en mer komplett skattning av hållbart växtskydd behövs, och föreslår att utvecklingen av följande nya indikatorer prioriteras:

- Indikatorer för skadegörare, skördebortfall och evolutionär hållbarhet
- Indikatorer för åkermarkens biologiska mångfald
- Indikatorer för växtskyddets sociala hållbarhet, såsom kunskapsnivå och förtroende.

I rapporten presenterar vi förslag på förändringar i odlingssystemet för att stärka hållbarheten: förebyggande åtgärder på landskapsnivå och fältnivå, direkta åtgärder samt åtgärder som rör rådgivning, utbildning och samverkan. Vi lyfter särskilt följande fyra mer generella slutsatser:

• **Diversifiering i form av en ökad odlad mångfald stärker växtskyddets hållbarhet.** Vi föreslår att diversifiering stöds ekonomiskt och att det utreds ytterligare hur sådana stöd ska utformas i praktiken.

• **Hållbart växtskydd stärks med kunskapsförmedling och samverkan.** Vi föreslår därför att kunskapsvägarna och samverkan om växtskydd i Sverige kartläggs systematiskt. Vi föreslår också en ökad satsning på forskning och samverkan inom växtskydd.

• **Ingen enskild åtgärd kommer göra växtskyddet hållbart.** Ett mer integrerat växtskydd kommer kräva forskningssamarbete över ämnesgränser. Speciellt behövs det forskning som inte enbart ser till specifika skadegörare eller ogräs i enskilda grödor utan istället fokuserar på att utveckla hållbara strategier för växtskydd i hela odlingssystem som också är långsiktigt hållbara utifrån andra aspekter än växtskydd.

• **Innovationskraft för nya växtskyddsstrategier.** I en framtid med minskad tillgång på kemiska växtskyddsmedel behövs alternativa riktade åtgärder mot särskilt problematiska ogräs och

skadegörare. Även innovationer på gårdsnivå är av stort värde och bör stimuleras. Det kan ske såväl genom direkta stimulansmedel som genom en väl genomtänkt utformning av regler och stöd.

Dagens och framtidens jordbruk ska leverera livsmedel och andra förnödenheter till en växande och mer välmående befolkning i ett förändrat klimat och med en förväntat fortsatt minskad tillgång till kemiska växtskyddsmedel, utan bestående negativa miljökonsekvenser. Det är en stor och viktig uppgift som kommer att göra satsningar på hållbart växtskydd nödvändiga.

*Nyckelord:* ogräs, skadeinsekt, växtpatogen, växtsjukdom, integrerat växtskydd

## Abstract

In a cropping system with sustainable crop protection, ecological, economic, and social consequences of crop protection strategies are considered. This includes striving for minimised crop losses due to pests and weeds, while keeping negative effects on humans, animals and environment at a minimised level, and providing a profitable and competitive production with safe working conditions. This report summarises information about sustainable cropping systems with focus on crop protection, with the overall objective to give insights into our current status and further steps needed to improve the sustainability. The report comprises Swedish conditions, with focus on arable crops and to some extent horticultural crops, while excluding forestry, ornamentals and hobby production.

Many studies and reports on sustainable crop protection have a main focus on economic and ecological sustainability, but studies also including social aspects have increased lately. Specific definitions of sustainability and what is included in each dimension of sustainability differs between studies, which influences the conclusions. We have not any found studies comparing the Swedish situation with that in other countries. There are, however, comparisons in specific crops or specific aspects of crop protection, as well as descriptions of plant protection products used in different countries.

Indicators enabling sustainability assessments are important tools in the development of crop protection strategies with improved sustainability. Current indicators are primarily linked to the use of and risks with plant protection products. We recommend that indicators covering a broader range of sustainability indicators are developed. Specifically, we suggest to prioritise:

- Indicators for pests, yield losses due to pests, and evolutionary sustainability
- Indicators for biodiversity in arable land
- Indicators for social sustainability of crop protection, including knowledge and trust

In this report, we suggest changes in the cropping system that would improve the sustainability: preventive measures at the landscape scale and within the field, direct crop protection measures, and measures concerning advisory services, education and collaboration. The following general conclusions are highlighted:

- **Diversification through crop diversity strengthens the sustainability of crop protection.** We suggest economic support for diversification and continued investigations into how such support should be designed.
- **Sustainable crop protection is strengthened by knowledge transfer and collaboration.** We suggest a systematic survey of the information flow in Sweden, and increased resources to research and collaboration within crop protection.
- **Crop protection actions must be combined into strategies.** More integrated crop protection requires research collaboration across scientific disciplines. Rather than studying only specific pests or weeds in single crops, there is a need to develop sustainable crop protection strategies in sustainable cropping systems.
- **Innovation support for new crop protection strategies.** In a future with decreased access to chemical plant protection products, there is a need for alternative tools against particularly problematic weeds and pests. Innovations are also needed at farm level. This could be supported both through direct economic support, and by a careful design of rules and regulations.

Agriculture needs to provide food, feed and fibre for a growing and increasingly wealthy population in a changing climate with decreasing access to chemical crop protection products, and without causing long-lasting negative effects on the environment. This demanding and important task will make the development of sustainable crop protection strategies essential.

*Keywords:* weed, pest insect, plant pathogen, plant disease, integrated pest management

# Förord

Regeringen har genom Livsmedelsstrategin specificerat att Växtskyddsrådet, under ledning av Jordbruksverket, ska arbeta för att uppnå ett hållbart växtskydd.

Denna sammanställning är framtagen efter initiativ från Växtskyddsrådet och är ett led i Växtskyddsrådets uppdrag att stödja implementeringen av Livsmedelsstrategin. De i rådet ingående organisationerna kan trots detta ha avvikande inställning till slutsatser som framkommer i rapporten, och Växtskyddsrådet som helhet kan därför inte per automatik betraktas stå bakom innehållet.

Sveriges lantbruksuniversitet är huvudansvarig för resultaten som presenteras i denna sammanställningen. Underlaget är framtaget av Ola Lundin och Hanna Friberg.

# Innehållsförteckning

<b>1. Inledning</b> .....	<b>11</b>
1.1. Syfte.....	11
1.2. Arbetets upplägg, omfattning och avgränsningar.....	12
1.3. Definitioner .....	13
1.3.1. Växtskydd .....	13
1.3.2. Odlingssystem .....	13
1.3.3. Hållbarhet.....	13
1.4. Litteraturgenomgång .....	16
<b>2. Växtskydd fram tills idag</b> .....	<b>20</b>
2.1. Växtskyddets historiska utveckling i Sverige.....	20
2.2. Indikatorer för hållbart växtskydd .....	22
2.2.1. Indikatorer kopplade till miljömålet giftfri miljö .....	22
2.2.2. Harmoniserade riskindikatorer .....	22
2.2.3. Indikatorer kopplade till NAP .....	23
2.2.4. Indikatorer kopplade till miljömålet ett rikt odlingslandskap.....	24
2.3. Hållbart växtskydd i Sverige i en internationell jämförelse .....	24
2.4. Hur hållbart är växtskyddet i dagens odlingsystem i Sverige? .....	25
<b>3. Förslag och åtgärder för odlingsystem med mer hållbart växtskydd</b> .....	<b>27</b>
3.1. Förebyggande växtskydd - landskapsnivå .....	28
3.1.1. Förhindra införsel och etablering av nya ogräs och skadegörare .....	28
3.1.2. Icke-odlad mark .....	29
3.1.3. Växtföljd och variation av grödor i landskapet .....	30
3.2. Förebyggande växtskydd - odlingen .....	31
3.2.1. Samodling och sortblandningar .....	31
3.2.2. Motståndskraftiga sorter .....	32
3.2.3. Grödans skötsel .....	33
3.2.4. Jordbearbetning .....	33
3.3. Direkt växtskydd - icke-kemiskt .....	34
3.3.1. Tillsättande biologisk bekämpning .....	34
3.3.2. Biotekniskt växtskydd .....	35



3.3.3.	Mekanisk ogräsbekämpning .....	35
3.4.	Direkt växtskydd - kemiskt.....	36
3.5.	Prognos och beslutsstödssystem.....	37
3.6.	Rådgivning, utbildning och samverkan.....	38
<b>4.</b>	<b>Förslag på nya indikatorer för hållbart växtskydd .....</b>	<b>39</b>
4.1.	Indikatorer för skadegörare, skördebortfall och evolutionär hållbarhet .....	40
4.2.	Indikator för åkermarkens biologiska mångfald.....	40
4.3.	Indikator för växtskyddets sociala hållbarhet.....	41
4.4.	Hur vägs indikatorerna mot varandra? .....	41
<b>5.</b>	<b>Diskussion och slutsatser .....</b>	<b>42</b>
<b>Tack .....</b>	<b>44</b>	
<b>Referenser.....</b>	<b>45</b>	



# 1. Inledning

Hållbar utveckling handlar om att värna och nyttja givna resurser på ett sätt som gör att dagens behov uppfylls utan att framtida generationers möjlighet att uppfylla sina behov påverkas negativt. I ett hållbart växtskyddsarbete eftersträvas en minimerad förlust av skörden på grund av skadegörare och ogräs med en så liten negativ påverkan av insatserna som möjligt på människor, djur och miljö. Samtidigt behöver produktionen kunna bedrivas konkurrenskraftigt, lönsamt och säkert ur ett arbetsmiljöperspektiv. Samtliga tre dimensioner av hållbarhet - ekologisk, ekonomisk och social - behöver inkluderas. Skördesänkningar orsakade av växtskadegörare och ogräs innebär ekonomiska förluster för odlaren och att miljön belastas onödigt mycket då insatser och insatsmedel anpassats för en högre skörd. Såväl skördesänkningar som kvalitetsproblem orsakade av skadegörare och ogräs innebär också en osäkerhet för lantbrukaren, med negativa konsekvenser för ekonomisk och social hållbarhet. Väl genomtänkta växtskyddsstrategier är därför en förutsättning för en hållbar växtproduktion och bidrar till hållbar utveckling av samhället i stort. I ett hållbart växtskyddsarbete behöver hänsyn tas till att åtgärder som genomförs med avsikt att göra växtskyddet mer hållbart kan leda till konflikter (eller synergier) med övriga hållbarhetsmål. Som ett exempel kan nämnas att Jordbruksverket (2019a) bedömt att ett förbud mot ogräsmedlet glyphosat som görs på grund av befarade miljö- och hälsorisker skulle innebära ökade växtnäringsförluster och utsläpp av växthusgaser till följd av de förändringar som skulle ske i odlingssystemet om glyphosat inte kan användas. Odlingssystemet innefattar alla de bruksmetoder som används på ett specifikt fält eller i ett större jordbruksområde (se avsnitt 1.3) och är därför avgörande för växtskyddet.

## 1.1. Syfte

Den här rapporten är en sammanställning av information om hållbara odlingssystem avseende växtskydd, med det övergripande syftet att ge en ökad insikt i var vi befinner oss idag vad gäller odlingssystem med hållbart växtskydd, och vilka åtgärder och insatser som behövs för att ta fler steg mot ökad hållbarhet.

Rapporten syftar till att:

- Sammanställa kunskap och information om odlingssystem med hållbart växtskydd.
- Föreslå åtgärder och insatser som ökar hållbarheten inom svenskt växtskydd på kort sikt (1-10 år) och något längre sikt (10-20 år).
- Föreslå indikatorer som kan användas för att skatta den ekonomiska, ekologiska och sociala hållbarheten inom svenskt växtskydd.

## 1.2. Arbetets upplägg, omfattning och avgränsningar

I kapitel 1 går vi igenom rapportens syfte och dess upplägg, omfattning och avgränsningar. Vi definierar också termerna “växtskydd”, “odlingssystem” och “hållbarhet” som är centrala för rapporten. Kapitlet avslutas med en kort litteraturgenomgång av svenska och europeiska rapporter samt vetenskaplig litteratur om odlingssystem med hållbart växtskydd, samt metoder för att mäta hållbart växtskydd. Litteraturgenomgången är avsedd att redogöra för de mest relevanta tidigare studierna och rapporterna på området, men har inte som avsikt att vara heltäckande. Det finns många sammanställningar och rapporter om hållbarhet i hela livsmedelssystemet. Vi fokuserar på de som är av direkt relevans för växtskydd.

I kapitel 2 ger vi en kort historisk tillbakablick på växtskyddets utveckling fram till idag i Sverige, vi redogör för de svenska indikatorer för hållbart växtskydd som redan finns idag och diskuterar hållbart växtskydd i Sverige jämfört med andra länder. Kapitlet avslutas med en diskussion av var vi står i dagsläget vad det gäller odlingssystem med hållbart växtskydd i Sverige .

I kapitel 3 ger vi förslag på hur hållbarheten i svenskt växtskydd kan förbättras, i tidsperspektiven 1-10 år och 10-20 år.

I kapitel 4 föreslår vi indikatorer som kan användas för att skatta och följa upp hållbarheten i olika växtskyddsåtgärder eller växtskyddsstrategier i ett odlingssystem.

I kapitel 5 presenteras rapportens slutsatser.

Rapporten inkluderar information om odlingssystem med hållbart växtskydd inom jordbruk och i viss mån trädgårdsodling, men inte skogsbruk, prydnadsväxter eller fritidsodling.

## 1.3. Definitioner

### 1.3.1. Växtskydd

Begreppet växtskydd innefattar praktiska åtgärder för att hantera växtskadegörare och ogräs med negativ påverkan i grödor (Nilsson 2014). Enligt EU-direktivet om hållbart användande av bekämpningsmedel (direktiv 2009/128/EC) ska all professionell odling bedrivas enligt principerna för integrerat växtskydd. Där ingår åtgärder såsom växtföljd och en anpassad jordbearbetning som en viktig del (Jordbruksverket 2015). I begreppet växtskydd inkluderas alltså både förebyggande åtgärder som syftar till att förhindra att växtskyddsproblem uppkommer och direkta växtskyddsåtgärder som syftar till att skydda grödor från konstaterade växtskyddsproblem. Exempel på direkta åtgärder är mekanisk ogräsbekämpning, tillsättande biologisk bekämpning eller kemisk bekämpning. I den här rapporten använder vi begreppet växtskyddsåtgärd för att beskriva en enskild åtgärd med syfte att skydda en gröda (till exempel användning av ett specifikt växtskyddsmedel) och växtskyddsstrategi för att beskriva en kombination av åtgärder som används i växtskyddssyfte.

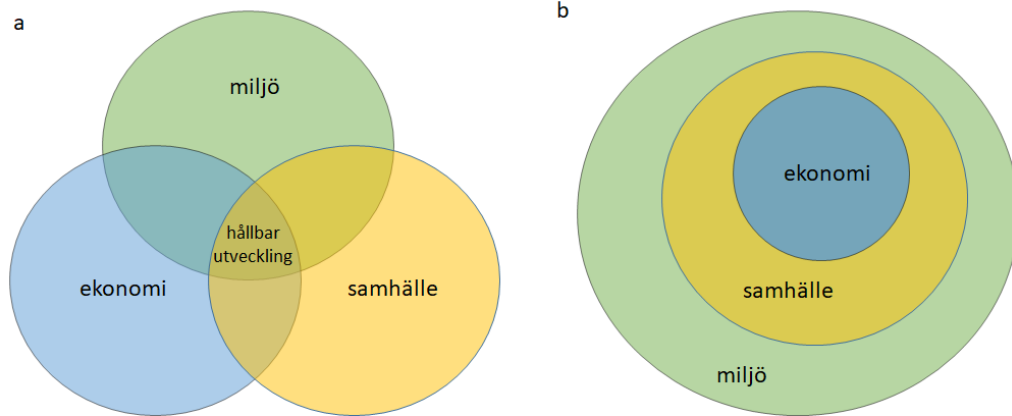
### 1.3.2. Odlingssystem

De brukningsmetoder som används på ett specifikt fält, odling eller större jordbruksområde, ibland även inkluderande icke-odlade områden i anslutning till fälten, utgör ett odlingssystem. Odlingssystemet inkluderar gröd- och sortval, växtföljd, brukningsmetoder såsom jordbearbetning, sådd, gödsling, kalkning, bevattning, klimatkontroll, direkta växtskyddsåtgärder och skörd för var och en av de grödor som ingår i växtföljden (Eckersten 2017). I många fall baseras de val lantbrukaren gör om odlingssystemets olika komponenter på många olika faktorer, där växtskyddet är en.

### 1.3.3. Hållbarhet

Det finns många specifika definitioner av hållbarhet (Johnston et al. 2007). En populär utgångspunkt är att definiera hållbarhet som hållbar utveckling i enlighet med den så kallade Brundtland-rapporten (WCED 1987). Hållbar utveckling innebär i korthet att dagens behov uppfylls utan negativ påverkan på framtida generationers möjlighet att uppfylla sina behov (WCED 1987). Definitionen tar hänsyn till ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet, och hållbar utveckling uppnås när utvecklingen är hållbar inom alla tre dimensionerna (Figur 1a). Ett annat vanligt sätt att åskådliggöra hållbarhet är att miljön är en förutsättning för det hållbara samhället, vilken i sin tur är en förutsättning för ekonomin (Figur 1b). Detta synsätt, som ofta benämns som stark hållbarhet, tydliggör det hierarkiska förhållandet som finns mellan de olika dimensionerna av hållbarhet. Stark

hållbarhet pekar på att naturkapital är en grundförutsättning för ett hållbart samhälle och en hållbar ekonomi, och att naturkapital inte kan ersättas med exempelvis en uppbyggd infrastruktur (Neumayer 2003). Inom den starka hållbarheten blir därför gränsvärden för miljömässig hållbarhet viktigt.



Figur 1. Två olika sätt att illustrera hållbarhet. Hållbarhet består av de tre dimensionerna miljömässig, social (samhälle) och ekonomisk hållbarhet. (a) Hållbar utveckling sker när utvecklingen inom alla tre dimensionerna är hållbar (WCED 1987). (b) Stark hållbarhet åskådliggör att ekonomin är beroende av samhället som i sin tur är beroende av naturresurserna (Neumayer 2003).

FN har inom Agenda 2030 satt upp 17 globala mål för hållbar utveckling (sustainable development goals - SDG, <https://sdgs.un.org/goals>) med avseende på alla tre dimensioner av hållbarhet: ekonomisk, ekologisk och social. För dimensionen ekologisk hållbarhet har Sverige också nationella miljömål (<https://www.sverigesmiljomal.se>) som delvis är desamma eller till stor del liknar FN:s globala mål.

I Jordbruksverkets rapport om hållbara livsmedelssystem (2021a) preciseras att “Hållbara livsmedelssystem ska vara robusta och fungera utifrån alla tre hållbarhetsdimensioner: ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet. De ska leverera säkra livsmedel i tillräcklig mängd och kvalitet även vid större störningar som pandemier, naturkatastrofer, klimatförändringar eller konfliktsituationer.”

Då olika växtskyddsstrategier ska jämföras ur ett hållbarhetsperspektiv behöver man väga in det grundläggande syftet med växtodlingen: att producera växter för livsmedel, foder, fiber, energi eller andra syften. Negativa konsekvenser eller risker med ett visst odlingsystem kan till exempel uttryckas per kg skördad vara eller per ha åkermark som tas i anspråk. Det sätt som risker eller andra negativa konsekvenser vägs mot produktionen kommer att påverka utvärderingen av olika strategier. Att producera livsmedel tar resurser i anspråk. Vissa av dem, till exempel arealen åkermark, är ändliga resurser. Livsmedel är inte heller vilken handelsvara som helst, utan är en förutsättning för välfärd och för många olika aspekter av hållbar utveckling.

### *Ekologisk hållbart växtskydd*

Ekologisk hållbarhet innebär att vi håller oss inom planetens gränser och inte riskerar de basala förutsättningarna för vår existens (Rockström et al. 2009). Med ett ekologisk hållbart växtskydd och odlingssystem bevaras och gynnas odlingsmarkens bördighet och odlingslandskapets ekosystem på kort och lång sikt. Odlingens negativa påverkan på omgivande ekosystem, på land och i vatten, är begränsad och av övergående karaktär. Ekologiskt hållbart växtskydd bidrar till det svenska miljömålet om en giftfri miljö, samt till svenska miljömål och globala mål om rent vatten (SDG 6, SDG 14) ett rikt odlingslandskap (SDG 15), en begränsad klimatpåverkan (SDG 13) och bidrar även indirekt till miljömålet ingen övergödning, med minskad påverkan på vatten (SDG 6, SDG 14) genom att friska grödor bättre kan tillgodogöra sig den näring som tillförs odlingen.

I ett ekologiskt hållbart odlingssystem används växtskyddsstrategier som bevarar odlingsmarken och dess bördighet, och som förhindrar att stora populationer av ogräs och skadegörare byggs upp. Därmed har ekologiskt hållbara odlingssystem förutsättningar att vara resurseffektiva eftersom behovet av insatser med direkta växtskyddsåtgärder minskar. Ett ekologiskt hållbart växtskyddsarbete inkluderar även evolutionär hållbarhet. Det innebär att man har välfungerade strategier för att minska den evolution hos ogräs och skadegörare som gör att de överkommer resistensen hos grödor eller utvecklar resistens mot verksamma substanser som används för växtskydd (Karlsson Green et al. 2020).

### *Ekonomiskt hållbart växtskydd*

Ett ekonomiskt hållbart växtskydd och odlingssystem gynnar lönsamhet på kort och lång sikt, såväl för det enskilda lantbruksföretaget som för samhället (SDG 9). Växtskyddsåtgärder som för en låg kostnad betydligt minskar kostnaderna för skördebortfall på grund av skadegörare och ogräs bidrar till ekonomiskt hållbart växtskydd. I ekonomisk hållbarhet inkluderas ett lands försörjningsförmåga, och sårbarheten på gårdsnivå såväl som på samhällsnivå. Ur ett strikt ekonomiskt hållbarhetsperspektiv behöver odlingssystem inte vara högavkastande, utan kan även baseras på låga kostnader för insatser eller hög inkomst från skördade produkter. En låg avkastning innebär dock att en större odlingsareal måste tas i anspråk för att uppnå samma produktionsvolym, vilket i sin tur kan öka produktionskostnaderna.

### *Socialt hållbart växtskydd*

Ett socialt hållbart växtskydd och odlingssystem uppnås när formella och informella processer - system, strukturer och relationer - är jämlika, inkluderande och demokratiska, och bidrar till en god livskvalitet (Woodcraft 2011, Woodcraft 2012). Ett socialt hållbart samhälle bidrar till hållbarhetsmål om god hälsa och välbefinnande (SDG 3), god utbildning för alla (SDG 4), jämställdhet (SDG 5),

minskad ojämlikhet (SDG 10), samt fredliga och inkluderande samhällen (SDG 16).

I ett socialt hållbart växtskydd ingår låga arbetsmiljörisker, till exempel genom användning av skyddsutrustning och bra teknisk utrustning, rimliga arbetstider och arbetsvillkor för lantbrukare och lantarbetare, god utbildningsnivå kring växtskyddsfrågor samt en yrkesstolthet och framtidstro hos lantbrukare. Ett ömsesidigt förtroende mellan lantbrukare och myndigheter är viktigt, liksom ömsesidigt förtroende i hela livsmedelssystemet och hela kedjan från lantbrukare via olika typer av livsmedelsföretag till konsumenter och beslutsfattare. Det inkluderar en minimering av konflikter och polarisering mellan olika grupper i samhället avseende växtskydd och odlingsystem. Konflikter skulle till exempel kunna gälla brist på förståelse mellan lantbrukare och allmänhet kring användning av växtskyddsmedel. Även förståelse och acceptans för de regler och villkor som användning av växtskyddsmedel är förenat med är viktigt.

## 1.4. Litteraturgenomgång

En mängd svenska och internationella rapporter och studier har berört olika aspekter av hållbart växtskydd, och hur hållbarheten i olika växtskyddsstrategier kan jämföras med varandra. Merparten fokuserar på ekonomisk och ekologisk hållbarhet, medan studier och rapporter som väger samman alla tre dimensioner av hållbarhet är ovanligare (He et al. 2021). Även inom de olika dimensionerna av hållbarhet finns en viss obalans mellan olika hållbarhetsmål som har varit i fokus. Inom ekologisk hållbarhet har miljömålet giftfri miljö varit särskilt betonat, särskilt effekter på icke-målorganismer och odlingslandskapets biodiversitet, och ofta med fokus på större organismer ovan mark, till exempel pollinatörer (Rundlöf et al. 2012, Lundin och Bommarco 2016). Många rapporter berör risker med kemiska växtskyddsmedel, för miljö, djur eller användare, och målkonflikter med behovet av effektiva växtskyddsmedel som ett led i att få höga skördar av god kvalitet och ekonomisk lönsamhet i produktionen (Cederberg et al. 2005, Löfkvist et al. 2016, Buckwell et al. 2020).

Den svenska livsmedelsstrategin har som övergripande syfte att “öka produktionen, bidra till en konkurrenskraftig livsmedelskedja, öka sysselsättningen, exporten, innovationskraften och lönsamheten samtidigt som relevanta miljömål nås” (Sveriges regering 2017). Här betonas alltså att hållbarheten i livsmedelskedjan behöver förbättras, såväl ekonomiskt som ekologiskt. På europeisk nivå har EU-kommissionen inom handlingsplanen “EUs gröna giv” (European Green Deal) strategin “Från jord till bord” (Farm to Fork) satt upp ett flertal mål inför 2030, med syfte att förbättra hållbarheten inom jordbrukssektorn (Europeiska kommissionen 2020). De är i huvudsak inriktade på att förbättra den ekologiska hållbarheten, men handlingsplanen poängterar att det



behöver ske utan allvarliga konsekvenser för andra hållbarhetsaspekter: De handlingsplaner som utformas måste möta alla nio mål som satts upp för EUs gemensamma jordbrukspolitik (CAP 2021-2027; Europeiska kommissionen 2021).

Inom strategin “Från jord till bord” finns bland annat målen att halvera den totala användningen av och risken med kemiska bekämpningsmedel samt att halvera användningen av bekämpningsmedel med hög risk. Dessutom finns mål om att minska växtnäringsläckage och att se till att jordens bördighet inte försämras. Ekologiskt jordbruk lyfts som en miljövänlig metod som bör vidareutvecklas och öka i areal. Man lyfter också skogsjordbruk, precisionsjordbruk, agroekologi och jordbrukssystem som lagrar mycket kol (Europeiska kommissionen 2020). Liknande perspektiv presenteras i en rapport om framtida växtskydd i Europa (Buckwell et al. 2020). Där presenteras hur olika intressenter ser på dagens och framtidens växtskydd, och hur särskilt växtskyddsmedel orsakar stora intressekonflikter. Lantbrukare känner oro för produktions- och lönsamhetsproblem vid minskad tillgång på effektiva produkter. Producenter av växtskyddsmedel känner oro för ökade kostnader i samband med utdragna registreringsprocesser. Miljöorganisationer anser att den negativa påverkan av dagens användning av växtskyddsmedel medför oacceptabla negativa konsekvenser på människors hälsa och på ekosystemets biodiversitet, vatten och jordar. Myndigheter kan inte hantera och stärka nuvarande lagstiftning på ett bra sätt och politiker har föreslagit minskad användning av växtskyddsmedel i många år samtidigt som man ser begränsade förändringar i praktiken. Rapporten föreslår som lösning en förändring av hela livsmedelsproduktionen till ett mindre intensivt system baserat på växtskydd från till exempel naturliga fiender, med det slutliga målet att fasa ut användningen av syntetiska växtskyddsmedel. Samtidigt poängterar den att risker för skördeföruster och kvalitetsproblem med skörden, som till exempel mykotoxinkontaminering, kan komma att uppstå. Den frågar sig också om det är möjligt att uppnå tillräckliga skördar med denna typ av produktionssystem med lägre användning av insatsmedel, och konstaterar att det troligen innebär högre livsmedelspriser och ett behov av att skydda den europeiska marknaden genom importrestriktioner.

En fransk rapport (Butault et al. 2010) diskuterar hur användningen av växtskyddsmedel kan halveras och poängterar behovet av utveckling av dagens växtodlingssystem, till exempel möjligheten till förbättrade växtföljder i den mån det är ekonomiskt hållbart. Förutom forskning och utveckling av växtskyddsstrategier betonas att det i dagsläget är dåligt känt hur kopplingen ser ut mellan en minskning i växtskyddsmedelanvändning och minskade ekologiska risker. Också bland rapporter om hållbart växtskydd med svenskt perspektiv är behovet av och risker med kemisk bekämpning särskilt betonade, till exempel i “Växtskyddsvision för svensk trädgårdsnäring” (Löfkvist et al. 2016) och “Hållbart växtskydd: Analys av olika strategier för att minska riskerna med

kemiska växtskyddsmedel” (Cederberg et al. 2005). Båda dessa rapporter konstaterar att vi i dagsläget inte fullt ut kan utesluta kemiskt växtskydd eller kraftigt begränsa tillgången på kemiska växtskyddsmedel utan att riskera produktionsbortfall och ekonomiska problem i produktionen. De lyfter fram behov av att utveckla nuvarande odlingssystem och lågriskprodukter som skulle kunna ersätta dagens kemiska växtskydd, och även behov av teknisk utveckling som kan minska användning av och risker med kemiska växtskyddsmedel, till exempel förbättrad sprutteknik.

Såväl i europeiska som svenska rapporter och strategier lyfts ofta en ökad areal med ekologisk produktion som ett viktigt medel för att minska användningen av kemiska växtskyddsmedel och därigenom förbättra hållbarheten i växtodlingen. I Sveriges nationella handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel (NAP), avsnitt 3.5 beskrivs i mål 5 att ”Hållbara odlingssystem ska utvecklas och tillämpas i ökad omfattning för att minska beroendet av kemiska växtskyddsmedel. Intensiteten i användningen av kemiska växtskyddsmedel ska minska, att öka andelen ekologisk areal är ett sätt att åstadkomma detta. Utvecklingen av hållbara odlingssystem inkluderar bl.a. alternativa metoder och tekniker, sortval, jordbearbetning, växtföljd och andra förebyggande åtgärder“ (Sveriges regering 2019a). Regeringen har också satt upp målet att Sverige år 2030 ska ha 30% ekologisk jordbruksareal och att 60% av den offentliga livsmedelskonsumtionen ska utgöras av ekologiska produkter (Sveriges regering 2019b). Det finns dock studier och rapporter som är kritiska till ekologisk produktion som en väg till ökad hållbarhet. Kritiken baserar sig särskilt på att avkastningen generellt sett är lägre i ekologisk produktion, och att en större åkerareal därmed krävs för att producera samma skörd (Nilsson 2009, Kirchmann et al. 2014).

Enheten för bedömning av vetenskapliga och tekniska alternativ vid Europaparlamentets utredningstjänst har nyligen genomfört en djupanalys (EPRS 2019) och en studie (EPRS 2021). Djupanalysen utreder dagens användning av och syn på växtskyddsmedel och framtida möjligheter för ett hållbart nyttjande för dem (EPRS 2019). Studien syftar till att ge en översikt kring möjliga växtskyddsåtgärder i relation till en hållbar utveckling, med alla tre dimensioner av hållbarhet i åtanke och med utgångspunkten att dagens skördenivåer behöver upprätthållas eller öka för att tillgodose behoven hos en ökande befolkning (EPRS 2021). Studien lyfter fyra åtgärder som särskilt betydelsefulla för ett hållbart växtskydd: precisionsodling, växtförädling, [tillsättande] biologisk bekämpning samt odling enligt ekologiska principer. Detta baserat på att de bedömer att åtgärderna har positiva effekter på flera hållbarhetsindikatorer.

Studier som inkluderar mer än en dimension av hållbarhet har ökat på senare år. Potentiella synergieffekter och målkonflikter mellan olika hållbarhetsmål har ofta diskuterats i samband med ett ökat fokus på integrerat växtskydd, där vanligen åtminstone ekologisk och ekonomisk hållbarhet vägs in. I den mån social hållbarhet

inkluderats är det ofta begränsat till arbetsmiljöfrågor med fokus på minskad exponering för skadliga ämnen (Lantmännen 2021, Mouron et al. 2016), men allt större fokus har på senare tid riktats mot en bredare syn på social hållbarhet där man även inkluderar faktorer såsom lantbrukares och lantarbetares arbetsvillkor och arbetsglädje samt interaktioner med andra delar av samhället. Ett flertal verktyg som utvärderar hållbarheten med olika växtskyddsstrategier har utvecklats och publicerats, vanligen med fokus på specifika grödor såsom äpple (Mouron et al. 2012), höstvetete och potatis (Mouron et al. 2016), men med en strävan att utveckla utvärderingsverktyg som fungerar över olika odlingssystem (Angevin et al. 2017, Pelzer et al. 2012) för att möjliggöra jämförelser på en mer övergripande nivå och inte bara inom en specifik gröda. Utöver system som utvärderar hållbarheten pågår en utveckling av olika beslutsstödssystem, särskilt med fokus på att avgöra när en kemisk bekämpning är motiverad ut ett ekonomiskt perspektiv.

## 2. Växtskydd fram tills idag

### 2.1. Växtskyddets historiska utveckling i Sverige

Länge var växtskyddet i Sverige begränsat till förebyggande metoder som växtföljd och mekanisk ogräsbekämpning. Lantbrukets strukturrationalisering har över tid i allt högre utsträckning separerat växtodling och djurhållning vilket förenklat växtföljderna och därmed haft en negativ påverkan på det förebyggande växtskyddet. Vi har inte funnit svenska siffror över hur variationen av grödor förändrats över tid, men i nyligen publicerad amerikansk studie fann man att den geografiska koncentrationen av odlingen av 18 stora lantbruksgrödor har ökat med en faktor 15 mellan 2002 och 2017 (Crossley et al. 2021). Över längre tid (1940-2017) hade det skett en stark specialisering där många grödor som tidigare odlades i stora delar av USA nu endast fanns i vissa delar (t.ex. lin och bovete i nordväst, durra i Kansas och sötpotatis, jordnötter och tobak i sydöst; Crossley et al. 2021). På liknande sätt har spannmålsodling i Sverige över tid koncentrerats allt mer till slättbygderna och vallodling allt mer till mellan- och skogsbygder.

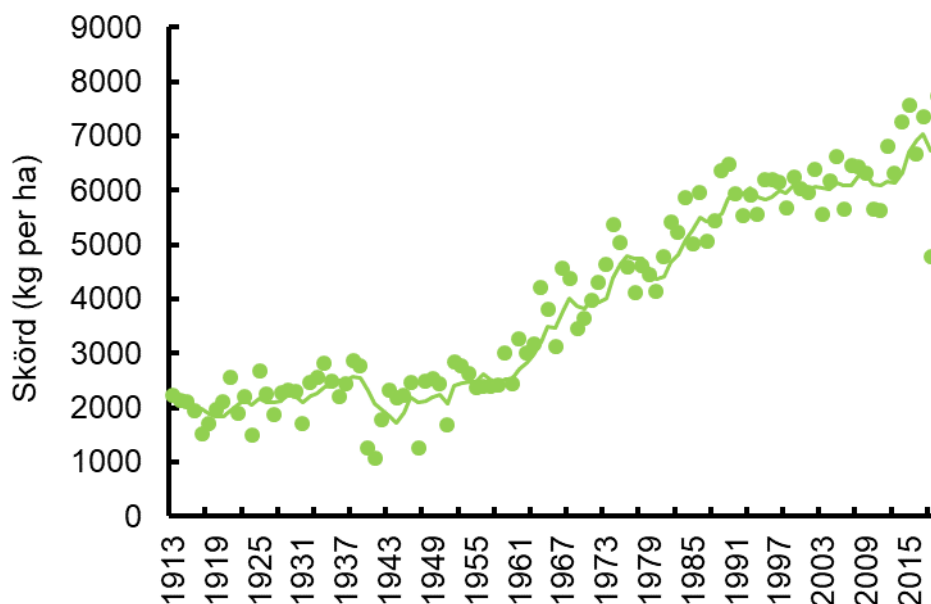
Med en ökad förståelse av växters försvar mot sjukdomar har växtförädlingen sedan början av 1900-talet gjort stora framsteg i utvecklingen av sjukdomsresistenta eller toleranta sorter, något som haft en avsevärd betydelse för att minska problem med flera betydelsefulla sjukdomar som svartrost, gräsmjöldagg, potatiskräfta och havrecystnematod. Efter att tidigare ha baserat sig på urval av de bäst avkastande och friskaste växterna kunde nu förädlingen göras mer målinriktad med inkorsning av resistensgener från vilda växtslag. Särskilt förädling för rasspecifik resistens var framgångsrik i att utveckla sorter med en kombination av bra resistens och andra önskvärda sortegenskaper. Resistens som patogener kan överkomma genom enstaka mutationer är dock sårbar och har i många fall har visat sig vara kortvarig. Därför arbetar man nu alltmer med mer komplexa mekanismer för resistens eller med kombinationer av resistensgener. Med tiden har kunskap och teknik utvecklats och utbudet av tillgängliga sorter med bra resistensegenskaper ökat, även om vi ännu är långt ifrån att ha tillgång till resistent sorter mot alla sjukdomar, bland annat beroende på att resistensmekanismer är komplexa och varje värd-patogen-system är unikt. I och med att patogener ständigt evolverar krävs också en

kontinuerlig utveckling av nya sorter med nya resistensegenskaper (Dehne och Schönbeck 1999).

På 1930-talet var användningen av växtskyddsmedel i svensk växtodling begränsad. Kvicksilver-, svavel- och kopparföreningar användes mot svampar och arsenikföreningar, pyretrin, nikotin och rotenon mot insekter (Umareus 1988). Vid det här tiden bedrevs omfattande forskning i Sverige på skadegörarnas biologi, livscyklar, skadegörelse och naturliga fiender. Studier av klöverspetsvivlar - skadeinsekter i fröodling av klöver - kan användas som exempel. Under 30-talet studerade Gösta Notini vid Statens växtskyddsanstalt, dessa skadegörarens livscykelstadier (ägg, larv, puppa, fullbildad insekt) i detalj, deras skadegörelse och förekomst i över 400 fält från Skåne till Norrbotten (Notini 1935, 1938). Även de naturliga fiendernas (parasitsteklar och parasitsvampar) biologi och hur stor andel av vivlarna som angreps av parasitsteklar och parasitsvamp undersöktes (Notini 1935).

Genombrottet för kemiska växtskyddsmedel kom med syntetiskt framställda kemiska bekämpningsmedel, t.ex. DDT som lanserades i Sverige efter andra världskriget. Utvecklingen av de tidiga växtskyddsmedlen drog nytta av krigstidens forskning om kemiska stridsmedel (CKB 2021). De kemiska växtskyddsmedlens genombrott och ökade användning minskade intresset för forskning om skadegörarnas biologi.

Mekanisering, förädling och ökad användning av agrokemikalier, inklusive kemiska växtskyddsmedel, har möjliggjort kraftigt ökade skördar under 1900-talet i Sverige och de industrialiserade länderna. Figuren nedan visar svenska höstveteskördar. Speciellt tydlig är skördeökningen mellan 1960 och 1990, med en tredubbling av skördarna.



**Figur 2.** Svenska höstveteskördar 1913-2019. Källa: Jordbruksverket, Långa tidsserier – basstatistik om jordbruket åren 1866–2020.

De första tecknen på negativa effekter på miljön av den ökade användningen av växtskyddsmedel kom under 50-talet, och under 60-talet uppmärksammades problemen allt mer, t.ex. genom boken *Tyst vår* (Carson 1962). Efter debatt och förbud mot DDT i Sverige (1970) följde en liknande debatt och så småningom utfasning av ogräsmedlet hormoslyr som främst användes på skogshyggen och banvallar. Utfasning av långlivade fettlösliga bekämpningsmedel som ersattes av mer lättnedbrytbara men också mer vattenlösliga bekämpningsmedel ledde till att problem med bekämpningsmedel i vatten uppmärksammades allt mer under 1980-talet (CKB 2021). Sverige har sedan 1980-talet därför aktivt arbetat med att minska användningen av kemiska bekämpningsmedel.

## 2.2. Indikatorer för hållbart växtskydd

Nuvarande indikatorer för hållbart växtskydd domineras i Sverige av sådana som kopplar till användningen av växtskyddsmedel. Förutom de indikatorer som berörs här samlas ytterligare data om försäljning och användning av växtskyddsmedel in som på olika sätt används för uppföljning. Denna statistik beskrivs närmare i en rapport som Växtskyddsrådet tagit fram (Jordbruksverket 2019b).

### 2.2.1. Indikatorer kopplade till miljömålet giftfri miljö

För miljömålet giftfri miljö (<http://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/giftfri-miljo/>) finns indikatorn växtskyddsmedel i ytvatten, som anger ett toxicitetsindex för uppmätta växtskyddsmedelsrester i ytvatten. Indikatorn tas fram av SLU. Indexet visar ingen minskning sedan indexår 2002. Kemikalieinspektionen (2004) har dessutom riskindikatorer för miljö respektive hälsa av växtskyddsmedelsanvändning som används för uppföljning av miljömålet giftfri miljö. Båda dessa riskindikatorers index har minskat sedan basåret 1988, men minskningen skedde under slutet av 80- och början av 90-talet. Därefter saknas en tydlig trend.

### 2.2.2. Harmoniserade riskindikatorer

EU-länderna övervakar risker med användning av växtskyddsmedel med gemensamma, harmoniserade riskindikatorer (Jordbruksverket 2020). Den första indikatorn baseras på den totala mängden verksamma ämnen (kg) som släpps ut på marknaden och en riskviktning för respektive ämne. För Sverige har detta index minskat från 100 under basåren 2011-2013 till 67 under 2018. Den andra indikatorn baseras på antalet tillfälliga dispenser för godkännande av växtskyddsmedel. Index för indikatorn har legat stilla på 57-74 under 2014-2017, men sjönk under 2018 till 42.

### 2.2.3. Indikatorer kopplade till NAP

Ytterligare indikatorer, utöver de ovan nämnda, har tagits fram i “Sveriges nationella handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel för perioden 2019–2022” (Sveriges regering 2019a):

- Andelen ekologiskt odlad jordbruksmark
- Antal företag med skyddszoner och skyddszonernas sammanlagda areal
- Andel barrträdsplantor som skyddas med mekaniskt skydd
- Andel icke kemiskt behandlat utsäde
- Andel växthusodlare som använder bekämpning med NIS (nematoder, insekter och spindeldjur)
- Andel av höstsådd areal som behandlas med herbicider under hösten
- Andel blommande gröda som behandlats med växtskyddsmedel som är skadliga för pollinerande insekter
- Användning av tillväxtreglerande medel i andra stråsådesgrödor än råg
- Användning av växtskyddsmedel för nedvissning eller ogräsbekämpning senare än en månad före skörd i odlingar av stråsåd
- Andel av bom- och fläktsprutorna som är utrustade så att de enkelt och noggrant kan rengöras, utan förorening av miljön.
- Andel av bom- och fläktsprutorna som är utrustade så att påfyllning av växtskyddsmedel kan ske enkelt och exakt
- Andel av yrkesmässiga användare som fyller på sin sprututrustning på lämplig plats.
- Förekomst av halter av växtskyddsmedel som överskrider riktvärden eller gränsvärde i yt-, grund- och dricksvatten
- Försäljningsstatistik av produkter som innehåller de aktiva substanserna diflufenikan, bentazon, glyfosat, MCPA, metribuzin och olika neonikotinoider
- Förekomst av resthalter av växtskyddsmedel i inhemskt odlade grödor
- Andel av yrkesmässiga användare som använder föreskriven skyddsutrustning
- Andel av yrkesmässiga användare som har rutiner som minimerar hälso- och miljöriskerna vid påfyllning av spruta.
- Andel av yrkesmässiga användare som förvarar växtskyddsmedel på godtagbart sätt.
- Rapport från tillsynsprojekt om tillämpning av integrerat växtskydd och andra delar av direktivet.

#### 2.2.4. Indikatorer kopplade till miljömålet ett rikt odlingslandskap

Flera av indikatorerna för miljömålet ett rikt odlingslandskap (<https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/ett-rikt-odlingslandskap>) har en koppling till växtskydd. Indikatorn “Andel ekologisk odling i slättbygd” har ökat från 8% 2009 till 14% 2019. Index för både fåglar och fjärilar i odlingslandskapet har en sjunkande trend, medan hektarskördarna för vårkorn och höstvetete har en ökande trend. Indikatorn “Jordbrukets utveckling” visar att jordbruksmarkens totala yta och antalet nötkreatur har minskat något sedan mitten av 1970-talet i Sverige. Antalet jordbruksföretag har under samma tid minskat med drygt 50% och antalet företag med nötkreatur med 82% under perioden 1975-2020.

### 2.3. Hållbart växtskydd i Sverige i en internationell jämförelse

Vi har inte hittat några studier som systematiskt skattat växtskyddets hållbarhet i svenska jämfört med internationella odlingsystem. Det finns europeiska forskningsprojekt som för vissa grödor, odlingsystem och växtskyddsvariabler gjort internationella jämförelser. Till exempel har nivån av integrerat växtskydd i majsodling skattats i en europeisk studie där Sverige inte ingick (Meissle et al. 2010) och tillämpningen av växtskyddsåtgärder (insådd, samodling, mellangrödor, vallodling) för ogräsbekämpning inom ekologisk odling har kvantifierats i en studie med Östersjöländer, där Sverige ingick (Hofmeijer et al. 2021).

Det som det i viss mån finns sammanställda data på är användningen av växtskyddsmedel. Användningen av växtskyddsmedel (sålda mängder i kg per ha) är låg i Sverige jämfört med andra länder i Europa (Rundlöf et al. 2012). Internationella jämförelser av användning av växtskyddsmedel försvåras dock av stora skillnader i klimat och odlingsförhållanden, som både styr vilka grödor som odlas i olika länder och vilket skadegörartryck som förekommer i grödorna. Användningen av olika grupper av växtskyddsmedel är starkt kopplad till typ av gröda. I länder med stora arealer av vin- och fruktodling i södra Europa är användningen av bekämpningsmedel särskilt hög. Även i en jämförelse med våra grannländer med mer liknande klimat och odlingsförhållanden är dock de sålda mängderna växtskyddsmedel låga: 0,72 kg/ha för Sverige jämfört med 1,43 kg/ha i Finland och 1,61 kg/ha i Danmark (Sveriges regering 2019a).



## 2.4. Hur hållbart är växtskyddet i dagens odlingssystem i Sverige?

Internationella sammanställningar visar att de proportionella skördeförlusterna orsakade av ogräs, sjukdomar och skadeinsekter inte har minskat under perioden 1960 till 2000 (Oerke 2006). Förklaringen tros vara att lantbrukets rationalisering, förenkling och stordrift gynnat skadegörarna. Vi känner inte till liknande data specifikt för Sverige, men vi antar att situationen är liknande här. Växtskyddsmedelsanvändning tros ha bidragit till att behålla skördeföruster orsakade av skadegörare på en proportionellt relativt konstant nivå i odlingssystem som i allt högre grad gynnat skadegörare (Oerke 2006). Det förebyggande växtskyddet har därför förmodligen försvagats över tid. För att återvända till Notinis klöverspetsvivlar, är angreppen av dessa skadeinsekter i obekämpade fält idag högre än på 1930-talet, speciellt i fält med hög andel jordbruksmark i landskapet, och de naturliga fiendernas parasiteringsgrad är lägre (Lundin et al. 2016). Strukturrationalisering har koncentrerat odlingen av enskilda grödor och minskat den odlade mångfalden av grödor i tid och rum, vilket i sin tur gynnat ogräs, patogener och skadeinsekter (MacLaren et al. 2020, Delaune et al. 2021).

Med 60- och 70-talet som utgångspunkt har betydande framsteg mot odlingssystem med hållbart växtskydd gjorts när de gäller direkta växtskyddsåtgärder i Sverige i form av minskade miljö- och hälsorisker kopplade till användning av växtskyddsmedel i kombination med ökad produktivitet hos målgrödorna för växtskyddsinsatserna. Utveckling, reglering och obligatorisk utbildning för användare har lett till att växtskyddsmedelanvändningen blivit säkrare för användare, konsumenter och miljö. De direkt akut och dödligt giftiga effekterna av växtskyddsmedel på den biologiska mångfalden har minskat (Rundlöf et al. 2012). Till exempel sjönk antalet inrapporterade misstänkta biförgiftningar i Sverige med omkring 90 procent mellan 1970 och 2005 (Rahbek Pedersen och Ebbersten 2009). Vad gäller indirekta (t.ex. effekter på växt- och frätande fåglar till följd av ogräsmedelanvändning) och subletala effekter (icke-dödliga effekter på t.ex. reproduktion) på den biologiska mångfalden av växtskyddsmedelanvändning är det dock inte säkert att dessa risker minskat över tid (Rundlöf et al. 2012). Inom växthusodling har biologisk bekämpning framgångsrikt kunnat ersätta vissa typer av kemisk bekämpning.

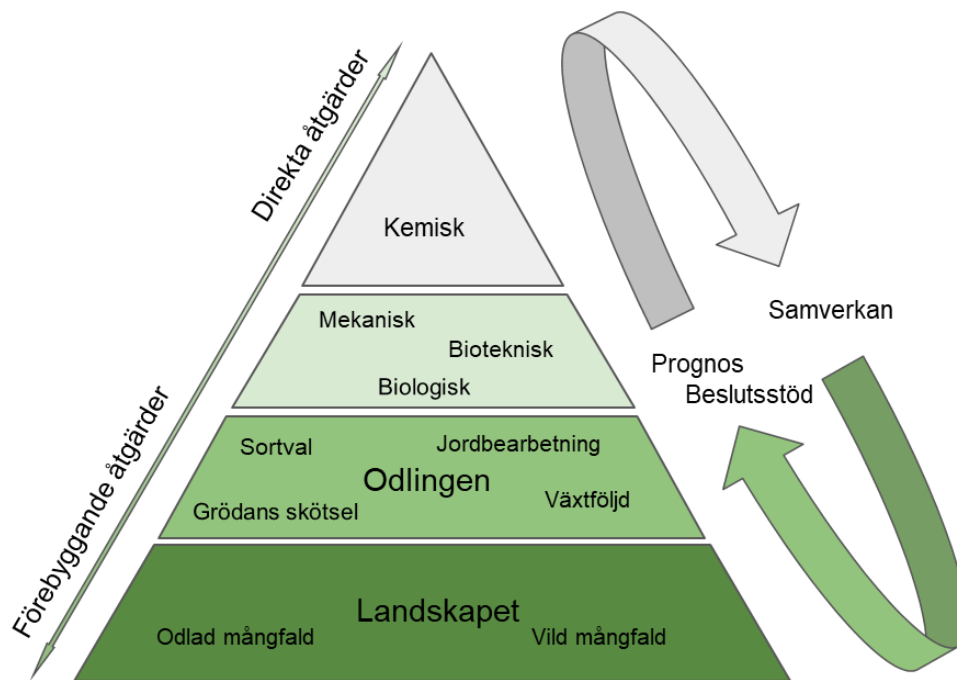
Användningen av kemiska växtskyddsmedel har förändrats över tid. En mindre mängd verksamt substans kan numera användas för att uppnå samma måleffekt, vilket gjort att de försålda mängderna växtskyddsmedel räknat i ton minskat under de senaste årtiondena, medan mängder hektardoser legat still eller ökat under samma period (Rundlöf et al. 2012, SCB 2019). Tillgången till kemiska växtskyddsmedel, framför allt insekticider, har de senaste åren minskat. Detta gör

odlingssystem som i hög grad förlitar sig på kemiska växtskyddsmedel mer sårbara för ytterligare restriktioner i tillgången till kemiskt växtskydd.

Det är svårt att bedöma hur växtskyddets ekonomiska hållbarhet utvecklats över tid. Det finns tillgång till prisstatistik för växtskyddsmedel och skördeprodukter i Jordbruksverkets statistikdatabas, men däremot känner vi inte till några data på totala kostnader för skördebortfall orsakade av skadegörare eller växtskydd, vilket skulle behövas för att skatta utvecklingen av den ekonomiska hållbarheten över tid. Vad gäller växtskyddets sociala hållbarhet har arbetsmiljörisker minskat och växtskyddsmedelsanvändarnas utbildningsnivå i växtskydd ökat över tid. Urbaniseringen har bidragit till en polarisering generellt i samhället som förmodligen också gäller växtskyddsfrågor med skillnader i kunskap och värderingar mellan producenter och konsumenter av lantbruksprodukter, dock har denna generella samhällspolarisering inte ökat under de senaste årtiondena (Larsson et al. 2020).

### 3. Förslag och åtgärder för odlingssystem med mer hållbart växtskydd

Här presenteras våra förslag och åtgärder för odlingssystem med mer hållbart växtskydd. Våra förslag utgår från den så kallade pyramiden för integrerat växtskydd (Figur 3, modifierad efter Boller et al. 2004, Meissle et al. 2011, Hokkanen 2015, Jordbruksverket 2015 och Stenberg 2017).



**Figur 3.** Pyramid för integrerat växtskydd som illustrerar att de förebyggande metoderna är basen i växtskyddet. De direkta åtgärderna tillämpas när de förebyggande åtgärderna inte lyckats åtgärda växtskyddsproblemet. Prognoser och beslutsstöd, samt samverkan styr och utvecklar växtskyddsarbetet och är viktiga komponenter i alla nivåerna i pyramiden.

Pyramiden för integrerat växtskydd illustrerar att grunden i växtskyddsarbetet är de förebyggande åtgärderna och att direkta åtgärder tillämpas efter att de förebyggande åtgärderna inte lyckats åtgärda växtskyddsproblemet. För varje nivå inom pyramiden redogör vi för olika åtgärders potential att bidra till växtskydd samt ger förslag på hur åtgärderna kan utvecklas mot målet att öka hållbarheten i odlingssystemet. Vi utgår från åtgärdernas förmåga att bidra till hållbart växtskydd,

men berör även hur utvecklingsförslagen påverkar andra aspekter av odlingsystemets hållbarhet.

### 3.1. Förebyggande växtskydd - landskapsnivå

#### 3.1.1. Förhindra införsel och etablering av nya ogräs och skadegörare

Nya ogräs och skadegörare som etablerar sig kan orsaka stora problem i odlingar och i vissa fall helt förändra förutsättningarna för produktionen. Problem liknande de orsakade av nya arter kan uppstå genom att redan etablerade arter förändrar sin förekomst genom evolution hos organismen, eller förändrade förutsättningar för dess reproduktion eller spridning.

För att undvika spridning och etablering av nya ogräs och skadegörare finns särskilda regelverk kring upptäckt och åtgärdsprogram för reglerade skadegörare, enligt bestämmelser i EU-förordning 2016/2031. Här ingår åtgärder för att förhindra införsel via handel, tidig upptäckt och beredskapsplaner för prioriterade karantänkskadegörare. För icke reglerade skadegörare och för förändringar hos redan etablerade skadegörare finns en sämre beredskap. Åtgärdsprogram för att spåra evolutionära förändringar hos olika organismer i miljön skulle också kräva en helt annan typ av inventeringsarbete och arbetsinsats. Effekterna kan dock upptäckas av odlare och rådgivare, till exempel genom de inventeringar som görs av Växtskyddscentralerna (Jonsson et al. 2015). Vissa typer av förändringar följs också systematiskt genom Växtskyddscentralernas verksamhet, såsom fungidicresistens hos bladfläcksvampar, rasförändringar inom *Puccinia striiformis*, som orsakar gulrost, och insekticidresistens hos rapsbagge.

Handelsbegränsningar i syfte att förhindra införsel av nya ogräs och skadegörare kan ha negativa ekonomiska konsekvenser och leda till ett begränsat utbud av sorter som är tillgängliga för lantbrukare och andra odlare. Ett begränsat utbud av sorter leder också till en begränsning i den odlade diversiteten och kan även minska möjligheter att odla sorter med lämpliga egenskaper.

Även på lokal nivå är arbete för att förhindra införsel och etablering av nya ogräs och skadegörare en viktig förebyggande åtgärd. Genom rengöring av maskiner kan spridning av ogräsfrö och jordburna patogener såsom *Plasmodiophora brassicae* som orsakar klumprotsjuka och olika typer av växtpatogena nematoder förhindras. Ogräsfrö kan även spridas via transporter av halm, fodermedel och gödsel (Jordbruksverket 2019d).

### *Slutsats och rekommendation*

Ett viktigt arbete med riskvärdering och åtgärdsprogram för att förhindra etablering av nya skadegörare görs av Jordbruksverket (växtregelenheten, växtkontrollenheten, rådgivningsenheten, import- och exportenheten, utsädesenheten) och SLU (enheten för riskvärdering av växtskadegörare). Det är av stor vikt att dessa verksamheter fortsätter. Vi stödjer också de förslag till utvecklad övervakning av nya ogräs och skadegörare som SLU (Jonsson et al. 2015) och Jordbruksverket (2016) lagt fram. Vår bedömning är att det ökade arbetet och kostnaderna som förslagen medför kommer vara samhällsekonomiskt lönsamma på längre sikt.

### **3.1.2. Icke-odlad mark**

Den icke-odlade marken i odlingsystemet, såsom betesmarker, skogsdungar och fältkanter, påverkar förekomsten av skadedjur, patogener och ogräs (Raatz et al. 2021). Både förbättrat och försämrat växtskydd är möjligt. Sambanden kompliceras av flera olika faktorer. Det finns tydliga bevis för att naturliga fiender till insektsskadegörare generellt gynnas av icke-odlad mark, men samtidigt kan också vissa insektsskadegörare gynnas (Tscharntke et al. 2016, Tamburini et al. 2020). För ogräs kan fältkanter utgöra källhabitat som förenklar spridningen och konnektiviteten i landskapet för vissa arter (Fried et al. 2009, MacLaren et al. 2020), men samtidigt behöver landskap som ger förutsättningar för en ökad artrikedomen av ogräs inte vara skadliga för grödproduktionen, eftersom uppförökningen av enskilda, särskilt problematiska ogräsarter då kan begränsas (Adeux et al. 2019). Den ökade artrikedomen av ogräs är också värdefull för den biologiska mångfalden (Fried et al. 2009). Den icke-odlade marken kan tillhandahålla alternativa värdväxter för patogener, men om detta bidrar till ökade sjukdomsangrepp i grödorna är bristfälligt utrett (Plantegenest 2007, Yuen och Mila 2015). Studier på området kompliceras dessutom av att avkastningen i närheten av den icke-odlade marken ofta påverkas av faktorer som inte är kopplade till växtskydd, såsom ökad skuggning, förändrad jordart och struktur, samt ökad förekomst av pollinerande insekter.

### *Slutsats och rekommendation*

Den icke-odlade marken i jordbrukslandskapet, speciellt betesmarkerna, är generellt mycket värdefulla för den biologiska mångfalden och bidrar med många viktiga ekosystemtjänster (Bengtsson et al. 2019) vilket gör dem viktiga att bevara. En ökad mängd permanenta livsmiljöer, i jordbrukslandskapet kan också öka resiliensen och minska den negativa effekten av växtskyddsmedelsanvändning på biologisk mångfald (Kemikalieinspektionen 2021). Specifikt för växtskydd finner vi dock inte något starkt stöd för att de förbättrar eller försämrar växtskyddet och därför lämnar vi inga speciella rekommendationer kopplade till den icke-odlade

marken i odlingsystemet utöver att dess roll för växtskyddet behöver undersökas närmare.

### 3.1.3. Växtföljd och variation av grödor i landskapet

En variation av grödor spelar roll både i växtföljden på ett enskilt fält och på större skala i hela landskapet. De båda skalorna är kopplade till varandra eftersom en mer varierad växtföljd på de enskilda fälten också kommer ge en större variation av grödor i landskapet, så länge inte hela landskapet roteras med samma gröda ett enskilt år. Här behandlar vi därför både landskapets gröddiversitet och fältets växtföljd.

En varierad och väl genomtänkt växtföljd är en central förebyggande växtskyddsåtgärd som gör att risken för allvarliga problem med många ogräs, sjukdomar och insektsskadegörare kan minskas avsevärt. En varierad växtföljd är kritisk på det enskilda fältet för till exempel markburna patogener som *Plasmodiophora brassicae*, som orsakar klumprotsjuka (Jonsson et al. 2016, Gunnarson 2021) och patogener inom *Aphanomyces* och *Phytophthora* som orsakar rotrötter i baljväxter (Borgström et al. 2019). Varierade växtföljder på en större skala i hela odlingslandskapet är relativt sett viktigare för skadegörare med högre spridningsförmåga, som flera insektsskadegörare (Delaune et al. 2021, Lundin et al. 2021) och även vindspridda växtpatogener (Zhu et al. 2000). Ogräs förebyggs också effektivt av varierade grödval både på fältet och i landskapet (Bourgeois et al. 2020, Hofmeijer et al. 2021). För renkavle till exempel, som är ett besvärligt ogräs i växtföljder med mycket höstvetete i norra Europa, är den enskilt mest effektiva förebyggande åtgärden att öka andelen vårsådda grödor i växtföljden (Moss 2017). En varierad växtföljd, speciellt med vall och mellangrödor, ger även synergieffekter i form av bättre växtnäringshushållning och generellt förbättrad jordhälsa.

Det främsta hindret för mer varierade växtföljder är begränsningarna i odlingssäkerhet, avsättning, ersättning och logistisk hantering av grödorna som behöver införas i växtföljden för att göra den mer varierad. Till exempel är priset för höstvetete och vårkorn liknande, men vårkorn avkastar generellt sett betydligt lägre och höstspannmål har också en mer stabil avkastning jämfört med vårspannmål och trindsäd (Reckling et al. 2018). Den sämre ekonomin i mer varierade växtföljder kan dock till viss del bero på de ekonomiska kalkylerna är ofullständiga och har en begränsad tidshorisont. Till exempel kan införande av flerårig vall i växtföljder med ettåriga grödor höja inte bara den efterkommande grödans avkastning utan avkastningen hos samtliga grödor i växtföljdsomloppet samt minska kostnaderna för insatsmedel (Tidåker et al. 2016). Dock krävs det en avsättning för vällen, till exempel för produktion av bioenergi eller foder, för att den ska vara ekonomiskt intressant (Tidåker et al. 2016).

### *Slutsats och rekommendation*

En varierad växtföljd på fältet och en variation av grödor i landskapet minskar förekomsten av skadegörare avsevärt. Det behövs mer forskning kring odlingssäkerhet och avsättningen för de grödor som ska odlas i större omfattning för öka gröddiversiteten. En ökad variation av grödor kan försämra gårdsekonomin kortsiktigt, men vara lönsamt och mer robust i ett längre tidsperspektiv, särskilt i ett förändrat klimat. För att stödja lantbruksföretagen behöver rådgivning kring långsiktiga ekonomiska effekter av växtföljder utvecklas. Vi föreslår också en ökad satsning på innovationsstöd som kan utveckla drivkrafter på marknaden för en mer varierad växtodling. Vi bedömer att sådana innovationsprojekt skulle gynnas av att aktörer i hela livsmedelskedjan deltar, eftersom det finns hinder för diversifiering i hela distributionskedjan.

## 3.2. Förebyggande växtskydd - odlingen

### 3.2.1. Samodling och sortblandningar

Samodling inkluderar olika metoder för att odla två eller flera arter av grödor på samma fält (Malézieux et al. 2009) och har visats minska problem med ogräs (Liebman och Dyck 1993), skadeinsekter (Trenbath 1993) och sjukdomar (Boudreau 1993). Tillämpningen och den praktiska användningen av samodlingen är dock begränsad, kanske främst beroende på tekniska begränsningar för att kunna så, sköta, skörda och processa samodlade grödor med den teknik som för tillfället finns allmänt tillgänglig bland lantbrukare och upphandlare (Brooker et al. 2015). Sortblandningar, där olika sorter av samma gröda odlas på samma fält, representerar en lovande mellanväg mellan odling i renbestånd och samodling av flera grödarter som delvis kan utnyttja diversifieringens fördelar i form av förbättrat växtskydd mot framför allt patogener, men även insekter och ogräs, samtidigt som grödans etablering, skötsel och skörd förenklas i jämförelse med samodling (Wuest et al. 2021). Dock kan det fortfarande finnas begränsningar i den skördade grödans avsättning, till exempel på grund av höga krav på enhetlig produktkvalitet.

### *Slutsats och rekommendation*

Samodling, sortblandningar och andra växtodlingsmetoder som ökar den odlade mångfalden på fältet minskar ofta skördebortfallet orsakade av ogräs, sjukdomar och skadedjur, men odlingen hindras i praktiken av ökade kostnader eller avsaknad av logistik för att odla, skörda och sälja samodlade grödor. Vi föreslår att den satsning på innovationsstöd för mer varierad grödodling som vi föreslagit i avsnitt 3.1.3 också inkluderar åtgärder för diversifiering på fältet.

### 3.2.2. Motståndskraftiga sorter

Ett väl genomtänkt sortval är en grundförutsättning för en hållbar växtproduktion. Sorter med god resistens eller tolerans mot sjukdomar kan ge stora skördeökningar, vanligtvis utan negativa effekter på omgivande miljö, arbetsmiljö eller i form av farliga restprodukter i foder eller livsmedel. Välfungerande sorter kan också konkurrera bättre mot ogräs och det finns även en möjlighet att välja sorter med bättre tolerans mot insektsangrepp (Lamichhane et al. 2018).

Växtförädling kan göras med stöd av olika typer av selektion och urvalskriterier, och med hjälp av flera olika slags tekniker, till exempel hybridisering eller mutationsförädling. På senare år har olika tekniker med genmodifiering av växter utvecklats. Det innefattar både strategier där gener stängs av, där artegna gener introduceras, så att de till exempel förekommer i fler kopior än innan (cisgena växter), och strategier där gener från andra arter introduceras i växten (transgena växter). Särskilt i det senare fallet kommer påverkan på omgivning och slutprodukt bero på vilka gener som introduceras och även hur grödan används. En sort med förbättrad resistens mot en växtsjukdom kan till exempel möjliggöra minskad fungicidanvändning och därigenom ha en positiv miljöpåverkan, förutsatt att förändringen inte medför negativa effekter på icke-målorganismer.

Oavsett förädlingsteknik behöver resistent sortmaterial användas med omsorg, för att undvika ett stort selektionstryck som gör att skadegöraren genom evolution överkommer resistensen (Lamichhane et al. 2018). I det sammanhanget har genmodifierade grödor lyfts fram som ett positivt bidrag då de i framtiden skulle kunna möjliggöra användning av sortblandningar som är enhetliga i alla kvalitativa avseenden, men där olika typer av resistensgener förekommer och skulle kunna bytas ut över tid.

För att en ny sort ska användas måste den, inklusive den teknik som använts för att utveckla den, ha acceptans hos lantbrukare och samhället i stort. Det finns konsumentgrupper och naturvårdsorganisationer som känner tveksamhet inför tekniker som inkluderar genmodifiering, och dagens EU-reglering tillåter inte odling av genmodifierade grödor.

#### *Slutsats och rekommendation*

Växtförädling är en av grundstenarna i integrerat växtskydd. På kortare sikt föreslår vi att förekomsten av skadegörare i sortförsöken undersöks i högre utsträckning, för att se till att det finns information om sortmaterialets motståndskraft mot olika skadegörare. På längre sikt behövs växtförädlingsforskning om motståndskraftiga grödor för svenska förhållanden. Satsningen på SLU Grogrund är positiv i detta hänseende och bör fortsätta. Både grundläggande och mer tillämpad resistensforskning behövs. Växtförädlingsforskningen bör vara teknikneutral och innefatta till exempel genetiskt modifierade grödor.



### 3.2.3. Grödans skötsel

Grödans etablering och skötsel, t.ex. såtidpunkt, utsädesmängd, gödsling, bevattning, samt klimatstyrning (vid växthusodling) påverkar växtskyddet mot ogräs, patogener och skadeinsekter (Jordbruksverket 2019d, MacLaren et al. 2020, Lundin et al. 2021). Till exempel ökar tidig sådd av höstsäd risken för angrepp av flera skadegörare i höstsäd (Jordbruksverket 2019d) och organiska gödselmedel kan förbättra växtskyddet mot skadeinsekter och rotsjukdomar (Rowen et al. 2019, Nwokolo et al. 2021).

#### *Slutsats och rekommendation*

Grödans skötsel har betydelse för växtskyddet, men den generella förståelsen av betydelsen av grödans skötsel är begränsad. Det saknas i flera fall kunskap av hur olika skötselmetoder påverkar specifika kombinationer av grödor och skadegörare och detta är därför något som behöver undersökas mer.

### 3.2.4. Jordbearbetning

Det bearbetningssystem som används för att bruka jordbruksmark har stor påverkan på markens biologi och struktur. Djup och intensiv jordbearbetning utgör en kraftig störning på flertalet marklevande organismer, och olika varianter av plöjningsfri odling gynnar därmed störningskänsliga organismgrupper såsom dagmaskar (Briones och Schmidt, 2017), vissa grupper av marklevande svampar (Sharma-Poudyal et al. 2017) och naturliga fiender till skadedjur såsom spindlar, jordlöpare och parasitsteklar (Nilsson 2010, Tamburini et al. 2016, Reddy 2017). Plöjningsfri odling bidrar också till minskad risk för erosion, en bättre markstruktur, bättre vattenledningsförmåga och minskad avdunstning, vilket är särskilt viktigt under torra förhållanden. Samtidigt kan plöjningsfria odlingssystem leda till ökade problem med ogräs och växtskadegörare, särskilt vid en ensidig växtföljd. Därför är behov och användning av kemiska växtskyddsmedel i regel större i plöjningsfri odling (Jordbruksverket 2008). Förekomsten av skadegörare kan dock även minska. Den ökade markbiologiska aktiviteten och diversiteten leder till exempel till en hämning av många skadesvampar som överlever på skörderester och annat organiskt material i marken (Schlatter et al. 2017), vilket ger en bättre rothälsa för grödan och ger det markbiologiska systemet en bättre förmåga att motstå etablering av skadesvampar som introduceras (Wei et al. 2015). Ökade problem med växtsjukdomar i plöjningsfri odling är i många fall en kombinationseffekt av bearbetningen och växtföljden, snarare än en ren jordbearbetningseffekt, och lösningarna till problemen ligger till stor del i att anpassa växtföljden efter jordbearbetningen (Bockus och Shroyer 1998).

I dagens plöjningsfria odlingssystem är användning av glyfosat ofta ett viktigt redskap (Jordbruksverket 2019a). För att möjliggöra odlingssystem med reducerad

bearbetning vid ett eventuellt framtida förbud mot glyfosat behöver alternativa strategier för ogräsbekämpning i plöjningsfria odlingssystem utvecklas, till exempel med radhackning eller kombinerad av flera alternativa bekämpningsåtgärder för att minska ogrästrycket (MacLaren et al. 2020).

#### *Slutsats och rekommendation*

Odlingssystem med olika typer av minimerad jordbearbetning kan ge viktiga bidrag till hållbar växtproduktion, men behöver samtidigt utvecklas vidare. Särskilt behövs en utveckling av strategier för ogräsbekämpning utan användning av bredverkande herbicider anpassade för plöjningsfria odlingssystem. Anpassning till lokala förhållanden som jordart är viktigt såväl för valet av jordbearbetningssystem som för valet av växtskyddsstrategier för att förhindra problem med ogräs och växtskadegörare.

### **3.3. Direkt växtskydd - icke-kemiskt**

#### **3.3.1. Tillsättande biologisk bekämpning**

Tillsättande biologisk bekämpning innebär att ett växtskyddsmedel med levande organismer, inklusive virus, tillförs i odlingssystemet för att bekämpa ogräs eller skadegörare (Stenberg et al. 2021). Syftet är att organismerna ska överleva och bekämpa skadeorganismer under en begränsad tid, inte etablera sig permanent. Genom bekämpningen begränsas ogräs eller skadegörare genom att de tillsatta organismerna prederar, parasiterar eller konkurrerar med en eller flera målorganismer, eller via en inducering av växtens försvarsmekanismer. Tillsättande biologisk bekämpning kan användas i flera olika syften: för att ersätta eller kombineras med befintliga kemiska växtskyddsmedel i syfte att minska användningen eller förhindra att målorganismer utvecklar resistens, eller användas i situationer där vi i dagsläget saknar kemiska preparat, till exempel för att bekämpa jordburna växtpatogener.

Biologiska växtskyddsmedel anses vanligen medföra låga risker för icke-målorganismer i miljön, under förutsättning att de inte etablerar sig permanent. Risker med långsiktig och oavsiktlig etablering, påverkan på andra organismer samt risker för användaren inkluderas i de undersökningar som krävs för att godkänna biologiska växtskyddsmedel. Den process för godkännande av mikrobiologiska produkter som används inom EU har kritiserats för att den inte i tillräcklig grad tar hänsyn till mikroorganismers biologiska egenskaper och för att den nuvarande uppdelningen mellan mikroorganismer som används för växtskydd och de som används för tillväxtstimulering saknar vetenskaplig grund. En harmonisering och förenkling av regelverket skulle kunna leda till en mer effektiv implementering av strategier som omfattar mikrobiologiska växtskyddsprodukter (Sundh et al. 2021).

För mikrobiologiska produkter som appliceras på ovanjordiska växtdelar är en alltför begränsad överlevnad ofta ett problem, då det medför att effektiviteten reduceras eller varierar kraftigt beroende på varierande miljöförhållanden. Teknisk utveckling kring formulering och appliceringsteknik är viktig för att förbättra effektiviteten och tillförlitligheten i sådana användningsområden. Användningen av makroorganismer i form av nematoder, insekter och spindeldjur förekommer främst i växthusodling (Jordbruksverket 2019c) eller internationellt sett grödor i öppen odling med högt avkastningsvärde (van Lenteren et al. 2018).

#### *Slutsats och rekommendation*

Tillsättande biologisk bekämpning är en lovande direkt växtskydds metod. För att främja utvecklingen av tillsättande biologisk bekämpning stödjer vi slutsatserna från tidigare arbete vid SLU och Jordbruksverket som identifierat hinder kopplad till reglering, appliceringsteknik och rådgivning för ökad användning av biologiska bekämpningsmedel (Jordbruksverket 2019c, Sundh et al. 2021).

### 3.3.2. Biotekniskt växtskydd

Doftsignaler kan användas för övervakning och bekämpning av skadeinsekter. De doftsignaler som utnyttjas är antingen insekternas egna ämnen som används för kommunicering (feromoner) eller växtämnen (kairomoner). Doftsignalerna kan användas för att störa insekternas reproduktion, för massfångst eller för att repellera dem från grödan (Anderbrant et al. 2005). Ett exempel där metoden använts framgångsrikt även i Sverige är för bekämpning av äppelvecklare i äppelodling (Anderbrant et al. 2005, Witzgall et al. 2010).

#### *Slutsats och rekommendation*

Biotekniska växtskydds metoder kan bidra till övervakning och bekämpning av insektsskadegörare. Metoderna har hög specificitet och låga risker för miljön. Användningen i praktiken begränsas av att nya produkter behövs för varje skadegörare, en begränsad marknad och komplexa processer för registrering av produkterna. För att främja användningen stödjer vi tidigare förslag som getts om att undersöka möjligheten att förenkla godkännandeprocessen för feromoner och kairomoner (Jordbruksverket 2019c).

### 3.3.3. Mekanisk ogräsbekämpning

Mekanisk ogräsbekämpning är en viktig metod för direkt bekämpning som kan komplettera eller ersätta kemisk bekämpning av ogräs. Exempel på mekanisk ogräsbekämpning är plöjning, stubbearbetning, ogräsharvning, avslagning och radhackning (Jordbruksverket 2011). Ökad tidsåtgång, bränsleförbrukning och

kostnader samt en ibland otillräcklig effekt är nackdelar med mekanisk jämfört med kemisk ogräsbekämpning.

#### *Slutsats och rekommendation*

Teknikutveckling, till exempel autonoma fordon samt sensorer som gör att ogräs kan bekämpas mekaniskt nära grödan har förutsättningar att utveckla den mekaniska ogräsbekämpningen och göra den mer effektiv och resurssnål. Närmare förslag på nödvändig forskning och utveckling som krävs för att utveckla den här typen av växtskyddsmetoder har nyligen lämnats av Jordbruksverket (2021b) och vi stödjer slutsatserna i det arbetet.

### 3.4. Direkt växtskydd - kemiskt

Kemiska växtskyddsmedel ger möjligheter till effektiv bekämpning av många ogräs och skadegörare. Samtidigt medför användningen spridning till vatten och jord och risker för människor och miljö (Schulz et al. 2021). Fungicidanvändning medför även risk för resistensutveckling mot humanpatogener (Deising et al. 2008). Under de senaste årtiondena har antalet verksamma ämnen minskat kraftigt och det är sannolikt att det i framtiden kommer finnas en fortsatt minskad tillgång till kemiska växtskyddsmedel jämfört med idag. Teknisk utveckling och precisionsodling skapar möjligheter för mer precis applicering av kemiska växtskyddsmedel, till exempel genom behovsanpassad bekämpning inom fältet och utrustning för mer målinriktad applicering (Jordbruksverket 2021b). Preparatval, till exempel användning av lågriskmedel kan minska de negativa sidoeffekterna kopplade till användning av kemiska växtskyddsmedel, samtidigt som det är viktigt att alternativen som till exempel lågriskmedel är effektiva. I pågående forsknings- och utvecklingsarbete undersöks nya principer för kemiskt växtskydd, med syftet att hitta metoder med färre negativa effekter på icke målorganismer. Till exempel pågår utveckling av metoder baserade på RNA-interferens, där RNA tillförs för att hämma insekter (Liu et al. 2020) eller patogener (Das och Sherif 2020).

#### *Slutsats och rekommendation*

Kemiskt växtskydd kommer fortsatt spela en viktig roll för växtskyddet. För att utveckla hållbarheten i användningen av kemiska växtskyddsmedel stödjer vi tidigare utredningar som föreslår stimulans av användning av kemiska växtskyddsmedel med lägre risk (Jordbruksverket 2019c) samt teknisk utveckling som gör appliceringen mer målinriktad (Jordbruksverket 2021b). För att gynna kemiska växtskyddsmedel med lägre risk kan prövningen av lågriskprodukter förenklas och göras med lägre avgifter, och skatten på lågriskmedel slopas, eller

förändras så att den inte baseras på mängden verksam substans (Jordbruksverket 2019c).

### 3.5. Prognos och beslutsstödssystem

För att kunna fatta välavvägda beslut behöver rådgivare och lantbrukare information och redskap till stöd. Beslutsstödssystem, som genom modeller sammanställer olika typer av data för att förutsäga risker för angrepp och behov av direkta växtskyddsåtgärder, kan vara en viktig hjälp. Om de fungerar väl kan de ge en trygghet i besluten och göra att ekonomiska förluster undviks. Det gäller såväl förluster på grund av stora skadegörarutbrott som förluster på grund av bekämpningsåtgärder som görs i onödan. De beslutsstödssystem som finns tillgängliga i dagsläget fokuserar mestadels på den här typen av ekonomiska riskbedömningar. På senare år har forskning och utveckling inom området inriktat sig dels på att utveckla systemen för ökad precision och tillförlitlighet (t.ex. <https://www.ipmdecisions.net/>), dels på att inkludera fler variabler som är av betydelse för odlingssystemet, till exempel negativa effekter på den omgivande miljön (<https://www.landsupport.eu/project/>).

Ett viktigt stöd för svenskt jordbruk är Jordbruksverkets prognos- och varningsverksamhet. Växtskyddscentralerna gör under växtsäsongen veckovisa inventeringar av utvalda växtskadegörare i 800-1000 fält med olika grödor. Baserat på dem och lokala väderdata görs sedan regionala prognoser och riskbedömningar.

Teknikutveckling inom precisionsodlingen öppnar nya möjligheter för utveckling av beslutsstödssystem, t.ex. genom automatiserad övervakning och analys av utvecklingen för skadegörare på fältnivå. Det finns dock flera begränsningar som hindrar tekniken från att bli allmänt tillgänglig och använd (Jordbruksverket 2021b).

#### *Slutsats och rekommendation*

En fortsatt kompetent och oberoende prognos- och varningsverksamhet är av stor betydelse för att utveckla hållbara växtskyddsstrategier enligt principerna för integrerat växtskydd. Dagens verksamhet skulle kunna vidareutvecklas och förfinas. Till exempel skulle verksamheten kunna utökas genom att i högre utsträckning än idag inkludera detektion av skadegörare (sporfallor och sugfallor) eller genom att inkludera nya diagnosmetoder. Vi föreslår också en fortsatt utveckling av beslutsstödssystem, både i form av ökad tillförlitlighet och genom sammanvägning av fler aspekter än direkt ekonomiska, till exempel negativa miljöeffekter som i längden kan ge negativa ekonomiska effekter. Vi stödjer de förslag till teknisk utveckling av beslutsstödssystem som nyligen tagits fram av Växtskyddsrådet (Jordbruksverket 2021b).

### 3.6. Rådgivning, utbildning och samverkan

Det finns många intressenter inom växtodlingsområdet i form av odlare, industri, myndigheter och forskare, och ett högfunktionellt nätverk mellan dessa spelar en viktig roll för utvecklingen av ett mer hållbart växtskydd (Lamichhane et al. 2016, Nordström Källström et al. 2018). Växtskyddsarbetet gynnas av en hög kunskapsnivå och att det finns lättillgänglig information om växtskydd av en hög kvalitet. Det behövs offentligt finansierad rådgivning om växtskydd som komplement till den rådgivning som den privata sektorn ger. Detta är speciellt viktigt för förebyggande växtskyddsåtgärder (Jordbruksverket 2019d) som inte går att direkt marknadsföra som produkter.

Samverkan är viktig för växtskyddets och hela lantbrukets kunskapsutveckling (Tönnerberg 2019). Samverkan behövs både för att förstå och lösa tillämpade växtskyddsproblem, eftersom ingen enskild aktör har en fullständig bild av orsakerna och lösningarna till växtskyddsproblem. Samverkan är tidskrävande och kan missgynnas inom forskningen när medel söks från externa finansiärer, eftersom det extra arbete som krävs för att planera samverkan i en projektansökan är obetalt och för att kompetensen för att bedöma kvaliteten i samverkan kan vara lägre än för övriga delar av ansökan (Tönnerberg 2019). Ibland uppstår akuta växtskyddsproblem och tidshorizonten för att genomföra externt finansierade forskningsprojekt, ofta först efter flera ansökningsförsök, kan ha gjort forskningen mindre relevant redan när den startar.

#### *Slutsats och rekommendation*

Vi föreslår en systematisk kartläggning och vidare forskning om hur växtskyddsinformationens flöde i Sverige ser ut och vilka de viktigaste aktörerna är. Med kartläggningen som grund kan centrala noder i nätverket sedan studeras närmare, till exempel deras utbildning, kunskapsnivå och informationskällor, vilket i sin tur kan avgöra vidare satsningar på området.

För att förbättra samverkan mellan näring och akademi i Sverige föreslår vi att SLU får ett utökad ansvar, och därtill kopplade resurser, för att bedriva svensk samhällsnyttig växtskyddsforskning inom lantbruk och trädgård. Hur ett sådant arbete skulle byggas upp behöver avgöras i samverkan mellan näringens intressenter samt aktuella ämnesföreträdare och samverkanslektorer på SLU, men vi föreslår en organisation där det för varje typ av växtskyddsproblem, till exempel uppdelat efter organismgrupp och/eller gröda, finns en ansvarig forskare på SLU. Vi föreslår att det ska vara möjligt för ansvariga forskare att löpande genomföra mindre litteraturstudier samt pilotförsök i fält och laboratorium kopplade till angelägna växtskyddsproblem.

## 4. Förslag på nya indikatorer för hållbart växtskydd

Nuvarande indikatorer för hållbart växtskydd är framför allt kopplade till användningen av växtskyddsmedel och miljömässiga risker kopplade till kemiskt växtskydd. Vi bedömer att en mer komplett skattning av hållbart växtskydd i ett odlingssystem skulle behöva beakta följande delfaktorer:

- Produktionsnivå och produktkvalitet

### *Ekologisk hållbarhet*

- Förekomst av ogräs och skadegörare
- Evolutionär hållbarhet (växtskyddsmedel, resistent/toleranta grödor)
- Biodiversitet ovan och under jord
- Växtskyddsmedelläckage till jord och vatten
- Resurseffektivitet (kopplat till växtskydd)
- Växthusgaser (kopplat till växtskydd)

### *Ekonomisk hållbarhet*

- Lönsamhet på gårdsnivå (kopplat till växtskyddsåtgärder) t.ex. kostnad för växtskyddsåtgärd gentemot inkomst från skördeökning eller kvalitetsförbättring av den skördade varan
- Lönsamhet på samhällsnivå (kopplat till växtskyddsåtgärder) t.ex. kostnader som en följd av negativa hälsoeffekter
- Sårbarhet på gårdsnivå och samhällsnivå med avseende på växtskyddsmedel och livsmedel

### *Social hållbarhet*

- Arbetsmiljö hos lantbrukare och lantarbetare
- Förekomst av farliga restprodukter från växtskyddsmedel i producerat foder, livsmedel och dricksvatten
- Förekomst av farliga ämnen orsakade av ogräs eller skadegörare (till exempel mykotoxiner) i foder och livsmedel
- Kunskapsnivå hos lantbrukare, rådgivare, myndighetspersoner och allmänheten i växtskyddsfrågor

- Acceptans för regelverk, lagstiftning och förutsättningar för aktörer inom livsmedelskedjan
- Arbetsglädje hos livsmedelskedjans aktörer
- Förtroende mellan aktörer i livsmedelssystemet/livsmedelskedjan och myndigheter
- Samhällets förtroende och acceptans

Utifrån översikten ovan har vi valt att fokusera på och föreslå utveckling av följande nya indikatorer:

#### 4.1. Indikatorer för skadegörare, skördebortfall och evolutionär hållbarhet

Viktiga skadegörare övervakas systematiskt av Jordbruksverkets Växtskyddscentraler. Vi föreslår en eller flera indikatorer baserat på dessa data, som kan indikera om problemen med viktiga skadegörare ökar eller minskar över tid. Att inte bara skatta förekomst av skadegörare men också skördebortfall är mer komplext, men möjligt om det regelbundet utförs bekämpningsförsök mot centrala skadegörare. Växtskyddscentralerna bör ha en central roll i arbetet med att ge förslag på indikatorer. En indikator för evolutionär hållbarhet utifrån de resistenstester som genomförs kan inkluderas. Beroende på utfallet med att ta fram en indikator för skördebortfall kan denna indikator också vidareutvecklas till en ekonomisk indikator som inkluderar kostnader för skördebortfall och växtskyddsåtgärder.

#### 4.2. Indikator för åkermarkens biologiska mångfald

En indikator kan utvecklas utifrån den övervakning av biologisk mångfald på åkermark som föreslagits (Taylor et al. 2014). Eftersom övervakningen inte implementerats kan inte heller indikatorer tas fram förrän data finns tillgängligt. Ett problem med att utveckla indikatorer som endast baseras på den biologiska mångfalden i jordbruket är att den påverkas av flera samverkande faktorer och växtskyddets påverkan kommer inte kunna gå att urskilja (Rundlöf et al. 2012). Det finns redan idag bestämmelser för användare att föra register över vilka växtskyddsmedel som används på åkermarken, men informationen samlas inte in i ett centralt register (Rundlöf et al. 2012). En sådan central registerföring tillsammans med ett övervakningsprogram skulle öppna upp mycket starka, och internationellt unika, möjligheter för att studera hur växtskyddsmedlen påverkar den biologiska mångfalden. Mot detta får dock vägas det utökade arbete och kostnader som uppföljningen medför.



### 4.3. Indikator för växtskyddets sociala hållbarhet

Vi föreslår indikatorer för social hållbarhet som tar hänsyn till hälsorisker med växtskyddsmedelanvändning, kunskapsnivån om växtskydd hos lantbrukare och lantarbetare samt förtroende mellan aktörer och polarisering i växtskyddsfrågor. För hälsorisker kan det befintliga index som Kemikalieinspektionen (2004) utvecklat användas. Kunskapsnivån kan mätas genom enkäter, möjligtvis kopplad till den utbildning som användare av växtskyddsmedel genomgår. Förtroende och polarisering kan mätas genom enkätstudier.

### 4.4. Hur vägs indikatorerna mot varandra?

Ett utökat antal indikatorer kommer vara värdefullt för att följa arbetet med hållbart växtskydd i flera avseenden. De olika indikatorerna behövs för att i detalj kunna följa upp hur det hållbara växtskyddet påverkas av samhällsutvecklingen, men för att svara på frågan om i vilken utsträckning vi rör oss mot odlingssystem med ett mer hållbart växtskydd behöver de olika indikatorerna vägas samman. Genom att väga samman olika indikatorer är det möjligt att skapa ett index för hållbart växtskydd (se t.ex. Angevin et al. 2017). Att göra detta i praktiken är dock komplext och innefattar frågor som inte går att endast avgöra vetenskapligt, utan också innefattar värderingar och politiska avväganden. Problemet kan delas upp i följande delar: (1) vilken vikt ska ges till olika indikatorer i sammanvägningen och (2) ska olika indikatorer kunna kompensera fullt ut för varandra, eller finns det tröskelvärden för vissa indikatorer som vi inte kan låta indikatorn sjunka under för att systemet ska kunna kallas hållbart (Manning et al. 2018). Resonemanget kopplar till de två synsätten om hållbarhet som presenterades i kapitel 1 (Figur 1). Ett sätt att vikta olika indikatorer är genom dialogmöten eller frågeformulär (Manning et al. 2018) där olika intressenter får skatta hur viktiga de tycker att olika indikatorer är för hållbart växtskydd.

## 5. Diskussion och slutsatser

Hållbart växtskydd är en viktig fråga i dagens och framtidens jordbruk som ska leverera livsmedel och andra förnödenheter till en växande och mer välmående befolkning i ett förändrat klimat och med fortsatt minskad tillgång till kemiska växtskyddsmedel. Växtskyddsfrågan är multidisciplinär och spänner över ämnesområden och skalor från molekyler till världsmarknaden.

De åtgärder vi föreslår i den här rapporten är generellt sett förbättringar i växtskyddet som behöver göras i flera steg, och förändringsarbetet beskrivs bättre som en process än en kombination av enstaka åtgärder. I många fall kan arbetet med att utveckla mer hållbara odlingssystem påbörjas redan på kort sikt (1-10 år), men med fortsatt utveckling av kunskap och tekniker på längre sikt. Arbetet med att utveckla nytt resistent sortmaterial eller nya växtskyddsmedel är till exempel tidskrävande och kräver ständiga förbättringar för att svara på de anpassningar som hela tiden sker hos skadegörare.

I vår rapport har fokus varit på odlingssystem med hållbart växtskydd i Sverige. Utrymme har inte funnits att i detalj redogöra för specifika förutsättningar för arbetet mot hållbart växtskydd inom enskilda grödor eller odlingsformer inom svenskt lantbruk och trädgårdsodling, utan vi har istället haft målsättningen att fokusera på hållbart växtskydd på ett mer övergripande plan. Bland de mer detaljerade åtgärdsförslag som lämnats i kapitel 3 vill vi speciellt lyfta följande fyra lite mer generella slutsatser:

•**Diversifiering stärker hållbart växtskydd.** Vi finner starkt stöd för att en ökad odlad mångfald (diversifiering) stärker växtskyddet. Den hållbarhetsaspekt som i ett kortare perspektiv kan påverkas negativt är odlingens lönsamhet, samtidigt som minskningen av skadegörarpopulationer ger ekonomiska vinster för både odlare och samhället på längre sikt. Vi föreslår att det införs innovationsstöd för diversifiering samt att det utreds ytterligare hur sådana stöd ska utformas i praktiken.

•**Hållbart växtskydd stärks med kunskapsförmedling och samverkan.** Utredningen föreslår därför att kunskapsvägarna och samverkan om växtskydd i Sverige kartläggs systematiskt. Vi föreslår också en utökad satsning på forskning och samverkan inom samhällsviktigt växtskydd.

•**Ingen enskild åtgärd kommer göra växtskyddet hållbart.** Vi bedömer att det kommer behövas kombinationer av förebyggande och direkta metoder grundade i både kemiska, biologiska och tekniska lösningar. Ett sådant mer integrerat växtskydd kommer kräva forskningssamarbete över ämnesgränser. Speciellt behövs det forskning som inte enbart ser till specifika skadegörare i enskilda grödor utan istället fokuserar på att utveckla hållbara metoder för växtskydd i hela odlingssystem som också är långsiktigt hållbara utifrån andra aspekter än växtskydd

•**Innovationskraft för nya växtskyddsstrategier.** I en framtid med minskad tillgång på kemiska växtskyddsåtgärder behövs alternativa riktade åtgärder mot särskilt problematiska ogräs och skadegörare. Att utesluta åtgärder som används idag utan att det finns alternativa strategier på plats kommer att ha betydande negativ påverkan på socioekonomiska hållbarhetsaspekter. Därför behövs forskning och innovation för att utveckla nya växtskyddsmedel eller andra växtskyddsmetoder, och även ett förbättrat sortmaterial med robusta och motståndskraftiga sorter anpassade för det svenska klimatet. Även innovationer på gårdsnivå är av stort värde och bör stimuleras. Det kan ske såväl genom direkta stimulansmedel som genom en väl genomtänkt utformning av regler och stöd, där lantbrukarnas kunskap om de lokala förutsättningarna värderas och lokala anpassningar möjliggörs. Alltför stor detaljstyrning av produktionen medför en risk att den lokala initiativförmågan begränsas.

Det är ett samhällsintresse att växtskyddsåtgärder med negativ påverkan på miljö, användare eller konsumenter begränsas. Det är också ett samhällsintresse att jordbruket levererar tillräckligt med livsmedel av god kvalitet och till rimliga priser. Samtidigt är växtproduktion en bransch med låga marginaler. Ansvar för att hitta nya lösningar på växtskyddsproblem behöver ligga på samhällsnivå och stimuleras längs hela kedjan från forskning och innovation, information- och rådgivningsverksamhet, och för den enskilda lantbrukaren.

# Tack

Ett stort tack till alla som bidragit med information och synpunkter under arbetets gång. Speciellt tack till Mats Allmyr, Göran Bergkvist, Maria Björkman, Riccardo Bommarco, Sunita Hallgren, Helena Hansson, Johanna Jansson, Bengt Johnsson, Mattias Jonsson, Erland Liljeroth, Anders Lindgren, Alexander Menegat och Johan Stenberg.

## Referenser

- Adeux, G., Vieren, E., Carlesi, S., Bärberi, P., Munier-Jolain, N., & Cordeau, S. (2019). Mitigating crop yield losses through weed diversity. *Nature Sustainability*, 2, 1018-1026.
- Anderbrant, O., Bengtsson, M., Högberg, H., Löfstedt, C., Norin, T., Pettersson, J., Schlyter, F., & Witzgall, P. (2005). Feromoner och kairomoner för bekämpning av skadeinsekter. Slutrapport 1996-2005. Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Angevin, F., Fortino, G., Bockstaller, C., Pelzer, E., & Messéan, A. (2017). Assessing the sustainability of crop production systems: toward a common framework? *Crop Protection*, 97, 18-27.
- Bengtsson, J., Bullock, J. M., Egoh, B., Everson, C., Everson, T., O'Connor, T. O., O'Farrell, P. J., Smith, H. G., & Lindborg, R. (2019). Grasslands - more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10, e02582.
- Bockus, W. W., & Shroyer, J. P. (1998). The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 36, 485-500.
- Boller, E. F., Avilla, J., Joerg, E., Malavolta, C., Wijnands, F. G., & Esbjerg, P. (2004). Guidelines for integrated production – principles and technical guidelines, 3rd edition. IOBC/WPRS Bulletin, 27, 1-49.
- Borgström, P., Jasarevic, M., Wallenhammar, A.-C., Anderson, P., Friberg, H., Larsson, M., & O. Lundin. (2019). Växtskydd i raps, åkerbönor och ärter. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Boudreau, M. (2013). Diseases in intercropping systems. *Annual Review of Phytopathology*, 51, 499-519.
- Bourgeois, B., Gaba, S., Plumejeaud, C., & Bretagnolle, V. (2020). Weed diversity is driven by complex interplay between multi-scale dispersal and local filtering. *Proceedings of the Royal Society B*, 287, 20201118.
- Briones, M. J. I., & Schmidt, O. (2017). Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*, 23, 4396-4419.
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P. P. M., Jones, H. G., Karley, A. J., Li, L., McKenzie, B. M., Pakeman, R. J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C. A., Zhang, C., Zhang, F., Zhang, J., & White, P. J. (2015). Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, 206, 107-117.
- Buckwell, A., De Wachter, E., Nadeu, E., & Williams, A. (2020). Crop protection & the EU food system. Where are they going? RISE Foundation, Bryssel.
- Butault, J.-P. Dedryver, C.-A., Gary, C., Guichard, L., & Jacquet, F. et al. (2010). Synthèse du rapport d'étude Écophyto R&D : quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ?. [Rapport de recherche] Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. 90 p. hal-01172967.

- Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin, Boston.
- Cederberg, C., Wivstad, M., Bergkvist, P. Mattsson, B., & Ivarsson, K. (2005). Hållbart växtskydd - analys av olika strategier för att minska riskerna med kemiska växtskyddsmedel. Rapport MAT21 nr 6/2005. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- CKB. (2021). Bekämpningsmedel i ett historiskt perspektiv. SLU Centrum för kemiska bekämpningsmedel i miljön, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala. <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/SLU-Centrum-for-kemiska-bekampningsmedel-i-miljon/information-om-bekampningsmedel-i-miljon1/bekampningsmedel-i-ett-historiskt-perspektiv/> Senast läst 2021-11-22.
- Crossley, M. S., Burke, K. D., Schoville, S. D., & Radeloff, V. C. (2021). Recent collapse of crop belts and declining diversity of US agriculture since 1840. *Global Change Biology*, 27, 151-164.
- Das, P. R., & Sherif, S. M. (2020). Application of exogenous dsRNAs-induced RNAi in agriculture: challenges and triumphs. *Frontiers in Plant Science*, 11, 946.
- Dehne, H.-W., & Schönbeck, F. (1999). Crop protection – past and present. 45-71 i: *Crop production and crop protection – estimated losses in major food and cash crops*. Elsevier, Amsterdam.
- Deising, H. B., Reimann, S., & Pascholati, S. F. (2008). Mechanisms and significance of fungicide resistance. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 286-295.
- Delaune, T., Ouattara, M. S., Ballot, R., Sausse, C., Felix, I., Maupas, F., Chen, M., Morison, M., Makowski, D., & Barbu, C. (2021). Landscape drivers of pests and pathogens abundance in arable crops. *Ecography*, 44, 1429-1442.
- Eckersten, H. (2017). Cropping system research - a framework based on a literature review. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- EPRS. (2019). Farming without plant protection products. Can we grow without using herbicides, fungicides and insecticides? Enheten för bedömning av vetenskapliga och tekniska alternativ, Europaparlamentets utredningstjänst, Bryssel.
- EPRS. (2021). The future of crop protection in Europe. Enheten för bedömning av vetenskapliga och tekniska alternativ, Europaparlamentets utredningstjänst, Bryssel.
- Europeiska kommissionen. (2020). Farm to fork strategy - for a fair, healthy and environmentally-friendly food system COM/2020/381. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.
- Europeiska kommissionen. (2021). The common agricultural policy at a glance. [https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance\\_en#title](https://ec.europa.eu/info/food-farming-fisheries/key-policies/common-agricultural-policy/cap-glance_en#title). Senast läst 2021-11-29.
- Fried, G., Petit, S., Dessaint, F., & Reboud, X. (2009). Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation? *Biological Conservation*, 142, 238-243.
- Gunnarson, A. (2021). Pauser motar skörde kollaps. *Svensk Frötidning*, 4, 20-22.
- He, D., Burdon, J. J., Xie, L., Zhan, J. (2021). Triple bottom-line consideration of sustainable plant disease management: from economic, sociological and ecological perspectives. *Journal of Integrative Agriculture*, 20, 2581-2591.
- Hofmeijer, M. A., Melander, B., Salonen, J., Lundkvist, A., Zarina, L., & Gerowitt, B. (2021). Crop diversification affects weed communities and densities in organic spring cereal fields in northern Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 308, 107251.
- Hokkanen, H. M. (2015). Integrated pest management at the crossroads: science, politics, or business (as usual)? *Arthropod-Plant Interactions*, 9, 543–545.

- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D., & Robèrt, K. H. (2007). Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental Science and Pollution Research International*, 14, 60-66.
- Jonsson, M., Friberg, F., Andersson, B., Andersson, L., Viketoft, M., Taylor, A., Bommarco, R., & Glimskär, A. (2015). Invasiva arter och samordning kring växtskydd i miljöövervakning för åkermark. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Jonsson, A., Marzec-Schmidt, K., Börjesson, G., & Wallenhammar, A.-C. (2016). Quantitative PCR shows propagation of *Plasmodiophora brassicae* in Swedish long term field trials. *European Journal of Plant Pathology*, 145, 573-581.
- Jordbruksverket. (2008). Reducerad jordbearbetning. *Jordbruksinformation 28 – 2008*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2011). Mekanisk ogräsbekämpning. *Jordbruksinformation 11 – 2011*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2015) Integrerat växtskydd - Vad? Hur? Varför? OVR285. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2016). Övervakning av förekomst av växtskadegörare. Rapport 2016:15. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket (2019a) Vilka effekter kan ett glyfosatförbud medföra? Rapport 2019:8. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket (2019b). Statistik om kemiska växtskyddsmedel – bakgrund, beskrivning, och nuvarande insamling. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2019c). Hinder för ökad användning av alternativa bekämpningsmedel. Rapport 2019:3. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2019d). Att förebygga växtskyddsproblem - en viktig del i integrerat växtskydd (IPM). OVR487. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2020). Harmoniserade riskindikatorer för växtskyddsmedel 2020. OVR562. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket (2021a) Hållbara livsmedelssystem – definition, pågående initiativ och förslag på åtgärder. Rapport 2021:3. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket. (2021b). Precisionsbekämpning i växtskyddsarbetet. Nuläge, möjligheter och hinder för framtida utveckling. OVR603. Jordbruksverket, Jönköping.
- Karlsson Green, K., Stenberg, J. A., & Lankinen, Å. (2020). Making sense of Integrated Pest Management (IPM) in the light of evolution. *Evolutionary Applications*, 13, 1791-1805.
- Kemikalieinspektionen. (2004). PM 6/04: Pesticide risk indicators at national level and farm level - a Swedish approach. Kemikalieinspektionen, Sundbyberg.
- Kemikalieinspektionen. (2021). PM 7/21: Resilience of biodiversity to plant protection product use – the modifying influence of landscape and interventions. Kemikalieinspektionen, Sundbyberg.
- Kirchmann, H, Bergström, L., Kätterer, T., & Andersson, R. (2014). Den ekologiska drömmen. Myter och sanningar om ekologiskt jordbruk. Fri Tanke Förlag, Stockholm.
- Lamichhane, J. R., Aubertot, J. N., Begg, G., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Hansen, J. G., Hovmøller, M. S., Jensen, J. E., Jørgensen, L. N., Kiss, J., Kudsk, P., Moonen, A.-C., Rasplusk, J.-V., Sattin, M., Streitom, J.-C., & Messéan, A. (2016). Networking of integrated pest management: A powerful approach to address common challenges in agriculture. *Crop Protection*, 89, 139-151.

- Lamichhane, J. R., Arseniuk, E., Boonekamp, P., Czembor, J., Decroocq, V., Enjalbert, J., Finckh, M. R., Korbin, M., Koppel, M., Kudsk, P., Mesterhazy, A., Sosnowska, D., Zimnoch-Guzowska, E., & Messéan, A. (2018). Advocating a need for suitable breeding approaches to boost integrated pest management: a European perspective. *Pest Management Science*, 74, 1219-1227.
- Lantmännen. (2021). Hållbarhetsstrategi. <https://www.lantmannen.se/hallbar-utveckling/hallbarhetsstrategi/>. Senast läst 2021-11-22.
- Larsson, Y., Hedberg, P., & Holmberg, S. (2020). Ökad polarisering mellan landsbygd och storstad 1986–2019? SOM-rapport nr 2020:40, Göteborgs universitet, Göteborg.
- Liebman, M., & Dyck, E. (1993). Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications*, 3, 92-122.
- Liu, S., Jaouannet, M., Dempsey, D.A., Imani, J., Coustau, C., & Kogel, K-H. (2020). RNA-based technologies for insect control in plant production. *Biotechnology Advances*, 39, 107463.
- Lundin, O., & Bommarco, R. (2016). Neonikotinoider och bin – en systematisk genomgång av den vetenskapliga litteraturen. Jordbruksverket, Jönköping.
- Lundin, O., Rundlöf, M., Smith, H. G., & Bommarco, R. (2016). Historical change and drivers of insect pest abundances in red clover seed production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 318-324.
- Lundin, O., Rundlöf, M., Jonsson, M., Bommarco, R., & Williams, N. M. (2021). Integrated pest and pollinator management - expanding the concept. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 19, 283-291.
- Lundkvist, A. (2014). Ogräskontroll på åkermark. Jordbruksverket, Jönköping.
- Löfkvist, K., Hallgren, S., Sundgren, A., & Jansson, J. (2016). Växtskyddsvision för svensk trädgårdsnäring - en strategisk forsknings- och innovationsagenda. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala.
- MacLaren, C., Storkey, J., Menegat, A., Metcalfe, H., & Dehnen-Schmutz, K. (2020). An ecological future for weed science to sustain crop production and the environment. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 40, 24.
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., & Valatin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. *A review. Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.
- Manning, P., van der Plas, F., Soliveres, S., Allan, E., Maestre, F. T., Mace, G., Whittingham, M. J., & Fischer, M. (2018). Redefining ecosystem multifunctionality. *Nature Ecology & Evolution*, 2, 427-436.
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Pálinkás, Z., Dorner, Z., van der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Cordsen Nielsen, G., Poulsen, R. T., Zimmermann, O., Vershwele, A., & Oldenburg, E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology*, 134, 357-375.
- Meissle, M., Romeis, J., & Bigler, F. (2011). Bt maize and integrated pest management - a European perspective. *Pest Management Science*, 67, 1049-1058.
- Moss, S. (2017). Black-grass (*Alopecurus myosuroides*): why has this weed become such a problem in Western Europe and what are the solutions? *Outlooks on Pest Management*, 28, 207-212.
- Mouron, P., Heijne, B., Naef, A., Strassemeier, J., Hayer, F., Avilla, J., Alaphilippe, A., Heinrich Höhn, H., José Hernandez, J., Gabriele Mack, G., Gérard Gaillard, G., Joan Solé, J., Benoit Sauphanor, B., Patocchi, A., Samietz, J., Bravin, E.,



- Lavigne, C., Bohanec, M., Golla, B., Scheer, C., Aubert, U., & Bigler, F. (2012). Sustainability assessment of crop protection systems: sustainOS methodology and its application for apple orchards. *Agricultural Systems*, 113, 1-15.
- Mouron, P., Calabrese, C., Breitenmoser, S., Spycher, S., & Baur, R. (2016). Sustainability assessment of plant protection strategies in Swiss winter wheat and potato production. *Agriculture*, 6, 3.
- Neumayer, E. (2003). Weak versus strong sustainability. Exploring the limits of two opposing paradigms. Edward Elgar, Cheltenham.
- Nilsson, C. (2009). Växtskydd i uthållig växtodling – effekter på avkastningsnivå, energiförbrukning och miljö. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Nilsson, C. (2010). Impact of soil tillage on parasitoids of oilseed rape pests. 305-311 i: *Biocontrol-based integrated management of oilseed rape pests*. Springer, Dordrecht.
- Nilsson, U. (red.) (2014). Växtskyddets grunder. Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Nordström Källström, H., Berlin, A., & Olson, Å. (2018). Kunskapsbaserat växtskydd i praktiken - vilka faktorer spelar roll för lantbrukares beslutsfattande om växtskyddsåtgärder? Nationell Växtskyddskonferens 2018. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Notini, G. (1935). Undersökningar rörande på rödklöver levande spetsvivar (*Apion Herbst*) 1. deras förekomst, levnadssätt och utvecklingshistoria. *Meddelande Statens Växtskyddsanstalt*, 9, 1-63.
- Notini, G. (1938). Undersökningar rörande på rödklöver levande spetsvivar (*Apion Herbst*) 2. Ekologiska undersökningar. *Meddelande Statens Växtskyddsanstalt* 22, 1-41.
- Nwokolo, N. L., Enebe, M. C., Chigor, C. B., Chigor, V. N., & Dada, O. A. (2021). The contributions of biotic lines of defence to improving plant disease suppression in soils: A review. *Rhizosphere*, 19, 100372.
- Oerke, E. (2006). Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- Pelzer, E., Fortino, G., Bockstaller, C., Angevin, F., Lamine, C., Moonen, C., Vasileiadis, V., Guérin, D., Guichard, L., Reau, R., Messéan, A. (2012). Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological Indicators*, 18, 171-182.
- Plantegenest, M. (2007). Landscape epidemiology of plant diseases. *Journal of the Royal Society Interface*, 4, 963-972.
- Raatz, L., Pirhofer Walzl, K., Müller, M. E., Scherber, C., & Joshi, J. (2021). Who is the culprit: is pest infestation responsible for crop yield losses close to semi-natural habitats? *Ecology and Evolution*, 11, 13232-13246.
- Rahbek Pedersen, T. & Ebbersten, K. (2009). Pesticider och massdöd av bin. 142-156 i: *Massdöd av bin – samhällsekonomiska konsekvenser och möjliga åtgärder*. Rapport 2009:24. Jordbruksverket, Jönköping.
- Reckling, M., Döring, T. F., Bergkvist, G., Stoddard, F. L., Watson, C. A., Seddig, S., Chmielewski, F.-M., & Bachinger, J. (2018). Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development*, 38, 63.
- Reddy, P. P. (2017). Conservation tillage. 13-28 i: *Agro-ecological approaches to pest management for sustainable agriculture*. Springer, Singapore.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R. W., Fabry, V. J.,

- Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., & Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475
- Rowen, E., Tooker, J. F., & Blubaugh, C. K. (2019). Managing fertility with animal waste to promote arthropod pest suppression. *Biological Control*, 134, 130-140.
- Rundlöf, M., Lundin, O., & Bommarco, R. (2012). Växtskyddsmedlens påverkan på biologisk mångfald i jordbrukslandskapet. CKB rapport 2012:2. SLU centrum för kemiska bekämpningsmedel, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- SCB (2019). Hektardoser - nya sätt att beskriva statistiken. Statistiska centralbyrån, Örebro.
- Schlatter, D., Kinkel, L., Thomashow, L., Weller, D., & Paulitz, T. (2017). Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 107, 1284-1297.
- Schulz, R., Bub, S., Petschick, L. L., Stehle, S., & Wolfram, J. (2021). Applied pesticide toxicity shifts toward plants and invertebrates, even in GM crops. *Science*, 372, 81-84.
- Sharma-Poudyal, D., Schlatter, D., Yin, C., Hulbert, S., & Paulitz T. (2017). Long-term no-till: a major driver of fungal communities in dryland wheat cropping systems. *PLoS ONE*, 12, e0184611.
- Stenberg, J. A. (2017). A conceptual framework for integrated pest management. *Trends in Plant Science*, 22, 759-769.
- Stenberg, J. A., Sundh, I., Becher, P. G., Björkman, C., Dubey, M., Egan, P. A., Friberg, H., Gil, J. F., Jensen, D. F., Jonsson, M., Karlsson, M., Khalil, S., Ninkovic, V., Rehermann, G., Vetukuri, R. R., & Viketoft, M. (2021). When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. *Journal of Pest Science*, 94, 665-676.
- Sundh, I., Del Giudice, T., & Cembalo, L. (2021). Reaping the benefits of microorganisms in cropping systems: is the regulatory policy adequate? *Microorganisms*, 9, 1437.
- Sveriges regering. (2017). Regeringens proposition 2016/17:104. En livsmedelsstrategi för Sverige - fler jobb och ökad tillväxt i hela landet.
- Sveriges regering (2019a). Sveriges nationella handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel för perioden 2019-2022. Diarienummer: N2019/01607/SMF.
- Sveriges regering (2019b). Uppdrag att, inom ramen för livsmedelsstrategin, vidta åtgärder för främjande av produktion, konsumtion och export av ekologiska livsmedel. Diarienummer: N2018/02711/JM.
- Tamburini, G., De Simone, S., Sigura, M., Boscutti, F., & Marini, L. (2016). Conservation tillage mitigates the negative effect of landscape simplification on biological control. *Journal of Applied Ecology*, 53, 233-241.
- Tamburini, G., Santoiemma, G., E., O'Rourke, M., Bommarco, R., Chaplin-Kramer, R., Dainese, M., Karp, D. S., Kim, T. S., Martin, E. A., Pedersen, M., & Marini, L. (2020). Species traits elucidate crop pest response to landscape composition: a global analysis. *Proceedings of the Royal Society B*, 287, 20202116.
- Taylor, A., Glimskär, A., Viketoft, M., Friberg, H., Andersson, B., Jonsson, M., Bommarco, R., Andersson, L., & Hedström Ringvall, A. (2014). Utformning av miljöövervakningsprogram för biologisk mångfald och skadegörare i och vid åkermark. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Tidåker, P., Rosenqvist, H., Gunnarsson, C., & Bergkvist, G. (2016). Räkna med vall. Hur påverkas ekonomi och miljö när vall införs i spannmålsdominerade växtföljder? Rapport 445, Lantbruk & Industri. JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

- Trenbath, B. R. (1993). Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research*, 34, 381-405.
- Tscharntke, T., Karp, D. S., Chaplin-Kramer, R., Batáry, P., DeClerck, F., Gratton, C., Hunt, L., Ives, A., Jonsson, M., Larsen, A., Martin, E. A., Martínez-Salinas, A., Meehan, T. D., O'Rourke, M., Poveda, K., Rosenheim, J. A., Rusch, A., Schellhorn, N., Wanger, T. C., Wratten, S., & Zhang, W. (2016). When natural habitat fails to enhance biological pest control - five hypotheses. *Biological Conservation*, 204, 449-458.
- Tönnerberg, V. (2019). Samverkan för lantbrukets kunskapsutveckling - introduktion för samverkanshjälp och ledare. RådNu - kompetenscentrum för rådgivning, Sveriges lantbruksuniversitet, Skara.
- Umareus, V. (1988). Växtpatologins utveckling i Sverige. *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademins Tidskrift Supplement*, 20, 157-168.
- van Lenteren, J. C., Bolckmans, K., Köhl, J., Ravensberg, W. J., & Urbaneja, A. (2018). Biological control using invertebrates and microorganisms: plenty of new opportunities. *BioControl*, 63, 39-59.
- WCED. (1987). *Our common future*. World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.
- Wei, Z., Yang, T., Friman, V.-P., Xu, Y., Shen, Q., & Jousse, A. (2015). Trophic network architecture of root-associated bacterial communities determines pathogen invasion and plant health. *Nature Communications*, 6, 8413.
- Witzgall, P., Kirsch, P., & Cork, A. (2010). Sex pheromones and their impact on pest management. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 80-100.
- Woodcraft, S. (2011). *Design for social sustainability: a framework for creating thriving communities*. The Young Foundation, London.
- Woodcraft, S. (2012). Social sustainability and new communities: moving from concept to practice in the UK. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 68, 29-42.
- Wuest, S. E., Peter, R., & Niklaus, P. A. (2021). Ecological and evolutionary approaches to improving crop variety mixtures. *Nature Ecology & Evolution*, 5, 1068-1077.
- Yuen, J., & Mila, A. (2015). Landscape-scale disease risk quantification and prediction. *Annual Review of Phytopathology*, 53, 471-484.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J., Yang, S., Hu, L., Loung, H., Mow, T. W., Teng, P. S., Wang, Z., & Mundt, C. C. (2000). Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, 406, 718-722.