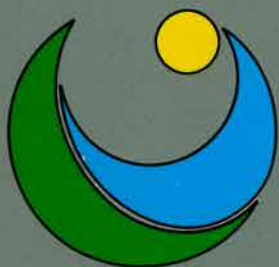


037

# Genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av insekter og andre virvelløse dyr

Kjetil Hindar  
Nina Jonsson  
Kaare Aagaard



**NINA**

**NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING**

# Genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av insekter og andre virvelløse dyr

Kjetil Hindar  
Nina Jonsson  
Kaare Aagaard

## NINAs publikasjoner

NINA utgir seks ulike faste publikasjoner:

### NINA Forskningsrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningsarbeid, i den hensikt å spre forskningsresultater fra institusjonen til et større publikum. Forskningsrapporter utgis som et alternativ til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

### NINA Utredning

Serien omfatter problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, litteraturstudier, sammenstilling av andres materiale og annet som ikke primært er et resultat av NINAs egen forskningsaktivitet.

### NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. Opplaget er begrenset.

### NINA Notat

Serien inneholder symposie-referater, korte faglige redegjørelser, statusrapporter, prosjektskisser o.l. i hovedsak rettet mot NINAs egne ansatte eller kolleger og institusjoner som arbeider med tilsvarende emner. Opplaget er begrenset.

### NINA Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern- og turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

### NINA Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINAs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

I tillegg publiserer NINA-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Hindar, K., Jonsson, N. & Aagaard, K. 1992. Genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av insekter og andre virvelløse dyr. – NINA Utredning 37: 1-24.

Trondheim november 1992

ISSN 0802-3107

ISBN 82-426-0282-4

Forvaltningsområde:

Norsk: Bevaring av genressurser

Engelsk: Conservation of genetic resources

Rettighetshaver ©:

NINA Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Arne J. Jensen

NINA, Trondheim

Design og layout:

Eva M. Schjetne

Kari Sivertsen

Alfhild M. Borgen

Tegnekontoret NINA

Sats: NINA

Trykk: Strindheim Trykkeri

Opplag: 300

Trykt på klorfritt papir

Kontaktadresse:

NINA

Tungasletta 2

7005 Trondheim

Tel: 07 58 05 00

# Referat

Hindar, K., Jonsson, N. & Aagaard, K. 1992. Genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av insekter og andre virvelløse dyr. - NINA Utredning 37: 1-24.

Formålet med denne utredningen er å gi en oversikt over mulige økologiske effekter ved bruk av genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av invertebrater i Norge. Biologisk kontroll av skadedyr omfatter bruk av levende organismer eller vira for å holde skadedyrene under den økonomiske skadeterskelen. I Norge foregår biologisk kontroll hovedsakelig i veksthus der rovmidd, snylteveps, gallmygg, nebbteger og nematoder brukes mot skadedyr på tomat, agurk og prydplanter. På friland har biologisk bekjempelse ved hjelp av virus, bakterier og biokjemikalier (bl.a. feromoner) blitt brukt mot skadedyr på frukt- og bartrær.

De genmodifikasjonene som er aktuelle i biologisk kontroll av invertebrater, er (1) effektivisering av virus og bakterier som allerede brukes i klassisk biologisk kontroll, (2) innføring av gener med insekticidvirkning i kulturplanter, og (3) genmodifikasjon av selve skadeinsektet. Genmodifiserte kulturplanter som uttrykker toksin-gener fra mikroorganismen *Bacillus thuringiensis* (Bt), ser ut til å bli blant de genmodifiserte organismene som først blir utnyttet i kommersiell skala. Gitt at miljøeffektene av selve Bt-toksinene er godt kjent, representerer storskala bruk av toksinproduserende kulturplanter først og fremst et problem for landbruket, fordi skadeinsektene raskere kan utvikle resistens mot Bt-toksinene.

Kunnskapen om økologiske effekter av genmodifiserte organismer er til nå svært begrenset. Forutsigelser må gjøres ut fra generell økologisk kunnskap og erfaringer fra klassisk biologisk bekjempelse. Hver enkelt organisme må vurderes ut fra det vi vet om dens økologi i Norge. De største økologiske risikoen ligger i mulighetene for at de genmodifiserte organismene etablerer bestander i utsettingsområdet eller sprer seg til andre områder. For genmodifiserte vira og bakterier er også vertsskifte og genetisk ustabilitet aktuelle problemstillinger.

Varmekjære organismer for bruk i drivhus vil ha begrenset mulighet til å etablere levedyktige, ville bestander i Norge. Organismer tilpasset barskog eller arktisk-alpine områder kan medføre langt større økologiske problemer, fordi de kan spre seg over store deler av det eurasiatiske kontinentet.

Emneord: Genmodifiserte organismer - Virvelløse dyr - Biologisk kontroll - Biologisk bekjempelse - Økologiske effekter - Norge

Kjetil Hindar, Nina Jonsson og Kaare Aagaard, Norsk institutt for naturforskning, Tungasletta 2, 7005 Trondheim.

## Abstract

Hindar, K., Jonsson, N. & Aagaard, K. 1992. Genetically engineered organisms in biological control of insects and other invertebrates. - NINA Utredning 37: 1-24.

This report provides an overview of the potential ecological effects of using genetically engineered organisms in biological control of invertebrates in Norway. Biological control of pests involves the use of living organisms or viruses to keep the population levels of the pests under the economic threshold. In Norway, biological control is mainly carried out in greenhouses where predatory mites, parasitic wasps, gall midges, flower bugs and nematodes are used against insect pests on tomatoes, cucumbers and ornamental plants. In the wild, biological control have been used on a limited scale by releasing viruses, bacteria and biochemicals (e.g. pheromones) against insect pests on fruit trees and conifers.

The genetic manipulations which are now being explored in biological control, are (1) improvement of viruses and bacteria already in use in classical biological control, (2) introduction of genes with insecticidal effect in crop plants, and (3) genetic manipulation of the insect pest itself. Genetically engineered crop plants expressing toxin-producing genes from the micro-organism *Bacillus thuringiensis* (Bt) appear to be among the first genetically engineered organisms to be commercialized. Provided that the environmental effects of Bt toxins are well known, the large-scale use of toxin-producing crop plants is primarily a problem to agriculture itself, because of accelerating rates of insect resistance to the Bt toxins.

The knowledge about ecological effects of genetically engineered organisms is so far limited. Predictions must rely on basic ecological knowledge and experience from classical biological control. Every organism subject to genetic manipulation must be evaluated on the basis of its autecology in Norway. The highest risk for adverse ecological effects lies in the potential establishment of the genetically engineered organism in the wild, and in the potential spread of this organism to other habitats. For genetically engineered viruses and bacteria, additional problems may arise from host shifts and genetic instability.

Nemoral organisms which are intended for use in greenhouses will have a limited potential for establishing viable populations in the wild in Norway. Organisms adapted to boreal forests or arcto-alpine areas represent a greater threat to the environment, because they may spread over vast areas on the Eurasian continent.

Key words: Genetically engineered organisms - Invertebrates - Biological control - Ecological effects - Norway

Kjetil Hindar, Nina Jonsson and Kaare Aagaard, Norwegian Institute for Nature Research, Tungasletta 2, N-7005 Trondheim, Norway.

# Forord

Denne utredningen er utført på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning (DN). Utredningen har vært gjennomført av overingeniør Nina Jonsson og forskerne Kjetil Hindar og Kaare Aagaard ved NINA, med Kjetil Hindar som prosjektleder. Vi vil rette en takk til Trond Hofsvang og Bjørn Åge Tømmerås for god hjelp under gjennomføringen av prosjektet.

Trondheim, oktober 1992

Kjetil Hindar  
Nina Jonsson  
Kaare Aagaard

# Innhold

<b>Referat</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>Forord</b>	
<b>1 Innledning</b>	6
<b>2 Bakgrunn: Hva er biologisk kontroll av skadedyr?</b>	7
2.1 Historikk	7
2.2 Biologiske bekjempelsesmetoder	7
2.3 Kriterier for å evaluere arter til biologisk kontroll	8
2.4 Eksempler på biologisk kontroll av skadedyr	8
2.5 Fordeler og ulemper ved biologisk kontroll av skadedyr	9
2.6 Biologisk kontroll med feromoner	10
2.7 Integriert bekjempelse	10
<b>3 Biologisk kontroll av skadeinvertebrater i Norge</b>	11
3.1 I veksthus	11
3.2 På friland	13
<b>4 Bruk av genmodifikasjon i biologisk kontroll</b>	14
4.1 Hvorfor genmodifikasjon?	14
4.2 Genmodifikasjon av den organismen som skal bekjempes	15
4.3 Genmodifikasjon av virus og bakterier som bekjemper skadeinvertebrater	16
4.4 Insektresistente kulturplanter	17
4.5 Genmodifikasjon av invertebratpredatorer og -parasitoider	17
4.6 Genteknologisk fremstilte biokjemikalier	17
4.7 Evolusjonære aspekter ved bruk av insekticider	17
<b>5 Mulige økologiske effekter</b>	18
5.1 Økologiske effekter av klassisk biologisk kontroll	18
5.2 Sammenlikning med kjemisk bekjempelse	19
5.3 Økologiske effekter av genmodifiserte organismer i biologisk kontroll	20
5.4 Spesielt om insekticidproduserende kulturplanter	20
5.5 Genmodifiserte organismer i veksthus og på friland - vurdering av spredningsmuligheter i Norge	21
5.6 Forskningsmessige aspekter	21
<b>6 Litteratur</b>	22

# 1 Innledning

Genteknologien er i ferd med å revolusjonere en rekke felter som er basert på anvendt biologisk kunnskap, slik som human- og veterinærmedisin og landbruk. Det forventes at genmodifiserte organismer i framtiden også vil bli brukt i biologisk kontroll (eller: biologisk bekjempelse) av invertebrater, som et mer effektivt redskap enn klassisk biologisk kontroll (DN 1991a, b). Denne bruken av genmodifiserte organismer må være gjenstand for omfattende økologiske og genetiske risikovurderinger før den kan settes i verk. I denne utredningen blir disse aspektene behandlet med bakgrunn i tilgjengelig litteratur om klassisk biologisk kontroll og moderne genteknologi.

Utredningen er bygd opp om tre felter der kunnskap er nødvendig for å identifisere mulige økologiske effekter, fordi forsøk med genmodifiserte organismer i biologisk kontroll ennå ikke er kommet så langt at det er mulig å basere oversikten på erfaringer. Utredningen søker således å:

- 1) gi en oversikt over skadeinvertebrater i Norge, hvor biologisk kontroll med vira, mikroorganismer eller invertebrater er mulig,
- 2) vurdere aktualiteten av genmodifikasjon som metode for å effektivisere slik biologisk kontroll, og
- 3) utrede mulige økologiske effekter ved bruk av genmodifiserte organismer i biologisk kontroll, ut fra tilgjengelig litteratur.

Nåværende norske og internasjonale retningslinjer for vern og bærekraftig utnyttelse av biologisk mangfold, tilsier at kommersiell bruk av genmodifiserte organismer som medfører betydelig risiko for uheldig påvirkning av naturlige bestander og økologiske prosesser, ikke kan tillates. Dette innebærer at miljøeffektene av de genmodifiserte organismene som måtte bli introdusert i naturmiljøet må være godt undersøkt på forhånd, slik at de positive mulighetene genteknologien gir kan bli utnyttet på en totalt sett bærekraftig måte.

Selv om vi i denne rapporten bruker begrepene "biologisk kontroll" og "biologisk bekjempelse" om hverandre, innebærer det ovenstående perspektivet på vern og bærekraftig utnyttelse at vi legger større vekt på "kontroll" enn "bekjempelse" når vi vurderer bruk av genteknologi i biologisk kontroll. Det er nylig uttrykt håp om at genteknologien kan brukes til å kontrollere f.eks. malariamygg og skadeinsekter i landbruket mer effektivt

enn i dag (Eggleston 1991, Gould 1991), og samtidig frykt for at genteknologien kan medvirke til tap av biologisk mangfold dersom risikovurderingene er for dårlige før utsetting (Hindar & Bakke 1991, Howarth 1991).

Introduksjoner av fremmede organismer - inklusive de som er brukt i biologisk kontroll - er en viktig årsak til tap av biologisk mangfold på verdensbasis (Pimm & Gilpin 1989). Erfaringer med ikke-genmodifiserte organismer viser at når disse introduseres i nye miljøer har de ofte helt andre miljøeffekter enn den tiltenkte. Dette tyder på at utsetting og utslipp av genmodifiserte organismer også innebærer en risiko for uønskete miljøeffekter. Denne utredningen tar spesielt for seg effektene ved bruk av genmodifiserte organismer i biologisk kontroll av invertebrater. Utredningen er utført på oppdrag fra Direktoratet for naturforvaltning (DN) og inngår i en serie av utredninger om de mulige miljøeffektene av utsetting og utslipp av genmodifiserte organismer i miljøet.

## 2 Bakgrunn: Hva er biologisk kontroll av skadedyr?

Biologisk kontroll (eller: bekjempelse) av skadedyr omfatter bruk av levende organismer eller vira for å holde skadedyrene under den økonomiske skadeterskelen. Dette innebærer at man bruker predatorer (rovdyr), parasittoider (organismer med et parasittisk levesett og som til slutt dreper vertsdyret), patogener (sykdomsorganismer) og antagonister (organismer som kan utkonkurrere skadedyrene eller holde dem på et lavt nivå) i stedet for kjemiske bekjempelsesmidler mot skadedyrene (Anon. 1987). Organismene som brukes ved bekjempelsen omfatter hovedsakelig insekter, midd, nematoder, sopp, bakterier og virus. Det finnes også andre kontrollmetoder som er biologiske, som f.eks. bruk av insektferomoner (van Emden 1977).

### 2.1 Historikk

Begrepet 'biologisk kontroll' ble introdusert av Smith (1919) for å beskrive innføringen av nytteinsekter for å undertrykke populasjoner av skadeinsekter. Men biologisk kontroll av skadedyr har en historie som strekker seg mye lengre bakover i tiden enn denne definisjonen, eksempelvis har folk brukt katter for å holde vekk rotter og mus fra kornlagrene sine.

Biologisk bekjempelse av skadedyr i mer generell forstand har en historie på ca. 100 år. Det første forsøket vi kjenner til er bekjempelsen av en skjoldlusart (*Icerya purchasi*) som ble innført med noen citrusplanter fra Australia til California i 1868. I løpet av få år ble skjoldlusa et meget alvorlig skadedyr og 18 år senere i 1886 var den en trussel for hele citrusindustrien i California. I 1888 ble derfor en entomolog sendt til Australia for å lete etter naturlige fiender til denne skjoldlusa. En marihøneart (*Rodolia cardinalis*) viste seg å være en meget effektiv predator, og de 514 innførte billene utryddet skjoldlusa nærmest fullstendig innen 1890 (DeBach 1974).

Biologisk bekjempelse av skadedyr blomstret opp i årene før 2. verdenskrig. Dette var før alternative, kjemiske metoder kom på markedet. Etter krigen avtok interessen i og med at de syntetiske, organiske insekticidene (f.eks. DDT, PCB, BHC, paration, malation) kom. Etter få års bruk med kjemiske midler oppsto imidlertid kjemikalieresistente populasjoner av skadedyrene (Mallet 1989, Stenseth 1991); noen populasjoner av skadeinsekter viser nå multipl resistens til alle de fire klassene av syntetiske insekticider (Eggleston 1991). Dette ga fornyet interesse for biologiske bekjempelsesmetoder. Og enda sterkere ble interes-

sen etter hvert som integrert bekjempelse av skadedyr, dvs. kombinert bruk av biologiske og kjemiske midler, utviklet seg (Hofsvang 1991a). Biologisk bekjempelse er av forholdsvis ny dato i veksthuskulturene. I 1927 ble betydningen av snyltevepsen *Encarsia formosa* oppdaget til å bekjempe veksthusmellus, og i 1930-årene ble det etablert praktisk bruk av metoden (Stenseth 1991). Bruken av biologisk bekjempelse i veksthus har økt kraftig i de siste 20 årene, og flere arter av naturlige fiender ble etter hvert tatt i bruk (Hofsvang 1991b).

### 2.2 Biologiske bekjempelsesmetoder

Innen biologisk kontroll benyttes fire forskjellige metoder, beskrevet av blant andre van Lenteren (1986, 1989) og Waage & Greathead (1988). Metodene er (Hofsvang 1991a):

- 1) **Introduksjonsmetoden.** Dette er den "klassiske" metoden som vanligvis brukes mot introduserte skadedyr. Det nye skadedyrets naturlige fiender samles inn fra et bestemt geografisk område, der skadedyret forekommer naturlig og er i økologisk likevekt med sine fiender og byttedyr. I slike situasjoner setter man ut et lite antall naturlige fiender, og målet er langsiktig reduksjon og regulering av skadedyrpopulasjonene. Metoden har vist seg å være mest vellykket i flerårige kulturer, som f.eks. frukthager, der skadedyrenes naturlige fiender kan garanteres en kontinuerlig eksistens.
- 2) **Oversvømmelsesmetoden.** Denne metoden omfatter innsamling av skadedyrenes naturlige fiender, masseformering og utsetting i stort antall. På denne måten oppnår man en øyeblikkelig effekt. Metoden brukes først og fremst mot skadedyr med én generasjon i året i ett-årlige kulturer.
- 3) **Sesong-introduksjonsmetoden.** Her innsamles de naturlige fiendene. De oppformerer i store mengder og slippes ut periodevis for å bekjempe skadedyr som har flere generasjoner i året. En slipper ut et stort antall nyttedyrene for å oppnå en øyeblikkelig effekt, men en ønsker også at nyttedyrrpopulasjonene skal etablere seg slik at de kan virke gjennom store deler av vekstsesongen. Metoden har vært utviklet og har med hell blitt benyttet i europeiske veksthus gjennom de siste 20 årene. I veksthus fjernes plantene ved slutten av sesongen og dermed går populasjonene av både skadedyr og nyttedyrene til grunne.
- 4) **Oppformeringsmetoden.** Denne metoden omfatter bruk av endemiske, naturlige fiender for å bekjempe skadedyrene. I noen tilfeller kan disse nyttedyrene oppformerer i laboratorier.



et og slippes ut for å øke virkningen sammenliknet med å la nytte dyrbestanden utvikle seg i feltet. Denne tilleggssinnsatsen er ofte rettet mot det mest sårbare stadiet i skadedyrets livssyklus. Men som oftest går metoden ut på å legge forholdene i habitatet best mulig til rette for de naturlig forekommende nytte dyrene. En slik manipulering med habitatet kan omfatte: (a) tilrettelegging av overvintringssteder for skadedyrenes naturlige fiender, slik som vegetasjonsøyer i åkeren, frodige åkerkanter eller egnete områder utenfor dyrket mark, og (b) bearbeiding av miljøforholdene i plantekulturen for å gjøre predatorne mer effektive.

## 2.3 Kriterier for å evaluere arter til biologisk kontroll

Når det finnes flere mulige fiender for å bekjempe skadedyr, slipper man noen ganger ut alle tilgjengelige nytte dyr og håper at naturen selv sorterer ut den eller de artene som er brukbare. Ehler (1990) kaller dette den empiriske måten for å bekjempe skadedyr. Den motsatte strategien kalles den forutsigbare, dvs. at de aktuelle nytte dyrartene testes grundig på forhånd før utslipp (Hofsvang 1991a). Det er videre to hovedlinjer i arbeidet med biologisk kontroll: en "reduksjonistisk" og en "holistisk" tilnærming (Waage 1990). Ved den reduksjonistiske tilnærmingen utvelges artene på grunnlag av spesielle biologiske egenskaper eller karaktertrekk i livssyklus, som f.eks. søkeevne eller fekunditet. Ved den holistiske tilnærmingen brukes en teoretisk vurdering av hvordan de aktuelle artene passer inn i økologien til skadedyret på bredt samfunnsøkologisk grunnlag.

I introduksjonsmetoden, oversvømmelsesmetoden og sesong-introduksjonsmetoden er det tre kriterier som blir brukt ved utvelgelsen av nytte arter ved biologisk bekjempelse (Tabell 1). For introduksjonsmetoden er det viktig at nytte dyret har synkron utvikling med skadedyret, at den klimatisk sett er egnet, at den er vertsspesifikk, effektiv og uten negative økologiske effekter. For sesong-introduksjonsmetoden gjelder stort sett de samme kriteriene, bortsett fra sesongmessig synkronitet og vertsspesifisitet. For oversvømmelsesmetoden er heller ikke effektiviteten særlig viktig.

I følge økologisk teori har vellykket biologisk bekjempelse vært assosiert med to prosesser: (1) redusert populasjonsstørrelse hos skadedyret, og (2) stabilitet, dvs. opprettholdelse av skadedyrpopulasjonen på et nytt, lavere nivå. Det har lenge vært akseptert at stabilitet i skadedyrpopulasjonen kan oppnås hvis det er refugier (i rom eller tid) tilstede som beskytter skadedyrpopulasjonen fra fullstendig utryddelse. Hvis skadedyrbestanden forsvinner vil

også de naturlige fiendene dø ut med dem (Waage & Greathead 1988). Evnen til å samle seg i lokaliteter med stor vertstetthet ble ansett som en ønskelig egenskap for nytte dyr som skulle brukes i biologisk bekjempelse. I de senere årene er det påvist at tetthetsavhengig parasittering ikke er så vanlig som man trodde, og at vellykket biologisk bekjempelse ikke nødvendigvis stabiliserer skadedyrpopulasjonene (Hofsvang 1991a).

## 2.4 Eksempler på biologisk kontroll av skadedyr

Tidlig på 1970-tallet ble den viktige matplanten i Afrika, kassava, angrepet av skjoldlus (*Phenacoccus manihoti*). Skadedyret kom til Afrika fra Sør-Amerika med ulovlig innførte kassavaplantar (Neuenschwander & Herren 1988). Skjoldlusa er ikke skadedyr på kassavaplantene i Sør-Amerika, som er det opprinnelige voksestedet for denne planten. Dette har både sammenheng med at det i Sør-Amerika er tilstede et stort kompleks av skjoldlusas naturlige fiender, og at man bruker lokalt tilpassete kassavasorter.

Etter innførselen til Afrika spredte skjoldlusa seg over hele kassavabeltet med en hastighet på opptil 300 km pr. år. For å kontrollere skjoldlusa ble det i 1981 innført en snylteveps (*Epidinocarsis lopezi*) fra Sør-Amerika. I 1990 var snyltevepsen i bruk ved bekjempelse av skjoldlus i 25 afrikanske land, og den er spredt i et område på 2,7 millioner km<sup>2</sup> (Herren & Neuenschwander 1991). Bruken av denne snyltevepsen har vært svært kostnadsbesparende. Herren & Neuenschwander (1991) oppga at forholdet mellom kostnader og fortjeneste har vært 1:149.

Det er også fra Norge eksempler på vellykket bruk av biologisk bekjempelse av skadedyr. Rød furubarveps (*Neodiprion sertifer*) har vært bekjempet med Nucleopolyhedrosis-virus (*Borrelinavirus diprionis*) mange ganger i perioden 1965-1988 (Mehl 1991). I september legger furubarvepsen egg på furunålene i spissen av siste årsskudd (Tvermyr 1968). Eggene overvintrer og klekkes i mai - juni neste år. Etter klekking går larvene straks i gang med å ete på furunålene. Mens dette pågår vokser de nye årsskuddene ut. Disse blir sjelden angrepet, noe som gjør at treet kan overleve selv om de eldre nålene blir oppspist. I juli slipper larvene seg ned på marken og spinner seg inn i kokonger nede i strødekket. Når larvene eter furubar infisert med viruset, blir de smittet med dette. Infiserte larver slutter å spise, blir slappe og dør etter hvert.

**Tabell 1.** Kriterier for evaluering av arter i biologisk bekjempelse (van Lenteren 1986, Hofsvang 1991a). + betyr viktig og - betyr ikke viktig

Kriterier	Utslippsprogram		
	Introduksjonsmetoden	Sesongintroduksjonsmetoden	Oversvømmelsesmetoden
1. Sesongmessig synkronisering med skadedyret	+	-	-
2. Synkron utvikling med skadedyret	+	+	-
3. Klimatisk tilpasning	+	+	+
4. Ingen negative effekter (f.eks. hyperparasitter)	+	+	+
5. Gode kulturmetoder	-	+	+
6. Vertsspesifikke (angriper ikke arter som ikke er skadedyr)	+	-	-
7. Høy "drepe-evne", dvs. høyere reproduksjonspotensial enn verten	+	+	-
8. God søkeevne, inkl. evnen til å svare på økte tettheter av skadedyret	+	+	+/-

Ute i skogen spres viruset naturlig på forskjellige måter. Insekter og fugl kan frakte med seg smitte. Viruset kan også spres med vinden. På ett og samme tre kan koloniene av furubarveps smitte hverandre ved at barnålene blir infisert med virus fra rester av døde larver (Tvermyr 1968).

Sommeren 1973 opptrådte rød furubarveps i et kraftig masseangrep over et 300 ha stort skogområde i Meisingset ved Tingvoll på Nord-Møre (Austarå 1978). Bekjempelse med virus ble satt i gang 10. juni, ca. 3 uker etter at larvene til furubarvepsen var klekt. Virusvæsken, 50 l/ha, ble sprøytet ut fra helikopter. Symptomene på virussykdommen hos furubarvepsen begyn-

te å vise seg 7 dager etter sprøytingen, og det meste av larvepopulasjonene var døde ved månedsskiftet juni/juli. Bekjempelsen var effektiv i den forstand at storparten av larvepopulasjonene ble drept. De samlede kostnadene for bekjempelsen beløp seg til ca. 140 kr pr. ha.

## 2.5 Fordeler og ulemper ved biologisk kontroll av skadedyr

De mange fordelene ved biologisk kontroll av skadedyr er godt dokumentert i litteraturen (Anon. 1987, Howarth 1991 og refe-

ranser i denne). Noen av disse fordelene, sammenliknet med kjemisk bekjempelse, er:

- Tryggere for mennesker og dyrs helse.
- Liten risiko for resistens hos skadedyrene.
- Få antall arter rammes, artsspesifikk skadedyrbekjempelse.
- Som oftest billigere å utvikle.

På den andre siden vil det også være ulemper ved biologisk bekjempelse. Det er imidlertid en tendens i litteraturen til å rapportere vellykkete forsøk, mens man unnlater å rapportere om de negative effektene (Howarth 1991). Vi har gjort en nærmere vurdering av de mulige ulempene i kapittel 5, både for klassisk biologisk bekjempelse og med tanke på biologisk bekjempelse som inkluderer genmodifiserte organismer.

Hvorfor er ikke biologisk bekjempelse av skadedyr mer i bruk? Det kan synes som om industrien finner biologisk bekjempelse som lite attraktiv ut fra følgende momenter (van Lenteren 1986):

- Det er nesten umulig å patentere nyttedyrr. (Denne begrensningen er imidlertid i ferd med å endre seg sammen med utviklingen av genteknologien; se Hindar et al. 1990.)
- Det er komplisert å masseprodusere nyttedyrr.
- Det er dårlige lagringsmuligheter for nyttedyrr.
- Bruken av biologisk bekjempelse omfatter en vanskelig og komplisert rådgivning til dyrkerne. Det kreves god entomologisk kunnskap i taksonomi og økologi hos veiledningstjenesten.

## 2.6 Biologisk kontroll med feromoner

Atferd som f.eks. parring, forflytning og samling hos insekter, kan styres av kjemiske signalstoffer som de sender ut. Disse stoffene kalles feromoner og er spesifikke for hver art (van Emden 1977).

Feromoner er tatt i bruk i bekjempelse av skadedyr; i vårt land f.eks. i barkbillefeller. Ved bruk av feromoner kan vi manipulere insektenes oppførsel. Vi kan få skadedyrene bort fra nytteplantene ved å ha feller eller områder med feromoner rundt nytteplantene og på den måten trekke skadedyrene bort fra plantene

vi ønsker å verne (van Emden 1977). Feromonene er spesielt fordelaktig ved bekjempelse av skadedyr fordi de er artsspesifikke og effektive i små mengder. Feromonene kan enten ekstraheres fra insektene eller fremstilles syntetisk.

## 2.7 Integreert bekjempelse

Til tross for at flere av metodene for biologisk bekjempelse er utviklet for bruk på friland, har de vært lite benyttet i Norge. En årsak til dette kan være at mange viktige skadedyr har sin nordgrense hos oss. Det er kjent fra flere undersøkelser og teoretiske arbeider om populasjonssvingninger at den regulerende effekten som naturlige fiender har overfor en art avtar mot kanten av utbredelsesområdet (Hofsvang 1991a).

Hos oss blir integreert bekjempelse brukt både på friland og i veksthus. Integreert bekjempelse er en kombinasjon av biologiske og kjemiske metoder. Kjemisk bekjempelse brukes når det er nødvendig, og på en slik måte at den minst mulig forstyrrer den biologiske bekjempelsen.

Integreert bekjempelse er mest effektiv i stabile økosystemer med flerårige vekster, som f.eks. i frukthager og skog (Skånland 1981). Her vil de naturlige fiendene kunne holde skadedyrpopulasjonene nede på et akseptabelt nivå i lange perioder. I frukthager holder rovinsekter (som blant annet marihøner, løpebiller, kortvinger, svevfluer, teiger), rovmidd, snyltefluer og snylteveps skadedyrene under kontroll. Men vanligvis synes det å være nødvendig med kjemisk bekjempelse i tillegg for å slå ned toppene hos skadedyrpopulasjonene (Stenseth 1969, Andersen et al. 1989).

## 3 Biologisk kontroll av skadeinvertebrater i Norge

### 3.1 I veksthus

I Norge foregår det biologisk bekjempelse av skadeinvertebrater først og fremst i veksthus (Hofsvang 1991a), der rovmidd, snyl-

teveps, gallmygg, nebbteger og nematoder brukes mot skadedyrene (Tabell 2).

Middrovmidd, *Phytoseiulus persimilis*, lever naturlig av spinnmidd. Derfor nyttes denne for å bekjempe veksthusspinnmidd (*Tetranychus urticae*) på tomat, agurk og prydplanter. Middrovmidd beveger seg raskt og er som voksen litt større enn veksthusspinnmidden. Den har samme livssyklus som vekst-

**Tabell 2.** Biologisk bekjempelse av skadedyr i veksthus i Norge

Nyttedyr	Skadedyr	Nytteplante
<b>A) Rovmidd</b>		
Middrovmidd ( <i>Phytoseiulus persimilis</i> )	Veksthusspinnmidd ( <i>Tetranychus urticae</i> )	Tomat, agurk, prydplanter
Tripsrovmidd ( <i>Amblyseius cucumeris</i> , <i>A. bakeri</i> )	Trips ( <i>Thrips tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i> m.fl.)	Tomat, agurk
<b>B) Snylteveps</b>		
Mellussnylteveps ( <i>Encarsia formosa</i> )	Veksthusmellus ( <i>Trialetrodes vaporariorum</i> )	Tomat, agurk, prydplanter
	Bomullsmellus ( <i>Bemisia tabaci</i> )	Prydplanter
Bladlusnylteveps ( <i>Aphidius matricaria</i> )	Bladlus ( <i>Aulacorthum solani</i> , <i>Myzus persicae</i> m.fl.)	Tomat, prydplanter
	<i>Aphis gossypii</i>	Agurk (forsøk)
<b>C) Gallmygg</b>		
Bladlusgallmygg ( <i>Aphidoletes aphidimyza</i> )	Bladlus ( <i>A. solani</i> , <i>M. persicae</i> m.fl.)	Tomat, agurk (forsøk)
<b>D) Teger</b>		
Nebbteger ( <i>Orius insidiosus</i> )	Trips ( <i>T. tabaci</i> , <i>F. occidentalis</i> )	Agurk, prydplanter
<b>E) Nematoder</b>		
<i>Steinernema feltiae</i>	Hærmygg	Prydplanter
<i>Heterorhabditis heliothidis</i>	Veksthusnutebille ( <i>Otiorynchus sulcatus</i> )	Prydplanter

husspinnmidden (Stenseth & Støen 1977). Middrovmidten oppsøker veksthuspinnmidden, stikker hull i og dreper skadedyret ved å suge ut næring av spinnmidden. Middrovmidten bekjemper alle stadier av veksthuspinnmidden, men foretrekker eggene. En voksen middrovmidd kan drepe opptil 20 nymfer og 5 voksne spinnmidd pr. dag. Det hevdes at middrovmidten ikke forlater et blad før hele spinnmiddbestanden er utryddet (Anon. 1992). Spinnmiddene er normalt utryddet 6-11 uker etter at rovmidden er satt inn. Rovmidten vil være tilstede i ytterligere 3 uker.

I dag er middrovmidd et pålitelig og enerådende bekjempelsesmiddel mot veksthuspinnmidd i tomat- og agurkdyrkingen (Stenseth 1991). I agurkdyrkingen hvor kjemikaliepresset var svært stort, har bruk av middrovmidd resultert i avlingsøkning på 10-20%.

Tripsrovmidd (*Amblyseius* spp.) er rovmidd som naturlig lever av trips, og brukes i bekjempelse av trips på tomat, agurk og pryddplanter. Artene er lette å masseprodusere. Derimot har de langt svakere predasjonsevne og formeringsevne enn middrovmidd (Stenseth 1991). Tripsrovmidd leter opp byttet og den kan bevege seg over store avstander i kulturen. Voksne tripsrovmidd angriper 1. og 2. nymfestadium av trips, og suger ut næring fra nymfen. Tripsrovmidd kan drepe 2-3 tripsnymfer pr. dag.

Et annet eksempel er bekjempelse av veksthusmellus (*Trialeurodes vaporariorum*). Mellus er spesielt vanskelig å bekjempe med kjemiske midler, idet 1-2 ukentlige behandlinger er nødvendig på de mest mellusmottakelige planteartene (Stenseth 1991). Bruk av mellusnyltevepsen (*Encarsia formosa*) til bekjempelse av veksthusmellusen kom i gang tidlig i 70-årene. På bakgrunn av dette brukes snyltevepsen i dag til bekjempelse av veksthusmellusen på tomat, agurk og pryddplanter, samt bomullsmellus (*Bemisia tabaci*) på pryddplanter.

Mellusnyltevepsen oppsøker mellusene ved hjelp av luktestoffer som mellusene skiller ut (Anon. 1992). Hunnene lever ca. en uke og legger egg fortrinnsvis i mellusenes 3. og 4. nymfestadium. Også hvis eggene legges i mellus som er i det 1. eller 2. nymfestadiet vil mellusnymfen dø, men da utvikles de ikke til levedyktige snyltevepser. I alt produserer en snyltevepshunn 50-100 egg, og hun stikker vanligvis ett egg i hver mellusnymfe. Eggene utvikles til nye snylteveps i løpet av 4 uker. Etter parasitering forvandles mellusnymfen til et tomt, svart skall (mumie) (Stenseth & Støen 1977). Total utviklingstid for snyltevepsen i mellusnymfen varierer mellom 35 dager ved 18°C og 15 dager ved 27°C. Mellusnyltevepsen er et effektivt bekjempelsesmiddel. Den utrydder ikke sitt vertsyd, og dersom den settes ut på

en tilstrekkelig lav mellusbestand, forblir mellusbestanden lav og uskadelig resten av vekstsesongen (Stenseth 1991).

Bladlusnylteveps (*Aphidus matricaria*) er en svært spesialisert art som utelukkende parasiterer bladlus. Bladlusnyltevepsen er den snyltevepsarten som hittil har vært brukt til å bekjempe bladlus på tomat og pryddplanter i veksthus. Hunnene til bladlusnyltevepsen stikker inn eggleggingsbrodden og legger ett egg i hver bladlus. Egget klekker til larve og etter fire larvestadier forpupper snyltevepslarven seg. Larven lever av bladlusas indre organer, men først under det siste larvestadiet drepes bladlusa. Like etter svulmer bladlusa opp, den forandrer farge og får et hardt ytre skall (mumie) (Hofsvang 1991b).

Bladlusnylteveps til å bekjempe agurkbladlus (*Aphis gossypii*) på agurk er under utprøving.

I Norge har det vært arbeidet med snyltevepsen *Ephedrus ceraticola* for biologisk bekjempelse av ferskenbladlus (*Myzus persicae*). Både forsøk og praktiske prøver viser at arten er velegnet som bekjempelsesmetode. *E. ceraticola* er foreløpig ikke satt i masseproduksjon (Stenseth 1991).

Bladlusgallmygg (*Aphidoletes aphidimyza*) brukes til å bekjempe forskjellige arter bladlus (ferskenbladlus, grønnflekket veksthusbladlus *Aulacorthum solani*) på tomat og pryddplanter. Bladlus har mange fiender, men det er bare bladlusgallmygg som formerer seg i veksthus. Hunnene av bladlusgallmygg legger egg i bladluskoloniene, og det må være bladlus tilstede på planten for at nyttedyret skal kunne etablere seg (Hofsvang 1991b). De nyklekte larvene er avhengig av å finne byttedyret i løpet av få timer. Larver av bladlusgallmyggen oppsøker bladlusene, punkterer bladlusa og suger ut innholdet. Larvene av bladlusgallmygg kan også sprøyte inn giftstoffer som dreper bladlusa uten at larvene suger ut innholdet. Ved store bladlusangrep vil gallmygglarvene bekjempe flere bladlus med giftstoffer enn den greier å fortære. Larver av gallmyggen trenger minimum 10 bladlus i utviklingen fra egg til voksent individ. I perioder med lite bladlus kan de voksne bladlusgallmyggene overleve ca 1 uke med honningdogg som næring (Anon. 1992).

Bladlusgallmygg er lett å masseprodusere. De kan lett transporteres og fordeles i veksthuset som puppekokonger. En vellykket biologisk bekjempelse av bladlus kan synes å være kostbar ved de nåværende prisene på bladlusgallmygg (Chambers 1990, Gilkeson 1990).

Spontan opptreden av bladlusgallmygg er vanlig i våre veksthus. Det er imidlertid bare på tomat, hvor bladlusene har forholdsvis

lav formeringsevne, at spontan opptreden gir god nok bekjempelse. Utsetting på begynnende og svake angrep er vanligvis nødvendig. Bladlusgallmygg lever på alle veksthusbladlus.

Bladlussnylteveps til bekjempelse av agurkbladlus på agurk er under utprøving.

Nebbtengen *Orius insidiosus* angriper og er predator på blant annet amerikansk blomstertrips (*Frankliniella occidentalis*) og nelliktrips (*Thrips tabaci*) og brukes i bekjempelse av trips på agurk og prydplanter.

Nebbtengen stikker hull i og suger ut næring fra byttedyrene. Nebbtengen foretrekker tripslarver, men også voksne trips kan bekjempes. Nebbtengen er polyfag, dvs. at den kan livnære seg av flere byttedyrarter. Foruten trips vil den bekjempe spinnmidd, bladlus og mellusnymfer. I perioder med lave bestander av skadedyr vil nebbtegen livnære seg av pollen. Nebbtengen brukes i veksling med tripsrovmidd til å bekjempe trips (Anon. 1992).

Nematoden *Heterorhabditis heliothidis* bekjemper de jordboende larvene av veksthusnutebille (*Otiorynchus sulcatus*). Nematodene overfører en bakteriesykdom som dreper larvestadiet av snutebillen. Smittebærende nematoder borer seg inn i larvene som smittes og dør. Døde snutebillelarver gir næringsgrunnlag for oppformering av nye nematoder. De første smittede snutebillelarvene er døde ca. 24 timer etter at nematodene er satt ut (Anon. 1992). Nematodene kan sprøytes ut med sprøyteutstyr, utvannes eller blandes i dyrkingsmediet før såing, potting eller stikking.

Det er ikke uvanlig at trips på slangeagurk blir drept av sopp (*Entomophthora* sp.). Smitten bringes inn i veksthusene i juni-juli med trips fra frilandsplanter. Soppen spres svært hurtig i veksthus og holder tripsbestanden på et akseptabelt nivå resten av vekstsesongen. Det er foreløpig ikke funnet metoder for kunstig oppformering av soppen (Stenseth 1991).

I veksthus anvendes vanligvis biologisk bekjempelse etter sesong-introduksjonsmetoden (Hofsvang 1991a). Oversvømmelsesmetoden kan i enkelte tilfeller også benyttes, f.eks. ved å slå ned et tidlig skadedyrangrep i prydplanter (Stenseth 1991).

I Norge i 1985 ble biologisk bekjempelse av skadedyr brukt i over 90% av arealet for veksthusagurk angrepet av spinnmidd og i over 70% av arealet for tomat angrepet av veksthusmellus (Stenseth 1986).

## 3.2 På friland

Biologisk bekjempelse har som nevnt ikke vært mye brukt på friland i Norge. De eksemplene vi kjenner til inkluderer bruk av virus og bakterier, samt feromoner og andre organiske stoffer, mot skadeinsekter.

Nucleopolyhedrosis-viruset har vært brukt mot rød furubarveps (*Neodiprion sertifer*) på furu flere steder i Norge i perioden 1965-1988 (Austarå 1965, 1978, Tvermyr 1967, 1968, 1969). Bekjempelsene, som ble nærmere beskrevet i kapittel 2, har vært vellykkede.

Bakterien *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* er et effektivt middel mot stikkemygg av slekten *Aedes*. For noen år siden ble det gjort feltforsøk med et preparat av denne bakterien mot mygglarver i elvedeltaet i nordenden av Tyrifjorden. I 1990 ønsket et firma å markedsføre et *B. thuringiensis*-produkt mot mygglarver i Norge. Markedsføringen ble utsatt i påvente av regler for bruk av slike produkter (Mehl 1991).

I frukthager i Norge brukes alkoholfeller i bekjempelsen av løvtrebarkbillen (*Xyloborus dispar*) (Hesjedal 1988). Løvtrebarkbillen kan enkelte år gjøre stor skade på eller drepe frukttrær, hvis disse på forhånd er svekket av f.eks. frost-, tørke- eller mekaniske skader (Edland 1979).

Løvtrebarkbillene slår seg ned på svekkede frukttrær. De kan også angripe roser. De voksne billene borer seg inn og lager ganger i stammer og greiner. Samtidig som eggene blir lagt i gangene poder billa inn en Ambrosiasopp. Denne soppen vokser og tetter igjen gangveggene. Larvene ernærer seg av soppen. Sopphyfene tetter igjen ledningssystemet i trærne, slik at trærne dør hvis angrepet er sterkt (Hesjedal 1988). Hunnbillene blir i gangsystemet og driver yngelpleie helt til larvene har forpuppet seg og utvikler seg til voksne biller i juli - august.

Prinsippet med alkoholfellene er at billene blir lokket til fella av alkoholdamp fra ei plastflaske som henger under ei limfelle (Hesjedal 1988). Den mest effektive alkoholblandingen i fella er 50% etanol og 0,5% toluen. På varme dager er fordampingen stor og billene orienterer seg etter lukta. Som en kuriositet kan vi nevne at eple- og kirsebærbrennevin i fellene også har gitt godt resultat.

I granskog brukes feromonfeller som bekjempelsesmiddel mot granbarkbille (*Ips typographus*). Granbarkbillen har i store mengder angrepet skog i Norge flere ganger i løpet av 1800- og

1900-tallet (Asbjørnsen 1861, Bakke 1989). I perioden 1971-1981 ble trær tilsvarende 5 mill. m<sup>3</sup> tømmer ødelagt av granbarkbillen.

Utbruddene av granbarkbille kommer i forbindelse med mye vindfall eller tørke (Bakke 1989). Granbarkbilleren borer seg inn og forplanter seg i tømmer eller vindfall av gran, men ved høye tettheter angriper også billene levende trær.

Bakke (1971) oppdaget ved felteksperimenter at borende hanner utskilte et feromon som trakk både hunner og andre hanner til treet. Komponentene i dette feromonet ble først analysert av Vitè et al. (1972), men vellykket bruk av dette feromonet til å fange barkbiller ble først gjort etter at Bakke et al. (1977) hadde oppdaget den artsspesifikke komponenten metylbutanol i feromonet og blandet dette med cis-verenol.

Feller, som er laget av dreneringsrør med en flaske under, ble utviklet for å fange barkbillene av Bakke et al. (1983). Barkbillene blir trukket til fellene av det syntetisk fremstilte feromonet som blir slippet ut fra en dispenser inne i fellen. Fellene er fortsatt i bruk for å bekjempe granbarkbiller i skog.

## 4 Bruk av genmodifikasjon i biologisk kontroll

De genmodifikasjonene som er aktuelle i biologisk kontroll av invertebrater, er effektivisering av virus og bakterier som allerede brukes i klassisk biologisk bekjempelse, innføring av insektresistens i planter som biologisk bekjempelse av insektene, og genmodifikasjon av selve skadeinsekten. Den sistnevnte kategorien har også sin forløper i klassisk biologisk bekjempelse gjennom masseutsetninger av sterile hanner for å utrydde skadeinsekter. Genmodifikasjon av andre organismer som brukes i biologisk kontroll av invertebrater (sopp, protozoer, invertebratpredatorer og -parasitoider), ser ikke ut til å være aktuelt ennå (Payne 1988, Eggleston 1991).

Genmodifiserte kulturplanter med økt resistens mot skadeinsekter ser ut til å være blant de genmodifiserte organismene som først vil bli brukt i kommersiell skala.

### 4.1 Hvorfor genmodifikasjon?

Effektive metoder for kontroll av invertebrater har et stort økonomisk potensiale. For eksempel står sykdommer som overføres av insekter for noen av de største helsemessige problemene på verdensbasis i dag: årlig smittes flere hundre millioner mennesker av malaria, filariasis (elefantpsyke) og gulfeber som alle overføres av ulike arter av stikkemygg. En av måtene å stoppe sykdomssyklusen på er å kontrollere de sykdomsoverførende insektene, og dette har vært forsøkt med kjemisk kontroll, miljøinngrep, tradisjonell biologisk kontroll (predatorer, og gift produsert av *Bacillus thuringiensis*) og genetisk kontroll (masseutsetting av sterile hanner). Disse metodene har bare delvis vært vellykkete, og malaria er i dag på fremmarsj på verdensbasis (Eggleston 1991).

Likeledes er det et stort marked for kontroll av skadeinsekter i landbruket. For eksempel er kostnadene forbundet med insektskader på bomull i USA beregnet til mer enn 3,5 milliarder NOK årlig (Perlak et al. 1990). Totalt sett er verdens pesticidmarked i dag på 140 milliarder NOK. Selv om det lenge har vært forsket for å erstatte kjemiske pesticider med biopesticider (vesentlig basert på produkter fra mikroorganismen *B. thuringiensis*) og andre former for biologisk kontroll, utgjør biopesticider ennå bare 1% av det totale pesticidmarkedet (Hochberg & Waage 1991).

Genmodifikasjon kan være med på å øke spekteret av strategier for biologisk kontroll. For eksempel kan det bli mulig å forandre både patogener og vektorer genetisk med sikte på å kontrollere hver art for seg, interaksjonene mellom dem, eller også deres følsomhet overfor andre kontrollmetoder (kjemisk eller miljømessig). De mulighetene som genteknologien introduserer er knyttet til to forhold: potensialet for å flytte gener mellom helt ubeslektede arter, og muligheten for å gjøre dette på en måte som ikke endrer resten av det genomet som det nye genet inkorporeres i. For eksempel kan man ved hjelp av genteknologi introdusere to eller flere resistensfaktorer samtidig i kulturplanter, mens man i klassisk planteavl er fornøyd om en klarer å inkorporere én resistensfaktor ad gangen. På denne måten kan genteknologien være med på å utvikle alternative midler og metoder for kontroll av skadedyr.

## 4.2 Genmodifikasjon av den organismen som skal bekjempes

Genetiske metoder har i noen tid vært brukt i bekjempelse av skadeinsekter. Hovedidéen har vært å bruke masseutsetting av sterile hanner av skadeinsektet for å ødelegge reproduksjonen og derved utrydde populasjonen. Disse utsettingene har vært effektive for en slekt av spyfluer (*Lucilia* spp.) i Nord- og Sentral-Amerika (Krafsur et al. 1987), men var ikke særlig effektive for *Aedes aegypti*. Selv der denne teknikken virker, er det en kostbar strategi, fordi masseutsettinger av sterile hanner må gjøres gjentatte ganger for å utrydde skadeinsektet.

Samme idé ligger bak de første storskala-utsettinger av genmodifiserte dyr i naturen. Disse utsettingene fant sted på Furneaux-øyene mellom Australia og Tasmania somrene 1990 og 1991 (Ewing 1990). Da ble 700 millioner genmodifiserte sauespyfluer (*Lucilia cuprina*) satt ut for å utrydde den lokale bestanden av dette skadeinsektet, som koster australske sauebønder 900 millioner kroner årlig. Spyfluene er genmodifisert slik at de fleste hannene blant avkommet blir sterile mens hunnene blir blinde. Derved håper de australske forskerne at det er mulig å utrydde spyfluene på disse øyene ved én utsetting, mens kontinuerlige utsettinger sannsynligvis er nødvendig for å kontrollere disse fluene i selve Australia (Ewing 1990).

Etter hvert som genomet til skadeinsekter blir bedre kjent, vil det sannsynligvis være aktuelt å modifisere flere ulike insektgener for å kontrollere insektpopulasjoner. Eggleston (1991) tenker seg følgende gener som aktuelle mål for genmodifikasjon av sykdomsoverførende insekter:

- 1) Gener som er viktige for insektidresistens. Det er kjent at esterasegener hos stikkemyggen *Culex quinquefasciatus* medvirker til resistens mot visse insekticider (organofosfater), og at cytochrom-P-450-gener hos malariamyggen *Aedes aegypti* medvirker til den mer generelle avgiftningen av insektmidler. Modifisering av disse genene kan således gjøre insektidbruken mer effektiv.
- 2) Gener som er viktige for å overføre patogener og parasitter. Hos *Ae. aegypti* er det kjent gener som påvirker deres motstandskraft overfor protozoene som forårsaker malaria, og rundormene som forårsaker elefantsyke hos mennesker. Modifisering av disse genene kan påvirke insektenes evne til å overføre parasittene til mennesket. Likeledes er gener som koder for insektenes immunproteiner viktige mål for genmodifikasjon, fordi disse også kan påvirke insektenes sykdomsoverførende kapasitet.
- 3) Gener som er viktige for utvikling, livssyklus og reproduksjon. Hos bananflue (*Drosophila* spp.), som er det insektet som genetisk sett er best kjent, har man funnet gener som regulerer utvikling, og gener som er viktige i bestemte deler av livssyklus (f.eks. klekking til voksent insekt og reproduksjonsatferd). Atter andre gener er kjent som sterkt påvirker fertilitet eller gir sterilt avkom. Disse genene kan ha et potensiale for populasjonskontroll.
- 4) Blokkerende gensekvenser. Dette er gensekvenser som skrur av det naturlige genuttrykket, og som derved kan hindre uttrykket av livsviktige gener hos skadeinsektet.

Når det genmodifiserte skadeinsektet er konstruert, er neste fase i forsøket å sikre at det sprer seg i skadeinsektpopulasjonen. Dette er ingen enkel oppgave, fordi det er godt mulig at den genmodifiserte varianten har lavere 'fitness' i miljøet. I så fall er det nødvendig med en eller annen mekanisme som tvinger gjennom spredningen av genmodifikasjonen i populasjonen, til tross for at dette motvirkes av naturlig seleksjon.

To drivmekanismer kan være aktuelle for å øke frekvensen av en genmodifikasjon i naturlige eller eksperimentelle populasjoner (se Eggleston 1991): Den ene er meiotisk press (engelsk: 'meiotic drive'), der et gitt kromosom overføres til mer enn 50% av avkommet og derved øker eksponentielt i frekvens. Dette er blant annet vist eksperimentelt i en populasjon av *Ae. aegypti*. Den andre mekanismen er å sikre at heterozygoten (som har to ulike varianter av samme gen) har lavere 'fitness' enn begge homozygotene (som har to like genvarianter, enten av den genmodifiserte typen eller villtypen). Det leder før eller senere til fik-



sering av den ene av homozygotene (Crow 1986). Denne strategien krever høyere antall utsatte genmodifiserte organismer fordi genmodifikasjonen ikke øker eksponentielt i frekvens. Effektiviteten av denne strategien kan økes ved å gi den genmodifiserte varianten en "startbonus" i forhold til villtypen, for eksempel ved å bruke genmodifikasjon for insekticidresistens kombinert med sprøyting med insekticider. Dermed øker sannsynligheten for at det er den genmodifiserte varianten som blir fiksert i populasjonen.

Ideelt sett bør genmodifikasjon av skadeinsekter føre til at villtypen blir erstattet av en genmodifisert variant som ikke gjør skade, snarere enn at sluttresultatet er utryddelse av skadeinsekt-populasjonen. Lokal utryddelse av skadeinsekter vil kunne gi ledige økologiske nisjer som er åpne for immigrasjon av andre populasjoner av skadeinsektet.

### 4.3 Genmodifikasjon av virus og bakterier som bekjemper skadeinvertebrater

**Virus.** Virus av familien Baculoviridae har i flere tiår vært brukt i biologisk bekjempelse av skadeinsekter. Baculovirus infiserer larvestadiet til insekter, og flere av artene har et ganske snevert vertsspekter. Genmodifiserte baculovirus er konstruert flere ganger, og forsøk med utsetting av genmodifiserte virus er allerede gjennomført (Bishop 1988). En rapport som nylig er utarbeidet av Veterinærmedisinsk senter i Tromsø, gir en fylldig beskrivelse av nåtidige og framtidige anvendelser for genmodifiserte virus, og mulige økologiske risiki ved å sette dem ut i naturen (VETMEST 1992). I denne rapporten gir vi derfor bare en summarisk oversikt over de forsøkene som gjøres med tanke på å bruke genmodifiserte virus i kontroll av skadeinsekter.

Det mest brukte baculoviruset er *Autographa californica* 'Nuclear Polyhedrosis Virus' (AcNPV). Et problem med dette og andre baculovirus i biologisk kontroll er at de bruker forholdsvis lang tid (en uke eller mer i naturen) på å ta livet av skadeinsektet. Dette har ført til interesse for å genmodifisere baculovirus med tanke på å øke hastigheten med hvilken de dreper vertedyret. Gener som koder for toksiner hos midd og skorpioner er nå satt inn i AcNPV med det resultat at viruset dreper insektlarvene hurtigere (Tomalski & Miller 1991, Stewart et al. 1991).

I tillegg til å kontrollere giftigheten av viruset, er genteknologiene også opptatt av å kontrollere virusets overlevelsessevne. Denne kan manipuleres ved å sette toksingener (eller andre gener) inn i det virusgenet som koder for virusets polyhedrin-

protein, som danner en kappe som beskytter viruset overfor miljøet. Dersom et toksingen settes inn i polyhedrin-genet, dannes ingen slik kappe og man har fått et genmodifisert virus som har dårlig persistens i miljøet, men som har økt giftighet for insektet. Dersom et toksingen settes inn i virusgenomet utenom polyhedrin-genet, vil man ha konstruert et genmodifisert virus med økt giftighet og god overlevelse. Det er imidlertid en tildels komplisert epidemiologisk vurdering i hvilken grad man skal satse på virusets giftighet og i hvilken grad man skal satse på dets overlevelsessevne med tanke på kontroll av et skadeinsekt (Hochberg & Waage 1991).

Med tanke på å forutsi andre miljøeffekter av genmodifiserte virus, har man ennå svært mangelfull kunnskap om faktorer som virusets vertsspekter, overlevelse og spredning fra utslippsstedet, påvisning av viruset i miljøet, genetisk stabilitet og utveksling av genmateriale. Dette er diskutert nærmere av VETMEST (1992).

**Bakterier.** Bakterien *Bacillus thuringiensis*, som ved sporulering produserer et krystallinsk protein som er giftig for noen insekter, har vært brukt som et biologisk insekticid i mer enn 30 år (Aronson et al. 1986). Bt-toksiner har blant annet vært foretrukket i miljømessig sensitive situasjoner, slik som like før høsting av kulturplanter (Brunke & Meeusen 1991). Men selv om Bt har hatt et godt rykte som et miljøvennlig insekticid, så er bruken av det begrenset. Dette skyldes at Bt-toksiner er dyrere å produsere, at de brytes ned raskere i naturen, og at de virker på et snevrere artsspekter enn de syntetiske insekticidene.

Noen Bt-varianter er giftige for larver av Lepidoptera (sommerfugler). Andre varianter er giftige for Diptera (tovinger) og Coleoptera (biller). Det foreligger kommersielle produkter basert på en kombinasjon av Bt-spore og krystallinske toksiner for skadeinsekter innen alle disse gruppene (Payne 1988). Hver variant av Bt-toksinet er giftig for et lite antall insektgrupper.

Genmodifikasjon av mikroorganismer for biologisk kontroll av invertebrater vil i stor grad være forbundet med utnyttelse av Bt-toksiner. En strategi er å kombinere ulike varianter av Bt-toksiner i den samme bakterien, slik at man kan utvide toksisiteten til et større spekter av skadeinsekter. Dette er forholdsvis enkelt å gjøre, fordi Bt-toksingener sitter på bakteriens plasmider. En annen strategi er å sette inn Bt-toksingener i andre arter av bakterier, som for eksempel i *Pseudomonas fluorescens* som lever tett sammen med planterøtter (Payne 1988).

## 4.4 Insektresistente kulturplanter

Den genteknologiske utviklingen gjør at kontroll av skadeinsekter kan utføres av stadig flere arter, til og med av de kulturplantene som er utsatt for skade (Brunke & Meeusen 1991). Allerede to år etter at man hadde vist at det var mulig å genmodifisere tofrøbladete planter, ble det publisert resultater som viste at insektkontroll kunne oppnås med transgene planter som hadde fått inkorporert et Bt-toksingen (Vaecck et al. 1987 for tobakk, og Fischhoff et al. 1987 for tomat). Senere er tilsvarende transgene, insektresistente planter vist for et 30-talls arter, inklusive viktige kulturplanter som mais, bomull, soya, ris og potet (van Rie 1991, Coghlan 1992).

Fra et produksjonsmessig synspunkt er fordelene med genmodifiserte, Bt-toksinproduserende planter at toksinet produseres av ett enkelt gen, som kan utvelges for beskyttelse mot en veldefinert målgruppe av skadeinsekter. I tillegg vil toksinproduksjon i planten beskytte deler av planten (røtter) som ikke nås av sprøytemidler. Ulempene er at det kan være vanskelig å uttrykke Bt-genet i store nok konsentrasjoner i planten, og at skadeinsekter kan utvikle resistens mot Bt-toksinet (se avsnitt 4.7).

En annen mulighet for genmodifikasjon av kulturplanter er å bruke gener fra planter som har utviklet naturlige forsvarsmekanismer overfor insekter. En slik mekanisme er syntese av såkalte proteinaseinhibitorer, som har antimetabolsk effekt på et bredt spekter av insekter (Ryan 1990). Et slikt gen er satt inn i tobakksplanter av Hilder et al. (1987) for beskyttelse mot nattflylarven *Heliothis virescens*.

Fra et produksjonsmessig synspunkt er fordelene med å utnytte proteinaseinhibitorer at de virker mot et bredt spekter av insekter, og at de i kombinasjon med Bt-toksiner kan brukes til å hindre eller forsinke utvikling av resistens hos skadeinsekten (Brunke & Meeusen 1991). En ulempe er at man trenger høyere konsentrasjon av proteinaseinhibitorer enn av Bt-toksin for at de skal virke mot insekter.

## 4.5 Genmodifikasjon av invertebratpredatorer og -parasitoider

Ved genmodifisering av nyttedyr i biologisk bekjempelse er det av interesse å øke deres effektivitet som bekjempelsesmiddel mot skadeinsekter og forbedre deres tilpasning til utsettingsmiljøet. Eksempler på egenskaper som ønskes modifisert er bl.a. økt formeringsevne, kortere generasjonstid, større mobilitet, flere drepte vertsdyr pr. predator, større verts- og byttedyrspekter

og lavere temperaturgrense for formering og aktivitet (DN 1991a). Basert på dagens viten er imidlertid dette anvendelser av genteknologi som ligger lengre inn i fremtiden enn de andre anvendelsene som er beskrevet her.

## 4.6 Genteknologisk fremstilte biokjemikalier

Fremstilling av biokjemikalier i human- og veterinærmedisin er den økonomisk sett viktigste bruken av genteknologi i dag. Det er også mulig å tenke seg genteknologi brukt til å produsere biokjemikalier for biologisk kontroll, for eksempel insektferomoner.

Det er svært kostbart å produsere de feromonene som brukes i kontroll av insekter (Bjørn Åge Tømmerås, pers. medd.), og derfor et potensiale for genteknologisk fremstilling dersom denne kan konkurrere i kostnadseffektivitet. Pr. i dag er dette tvilsomt: Genteknologien har et konkurransefortrinn først og fremst ved produksjon av høymolekylære biokjemikalier, mens de insektferomonene man kjenner er lavmolekylære.

## 4.7 Evolusjonære aspekter ved bruk av insekticider

Insekter har vist en uventet god evne til tilpasning til insekticider. Siden de syntetiske insekticidene ble introdusert for 50 år siden, er det registrert mer enn 500 arter av insekter som er resistente mot én eller flere av dem (Gould 1991). Det er også kjent at resistensegenskaper kan spre seg raskt mellom insektpopulasjoner ved migrasjon (Raymond et al. 1991). Én tid trodde man at insektene ikke kunne bli resistente mot insekticider som etterliknet insektenes egne hormoner (f.eks. juvenilhormon som hindrer utvikling til voksne insekter), men det har senere vist seg å være en feilaktig slutning (Shemshedini & Wilson 1990). Siden trodde genteknologene en tid at Bt-toksingener introdusert i planter var et sikkert mottrekk mot skadeinsekter, siden så mange sommerfugler må ha sameksistert med *Bacillus thuringiensis* i millioner av år uten å utvikle resistens. Men dette argumentet glemte at seleksjonstrykket for resistens i naturen er svært lite på grunn av sjeldne utbrudd av bakterien. Nylig er det vist både i laboratoriet og i felteksperimenter at insekter kan utvikle resistens mot Bt-toksiner (Gould 1991, van Rie 1991). Troen på et insekticid som er garantert mot at skadeinsekten utvikler resistens, har tydeligvis vært naiv.

En rekke strategier har vært foreslått - og blir nå testet - for å hindre eller ihvertfall forsinke utvikling av resistens mot Bt-toksi-

ner hos skadeinsekter: (1) Innsetting av to eller flere ulike toksingener eller andre planteforsvarsmekanismer i den samme kulturplanten, (2) reduksjon av det totale seleksjonstrykket for resistens ved at det introduserte giftgenet bare uttrykkes i de mest verdifulle delene av plantene, og (3) reduksjon av det totale seleksjonstrykket for resistens ved at det plantes mottakelige planter ved siden av resistente, eller også ved å rotere bruken av planter på én og samme åker. I tillegg vil genmodifiserte, toksinproduserende kulturplanter i kombinasjon med syntetiske insekticider kunne forsinke utvikling av resistens hos insektene (Brunke & Meeusen 1991, Gould 1991, van Rie 1991).

## 5 Mulige økologiske effekter

### 5.1 Økologiske effekter av klassisk biologisk kontroll

Ved vurdering av klassisk biologisk kontroll, har hovedvekten vært lagt på om bekjempelsen har vært vellykket eller ikke. Vurdering av eventuelle effekter på det øvrige biosamfunnet eller større deler av økosystemet har vært tillagt liten vekt såfremt det ikke har gått ut over folks helse eller næringsgrunnlag.

Effekter på andre arter enn "målarten" er dokumentert i flere tilfeller (Howarth 1991). I de mest uheldige tilfellene har dette ført til utryddelse av sjeldne eller truede arter. I ett av tilfellene førte en biologisk bekjempelse av kaniner med *Myxoma*-virus til at en blåvingesommerfugl forsvant fra England. Da kaninene forsvant, vokste gresset så høyt at det maursamfunnet som blåvingen lever symbiotisk med som larve, ikke kunne eksistere lenger. Derved forsvant også blåvingen (Thomas 1980). Dette eksempelet viser hvor kompliserte biologiske sammenhenger en må kunne kjenne til for å utnytte biologisk kontroll uten at uønskede sideeffekter oppstår.

En rekke faktorer er med på å avgjøre om biologisk bekjempelse kan påvirke andre arter enn målarten (Howarth 1991):

**Langtidspåvirkning.** Vanligvis er det ønskelig at den introduserte arten skal danne en stabil bestand i området. Mulighetene for at innvirkninger på andre arter skal inntreffe, øker med varigheten av introduksjonen. Av de fire metodene for biologisk bekjempelse som er nevnt i kapittel 2, vil introduksjonsmetoden og oppformeringsmetoden gi størst mulighet for at den utsatte arten skal danne en levedyktig bestand i området. Disse metodene medfører derved store muligheter for påvirkning på andre arter eller biosamfunn. De mer kortvarige alternativene som oversvømmelsesmetoden og sesong-introduksjonsmetoden representerer mindre risiko for langtidspåvirkning. Det må likevel understrekes at for oversvømmelsesmetoden er antallet individer som settes ut så høyt at en ikke kan utelukke at det forekommer varianter som klarer seg i naturen.

**Vertsskifte.** Det har ofte vært brukt invertebrater som kan leve på flere plantearter (polyfage) til bekjempelse av ugress. I enkelte tilfeller har en benyttet fremmede arter som ikke er utviklet sammen med ugressarten, men med en nær slektning av denne. Slike nye artsinteraksjoner har noen ganger gitt uønskede effekter og ført til utryddelse av arter (Funasaki et al. 1988).

**Områdeskifte.** Dyr og planter kjenner ingen administrative grenser. Mange introduserte eller innførte arter har spredt seg ut over store deler av nye kontinenter i løpet av noen få tiår (e.g. Smith 1991). Introduserte arter kan være mere habitat- eller nisjespesifikke enn vertsspesifikke. De kan raskt etablere seg i en biotop som ligner "opphavsbiotopen", men med "vikarierende" arter. Fra vår egen fauna vet vi at den amerikanske minken trives like godt med europeiske byttedyr som med de opprinnelige nordamerikanske artene den er utviklet sammen med.

Norge er spesielt ved at det strekker seg over flere biogeografiske regioner. Våre fauna- og florasamfunn skifter fra arktisk-alpine i nord via boreale barskoger til mer varmekjære (nemorale) blandingsskogssamfunn i sør. Flertallet av de artene som introduseres i landbrukssammenheng i lavlandet vil neppe vandre over i barskogsområdene eller fjellområdene. Disse store områdene vil derfor kunne fungere som barrierer mellom landsdelene. På den annen side vil introduksjoner av barskogsarter i andre nordiske land kunne ha stor effekt også i Norge. Introduksjon av arter i arktisk-alpine strøk er mindre sannsynlig i den sammenheng som vurderes her.

**Genetisk stabilitet.** Risikoen for at en organisme blir genetisk endret og angriper andre arter enn målarten, avhenger blant annet av organismens genetiske stabilitet. Mikroorganismer er generelt mer ustabile enn dyr og planter. Men også hos insekter kan relativt små genetiske endringer føre til at arten skifter fra en mer til en mindre vertsspesifikk art eller omvendt (Pimentel et al. 1989, Howarth 1991). Genmodifiserte organismer kan også ha mer ustabile genotyper enn naturlig utviklede organismer (Tiedje et al. 1989).

**Atferd og mutualisme.** Spesielle atferdsmønstre kan gjøre at enkelte organismegrupper har langt større effekter på økosystemet enn andre. Dette gjelder først og fremst leddyr som lever i samfunn eller kolonier. Disse artene har hatt stor effekt når de introduseres i fremmede økosystemer. Dette gjelder blant annet maursamfunn i varme strøk og afrikanske bier i Amerika (Smith 1991).

Samvirke eller mutualisme mellom en introdusert organisme og en nødvendig lokal art kan både være avgjørende for det ønskede resultatet og gi vidtrekkende uønskete resultater. For eksempel kunne *Myxoma*-viruset brukes mot kaniner i Australia fordi det ble spredt med lokale stikkemygg.

**Sårbare områder.** Utryddelse av arter som følge av biologisk kontroll er for det meste rapportert fra øyer (e.g. Cowie 1992) eller "økologiske øyer", som f.eks. innsjøer (Witte et al. 1992).

Dette kan skyldes større bruk av biologisk kontroll på øyer (Clausen 1978) og at det er lettere å registrere en utryddelse i slike habitater (Drake et al. 1989). Men også mangelen på "refugier" på øyer, og et fysisk mindre variabelt miljø i ferskvann enn på landjorda, kan være faktorer som gjør disse områdene mer utsatt for introduksjoner (Howarth 1991).

## 5.2 Sammenlikning med kjemisk bekjempelse

Den engelske Royal Commission on Environmental Pollution har pekt på at innføringen av genteknologien i landbruket har mange likhetstrekk med situasjonen på 1950-tallet da en rekke syntetiske kjemikalier (f.eks. insektgiften DDT) ble introdusert for første gang (Royal Commission 1989). Kjemikalene bidro sterkt til økt produksjon i landbruket, men ga også en rekke miljøvirkninger som få eller ingen hadde tenkt på. Ett eksempel var reduksjon i bestanden av flere rovfuglarter.

Det er mange uheldige sider ved bruken av syntetiske pesticider som gjør at alternativer er ønskelige. Syntetiske pesticider er kostbare å produsere og de er lite miljøvennlige. De nedbrytes sakte i naturen og angriper andre organismer enn skadeorganismen. Dosene må økes etterhvert som de mister sin effektivitet, og det er etterhvert blitt mangel på nye syntetiske pesticider som erstatning for de gamle.

Kjemisk bekjempelse av skadedyr og ugress er brukt - og brukes - i langt større omfang enn biologisk bekjempelse. På grunn av den diskusjonen som det har vært om miljøgifter, har overvåkingen av den kjemiske bekjempelsen de senere år vært mer omfattende enn overvåkingen av biologisk bekjempelse. I følge Howarth (1991) er det ikke påvist noen artsutryddelser som følge av kjemiske midler i landbruket. De økologiske virkningene har imidlertid vært meget store i enkelte områder og lokal utryddelse av arter har skjedd flere steder. I Nederland er for eksempel et titalls sommerfuglarter forsvunnet de siste ti år på grunn av kjemiske sprøytemidler eller også endringer i arealutnyttelse (Geraedts 1986).

Kjemisk bekjempelse er ikke nødvendigvis mer miljøfiendtlig enn biologisk bekjempelse. Kjemiske midler vil ikke mutere, reproducere eller kolonisere nye områder. Moderne krav til miljøhensyn har også ført til at de kjemiske midlene har blitt endret i miljøvennlig retning og derved gitt følsomme organismer en sjanse til å overleve. Innføringen av pesticidresistente planter i landbruket kan imidlertid invitere til hardere bruk av syntetiske pesticider i framtiden (Williamson et al. 1990).

## 5.3 Økologisk effekter av genmodifiserte organismer i biologisk kontroll

Den økologiske effekten av og risikoen ved å sette ut genmodifiserte organismer vil i stor grad bli lik den vi har lært å kjenne ved biologisk bekjempelse. Samtidig kan man anta at f.eks. en utvidelse av verts- og byttedyrspekteret etter en genmodifikasjon kan gi mulighet for store og lite forutsigbare skadevirkninger. Det vil for eksempel være svært vanskelig å forutse hvilke insektarter som vil bli angrepet ute i naturen.

De viktigste punktene synes å være:

### 1) Risikoen for spredning

Utsatte organismer forsøker å spre seg til alle aktuelle habitater. Utsatte genmodifiserte organismer vil biogeografisk sett opptre som ikke-modifiserte, introduserte arter. Det finnes mye litteratur om introduksjoner som er relevant også for å vurdere effektene av genmodifiserte organismer (Drake et al. 1989).

Dersom organismen finnes i nærheten av utsettingsstedet, men ikke har klart å kolonisere dette på egen hånd, kan dette enten skyldes at organismen ikke klarer å eksistere under de gitte forhold eller at spredningsbarrierer har holdt arten borte fra området. I det første tilfellet vil organismen neppe etablere seg uavhengig av mennesket. I det andre tilfellet er muligheten for etablering tilstede og mangelen på naturlig regulerende faktorer blir da den viktigste ukjente faktoren.

### 2) Risikoen for etablering

Selvreproduserende organismer vil kunne påvirke økosystemet på mange nivåer langt inn i fremtiden. Genmodifiserte organismer bør derfor fortrinnsvis lages slik at de ikke kan etablere ville bestander.

På den annen side kan genmodifiserte organismer gjøre det mulig å kontrollere skadedyr uten mange av de uheldige bi-effektene som andre bekjempelsesmetoder har. I noen tilfeller ønsker man også at utsatte, genmodifiserte organismer skal etablere seg, for eksempel der de skal utkonkurrere mer skadelige varianter av skadeorganismen. I de tilfellene er det rimelig å anta at utsetting av genmodifiserte, stedegne arter vil kunne gi bedre forutsigbarhet enn utsetting av helt fremmede arter.

### 3) Risikoen for uønskete økologiske effekter - gitt at den genmodifiserte organismen sprer og etablerer seg

Tiedje et al. (1989) har levert en vurdering av de økologiske effektene av genmodifiserte organismer til The Ecological Society of America. De gir bl.a. følgende eksempler på uønskete resultater av slik utsetting:

- Dannelse av nye skadeorganismer. Endrete toleransegrenser gjør det mulig for dem å etablere seg i andre habitater.
- Overføring av genmodifisert motstandsdyktighet til andre, beslektede arter. Et eksempel er ugress som også blir resistente mot skadeinsekter.
- Skade på andre arter enn målarten (skadearten). Det kan tenkes at biokjemikalier, virus, mikroorganismer eller invertebratpredatorer også angriper andre arter enn skadearten.
- Ødeleggelse av biologiske samfunn. Genmodifiserte organismer vil kunne fortrenge arter i naturlige økosystemer og endre konkurranse- og/eller predasjonsforholdene.

## 5.4 Spesielt om insekticidproduserende kulturplanter

Bruken av insekticidproduserende kulturplanter representerer først og fremst et problem for landbruket selv; delvis fordi det er uttrykt frykt for Bt (*Bacillus thuringiensis*)-toksinenes effekt på menneskers helse (Goldburg & Tjaden 1990), og delvis fordi innføring av Bt-gener i ulike kulturplanter kan øke eksponeringen til giften og dermed fremskynde utviklingen av resistens hos skadeinsektene (se avsnitt 4.7).

Fra et miljøperspektiv er det minst tre andre aspekter ved bruken av genmodifiserte, insekticidproduserende kulturplanter som må vurderes:

- Effekter av Bt-toksiner på andre insekter enn skadeinsektene. Bt-toksinene virker som nevnt på et forholdsvis snevert antall insektgrupper. Tester av hvordan Bt-toksinene virker må imidlertid ikke bare utføres på nærstående arter i samme habitat, men også på arter i andre habitater enn skadeinsektet. I Nord-Amerika er det gjort tester av hvordan *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, som brukes i stor skala i skogbruket, virker på ferskvannsinsekter (som påvirkes av avrenning). Resultatene tyder på at de fleste vanninsektene (11 av 12 arter testet) tolererer langt høyere Btk-konsentrasjoner

enn de som vil forekomme etter anvendelse i skogbruket (Kreutzweiser et al. 1992).

- 2) Risiko for overføring av toksingener til planter som er i slekt med kulturplantene. Dersom dette skjedde, ville man kunne miste noen av de mulighetene som er antydning for å forsinke utviklingen av resistens mot toksinene hos skadeinsekter og andre insekter. Vurderinger av muligheten for overføring av toksingener til andre arter blir et særtilfelle av de mer generelle vurderingene av risikoen for genoverføring som sådan (Elven et al. 1991).
- 3) Skadeinsekter kan tilpasse seg toksinproduserende planter ikke bare ved å utvikle resistens mot insekticidet, men også ved å skifte vertsplante. En slik atferdsmessig respons ser ut til å være langt mer sjelden enn den fysiologiske responsen som utvikling av resistens innebærer (Gould 1991). Men miljøeffektene ved slike vertsskifter - der de måtte forekomme - blir etter all sannsynlighet vanskeligere å forutsi enn effektene av resistensutvikling hos skadeinsektene.

## 5.5 Genmodifiserte organismer i veksthus og på friland - vurdering av spredningsmuligheter i Norge

Som det fremgår av kapittel 3, har det meste av biologisk bekjempelse her i landet så langt foregått i **veksthus**.

Mulighetene for at organismer som trives i veksthus skal kunne etablere seg i naturen er relativt liten i Norge. En eventuell etablering vil i så fall skje i de varme områdene i den nemorale sonen av landet: områdene rundt Oslofjorden, kyststripen mellom svenskegrensen og Stavanger og muligens enkelte varmere lokaliteter inne i fjordene på Vestlandet og i Trøndelag. For mange introduserte veksthusorganismer vil sannsynligvis en middels streng vinter være tilstrekkelig til at arten slås ut.

På **friland** er det til nå nesten ikke brukt utsetting av invertebrater i klassisk biologisk bekjempelse i Norge. Virus mot insekter er brukt i bekjempelse av rød furubarveps (jfr. kapittel 3). Bruk av bakterien *Bacillus thuringiensis* er startet opp med et feltforsøk med myggbekjempelse og markedsføring av denne bakterien er søkt. Genmodifiserte varianter av denne arten er muligens den mest aktuelle genmodifiserte organismen til bruk i biologisk bekjempelse i Norge i dag.

Ved en vurdering av spredningspotensialet for frilandsorganismer er det relevant å dele disse inn i de biogeografiske gruppe-

ne som er nevnt i avsnitt 5.1, altså de nemorale, boreale og arktisk-alpine arter.

De nemorale artene vil kunne ha en geografisk begrensning slik det er beskrevet for veksthusartene. Innenfor denne rammen vil de igjen begrenses i sitt utbredelsespotensiale av sine spesielle økologiske krav: vertsplante eller byttedyr, mikroklima og konkurranseforhold. Arter knyttet til kulturvekster vil i noen områder hemmes i spredningen ved at jordbruksområdene er delt opp av skogområder.

Boreale arter eller arter som kan forplante seg i barskogen vil ha store muligheter for å spre seg utover store, sammenhengende områder i Skandinavia, Finland og videre inn i kjerneområdene for verdens største sammenhengende biom, den nordlige barskogen i Eurasia. Det synes helt påkrevet med et internasjonalt samarbeid mellom de nordiske land og Russland på dette området dersom vi skal ha håp om å kunne kontrollere virkningen av genmodifiserte organismer som er tilpasset barskogsområdet.

I de arktisk-alpine områdene er det få eller ingen problemer med skadeinsekter på avling. Parasitter og blodsugende insekter på dyr og mennesker er imidlertid et stort problem. Biologisk kontroll av disse artene med genmodifiserte organismer er tenkbar. De økologiske bieffektene av introduksjoner vil også her være svært avhengig av hvor artsspesifikk angrepsorganismen er. En spredning av f.eks. en genmodifisert *B. thuringiensis* med høy effektivitet og liten artsspesifisitet over store deler av Finnmarksvidda for å redusere myggplagen vil samtidig påvirke hele produksjonen av insekter som næringsdyr for virveldyr i området.

Introduksjon av fremmede eller genmodifiserte organismer i de sårbare arktisk-alpine områdene bør ikke tillates, eventuelt bare etter omfattende dokumentasjon av minimal økologisk effekt på miljøet. Norge har sammen med Sverige, Finland og Russland et spesielt ansvar for å bevare dette nordlige økosystemet.

## 5.6 Forskningsmessige aspekter

De forskningsmessige aspektene ved utsetting av genmodifiserte organismer i naturen er behandlet i en rekke utenlandske og norske utredninger (e.g. Royal Commission 1989, Tiedje et al. 1989, Kjelleberg & Fagerström 1990, Mooney & Bernardi 1990, TeknologiNævnet 1990, DN 1991a, b, Ginzburg 1991, NMF 1991). Her nevnes enkelte forskningsaspekter spesielt med henblikk på bruk av genteknologi i biologisk kontroll.

Som det fremgår av kapittel 4, vil forskningen om miljøeffektene av genteknologisk basert biologisk kontroll i stor grad være knyttet til bruk av baculovirus og Bt-toksiner. Dette krever forskning i en rekke biologiske disipliner der organismekunnskapen omhandler vira, mikroorganismer og/eller planter.

Forskning med vekt på invertebrater ser i dag ut til å knyttes til hvilke insektarter og -samfunn som berøres av bruk av baculovirus og Bt-toksiner. På den ene siden innebærer dette en storstilt testing av giftigheten av disse biologiske insekticidene på skadeinsekter og andre ('non-target') insekter i selve bruksområdet. Dette er arbeid som kan utføres under kontrollerte betingelser på laboratoriet.

På den andre siden bør man også kunne kreve at forskningen gir svar på i hvilken grad miljøeffekter oppstår som følge av spredning av den genmodifiserte organismen eller dens gener, og av endrete organismeinteraksjoner (f.eks. vertsskifter) som følge av mutasjoner eller andre genetiske forandringer i den genmodifiserte organismen. Selv for relativt godt kjente baculovirus er slik økologisk kunnskap ennå begrenset (VETMEST 1992). Forskning på dette feltet krever sannsynligvis utsettinger av genmodifiserte organismer for i det hele tatt å nærme seg et ønsket realismenivå for å forutsi det fulle spektrum av økologiske og genetiske effekter. Et viktig utviklingsarbeid er derfor å finne testprosedyrer og testmiljøer (mikro-kosmos) der denne forskningen kan utføres med minimal miljørisiko (OECD 1986, 1991, DN 1991a).

Kunnskap om miljøeffektene av klassisk biologisk kontroll kan være med på å legge grunnlaget for å forutsi effekter av biologisk kontroll som involverer bruk av genteknologi. Det er imidlertid behov for langt bedre oppfølging av studier som skal dokumentere effekter av klassisk biologisk kontroll. May & Hassell (1988) hevder for eksempel at bare et fåtall av de ca. 300 vellykkede eksemplene på biologisk kontroll er dokumentert utover en kort periode etter introduksjonen, og i så fall bare på en overfladisk måte. Derved sløser man med kunnskap som kunne kommet til gode både i generell økologisk teori og i framtidig anvendelse av biologisk kontroll på en bærekraftig måte.

## 6 Litteratur

- Andersen, A., Edland, T & Hofsvang, T. 1989. Plantevern i jord- og hagebruk. Nyttedyr. - SFFL Småskrift 12: 1-12.
- Anon. 1987. Utredning om biologiska bekämpningsmetoder mot växtskadegörare i Sverige. - Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växt- och skogsskydd, Uppsala. 40 s.
- Anon. 1992. Biologisk plantevern mot skadedyr i veksthus. - Brosjyre fra as Plantevern-Kjemi. 10 s.
- Aronson, A.I., Beckman, W. & Dunn, P. 1986. *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. - Microbiol. Rev. 50: 1-24.
- Asbjørnsen, P.C. 1861. Om skovtørk og markaat. - Steensballe, Christiania.
- Austarå, Ø. 1965. Virusbekjempelse av den røde furubarvepsen. - Norsk skogbruk 20: 654-656.
- Austarå, Ø. 1978. Bekjempelse av rød furubarveps med virus under et masseangrep ved Tingvoll i Vest-Norge i 1974. - Norw. J. Entomol. 25: 91-92.
- Bakke, A. 1971. Evidence of a population aggregating pheromone in *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). - Contr. Boyce Thompson Inst. 24: 309-310.
- Bakke, A. 1989. The recent *Ips typographus* outbreak in Norway - experiences from a control program. - Holarct. Ecol. 12: 515-519.
- Bakke, A., Frøyen, P. & Skattebøl, L. 1977. Field response to a new pheromonal compound isolated from *Ips typographus*. - Naturwissenschaften 64: 98.
- Bakke, A., Sæther, T. & Kvamme, T. 1983. Mass trapping of the spruce bark beetle *Ips typographus*. Pheromone and trap technology. - Medd. Norsk inst. skogforsk. 38: 1-35.
- Bishop, D.H.L. 1988. The release into the environment of genetically engineered viruses, vaccines and viral pesticides. - Special combined issue; Trends Biotech. 6 & Trends Ecol. Evol. 3: s12-s15.
- Brunke, K. & Meeusen, R.L. 1991. Insect control with genetically engineered crops. - Trends Biotech. 9: 197-200.
- Chambers, R. J. 1990. The use of *Aphidoletes* for aphid control under glass. - SROPWPRS Bulletin XIII/5: 51-54.
- Clausen, C.P., red. 1978. Introduced parasites and predators of arthropod pests and weeds: a world review. - US Dep. Agric. Handbook 480. Washington, DC.
- Coghlan, A. 1992. Spiked spuds keep beetles at bay. - New Scient. 135 (1835): 19.
- Cowie, R.H. 1992. Evolution and extinction of Partulidae, endemic Pacific island land snails. - Phil. Trans. R. Soc. London B 335: 167-191.
- Crow, J.F. 1986. Basic concepts in population, quantitative, and evolutionary genetics. - Freeman, New York.

- DeBach, P. 1974. Biological control of insect pests and weeds. - Chapman and Hall, London. 844 s.
- DN. 1991a. Økologisk risiko ved utsetting av genmodifiserte organismer i naturen. - Direktoratet for naturforvaltning, Trondheim. - DN-Rapport 1991-7: 56 s.
- DN. 1991b. Vedlegg til "Økologisk risiko ved utsetting av genmodifiserte organismer i naturen". - DN-Notat 1991-10: 43 s.
- Drake, J.A., Mooney, H.A., di Castri, F., Groves, R.H., Kruger, F.J., Rejmanek, M. & Williamson, M., red. 1989. Biological invasions: a global perspective. - SCOPE 37, John Wiley, Chichester.
- Edland, T. 1979. Barkbillar på frukttrær. - Gartneryrket 69 (9): 233-235.
- Eggleston, P. 1991. The control of insect-borne disease through recombinant DNA technology. - Heredity 66: 161-172.
- Ehler, L.E. 1990. Introduction strategies in biological control of insects. - I Mackauer, M., Ehler, L.E. & Roland, J., red. Critical issues in biological control. Intercept, Andover, Hants. s. 111-134.
- Elven, R., Fremstad, E. & Sandved, M. 1991. Genetiske risikoer for norske villplanter. - NINA Oppdragsmelding 73: 39 s.
- van Emden, H.F. 1977. Pest control and its ecology. - Studies in Biology 5: 1-59.
- Ewing, T. 1990. Double blow for blowflies in Australia. - Nature (Lond.) 343: 496.
- Fischhoff, D.A., Bowdish, K.S., Perlak, F.J., Marrone, P.G., McCormick, S.M., Niedermeyer, J.G., Dean, D.A., Kusano-Kretzmer, K., Mayer, E.J., Rochester, D.E., Rogers, S.G. & Fraley, R.T. 1987. Insect tolerant transgenic tomato plants. - Bio/Technology 5: 807-813.
- Funasaki, G.Y., Lai, P.-Y., Nakahara, L.M., Beardsley, J.W. & Ota, A.K. 1988. A review of biological control introductions in Hawaii: 1890 to 1985. - Proc. Hawaii. Entomol. Soc. 28: 105-160.
- Geraedts, W.H.J.M. 1986. Voorlopige Atlas van de Nederlandse dagvlinders - Rhopalocera. - Landelijk Dagvlinderproject, Landbouwhogeschool, Wageningen.
- Gilkeson, L.A. 1990. Biological control of aphids in greenhouse sweet peppers and tomatoes. - SROP/WPRS Bulletin XIII/5: 64-70.
- Ginzburg, L.R., red. 1991. Assessing ecological risks of biotechnology. - Butterworth-Heinemann, Boston.
- Goldburg, R.J. & Tjaden, G. 1990. Are *B.t.k.* plants really safe to eat? - Bio/Technology 8: 1011-1015.
- Gould, F. 1991. The evolutionary potential of crop pests. - Am. Scient. 79: 496-507.
- Herren, H.R. & Neuenschwander, P. 1991. Biological control of cassava pests in Africa. - Ann. Rev. Entomol. 36: 257-283.
- Hesjedal, K. 1988. Angrep av lautrebarkbille i frukthagen. - Gartneryrket (4): 1-8.
- Hilder, V.A., Gatehouse, A.M.R., Sheerman, S.E., Barker, R.F. & Boulter, D. 1987. A novel mechanism of insect resistance engineered into tobacco. - Nature (Lond.) 330: 160-163.
- Hindar, K. & Bakke, Ø. 1991. Miljøeffekter av utsetting av genmodifiserte organismer. - NINA Oppdragsmelding 72: 77 s.
- Hindar, K., Rosendal, G.K. & Trønnes, H.N. 1990. Bioteknologi og norsk tilpasning til EFs indre marked. - NINA Utredning 8: 51 s.
- Hochberg, M.E. & Waage, J.K. 1991. Control engineering. - Nature (Lond.) 352: 16-17.
- Hofsvang, T. 1991a. Metoder for bekjempelse av skadedyr i jord- og hagebruk. - Forelesninger i landbruksentomologi ved NLH. Landbruksbokhandelen, Ås. 156 s.
- Hofsvang, T. 1991b. Biologisk bekjempelse av skadedyr. Informasjonsmøte i plantevern. - SFFL Faginfo. 2: 129-135.
- Howarth, F.G. 1991. Environmental impacts of classical biological control. - Ann. Rev. Entomol. 36: 485-509.
- Kjelleberg, S. & Fagerström, T., red. 1990. Ekologiska risker med spredning av transgena organismer: Underlag till forskningsprogram. - Statens naturvårdsverk, Solna, Sverige. Rapport 3689.
- Krafsur, E.S., Whitten, C.J. & Novy, J.E. 1987. Screwworm eradication in North and Central America. - Parasitol. Today 3: 131-137.
- Kreutzweiser, D.P., Holmes, S.B., Capell, S.S. & Eichenberg, D.C. 1992. Lethal and sublethal effects of *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* on aquatic insects in laboratory bioassays and outdoor stream channels. - Bull. Environ. Contam. Toxicol. 49: 252-258.
- van Lenteren, J.C. 1986. Parasitoids in the greenhouse: successes with seasonal inoculative release systems. - I Waage, J. & Greathead, D., red. Insect parasitoids. Academic Press, London. s. 341-374.
- van Lenteren, J.C. 1989. Implementation and commercialization of biological control in Europe. - NAPPO Bulletin 6: 50-70.
- Mallet, J. 1989. The evolution of insecticide resistance: have the insects won? - Trends Ecol. Evol. 4: 336-340.
- May, R.M. & Hassell, M.P. 1988. Population dynamics and biological control. - Phil. Trans. R. Soc. London B 318: 129-167.
- Mehl, R. 1991. Biologisk bekjempelse av skadedyr i Norge. - I Traavik, T., Rognli, O.A. & Mehl, R., red. Økologisk risiko ved utsetting av genmodifiserte organismer i naturen, del II, appendix. DN-notat 10: 48 s.
- Mooney, H.A. & Bernardi, G., red. 1990. Introduction of genetically modified organisms into the environment. - SCOPE 44, John Wiley, Chichester.
- Neuenschwander, P., & Herren, H.R. 1988. Biological control of the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti*, by the exotic parasitoid *Epidinocarsis lopezi* in Africa. - Phil. Trans. R. Soc. London B 318: 319-333.



- NMF. 1991. Miljøeffekter av utsetting av genmodifiserte organismer i naturen. - Nasjonal komité for miljøvernforskning, NAVF, Oslo.
- OECD. 1986. Recombinant DNA safety considerations. - Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- OECD. 1991. Monitoring of genetically modified organisms released into the environment. - Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- Payne, C.C. 1988. Pathogens for the control of insects: where next? - Phil. Trans. R. Soc. London B 318: 225-248.
- Perlak, F.J., Deaton, R.W., Armstrong, T.A., Fuchs, R.L., Sims, S.R., Greenplate, J.T. & Fischhoff, D.A. 1990. Insect resistant cotton plants. - Bio/Technology 8: 939-943.
- Pimentel, D., Hunter, M.S., LaGro, J.A., Efroymson, R.A., Landers, J.C., Mervis, F.T., McCarthy, C.A. & Boyd, A.E. 1989. Benefits and risks of genetic engineering in agriculture. - BioScience 30: 606-614.
- Pimm, S.L. & Gilpin, M.E. 1989. Theoretical issues in conservation biology. - I Roughgarden, J., May, R.M. & Levin, S., red. Perspectives in ecological theory. Princeton University Press, Princeton. s. 287-305.
- Raymond, M., Callaghan, A., Fort, P. & Pasteur, N. 1991. Worldwide migration of amplified insecticide resistance genes in mosquitoes. - Nature (Lond.) 350: 151-153.
- van Rie, J. 1991. Insect control with transgenic plants: resistance proof? - Trends Biotech. 9: 177-179.
- Royal Commission. 1989. The release of genetically engineered organisms to the environment. - Royal Commission on Environmental Pollution, 13th report, HMSO, London, U.K.
- Ryan, C.A. 1990. Protease inhibitors in plants: genes for improving defenses against insects and pathogens. - Ann. Rev. Phytopatol. 28: 425-449.
- Shemshedini, L. & Wilson, T.G. 1990. Resistance to juvenile hormone and an insect growth regulator in *Drosophila* is associated with an altered cytosolic juvenile hormone-binding protein. - Proc. Nat. Acad. Sci. USA 87: 2072-2076.
- Skånland, H. 1981. Rovinsekter mot grønn eplebladlus - *Aphis pomi* (De Geer). - Gartneryrket 71: 242-244.
- Smith, D.R. 1991. African bees in the Americas: insights from biogeography and genetics. - Trends Ecol. Evol. 6: 17-21.
- Smith, H.S. 1919. On some phases of insect control by the biological method. - J. Econ. Entomol. 12: 288-292.
- Stenseth, C. 1969. Bladlus på frukttrær. - Statens planteverns flygeskrifter. Småskrift 2: 1-7.
- Stenseth, C. 1986. Biologisk bekjempelse av skadedyr på veksthusgrønnsaker. - Aktuelt fra SFFL 10: 21-29.
- Stenseth, C. 1991. Biologisk bekjempelse av skadedyr i veksthus. - SFFL Norsk landbruksforskning suppl. 10: 33-35.
- Stenseth, C. & Støen, M. 1977. Skadedyr på agurk og tomat. - Statens planteverns flygeskrifter. Småskrift 14: 1-19.
- Stewart, L.M.D., Hirst, M., López Ferber, M., Merryweather, A.T., Cayley, P.J. & Possee, R.D. 1991. Construction of an improved baculovirus insecticide containing an insect-specific toxin gene. - Nature (Lond.) 352: 85-88.
- TeknologiNævnet. 1990. Økologiske forskningsbehov i lyset af den bioteknologiske udvikling. - TeknologiNævnets rapporter 1990/1, København.
- Thomas, J.A. 1980. Why did the Large Blue become extinct in Britain? - Oryx 15: 243-247.
- Tiedje, J.M., Colwell, R.K., Grossman, Y.L., Hodson, R.E., Lenski, R.E., Mack, R.N. & Regal, P.J. 1989. The planned introduction of genetically engineered organisms: Ecological considerations and recommendations. - Ecology 70: 298-315.
- Tomalski, M.D. & Miller, L.K. 1991. Insect paralysis by baculovirus-mediated expression of a mite neurotoxin gene. - Nature (Lond.) 352: 82-85.
- Tvermyr, S. 1967. Biologiske midler mot skadeinsekten i skogen. - Medd. Norske Skogforsøksvesen 23: 481-502.
- Tvermyr, S. 1968. Et eksempel på effektiv biologisk insektbekjempelse: Virus mot den røde furubarvepsen (*Neodiprion sertifer* (Geoffr.)). - Naturen 1: 26-36.
- Tvermyr, S. 1969. Effect of nuclear polyhedrosis virus in *Neodiprion sertifer* (Geoffr.) (Hymenoptera: Diprionidae) at different temperatures. - Entomophaga 14: 245-250.
- Vaeck, M., Reynaerts, A., Hofte, H., Jansens, S., de Beuckeleer, M., Dean, C., Zabeau, M., van Montagu, M. & Leemans, J. 1987. Transgenic plants protected from insect attack. - Nature (Lond.) 328: 33-37.
- VETMEST. 1992. Økologisk risiko ved utsetting/utslipp av genmodifiserte virus i naturen. - Veterinærmedisinsk senter i Tromsø, VETMEST-Skrifter nr. 1-1992. 72 s.
- Vité, J.P., Bakke, A. & Renwick, J.A.A. 1972. Pheromones in *Ips* (Coleoptera: Scolytidae): Occurrence and production. - Can. Entomol. 104: 1967-1975.
- Waage, J. 1990. Ecological theory and the selection of biological control agents. - I Mackauer, M., Ehler, L.E. & Roland, J., red. Critical issues in biological control. Intercept, Andover, Hants. s. 135-157.
- Waage, J.K. & Greathead, D.J. 1988. Biological control: challenges and opportunities. - Phil. Trans. R. Soc. London B 318: 111-128.
- Williamson, M., Perrins, J. & Fitter, A. 1990. Releasing genetically engineered plants: present proposals and possible hazards. - Trends Ecol. Evol. 5: 417-419.
- Witte, F., Goldschmidt, T., Wanink, J., van Oijen, M., Goudswaard, K., Witte-Maas, E. & Bouton, N. 1992. The destruction of an endemic species flock: quantitative data on the decline of haplochromine cichlids of Lake Victoria. - Env. Biol. Fish. 34: 1-28.

0 37

nina  
utredning

ISSN 0802-3107  
ISBN 82-426-0282-4

MELSON - 1652 TORPP

Norsk institutt for  
naturforskning  
Tungasletta 2  
7004 Trondheim  
Tel. (07) 58 05 00