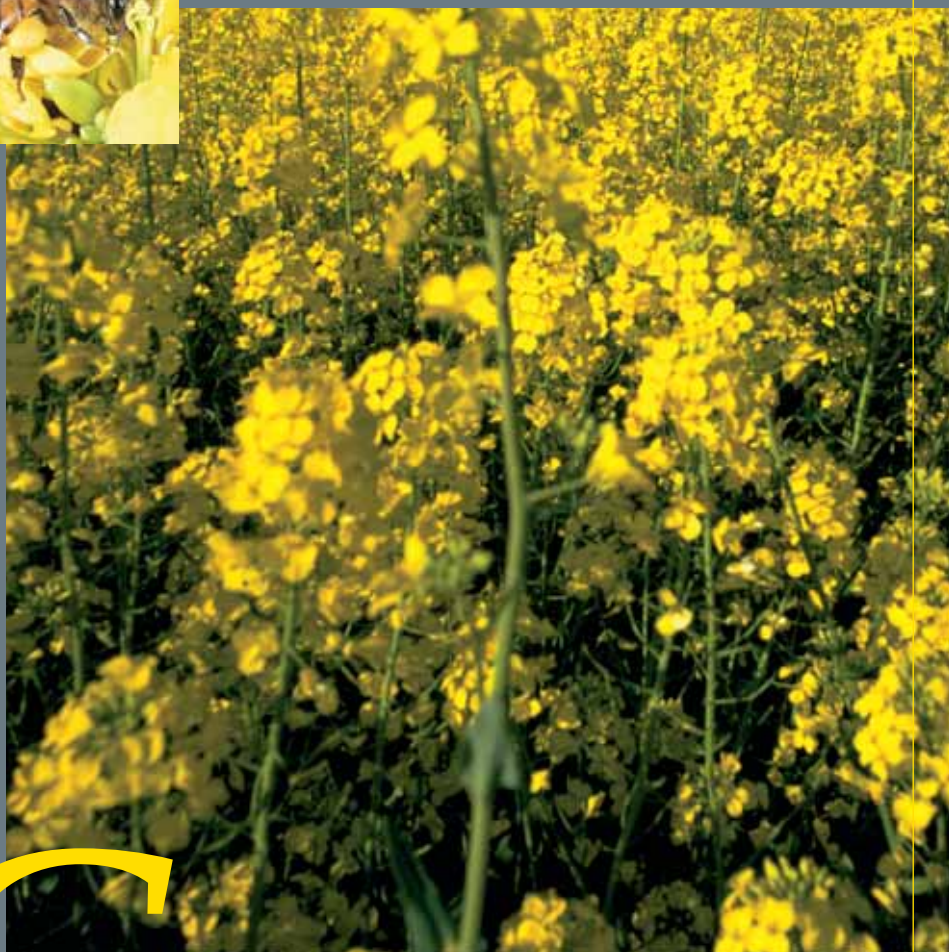




G^{en}- *modificerede planter*

Christian Damgaard
Gösta Kjellsson
Christian Kjær
Beate Strandberg

Hovedland





Genmodificerede planter

Christian Damgaard
Gösta Kjellsson
Christian Kjær
Beate Strandberg



Genmodificerede planter

Af Christian Damgaard, Gösta Kjellsson, Christian Kjær og Beate Strandberg

© 2005 Danmarks Miljøundersøgelser, forfatterne
og Forlaget Hovedland

Alle rettigheder forbeholdes.

Ingen del af denne bog må gengives, lagres i et søgesystem eller transmitteres i nogen form eller med nogen midler grafisk, elektronisk, mekanisk, fotografisk, indspillet på plade eller bånd, overført til databanker eller på anden måde, uden forlagets skriftlige tilladelse.

Enhver kopiering fra denne bog må kun ske efter reglerne i lov om ophavsret af 12. marts 2003 med evt. senere ændringer.

Det er tilladt at citere med kildeangivelse i anmeldelser.

Forlagsredaktion: Ole Jørgensen

Illustrationer og montage: Tinna Christensen og Kathe Møgelvang,
Grafisk værksted, Danmarks Miljøundersøgelser.

Omslag: Grafisk værksted, Danmarks Miljøundersøgelser.

Omslagsfotos: Rikke Bagger Jørgensen og CDanmark.

Scanning og tryk: Narayana Press, Gylling

Indbinding: Damm's Forlagsbinderi ApS, Randers

Denne bog er trykt på 130 g Cyclus Print
Overskydende papir og pap er genbrugt.

ISBN 87-7739-742-8

2. udgave, 1. oplag 2005

Forlaget Hovedland
www.hovedland.dk
E-mail: mail@hovedland.dk

Forord 6



Tæt på at blive hverdag 9



Hvad er genmodificerede planter? 15



Herbicidtolerante afgrøder 27



Skadedyrsresistente afgrøder 39



Afgrøder til andre formål 51



Risikovurdering 61



Genmodificerede fødevarer 73



Fremtidsperspektiver 81

Litteratur 84

Ordliste 86

Stikordsregister 87

Forord

I 1998 udgav Danmarks Miljøundersøgelser Temarapport nr. 23, "Gensplejsede planter". Siden da er der sket en del ændringer på området. Der er indsamlet ny viden og erfaringer med genmodificerede planter både i Danmark og internationalt, og lovgrundlaget er ændret. Denne bog er for en stor dels vedkommende en revideret udgave af "Gensplejsede planter".

Tak til Gitte Silberg Poulsen, Skov- og Naturstyrelsen, Preben Bach Holm, Danmarks JordbrugsForskning, Ole Kjeldsen Rasmussen, Dansk Landbrug, som har læst en tidligere version af bogen og givet nyttige råd og kommentarer.



Gensplejsning af gåsemad, se: "Tjek på Biotek".

Foto: Anna Haldrup.



Tæt på at blive hverdag



Efter en pause på seks år bliver det nu muligt at dyrke og bruge genmodificerede planter i EU-landene. I de forløbne år er der bl.a. udarbejdet nye regler, der skal sikre miljøet og forbrugerne mod utilsigtede virkninger af de modificerede planter, og nu står mange på spring for at bruge dem.

Foto: CDanmark.

Hvad vil du gøre næste gang du går i supermarkedet for at købe majscolber til aftensmaden og står over for valget mellem genmodificerede, almindelige eller økologiske majs? Ser du på prisen? Ta'r du dem der ser mest friske ud? Ser du på mærkningen? Eller er der en helt anden grund til at du ta'r majscolberne fra en bestemt stabel?

Den situation er meget tæt på at blive hverdag for os danskere. Nogle danskere har allerede besluttet hvilke majscolber de vil lægge i indkøbskurven, mens andre måske først beslutter sig i det sekund, de står og skal vælge. Men hvad er det egentlig for et valg vi står over for?

Genmodificering, etik og fornuftig sameksistens

Det seneste årstid har genmodificerede planter jævnligt været i mediernes overskrifter. Årsagen er at EU-landene i 2004 – med seks års forsinkelse – er ved at behandle ansøgninger fra virksomheder om tilladelse til at dyrke genmodificerede afgrøder, importere dyrefoder med genmodificerede planter eller til at sælge dem i butikkerne.

Genmodificerede planter er planter, som har fået indsat et eller flere gener fra andre planter eller dyr for at fremme en bestemt egenskab. Debatten i medierne har bl.a. drejet sig om det etiske i at manipulere med noget naturligt, og om fordele og ulemper ved genmodificerede planter. Den har også drejet sig mere konkret om nogle af de regler og love som skal sikre en fornuftig sameksistens mellem genmodificerede, konventionelle og økologisk dyrkede planter og gøre det muligt for den enkelte borger at vælge den type vare, vedkommende ønsker.

Årsagen til den omtalte forsinkelse på seks år er, at der i midten af 1990'erne var en udbredt skepsis over for genmodificerede planter blandt EU-landenes indbyggere. Denne skepsis skyldtes bl.a. almindelig usikkerhed og mangel på viden om den nye teknologi. Befolkningerne var bl.a. usikre over for de ubegrænsede muligheder for at ændre på planternes gener og over for, om der reelt var nogen gevinst at hente, ligesom spørgsmålet om mærkning af genmodificerede varer var vigtigt for mange. Samtidig satte miljøgrupper og mange forskere spørgsmålstegn ved genteknologiens sikkerhed, fx risikoen for spredning af genmodificerede planter eller de indsatte gener til naturen, og de negative virkninger som det kan få på den økologiske balance i naturen.

Den store skepsis førte til at EU i 1998 indførte det såkaldte moratorium – en pause der kom til at vare seks år. Pausen skulle bruges til at forbedre den eksisterende viden om genmodificerede planter og de love, der skal ligge til grund for anvendelsen af genmodificerede planter i EU-landene.

I mellemtiden er EU-direktiverne blevet revideret og forbedret på væsentlige punkter, og EU-parlamentet har vedtaget regler for overvågning af genmodificerede planter og for mærkning af produkter. Flere lande, bl.a. England og Danmark, har gennemført store markforsøg for at undersøge virkningen på natur og miljø. I Danmark blev befolkningen inviteret til at besøge markerne og se og høre mere om dyrkningen af genmodificerede planter. Set i forhold til den store folkelige skepsis var det dog relativt få der benyttede sig af denne mulighed.

Tiden med moratoriet er således brugt til at forbedre den eksisterende viden om genmodificerede planter samt til at præcisere reglerne for dyrkning og salg af genmodificerede planter inden for EU.

Figur 1-1

I Danmark gennemførtes i forbindelse med moratoriet en række demonstrationsforsøg.

Foto: Marianne Bruus Pedersen.



En hverdag med genmodificerede planter

Inden længe får vi hver især mulighed for at vælge mellem de velkendte varer uden specielle mærker, de økologiske varer med det røde Ø-mærke og varer mærket med at de er produceret helt eller delvist via genmodificerede planter.

EU-parlamentet har allerede godkendt 17 genmodificerede majssorter til produktion i EU, og i juni 2004 vedtog et flertal af Folketingets partier den såkaldte sameksistenslov, som skal sikre at genmodificerede, konventionelle og økologiske afgrøder kan holdes adskilt, så vi danskere har en reel mulighed for at vælge den type vare, vi ønsker.

I stadigt flere lande begynder landmændene at dyrke genmodificerede planter. I 2004 blev der dyrket genmodificerede planter på i alt 81 mio. hektar landbrugsland i 17 forskellige lande. Langt det meste bliver dog dyrket i otte lande: USA, Argentina, Canada, Brasilien, Kina, Paraguay, Indien og Sydafrika. I Europa blev der i 2004 kun dyrket genmodificerede afgrøder i Spanien, Rumænien og Tyskland.

Tabel 1-1

De globalt vigtigste GM-afgrøder i 2004. Efter James 2005.

	Totale areal (mio. ha.)	GM-areal (% af total)
Soja	48,4	56
Majs	19,3	14
Bomuld	9,0	28
Raps	4,3	19



De vigtigste genmodificerede afgrøder er sojabønner, majs, bomuld og raps. Størsteparten af disse afgrøder har fået indsat gener, så de kan tåle bestemte sprøjtemidler eller er modstandsdygtige over for bestemte insekter. De fleste af de almindelige afgrøder og grøntsager, fx raps, majs, ris, sojabønne, bomuld, kartoffel og tomat, findes nu i genmodificerede udgaver.

Vi håber at denne bog kan være med til at give dig vigtig baggrundsviden, så du får mulighed for at tage stilling til den nye teknologi ud fra en reel faglig viden om genmodificerede planter.

Vi skal gøre opmærksom på at bogen primært handler om de miljømæssige aspekter af genmodificerede planter. Den kommer kun i begrænset omfang ind på de sundhedsmæssige og samfundsmæssige konsekvenser af den nye teknologi. Disse aspekter er også vigtige, og vi vil derfor opfordre dig til også at søge i bøger og andre kilder, der behandler disse emner mere udførligt. Se fx i Gaskell, G. m.fl., Teknologirådet og Dansk Fødevarer- og Veterinærforskning i litteraturlisten på side 84-85.



Figur 1-2

Tomatpuré fremstillet af gensplejsede tomater. En tydelig mærkning gør, at forbrugeren frit kan vælge mellem puré produceret med GM-tomater eller konventionelle produkter. Puréen, der har forbedret konsistens, kunne en overgang købes i bl.a. England, men der var ikke tilstrækkelig efterspørgsel efter den.

Foto: Zeneca Agrochemicals.



Hvad er genmodificerede planter?

I dette kapitel fortælles om den genetiske baggrund for såvel traditionel forædling som gensplejsning. Man kan også læse om, hvilke egenskaber der kan splejses ind i en plante, og om hvordan man helt konkret gør det. Endelig får man et overblik over risikoen for, at indsplejsede egenskaber kan sprede sig til andre planter, hvor man ikke ønsker dem.

Foto: Rikke Bagger Jørgensen.

Traditionel forædling

Den første forædling af vores landbrugsplanter startede samtidig med, at de første bønder i oldtiden begyndte at indsamle frø fra vilde planer og så disse frø på et stykke behandlet jord det følgende år. Frø fra planter med specielle egenskaber blev overrepræsenteret blandt de indsamlede frø, fordi de første bønder ubevidst har indsamlet frø fra de planter, som havde en relativt lav frøspredning, og hvis frø kunne spire uden først at skulle hvile i lang tid. Begrænset spredning af frøene og bedre evne til at spire direkte uden en hvileperiode i jorden medførte nemlig, at planterne var bedre egnede som afgrødeplanter.

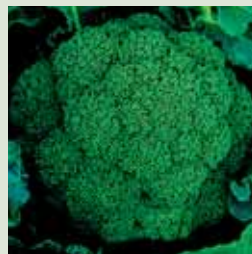
Fra de udvalgte frø spirede planter, man kan kalde ubevidst forædlede, fordi de som gennemsnit besad flere af de nævnte egenskaber end deres vilde artsfæller. Stenalder-



Figur 2-1

Et udpluk af forskellige kål-sorter, som alle er forædlet ved hjælp af traditionel forædling ud fra vilde kålplanter (øverste venstre hjørne).

Foto: Anna Haldrup, "Tjek på Biotek", L. Dæhnfeldt, M. Storey (bioimages.org.uk).



bønderne har sikkert ret hurtigt fornemmet, at det var en fordel at bruge frø fra sådanne ubevidst forædlede planter frem for at indsamle nye frø fra naturligt voksende planter. Forædlingen af landbrugsplanter blev derfor allerede i oldtiden en stadig mere bevidst proces.

Senere opdagede man, at hvis man krydsede to forskellige planter med hver deres nyttige egenskaber med hinanden, ville afkommet i nogle tilfælde have begge egenskaber. Således blev afgrødeplanterne forædlet fra stenalderbondens vilde planter til vore dages højtydende og specialiserede plantesorter ved hjælp af krydsning og efterfølgende udvælgelse af egnede planter.

Forædleren vil typisk gerne have krydset en eller flere nyttige egenskaber ind i en højtydende sort, som er tilpasset den lokale landbrugspraksis og det lokale miljø.



Figur 2-2

Tilbagekrydsning mellem en plante med en nyttig egenskab (A) og en plante som er højtydende (B). Plante A's nyttige egenskab er dens blomsterfarve, men derudover har den en uønsket egenskab: få, store blade. Krydsningsafkom som er udvalgt for den nyttige egenskab krydses tilbage til den højtydende plante. Efter nogle generationer er den nyttige egenskab integreret (indkrydset) i den højtydende sort, og samtidig er den uønskede bladegenskab erstattet med plante B's bladegenskab.

A. Plante med en
nyttig egenskabB. Højtydende
sort

Problemet er, at man kun er interesseret i de normalt relativt få gener, som koder for de nyttige egenskaber, og ikke i alle de andre gener, som den indkrydsede plante jo også har. Dette problem har forædleren løst ved at krydse afkommet fra den første krydsning med den højtydende sort (tilbagekrydsning) og derefter udvælge det afkom fra tilbagekrydsningen, som havde den nyttige egenskab.

Tilbagekrydsningen skal foretages adskillige gange, og for hver tilbagekrydsning er der lidt færre af den indkrydsede plantes uønskede gener. Der kan normalt kun dyrkes en eller to generationer om året, og derfor er sådan en tilbagekrydsningsprocedure ret tidskrævende. Alt efter egenskab, planteart og forædlingspraksis kan tilbagekrydsningerne tage mellem tre og seks år.

Den traditionelle forædling af landbrugsplanter er også begrænset af, at man som regel ikke kan krydse individer fra forskellige arter med hinanden. Denne begrænsning kaldes artsbarrieren og betyder, at forædleren kun kan udnytte den genetiske variation, som findes inden for en planteart og de nærtstående arter, som den kan krydses med. Forædleren er derfor afskåret fra at bruge en stor del af den potentielt set nyttige genetiske variation, som findes i naturen.

Figur 2-3

Gensplejsning af gåsemd kan foretages i simple forsøg, se: "Tjek på Biotek".

Foto: Anna Haldrup.



Gensplejsning

Mulighederne for forædling ved den traditionelle metode er altså begrænset af tid og artsbarrierer. Netop disse to begrænsninger kan i mange tilfælde fjernes eller mindskes ved hjælp af en særlig teknik – gensplejsning.

En genmodificeret plante (GM-plante) er en plante, som ved hjælp af gensplejsning har fået indsat et eller flere stykker nyt DNA i sin arvemasse. Det indsatte DNA-stykke (transgenet eller transgenerne) stammer næsten altid fra en anden levende organisme, en såkaldt donororganisme, som kan være alt lige fra en bakterie til et menneske.

Princippet i gensplejsning er meget simpelt: Man “klipper” det ønskede gen (se boks 1 og figur 2-4) ud af donororganismens genom med et såkaldt restriktionsenzym. Ved hjælp af et andet enzym (ligase) “limes” genet sammen med andre DNA-stykker, og det samlede DNA-stykke splejses ind i en modtagende plantecelles genom. Derefter bliver plantecellen ved hjælp af en hormonbehandling påvirket til at dele sig og lave en ny plante, og denne plante vil have den ønskede egenskab.



Figur 2-4
Gåsemad (*Arabidopsis thaliana*) bliver ofte benyttet til forsøg med gensplejsning. Gåsemad kaldes også for “den grønne bananflue”.

Foto: Anna Haldrup.

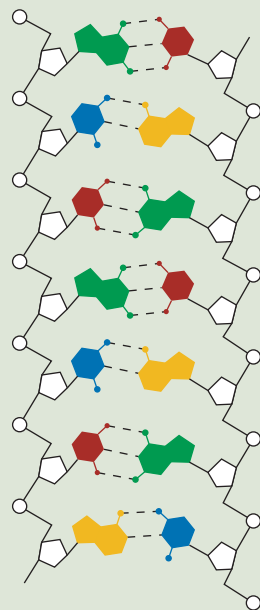
Boks 1

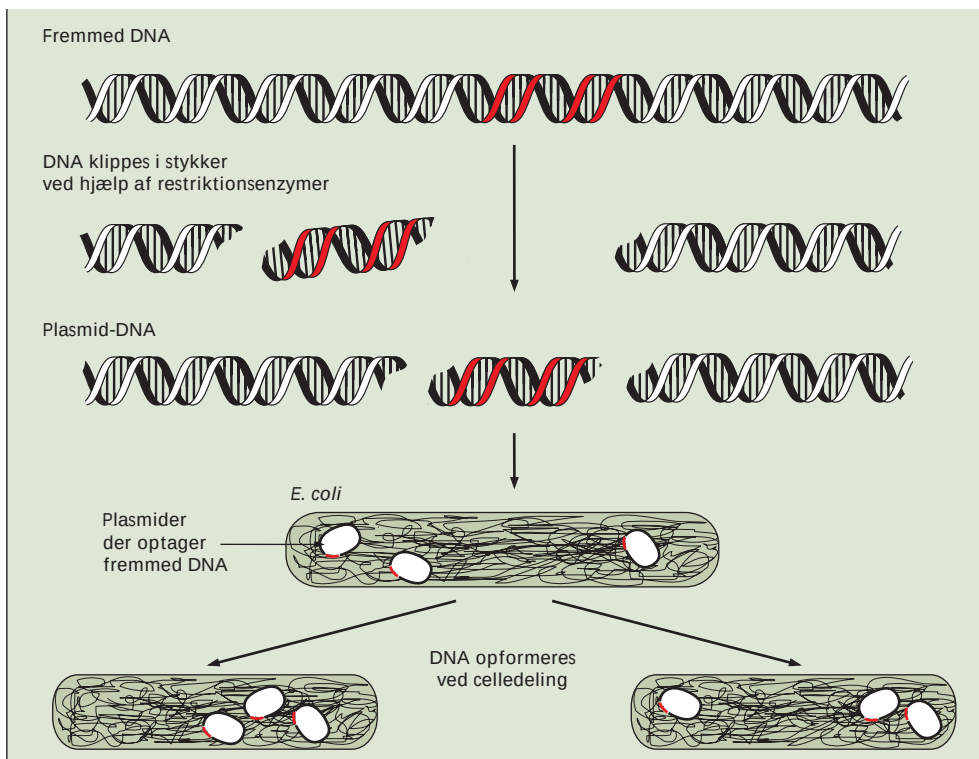
Gener

Et *gen* er et stykke DNA, som koder for et protein. Proteiner, fx enzymer og strukturproteiner, er opbygget af aminosyrer og er en aktiv bestanddel i alle livets processer. DNA er opbygget af mindre enheder kaldet nukleotider, hvoraf der findes fire forskellige. Disse nukleotiders rækkefølge hen langs det trådformede DNA-molekyle danner koden for protein på samme måde, som bogstavernes rækkefølge i skriften danner ord.

De enkelte gener sidder fysisk på række efter hinanden i store “garnnøgler” af DNA, som kaldes *kromosomer*. Kromosomerne, og dermed generne, befinder sig inde i cellernes kerne. Den samlede mængde af gener kaldes under ét organismens *genom*.

Når generne skal omsættes til proteiner, bliver det pågældende DNA-stykke kopieret til et såkaldt messenger-RNA-molekyle, der også består af nukleotider i en bestemt rækkefølge. Messenger-RNA kan i modsætning til DNA vandre ud i cellevæsen, hvor forskellige aminosyrer noget forenklet sagt sætter sig på det i en rækkefølge, der svarer til dets nukleotidrækkefølge. Herved bliver det muligt for aminosyrerne at binde sig til hinanden, og et proteinmolekyle er dannet. Når proteinet er dannet, siger man, at genet er blevet udtrykt.





Figur 2-5
Gensplejsning. DNA-stykket markeret med rødt bliver splejset ind i et plasmid og opformeret i bakterien *E. coli*.

I virkeligheden består gensplejsning af en række komplicerede tekniske processer, hvor der kræves stor erfaring og tålmodighed for at få det til at lykkes.

For at det skal være nemt at opbevare og kopiere de forskellige DNA-stykker, som man ønsker indsat i planten, indsættes DNA-stykket i små stykker DNA, der findes naturligt i mikroorganismer, plasmider. Når mikroorganismen formerer sig, formerer plasmidet med det indsatte DNA-stykke sig også. På den måde kan man nemt få den mængde DNA-stykker, man har brug for til den efterfølgende gensplejsning af planten (figur 2-5).

Forberedelser til gensplejsning

Som nævnt ovenfor er det normalt at lime flere gener sammen, før man splejser det samlede stykke DNA ind i planten. Typisk består sådan et DNA-stykke af de ønskede gener (transgener) med hver en promotor (se boks 2), som bestemmer, hvor og hvordan det enkelte gen skal udtryk-

Boks 2

Sådan regulerer cellerne deres gener

Foran et gen sidder den såkaldte promotorregion. Den indeholder information om, hvornår og i hvilke mængder cellen skal producere protein. Selve afkodningen af genet foregår ved, at nogle proteiner binder sig til promotorregionen. Bindingen af disse proteiner påvirker andre proteiner til at aflæse genet (dvs. kopiere det til messenger-RNA, se boks 1), og proteinet bliver dannet.

Genet bliver kun udtrykt, når bestemte betingelser er opfyldt, fx at andre gener er udtrykt, og sådanne reguleringsmekanismer giver næsten ubegrænsede muligheder for at regulere hvor, hvornår og hvordan et gen bliver udtrykt. Det giver naturen masser af eksempler på. På nuværende tidspunkt kender man kun en brøkdel af disse mange muligheder i detaljer, men der forskes intenst i disse år for at øge vores viden om, hvordan gener reguleres.

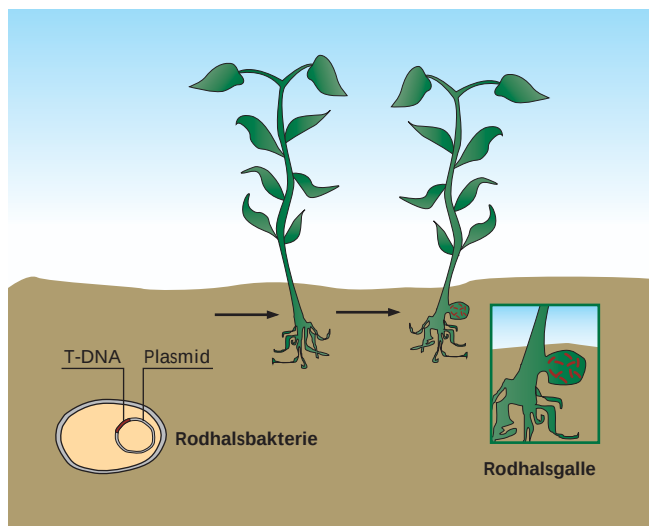
Allerede nu er det muligt at kontrollere, i hvilke plantedele bestemte gener skal udtrykkes og omtrent også i hvilke mængder og på hvilket tidspunkt. Fx er der i petunia indsat et gen, der farver kronbladene og kun kronbladene blå. Som et andet eksempel kan nævnes et gen, der producerer et stof, der virker giftigt på nematoder (rundorme), og som kun bliver udtrykt i planterødderne.

kes (se boks 1) i planten. Derudover indsættes op til flere selektionsgener og markørgener for at lette arbejdet med at finde de planteceller, som er blevet genmodificeret.

Et typisk *selektionsgen* kunne være et gen, som koder for herbicidtolerance, således at kun de planter, som er genmodificerede med det rigtige transgen, overlever en herbicidbehandling (de bliver udvalgt eller selekteret). Et eksempel på et almindeligt anvendt *markørgen* er GUS-genet, som farver celler kraftigt blå, hvilket gør det muligt at se genmodificerede celler under mikroskop.

Tidligere var det almindeligt at bruge selektionsgener, som koder for forskellige typer resistens mod antibiotika (fx kanamycin eller ampicillin). Disse gener blev brugt til at udvælge de organismer, som var resistente over for adskillige antibiotika, hvilket var tegn på, at den ønskede kombination af gener var blevet "limet" sammen. Det er imidlertid besværligt at pille sådanne selektionsgener ud igen, og de overføres derfor sammen med de andre gener

Figur 2-6
Gensplejsning i naturen. T-DNA'et fra rodhalsbakterien splejses ind i en plante, som danner en rodhalsgalle.



til den plante, man vil genmodificere. Resistensen over for antibiotika kan muligvis føres videre til bakterier, som kunne tænkes at gøre det sværere at bekæmpe infektions sygdomme hos mennesker og dyr.

Det er stadigvæk usikkert om der er nogen reel fare, men det nye EU-udsætningsdirektiv har for en sikkerheds skyld alligevel en bestemmelse om, at antibiotikaresistensgener, der kan have uønskede virkninger på menneskers sundhed og miljøet, skal være udfaset inden udgangen af 2008 i forsøgsudsætninger og inden udgangen af 2004 i nye markedsføringssager.

Indsætning af gener i planter

Det samlede DNA-stykke indsættes nu i en ikke-specialiseret (udifferentieret) plantecelle. Dette kan gøres på flere måder. Her vil vi kort nævne de to mest almindelige teknikker, nemlig brug af rodhalsbakterier og anvendelse af en partikelpistol.

Rodhalsbakterien (*Agrobacterium tumefaciens*) snylter på planter ved hjælp af "naturlig gensplejsning". Bakterien lever i jorden omkring planterødderne. Den har det føromtaltte lille stykke ekstra DNA (plasmid), som kan inficere planten gennem rødderne. Når plasmidet er kommet ind i en plantecelle, sørger det for, at et stykke af dets eget DNA splejses ind i plantens genom.

Det indsatte stykke DNA kaldes T-DNA og er ca. 20.000 nukleotider langt. De gener, som findes på T-DNA'et, bliver efter indsætningen udtrykt af planten. Bakterien har en særlig "interesse" i denne gensplejsning. Generne sørger nemlig for, at der dannes særlige knuder (rodhalsgaller) på plantens rødder, og disse knuder giver næring til bakterien.

Ligesom rodhalsbakterien kan vi mennesker udnytte plasmidet til at overføre forskellige gener til planteceller. Man isolerer plasmidet fra bakterien og limer de gener, man er interesseret i, sammen med T-DNA'et og fjerner samtidig de gener, som er ansvarlige for rodhalsgallerne. Metoden er meget anvendt, men er mindre effektiv på nogle af kornsorterne, fx hvede.

En metode, der tidligere blev meget anvendt på specielt enkimbladede planter (bl.a. kornsorterne), består i at skyde generne ind i planteceller ved hjælp af mikroskopiske guldpartikler. Dette gøres ved at dække overfladen af guldpartiklerne med kopier af det DNA-stykke, man ønsker indsat. Derefter skydes guldpartiklerne ind i plantecellerne med en såkaldt partikelpistol, og nogle få af partiklerne rammer på en sådan måde, at DNA-stykket indsættes i plantens genom.

Efter at plantecellerne har fået det ønskede gen indsat, tilsætter man plantehormonerne auxin og gibberellin, hvilket får klumpen af planteceller til at sætte rødder og begynde at vokse. Efter noget tid er plantecellerne blevet til en hel plante. Når planten er fuldt udviklet og sætter frø, er det muligt at undersøge, om det indsatte gen er nedarvet som forventet, og om gensplejsningen og opformeringen har haft uønskede virkninger på planten.

Eksempler på indsplejsningsegenskaber

I dag har vi ikke viden nok om genernes funktion til at indsætte egenskaber, som kontrolleres af mere end nogle få gener. Af sikkerhedsmæssige grunde er det også vigtigt, at man kun indsætter de gener, der udtrykker de ønskede egenskaber. Overflødige gener kan teoretisk set medføre nye, uventede egenskaber hos planten og dermed øge risikoen for miljø- og sundhedsskader. Specielt tidligere var dette et problem, men med indførelsen af mere præcise teknikker er det ikke længere så alvorligt.

Indtil nu har man kun indsat relativt få forskellige gener i landbrugsplanter. Herbicidtolerance (over for herbiciderne

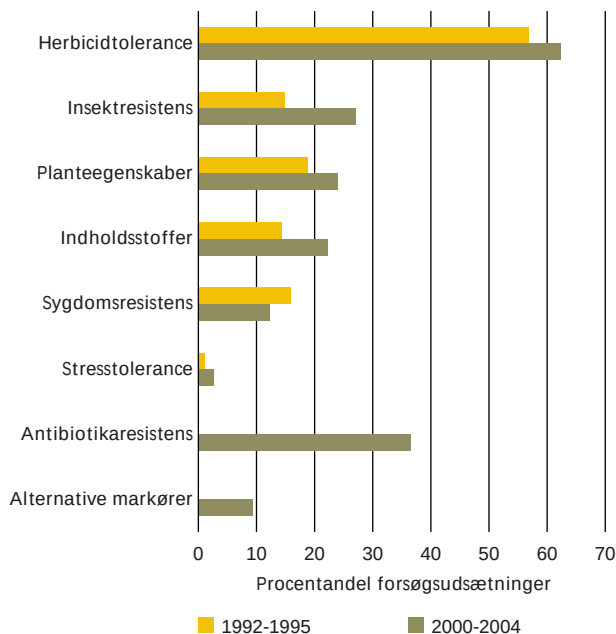


Figur 2-7

Partikelpistol til at "skyde" DNA ind i planteceller med. Plantematerialet befinder sig i plastikbakkerne nederst i apparatets åbne del, mens guldpartiklerne passerer ned gennem arrangementet øverst i den åbne del. I den øverste lukkede del skabes det tryk, man "skyder" med (registreres af manometeret øverst).

Foto: Solveig K. Christiansen.

Figur 2-8
Forsøgsudsætninger i EU
med genmodificerede
planter opdelt efter deres
transgene egenskab. Her-
bicidtolerance indgår som
indsat egenskab i mere end
halvdelen af forsøgene.
Mange genmodificerede
planter er herbicidtole-
rante og har samtidig en
anden transgen egenskab.
Anvendelsen af antibioti-
karesistens og alternative
markører er kun opgjort for
perioden 2000-2004.



glyphosat og glufosinat), insektresistens (Bt-toksiner) og virusresistens er de eneste egenskaber, som indtil videre har haft kommerciel succes i lande, som dyrker genmodificerede afgrøder i stor skala (dvs. USA, Canada, Argentina og Kina). Men der er ingen tvivl om, at væsentligt flere egenskaber vil blive anvendt i fremtiden.

Først og fremmest er det allerede aktuelt at anvende transgener som koder for ændringer af fx proteiner, stivelse og sukkerstoffer til biotek-produktion (se side 56) i landbrugsafgrøder. Der er også knyttet store forhåbninger til anvendelsen af stresstolerante, genmodificerede planter i tørkeramte eller saltpåvirkede områder. I nær fremtid forventes det også, at planter som producerer medicin vil blive dyrket kommercielt.

Spredning af gener

Mange genmodificerede afgrøder, fx majs, har ikke nære slægtninge i Danmark og kan derfor ikke formere sig med andre arter i naturen. De kan derfor kun spredes ved, at den genmodificerede plante selv eller planter fra samme art, som er krydset med en genmodificeret plante, er i stand til at invadere naturlige plantesamfund.

Dette er imidlertid svært for dem, for næsten alle afgrøder er enårige planter, og de vil ofte have svært ved at klare sig i konkurrencen med flerårige planter, der dominerer i uforstyrrede, naturlige plantesamfund. De vil derimod relativt let kunne invadere plantesamfund, som ofte bliver forstyrret, fx brakmarker, vejkanter, grusgrave og skrænter, hvor de naturligt hjemmehørende arter også er enårige.

Situationen er en helt anden, hvis den genmodificerede afgrøde har en nært beslægtet art i Danmark. Det gælder fx raps, som er nært beslægtet med agerkål. Modelberegninger viser, at gener, som er nyttige for den nært beslægtede art, kan spredes fra den genmodificerede plante til den nært beslægtede art, selvom hybriderne og de forskellige tilbagekrydsningsgenerationer til den nært beslægtede art ikke er særligt godt tilpasset vilkårene i naturen. Blandt andet vil et gen for resistens over for fx meldug relativt nemt kunne sprede sig til nært beslægtede arter, som dermed bliver resistente over for sygdommen.



Figur 2-9
Gener kan blive spredt til nabomarker eller vilde slægtninge ved hjælp af bestøvende insekter.

Foto: Rikke Bagger Jørgensen.

Figur 2-10
Rapsukrudt i en økologisk rugmark.

Foto: Rikke Bagger Jørgensen.





Herbicidtolerante afgrøder

Kapitlet handler om en af de vigtigste egenskaber, man kan splejse ind i afgrødeplanter: evnen til at tåle ukrudtsmidler. Denne evne gør det nemlig muligt at bekæmpe ukrudtet på helt nye måder – med både fordele og ulemper til følge.

Foto: CDanmark.

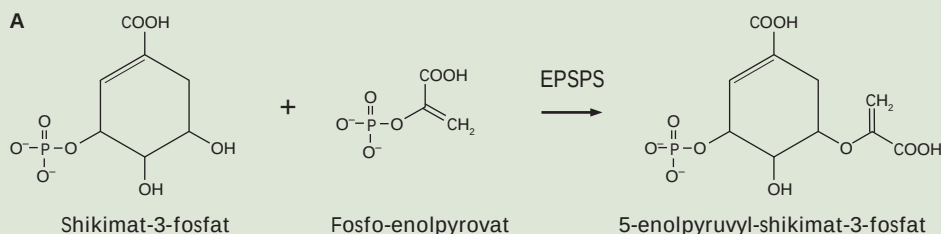
Langt hovedparten af de genmodificerede afgrøder, der dyrkes i dag, er tolerante over for enten glyphosat eller glufosinat-ammonium. Det betyder, at afgrøden kan tåle at blive sprøjtet med et af disse herbicider uden at dø. Tolerancen er opnået ved brug af gensplejsning, hvorved der er indsat gener, der inaktiverer herbicidet (se boks 3).

Boks 3

Glyphosats og glufosinat-ammoniums virkemåde

Glyphosat

Grønne planter kan, i modsætning til fx mennesker og andre pattedyr, selv danne de livsnødvendige aminosyrer fenylalanin, tyrosin og tryptofan. Det sker i en kemisk proces med mange led. I et af disse led (figur A) dannes stoffet 5-enolpyruvyl-shikimat-3-fosfat ud fra shikamat-3-fosfat og fosfo-enolpyruvat under indflydelse af enzymet EPSPS.

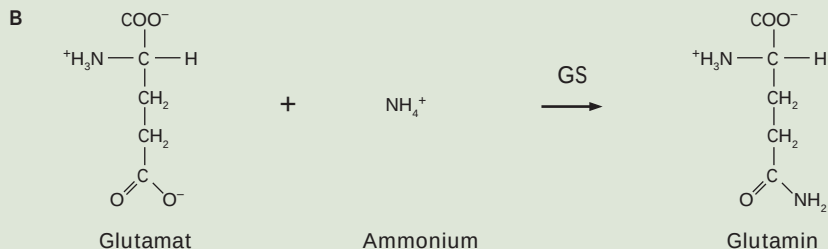


Enzymet bliver hæmmet af *glyphosat*, således at 5-enolpyruvyl-shikimat-3-fosfat og i sidste ende de pågældende aminosyrer ikke dannes – og planten dør.

En glyphosatolerant plante har fået indsat genet for et EPSPS-enzym, der ikke blokeres af glyphosat.

Glufosinat-ammonium

En anden livsnødvendig aminosyre, *glutamin*, dannes ud fra *glutamat* under indflydelse af enzymet GS (se figur B). Denne reaktion bliver hæmmet af glufosinat-ammonium, og sker det, vil planten ikke alene komme til at mangle aminosyren, den vil også blive forgiftet af det ammonium (NH_4^+), der så ophobes i plantevævet.



I glufosinat-ammonium-tolerante planter er der indsat et acetyltransferase-gen fra bakterien *Streptomyces viridochrogenes*, der inaktiverer glufosinat-ammonium.

Glyphosat og glufosinat-ammonium er de aktive stoffer i henholdsvis Roundup og Basta. De er såkaldte totalherbicider – dvs. de påvirker alle ukrudtsarter, og selvom effektiviteten afhænger af art, vækststadium og vækstform er den generelt høj. Landmanden kan derfor i princippet bekæmpe al ukrudt med ét middel, og gøre det hvornår han vil, uden at påvirke afgrøden væsentligt.

Fordele ved herbicidtolerante afgrøder

Landmanden kan ikke undgå at sprøjte sin mark med herbicider selvom han dyrker herbicidtolerante afgrøder, men hans sprøjtepraksis og de midler, han anvender, vil ændre sig.

Andre typer herbicider

Landmænd som dyrker konventionelle afgrøder anvender typisk en kombination af flere smalspektrede herbicider, dvs. sprøjtemidler som rammer udvalgte grupper af ukrudt. I modsætning hertil anvendes der udelukkende bredspektrede midler som glyphosat og glufosinat-ammonium til ukrudtsbekæmpelsen i herbicidtolerante genmodificerede afgrøder.

Færre sprøjtninger

Konventionelt dyrkede afgrøder sprøjtes normalt mange gange – fx sprøjtes roer 3-6 gange med herbicider. Genmodificerede afgrøder, som er tolerante over for glyphosat eller glufosinat, skal kun sprøjtes 1-2 gange.

Senere sprøjtetidspunkt

Konventionelle afgrøder sprøjtes altid mod ukrudt før eller kort tid efter, at afgrøden er spiret frem. Det gøres dels for at undgå skader på afgrøderne, dels for at få den bedst mulige bekæmpelse, idet de brugte herbicider kun er effektive over for ukrudtsplanterne, mens disse er små. På det tidspunkt ved landmanden endnu ikke med sikkerhed, hvilke ukrudtsarter der er tale om, og hvor mange af dem der vil komme, så sprøjtningen kan ikke indrettes særlig præcist efter ukrudtsproblemet.

Omvendt er det med herbicidtolerante afgrøder: Dem kan man vente med at sprøjte til ukrudtet er større, så man bedre kender problemets art og omfang. Grunden er, at man her kan anvende de bredspektrede midler, for dem tager afgrøden ikke skade af.

**Figur 3-1**

Øverst: Den vilde ukrudtsflora med kamille, kornblomst og korn-valmuer kan kun trives, hvis markranden ikke sprøjtes med herbicider.

Nederst: Forsøgsmark med foderroer. Til venstre i billedet ses den glyphosat-tolerante GM-foderroe, hvor der er ukrudt mellem rækkerne, fordi marken endnu ikke er sprøjtet. I de almindelige foderroer til højre i billedet er der sprøjtet med ukrudtsmidler.

Foto (øverst): Gösta Kjellsson.

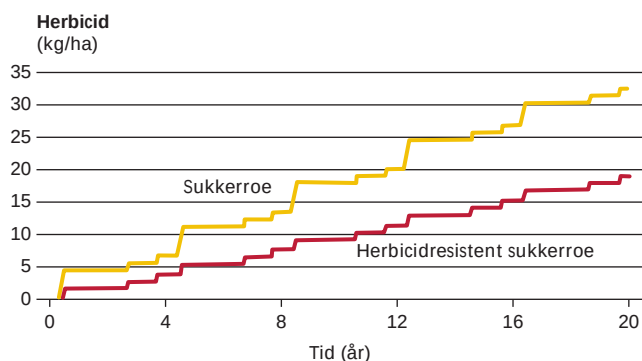
Foto (nederst): Beate Strandberg.

Større fleksibilitet

Med konventionelle afgrøder kan man få problemer med timingen – måske er det dårligt sprøjtevejr i den korte periode, hvor det er muligt at sprøjte sine afgrøder uden at det påvirker udbyttet negativt. Med herbicidtolerante afgrøder bliver den periode længere – igen fordi de midler, der kan bruges, er mere effektive – så i princippet kan landmanden bedre tilpasse sin sprøjtning til vejret.

Spørgsmålet er dog, i hvilken udstrækning landmanden vil gøre brug af denne fleksibilitet. Engelske forskere har undersøgt, hvordan landmanden valgte at sprøjte sine herbicidtolerante afgrøder. Resultaterne peger på, at sprøjteperioden i praksis bliver kortere med herbicidtolerante end med konventionelle afgrøder – hovedsageligt fordi man foretager den første sprøjtning senere. For mange landmænd er det i øvrigt lidt af en omvæltning at skulle acceptere ukrudt i marken. De er jo “opdraget med”, at ukrudt er lig med tab af udbytte.





Figur 3-2
Modelberegninger af det samlede herbicidforbrug for en 20-årig periode ved dyrkning af konventionel sukkerroe og GM-sukkerroe med tolerance over for herbicid. Sukkerroerne dyrkes i sædskifte med roer-byghvede-hvede.

Reduceret mængde aktivstof

Det er også muligt at mindske den mængde aktivt giftstof, der benyttes, ved dyrkning af nogle genmodificerede afgrøder, fx roer, mens man ikke forventer at kunne reducere den i andre, fx raps.

Det vil imidlertid kræve forsøg over mange år at undersøge disse forhold nærmere. Forskere ved Landbohøjskolen har derfor ved hjælp af matematiske modeller forsøgt at beregne forbruget af herbicider i sædskifter med henholdsvis genmodificerede sukkerroe og genmodificeret raps. Beregningen viste, at forbruget af herbicider i kg aktivt stof kan nedsættes i et sædskifte med roer-byghvede-hvede, hvis man dyrker roer der er tolerante over for glyphosat- og glufosinat-ammonium (se figur 3-2). Beregningen af forbruget i herbicidtolerant raps, der blev dyrket i et sædskifte med vintersorter af raps-hvede-hvede-byg, viste derimod ikke nogen nedsættelse.

I modellerne var det forudsat, at GM-afgrøder sprøjtes på samme tidspunkt som de konventionelle. Det er derfor vanskeligt at sige noget entydigt om fremtidens forbrug af herbicider ved dyrkning af genmodificerede afgrøder. Erfaringer fra USA, hvor man har dyrket herbicidtolerante, genmodificerede afgrøder i en årrække, viser at den nedgang i herbicidforbruget i forhold til konventionel dyrkning, der er set de første år efter introduktionen på markedet, ikke holder på længere sigt. Tværtimod er forbruget af herbicider i herbicidtolerant, genmodificeret majs, sojabønne og bomuld steget og er i dag højere end forbruget i tilsvarende konventionelt dyrkede afgrøder.

Mere miljøvenlige midler

Da udviklingen af herbicidtolerante afgrøder for alvor tog fart i midten af 1990'erne, var der stadig mange herbicider på markedet som kunne medføre væsentlige problemer af sundhedsmæssig og miljømæssig art. Mange af disse midler, fx de hormonlignende stoffer, er i dag forbudt i Danmark, men på verdensplan anvendes de stadig i en række lande, bl.a. udviklingslandene.

Sammenlignet med disse herbicider anses glyphosat og glufosinat-ammonium for relativt miljøvenlige. Funnene af glyphosat og nedbrydningsproduktet AMPA i grundvandsprøver (se nedenfor) har dog i nogen grad sat spørgsmålstegn ved dette.

Miljømæssige problemer

Anvendelsen af genmodificerede afgrøder kræver grundige undersøgelser af de mulige miljømæssige virkninger. Efter revisionen af EU-direktivet om godkendelse til markedsføring af genmodificerede planter i 2001 (2001/18/EF) skal man nu også vurdere planten i sammenhæng med dyrkningspraksis – det vil bl.a. sige herbicidanvendelsen. Da det er sådan, at evt. miljømæssige problemer ved herbicidtolerante afgrøder netop knytter sig til den ændrede anvendelse af herbicider, er revisionen en væsentlig forbedring i relation til vurderingen af herbicidtolerante planter.

Uønsket spredning

Dyrkning af herbicidtolerante afgrøder kan medføre dyrkningsmæssige problemer, hvis der er spildfrø, fx af raps, tilbage i marken. Også spredning af tolerancegenet til beslægtede arter, der vokser i markkanter, kan være et problem. Det kan nemlig give disse planter en fordel her, hvis vinden fører sprøjtemidlet fra marken ind over markkanten. Tilsvarende problemer kan opstå, hvis tolerancegenet overføres til beslægtede ukrudtsarter. Så vil det ikke længere være muligt at bekæmpe disse arter med det pågældende herbicid, og landmanden må enten bruge herbicider med andre virkemåder eller mekanisk bekæmpelse.

Tolerancegenet kan også sprede sig til andre afgrøder (se afsnittet om pollenspredning og sikkerhedsafstande side 64). Endelig er der den mulighed, at genet spreder sig til beslægtede vildtvoksende arter i naturlige miljøer. Det er

primært et etisk og politisk spørgsmål, om dette er acceptabelt. I naturlige miljøer som ikke er påvirkede af herbicider vil planter med tolerancegenet nemlig ikke opnå nogen fordel frem for planter, der ikke har genet. Dermed vil der ikke være nogen reel virkning som følge af genet.

Herbicider i grundvandet

Grundvandet er en vigtig ressource, som det er nødvendigt at beskytte bedst muligt. Undersøgelser har imidlertid vist, at en del herbicider eller deres nedbrydningsprodukter forekommer i grundvandet. Enkelte af dem, bl.a. glyphosat og nedbrydningsproduktet AMPA, er som nævnt fundet og det endda i koncentrationer, der overstiger den tilladte grænseværdi på 0,1 µg pr. liter (tabel 3-1).

Udvaskning af glyphosat fra jorden til grundvandet afhænger bl.a. af jordens indhold af lerpartikler og uorga-

Tabel 3-1

Udvaskning af de otte mest solgte herbicider og deres nedbrydningsprodukter til grundvandet.
Data er hentet fra Bekæmpelsesmiddelstatistik 2002 udgivet af Miljøstyrelsen, og Rapport fra Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand, udgivet af GEUS.

Aktivt stof eller nedbrydningsprodukt	Solgt mængde aktivstof i 2002 (% af det samlede herbicidsalg)	Maksimal udvaskning til grundvandet ¹ (µg pr. l)	Antal lokaliteter ud af seks (i parentes angives antallet af prøver, hvori herbicidet er fundet)
Glyphosat	929 tons (44 %)	5,11	4 (134)
AMPA ²		5,4	5 (170)
Prosulfocarb	410 tons (20 %)	?	?
Pendimethalin	99 tons (4,7 %)	0,04	2 (5)
Metamitron	96 tons (4,6 %)	1,7	2 (101)
Metamitron-desamino		2,5	2 (98)
Bentazon	ca. 50 tons (2,4 %)	0,73	2 (59)
Bromoxynil	ca. 50 tons (2,4 %)	0,6	2 (4)
Ioxynil	ca. 50 tons (2,4 %)	0,25	3 (25)
Terbuthylazin	ca. 50 tons (2,4 %)	0	
Desethylterbuthylazin		0,06	1 (13)

¹Den grønne tone angiver, at den gennemsnitlige koncentration på en eller flere lokaliteter overstiger grænseværdien, der for disse stoffer er på 0,1 µg pr. l.

²Nedbrydningsproduktet AMPA (aminomethylphosphonsyre) stammer ikke nødvendigvis fra nedbrydning af glyphosat, men dannes også ved nedbrydning af phosphonsyreholdige vaske- og rengøringsmidler.

**Figur 3-3**

Plante- og dyrelivet i marken påvirkes af hvilke ukrudtsmidler, der anvendes, og hvornår der sprøjtes. Her er en biolog i gang med indsamling af insektprøver i glyphosat-tolerante foderroer.

Foto: Beate Strandberg.

nisk fosfor. Generelt hører glyphosat til blandt de mindst udvaskelige herbicider, og fundet af det og AMPA i prøver fra grundvandet har derfor vakt stor opsigt og behov for bedre kendskab til udvaskningen.

Glyphosat er langt det hyppigst anvendte herbicid i Danmark. Det benyttes i dag primært til rensning af marker forud for tilsåning med en ny afgrøde – altså uden for selve vækstsæsonen. Udvasningen må forventes at blive anderledes, hvis glyphosat anvendes til bekæmpelse af ukrudt i herbicidtolerante afgrøder. Man bør derfor undersøge risikoen for udvaskning som følge af den ændrede anvendelse, før man begynder at dyrke herbicidtolerante afgrøder.

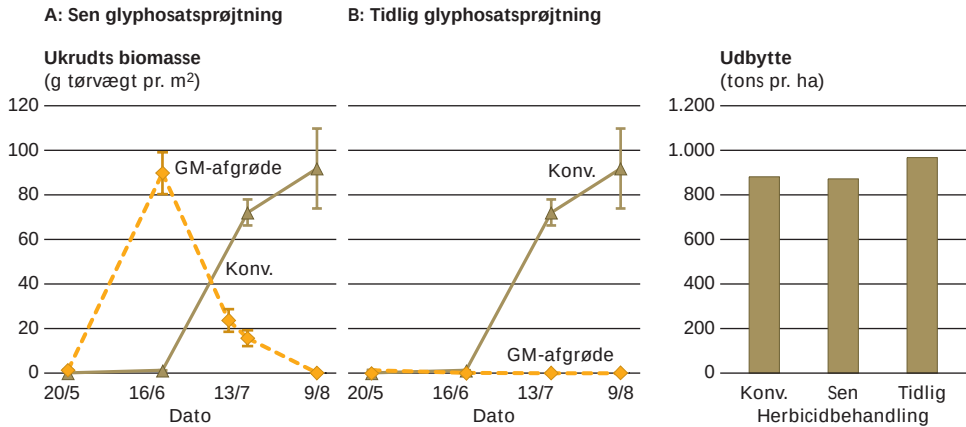
De vilde dyr og planter

Flere undersøgelser af herbicidtolerante afgrøder har vist, at ændringen i de anvendte herbicider og sprøjtepraksis har betydning for plante- og dyrelivet i marken. Det gælder såvel danske som de meget omfattende britiske Farm Scale Evaluations (FSE), der er de hidtil største undersøgelser af påvirkningen af plante- og dyrelivet ved dyrkning af genmodificerede afgrøder.

Der findes en lang række vilde planter og dyr i og omkring markerne. Som eksempel kan nævnes ukrudtsplanter, planter i markkanter, insekter, fugle og pattedyr. Den måde, man driver landbrug på, er afgørende for hvor mange og hvilke planter og dyr der findes. De sidste 30-40 års intensive landbrug har betydet, at både antallet af levesteder og antallet af vilde planter og dyr er gået kraftigt tilbage. Det er derfor meget vigtigt at undersøge, om dyrkningen af herbicidtolerante afgrøder vil forringe forholdene for de vilde planter og dyr yderligere. Både danske og britiske forskere har undersøgt glyphosat-tolerante sukker- og foderroer, og de britiske undersøgelser omfattede endvidere glufosinat-tolerant vårraps og majs.

Overordnet viste undersøgelserne, at man ikke kan generalisere hhv. genmodificerede og konventionelle afgrøders virkning på plante- og dyrelivet. Når man skal vurdere risikoen, bliver man altså nødt til at vurdere hver enkelt sag for sig.

Forskerne fandt, at forskellene i naturindholdet – dvs. mængden af ukrudt, ukrudtsfrø og mindre dyr (fx insekter, edderkopper og snegle) – var større mellem forskellige afgrøder indbyrdes end mellem en given genmodificeret



Figur 3-4

Ukrudtsfloraen på marken påvirkes af de ukrudtsmidler, der anvendes, og af sprøjetidspunktet. Figurene til venstre viser udviklingen i ukrudtets biomasse gennem sommeren ved dyrkning af konventionelle og glyphosattolerante foderroer. A og B beskriver resultaterne af to forskellige strategier for glyphosatsprøjtningen. A: landmanden sprøjter så sent som muligt med glyphosat (ca. 45 dage senere end konventionel sprøjtning). B: landmanden sprøjter med glyphosat ca. 14 dage senere end med konventionelle herbicider. Til højre i figuren ses foderroeudbyttet for de tre situationer: konventionel afgrøde, GM-afgrøde med tidlig sprøjtning og GM-afgrøde med sen sprøjtning.

afgrøde og den tilsvarende konventionelle afgrøde. Afgrødens art betyder med andre ord mere for de vilde dyr og planter end om afgrøden er konventionel eller tolerant over for herbicider.

De britiske undersøgelser viste også, at det var forskellen i herbicidtype og sprøjtepraksis, der havde betydning for plante- og dyrelivet, og ikke om sorten var forædlet med eller uden brug af gensplejsning. Før ukrudtsbehandlingen var der mere ukrudt og flere dyr i genmodificerede afgrøder end i de konventionelle, mens det efter endt sprøjtning forholdt sig omvendt – bortset fra i majs, hvor der fortsat var mere ukrudt og flere insekter i den genmodificerede afgrøde. Den primære årsag til dette var, at der ved konventionel majsdyrkning i Storbritannien anvendes det meget effektive herbicid atrazin, som er forbudt i Danmark.

Tidspunktet for første ukrudtsbehandling er også afgørende for påvirkningen af plante- og dyrelivet (se figur 3-4). Ukrudtet når kun at blive stort nok til at være til gavn for insekter og andet dyreliv, fx fugleunger, hvis landmanden

venter meget længe med første sprøjtning (scenario A). Men når der er tale om herbicidtolerante planter kan landmanden faktisk vente meget længe med at sprøjte uden at miste udbytte, fordi glyphosat også er effektivt over for store ukrudtsplanter. Hvis landmanden derimod sprøjter tidligt (dvs. ca. 14 dage senere end i den konventionelle afgrøde), vil han selv med en meget lav dosering kunne holde marken fri for ukrudt gennem hele sæsonen (scenario B) – til gavn for grundvandet, men selvsagt ikke for plante- og dyreliv. Med den samme genmodificerede afgrøde kan man altså opnå vidt forskellige resultater for plante- og dyrelivet.

De britiske undersøgelser, hvor landmanden selv valgte sprøjtetidspunkt, antyder at landmanden ofte vil vælge at sprøjte forholdsvis tidligt på sæsonen. Landmanden skal altså have en særlig tilskyndelse, hvis formålet er at få ham til at sprøjte så sent som det er nødvendigt for at opnå en gavnlig virkning på plante- og dyrelivet i marken.

Alle undersøgelser viste, at mængden af ukrudtsfrø i genmodificerede afgrøder falder markant uanset sprøjtetidspunktet.

Mindre omfattende jordbehandling er en mulighed i forbindelse med dyrkning af visse herbicidtolerante afgrøder, og det anvendes i stigende grad i Canada og USA, bl.a. ved dyrkning af sojabønner, majs og bomuld. Mindre

Figur 3-5
Ved sen herbicidsprøjtning i en GM-afgrøde kan man risikere at ændre floraen i mark- og grøftekanter.

Foto: CDanmark.



Boks 4

Fremtidens ukrudtsbekæmpelse?

Fremtidens ukrudtsbekæmpelse sker sandsynligvis ikke med herbicidtolerante afgrøder og sprøjtemidler, men derimod med *allelopatiske stoffer*. Det er plantegifte, der udskilles fra levende eller døde plantedele, og som har en negativ virkning på andre plantearter i omgivelserne.

Mange plantearter producerer sådanne giftstoffer. Et af de bedst kendte eksempler er stoffet juglone, der er et vandopløseligt fenolisk pigment, som produceres af valnøddetræet (*Juglans sp.*). Giftstoffet udskilles dels fra trærødder dels fra nedfaldne blade og hæmmer spiring af en lang række plantearter selv ved meget lave koncentrationer. Blandt afgrødearterne kendes allelopatiske stoffer fra byg.

Der foregår i dag en intensiv forskning inden for udnyttelsen af allelopatiske stoffer til ukrudtsbekæmpelse. Mange laboratorier er involveret i isolering af stofferne og lokalisering af de gener, der er ansvarlige for produktionen. Ved hjælp af gensplejsning kan disse gener blive indsat i afgrødeplanterne, så de bliver i stand til selv at bekæmpe ukrudtet.

Genmodificerede planter med indsat allelopatisk virkning vil umiddelbart medføre miljøforbedringer, da kemisk ukrudtbekæmpelse kan begrænses eller helt undgås, hvis plantegiften rammer alle afgrødens betydningsfulde ukrudsarter. Spredningen af planter med allelopatiske egenskaber til naturen kan imidlertid – i modsætning til herbicidtolerante planter – forventes at medføre store problemer her, navnlig hvis plantegiften virker over for mange arter.

**Valnødder.**

Foto: Kathe Møgelvang.

omfattende jordbehandling begrænser vind- og vanderosion, det er generelt gavnligt for dyrene i jordbunden, og det mindsker mængden af ukrudtsfrø og dermed mængden af ukrudt i marken. Mindre ukrudt og ukrudtsfrø er dog ikke ubetinget nogen fordel ud fra en miljømæssig betragtning, da ukrudt og ukrudtsfrø er vigtigt for plante- og dyrelivet i agerlandet.

Det er vanskeligt at forudsige, hvilke virkninger en mere udbredt dyrkning af herbicidtolerante genmodificerede afgrøder vil have på naturindholdet på længere sigt. Dette afhænger af flere faktorer, fx hvor udbredt dyrkningen bliver, hvordan den er fordelt i landskabet, hvilke sædskifter afgrøden indgår i, og om dyrkningen kombineres med mindre jordbehandling.



Skadedyrsresistente afgrøder



Ved hjælp af gensplejsning kan man gøre afgrødeplanter resistente over for skadedyr, så man ikke behøver at bekæmpe dem med sprøjtegifte mere. Denne ønskedrøm beskrives i dette kapitel, hvor også drømmens bagside præsenteres: påvirkning af ikke-målorganismer og forrykkelse af naturens balance.

Foto: Inger Møller.

Figur 4-1

Til venstre: Elektronmikroskopbillede af bakterien *Bacillus thuringiensis*. Øverst i bakterien ses det protein-krystal (ved pilen), der er giftigt for en række planteædende insekter. Til højre: Genetisk modificerede rapsplanter der indgik i forsøg i væksthus.

Foto: P. H. Damgaard (tv.) og Trine G. Sørensen (th.).



Skadedyr og plantesygdomme kan beskadige afgrøder i en sådan grad, at landmanden lider økonomiske tab. Det drejer sig blandt andet om sygdomsfremkaldende svampe som meldug og rust, om plantevirus og om planteædende insekter som bladlus, sommerfuglelarver og biller.

Grænsen for, hvornår skader er uacceptable, afhænger af afgrøden og hvad den skal anvendes til. Synlige skader vil fx normalt ikke være acceptable i konventionelt dyrkede grøntsager og frugter, der er beregnet til menneskeføde. I planter beregnet til dyrefoder er den slags skader derimod uden betydning.

Der findes en række måder at mindske omfanget af skaderne på. For det første kan man ved hjælp af traditionel forædling udvikle afgrøder, der er resistente over for plantesygdomme. Fx var de bygsorter, der blev brugt i 2004, typisk resistente over for bestemte typer af meldug. For det andet kan man tilrettelægge dyrkningen med sædskifte og randafgrøder, så angreb fra skadedyr mindskes. Disse tiltag er dog ofte utilstrækkelige, og landbruget må derfor ty til sprøjtemidler. For det tredje kan man ved hjælp af gensplejsning udvikle resistente sorter. Det er først og fremmest resistens mod insekter der er udviklet ved hjælp af gensplejsning, så resten af kapitlet vil især fokusere på denne indsatte egenskab.



Sprøjtning kontra gensplejsning

Uønskede sprøjtemiddelvirkninger

Sprøjtemidlerne er generelt effektive over for skadedyr og plantesygdomme, men de vil i mange tilfælde også påvirke organismer, det ikke var hensigten at ramme (de såkaldte ikke-målorganismer). Disse organismer omfatter fx insekter, der æder ukrudtsplanter, rovinsekter, der æder skadedyr, og de svampe, insekter og orme, som nedbryder dødt plantevæv på marken og i jorden.

Hvis sprøjtemidlerne føres ud af marken med vinden, kan de også ramme en række ikke-målorganismer, som forekommer i umiddelbar nærhed af det dyrkede areal. Landmanden kan begrænse denne uønskede virkning ved forskellige dyrkningsmæssige tiltag.

En anden uønsket følgevirkning kan opstå, hvis sprøjtemidler fordampes og eventuelt ender i regnvandet, eller hvis de siver ned til grundvandet og dermed forurener vores drikkevand. Forekomsten af sprøjtemidler i drikkevandet kan potentielt udgøre et sundhedsproblem, og i de senere år har det været nødvendigt at lukke en række drikkevandsboringer, fordi indholdet af sprøjtemiddelrester var højere end den vedtagne grænseværdi (se tabel 3-1).

Fordele ved genmodificerede planter

Genmodificerede planter, der er gjort resistente over for planteædende insekter eller sygdomsfremkaldende svampe, virker på mange måder som et godt alternativ eller supplement til brugen af sprøjtemidler.

Ved brug af genmodificerede afgrøder bliver der fx ikke transporteret kemiske stoffer til omkringliggende arealer eller til grundvandet. Endvidere bekæmpes skadedyr og plantesygdomme gennem hele plantens vækstsæson i modsætning til hvis landmanden anvender sprøjtemidler, som kun virker i en begrænset periode på grund af biologisk og fysisk nedbrydning af de virksomme stoffer. Denne fordel bliver bl.a. tydelig, hvis hovedparten af skadedyrets livscyklus foregår inde i planten. I så fald kan det nemlig være nødvendigt at sprøjte flere gange for at ramme en tilstrækkelig stor del af skadedyrene. Insektresistente planter er derimod automatisk beskyttet gennem hele vækstsæsonen.



Figur 4-2
Sprøjtemidler er i dag et vigtigt våben mod skadedyr og plantesygdomme i afgrøderne.

Foto: Cdanmark.

En reduktion i brugen af sprøjtemidler og en effektiv kontrol af skadedyrene afhænger dog af, at insekterne ikke udvikler resistens, således at planterne igen bliver angrebet af insekterne, og af at andre planteædende insekter ikke ændrer skadestatus, således at der skal sprøjtes alligevel (se nedenfor).

Insekterne kan udvikle resistens

Også skadedyrene kan udvikle resistens – både over for sprøjtemidler og over for de resistente planters giftstoffer. Insekter udvikler fx i stor udstrækning resistens over for sprøjtemidler, hvis de samme midler bliver brugt igen og igen i det samme område. Der er mere end 500 registrerede eksempler på insekter, der har udviklet resistens mod forskellige kemiske insektmidler. For genmodificerede skadedyrresistente planters vedkommende vil det gælde, at giftstoffet er til stede gennem hele sæsonen. Derfor er der en chance for, at insekterne udvikler resistens over for det.

Der har været stor bevågenhed over for udvikling af denne type “mod-resistens” lige fra de første genmodificerede insektresistente planter blev markedsført i USA, men her syv år efter markedsføringen af Bt-planter (se side 44) i USA er der ikke registreret nogen udvikling af resistens.

Insekterne kan ændre skadestatus

Brugen af genmodificerede, insektresistente planter kan både få betydning for, hvilke insekter der gør mest skade på en afgrøde, og på hvor meget planteavleren sprøjter. De insekter, som med den nuværende brug af insektmidler opfattes som mindre skadegørere, vil muligvis ændre status og blive de største skadegørere, når de ikke længere påvirkes af sprøjtning. Et insekt kan på den måde blive en alvorlig skadegører under den ændrede dyrkningsform, selvom det ikke tidligere har været et problem for avleren.

Det kan derfor blive nødvendigt at sprøjte mod sådanne nye skadegørere. En opgørelse af forbruget af sprøjtemiddel i USA efter indførelse af insektresistente planter viser, at det primært er faldet i bomuld. Baggrunden er sandsynligvis, at de primære skadedyr på bomuld gennemfører hovedparten af deres livscyklus inde i planten, hvor sprøjtemidlerne ikke kan nå dem. Tidligere var det derfor nødvendigt at sprøjte mange gange i samme mark for at

Figur 4-3

Rapsstængel skåret over på langs og på tværs. Den har huset larver af bladribbe-snudebille.

Foto: Christian Kjær.



holde mængden af skadelige insekter nede (op til 15 gange på en sæson). Den resistente bomuldsplante kan derimod bekæmpe insektet uanset om det befinder sig på eller inde i planten. Der er derimod ikke sket noget fald i sprøjtemiddelforbruget i de marker, hvor der blev dyrket resistente majsplanter. Det kan skyldes at der nu sprøjtes mod andre skadegørere end tidligere.

Resistens

Planter er ikke lige modstandsdygtige over for angribende organismer. Fx bliver Neem-træet, der vokser i Indien, kun angrebet af ganske få planteædende insekter, mens egetræet angribes af op til 300 forskellig insekter i hele sit udbredelsesområde.

I nogle tilfælde skyldes planternes modstandsdygtighed eller resistens, at de er udstyret med behåring eller en anden overfladebeskyttelse, der holder skadedyrene væk. I andre tilfælde skyldes resistensen, at planten producerer nogle bestemte stoffer, som virker afskrækkende eller er giftige for angriberne.

Gensplejset skadedyrresistens

Forskere arbejder i disse år på at indsætte gener, der øger produktionen af de ovenfor nævnte kemiske stoffer, som er virksomme over for skadedyr og sygdomme. Forskere ved Landbohøjskolen har fx indsat tre gener, der samlet koder

Boks 5

Sekundære indholdsstoffer

Stoffer som dhurrin kaldes også sekundære plantestoffer og indgår ikke direkte i plantens primære stofskifte. Forskerne regner med, at de sekundære plantestoffer primært er udviklet som forsvar mod indtrængende organismer.

Stofferne virker på mange forskellige måder. Nogle hæmmer fx de enzymer i fordøjelsessystemet, som er ansvarlige for nedbrydning af proteiner til aminosyrer (proteinasehæmmere). Hvis planter indeholder høje koncentrationer af disse stoffer, kan planteædende organismer komme til at mangle nødvendige aminosyrer.

Proteinasehæmmere er bl.a. blevet brugt til at gøre afgrødeplanter resistente over for planteædende insekter og rodne-matoder. I et tilfælde blev majs resistent over for en bladbille, hvis larver æder rødderne, og i et andet tilfælde blev kartoffel resistent over for rodne-matoder.



Bladbiller.

Foto: Christian Kjær.

for dannelsen af stoffet dhurrin, som er et sekundært indholdsstof i nogle planter (se boks 5). Generne blev indsat i den lille kålplante, gåsemad, som blev giftig for en blad-bille (gulstribet jordloppe), der normalt æder kålplanter.

Planter, som er i stand til at danne de såkaldte Bt-toksiner, er på nuværende tidspunkt det mest succesrige eksempel på fremstilling af resistens mod insektangreb ved hjælp af gensplejsning. Bt-toksiner har i øvrigt længe været anvendt som sprøjtemiddel i USA og Canada, men er kun i ringe grad brugt i Europa.

Landmænd i USA, Argentina, Canada og Kina anvender på nuværende tidspunkt primært to afgrøder, der har fået indsat et gen, som koder for dannelsen af Bt-toksiner: majs og bomuld. Ifølge "Den internationale organisation for tilegnelse af viden om landbrugsmæssig anvendelse af bioteknologi" (ISAAA) dækkede disse afgrøder i 2003 et areal på 18 millioner hektar. Den genetisk modificerede majs er godkendt til dyrkning i EU.

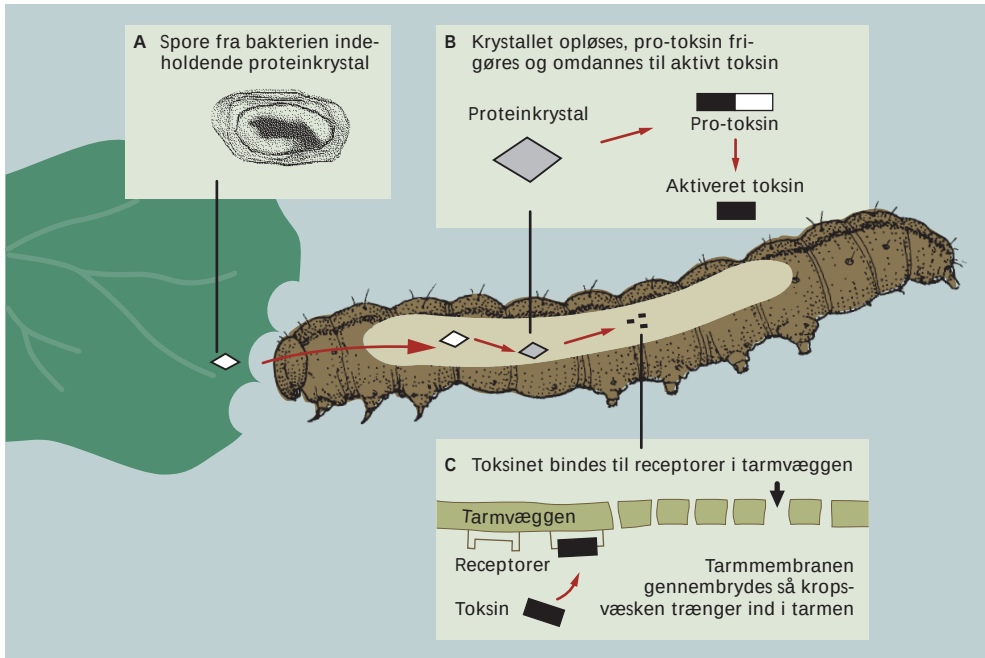
Bt-toksiner er proteinkrystaller, der under naturlige forhold produceres af bakterien *Bacillus thuringiensis* i forbindelse med sporedannelse. Toksinet findes i flere udgaver afhængigt af, hvilken stamme af bakterier der producerer dem. De forskellige kendte toksiner er specifikt giftige over for organismer som nematoder, myggelarver, sommerfuglelarver eller biller.

De gener, som koder for dannelsen af krystalproteiner af typerne Cry1 og Cry3, har været de mest benyttede til indsættelse i planter. Cry1-proteinerne er giftige for som-

Tabel 4-1

Egenskaber ved henholdsvis Bt-planter og Bt-toksiner som sprøjtemiddel.

	Bt-planter	Bt-toksiner som sprøjtemiddel
Bt-toksinet	Normalt et enkelt toksin, der forekommer i en aktiveret udgave. Har derfor en højere giftighed over for målorganismen.	Flere forskellige toksiner til stede på samme tid. Herved må man forvente giftighed over for flere arter.
Effektivitet	Til stede i planten i hele vækstperioden.	Kun effektivt på det tidspunkt hvor det bliver sprøjtet ud. Der finder en bakteriel nedbrydning sted i miljøet.
Direkte effekt	Påvirker kun de organismer, der æder af planten.	Kan potentielt påvirke andre arter end dem der lever af planten.



merfugle, og Cry3-proteinerne er giftige for biller. Toksinet sætter sig på tarmens inderside hos de insekter, der ikke kan tåle det. Her bevirker det, at der dannes åbninger i tarmvæggen. Når tarmvæggen ødelægges, er insektet ikke længere i stand til at optage føde, og der er ikke længere en effektiv barriere mellem skadelige tarmbakterier og blodbanen/kropshulen. Til slut vil insektet dø – enten af fødemangel eller af for stor forekomst af skadelige tarmbakterier i blodbanen / kropshulen.

Økologiske problemer

Som nævnt ovenfor er der en række mulige fordele ved at bruge de genmodificerede afgrøder, men der er også mulige ulemper. Problemerne ved insektresistente planter knytter sig specielt til to forhold:

- 1) De genmodificerede planter kan påvirke ikke-målorganismer.
- 2) De genetisk modificerede planter kan blive mere konkurrencedygtige end de naturligt forekommende plantearter og invadere naturlige plantesamfund.

Figur 4-4

Skematisk fremstilling af *Bacillus thuringiensis*' virkemåde over for insekter, der er følsomme over for proteinkrystallet. Sporer fra bakterien indeholdende proteinkrystallet optages i larvens tarm, hvor de opløses og omdannes til et pro-toksin. Pro-toksinet deles i to dele. Den ene del (aktiveret toksin) udgør det toksin, der binder sig til tarmen og ultimativt dræber larven. Den anden del har ikke mere med historien at gøre.

Figur 4-5

En enkelt undersøgelse har vist, at tilplantning med Bt-majs resulterede i færre springhaler i marken.

Foto: Paul Henning Krogh.



Virkning over for ikke-målorganismer

Undersøgelser af Bt-planter viser, at brugen af resistente afgrøder i nogle tilfælde kan påvirke organismer, det ikke var meningen at ramme. Problemet afhænger bl.a. af, hvordan planten er gjort resistent over for skadedyrene, og hvordan resistensegenskaben bliver udtrykt i forskellige dele af planten.

Hvis planten indeholder et stof, der er giftigt for skadedyret, vil det muligvis påvirke andre arter, der kommer i kontakt med planten, fx organismer der lever i jorden. Man har fx observeret, at Bt-toksin siver ud af rødderne på Bt-planterne.

Døde planterester nedbrydes i jorden af regnorme, springhaler, mider, rundorme (nematoder), encellede dyr (protozoer), svampe og bakterier. Disse organismer er vigtige for omsætningen af dødt organisk materiale og hermed for jordens frugtbarhed. Hvis planterester af de toksinholdige afgrøder pløjes ned i jorden, er der en risiko for, at toksinerne en tid vil være aktive og påvirke nogle af jordbundens organismer negativt.

I de undersøgelser, der indtil videre er gennemført med Bt-toksin i jord, er der fundet negative virkninger på springhaler, men ikke vist nogen negative påvirkninger af de øvrige jordbundsorganismer.



Figur 4-6

Agerhønen er en af de arter, der gennem fødekæden utilsigtet kan påvirkes ved dyrkning af genetisk modificerede planter.

Foto: Erhard Ecklon.

Pollen fra fx Bt-majs kan blive transporteret ud af marken med vinden og lande på andre planter (pollendrift). Hvis toksingenet bliver udtrykt i plantens pollen, kan det få negativ indflydelse på de insekter, der lever af disse andre planter. Omfanget af denne toksiske virkning vil afhænge af den genmodificerede plantes produktion af pollen, blomstringsperioden, forekomst af værtsplanter i nærheden af de dyrkede marker og vejrforholdene.

Forskere har undersøgt om den amerikanske sommerfugl, monark, påvirkes af pollendrift fra genmodificerede majsmarker til de omgivende arealer. I 1999 viste resultaterne af en undersøgelse, at pollen fra Bt-majs var giftigt for monarksommerfuglen. Dette blev startskuddet til nye undersøgelser til brug for en egentlig risikovurdering. Formålet med undersøgelserne var bl.a. at få svar på:

- 1) Hvor meget pollen, der skulle til for at få en giftvirkning.
- 2) Om forekomsten af monarksommerfuglens larve overlapper udbredelsen af majs pollen.
- 3) Hvor der dyrkes Bt-majs.
- 4) Hvor monarksommerfuglelarvens naturlige fødeplante (silkeplante) forekommer.
- 5) Hvor meget pollen, der forekommer på silkeplantens blade.
- 6) Hvor larven æder.

Samlet gav disse undersøgelser mulighed for at vurdere, i hvor stort omfang sommerfuglen møder pollen fra Bt-majs, og hvordan det vil påvirke bestanden af sommerfugle. Konklusionen var, at Bt-pollen ikke udgør en fare for monarksommerfuglen.

Hvis toksingenet bliver udtrykt i blade og frø fra planten, kan der også være virkninger på større planteædere som sanglærker, agerhøns og andre af agerlandets fugle samt på pattedyr som harer og rådyr, der æder af planterne eller deres frø. Virkningen afhænger af, hvordan planterne har opnået resistens over for insekterne.

Nogle af de resistensmekanismer, forskerne arbejder på at indsætte i planter, kan være effektive over for en række organismer. Større indhold af proteinasehæmmere (se boks 5) og andre sekundære plantestoffer er eksempler på resistensmekanismer, der kan ramme bredt. Disse stoffer kan utilsigtet ramme arter som rådyr, hare, lærke og agerhøne, der lejlighedsvis æder af afgrøderne.

Ændring af afgrødeplantens konkurrencedygtighed

Genetisk modificerede planter kan blive mere konkurrencedygtige end de naturligt forekommende plantearter og hermed invadere naturlige plantesamfund. De fleste af vores markafgrøder spredes normalt ikke nævneværdigt uden for det dyrkede areal. Det skyldes bl.a., at arterne har en lille frøspredning, er dårlige til at etablere sig eller har en dårlig konkurrenceevne i forhold til naturligt forekommende planter. Men hvis insektresistente markafgrøder får bedre konkurrenceevne i de naturlige økosystemer, fordi planteædende organismer eller sygdomme normalt ville nedsætte deres konkurrenceevne, så vil disse genmodificerede planter måske kunne sprede sig til og etablere sig uden for agerlandet.



Figur 4-7

Figenkaktus er et eksempel på en plante, hvis vækst under normale omstændigheder er begrænset af planteædende insekter.

Planten kunne invadere store områder i Australien, fordi den ikke blev ædt af sin naturlige fjende, en natsommerfugl, som ikke fandtes i Australien.

Foto: Gösta Kjellsson.

At insekter kan have stor betydning for visse planters udbredelse kan illustreres med plantearter, der er eksporteret til kontinenter, hvor de normalt ikke forekommer, og hvor der ikke er insekter, som holder dem i ave. Dette gælder fx for en figenkaktus, der i 1839 blev flyttet fra det amerikanske kontinent til Australien. Her spredte den sig og blev en plage i mange områder. I 1925 dækkede planten således 24.000 km². For at bekæmpe kaktussen importerede og udsatte man herefter en natsommerfugl fra Argentina, og siden 1940 er kaktussen blevet et væsentligt mindre problem.



Afgrøder til andre formål



Dette kapitel handler om nogle helt nye muligheder, gensplejsningen giver os. Ved dens hjælp kan man nemlig håbe at få planter til at gro steder, hvor det ikke er muligt i dag. Eller man kan få dem til at producere både lægemidler og andre stoffer, som vi hidtil har været nødt til at fremstille i store industrianlæg.

Foto: CDanmark.



Figur 5-1
Mange steder i Australien er jorden så stærkt salttildende, at den oprindelige bevoksning dør. Her ses situationen ved Lake Ninan i den sydvestlige del af landet.

Foto: Anne Leth Pedersen.

Stresstolerante afgrøder

I nogle områder udsættes planterne for fysisk stress som tørke, kulde, frost og salt. I fx store dele af Mellemøsten og Afrika er der så sparsom nedbør, at man må kunstvande afgrøderne. Samtidig bevirker den høje fordampning, at forskellige salte (især natriumklorid og natriumkarbonat) koncentrerer sig i jordoverfladen. Alene dette er en stressfaktor for mange planter. Dertil kommer kraftigt solskin og høje temperaturer som udsætter planterne for yderligere stress, og planternes fotosyntese virker dårligere. Tilsammen gør disse forhold, at planternes vækst og udbytte bliver mindre.

Forskerne er interesserede i at udvikle stresstolerante genotyper, der er bedre tilpasset det lokale miljø, så det bliver muligt bedre at dække behovet for føde i tørkeområderne. En effektiv vej kunne være at udnytte genmodificering. Indtil videre er dette dog stadig på forsøgsstadiet, og genmodificerede stresstolerante planter er endnu ikke kommercielt tilgængelige. Årsagen er bl.a. at effektiv tolerance over for tørke involverer adskillige fysiologiske og biokemiske reaktioner, der kontrolleres af mange forskellige gener. Et eksempel på en mulig første kommerciel, stresstolerant genmodificeret plante er en tørketolerant hvede, der er udviklet i Mexico.

Figur 5-2
Strandbeden, der er den vilde slægtning til de dyrkede roer, kan klare at blive oversprøjtet med saltvand og samtidig tåle udtørring om sommeren.

Foto: Gösta Kjellsson.



Tabel 5-1

Eksempler på mulige veje til udvikling af stresstolerante planter.

Tolerance over for stress	Mekanisme	Donor	Modtagerplante, eksempler
Tørke	Produktion af aminosyren prolin, der beskytter mod saltstress	Gær, bønne	Tobak, ris
Saltpåvirkning	Enzym, der producerer et sukkerstof (mannitol)	Bakterie	Gåsemad
Kulde og frost	Øget produktion af umættede fedtsyrer	Squash	Tobak
	Produktion af antifrost-polypeptider	Forskellige fiskearter	Kartoffel

Tørke- og salttolerance

Tørketolerante afgrøder kan laves på flere forskellige måder ved hjælp af gensplejsning. Forskerne kan ændre de fysiologiske processer, fx ved at øge produktionen af indholdsstoffer, så cellerne beskyttes mod ændringer i saltbalancen. Derved kan vandoptagelse og omsætning af næringsstoffer stadig fungere. En anden mulighed er at ændre det yderste lag på bladene, så fordampningen mindskes – fx give bladene et vokslag på overfladen. Eller vandoptagelsen kan øges ved at ændre rodsystemet, så det rækker dybere ned i jorden.



Figur 5-3

Strandmandstro er eksempel på en plante, der er naturligt beskyttet mod udtørring, ved at bladene er dækket af et blågrønt vokslag. Samtidig forhindrer de stive stængler, at planten falder sammen under tørke.

Foto: Gösta Kjellsson.

Figur 5-4

Mange planter, der er naturligt tolerante over for saltpåvirkning eller tørke, har tykke saftfyldte stængler og blade, som fx salturt.

Foto: Gösta Kjellsson.



Der forskes især i at øge produktionen af aminosyren prolin, der beskytter plantecellerne mod ændringer i saltbalancen (se tabel 5-1). Dette gøres ved at indsætte gener, der producerer enzymer, som øger dannelsen af prolin.

Kuldetolerance

Der er tidligere lavet flere forsøg med at indsætte gener fra en nordamerikansk kuldetålende fisk (ishavsflynder) i bl.a. tomat og kartoffel, så disse afgrøder kunne tåle frost. For nylig har amerikanske forskere udviklet en kuldetolerant majs, der måske vil kunne anvendes, hvor lave temperaturer hidtil har forhindret majsdyrkning.

Ingen af disse planter er dog endnu kommet ud på markerne.

Økologiske problemer

Når det lykkes at udvikle en transgen, stresstolerant plante, er det specielt vigtigt, at der foretages en grundig vurdering af de miljømæssige virkninger inden frigivelse. Salttolerance kan være en del af tolerancemekanismen mod tørke, så begge disse egenskaber ses nogle gange hos den samme plante. Tørke- og salttolerante planter har særligt gode muligheder for at etablere sig uden for markerne i tørre eller saltpåvirkede områder. Dette kan udgøre et problem for det naturlige miljø, idet en tørkeresistent plante evt. vil kunne invadere og måske fortrænge den naturlige vegetation.

Også frosttolerance kan give problemer. Miljømyndighederne kræver fx, at nedennævnte kartoffel med ændret stivelsesindhold skal undersøges for, hvorvidt den har øgede muligheder for at overvintre i det fri. Hvis det er tilfældet, vil de transgene kartoffelplanter måske kunne overleve i marken og eventuelt spredes til grøftekanter og markomgivelser. Ved kontrolforsøg fandt man dog ikke forskel på almindelige og gensplejsede kartoflars evne til at overleve kulde.

Problemet er ikke nyt – man kender det allerede fra introducerede plantearter, der er indført fra én verdensdel til én anden, hvor de kan invadere naturlige økosystemer og give miljømæssige problemer. Et eksempel er allerede nævnt i kapitel 4 (side 49). Et andet er rynket rose, der oprindeligt kommer fra Nordøstasien og nu har spredt sig til mange danske strandområder, hvor den fortrænger den oprindelige vegetation.

Industriel anvendelse

Et af de områder, hvor gensplejsning forventes at få flest anvendelsesmuligheder, er inden for produktionen af planteindholdsstoffer til brug for levnedsmiddelindustri, medicinalindustri og kemisk industri.

Ved hjælp af gensplejsning er det nu muligt at ændre de kemiske processer i en lang række af vore mest almin-

Boks 6

Gensplejsning som forskningsredskab

Baggrunden for al bioindustriel produktion er et grundigt kendskab til de biokemiske synteseveje og reguleringsmekanismer i levende planter. Der foregår i disse år et intensivt arbejde med at studere de forskellige geners indflydelse på reguleringen. Forskerne anvender transgene teknikker. De arbejder ofte med forsøgsplanter som gåsemad og tobak, hvor funktionen af store dele af genomet er kendt. På den måde er det lettere at bestemme reguleringsmekanismer og egenskaber for de nyindsatte gener.



Tobaksplante.

Foto: bioimagers.org.uk.



Figur 5-5
Gåsemad, som producerer transgen human intrinsic factor. Dette protein, som nogle mennesker ikke selv producerer nok af, hjælper med til optage vitamin B12.

Foto: Cobento Biotech A/S.



delige afgrøder. På den måde kan den genmodificerede plante få et ændret indhold af de kemiske stoffer, den i forvejen producerer, eller planten kan fremstille helt nye stoffer, som den normalt ikke producerer.

De vigtigste stoffer, forskerne arbejder med, er proteiner, aminosyrer, kulhydrater og fedtstoffer. Hertil kommer specialiserede produkter som immunoglobuliner (vaccine) og andre lægemidler, enzymer til industrielt brug og bioplast.

De miljømæssige risici ved sådanne ændringer er bl.a., at den genmodificerede plante kan få øget overlevelses-evne, eller at planten bliver giftig for mennesker og dyr.

Levnedsmiddelindustri og kemisk industri

Der foregår en intensiv international forskning med talrige markforsøg for at ændre fedtindholdet i olieafgrøder som raps, soja og solsikke. Dette foregår ved at isolere og indsætte gener, der ændrer de processer, hvorved fedtsyrer dannes, så planten producerer specielt ønskede fedtstoffer.

Fedtstofferne skal bl.a. bruges til produktion af sæbestoffer og smøremidler, men man ønsker også at ændre deres sammensætning, så foderværdien eller den ernæringsmæssige værdi øges (tabel 5-2).

Det er også muligt at øge indholdet af protein i kornafgrøder som ris og majs samt sammensætningen af stivelse i kartofler.

Et firma har i 2004 ansøgt EU om tilladelse til at dyrke og videreforarbejde en svensk udviklet genmodificeret kartoffel med ændret stivelsesindhold. Kartofflen har lavt indhold af amylose og højt indhold af amylopectin, hvilket er egenskaber der kan anvendes industrielt. Amylopectin anvendes bl.a. som konsistensgiver i madprodukter, og amylosefri stivelse kan med fordel bruges ved papirfremstilling. Resterne fra produktionen kan anvendes til dyrefoder.

Det er teknisk muligt at lave genmodificerede roer og kartofler til produktion af bioplast (dvs. polyhydroxyalkanoat-polymerer, PHA). Fordelen vil bl.a. være, at bioplast er biologisk nedbrydeligt og CO₂-neutralt i modsætning til de velkendte plaststoffer, som er fremstillet af råolie. Et andet eksempel er popler, hvor cellevæggene kan ændres, så der er behov for færre kemikalier til nedbrydning ved fremstilling af papir. Dette gør dem bedre egnede til miljøvenlig papirproduktion.

Endelig bliver der foretaget forsøg med at ændre sammensætningen af ligninet i planter som bomuld for at opnå stærkere fibre. Dette gøres med henblik på industriel produktion af plantefibre.

Tabel 5-2
Eksempler på produktion af indholdsstoffer i genmodificerede planter.

Stofgruppe	Genetiske modifikationer	Gendonor	Modtagerplante, eksempler
Proteiner	To enzymer giver øget indhold af lysin i planten	Bakterier (fx <i>E. coli</i>)	Raps, soja-bønne
Fedtstoffer	Nye enzymer giver ændret sammensætning af olieindholdet	Laurbær/farvetidse	Raps
Kulhydrater	Øget indhold af amylopektin og reduceret amyloseindhold	Bakterie (<i>Agrobacterium tumefaciens</i>)	Kartoffel

Figur 5-6

Kartofler, som producerer transgen human intrinsic factor. Kartoffelplanten er bedre egnet end gåsemad i en industriel produktion af det ønskede protein.

Foto: Cobento Biotech A/S.



Produktion af lægemidler

Den farmaceutiske industri vil i de kommende år udvikle flere metoder til produktion af lægemidler i transgene planter, sådan som det allerede foregår i dag ved hjælp af mikroorganismer.

Forskerne har allerede startet forsøg med majs og soja til produktion af humane antistoffer mod bl.a. cancer og Herpes. Dette er sket ved at overføre menneskelige gener til planteceller sammen med en promotor, der udløser produktion af menneskeproteinet i plantecellerne. Fordelene er bl.a. en billigere og mere stabil produktion, end når antistofferne produceres ved hjælp af cellekulturer.

I det danske biotek-firma Cobento arbejder man med at udvikle medicin fra genmodificerede planter. Ved at indsætte det gen fra mennesket, der sørger for transporten af B12-vitamin rundt i kroppen, håber man at kunne udvikle en pille, der kan forebygge demens hos ældre mennesker. Planterne er bl.a. gulerødder, kartofler og gåsemad. Da produktionen skal foregå indesluttet i væksthuse med specielle sikkerhedsprocedurer, er der ingen risiko for spredning til naturen eller krydsning med dyrkede afgrøder.

Økologiske problemer

I USA blev en raps med genteknologisk ændret olieindhold i frøene undersøgt for at se, om frøenes spiring og overlevelse var ændret sammenlignet med en konventio-

nel raps. Hvis frøene havde ændret dvale- og spiringsmekanismer, kunne de måske overleve længere i jorden, og planten kunne blive et besværligt ukrudt.

Forsøgene blev foretaget i de to stater Californien og Georgia, der har forskelligt klima. Det viste sig, at andelen af overlevende frø i jorden i Georgia efter to år var større hos den genmodificerede raps end hos den konventionelle. I Californien var der ikke nogen forskel. Dette eksempel viser betydningen af at tage hensyn til klimatiske forskelle, når konsekvenserne ved anvendelsen af genmodificerede planter skal bedømmes.

Produktionen af bioteknologisk designede stoffer er i det hele taget langt fra uproblematisk under dyrkning på åbne marker. Nogle stoffer vil fx være giftige for visse grupper af dyr og planter. Problemets størrelse vil bl.a. afhænge af, hvor stoffet er koncentreret i planten (bladmasse, frø eller rodknolde), og om det er muligt effektivt at holde større dyr ude fra marken.

Det må også med disse som med andre typer genmodificerede planter undersøges, om der bliver frigivet giftstoffer, når planterne bliver nedbrudt i jorden efter høst. Specielt skal det sikres, at der ikke er øget dødelighed blandt vigtige dyregrupper i jorden som fx nematoder og springhaler. Derfor skal det undersøges, hvor lang tid det varer at nedbryde det toksiske stof, og hvor lang tid en eventuel giftvirkning varer.

Generelle sikkerhedskrav for at forhindre pollen- og frøspredning skal også overholdes. Det er muligt at formindske risikoen for, at produktionen vil få negative økologiske virkninger kraftigt, hvis planterne dyrkes samlet og i lille skala.

De miljømæssige problemer ved markproduktion af lægemidler er endnu ikke fuldt klarlagt, da der kun har været få sager. Det skal frem for alt sikres, at dyr og mennesker ikke kan komme til at fortære planterne, og at forholdene ved nedbrydning af de lægemiddelholdige planterester i jorden undersøges grundigt, før de anvendes i praksis.

Mindre produktion af lægemidler ved hjælp af genmodificerede planter vil i mange tilfælde kunne foregå i væksthuse. Dette vil gøre risikoen for, at genmodificerede planter spredes og får uheldige konsekvenser for andre organismer i naturen, meget mindre.



Risikovurdering

Dette kapitel handler om hvordan man undersøger genmodificerede planter, før de bliver godkendt til brug. Gennem en række trin vurderer man, om planterne kan forårsage miljøskader eller sundhedsproblemer. Først derefter får de lov til at slippe fri på markedet.

Foto: Gösta Kjellsson.



Figur 6-1
Væksthusforsøg og forsøgsudsætninger i marken
risikovurderes efter forskellige principper.

Foto: Christian Kjær.

Fra laboratorium til markforsøg

Udsætning af genmodificerede planter skal ifølge “Lov om miljø og genteknologi” foregå trinvist fra forsøg i laboratoriet over forsøg i væksthuse til forsøgsudsætninger i marken. Det betyder, at hvert enkelt trin skal vurderes særskilt: Fra udviklingen i laboratoriet og frem til at landmanden kan købe frøene og dyrke planterne på sin mark og videre til at forbrugeren kan købe genmodificerede fødevarer.

De første undersøgelser foretages i pollentætte klimakamre og væksthuse, hvor de klimatiske, næringsmæssige og konkurrencemæssige forhold kan kontrolleres. Hvis disse forsøg er forløbet tilfredsstillende, kan producenten søge om tilladelse til forsøgsudsætning på friland. Hvis myndighederne giver tilladelse, udføres sådanne markforsøg typisk i små, kontrollerede forsøgspareller. Ideen med den trinvisse udsætning er “at pakke planten langsomt ud”, så eventuelt uønskede konsekvenser for miljøet opdages i tide.

Forsøgsudsætninger

De danske myndigheder, her Skov- og Naturstyrelsen, træffer afgørelse om forsøgsudsætninger i Danmark. EU-kommissionen og de øvrige medlemslande orienteres på forhånd, så de har en mulighed for at fremsende bemærkninger, inden beslutningen træffes. Hvis der gives en tilladelse til forsøgsudsætning, er der i tilladelsen givet en række vilkår, der skal overholdes, for at forsøgene må udføres. Hvis vilkårene ikke overholdes, skal Skov- og Naturstyrelsen straks underrettes om det.

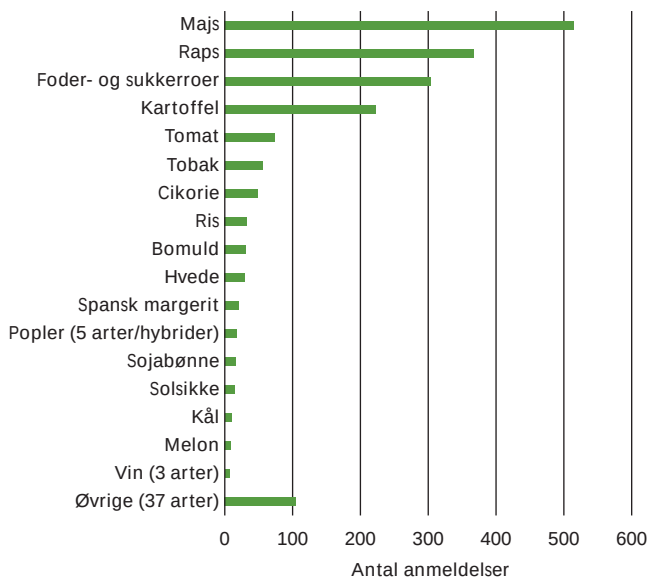
Tilsynet med de danske forsøgsudsætninger har hidtil været udført af amterne, men må forventes at overgå til kommunen eller staten efter strukturreformen.

I perioden 1990-2004 var der i alt 39 ansøgninger om forsøgsudsætninger i Danmark. Det bringer os kun ind på en niendeplads i EU hvad angår antal af forsøgsudsætninger. Hver ansøgning kan resultere i én eller flere separate markforsøg, der kan være placeret forskellige steder i landet. Størstedelen af markforsøgene har været med foder- og sukkerroer (i alt 126 marker). Heraf udgjorde hovedparten de såkaldte demonstrationsforsøg med fri adgang for interesserede, der blev foretaget i årene 1999-

2001, og hvor bl.a. DMU deltog med flora- og faunaundersøgelser. Resten af forsøgene fordeler sig på kartoffel (18 marker), raps (12 marker) og majs (3 marker).

Formålet med forsøgsudsætninger er at undersøge, hvordan den genmodificerede plante opfører sig under realistiske dyrkningsbetingelser og sammenligne resultaterne med, hvordan de tilsvarende ikke-genmodificerede sorter opfører sig. For de fleste genmodificerede planter vil landbrugsmæssige aspekter som fx væksthastighed, udbytte og fænologi (tidspunkter for blomstring og frøsætning) være vigtige. Desuden indgår der – afhængigt af hvilke egenskaber der er blevet genmodificeret – fx undersøgelser af effektiviteten af sprøjtemidler (for herbicidresistente genmodificerede planter) eller omfanget af insektangreb (for insekttolerante genmodificerede planter).

Nogle af disse resultater kan også være nyttige for den økologiske risikovurdering. Fx vil ændringer i væksthastighed (øget) eller frøspiring/frøoverlevelse måske kunne gøre den genmodificerede plante mere konkurrencedygtig eller medføre en øget overlevelse uden for selve marken. Her kan forsøgsudsætningerne give værdifuld information, som dog i givet fald skal følges op med mere detaljerede undersøgelser.



Figur 6-2
Genmodificerede plantearter anvendt i forsøgsudsætninger i EU fra 21. oktober 1991 til 8. marts 2004. Der er i perioden foretaget markforsøg baseret på 1879 anmeldelser med i alt 60 plantearter inkl. krydsninger.

Nogle forsøgsudsætninger bliver også direkte skræddersyet til at kunne teste, om der er økologiske problemer med den genmodificerede plante. Man har bl.a. i Spanien og Tyskland gennemført omfattende forsøg med Bt-majs for at undersøge, om der er øget dødelighed blandt forskellige insekter i og omkring marken. Herhjemme har bl.a. DMU foretaget tilsvarende markforsøg med fokus på jordorganismer som springhaler og regnorme.

Resultater fra forsøgsudsætninger og andre undersøgelser kan anvendes til at sikre miljømæssigt forsvarlige dyrkningsbetingelser, hvis den genmodificerede plante senere skal godkendes til dyrkning. Resultaterne kan selvfølgelig også forårsage, at planten ikke bliver godkendt til dyrkning, hvis de viser miljømæssigt kritiske forhold.

Pollenspredning og sikkerhedsafstande

Ved forsøgsudsætninger tages der særlige sikkerhedsforanstaltninger i brug for at undgå, at pollen spredes fra de genmodificerede planter.

Mange af vore dyrkede planter er afhængige af insekter til bestøvning. Det gælder fx løg, lucerne og rødkløver. Især honningbier er vigtige som bestøvere, men vilde bier som humlebier, enlige bier samt fluer kan også være af betydning. Nogle planter kan klare sig med selvbestøvning eller bestøves via vinden, hvis insekterne ikke er til stede. Det gælder fx raps. De fleste af kornsorterne, sukker- og bederoer samt mange træer som fx ædelgran og popler bestøves kun af vinden.

Vindbestøvede arter har en stor produktion af pollen, som kan spredes over lange afstande (flere kilometer). Hovedparten af pollenet bliver dog normalt spredt tæt ved planten. De insektbestøvede planters pollen bliver normalt spredt over meget kortere afstande, og fordelingen er afhængig af bestøvernes adfærd under fødesøgningen.

Inden for frøavl opererer landmændene med sikkerhedsafstande mellem markerne for at forhindre bestøvning med fremmed pollen. Dette er nødvendigt for at få rene sorter. Tilsvarende men større krav vil også gælde for dyrkning af genmodificerede afgrøder. Afstanden er typisk mellem 200 og 500 m for fremmedbestøvede arter. For selvbestøvede arter er afstandskravene normalt væsentligt lavere.



Ved forsøgsudsætninger eller andre markforsøg med genmodificerede planter kan risikoen for genspredning formindskes ved:

- 1) At plante et 5-10 m bredt randbælte rundt om selve forsøgsmarken med genmodificerede planter. Dette randbælte kan bestå af en samtidigt blomstrende ikke-genmodificeret sort af samme art, som vil fange de fleste bestøvere. Hvis randbæltet anvendes rundt om en ikke-genmodificeret mark, vil produktionen af pollen i randbæltet "fortynde" det genmodificerede pollen fra vindbestøvede arter (fx raps) og formindskes den uønskede fremmedbestøvning med genmodificerede pollen.
- 2) At fjerne alle krydsningspartnere i et bredt bælte rundt om forsøgs- eller produktionsmarken.
- 3) At sikre, at der ikke er bistader inden for en radius på 2 km fra marken (specielt ved forsøgsudsætninger).
- 4) Endelig kan selve spredningen af pollen eller bestøvning fra andre marker forhindres helt ved, at planterne høstes, eller at stokløbere fjernes, inden blomstring (fx sukkerroe).

Figur 6-3

Forsøgsmark med et bredt bælte af almindelige rapsplanter (i forgrunden) udenom selve forsøgsarealet med genmodificeret raps og almindelig byg. Dette forventes at mindske risikoen for, at bestøvere besøger de genmodificerede planter.

Fotos: Gösta Kjellsson.

Boks 7**Detektionsmetoder, mærkning og overvågning**

Der er i det ny udsætningsdirektiv (90/220/EØF) indført flere bestemmelser, der øger sikkerheden ved dyrkning og anvendelse af genmodificerede afgrøder.

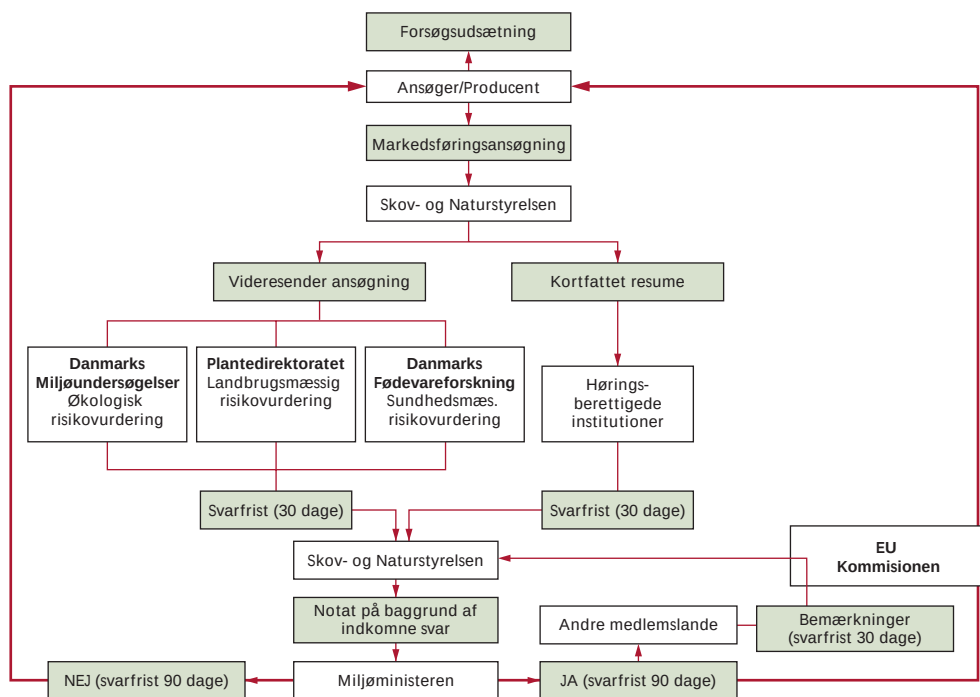
- 1) Der skal være en eller flere specifikke detektionsmetoder, dvs. genetiske metoder der kan anvendes til entydigt at påvise én bestemt genmodificeret afgrøde. En påvisning kræver normalt, at der tages frøprøver fra afgrøden, og at disse analyseres for genmodificeret indhold i laboratoriet.
- 2) Sække med genmodificerede frø og lignende skal være mærket entydigt, så en eventuel spredningskilde kan identificeres, og producent, distributør eller avler kan pålægges et ansvar i tilfælde af uagtsom håndtering.
- 3) Der skal udarbejdes en overvågningsplan for alle nye genmodificerede planter, der skal dyrkes eller importeres. Formålet med overvågningen er dels at efterprøve, om risikovurderingens konklusioner var rigtige, og dels at overvåge, om der er uforudsete, uønskede virkninger af den genmodificerede plante (generel overvågning). Hvad der skal overvåges vil derfor være forskelligt fra sag til sag. Der skal tages hensyn til både direkte og indirekte samt umiddelbare og forsinkede virkninger af den konkrete genmodificerede plante. Overvågningsperioden skal være tilstrækkelig lang til, at alle typer af uønskede konsekvenser kan påvises.

Det afhænger af den konkrete sag, hvilke tiltag der vælges for at mindske spredningen til omgivelserne. Hvis der fx er risiko for, at genmodificerede planter eller frø overlever, skal markarealet sprøjtes med et totalherbicid efter dyrkning.

Afsluttende er det dog vigtigt at slå fast, at spredning af pollen normalt ikke kan forhindres fuldstændig ved kommerciel dyrkning af genmodificerede afgrødeplanter på friland.

Markedsføring

Hvis forsøgsudsætningerne og sundhedsmæssige undersøgelser ikke tyder på uønskede virkninger af den genmodificerede plante, vil producenten kunne indsende en ansøgning (anmeldelse) om tilladelse til markedsføring af den. Tilladelserne gælder normalt enten import og videreforarbejdning (til fx dyrefoder eller til fødevarer) eller dyrkning og videreforarbejdning. Ansøgningerne skal fra 2003 behandles efter det ny udsætningsdirektiv 2001/18/EF og involverer alle medlemslande i EU. Det skyldes, at



en godkendelse betyder tilladelse inden for hele EU, der efter udvidelsen 1. maj 2004 nu omfatter i alt 25 lande.

Ifølge reglerne i udsætningsdirektivet skal en ansøgning fra producenten forelægges i ét land, som efter en grundig risikovurdering enten kan afvise ansøgningen eller videresende den til EU-kommissionen til kommentering i de øvrige medlemslande. Hvis ingen af de øvrige medlemslande gør indsigelser, kan den genmodificerede plante umiddelbart godkendes. Ofte vil dog ét eller flere lande have indvendinger eller ønsker om supplerende oplysninger fra ansøgerlandet.

Efter endnu en runde hvor de nyfremkomne oplysninger vurderes, skal sagen afgøres ved en afstemning blandt medlemslandene. Hvis der ikke er kvalificeret flertal for at give tilladelse, sendes sagen videre til Ministerrådet for afstemning. Hvis Ministerrådet går imod en godkendelse, tillader afstemningsreglerne dog, at EU-kommissionen senere alligevel kan godkende planten.

Figur 6-4
Forløbet af sagsbehandlingen i Danmark ved en markedsføringsansøgning efter direktiv 2001/18/EF.

Når ansøgninger behandles i Danmark, udarbejder Skov- og Naturstyrelsen et notat til Miljøministeren, som træffer den endelige afgørelse. Notatet er udarbejdet på baggrund af en økologisk risikovurdering fra Danmarks Miljøundersøgelser, en landbrugsmæssig vurdering fra Plantedirektoratet og en sundhedsmæssig vurdering fra Danmarks Fødevareforskning (se boks 8).

Disse institutioner vurderer konsekvenserne af at markedsføre (dvs. importere eller dyrke) den genmodificerede plante ud fra ansøgerens oplysninger og erfaringer fra tidligere forsøgsudsætninger og undersøgelser. Om nødvendigt kan de bede om mere dokumentation eller flere undersøgelser. Et resumé af ansøgningen sendes til høring hos ca. 50 institutioner, organisationer og græsrodsgrupper, og høringsmaterialet kan findes på Skov- og Naturstyrelsens hjemmeside. Høringssvarene indarbejdes i notatet til ministeren.

Figur 6-5

Forsøgsmark med genmodificerede roer.

Foto: Marianne Bruus Pedersen.



Risikovurdering

Den overordnede risikovurdering af genmodificerede fødevarer i EU foregår fra april 2004 hos den nyoprettede Europæiske FødevareSikkerheds Autoritet (EFSA). På baggrund af en høringsrunde i medlemslandene med mulighed for indsigelser og supplerende oplysninger udarbejder EFSA en indstilling til Kommissionen. I Danmark er det Fødevarestyrelsen som samler de forskellige risikovurderinger og laver udkast til den danske holdning til Familie- og Forbrugerministeren, der fastlægger den danske holdning.

DMU's risikovurdering af ansøgninger om tilladelse til import, dyrkning m.m. bliver udført efter et standardiseret koncept. Først identificeres de egenskaber ved den genmodificerede plante, som kan medføre uønskede virkninger på miljøet; fx krydsninger med vilde slægtninge eller virkninger på ikke-målorganismer. Dernæst vurderes de potentielle konsekvenser for miljøet.

Ved risikovurderingen skal der tages hensyn til både de direkte og de indirekte påvirkninger, som kan være uønskede for miljøet. Der skal i en vurdering af konsekvenserne også indgå overvejelser om eventuelle langtidsvirkninger på miljøet som fx ændret ukrudtsflora ved dyrkning af herbicidtolerante afgrøder på grund af ændret herbicidanvendelse.

De miljømæssige virkninger af genmodificerede planter sammenlignes med tilsvarende virkninger af konventionelle afgrøder. Dvs. at hvis der fx sker et fald i markens biodiversitet (artssammensætning og artsantal), så skal faldet være større end det, der kendes fra dyrkning af konventionelle sorter af den samme afgrøde, for at den genmodificerede plante betragtes som en risiko.

Til sidst beregnes sandsynligheden for, at der vil forekomme uønskede virkninger. Dette giver størrelsen af den miljømæssige risiko for hver identificeret økologisk virkning:

Risiko = miljømæssige konsekvenser $\times$ sandsynlighed

Risikoen, som man normalt ikke umiddelbart kan sætte tal på, bliver karakteriseret efter forventet omfang efter skalaen: ingen, ubetydelig, lille, moderat eller stor.

Boks 8

Risikovurderingens hovedpunkter

Ved en risikovurdering prøver man at finde sandsynligheden for, at der vil forekomme uønskede virkninger på miljøet samt mennesker og dyrs sundhed. Samtidig prøver man at finde ud af, hvad konsekvenserne bliver, hvis de uønskede virkninger indtræffer. Den genmodificerede plante sammenlignes med den oprindelige umodificerede sort samt andre tilsvarende ikke-genmodificerede sorter af planten.

De uønskede virkninger, det er særlig vigtigt at holde øje med, er:

- Negativ påvirkning af naturlige økosystemer, hvis der sker en spredning af den genmodificerede plante selv eller dens gener.
- Uønskede virkninger på ikke-målorganismer eller fødekæder i forbindelse med dyrkning eller anvendelse.
- Problemer med besværligt ukrudt i marken, der skyldes den genmodificerede plante selv eller krydsninger med nærtbeslægtede arter.
- Problemer med foderanvendelse, der skyldes at den genmodificerede plante har dårlig næringsværdi eller indeholder toksiner.
- Uønskede sundhedsmæssige konsekvenser, der skyldes at planten eller planteproduktet indeholder giftige eller allergifremkaldende stoffer.
- Sundhedsmæssigt dårligere fødevarer, der skyldes at den genmodificerede plante eller produkter heraf har forringet ernæringsmæssig værdi.

Desuden indgår:

- Problemstillinger vedrørende anvendelsen af antibiotikaresistensmarkører – primært de sundhedsmæssige og landbrugsmæssige aspekter.
- Mulighederne for sameksistens mellem genmodificerede afgrøder og konventionelle eller økologiske afgrøder.

Hvis man vurderer, at der er ubetydelig eller lille risiko for, at den genmodificerede plante har uønskede virkninger på naturen, vil den normalt kunne godkendes, men under visse forudsætninger. Fx kan det være en forudsætning, at afgrøden skal overvåges for at se, om der er uønskede virkninger på ikke-målorganismer (fx øget dødelighed hos planter og dyr) på marken eller de nærmeste omgivelser. Overvågningen gør det muligt at gribe ind i tide, hvis der skulle opstå uforudsete problemer.

Resultaterne af DMU's økologiske risikovurdering sammenfattes i en konklusion, hvor de vigtigste risici og begrundelser anføres sammen med eventuelle forslag til forebyggende indsatser som fx overvågning og supplerende dyrkningstiltag. DMU's konklusioner og forslag indgår derefter i Skov- og Naturstyrelsens samlede vurdering. DMU's økologiske risikovurdering af sagerne fra 2003 og 2004 kan ses på:



<http://www.dmu.dk/Samfund/Bioteknologi+og+GMO/Gensplejsede+planter/>

Hvis den samlede risikovurdering identificerer større risici, vil dette normalt medføre, at den genmodificerede plante ikke kan godkendes og/eller at yderligere oplysninger og videnskabelige undersøgelser er nødvendige.

Konklusionerne af den økologiske, en sundhedsmæssig og en landbrugsmæssig risikovurdering samt den samlede danske indstilling til de enkelte ansøgninger findes på: <http://www.skovognatur.dk/erhvogadm/biotek/ansoegninger.htm>

I de fleste sager har Danmark gjort indsigelser mod en godkendelse, fx begrundet i mangel på tilstrækkeligt gode detektionsmetoder, risiko for utilsigtet forekomst af genmodificerede frø i konventionel såsæd eller mangel på overvågning af langsigtede konsekvenser på ikke-målorganismer.

Figur 6-6

Det er nødvendigt at kende planternes økologiske krav, når der skal laves en risikovurdering. I væksthuset laves bl.a. forsøg med toleranceegenskaber hos raps og beslægtede plantearter.

Foto: Gösta Kjellsson.





Genmodificerede fødevarer

Endnu ved man meget lidt om, hvordan forbrugerne vil reagere på varer, som indeholder genmodificerede planter. Det er emnet for dette kapitel, hvor også forsøgene på at udvikle metoder, der kan bruges til at afveje fordele og ulemper over for hinanden, omtales. Endelig indeholder kapitlet et afsnit om de særlige problemer, økologiske landmænd har med genmodificerede planter.

Foto: Jens Skriver.

Figur 7-1

En genmodificeret svensk øl med navnet Kenth blev i starten af 2004 sendt på markedet i Sydsverige og enkelte steder i Danmark. Øllen er delvis brygget på Bt-majs, og introduktionen blev sponsoreret af Monsanto. I starten var modtagelsen hos forbrugere overvejende positiv. På grund af modstand fra især grønne organisationer blev øllen dog efter få måneder trukket tilbage fra de fleste udsænkningsteder, men den kan stadig købes i det svenske Systembolag.

Foto: Monsanto.



Hidtil har der ikke været mange fødevarer med genmodificerede råvarer i den almindelige handel, og deres kommercielle succes har oftest været ringe. Efter at lovgivningen om sporbarhed og mærkning af genmodificerede fødevarer blev vedtaget i maj 2004 i EU er der skabt et formelt grundlag for flere nye genmodificerede produkter i handlen.

Efter tre måneders forløb var antallet af genmodificerede produkter (baseret på både tidligere og nye godkendelser) i supermarkederne dog stadig meget begrænset. Greenpeace fandt således ingen mærkede genmodificerede produkter i Danmark, Sverige, Østrig, Spanien, Italien og Grækenland. Der blev fundet flest mærkede genmodificerede produkter i Frankrig (14), Holland (12), Tyskland (4), Belgien (3), England (2) og Tjekkiet (2). Animalske produkter der er baseret på fodring med fx genmodificerede majs, indgår ikke, da de ikke skal mærkes, bl.a. fordi det ikke er muligt at påvise anvendelsen af de modificerede gener ved prøvetagning og analyse af kødet.

Indtil nu er det især produkter med genmodificeret majs, soja eller raps (som mel eller olie), der er aktuelle i fx bagemix, snacks, stegeolie og barbequesovs. Altså mest salgsvare med fødevaremæssig lav profil, hvor der ikke fokuseres på indholdet af genmodificerede råvarer. En svenskproduceret specialøl, der ligefrem blev markedsført som genmodificeret, fik som forventet problemer, men er dog stadig på markedet.

Det første produkt med ændrede egenskaber, der blev sendt på markedet i USA, var Flavr Savr-tomaten fra Calgene, der på grund af forbrugerkritik ikke længere bliver solgt. Den havde fået indsat et gen, som hæmmer nedbrydningen af pektin under modningen, så det varede længere, inden den blev blød. Dette gjorde, at tomaterne kunne klare længere transport. Forbrugere kunne altså ikke forvente at modtage et friskere produkt.

Forbrugerholdninger og økonomi

I 1996 og senest i 2002 foretog EU-kommisionen en undersøgelse af europæernes opfattelse af den ny bioteknologi. For Europa samlet set er modstanden mod genmodificerede afgrøder og genmodificerede fødevarer steget i perioden fra 1996 til 1999; derfra og frem til 2002 er den stort

Tabel 7-1

Ændringer i befolkningens holdning til dyrkning og anvendelse af genmodificerede planter (procentdel positiv) Kilde: Gaskell et al. 2003.

	GM-afgrøder		GM-fødevarer	
	1996	2002	1996	2002
Spanien	86	91	80	74
Irland	84	77	73	70
Finland	88	84	77	70
Portugal	90	84	72	68
Nederlandene	87	85	78	65
England	85	75	67	63
Sverige	73	73	42	58
Belgien	89	80	72	56
Tyskland	73	67	56	48
Østrig	39	57	31	47
Danmark	68	73	43	45
Italien	86	68	61	40
Frankrig	79	55	54	30
Grækenland	77	54	49	24

set uændret. Der er dog store forskelle mellem de enkelte lande. Der var fx overvejende tilslutning til genmodificerede fødevarer i Spanien, Portugal, Irland og Finland.

Generelt fandt de udspurgte, at anvendelse af genteknologi til påvisning af sygdomme og til produktion af medicin er mest acceptabelt. Andre undersøgelser tyder på, at en høj grad af information og viden om bioteknologi ikke nødvendigvis ændrer holdningerne i positiv retning. Den danske befolkning er en af de mest velinformerede i Europa, men det er samtidig en af de mest kritiske over for anvendelsen af genmodificerede planter og fødevarer.

Måske kan økonomiske beregninger være med til at give befolkningen et mere nuanceret beslutningsgrundlag. Ved at sætte kroner og ører på de forskellige muligheder, fx dyrkning af sygdomsresistente, genmodificerede planter, sprøjtning med pesticider eller økologisk landbrug, kan man systematisere og veje de økonomisk ulemper og risici op over for fordelene.

Tabel 7-2

Danskerne er et af de mest engagerede folk i Europa, når det drejer som om bioteknologi. Det fremgår af en såkaldt "eurobarometerundersøgelse" af de Europæiske befolkningers viden om og interesse for bioteknologi (kilde: http://europa.eu.int/comm/public_opinion/archives/eb/ebs_177_en.pdf).

	Har diskuteret biotek – ofte eller regelmæssigt (%)	Ville deltage i en offentlig høring om biotek (%)	Ville læse eller se et TV-program om biotek (%)	Antal anvendelser af biotek (skala fra 0-3)	Antal korrekte svar i en biotekquiz (skala fra 0-10)	Samlet mål for engagement vedr. biotek (%)
Danmark	50	44	77	2,23	6,60	47
Luxembourg	37	45	81	1,95	5,82	33
Finland	43	40	68	1,71	6,21	31
Frankrig	37	44	80	1,76	5,70	29
Holland	35	26	67	1,82	6,25	29
Sverige	30	27	83	1,56	7,04	27
England	23	28	67	2,00	5,90	26
Tyskland	40	43	72	1,78	5,30	25
Italien	36	24	68	1,84	5,20	23
Østrig	34	41	61	1,78	5,26	22
Grækenland	20	43	73	1,66	4,53	18
Irland	18	29	64	1,50	4,86	18
Belgien	24	24	59	1,52	5,22	17
Spanien	24	15	41	1,70	5,02	15
Portugal	22	33	56	1,34	4,33	12
Europa	32	33	68	1,79	5,46	25

Et af problemerne ved sådan en fremgangsmåde er, at man har svært ved at opgøre pengeværdien af flere af forholdene, fx naturoplevelser. Derfor foregår der i disse år en intens forskning inden for dette område.

Fx kan man forestille sig, at dyrkning af en bestemt insektresistent, genmodificeret rapssort vil nedsætte brugen af pesticider, men samtidig øge risikoen for, at en eller flere naturlige plantearter vil blive udkonkurreret. Hvis man ud over prisen for de genmodificerede frø, pesticider og traktorkørsel kan vise, hvilken økonomisk værdi man kan tillægge det lavere forbrug af pesticider og den større sandsynlighed for at miste nogle vilde plantearter, så kan man rationelt vurdere, om det kan betale sig at dyrke insektresistent raps.

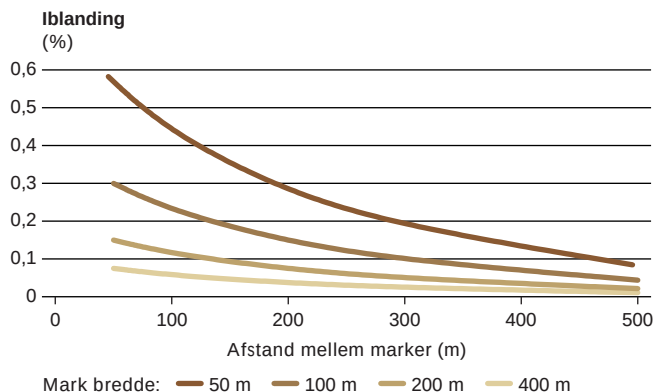
Økologisk jordbrug og genmodificerede planter

I øjeblikket afslår økologiske landmænd at bruge genmodificerede planter på deres marker, hovedsageligt ud fra den principielle opfattelse, at genmodificerede planter er uforenelige med økologisk jordbrug og med forbrugernes tillid. Hovedformålet med økologisk landbrug er, at produktionen skal indgå i det økologiske kredsløb på en naturlig måde, og at man skal undgå anvendelsen af industrielle kemikalier som pesticider og kunstgødning.

Brugen af genmodificerede afgrøder, fx sygdomsresistente sorter, vil dog kunne gøre det økologiske landbrug mere effektivt og driftssikkert, samtidig med at den overordnede målsætning fastholdes. Så afhængigt af den etiske debat hos forbrugerne vil genmodificerede planter måske engang i fremtiden kunne indgå i dansk økologisk landbrug.

For den økologiske landmand vil de primære problemer med genmodificerede planter blive, at han skal undgå indblanding i såsæden og pollen fra genmodificerede afgrøder i nærheden. Hvis de økologiske avlere ønsker, at deres produkter skal være fri for genmodificerede planter, skal indholdet af genmodificerede frø i såsæden være lavere end detektionsgrænsen, som i de fleste tilfælde er 0,1%.

Ved kontrol af såsæd kan man i vid udstrækning mindske risikoen for iblanding af genmodificerede frø i økologisk udsæd. Derimod er det umuligt helt at forhindre genmodificerede frø i at sprede sig ud til de omgivende marker, og at pollen spredes fra marker med genmodificerede afgrøder til marker med samme afgrøde som ikke er genmodificeret. Spredningen vil være størst for fremmed-



Figur 7-2

Ved at øge afstanden til marker med GM-raps kan GM-indholdet i de økologiske rapsmarker reduceres til et acceptabelt niveau (mindre end 0,1 %). Den nødvendige afstand er mindre for store end for små marker.

bestøvede plantearter som raps, rug og roer, og for nogle af disse arter findes der allerede genmodificerede sorter på markedet. Der bliver også udført markforsøg med genmodificerede sorter af hvidkløver og foder- og plænegræsser (fx rajgræs), men på grund af spredningsrisikoen vil de næppe blive markedsført i EU.

For at imødekomme landbrugets generelle behov for vejledning har en arbejdsgruppe under Fødevareministeriet udarbejdet forslag til retningslinjer for sameksistens mellem genmodificerede, økologiske og konventionelle afgrøder.

De konkrete virkemidler til at forhindre, at et utilsigtet indhold af genmodificerede planter eller frø i konventionelle og økologiske afgrøder overstiger grænseværdien inkluderer afstandskrav mellem markerne, anvendelse af såsæd fra

Figur 7-3
GM-planter kan blive et problem for den økologiske landmand, fx hvis GM-kløver spreder sig til en økologisk kløver-græsmark.

Foto: CDanmark.



ikke-genmodificerede planter, øgede dyrkningsintervaller, rengøring af maskiner og transportmidler for frørester samt evt. bekæmpelse af spildplanter. Disse virkemidler er brugt ved udarbejdelsen af de konkrete regelsæt i den nyligt vedtagne danske lov om sameksistens.

Der er nu ved at blive etableret fælles EU-krav til renhed af markafgrøder uden genmodificerede planter, som afhænger af anvendelsen. For konventionel frøavl med krydsbestøvede arter som raps og majs forventes grænseværdien for det genmodificerede indhold sat til 0,3%, mens den for selvbestøvede planter forventes at blive 0,5%. Det genmodificerede indhold i planteprodukter, der skal anvendes til fødevarer, må ikke overstige tærskelværdien 0,9%. Hvis det er højere, skal produktet mærkes med, at det indeholder genetisk modificeret materiale.







Fremtidsperspektiver

I dette kapitel giver forfatterne deres bud på, hvordan
brugen af genmodificerede planter vil udvikle sig i de næste
10-20 år.

Foto: CDanmark.

Figur 8-1

Om ikke så mange år vil disse afgrøder måske bestå af GM-planter. Forhåbentlig vil det ikke påvirke det vilde liv i hegnet eller i grøftekanter.

Foto: CDanmark.



Genmodificering er nu etableret som en almindeligt anvendt metode til at udvikle nye plantesorter til landbrug og gartneri. Om 10-20 år vil de fleste afgrøder på markerne måske være genmodificerede. De nye gener og egenskaber, som bliver sat ind, må forventes at være de økonomisk mest interessante for producenten og landmanden. Dog vil myndighederne formentlig fortsat stoppe enkelte genmodificerede planter, som vurderes at være risikable for miljøet, landbruget eller menneskers sundhed.

Vi vurderer, at egenskaber som resistens mod insekter fortsat kan være problematiske for miljøet, samt at udviklingen af flere genmodificerede afgrøder med ændrede indholdsstoffer eller med stresstolerance også vil kræve opmærksomhed over for mulige konsekvenser for ikke-målorganismer og planternes overlevelsessevne. Desuden vurderer vi, at udviklingen af afgrøder, der via udskillelsen af plantegifte selv er i stand til at bekæmpe ukrudt (allelapati), kan medføre alvorlige problemer ved spredning til naturlige biotoper.

**Figur 8-2**

Det forventes, at man snart vil kunne købe kosmetik, der er fremstillet ved hjælp af genmodificerede planter.

Foto: Kathe Møgelvang.

En mulig udvikling er at myndighederne mere aktivt går ind og støtter bestemte forskningsprojekter med genmodificerede planter, som har en miljømæssig positiv virkning.

Vi forventer endvidere, at muligheden for at producere industrielle produkter i planter ved hjælp af gensplejsning vil blive benyttet i stor stil. Gensplejsningsteknikken vil blive brugt til produktion af mange non-food-produkter, fx medicin, kosmetik, vaske- og rengøringsmidler. Ved hjælp af gensplejsning kan man undgå en række mellemprodukter i den kemiske industri. Nogle af disse stoffer besidder uheldige egenskaber (giftige, ætsende, allergene osv.). Denne udvikling forudsætter dog, at det bliver helt klarlagt, hvilke risici der kan være forbundet med en sådan aktivitet.

Litteratur

BioTik-portalen. – Nyheder, bioteknologi generelt.
<http://biotik.dk>

Danmarks Fødevare- og Veterinærforskning, DFV – Sundhedsmæssig risikovurdering, ernæringsværdi, toksicitet og allergi.
<http://www.dfvf.dk/Default.asp?ID=8325>

Danmarks Miljøundersøgelser, DMU – Økologisk risikovurdering, biodiversitet og fødekædeeffekter, sameksistens og overvågning.
<http://www.dmu.dk/Samfund/Bioteknologi+og+GMO/Gensplejsede+planter>

EU – Oversigt over forsøgsudsætninger og markedsføringssager i EU.
European Commission: Biotechnology and GMOs Information Website.
<http://gmoinfo.jrc.it/>

Gaskell, G., Allum, N. & Stares, S. 2003 – Europeans and Biotechnology in 2002. Eurobarometer 58.0. A report to the EC Directorate General for Research from the project "Life Sciences in European Society" QLG7-CT-1999-00286. 2nd ed. Brussels: European Commission, Directorate General XII. 69 pp.
http://europa.eu.int/comm/public_opinion/archives/ebs/ebs_177_en.pdf

Haldrup, A. m.fl. 2004 – Tjek på Biotek. Kursusmateriale fra Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole. <http://kursus.kvl.dk/tjekpaabiotek>.

Hendriksen, N.B. & Binnerup, S. 1997 – Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktionen – muligheder og risici. Danmarks Miljøundersøgelser. – TEMA-rapport fra DMU nr. 14. 28 s.
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_temarapporter/rapporter/87-7772-356-2.pdf

Holtug, N. & Sandøe, P. 1996 – Det etiske grundlag for regulering af genteknologi. I: Teknologirådet: Gensplejsede planter – regulering og anvendelse. Rapport fra et ekspertseminar marts 1995. – Teknologirådets rapporter 1996/1: 40-51.

ISAAA Briefs, No. 32 – 2004 – [http://www.isaaa.org/kc/CBTNews/press_release/briefs32/ESummary/Executive%20Summary%20\(English\).pdf](http://www.isaaa.org/kc/CBTNews/press_release/briefs32/ESummary/Executive%20Summary%20(English).pdf)

James, C. 2004 – Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2004. Preview. Ithaca, NY: ISAAA. 12 pp.

Madsen, K.H., Blacklaw, W.M. & Jensen, J.E. 1996 – Simulation of herbicide-use in a crop rotation with transgenic herbicide resistant sukkerbeet. In: Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, 25-28 June 1996. Flakkebjerg: Department of Weed Control and Pesticide Ecology. pp. 1387-1391

Mark Jensen, S. 1992 – Økologisk risikovurdering ved udsætning af genetisk modificerede planter. Skov- og Naturstyrelsen. 48 s.

OECD: Konsensusdokumenter for GM-planter – Consensus Documents for the Work on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology. http://www.oecd.org/document/51/0,2340,en_2649_34385_1889395_1_1_1_1,00.html

Plantedirektoratet – Landbrugsmæssig risikovurdering, sortsgodkendelse, frøanalyser og kontrol af foder. <http://www.plantedir.dk>

Skov- og Naturstyrelsen – Lovgivning og internationale aftaler etc. <http://skovognatur.dk/erhvogadm/biotek/default.htm>

– Markedsføringsansøgninger, høringsmateriale og indsigelser. <http://skovognatur.dk/erhvogadm/biotek/ansoegninger.htm>

Teknologirådet 1996 – Gensplejsede planter – regulering og anvendelse. Rapport fra et ekspertseminar marts 1995. Kbh.: Teknologirådet. 90 s.
– Teknologirådets rapporter 1996/1.

Terney, O. 1996 – 20 år med genteknologi: erfaringer og perspektiver. Bagsværd: Foreningen af Bioteknologiske Industrier i Danmark. 87 s.

Tolstrup, K., Andersen, S.B., Boelt, B., Buus, M., Gylling, M., Holm, P.B., Kjellsson, G., Pedersen, S., Østergård, H., & Mikkelsen, S.A. 2003 – Rapport fra udredningsgruppen vedrørende Sameksistens mellem genetisk modificerede, konventionelle og økologiske afgrøder. Tjele: Danmarks Jordbrugs-Forskning. 236 s.

UNIDO, FN's industriudviklingsorganisation – Oversigt over GMO forsøg i udviklingslandene.

– BINAS Online. <http://binas.unido.org/binas/trials.php>

United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service – Butterflies and Bt corn. Allowing Science to guide decisions. 25 pp. <http://ars.usda.gov/sites/monarch>

USDA, Det amerikanske landbrugsministerium – Forskningsresultater, anmeldelser, regulering. USDA's Agricultural Biotechnology Website. <http://www.usda.gov/agencies/biotech/>

Ordliste

Artsbarriere: Biologisk barriere som hindrer dannelsen af afkom mellem to individer fra forskellige arter.

DNA: (Deoxyribonucleinsyre). Et meget stort molekyle der danner cellens arvemateriale i form af gener og kromosomer. DNA består af to lange kæder af fire forskellige nukleotider, som er snoet omkring hinanden.

Gen: Arveanlæg. Et stykke DNA som koder for et protein.

Genom: Betegnelse for den samlede mængde DNA (genetisk information) i en cellekerne.

Genetisk variation: Mål for mængden og variationen af forskellige gener i en bestand eller art.

Krydsning: Befrugtning af individer af forskellig oprindelse, via naturlig pollenspredning eller via kunstig befrugtning.

Ligase: Enzym som "limer" DNA-stykker sammen.

Markørgener: Gener som bliver indsat sammen med de "nyttige" gener, for at man kan se, om gensplejsningen er lykkedes. Fx kan man indsætte et gen som farver genmodificerede planteceller blå.

Nukleotider: Molekyle som består af en kulhydrat (deoxyribose), en fosfatgruppe og en af baserne adenin, guanin, cytosin eller thymin. Indgår i DNA.

Plantesort: En betegnelse for en bestemt plantetype (genotype eller bestand), som kan skelnes visuelt fra andre sorter af samme afgrøde.

Promotor: Kontrolregion som sidder på kromosomet foran det udtrykte gen.

Protein: Molekyle som er opbygget af aminosyrer. Proteiner indgår i de biokemiske processer i alle levende plante- og dyreceller.

Proteinasehæmmer: Protein der hæmmer de enzymer som er ansvarlige for nedbrydning af proteiner til aminosyrer i fordøjelsessystemet. Ved høje koncentrationer af disse stoffer kan der opstå mangel på essentielle aminosyrer. Anvendes bl.a. bioteknologisk til at gøre planter resistente mod angreb af bestemte insektlarver.

Receptorer: Særlige steder på cellemembranen hvor der kan bindes eksempelvis hormonstoffer. I tilfælde af Bt-toksin, de steder på tarmvæggen hvor Bt-toksinet binder sig.

Restriktionsenzym: Et enzym som genkender bestemte rækkefølger af nukleotider og "skærer" DNA-molekylet over i to halvdele på en karakteristisk måde. Der findes forskellige restriktionsenzymer, og alt efter hvilket man bruger, bliver der skåret forskellige steder i DNA-molekylet.

Sekundære plantestoffer: En gruppe stoffer der ikke indgår direkte i plantens primære stofskifte, men som er kendt for at virke som plantens forsvar mod sygdomsfremkaldende svampe og planteædende insekter.

Selektionsgener: Gener som bliver indsat sammen med det "nyttige" gen, som enten gør cellen/organismen resistent mod en sygdom eller gør den i stand til at leve på et specielt substrat.

Transgen: DNA-stykke som er indsat i en organisme ved hjælp af gensplejsning.

Udifferenterede planteceller: Planteceller som ikke er specialiserede til en bestemt funktion.

Stikordsregister

A

Agerhøne · 47
Agrobacterium tumefaciens · 22
Aktivstof, mængde · 31
Allelopatiske stoffer · 37, 82
AMPA · 33
Amylopectin · 57
Amylose · 57
Antibiotikaresistens · 21, 23
Antistoffer · 58
Arabidopsis thaliana · 19
Areal med GM-afgrøder · 12
Artsbarriere · 18

B

Bacillus thuringiensis · 40, 44
Bakteriespore · 44
Basta · 28
Bioplast · 56, 57
Bomuld · 12, 42
Bredspektrede herbicider · 29
Bt-planter · 44
Bt-raps · 40
Bt-toksiner · 44

D

Demens · 58
Detektionsmetoder · 66
Dhurrin · 43
DNA · 19
T · 23
Dvale- og spiringsmekanismer · 59

E

EFSA · 69
Egetræ · 43
Enzymer · 56
EPSPS · 28
GS · 28
Eurobarometerundersøgelse · 75

F

Farm Scale Evaluations · 34
Farmaceutisk industri · 58
Fenylalanin · 28
Figenkaktus · 49
Flavr Savr-tomat · 74
Forbrugerholdninger · 74
Forsøgsudsætninger · 62
plantearter i · 63
Forædling
med gensplejsning · 19
traditionel · 16
Fosfo-enolpyruvat · 28
Frøhvile · 16
Frøspredning · 16
Fødevarer · 73

G

Gen · 19
indsættelse i plantecelle · 22
regulering af · 21
uønsket spredning af · 24
Genmodificerede fødevarer · 73
holdninger til · 74
Genmodificerede planter
afprøvning af · 62
definition · 10, 19
fremtid for · 82
godkendelse af · 62
industriel anvendelse · 55
mediedebat om · 10
mærkning af · 12
nye indholdsstoffer i · 57
udsætning af · 62
Genom · 19
Gensplejsning · 19
Gensplejsningsmærke · 12, 66
Genudtryk · 21
Glufosinat-ammonium · 28
Glutamat · 28
Glutamin · 28

Glyphosat · 28
anvendelse · 34
GM-afgrøder · 12
GM-areal · 12
GM-plante · 19
GM-planter · 12, 19, se også
genmodificerede planter
Grundvand
bekæmpelsesmidler i · 41
herbicider i · 33
GS · 28
Gulstribet jordloppe · 44
Gåsemad · 19, 44, 55

H

Herbicider
bred- og smalspektrede · 29
i grundvand · 33
udvaskning af · 33
Herbicidforbrug · 31
Herbicidtolerance · 23, 27
Herbicidtolerante afgrøder · 27
se også herbicidtolerance
fordele ved · 29
herbicidforbrug i · 31
miljøproblemer med · 32

I

Ikke-målorganismer · 41, 45
Immunoglobuliner · 56
Indholdsstoffer · 23, 43
ændring af · 57
Indsplejsningsegenskaber · 23
Industriel anvendelse af
gensplejsede planter · 55
Insektresistens · 23, 39

J

Jordbehandling, omfang af · 36
Jordloppe · 44

K

Kartoffel

- kuldetolerant · 54
- skadedyrresistent · 43
- stivelsesindhold · 57

Kemisk industri · 56

Kenth (øl) · 74

Konkurrencedygtighed · 45

- ændring af · 48

Konventionelle afgrøder

- herbicidforbrug i · 31

Kromosom · 19

Krydsning · 17

Kuldetolerance · 54

Kåltyper · 16

L

Levnetsmiddelindustri · 56

Ligase · 19

Lægemedler · 58

M

Majs · 12

Markedsføring · 66

- anmeldelse til · 66

Markørgen · 21

Miljøproblemer

- herbicidtolerante afgrøder · 32
- skadedyrresistente afgrøder · 45
- stresstolerante afgrøder · 54
- ændrede indholdsstoffer · 58

Miljøvenlige midler · 32

Monark · 47

Moratorium · 11

Mærkning · 12, 74

N

Naturindhold · 34

Neem-træ · 43

Nukleotid · 19

O

Overvågning · 66

P

Papir · 57

Partikelpistol · 23

Plante- og dyrelivet,
påvirkning af · 34

Plantesygdomme · 40

Plasmid · 20, 22

Pollendrift · 47

Pollenspredning · 64

Prolin · 54

Promotor · 21

Proteinasehæmmere · 43
miljøproblemer ved · 48**R**

Raps · 12, 40

Resistens · 42, 43

Resistensgen, spredning af · 47

Restriktionsenzym · 19

Risikovurdering · 61, 69

- hovedpunkter i · 70
- landbrugsmæssig · 68
- sundhedsmæssig · 68
- økologisk · 68

RNA · 19

Rodhalsbakterie · 22

Rodhalsgalle · 23

Roundup · 28

Rynket rose · 55

S

Salt · 52

Sekundære indholdsstoffer · 43
miljøproblemer ved · 48

Selektionsgen · 21

Sikkerhedsafstande · 64

Skadedyr · 40

Skadedyrsresistens · 39

- gensplejset · 43

Skadedyrsresistente afgrøder · 39
beskyttelsesvarighed · 41

- fordele ved · 41

- miljøproblemer ved · 42, 45

- smalspektrede herbicider · 29

Smøremidler · 57

Soja · 12

Spildfrø · 32

Sporbarhed · 74

Spredning af tolerancegen · 32

Springhaler · 46

Sprøjtefleksibilitet · 30

Sprøjtetidspunkt · 29

Sprøjtningshyppighed · 29

Stenurt · 53

Strandmandstro · 53

Streptomyces viridochrogenes · 28

Stresstolerance · 23

Stresstolerante afgrøder · 52

- miljøproblemer ved · 54
- udvikling af · 53

Sukkerroer, herbicidforbrug i · 31

Sygdomsresistens · 23

Sæbestoffer · 57

T

T-DNA · 23

Tilbagekrydsning · 18

Tobaksplante · 55

Tolerancegen · se også gen
spredning af · 32

Totalherbicider · 28

Transgen · 19

Tryptofan · 28

Tyrosin · 28

Tørke · 52

Tørke- og salttolerance · 53

U

Udsætning · 62

Udsætningsdirektiv · 66

Udtryk af gen · 21

Udvaskning af herbicider · 33

Ukrudt · 35

Ukrudtsbekæmpelse

- fremtidens · 37

Ukrudtsmidler, se herbicider

V

Valnød · 37

Ø

Økologisk jordbrug · 77

Genmodificerede planter

Christian Damgaard, Gösta Kjellsson, Christian Kjær og Beate Strandberg

Gensplejsning er en ny metode til forædling af planter. Med denne metode kan man fx flytte nyttige gener fra bakterier og dyr til afgrødeplanter – og man kan frembringe nye sorter langt hurtigere end hidtil. De nye planter kaldes genmodificerede.

I miljømæssig sammenhæng er det væsentligt, at man med gensplejsning kan løse nogle af de problemer, traditionel planteavl indebærer. Men det er lige så væsentligt, at man også kan skabe nye problemer, hvis man ikke bruger metoden fornuftigt.

I denne bog kan man bl.a. læse om:

- hvordan genmodificerede planter bliver lavet
- hvilke gener der bliver eller vil blive sat ind i planterne
- miljømæssige og dyrkningsmæssige fordele og ulemper
- hvordan myndighederne vurderer risikoen ved genmodificerede planter
- hvordan fremtidsperspektiverne for genmodificerede planter er

Bogen indeholder den nyeste, ajourførte viden og er skrevet for ikke-eksperter uden at slække på den faglige kvalitet.

ISBN 87-7739-742-8



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet