

Gensplejsede planter



TEMA-rapport fra DMU

23/1998

Gensplejsede planter

Christian Damgaard
Gösta Kjellsson
Christian Kjær
Beate Strandberg

TEMA-rapport fra DMU, 23/1998,
Gensplejsede planter

Forfattere: Christian Damgaard, Gösta Kjellsson,
Christian Kjær og Beate Strandberg
Danmarks Miljøundersøgelser, Afdeling for Terrestrisk Økologi

Udgiver: Miljø- og Energiministeriet, Danmarks Miljøundersøgelser®
URL: <http://www.dmu.dk>
Udgivelsestidspunkt: December 1998

Layout: Henrik Flagstad og Kathe Møgelvang
Forsidefoto: DMU / Gösta Kjellsson

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Tryk: Silkeborg Bogtryk, miljøcertificeret (EMAS reg. nr. DK-S-0084)
Papir: Trykt på Cyclus Print, 100% genbrugspapir med vegetabiliske
trykfarver uden opløsningsmidler. Omslag lakeret med vegetabilisk lak.
Sideantal: 40
Oplag: 3.000

ISSN: 0909-8704
ISBN: 87-7772-430-5

PDF-udgave:
ISSN: 1399-4999
ISBN: 87-7772-471-2

(I de elektroniske udgaver er udeladt fotos fra billedbureauer)

Pris: 60,- kr.
Klassesæt á 10 stk: 200,- kr.
Abonnement (5 numre): 225,- kr.
(Alle priser er incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Købes i boghandelen eller hos:

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsøvej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tel: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

Miljøbutikken
Information og bøger
Læderstræde 1
1201 København K
Tel: 33 95 40 00
Fax: 33 92 76 90

| | |
|--------------------------------------|----|
| Indledning | 5 |
| Hvad er en gensplejset plante? | 7 |
| Egenskaber | 14 |
| Risikovurdering | 27 |
| Etiske holdninger til bioteknologien | 31 |
| Fremtidsperspektiver | 33 |
| Sammenfatning | 34 |
| Uddybende litteratur | 35 |
| Ordliste | 36 |
| Danmarks Miljøundersøgelser | 38 |
| Tidligere TEMA-rapporter fra DMU | 39 |

FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON



Indledning

Brugen af gensplejsede planter er på mange måder ved at ændre fremstillingen af fødevarer og de produkter, som til dagligt møder forbrugerne i butikkerne. I løbet af en forholdsvis kort periode fra midten af 80'erne er der foregået en intensiv udvikling af genetisk modificerede afgrøder. En af de vigtigste fordele med gensplejsningen er, at forskerne hurtigt kan udvikle nye sorter med præcis de egenskaber, der ønskes.

Udviklingen startede i Nordamerika, hvor der alene i USA indtil dato er blevet givet mere end 18.000 tilladelser til forsøg, mens der i EU-landene indtil dato er givet godt 5.000 tilladelser til forsøg (svarende til ca. 1.000 forsøgsanmeldelser). Af disse har hovedparten angået planter, der har fået indsat tolerance mod herbicider, er gjort resistente mod insektangreb eller har fået ændrede nærings- eller indholdsstoffer. De fleste af vore almindelige afgrøder og grøntsager, såsom raps, majs, ris, sojabønne, bomuld, kartoffel og tomat, findes nu i gensplejsede udgaver.

Der er i mange lande en udbredt skepsis i befolkningen mod bioteknologien. Dette skyldes bl.a. almindelig usikkerhed og manglende oplysning om den ny teknologi. Hertil kommer en generel teknologiskepsis, som egentlig er velbegrundet, set i lyset af de mange negative virkninger, som nogle teknologiske landvindinger har haft. Her tænkes især på atomkraften, der aldrig blev

den sikre energikilde, som mange troede i 50'erne, og på brugen af sprøjtemidler i landbruget, der fra begyndelsen af 60'erne har medvirket bl.a. til forringelsen af vores drikkevand. Teknologiens tvedelte Janushoved har set fremad og givet os mulighed for øgede udbytter og mere energi, men har, ved tilbageblik, også forvoldt skader på miljøet.

Miljøgrupper og mange forskere har også stillet spørgsmålstegn ved sikkerheden af bioteknologien. Her har der særligt været fokuseret på risikoen for spredning af de gensplejsede planter eller de indsatte gener til den omgivende natur og de negative effekter, som dette kan få på den økologiske balance i naturen. Miljømyndighederne i mange lande har derfor allerede fra starten stillet strenge krav til forsøgsudsætninger, og EU har været restriktiv med godkendelse af produkterne til markedsføring. I Danmark har der været forsøgsudsætninger med gensplejsede roer, raps og kartofler gennem flere år, og den første markedsføring er på vej – en foderroe der er tolerant over for sprøjtemidlet Roundup. De første produkter baseret på gensplejsningsteknikken er kommet på hylderne i form af et blandingsprodukt af en konventionel og en gensplejset sojabønne, som bruges i en lang række af fødevarer. Dette har gjort spørgsmålet om mærkning af fødevarerne aktuelt.

Det er vort ønske, at dette hæfte kan være med til at give nogle vigtige baggrundsoplysninger til en personlig stillingtagen til den ny teknologi:

- Give indsigt i hvordan de gensplejsede planter bliver lavet.
- Give overblik over hvilke **gener*** der indsættes eller vil blive sat ind i planterne.
- Diskutere de miljømæssige og dyrkningsmæssige fordele samt de mulige ulemper for miljøet.
- Fortælle hvordan myndighederne foretager risikovurderingen af gensplejsede planter.
- Skitsere fremtidsperspektiverne for gensplejsede planter.

Dette hæfte handler især om de miljømæssige aspekter af gensplejsede planter. Men det kan naturligvis ikke stå alene. Den aktuelle debat i medierne bør følges.

I en samlet stillingtagen bør også andre forhold end de miljømæssige inddrages. De samfundsmæssige konsekvenser af den ny teknologi såsom monopolisering af produkter i multinationale firmaer og landmændens udbytte kontra økonomisk afhængighed er væsentlige. De etiske aspekter ved at foretage ændringer i arvmassen er til stadig debat i medierne. Det er vigtigt, at der også på disse områder søges information fra forskellige kilder.

For den, der vil søge dybere, er internettet en vigtig kilde – her kan man bl.a. finde oplysninger fra:

EU (<http://europa.eu.int/comm/dg12/biot1.html>)

OECD (<http://www.oecd.org/ehs/service.htm>)

FN's industriudviklingsorganisation, **UNIDO** (<http://binas.unido.org/binas/>)

og det amerikanske landbrugsministerium, **USDA** (<http://www.aphis.usda.gov/bbep/bp/>)

Oversigt over udsætningsforsøgene findes hos **JRC** (<http://biotech.JRC.it/gmo.htm>)

For Danmark kan oplysninger hentes bl.a. fra:

Miljøstyrelsen (<http://www.mst.dk>), og

Danmarks Miljøundersøgelser, DMU (<http://www.dmu.dk>)

* Ord der er fremhævet med fede typer er forklaret i ordlisten.

Hvad er en gensplejset plante?

Traditionel forædling: historie og begrænsninger

Planter i naturen er gennem årtusinder tilpasset det miljø, hvor de befinder sig. Der opstår hele tiden tilfældige **mutationer**. De fleste mutationer er skadelige og nedsætter plantens **fitness**, men nogle få mutationer kan øge plantens fitness i netop det miljø, hvor planten befinder sig. Disse planter kan f.eks. have en øget frøproduktion og dermed en relativ høj fitness i forhold til andre planter fra samme art. Den gavnlige mutation vil derfor blive mere almindelig, og til sidst vil måske alle planter inden for den pågældende art have den egenskab, som mutationen koder for.

Samtidig med at de første bønder begyndte at høste planter og så frøene på et stykke behandlet jord, blev "miljøet" for disse planter ændret væsentligt. Ændringen af planternes miljø bevirkede, at der blev **selektet** for bestemte egenskaber. Eksempelvis var det en fordel for de første afgrødeplanter at hindre frøspredning og reducere frøhvile, idet disse egenskaber sikrede, at planten blev sået og høstet igen det næste år. Dette gav planterne en evolutionær fordel i det specielle menneskeskabte miljø, som en mark nu engang er. Begrænset frøspredning og reduceret frøhvile medførte, at planterne var bedre egnede som afgrødeplanter, og bønderne har sikkert ret hurtigt fornemmet, at det var en fordel at bruge sådanne ubevidst forædlede frø fremfor at indsamle nye frø fra naturligt

voksende planter. Forædlingen af landbrugsplanter blev derfor allerede i oldtiden en bevidst proces. Bonden opdagede, at hvis man **krydsede** forskellige planter med hver deres nyttige egenskaber med hinanden, ville afkommet i nogle tilfælde have begge egenskaber.

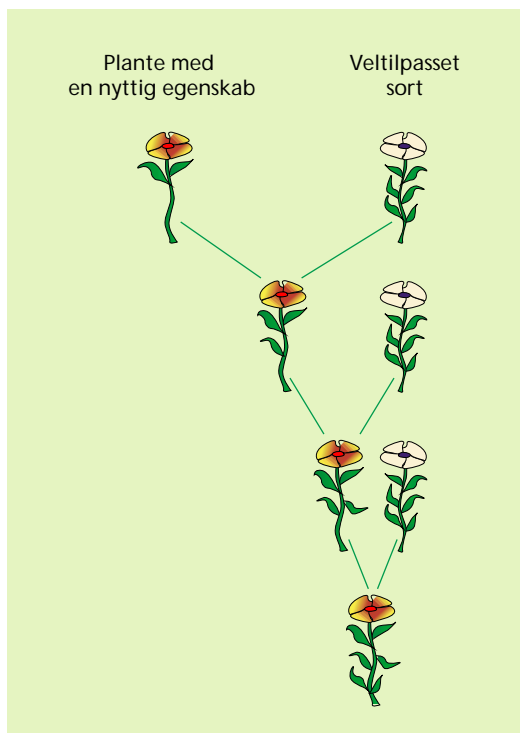
Traditionel forædling af landbrugsplanter er begrænset af, at man på grund af den biologiske **artsbarriere** kun i begrænset omfang kan krydse forskellige arter. Denne begrænsning betyder, at forædleren kun kan udnytte den **genetiske variation**, som findes inden for en planteart og de nærtstående arter, som den kan krydses med. Og da det kun er ganske få af de mange forskellige tilfældige mutationer, som øger fitness for en planteart i dens specielle miljø, er forædleren afskåret fra at bruge en stor del af den potentielt nyttige genetiske variation, som findes i naturen.

Forædleren vil typisk gerne have krydset en eller nogle få nyttige egenskaber ind i en **sort**, som er tilpasset den lokale landbrugspraksis og miljø. Det kan f.eks. være at krydse en fremmed rapssort med en bestemt ønsket oliesammensætning med en velkendt og højtydende rapssort. Problemet er, at man kun er interesseret i de få gener, som koder for de nyttige egenskaber, og ikke i alle de andre gener, som den indkrydsede plante har. Dette problem har forædleren løst ved at krydse afkommet fra den første krydsning med den højtydende sort (tilbagekrydsning). Samtidig skal det

Hvad er en gensplejset plante?

Tilbagekrydsning.

En krydsning mellem en plante med en nyttig egenskab og en veltilpasset sort krydses tilbage til den veltilpassede sort, samtidig med at afkommet hele tiden selekteres for den nyttige egenskab. Efter nogle generationer er den nyttige egenskab integreret i den veltilpassede sort.



sikres, at de egenskaber, man er interesseret i, stadigvæk findes hos afkommet. Tilbagekrydsningen skal foretages adskillige gange, før de fleste af de uønskede gener er væk. Da der normalt kun kan dyrkes en eller to generationer om året, er sådan en tilbagekrydsningsprocedure tidskrævende. Alt efter egenskab, planteart og forædlingspraksis kan tilbagekrydsningerne tage mellem 3 og 6 år.

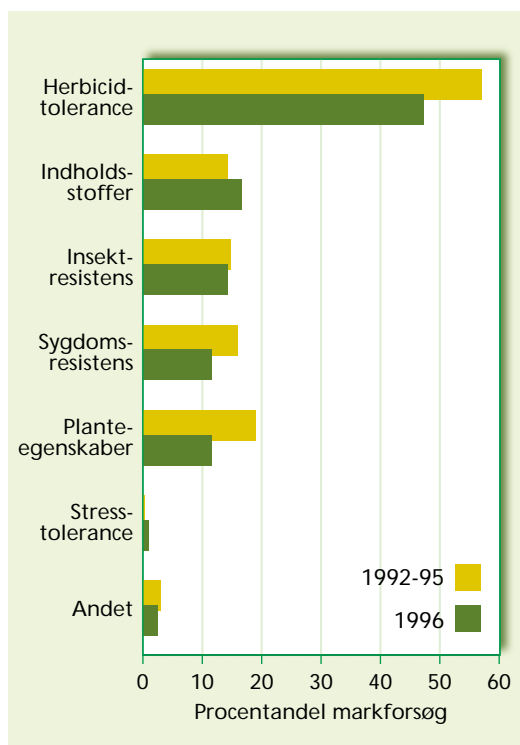
Gensplejsning: muligheder og teknikker

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

Princippet i gensplejsning er meget simpelt: Man tager et ønsket gen (Boks 1) fra en anden organisme og skærer genet ud med et **restriktionsenzym**. Ved hjælp af et andet enzym (**ligase**) "limes" genet sammen med et andet stykke DNA kaldet en **promotor** (Boks 2), som bestemmer, hvor og hvordan genet skal udtrykkes i planten. Gen og promotor sættes ind i en 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.

Rent praktisk opbevares og kopieres de forskellige DNA-stykker ved at indsætte dem i mikroorganismer. Ved forering af mikroorganismen kopieres det indsatte DNA-stykke. Det er således muligt at få fat i et bestemt stykke DNA ved at tage en bestemt mikroorganisme og skære DNA-stykket ud med et bestemt restriktionsenzym.

Det er normalt at lime flere gener sammen, før man splejser det samlede stykke DNA ind i planten. Typisk består det samlede stykke DNA, som indsættes i planten, selvfølgelig af en promotor og det ønskede



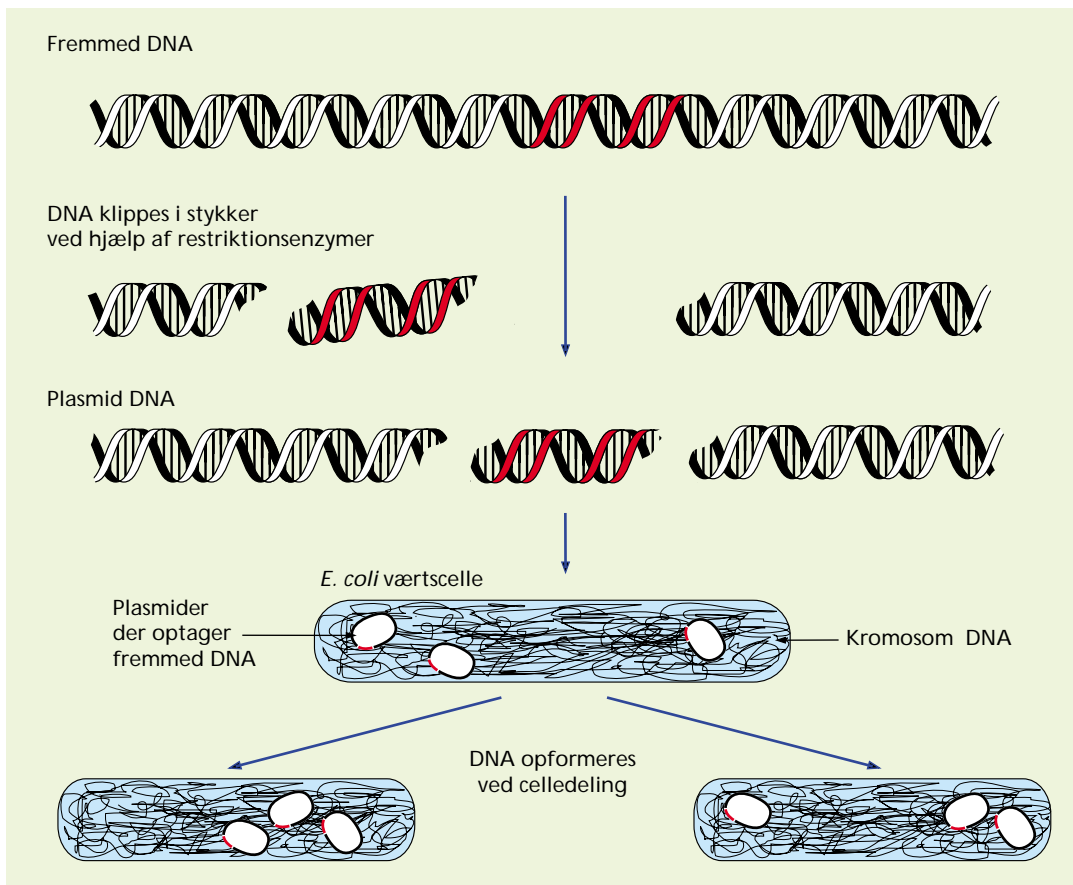
Forsøgsudsætninger i EU. Markforsøg i EU med forskellige gensplejsede planter. Herbicid-tolerance indgår i ca. halvdelen af forsøgene. Mange gensplejsede planter er både herbicid-tolerante og har samtidig et andet gen indsat.

gen, men derudover indsættes op til flere **selektionsgener** og **markørgener** for at lette arbejdet med at finde de mikroorganismer eller planter, som er blevet gensplejset. Det er almindeligt at lime forskellige DNA-stykker sammen med gener, som koder for forskellige typer resistens mod antibiotika (f.eks. kanamycin eller ampicillin). Disse gener bliver f.eks. brugt til at selektere de mikroorganismer, som er resistente mod adskillige antibiotika, hvilket er tegn på, at den ønskede kombination af gener er blevet limet sammen. Da det er besværligt at pille bestemte gener ud, findes sådanne resistensgener mod antibiotika ofte i den gensplejsede plante, selvom de ikke har nogen funktion. Et eksempel på et almindeligt anvendt markørgen er GUS-genet, som farver celler kraftigt blå, hvilket gør det

muligt at se gensplejsede celler under mikroskop.

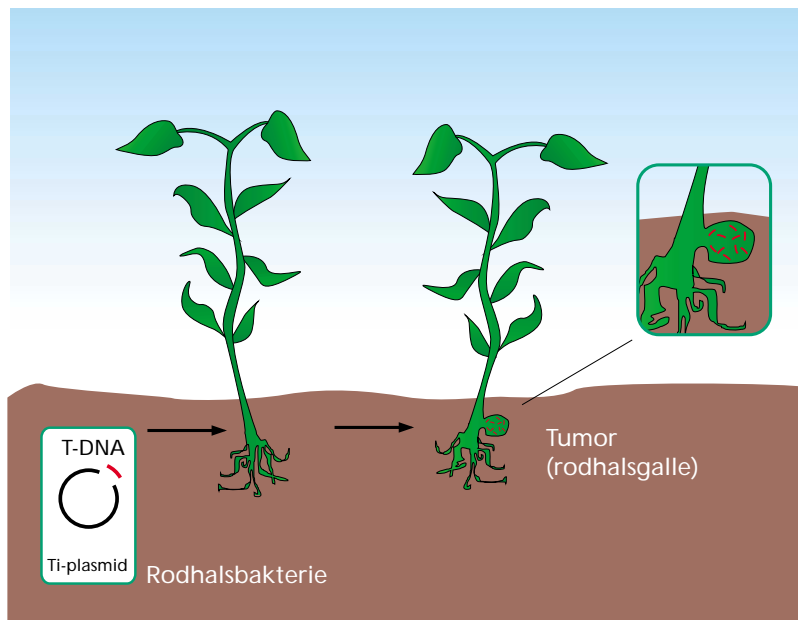
Det samlede stykke DNA indsættes nu i en **udifferentieret plantecelle**, som er en plantecelle, der ikke er specialiseret til en bestemt funktion. Dette kan gøres på flere måder. Her vil vi kort nævne de to almindeligste gensplejsningsteknikker, nemlig ved brug af rodhalsbakterien og ved anvendelse af en partikelpistol.

Rodhalsbakterien (*Agrobacterium tumefaciens*) er en bakterie, som snylter på planter ved hjælp af "naturlig gensplejsning". Bakterien lever i jorden omkring planterødderne. Foruden sit eget genom har den et lille ekstra kromosom (Ti-plasmid), som kan inficere planten gennem rødderne. Når plasmidet er



Gensplejsning. DNA-stykket markeret med rødt bliver splejset ind i et plasmid og opformet i bakterien *E. coli*.

Hvad er en gensplejset plante?



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

kommet ind i en plantecelle, sørger plasmidet 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. Generne, som findes på T-DNA'et, bliver efter indsætningen udtrykt af planten. Bakteriens "interesse" i denne gensplejsning er, at generne sørger for, at der dannes særlige knuder (rodhalsgaller) på plantens rødder. Disse knuder giver næring til bakterien.

Partikelpistol til at "skyde" DNA ind i plantecellerne.



FOTO: SOLVEIG K. CHRISTIANSEN

Hvis man i laboratoriet isolerer Ti-plasmidet fra bakterien og limer de gener, man er interesseret i, sammen med T-DNA'et og samtidig fjerner de gener, som er ansvarlige for rodhalsgallerne, kan man udnytte plasmidet til at overføre forskellige gener til planteceller. Metoden er meget anvendt men har den ulempe, at den ikke kan bruges på enkimbladede planter (bl.a. kornsorterne).

Ved enkimbladede planter er den mest benyttede metode til gensplejsning 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. Disse guldpartikler skydes derefter ind i planteceller, og nogle få af partiklerne rammer på en sådan måde, at DNA-stykket indsættes i plantens genom.

Efter at plantecellen har fået det ønskede gen indsat, opformeres planten fra en cellekultur. Dette gøres ved at tilsætte plantehormonerne auxin og gibberellin. Disse påvirker klumpen af planteceller til at sætte rødder og begynde at vokse. Når planten er fuldt udviklet og sætter frø, undersøger man, om det indsatte gen nedarves som forventet, og hvorvidt gensplejsningen og opformeringen har haft uønskede effekter på planten.

I dag har vi ikke viden nok om genernes funktion til at indsatte egenskaber, som kontrolleres af flere end nogle få gener. Derfor skal egenskaber helst være kodet af et enkelt eller højst nogle få gener for at være interessante for gensplejsning af landbrugsplanter.

Genspredning og bestøvning af dyrkede planter

Det indsatte gen kan spredes på to forskellige måder nemlig inden for arten eller ved krydsning til nærtbeslægtede arter.

Hvis den gensplejsede afgrøde, f.eks. majs, ikke har nogen nær slægtning i Danmark, kan den ikke krydses med naturlige arter. En spredning kan da kun foregå ved, at den gensplejsede plante eller planter fra samme art, som er krydset med en gensplejset plante, er i stand til at invadere naturlige plantesamfund.

En anden situation opstår, hvis afgrøden har en nærtbeslægtet art i Danmark. For eksempel raps, som kan krydses med agerkål. Det er vist i modelberegninger, at gener, som er nyttige for den nærtbeslægtede art (målt i forbedret fitness), kan

spredes fra den gensplejsede plante til den nærtbeslægtede art, selvom hybriderne og de forskellige tilbagekrydsningsgenerationer til den nærtbeslægtede art har lav fitness. Blandt andet vil et gen, som giver resistens over for en plantesygdom, f.eks. meldug, relativt nemt kunne sprede sig til nærtbeslægtede arter, hvis de dermed bliver resistente mod sygdommen.

Næsten alle afgrøder er enårige planter, og de vil ofte have svært ved at etablere sig i naturlige plantesamfund, hvor flerårige planter er dominerende. Mange planter vil derimod relativt let kunne invadere plantesamfund, som ofte bliver forstyrrede, eksempelvis enge, vejkanter, grusgrave og skrænter. Etableringen af gensplejsede planter kan fremmes af egenskaber som forbedrer plantens fitness i miljøet. Sådanne egenskaber kan være frosttolerance eller tilpasning til næringsfattig jord, men også insektresistens eller sygdomsresistens kan forventes at forbedre plantens fitness.

Planternes bestøvning og sikkerhedsafstande

Mange af vore dyrkede planter er afhængige af insekter for bestøvning og frøsætning. Dette gælder f.eks. løg, lucerne og rødkløver. Især er honningbier vigtige som bestøvere, men vilde bier såsom humlebier og enlige bier samt fluer kan også være af betydning. Nogle planter kan klare sig med selvbestøvning eller bestøves via vinden, hvis insekterne ikke er tilstede. Det gælder f.eks. raps, græsserne (bl.a. kornsorterne) – og mange træer, som f.eks. ædelgran og popler, bestøves kun af vinden. Det samme gælder for sukkerroer, bederoer og strandbeder. Vindbestøvede arter har en stor produktion af pollen, som kan spredes over lange afstande (flere kilometer). Hovedparten af pollenet vil dog normalt afsættes tæt ved planten. De insektbestøvede planters pollen spredes normalt over meget kortere afstande, og fordelingen er afhængig af bestøvernes adfærd under fødesøgningen.



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

Honningbier søger ofte efter nektar og pollen i korsblomstrede afgødeplanter som f.eks. raps. De kan derfor overføre pollen med nye gener og egenskaber til vilde slægtninge som agerkål og agersennep.

Inden for frøavl opererer landmændene med sikkerhedsafstande mellem markerne for at forhindre bestøvning med fremmed pollen.

Dette er nødvendigt for at få rene sorter, særlig ved dyrkning af frøafgrøder. Typisk er disse afstande mellem 200 og 400 m. Risikoen for genspredning kan desuden formindskes kraftigt hos insektbestøvede arter ved

- At sikre at der ikke er bistader inden for en 2 km radius fra forsøgsmarken.
- At plante et 5-10 m bredt fangbælte rundt om selve forsøgsfeltet. Dette fangbælte

kan bestå af en samtidig blomstrende ikke-transgen sort af samme art, som vil fange de fleste bestøvere.

- At fjerne alle krydsningspartnere i et bredt bælte rundt om forsøgsmarken.
- Endelig kan selve spredningen af pollen forhindres helt ved at planterne høstes inden blomstring (f.eks. sukkerroe).

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

Boks 1. Genernes funktion

Et gen er et stykke **DNA**, som koder for et **protein**. Proteiner, f.eks. enzymer og strukturproteiner, er en aktiv bestanddel i alle livets processer. Et gen starter med en startkode. Derefter følger koderne for de enkelte aminosyrer i den rækkefølge, som de optræder i det færdige protein, og til sidst er der en stopkode. Den genetiske kode er bestemt af tre **nukleotider** i rækkefølge. Da der er 4 forskellige nukleotider, hvilket svarer til 64 forskellige kombinationer, er der rigeligt med kombinationer til at kode for de 20 forskellige aminosyrer samt start og slut. Hertil kommer, at gener hos højerestående organismer er kendetegnet ved at indeholde såkaldte introns. Det er stykker af DNA, som ikke bliver brugt i afkodningen.

Det er en vanskelig proces at finde relevante gener at indsætte i andre organismer. **Genomerne** i de fleste højerestående organismer er så store, at det er meget arbejdskrævende at **sekventere** hele genomet, og selv om man kender hele den genetiske kode, kan forskerne ikke umiddelbart gætte funktionen af et gen ud fra rækkefølgen af aminosyrerne. På det seneste er det dog blevet muligt at bestemme den omtrentlige form af det

foldede protein ved hjælp af kraftige computere, samt undersøge om det færdige protein er placeret inde i cellen eller eventuelt sidder i celledmembranen. Hvis proteinets aminosyresekvens samtidig minder om et kendt protein fra en anden organisme, er det muligt at komme med sandsynlige bud på genets funktion. Foreløbigt bruges der dog andre teknikker for at knytte en bestemt egenskab sammen med et specifikt gen. Den "klassiske" metode er at lave et meget detaljeret genkort med kendte genetiske markører og derefter i store krydsningsforsøg at bestemme, om en egenskab har en tendens til at være associeret (genetisk koblet) med en bestemt markør. Metoden er dog meget arbejdskrævende. En anden metode er at indsætte små stykker DNA, kaldet transposoner, i et genom. Disse transposoner, som er naturligt forekommende og som på mange måder ligner virus, hopper rundt i genomet. Hvis et transposon tilfældigt hopper ind i et gen, som koder for resistens mod en skadelig svamp, vil den pågældende plante ikke længere være resistent. Ved at udvælge ikke-resistente planter og bestemme hvor transposonet befinder sig, kan man finde genet, som koder for resistens.



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

Boks 2. Sådan regulerer cellerne deres gener

Foran genet sidder den såkaldte promotor-region. Denne indeholder information om hvornår og i hvilke mængder, der skal produceres 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, og proteinet bliver lavet. Bemærk at genet kun bliver udtrykt, når bestemte betingelser er opfyldt. Disse betingelser kan f.eks. være, at nogle andre gener er udtrykt, og sådanne reguleringsmekanismer giver næsten ubegrænsede muligheder for at kontrollere, 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 omtrentlig i hvilke mængder og på hvilket tidspunkt. F.eks. 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, og som kun bliver udtrykt i planterødderne.

Forsøgsmark med et bredt fangbælte af almindelige rapsplanter (i forgrunden) udenom selve forsøgsarealet med gensplejset raps og alm. byg. Dette vil formindske risikoen for, at bestøvere besøger de gensplejsede planter.

Egenskaber

Herbicidtolerance

Ukrudt er for jordbrugere uønskede planter, fordi de konkurrerer med afgrøden om lys, plads, næringsstoffer og vand. Tilstedeværelsen af ukrudt forringer derfor høstudbytte og kvalitet. I det ældste agerbrug var der ikke stor forskel på afgrøde og ukrudtsarter. Man ved f.eks., at oprindelige former af nogle af vores mest værdifulde kornarter, f.eks. rug og havre, optrådte som ukrudt i oldtidens hvedemarker.

Ukrudtsbekæmpelse har altid spillet en stor rolle i landbruget. Tidligere var lugning, jordbearbejdning og sædskifte de væsentligste midler, men gennem de sidste 50 år har kemisk ukrudtsbekæmpelse fået en større og større betydning. Herbicider (ukrudtsmidler) er udviklet til at slå planter ihjel, idet de hæmmer livsvigtige processer i planten. Brugen af herbicider til bekæmpelse af ukrudt er betinget af, at man kan finde den dosering, der slår ukrudtet ihjel, men ikke skader afgrøden. Nogle herbicider

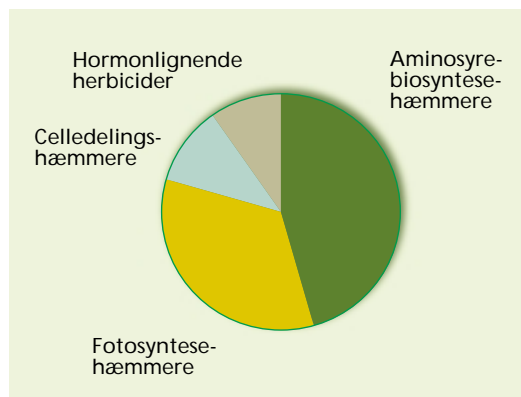
virker selektivt, f.eks. kan græsukrudt (enkimbladede) i roer (tokimbladede) bekæmpes med selektive midler. Andre herbicider, kaldet totalherbicider, rammer alle arter. Disse benyttes før afgrøden er kommet op. Det gælder f.eks. glyphosat og glyfosinat-ammonium, bedst kendt som henholdsvis Roundup og Basta.

Brugen af mange herbicider medfører væsentlige problemer både sundhedsmæssigt og i miljøet. En række af de stoffer, som er mest giftige for planter, findes blandt lipid-biosyntese-hæmmerne. Disse er i dag forbudt i Danmark. Det største problem ved de midler, der stadig anvendes, er udvaskningen af herbicidet eller dets nedbrydningsprodukter. Det kan nemlig føre til forurening af vandløb og grundvand. Man er derfor meget interesseret i at finde alternativer til disse miljøfarlige herbicider.

Udviklingen af herbicidtolerante afgrøder, dvs. afgrøder der tåler herbicider, åbner for nye muligheder inden for ukrudtsbekæmpelse. De første planter, der havde udviklet resistens over for et ukrudtsmiddel, fandt man for godt 20 år siden på marker, der gennem en årrække gentagne gange var blevet behandlet med det samme ukrudtsmiddel. Her viste det sig umuligt at behandle ukrudtet. Fundet af resistent ukrudt var starten til en intensiv forskning i de mekanismer, der medfører resistens. Denne forskning danner baggrund for den senere udvikling af gensplejsede afgrøder med herbicidtolerance.

Herbicidtolerancegener kan både indsættes som en selektiv markør til brug i laborato-

Forbruget af herbicider i Danmark i 1997 angivet som antal hektar, der er sprøjtet. Samlet er 3.885.926 ha behandlet med herbicider. Forbruget er grupperet efter struktur og virkningsmåde af stoffet. Glyphosat hører til aminosyre-biosyntese-hæmmerne og anvendes på 18,5% af det samlede areal.

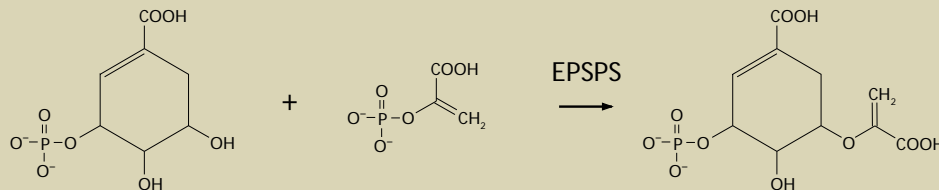


riet og som en egenskab til brug i marken. Hvis man kan indsætte et gen, der gør afgrøden tolerant over for et totalherbicid, kan landmanden i princippet bekæmpe al ukrudt med dette middel uden at skade afgrøden væsentligt. Forskningen i herbicidtolerante afgrøder har derfor primært været rettet mod totalherbiciderne. Der gennemføres i dag navnlig forsøg med tolerance over for glyphosat og glufosinat-ammonium (Boks 3). Indtil 1998 er der i EU

givet tilladelse til 966 forsøgsudsætninger af gensplejsede planter. Heraf var 648 herbicidtolerante. Afgrøder med resistens over for glyphosat eller glyfosinat-ammonium tegnede sig for 45% og 47% af disse. Markedsføringsansøgningen i EU af den første Roundup-tolerante foderroe, der er udviklet i Danmark, er færdigbehandlet. Det er i skrivende stund ikke afgjort, om foderroen opnår tilladelse til almindelig dyrkning.

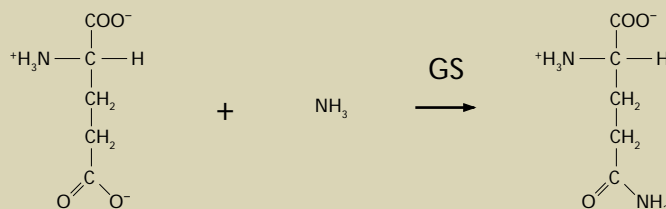
Boks 3. Både glyphosat og glufosinat-ammonium hæmmer dannelsen af bestemte aminosyrer i planteceller

Glyphosat hæmmer enzymet 5-enolpyruvylshikimat-3-fosfat synthase (EPSPS) i shikimat-kæden og blokerer derved dannelsen af de aromatiske aminosyrer (phenylalanin, tyrosin og tryptophan). Disse aminosyrer dannes i planter, men dannes ikke hos mennesker og dyr, som får dem gennem maden. Glyphosat er derfor kun farligt for dyr og mennesker i meget høje koncentrationer i modsætning til andre herbicider, som kan have en toksisk virkning ved mellemhøje koncentrationer.



I den glyphosat-tolerante afgrøde indsættes et ikke-følsomt EPSPS-enzym fra *Agrobacterium* og et bakterielt glyphosat-oxidase-gen.

Glufosinat-ammonium hæmmer enzymet glutamin-synthase (GS) i glutamin-syntesen. Det bevirker, at der ophobes ammonium i koncentrationer, som er giftige for planten.

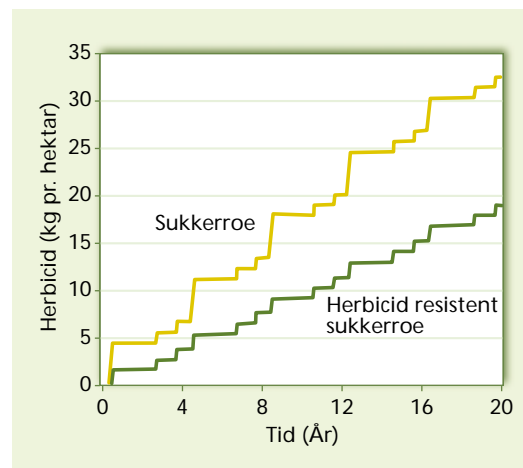


I glufosinat-ammonium-tolerante afgrøder er indsat et acetyltransferase-gen fra bakterien *Streptomyces viridochrogenes*. Genet inaktiverer glufosinat-ammonium.

Miljømæssige effekter ved dyrkning af herbicidtolerante afgrøder

Problemerne med de kendte ukrudtsmidler har medført stor interesse for at udvikle herbicidtolerante afgrøder ved gensplejsning. Roundup-tolerante afgrøder forventes at kunne medføre miljøforbedringer, idet Roundup anses for at være relativt miljøvenligt i forhold til andre herbicider. Udvasning af Roundup til grundvandet er endnu ikke påvist, men nedbrydningsproduktet AMPA (aminomethylpropionsyre), som dog ikke nødvendigvis behøver at stamme fra Roundup, er rapporteret fundet i grundvandet i England. De meget omtalte fund af AMPA i Danmark har dog ikke kunnet verificeres. Anvendelsen af gensplejsede herbicidtolerante afgrøder kræver imidlertid grundige undersøgelser af de mulige miljømæssige effekter. Her vil vi se nærmere på de effekter, der er i forbindelse med herbicidtolerance, hvorimod en generel præsentation af den miljømæssige risikovurdering findes i et senere kapitel. De miljømæssige effekter knytter sig specielt til tre forhold:

- Ændringer af anvendelsen af herbicider
- Spredningen af tolerancegenet
- Påvirkningen af naturen i marken



Herbicidforbruget for en 20-årig periode i et sædskifte med roer-byg-hvede-hvede. Figuren viser det kumulerede forbrug for dyrknings-scenarier, hvor roen er dyrket med traditionel sprøjtning eller med gensplejset roe med tolerance over for herbicid. (Efter Madsen *et al.* 1996).

Ændringer i anvendelsen af herbicider

Sprøjtning med herbicider undgås ikke ved dyrkning af gensplejsede herbicidtolerante afgrøder. Spørgsmålet er imidlertid, om forbruget af herbicider ændres, og om landmændene vil blive afhængige af bestemte herbicider. Det vil kræve forsøg over mange år at besvare dette spørgsmål eksperimentelt. Forskere ved Landbohøjskolen har derfor ved hjælp af matematiske modeller forsøgt at vurdere herbicidforbruget i sædskifter med henholdsvis gensplejsede sukkerroer og gensplejset raps. Beregningen viste, at i et sædskifte med roer-byg-hvede-hvede kan herbicidforbruget i kg aktivt stof nedsættes ved dyrkningen af glyphosat- og glufosinat-ammonium-tolerante bederoer. Beregningen af forbruget med herbicidtolerant raps i et sædskifte med vintersorter af raps-hvede-hvede-byg viste derimod ikke et nedsat forbrug af herbicid. Ud fra modeller som disse er det vanskeligt at sige noget entydigt om fremtidens forbrug af herbicider, da det var forudsat, at sprøjteadfærden vil være uændret. Samtidig er



FOTO: MILJØSTYRELSEN / BENT LAUGE MADSEN

effekten af herbicidet ikke kun knyttet til mængden af aktivt stof, men i høj grad også til det areal det anvendes på. Sædskifter med bederoer optager i dag kun omkring 10% af landbrugsarealet i Danmark. Endelig er der problemet med spildplanter. Spildplanter af f.eks. Roundup-tolerant raps kan ikke fjernes med Roundup. Det medfører, at der fortsat er behov for herbicider med andre virkemåder.

Spredning af tolerancegenet

Spredningen af tolerancegenet kan ske via afgrøden, hvis den kan overleve uden for marken, og ved krydsning med nært beslægtede arter (hybridisering). Der anvendes normalt ikke herbicider i naturen. Afgrøder eller hybrider, der bærer tolerancegenet, vil derfor ikke have en konkurrencemæssig fordel af egenskaben. I naturen vil egenskaben derfor med tiden blive selekteret bort. I marken er der derimod risiko for, at tolerancegenet kan spredes til beslægtede ukrudtsarter. Forskere på Forskningscenter Risø har vist, at genet for herbicidtolerance kan overføres fra raps til det almindeligt forekommende ukrudt agerkål. Den umiddelbare konsekvens af overførsel af herbicidtolerance er, at ukrudtet ikke kan fjernes med det pågældende herbicid.

Påvirkningen af naturen i marken

Udviklingen af herbicidtolerante afgrøder kan føre til en meget effektiv ukrudtsbekæmpelse. Naturen i agerlandet vil derfor blive fattigere. Ukrudt er, selvom det er uønsket i landbruget, i høj grad med til at give landbrugslandet en landskabs- og naturmæssig værdi, som mange mennesker sætter pris på. Ukrudt er desuden en væsentlig fødekilde for mange insekter og fugle. Insekter, der lever på blandt andet snerlepileurt og lugtløs kamille, indgår i føden for lærkeunger og unger af hønsefuglene (agerhøns og fasaner). Hvis herbicidtolerancen medfører en mere effektiv bekæmpelse af disse ukrudtsarter, vil det få

afgørende betydning for fuglelivet i agerlandet. Afgrøder med resistens over for et totalherbicid kan muligvis sprøjtes senere end almindelige afgrøder, således at ukrudtet overlever i længere tid. Der foreligger dog ingen undersøgelser, der viser, om dette giver forbedrede forhold for faunaen i agerlandet.

I markrande, der ikke påvirkes af sprøjtning med herbicider, trives den vilde ukrudtsflora med velligtende kamille, kornblomst og korn-valmuer.



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

Boks 4. Fremtidens ukrudtsbekæmpelse?

Fremtidens ukrudtsbekæmpelse sker sandsynligvis ikke med herbicidtolerante afgrøder og sprøjtemidler. Der foregår i dag en intensiv forskning inden for udnyttelsen af allelopatiske stoffer til ukrudtsbekæmpelse. Allelopatiske stoffer er plantegifte, der udskilles fra levende eller døde plantedele, med en negativ effekt 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 rødderne af træet dels fra nedfaldne blade og hæmmer spiring af en lang række af plantearter selv ved meget lave koncentrationer. Blandt afgrødearterne kendes allelopatiske stoffer fra byg. Mange laboratorier er involveret i isoleringen af plante-

gifte, der er virksomme over for ukrudtsarter, og i lokaliseringen af de gener, der er ansvarlige for produktionen. Ved hjælp af gensplejsning vil disse gener blive indsat i afgrødeplanterne, så de bliver i stand til selv at bekæmpe ukrudtet.

Gensplejsede planter med indsat allelopatisk effekt vil umiddelbart medføre miljøforbedringer, da kemisk ukrudtsbekæmpelse kan begrænses eller helt undgås, hvis plantegiften rammer alle afgrødens betydningsfulde ukrudtsarter. Spredningen af planter med allelopatiske egenskaber til naturen kan – i modsætning til herbicidtolerante planter – forventes at medføre store problemer i naturen, navnlig hvis plantegiften er bredspekret, dvs. virker over for mange arter.

Resistens mod skadedyr og sygdomme

Skadedyr og plantesygdomme kan beskadige afgrødeplanter i en sådan grad, at det giver økonomiske tab for dyrkeren. Disse organismer omfatter blandt andet sygdomsfremkaldende svampe som meldug og rust, plantevirus, og planteædende insekter som bladlus, larver af sommerfugle og biller. Grænsen for, hvornår skader er uacceptable, er afhængig af afgrøden. I grøntsags- og frugtafgrøder, der er beregnet til menneskeføde, vil synlige skader normalt ikke være acceptable. I planter beregnet til dyrefoder er kosmetiske skader uden betydning.

Der findes en række måder at reducere omfanget af skaderne på. For det første har forædleren udviklet afgrøder, der har resistens mod plantesygdomme. De bygsorter, der bliver brugt i 1998, har typisk resistens over for bestemte typer af meldug.

Dernæst er dyrkningen tilrettelagt med sædskifte og randafrøder, således at skadedyrenes angreb reduceres. Disse tiltag er dog ofte utilstrækkelige, og bekæmpelsen af skadedyr bygger i dag hovedsageligt på sprøjtemidler.

Sprøjtemidlerne er generelt effektive over for skadedyrene og plantesygdommene, men når landmanden sprøjter, vil det i mange tilfælde også have effekt på organismer, det ikke var hensigten at ramme (de såkaldte ikke-målorganismer). Disse organismer omfatter blandt andet planteædende insekter, der spiser ukrudtsplanter, rovdyr der spiser skadedyr, og svampe som nedbryder dødt plantevæv. Derudover rammes en række arter, som forekommer uden for det dyrkede areal, hvis sprøjtemidler transporteres med vinden. Af andre uønskede effekter kan nævnes, at sprøjtemidler kan fordampe og eventuelt ende i regnvandet, eller de kan sive ned til grundvandet og

hermed vort drikkevand. I de senere år er en række drikkevandsboringer blevet lukket på grund af forekomst af sprøjtemiddelrester. Forekomsten af sprøjtemidler i drikkevandet kan udgøre et sundhedsproblem.

Gensplejsede planter med et indsat gen, der koder for resistens imod planteædende insekter eller sygdomsfremkaldende svampe, fremstår på mange måder som et godt alternativ eller supplement til de traditionelle metoder. Ved brug af en gensplejset afgrøde forekommer der ikke direkte transport af kemiske stoffer til omkringliggende arealer eller til grundvandet. Endvidere kontrolleres skadedyr og plantesygdomme gennem hele plantens vækstsæson i modsætning til sprøjtemidler, der kun har en begrænset levetid på grund af biologisk og fysisk nedbrydning af de virksomme stoffer.

Naturligt forekommende resistens

I langt de fleste tilfælde genkender en plante en sygdomsfremkaldende svamp eller viruspartikel og forsvare sig effektivt imod den. Svampe og viruspartikler kan kun angribe et begrænset antal forskellige værtsplanter. Mange sygdomsfremkaldende organismer angriber kun en enkelt art. Groft sagt kan man altså sige, at alle de andre plantearter er resistente mod sygdommen.

Planter har i store træk to forskellige forsvarsmekanismer mod svampesygdomme. Et specifikt og et uspecifikt. I det specifikke forsvar genkender planten den indtrængende svamp. Hvis planten genkender en svamp, ødelægger planten sit eget væv i et lille område omkring den indtrængende svamp (hypersensitiv celledød), og svampen vil dø af sult i løbet af kort tid, fordi den kun kan leve af levende celler. Selve genkendelsen af svampen kan sammenlignes med menneskets immunsystem. Genkendelsen er kontrolleret af et enkelt gen. Derudover har planterne et uspecifikt



FOTO: DMU / INGELISE LAURIDSEN

Den store kålsommerfugl er et eksempel på et insekt, der kan forårsage store skader på en række kålgrøder. På billedet er det en rapsplante, der er blevet angrebet.

forsvar mod svampesygdomme. Ved forsøg har man vist, at hvis der splejses nogle virusgener ind i plantens genom, bliver planten resistent mod det pågældende virus. Det er typisk de gener, som koder for **viruskappen**. Denne opdagelse bliver i praksis udnyttet til at lave resistente afgrøder ved hjælp af gensplejsning.

Nogle afgrødeplanter har ved naturlig og kunstig selektion opnået resistens mod skadedyr. Denne resistens kan være forårsaget af såvel fysiske egenskaber ved planten (eksempelvis behåring eller torne) som af ændret indhold af kemiske stoffer i planten. Forskerne arbejder i disse år på at indsætte gener, der øger produktionen af nogle specifikke kemiske stoffer, der er virksomme over for skadedyr og sygdomme.

De såkaldte sekundære plantestoffer og proteinasehæmmere er eksempler på stoffer, der har vist sig at være et effektivt forsvar mod planteædende insekter og mod angreb af bakterier eller svampe. Sekundære plantestoffer er en gruppe af stoffer, der ikke indgår direkte i plantens primære stofskifte. Man regner med, at de er udviklet primært som forsvar mod indtrængende organismer. Disse stoffer har mange forskellige måder at virke på. Proteinasehæmmere

er proteiner, der hæmmer de enzymer, som er ansvarlige for nedbrydning af proteiner til aminosyrer i fordøjelsessystemet. Ved høje koncentrationer af disse stoffer i føden kan der opstå mangel på nødvendige aminosyrer hos den planteædende organisme.

Bacillus thuringiensis-toksiner

Planter, som er i stand til at danne *B.t.*-toksiner, er på nuværende tidspunkt den mest succesrige metode til fremstilling af resistens ved hjælp af gensplejsning. *B.t.*-toksiner er proteinkrystaller, der produceres af bakterien *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*) i forbindelse med sporedannelse.

Toksinet er giftigt over for larver af myg, sommerfugle og biller. *B.t.* findes naturligt både i jorden og på bladoverflader. Når toksinet bliver spist af insekter, bindes det til **receptorer** på tarmvæggen. Her bevirker toksinet, at der dannes åbninger i cellevæggen, således at cellerne i tarmvæggen nedbrydes. En grundigere gennemgang af processen kan findes i Temarapport nr. 14 fra DMU. Når tarmvæggen ødelægges, er insektet ikke længere i stand til at optage føden, og der er ikke længere en effektiv barriere mellem skadelige tarmbakterier og blodbanen. Til slut vil insektet dø af enten fødemangel eller for stor forekomst af skadelige tarmbakterier i blodbanen. Der findes mange forskellige *B.t.*-toksiner, som hver har sine værter. Nogle *B.t.*-toksiner er kun effektive over for sommerfuglelarver, mens andre kun virker på billelarver. *B.t.*-toksinet bliver i mindre udstrækning brugt som sprøjtemiddel i Europa, men er meget anvendt i USA og Canada.

Brugen af insektresistente afgrøder

På nuværende tidspunkt anvendes i USA tre afgrøder, der har fået indsat et gen, der koder for dannelsen af *B.t.*-toksiner. Det drejer sig om majs, kartoffel og bomuld. Den genetisk modificerede majs er også tæt på at blive godkendt til dyrkning i EU. En lang række andre planter er ved at blive udviklet med resistens mod et eller flere skadedyr.

Anvendeligheden af de markedsførte *B.t.*-planter vil afhænge meget af insekternes evne til at udvikle tolerance over for det givne toksin. Det er kendt, at insekter i stor udstrækning udvikler resistens mod sprøjtemidler, hvis de samme midler bliver brugt igen og igen i det samme område. Der er mere end 500 registrerede eksempler på insektarter, der har udviklet resistens mod forskellige kemiske insektmidler.

Økologiske effekter af insektresistente afgrøder

Som nævnt ovenfor er der en række mulige fordele ved at bruge de gensplejsede afgrøder, men der er også visse risici. Problemerne ved insektresistente planter knytter sig specielt til fire forhold:

- At de genetisk modificerede planter kan blive mere konkurrencedygtige end de naturligt forekommende plantearter og invadere naturlige plantesamfund.
- At de genmodificerede afgrøder kan blive et problem i andre afgrøder.
- At ikke-målorganismer kan påvirkes.
- At "ukrudtsflora" på de dyrkede arealer kan ændres og derved påvirke det tilknyttede dyreliv.

Spredning af resistente afgrøder til naturlige plantesamfund

De fleste af vores markafgrøder spredes normalt ikke nævneværdigt uden for det dyrkede areal. Det kan skyldes, at arterne har en lille frøspredning, dårlig etablerings-evne, eller har en dårlig konkurrenceevne i forhold til de naturligt forekommende planter. Men hvis insektresistente markafgrøder får en øget konkurrenceevne i de naturlige økosystemer, fordi planteædende organismer eller sygdomme normalt ville nedsætte deres konkurrenceevne, så vil disse genmodificerede planter måske kunne spredes til plantesamfund uden for agerlandet. Noget sådant er sket, hvor arter er eksporteret til kontinenter, hvor de normalt ikke forekommer, og hvor der ikke er nogen

Elektronmikroskopibillede af bakterien *Bacillus thuringiensis*. Øverst i bakterien ses det proteinkrystal, der er giftigt for en række planteædende insekter.



FOTO: KVL / J. EILENBERG OG FEMS / P. H. DAMGAARD



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

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

skadedyr eller plantesygdomme, som er tilpasset til planten. Et eksempel er en figenkaktus, der i 1839 blev importeret fra det amerikanske kontinent til Australien. Her spredtes den og blev en plage i mange områder. I 1925 dækkede planten således 24.000 km². For at kontrollere kaktussen importerede man en natsommerfugl fra Argentina, som var effektiv over for kaktussen, og siden 1940 er kaktussen kun forekommet spredt i små grupper.

Vil genmodificerede planter blive til problemkrudt ?

Afgrøder med frøspild kan blive til ukrudt i andre afgrøder. Dette er specielt kendt som et problem for raps. Problemet kan muligvis blive større med insektresistente afgrøder. Planter, der ikke hæmmes af planteædende insekter, kan få en forøget konkurrenceevne

i forhold til andre afgrøder. De kan derfor få en større frøproduktion, således at der er flere frø i jorden, der kan spire frem året efter.

Effekter på ikke-målorganismer

Afhængig af resistensmekanismen er det muligt, at brugen af resistente afgrøder kan have uønskede effekter på arter, det ikke var meningen at ramme. Det drejer sig f.eks. om **nedbrydersamfundet** i marken, der kan påvirkes af planterødder eller døde planterester, som indeholder toksiner. Der kan også være effekter på større planteædere som sanglærker, agerhøns og andre af agerlandets fugle, og på pattedyr som harer og rådyr, der æder af planterne eller deres frø.

De døde planterester nedbrydes i jorden af regnorme, springhaler, mider, rundorme (nematoder), encellede dyr (protozoer), svampe og mikroorganismer. 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, kan de i en tid være aktive over for organismer i nedbrydersamfundet.

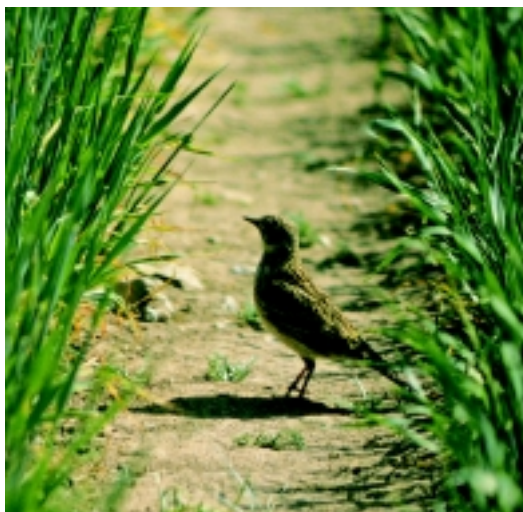
Rapsfrø kan overleve i jorden i mange år efter, at planterne har været dyrket. Når de spirer, kan rapsplanterne blive et ukrudt i f.eks. bygmarker, hvor landmanden normalt vil bekæmpe dem med herbicider.



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

Fugle, der finder deres føde i marken, kan også rammes indirekte ved, at der bliver mindre føde til rådighed. Sanglærken og agerhønen er eksempler på arter, hvor ynglesuccesen er afhængig af mængden af insekter i marken.

FOTO: DMU / ARNE RIIS



Effekten afhænger af, hvordan planterne har opnået resistens over for insekterne. Nogle af de resistens-mekanismer, der arbejdes på at indsætte i planter, kan være effektive over for en række organismer. Eksempler på resistensmekanismer der kan ramme bredt er: Et forøget indhold af proteinasehæmmere og et forøget indhold af sekundære plantestoffer. Disse stoffer kan utilsigtet ramme arter, der lejlighedsvis spiser af afgrøderne såsom rådyr, harer, lærker og agerhøns.

FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON



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.

Mere specifikke resistensmekanismer, som *B.t.*-toksiner, vil derimod primært være virksomme over for organismer, der er beslægtede med skadedyr, idet de er målrettet mod denne gruppe. En enkelt undersøgelse har således fundet, at springhaler kan være følsomme over for *B.t.*-toksiner.

Stresstolerance

De dyrkede planter kræver gode vækstbetingelser for at give stort udbytte. I nogle områder udsættes planterne for fysisk stress som tørke, kulde, frost og salt. I store dele af Mellemøsten og Afrika er der så sparsom nedbør, at der må kunstvandes. Samtidig gør en høj fordampning, at forskellige salte (især natriumklorid og natriumkarbonat) koncentrerer i jordoverfladen. Kraftigt solskin og høje temperaturer udsætter planterne for en stresspåvirkning, der gør, at planternes fotosyntese virker dårligere. Tilsammen gør disse forhold, at planternes vækst og udbytte bliver mindre. For at dække fødebehovet i tørkeområderne er det naturligt, at man er interesseret i at udvikle stresstolerante genotyper, der er bedre tilpasset det lokale miljø. En effektiv vej kunne være at udnytte bioteknologiske fremgangsmåder. Indtil videre er dette dog stadig på forsøgsstadiet, og stresstolerante gensplejsede planter er endnu ikke kommercielt tilgængelige. Dette skyldes bl.a. tekniske vanskeligheder, idet effektiv tørketolerance hos planter involverer adskillige fysiologiske og biokemiske reaktioner, der kontrolleres af mange forskellige gener. Udviklingen af en salttolerant ris, tilpasset kystområder i Sydøstasien, bliver dog måske en af de første kommercielt tilgængelige stresstolerante afgrøder.

Mekanismer for tørketolerance

Planterne kan ændres på forskellige måder, så de tåler tørke. De fysiologiske processer kan ændres, f.eks. ved øget produktion af indholdsstoffer, så cellerne beskyttes mod ændringer i saltbalancen. Derved kan

vandoptagelse og omsætning af næringsstoffer stadig fungere. En anden mulighed er at ændre plantens yderste bladlag, så fordampningen reduceres. Dette kan f.eks. ske ved at danne et vokslag på bladoverfladen. Eller vandoptagelsen kan øges ved at ændre rodsystemets dybde i jorden. Der forskes især i at øge produktionen af aminosyren prolin, der beskytter plantecellerne mod ændringer i saltbalancen.

I Tabel 1 er der vist nogle andre eksempler på forsøg med gensplejsning af stresstolerante planter. Det er vigtigt at fastslå, at effektiv tolerance mod en ydre miljøfaktor ofte involverer forskellige egenskaber hos planten. Det kræver derfor ændringer af flere gener, der regulerer processerne i planten, hvilket for tiden er teknisk vanskeligt at styre. Der er dog 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. Endnu er ingen af disse planter dog blevet godkendt til markedsføring.

Økologiske effekter af stresstolerante planter

Når det lykkes at udvikle en transgen stresstolerant plante, er det specielt vigtigt,



FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON

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

at der foretages en grundig vurdering af de miljømæssige effekter inden frigivelse. Salttolerance kan være en del af tolerance-mekanismen mod tørke, så begge disse egenskaber ses nogle gange hos den samme plante. Tørke- og salttolerante planter har særligt gode muligheder for at etableres uden for markerne i tørre eller salt-påvirkede områder. Dette er absolut ikke uden problemer for det naturlige miljø, idet en tørkeresistent plante evt. vil kunne invadere og måske fortrænge den naturlige vegetation. Problematikken er ikke ny – man kender den allerede fra introducerede plantearter, der er indført fra én verdensdel

Tabel 1. Eksempler på mulige veje til udvikling af stresstolerante planter

Bioteknologiske fremgangsmåder og forsøg med gensplejsede egenskaber fra donor-organisme til afgrødeplanter.

| Tolerance over for stress | Mekanisme | Donor | Modtagerplante eksempler |
|---------------------------|--|-------------------|--------------------------|
| Tørke | Produktion af aminosyren prolin, der beskytter mod osmotisk stress | 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 | forsk. fiskearter | kartoffel |

til én anden, hvor de kan give problemer. Et eksempel er rynket rose, der oprindeligt kommer fra Nordøstasien og nu har spredt sig til mange danske strandområder, hvor den fortrænger den oprindelige vegetation.

Bioproduktion og gensplejsede fødevarer

Et af de områder, hvor gensplejsning vil få flest anvendelsesmuligheder, er ved produktionen af indholdsstoffer til brug inden for føde-, lægemiddel- og den kemiske industri. Bioteknologien kan her anvende planterne som "bioreaktorer" til produktion af nye stoffer eller øge produktionen af de naturligt forekommende indholdsstoffer. De vigtigste stoffer, der arbejdes med, er proteiner og aminosyrer, samt kulhydrater og fedtstoffer. Hertil kommer specialiserede produkter såsom immunoglobuliner (vaccine) og andre lægemidler samt enzymer til industrielt brug og bioplast.

Baggrunden for al industriel produktion er et grundigt kendskab til de biokemiske synteseveje og reguleringsmekanismerne i de levende planter. Der foregår i disse år et intensivt arbejde med at studere de forskellige geners indflydelse på reguleringen, hvor forskerne anvender transgene teknikker og ofte arbejder med forsøgsplanter som gåseurt (*Arabidopsis*) og tobak, hvor funktionen af store dele af genomet er kendt. Dette gør, at reguleringsmekanismer og egenskaberne for de nyindsatte gener lettere kan bestemmes.

Produktion af indholdsstoffer til industrien

Der foregår internationalt en intensiv 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 syntesevejene for fedtsyrer, således at planten producerer specielle fedtstoffer. Det drejer sig bl.a. om produktion af sæbestoffer

FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON



Kombinationen af træer og kulde- eller frosttolerance udgør en særlig risiko. Der er foretaget forsøg med transgen frosttolerance hos bl.a. poppel og ædelgran i udlandet. Sådanne træer kan måske påvirke skovsammensætningen og flytte trægrænser i bjergegne og dermed fortrænge den lyskrævende fjeldflora (bjergparti fra alperne).

Tabel 2. Eksempler på produktion af indholdsstoffer i transgene planter

Bioteknologiske fremgangsmåder og forsøg med gensplejsede egenskaber fra donor-organisme til afgrødeplante.

| Stofgruppe | Bioteknologiske ændringer | Donor | Modtagerplante eksempler |
|-------------|---|------------------------------------|--------------------------|
| Proteiner | To enzymer giver øget indhold af lysin i planten | bakterier (f.eks. <i>E. coli</i>) | raps, sojabønne |
| Fedtstoffer | Nye enzymer giver ændret sammensætning af olieindholdet | laurbær/farvetidsel | raps |
| Kulhydrater | Transferase-enzym påvirker produktion af cyclodextrin | bakterie (<i>Klebsiella</i>) | kartoffel |
| Lægemidler | Produktion af humant serum albumin | menneske | kartoffel |

og smøremidler foruden forbedringer af den ernæringsmæssige værdi (Tabel 2). Det er også muligt at forbedre proteinindholdet i kornafgrøder som ris og majs samt stivelses-sammensætningen i kartofler.

I et dansk initiativ har Danisco udviklet en gensplejset kartoffel, hvor den enzymatiske omdannelse af stivelse til sukker er hæmmet. Denne kartoffel tænkes anvendt til produktion af chips, hvor nedsat sukkerindhold giver mindre brunfarvning, hvilket mange forbrugere foretrækker. Det første produkt med ændrede egenskaber, der blev sendt på markedet i USA, var Flavr Savr-tomaten fra Calgene. Den har fået indsat et gen, som hæmmer nedbrydningen af pektin under modningen, så det varer længere, inden tomaterne bliver bløde. Der er også foretaget markforsøg i USA med transgen melon og jordbær med forsinket frugtmodning. Dette gør, at produkterne vil kunne klare længere transport. Forbrugerne skal altså ikke forvente at modtage et friskere produkt, da varerne kan være længere undervejs.

Det vil inden længe være teknisk muligt at lave gensplejsede roer og kartofler til produktion af bioplast (dvs. polyhydroxy-

alkanolat 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. Til industriel produktion af plantefibre foretages der forsøg med at ændre sammensætningen af ligninindholdet i planter som bomuld for at opnå stærkere fibre. 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.

Den farmaceutiske industri vil i de kommende år udvikle flere metoder til bioteknologisk produktion af lægemidler i transgene planter, således som det allerede i dag foregår ved hjælp af mikroorganismer. Forsøg med majs og soja til produktion af humane antistoffer mod bl.a. cancer og Herpes er startet. Dette er sket ved at overføre menneskelige gener til planternes kønsceller sammen med en promotor, der udløser produktion af det fremmede protein i plantecellerne. Fordelene er bl.a. en billigere og mere stabil produktion, end når antistofferne produceres ved hjælp af cellekulturer.

Tomatpuré fremstillet af gensplejsede tomater. Puréen, der har forbedret konsistens kan købes i England. En tydelig mærkning gør, at forbrugeren frit kan vælge mellem den genmodificerede puré og konventionelle produkter.

FOTO: ZENECA AGROCHEMICALS / W. SCHUCH

Økologiske effekter af bioproduktion

Produktionen af bioteknologisk designede stoffer er langt fra uproblematisk under markforhold. Nogle stoffer vil således være giftige for visse grupper af dyr og planter. Omfanget af risici 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 undersøges, om der er toksiske effekter ved planternes nedbrydning i jorden efter høst. Det skal specielt sikres, at der ikke er øget dødelighed af vigtige dyregrupper i jorden såsom nematoder og springhaler – og hvor lang tid nedbrydningen af det toksiske stof og en eventuel giftvirkning varer. Generelle sikkerhedskrav for at forhindre pollen- og frøspredning skal også overholdes. Risikoen for at produktionen vil få negative økologiske effekter kan formindskes kraftigt, hvis planterne dyrkes samlet og i lille skala. Dette vil være muligt ved bioproduktion af lægemidler.

For den ovenfor omtalte kartoffel med ændret stivelsesindhold blev der fra de danske miljømyndigheders side stillet krav om undersøgelser af eventuelle ændringer af frosttolerancen. Hvis kartoffelknoldene utilsigtet får bedre muligheder for at overvintrere i det fri, vil de transgene kartoffelplanter måske kunne spredes ud i naturlige økosystemer, såsom grøftekanter og engområder. Ved kontrollforsøg fandt man dog ikke nogen forskel i overlevelse under kulde mellem knoldene fra en konventionel og en gensplejset kartoffel.

I USA blev en raps med genteknologisk ændret olieindhold i frøene undersøgt for at se, om spiring og overlevelse af frøene var ændret i sammenligning med en konventionel raps. Hvis frøene har ændret dvale- og spiringsmekanismer, kan de måske overleve længere i jorden, og planten kan 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 gensplejsede raps end hos den konventionelle. I Californien var der ikke nogen forskel. Dette eksempel viser betydningen af at tage hensyn til klimatiske forskelle i risikovurderingen af transgene planter.

De miljømæssige problemer ved markproduktion af lægemidler er endnu ikke fuldt klarlagte, 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.

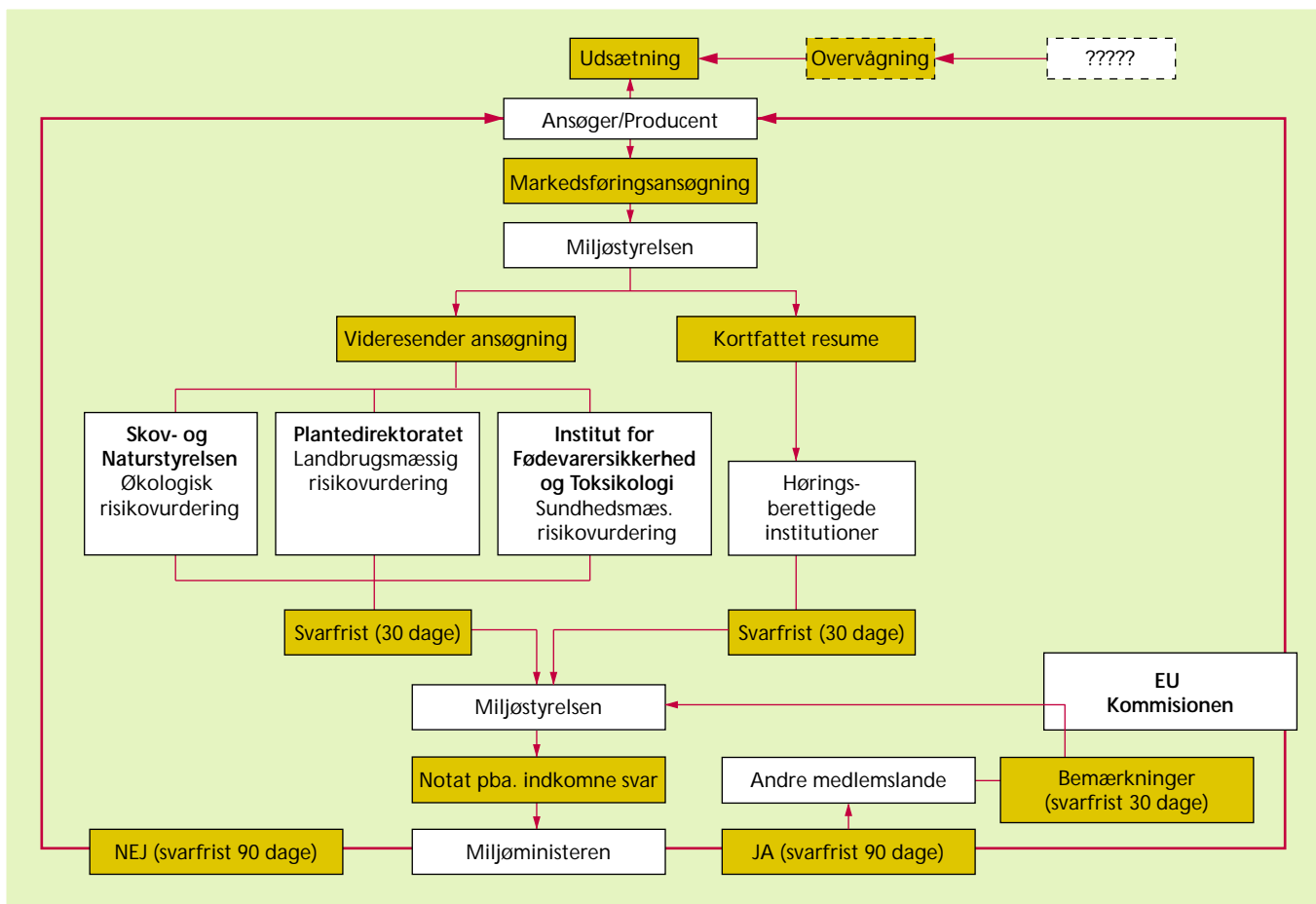
Risikovurdering

Fra laboratorium til mark og forbruger

Udsætning af gensplejede planter skal i følge Lov om Miljø og Genteknologi foregå trinvist. 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 gensplejede levnedsmidler.

De første undersøgelser foretages i pollen-tætte klimakamre og væksthuse. Et af de vigtige tidspunkter er, når planten skal ud af væksthuset. På dette tidspunkt skal der søges om tilladelse til forsøgsudsætning. Hvis der gives tilladelse, udføres forsøg i marken i små kontrollerede forsøgsparcer. Senere afprøves planterne under mere realistiske forhold. Ideen med den trinvisse udsætning er "at pakke planten langsomt ud".

Forløbet af sagsbehandling efter direktiv 90/220/EØF ved en markedsføringsansøgning i Danmark. Overvågning, vist med stiplede signatur, forventes indføjet i direktivet ved den igangværende revision.



Sagsbehandling og risikovurdering

De danske myndigheder træffer afgørelse om ansøgninger om forsøgsudsætninger i Danmark. EU-kommissionen og de øvrige medlemslande orienteres på forhånd, så de har en mulighed for at give 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. Tilsynet med de danske forsøgsudsætninger udføres af amterne. Hvis vilkårene ikke overholdes, skal amterne straks meddele dette til Miljøstyrelsen. I øjeblikket arbejdes der i EU med 36 forskellige afgrøder, men langt de fleste forsøgsudsætninger har været med majs, raps, roe og kartoffel. Siden 1991 har der været 31 markforsøg i Danmark. Det bringer os ind på en ottende plads i EU, hvad angår antal af forsøgsudsætninger. I 1997 var der seks markforsøg i Danmark: Tre med roer, to med kartofler og et med raps.

Ansøgninger om markedsføring behandles efter udsætningsdirektivet 90/220/EØF og involverer alle medlemslande i EU. Det skyldes, at en godkendelse betyder tilladelse til markedsføring inden for hele EU. En ansøgning skal forelægges i ét land, som efter en grundig risikovurdering enten kan afvise ansøgningen eller videresende den til EU-kommissionen med en positiv indstilling. Herefter forelægges ansøgning og indstilling for de øvrige medlemslande til kommentering. Hvis ingen af de øvrige medlemslande gør indsigelser, kan den gensplejsede plante umiddelbart godkendes. Hvis bare ét af landene har indvendinger, skal sagen afgøres ved en flertalsafstemning blandt medlemslandene (Danmark har 3 stemmer ud af 87 stemmer). En revision af udsætningsdirektivet blev påbegyndt i 1997 og er stadig undervejs.

Når markedsføringsansøgninger behandles i Danmark, udarbejder Miljøstyrelsen et notat til Miljø- og Energiministeren, som

FOTO: DMU / GÖSTA KJELLSSON



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.

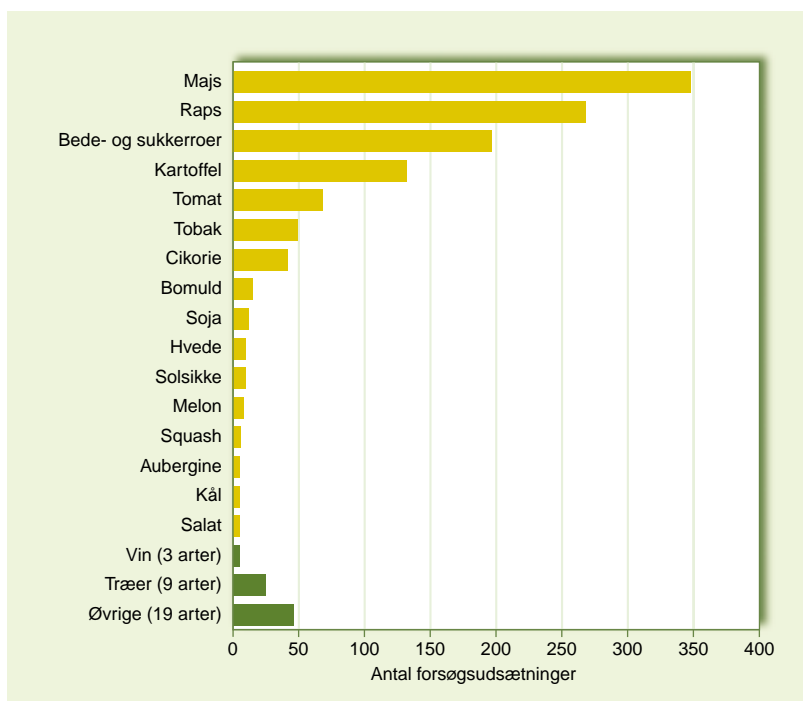
træffer den endelige afgørelse. Notatet udarbejdes på baggrund af en miljømæssig risikovurdering fra Skov- og Naturstyrelsen, en landbrugsmæssig vurdering fra Plantedirektoratet og en sundhedsmæssig vurdering fra Institutet for Fødevarer og Toksikologi (Boks 5). Disse institutioner vurderer konsekvenserne ved at markedsføre den gensplejsede plante ud fra ansøgerens oplysninger og undersøgelser. Om nødvendigt kan de bede om flere undersøgelser eller mere dokumentation. Et kort resumé af ansøgningen sendes til høring hos 45 institutioner, organisationer og græsrodsgrupper, og deres svar indarbejdes i notatet til ministeren.

I EU var der indtil udgangen af 1997 i alt modtaget 17 markedsføringsansøgninger vedrørende gensplejsede planter. Af de 17 ansøgninger er foreløbigt 7 godkendte, mens ingen ansøgning endnu er blevet afvist. Fra dansk side har man i seks sager om godkendelse af herbicidtolerant raps til markedsføring gjort indsigelse mod ansøgningen. Indsigelserne har været begrundet med manglende viden om, hvilken effekt sådanne planter ville få for herbicidforbruget. Den danske regering har desuden i stort set alle sager tilkendegivet, at Danmark ikke kunne støtte en eventuel godkendelse, fordi der ikke har været lagt op til, at produktet ville blive mærket med oplysning om, at det

Forsøgsmark med gensplejsede kartofler. Kartofflerne, der har et større stivelsesindhold, skal anvendes til produktion af chips.



FOTO: SNS / JAN G. HJOLAND



Gensplejsede plantearter anvendt i forsøgsudsætninger i EU fra 21. oktober 1991 til 1. juli 1998. Der er foretaget 1.256 registrerede markforsøg med 47 arter.

var produceret ud fra gensplejsede planter. En folketingsbeslutning fra 1994 pålagde nemlig regeringen at arbejde for, at levnedsmiddelprodukter med gensplejsede organismer skal mærkes. Anvendelsen af selektionsgener, der koder for antibiotikaresistens, er desuden et af de områder, der har været diskuteret meget i forbindelse med markedsføringssagerne. Antibiotikaresistensen vil kunne medføre problemer, hvis resistensen kan overføres til f.eks. vores tarmflora. Man arbejder derfor på at undgå selektionsgener. Foderroen fra DLF Trifolium er verdens første gensplejsede roe uden selektionsgener, idet der kun er indsat et gen for Roundup-tolerance.

Boks 5.

Hvad omfatter en risikovurdering?

Ved risikovurderingen sammenlignes den gensplejsede plante med den tilsvarende ikke-gensplejsede plante bl.a. med hensyn til:

- **Miljømæssige risici**
 - planten selv eller dens gener spredes til naturlige økosystemer og påvirker disse systemer
 - effekter på ikke-målorganismer
- **Landbrugsmæssige risici**
 - planten selv eller nærtbeslægtede arter, der modtager gener ved krydsning, bliver besværlige ukrudtsarter i marken
- **Sundhedsmæssige risici**
 - indhold af giftige eller allergifremkaldende stoffer
 - ændret ernæringsmæssig værdi

Arealmæssigt er dyrkning af gensplejsede planter endnu meget begrænset, men det kan forudses, at gensplejsede afgrøder fremover vil blive dyrket på langt større arealer. Der vil derfor på længere sigt være behov for at tage stilling til såvel direkte som indirekte miljøpåvirkninger. Ved indirekte påvirkninger tænkes blandt andet på effekten på agerlandets fugle, der kan miste fødegrundlaget, hvis insektfaunaen ændres eller forsvinder.

Etiske holdninger til bioteknologien

Ved bioproduktion og gensplejsning er det nødvendigt at tage hensyn til de etiske aspekter ved anvendelsen af arvematerialet fra donororganismerne. De færreste vil have etiske betænkeligheder ved brug af gener fra mikroorganismer såsom virus, bakterier og svampe eller planter. En stor del af vores levnedsmiddelindustri er jo i forvejen baseret på dette. Sagen stiller sig noget anderledes, når vi kommer til højere dyr som fugle, pattedyr og især mennesket. Det er specielt

situationer, hvor gener overføres til helt ubeslægtede organismer, f.eks. fra menneske til plante eller fra fugl til plante, der kan give betænkeligheder. Mennesket har gennem årtusinder ændret sammensætningen af gener og egenskaber hos de dyrkede planter gennem naturlige processer som krydsning og selektion. Den nye teknologi muliggør langt mere drastiske ændringer af arvematerialet inden for et kort tidsrum. Skal disse kunstige organismer overhovedet

FOTO: POLFOTO / JENS TØNNESEN

Demonstration på Århus havn mod gensplejsede sojabønner fra USA.

tillades på vore marker? Dette kan i sig selv synes etisk betænkeligt for mange mennesker.

Der findes to principielle etiske grundholdninger til disse spørgsmål og betæneligheder

- **Den nytteetiske opfattelse.** Kun hensynet til menneskers velfærd er etisk relevant. Hvis en transgen organisme ikke udgør nogen fare for mennesker, er den ikke noget etisk problem.
- **Den pligtetiske opfattelse.** Der er andre hensyn end menneskers velfærd. Anvendelsen af en transgen organisme kan f.eks. være betænkelig, fordi de enkelte arters genetiske integritet overtrædes, artsgrænserne udviskes – eller man kan have den opfattelse, at naturen ikke bør tingsliggøres. En pligtetisk opfattelse kan dække en eller flere af disse betæneligheder.

Man kan ikke ud fra en filosofisk begrundelse give et entydigt svar på, hvilken etisk opfattelse der er rigtig. Derimod kan en opfattelse kritiseres, enten på grundlag af manglende konsistens eller dobbeltmoral. For eksempel, hvis en person uden begrun-

delse kan acceptere anvendelsen af transgen raps, men ikke af en transgen nellike. Uden at gå i detaljer må det konstateres, at en nytteetisk opfattelse er mindre vanskelig at forsvare end den pligtetiske opfattelse. Dette kan bl.a. begrundes med de manipulationer, mennesket allerede har foretaget med planterne ved traditionel forædling. Det synes generelt også at være svært at blive enige om pligtetiske argumenter, da opfattelserne af disse oftest er forskellig fra person til person. Det skal til sidst nævnes, at principperne bag den risikovurdering af transgene planter, som danske myndighederne foretager, bygger både på nytteetiske og pligtetiske principper. For de sundhedsmæssige aspekter gælder primært hensynet til menneskers sundhed. Mens den økologiske risikovurdering for en stor del bygger på truslen mod den oprindelige natur og hensynet til den økologiske balance og dermed indirekte også til menneskets velfærd. I 1997 foretog EU-kommisionen (1997) en undersøgelse af europæernes opfattelse af den ny bioteknologi. De udspurgte fandt, at anvendelse af teknikken til påvisning af sygdomme og til produktion af medicin og vaccine er mest "moralisk" acceptabel.

Fremtidsperspektiver

Vi forventer, at gensplejsningsteknikken bliver en helt almindelig metode til at udvikle nye plantesorter til landbrug og gartneri. Om 10-20 år vil alle de almindelige afgrøder være gensplejsede. De indsatte gener vil sikkert hovedsageligt være tolerance- og resistensgener samt gener, som ændrer kvaliteten af det høstede produkt.

De gener, som bliver sat ind, må forventes at være økonomisk interessante. Dog kan man sikkert forudse, at myndighederne vil stoppe markedsføringen af enkelte sorter, som vurderes risikable for enten miljøet, landbruget eller menneskets sundhed. Vi vurderer, at et muligt problemområde for miljøet vil være resistens mod insekter eller sygdomme. Desuden vurderer vi, at udviklingen af afgrøder, der via udskillelsen af plantegifte selv er i stand til at bekæmpe ukrudt (allelropati), kan medføre alvorlige problemer ved spredning til naturlige biotoper. På lidt længere sigt forventer vi, at selektionsgener (f.eks. antibiotikaresistensgener), som bruges til screening i udviklingsfasen, bliver forbudt i sorter som er klar til markedsføring. Det er også muligt, at myndighederne mere aktivt end nu vil gå ind og støtte bestemte gensplejningsprojekter, som har en miljømæssig positiv effekt.

I øjeblikket afslår økologiske landmænd at bruge gensplejsede sorter på deres marker, hovedsageligt med etiske begrundelser. Det vigtigste i den økologiske tankegang er jo at beskytte naturens kredsløb og undgå industrielle kemikalier som pesticider og kunstgødning. Man kunne forestille sig, at brugen af gensplejsede afgrøder, f.eks. sygdomsresistente sorter, vil kunne gøre det økologiske landbrug mere effektivt og driftssikkert, samtidig med at den overordnede målsætning fastholdes. Så afhængigt af den etiske debat hos de økologiske forbrugere vil gensplejsede planter måske kunne indgå i dansk økologisk landbrug.

Vi forventer, 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, f.eks. medicin, kosmetik, vaske- og rengøringsmidler. Ved hjælp af bioteknologi kunne man undgå en række mellemprodukter i den kemiske produktion. 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.

Sammenfatning

Mennesket har forædlet planter i årtusinder. Det er sket ved at krydse planter med ønskede egenskaber og udvælge de bedste planter blandt afkommet. Det nye ved genteknologien er, at man kan flytte gener mellem fjerntbeslægtede arter, f.eks. fra bakterier eller dyr til planter. I naturen forhindrer biologiske artsbarrierer, at fjerntbeslægtede arter krydses. Derudover muliggør den nye teknologi en hurtig udvikling af nye sorter med ønskede egenskaber i forhold til traditionel forædling.

I Danmark har vi endnu kun set gensplejsede planter på små forsøgsarealer, men det varer ikke længe. DLF Trifolium har den første danske ansøgning om markedsføring af en Roundup-tolerant foderroe til behandling. Roen er udviklet i samarbejde med Danisco og Roundup-fabrikanten Monsanto. En sådan ansøgning bliver vurderet for mulige negative effekter på miljø, sundhed og landbrug (risiko-

vurdering). Vi er også begyndt at se gensplejsede produkter på det danske marked, f.eks. den meget omtalte indførsel af sojabønner. Udviklingen løber hurtigt, og spørgsmålet er, om vi kan forudse vigtige miljømæssige, sundhedsmæssige og landbrugsmæssige konsekvenser.

Dette hæfte omhandler nogle af de egenskaber, som indsættes i dag eller forventes indsat i den nærmeste fremtid. Hæftet har fokus på effekterne på miljøet og ser specielt på mulige økologiske skadevirkninger, som de gensplejsede egenskaber evt. kan forårsage. Der er sat offentlig forskning i gang for at gøre en økologisk risikovurdering mulig. Målet med denne forskning er at give beslutningstagerne grundlaget for at vælge, hvilke gensplejsede egenskaber man trygt kan indsætte i landbrugsplanter uden uønskede økologiske effekter og uden andre former for skadelige virkninger.

Uddybende litteratur

EU. (1997). European opinions on modern biotechnology. Eurobarometer 46.1., European Commission, Directorate General XII, Brussels.

Holtug, N. & Sandøe, P. (1996). Det etiske grundlag for regulering af genteknologi. Gensplejsede planter – regulering og anvendelse, s. 40-51. Teknologirådets rapporter 1996/1, København.

Jensen, S. M. (1992). Økologisk risikovurdering ved udsætning af genetisk modificerede planter. Skov- og Naturstyrelsen, Miljøministeriet, København.

Madsen, K. H., Blacklaw, W. M. & Jensen, J. E. (1996). Simulation of herbicide-use in a crop rotation with transgenic herbicide resistant sugerbeet. Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress, Copenhagen, 1996, pp.1387-1391

Teknologirådet (red.) (1996). Gensplejsede planter – regulering og anvendelse. Teknologirådets rapporter 1996/1, Teknologirådet, København.

Terney, O. (1996). 20 år med genteknologi. Foreningen af Bioteknologiske Industrier i Danmark, København.

Ordliste

artsbarriere: Biologisk forhindring 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.

fitness: Antallet af succesfulde afkom i et givet miljø. Hvis et individ har en relativ høj fitness, har det en relativ stor sandsynlighed for at føre sine gener videre til næste generation i adskillige kopier.

gen: Arveanlæg. Et stykke DNA, som koder for et protein.

genom: Betegnelse for den samlede mængde DNA i en cellekerne.

genetisk variation: Mål for mængden af forskellige gener i en population eller art.

krydsning: Kunstig befrugtning med pollen fra en anden plante.

ligase: Enzym, som limer DNA-stykker sammen

markørgener: Gener, som bliver indsat sammen med det "nyttige" gen, for at man kan se, om gensplejsningen er lykkedes. For eksempel kan man indsætte et gen som farver gensplejsede planteceller blå.

mutationer: Ændringer i den genetiske kode.

nedbrydersamfundet: En samling arter, der nedbryder dødt organisk materiale til mindre kemiske komponenter.

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

promotor: Kontrolregion, som sidder på kromosomet foran genet

protein: Molekyle, som er opbygget af aminosyrer.

proteinasehæmmer: Protein, der hæmmer de enzymer, som er ansvarlig for nedbrydning af proteiner til aminosyrer i fordøjelsessystemet. Ved høje koncentrationer af disse stoffer kan der opstå mangel på essentielle aminosyrer.

receptorer: Særlige steder på cellemembranen, hvor der kan bindes eksempelvis hormoner. I tilfælde af *B.t.*-toksin: steder på tarmvæggen, hvor *B.t.*-toksinet binder til tarmvæggen.

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 metabolisme, men som er kendt for at virke som plantens forsvar mod sygdomsfrem-

kaldende svampe og planteædende insekter.

sekventere: Bestemme rækkefølgen af baserne i et stykke DNA eller aminosyrerne i et protein.

seleksion: Udvælgelse af individer, som har bestemte egenskaber.

seleksionsgener: 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.

sort: En betegnelse for en bestemt afgrøde type (genotype eller population), som kan skelnes fra andre typer af samme afgrøde.

udifferentieret planteceller: (Callusvæv eller sårvæv). Planteceller som ikke er specialiserede til en bestemt funktion.

viruskappe: Proteinstruktur, som beskytter virusets gener mod det omgivende miljø når viruset befinder sig uden for plantecellen.

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljø- og Energi- ministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelse kan rettes til: URL: <http://www.dmu.dk>

| | |
|-----------------------------|--|
| Danmarks Miljøundersøgelser | <i>Direktion</i> |
| Postboks 358 | <i>Personale- og Økonomisekretariat</i> |
| Frederiksborgvej 399 | <i>Forsknings- og Udviklingssektion</i> |
| 4000 Roskilde | <i>Afd. for Systemanalyse</i> |
| Tel: 46 30 12 00 | <i>Afd. for Atmosfærisk Miljø</i> |
| Fax: 46 30 11 14 | <i>Afd. for Miljøkemi</i> |
| | <i>Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi</i> |

| | |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Danmarks Miljøundersøgelser | <i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i> |
| Postboks 314 | <i>Afd. for Sø- og Fjordøkologi</i> |
| Vejsøvej 25 | <i>Afd. for Vandløbsøkologi</i> |
| 8600 Silkeborg | |
| Tel: 89 20 14 00 | |
| Fax: 89 20 14 14 | |

| | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Danmarks Miljøundersøgelser | <i>Afd. for Landskabsøkologi</i> |
| Grenåvej 12, Kalø | <i>Afd. for Kystzoneøkologi</i> |
| 8410 Rønde | |
| Tel: 89 20 17 00 | |
| Fax: 89 20 15 14 | |

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Danmarks Miljøundersøgelser | <i>Afd. for Arktisk Miljø</i> |
| Tagensvej 135, 4. sal | |
| 2200 København N | |
| Tel: 35 82 14 15 | |
| Fax: 35 82 14 20 | |

Publikationer:

DMU udgiver temarapporter, faglige rapporter, arbejdsrapporter, tekniske anvisninger, årsberetninger samt et kvartalsvis nyhedsbrev, DMU Nyt. Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.

I årsberetningen findes en oversigt over årets publikationer. Årsberetning og DMU Nyt fås gratis ved henvendelse på telefon 46 30 12 00.

Tidligere TEMA-rapporter fra DMU

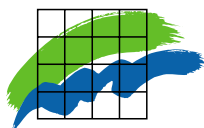
- Nr. 1/1994: **Kvælstoftilførsel til Limfjorden**
Brian Kronvang m.fl., 16 sider, Kr. 50,-.
- Nr. 2/1994: **Luftforurening i danske byer**
Kåre Kemp og Finn Palmgren, 42 sider, Kr. 100,-.
- Nr. 3/1995: **Ozon som luftforurening**
Jes Fenger, 48 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 4/1996: **Tungmetaller i danske jorder**
John Jensen m.fl., 40 sider, Kr. 100,-.
- Nr. 5/1996: **Forureningsbekæmpelse med mikroorganismer**
Ulrich Karlson m.fl., 32 sider, Kr. 30,-.
- Nr. 6/1996: **Status og jagttider for danske vildarter**
Jesper Madsen m.fl., 112 sider, Kr. 110,-.
- Nr. 7/1996: **Naturens tålegrænser for luftforurening**
Morten Strandbjerg og Lisbeth Mortensen, 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 8/1996: **Anskydning af vildt**
Henning Noer m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 9/1996: **Kvælstofbelastning af havmiljøet**
Henrik Paaby og Flemming Møhlenberg, 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 10/1996: **Havets usynlige liv**
Åke Hagström m.fl., 33 sider, Kr. 50,-.
- Nr. 11/1997: **En atmosfære med voksende problemer..., luftforureningens historie**
Jes Fenger, 64 sider, Kr. 90,-.
- Nr. 12/1997: **Reservatnetværk for vandfugle**
Preben Clausen m.fl., 52 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 13/1997: **Næringsstoffer – arealanvendelse og naturgenopretning**
Brian Kronvang m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 14/1997: **Mikrobiologiske bekæmpelsesmidler i planteproduktion – muligheder og risici**
Niels Bohse Hendriksen m.fl., 28 sider, Kr. 40,-.
- Nr. 15/1997: **Kemikalier i hverdagen**
Suresh C. Rastogi m.fl., 40 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 16/1997: **Luftkvalitet i danske byer**
Finn Palmgren m.fl., 64 sider, Kr. 90,-.
- Nr. 17/1998: **Olieeftersforskning og miljø i Vestgrønland**
David Boertmann m.fl., 56 sider, Kr. 80,-.
- Nr. 18/1998: **Bilisme og miljø – en svær balance**
Mette Jensen m.fl., 48 sider, Kr. 60,-.
- Nr. 19/1998: **Kemiske stoffer i landbruget**
John Jensen m.fl., 32 sider, Kr. 40,-.
- Nr. 20/1998: **Naturen og landbruget**
Rasmus Ejrnæs m.fl., 76 sider, Kr. 100,-.
- Nr. 21/1998: **Skov og skovvandløb**
Nikolai Friberg, 32 sider, Kr. 40,-.
- Nr. 22/1998: **Hvordan står det til med naturen?**
Michael Stoltze, 76 sider, Kr. 100,-.

De enkelte hæfter i serien "TEMA-rapport fra DMU" beskriver resultaterne af DMU's forskning inden for et afgrænset område. Rapporterne er skrevet på letforståeligt dansk og henvender sig til alle, der er interesseret i miljø og natur. Serien er udformet så den kan bruges i undervisningen i folkeskolens ældste klasser og i gymnasiet.

Mennesket har forædlet planter i årtusinder. Det er sket ved at krydse planter med ønskede egenskaber og udvælge de bedste planter blandt afkommet. Det nye ved genteknologien er, at man kan flytte gener mellem fjernbeslægtede arter, f.eks. fra bakterier eller dyr til planter. I naturen forhindrer biologiske artsbarrierer, at fjernbeslægtede arter krydses. Derudover muliggør den nye teknologi en hurtig udvikling af nye sorter med ønskede egenskaber i forhold til traditionel forædling.

Denne temarapport beskriver, hvordan gener splejses ind i planter, hvilke gener som indsættes og deres egenskaber, samt eventuelle risici som er forbundet ved anvendelsen af gensplejsede planter. Hæftet har fokus på effekterne på miljøet og ser specielt på mulige økologiske skadevirkninger. Derudover gennemgås hvordan myndighederne vurderer de økologiske, sundhedsmæssige og landbrugsmæssige risici ved gensplejsede planter. Endelig giver rapporten en kort beskrivelse af forskellige etiske holdninger til bioteknologien, samt forfatterens bud på de mulige fremtidsperspektiver ved gensplejsning af planter.

Omslagsillustrationen viser en rapsplante, der er en af de hyppigst anvendte planter til forsøg med gensplejsning.



Miljø- og Energiministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser

ISBN 87-7772-430-5

ISSN 0909-8704