

SPREDNING AF GENER - EN BIOLOGISK INVASION MED STORE NATURKONSEKVENSER

Af Rikke Bagger Jørgensen

Centrale budskaber

- I løbet af planternes udviklingshistorie har gener mange gange spredt sig ved naturlige krydsning. Én konsekvens af genspredningen er at nogle vilde slægtninge til kulturplanter er forsvundet eller har fået ukrudtsegenskaber.
- Miljøet, den dyrkede og vilde flora og generne er under stærk forandring på grund af globalisering, klimaændringer og genteknologi. Derfor vil spredningen af gener til hjemmehørende vilde og dyrkede planter forøges. Det betyder at den biologiske mangfoldighed i naturen og på dyrkede arealer kan påvirkes negativt, eller der kan skabes problemer for jordbruget.
- Genetisk modificerede planter kan adskille sig fra hjemmehørende eller introducerede planter på en række punkter.
- F.eks. kan planterne have fået helt nye egenskaber, eller fremmede arter fra andre klimazoner kan være blevet ændret, så de kan dyrkes i vores miljø. Indsplejsede egenskaber vil normalt være bestemt af et eller få gener, og de vil derfor spredes og ophobes lettere.
- Introduktion af transgener til miljøet kan være hurtig og omfattende, fordi "et godt gen" indsættes i mange arter der dyrkes over store områder. Derfor vil spredning af gener fra GMP'er påvirke omgivelserne anderledes end genspredning fra den naturlige flora, planter der er forædlet på traditionel vis eller indslæbte planter. GMP'er vil resultere i nye typer af bioinvasioner.
- Kendskabet til evolutionære og økologiske samspil er ofte for begrænset til at vi kan forudsige konsekvenserne når GMP'er dyrkes eller nye arter introduceres. Undersøgelser før planterne slippes løs, strategier for dyrkning, biologisk indeslutning af generne og overvågning af dyrkningen kan medvirke til at formindske risici.
- Den omfattende patentering af gener og de relativt få leverandører af genetisk modificerede planter nedsætter afgrødernes diversitet og dermed den biologiske mangfoldighed i agerlandet. En mere restriktiv regulering af GMP'er kan betyde at endnu færre firmaer har ressourcer til at producere vores afgrøder.

Indledning

Analogien mellem introducerede arter og genetisk modificerede planter (GMP'er) er nærliggende. I begge tilfælde slippes nye gener løs i naturen. Hvis gensplejsede planter dyrkes over store arealer er der næppe tvivl om at påvirkningen af naturen med fremmede gener vil være langt mere omfattende end ved indførsel af ikke-hjemmehørende planter. Eksotiske gener kommer hertil gennem GM-afgrøder, og en del af disse gener vil spredes fra det dyrkede land til naturlige økosystemer ved krydsning med beslægtede planter. Genetisk modifikation af vores afgrøder tilfører bioinvasionerne et nyt og potentielt eksplosivt element.

Ved genetisk modifikation kan vi indsætte enhver tænkelig kombination af gener i afgrøder og pryddplanter. For eksempel kan vi kombinere gener fra bakterier, fisk og pattedyr, så vi får insektresistente, frosttolerante afgrøder der producerer human medicin. Perspektiverne for jord- og havebruget forekommer enorme. Bliver de gensplejsede planter dyrket med omtanke kan der også være store fordele for naturindholdet på det dyrkede land; en formindsket belastningen af miljøet med pesticider må give en positiv effekt på markens biodiversitet. Men ikke alle GMP'er vil være at plus, for de fremmede gener invaderer og påvirker vores natur.

Hvordan foregår invasionen af gener til naturen?

De fleste af vores afgrødeplanter er så forædlede at de kun vokser godt hvis de dyrkes. De er tilpasset et miljø som vi opretholder for dem, og derfor klarer de sig dårligt i den fri konkurrence uden for marken. Roer, ærte- og bygplanter vil ikke etablere sig i et naturligt plantesamfund. De vil kun findes der hvis de introduceres igen og igen. Selv hvis vi tilfører et par nye egenskaber ved genetisk modifikation, forventer vi ikke at den gensplejsede kulturplante får forøget sin overlevelse (fitness) så meget at den invaderer naturlige plantesamfund. Det er mere sandsynligt at de nye gener finder vej til naturen ved genspredning. Mange kulturplanter har beslægtede vilde former udenfor eller i marken som de krydser sig med når insekter

eller vind bærer pollen rundt mellem planterne (Fig. 1). Krydsningsplanten, F1-hybriden, har arveanlæg fra begge forældre, og hvis den er fertil kan den krydse sig videre med den vilde art. Efter nogle generationer af krydsninger vil en del af den vilde arts genetiske materiale være erstattet med gener fra afgrøden. Både afgrødens naturlige gener, men også nye, indsplejsede gener vil overføres. Genoverførsel på denne måde kaldes introgression.

Ikke alle nye gener vil give modtageren en bedre overlevelse og konkurrenceevne. Introgression kan føre til at den vilde modtager (recipienten) bliver dårligere tilpasset til voksestedet; dens overlevelse og fertilitet kan være nedsat i forhold til tidligere. Omvendt kan gener fra afgrøden også gøre den vilde recipient mere konkurrencedygtig. Den kan få en bedre overlevelse fx ved introgression af gener for resistens mod sygdomme, tørke eller kulde. Derved kan den blive et mere besværligt ukrudt på dyrket jord. Er den en del af et naturligt plantesamfund kan den få en øget udbredelse – eventuelt på bekostning af andre arter. Der er også risiko for at GMP'en direkte eller indirekte påvirker andre typer af organismer i økosystemerne ved effekter op gennem fødekæderne. En mindskelse af naturens mangfoldighed kan derfor blive resultatet af genspredning fra afgrøde til vild slægtning.

Genspredning – er alle planter lige modtagelige?

Genspredning spiller en vigtig rolle i planternes udviklingshistorie. Afgrøderne er den mest velundersøgte gruppe af planter, så her har vi også den største viden om genspredning. Vi ved at 12 af verdens 13 mest dyrkede landbrugsafgrøder danner hybrider med vilde slægtninge et eller andet sted i deres dyrkningsområde (Ellstrand *et. al.*, 1999). Hos afgrøder som ris og bomuld har spontane krydsninger bevirket at vilde slægtninge er ved at forsvinde. En sjælden ris fra Taiwan, *Oryza rufipogon* ssp. *formosana*, er næsten forsvundet på grund af introgression fra den dyrkede ris, *O. sativa*. Indsamlinger op gennem sidste århundrede af den taiwanesiske ris viser at den i stigende grad ligner den dyrkede ris, og at den samtidig bliver mindre og mindre fertil. Andre steder i

Asien er underarter af de vilde arter *O. rufipogon* og *O. nivara* så påvirket af introgression fra den dyrkede ris at typiske eksemplarer er svære at finde. Omfattende introgression fra dyrket bomuld (*Gossypium hirsutum* L.) til *G. darwinii* på Galapagos er påvist med molekylære markører, og afgrødens egenskaber ses tydeligt hos den vilde art. Det må derfor antages at den vilde art er ved at forsvinde, eller måske allerede er udryddet på grund af genspredningen.

Eksempler på at overførsel af gener fra afgrøder har medvirket til øget ukrudts-aggressivitet hos vilde slægtninge kan vi også hente fra ris. I marker med dyrket ris, *O. sativa*, findes ukrudtsris der genetisk er en blanding af den dyrkede ris, ukrudtsris *O. sativa* f. *spontanea* og de vilde arter *O. nivara* og *O. rufipogon*. Hybriderne mellem dyrket ris og ukrudtsris, *O. sativa* f. *spontanea*, er generelt større og med flere skud end forældrene. De ukrudtsagtige hybriders tilstedeværelse i rismarkerne udgør derfor både et praktisk og økonomisk problem.

Alt i alt er der indikationer for at genoverførsel fra 7 af verdens 13 almindeligste afgrøder har forårsaget ukrudtsudvikling hos vilde slægtninge.

Introgression mellem dyrkede og vilde planter er åbenbart ikke et ualmindeligt fænomen. Omfanget afhænger dog af mange forskellige forhold, fx:

- om afgrøde og vild slægtninge har udbredelsesområder der overlapper
- om planterne der krydser sig er nært eller fjernt beslægtede; jo tættere beslægtede de er, jo større er sandsynligheden for udveksling af gener. Genoverførsel mellem populationer inden for samme art er lettere end mellem forskellige arter. Krydsninger inden for samme art bevirker ofte at afkommet har forøget fitness, fordi hybridplanterne er større og har en forbedret frøsætning i forhold til forældrene. Det er et fænomen man også benytter sig af ved forædling af nye højtydende sorter til landbruget når man laver såkaldte hybrid sorter. Når krydsningerne finder sted mellem forskellige arter af planter er

der ofte genetiske barrierer der reducerer afkommets levedygtighed

- om de hybridiserende planter er selvbestøvede eller fremmedbestøvede. Selvbestøvede planter har oplagt mindre chancer for at blive bestøvet af andre arter og typer
- miljøforhold som antallet, tætheden og den rumlige fordeling mellem gen-donor og -recipient samt forekomsten af bestøvere. Da de miljømæssige forhold varierer er det svært at forudsige genspredningen og generalisere mellem år og lokaliteter
- de overførte geners fordel for modtagerplanten. Er fordel stor, vil der være en stærk naturlig udvælgelse af planter der har modtaget genet, og derved forøges antallet af introgresserede planter i populationen. Selv en lille forøgelse af planternes fitness vil over tid bevirke, at planter med de nye gener bliver mere almindelige

Dannelse af en F1-hybrid er det første trin i introgressionen. Er F1-hybriden fertil kan den som nævnt krydse sig igen med den vilde art og genoverførslen fortsættes. Ved at gennemgå floraværker fra Skandinavien, Storbritannien, Nordamerika og troperne, er forekomsten af artshybrider hos en lang række plantefamilier og -slægter blevet undersøgt (Ellstrand *et al.*, 1996). Tilsyneladende fordeler hybridene sig ikke tilfældigt. Generelt er der flest hybrider hos fremmedbestøvede, flerårige planter, hvor hybridernes overlevelse kan sikres fx ved vegetativ formering eller hvor udviklingen af frø kan ske uden forudgående befrugtning. Blandt de plantefamilier, hvor hybrider er almindelige (Ellstrand *et al.*, 1996), er det kun arter fra græsfamilien, *Poaceae*, (med foder- og plænegræsser som Svingel, Rapgræs og Rajgræs) og rosenfamilien, *Rosaceae* (med dyrkede prydroser) der dyrkes i stort omfang i Skandinavien. Både for græsserne (15 artshybrider i Skandinavien) og roserne (13 artshybrider) arbejdes der på at frembringe genetisk modificerede sorter. Fokuserer vi specifikt på de hyppigt dyrkede nordiske afgrøder, der har potentiale for hybridisering, viser tabel 1 en oversigt over de dyrkede planter indenfor land-, skov- og havebruget hvor hybridisering med vilde former finder sted. Indenfor stort set alle de nævnte afgrøder findes genetisk modificerede linier der er mere eller mindre tæt på en markedsføring.

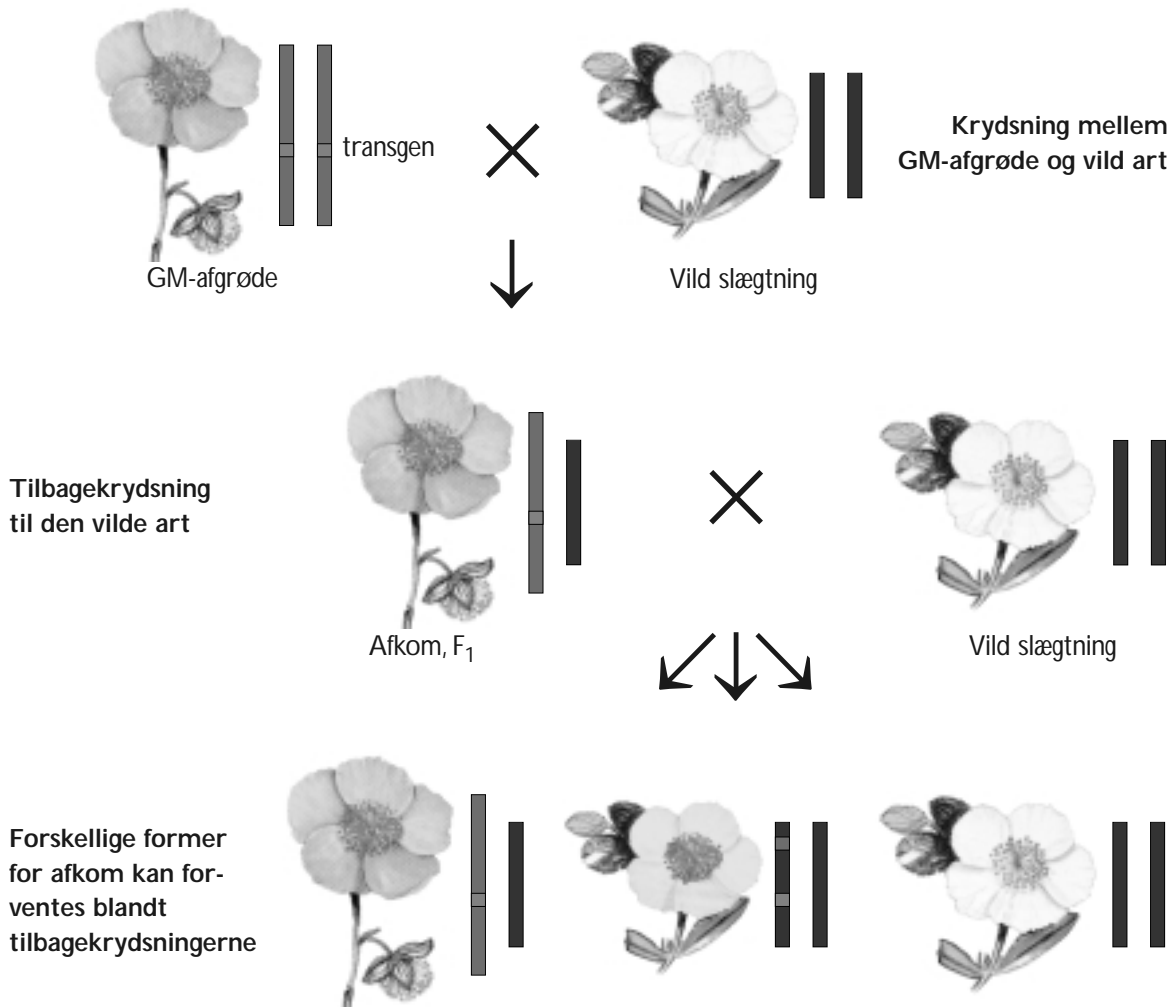


Fig. 1. Gener (egenskaber) kan overføres mellem planter ved krydsning. Alle gener – transgener og naturlige gener – nedarves på samme måde. Til højre for blomsterne vises i forsimplet form planternes genetiske kode som består af to sæt kromosomer. Ved krydsningen mellem to planter sammensmeltes en kønscelle fra hver plante, og derved dannes frøet, der siden bliver til en ny plante. Den ny plante, afkommet, har fået sit ene kromosomsæt med pollenet fra han-planten og det andet kromosomsæt med frøanlægget fra hun-planten. I det viste eksempel har afgrøden fået indsat et transgen (orange markering) ved genetisk modifikation. Transgenet giver gul blomsterfarve. Afkommet fra krydsningen mellem afgrøden og den vilde art, bærer transgenet på det sæt kromosomer, den får fra afgrøden og får altså gul blomsterfarve. Hvis denne afkoms-hybrid krydser sig videre med den vilde art (tilbagekrydsning), kan afkommet få meget forskelligt udseende og genetisk kode; nogle af afkomsplanterne vil ligne den vilde art i de fleste egenskaber, fordi den genetiske kode igen er mere lig med koden hos vildarten. Imidlertid kan sådanne planter stadig have transgenet, så derfor er blomsterfarven gul. Også andre afgrøde-gener vil blive overført ved "genblandingen" (de lyseblå).

"Probleplanter" og de truede arter

De vilde planter har forskelligt potentiale for at blive mere konkurrencedygtige når de får introgresseret et nyt gen. Dermed bliver deres mulig-

hed for at ændre sammensætningen af arter i de naturlige plantesamfund og den biologiske mangfoldighed også forskellig. Meget konkurrencedygtige planter der kan blive endnu mere aggressive ved at modtage nye gener der giver fordele er ofte flerårige, fremmedbestøvede og

Afgrøde (donor)	Beslægtet, vild recipient
Roe (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i>)	Strandbede (<i>B. vulgaris</i> ssp. <i>maritima</i>)
Poppel (<i>Populus</i> , flere arter)	Bævreasp (<i>P. tremula</i>)
Lucerne (<i>Medicago sativa</i>)	Segl Sneglebælg (<i>M. falcata</i>)
Raps (<i>Brassica napus</i>)	Agerkål (<i>B. rapa</i> (= <i>B. campestris</i>)•, Kiddike (<i>Raphanus raphanistrum</i>)• og Agersennep (<i>Sinapis arvensis</i>)•
Radise, Ræddike (<i>Raphanus sativus</i>)	Kiddike (<i>R. raphanistrum</i>)•
Svingel (<i>Festuca rubra</i> og <i>F. pratensis</i>)	Svingel (<i>Festuca rubra</i> og <i>F. pratensis</i>), Rajgræs (<i>Lolium</i> spp.)
Rajgræs (<i>Lolium perenne</i> og <i>L. multiflorum</i>)	Rajgræs (<i>Lolium perenne</i> og <i>L. multiflorum</i>), Svingel (<i>Festuca</i> spp.)
Gulerod (<i>Daucus carota</i> ssp. <i>sativus</i>)	Vild Gulerod (<i>D. carota</i> ssp. <i>carota</i>)
Almindelig Eg (<i>Quercus rubra</i>)	Almindelig Eg (<i>Q. rubra</i>) og Stilk-Eg (<i>Q. robur</i>)
Havre (<i>Avena sativa</i>)	Flyvehavre (<i>A. sativa</i>)•
Rose (<i>Rosa</i> , diverse arter)	Flere vilde arter af rose
Kirsebær (<i>Prunus domestica</i>)	Slåen (<i>P. spinosa</i>)
Hvidkløver (<i>Trifolium repens</i>)	Hvidkløver (<i>Trifolium repens</i>)
Ahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)	Ahorn (<i>Acer pseudoplatanus</i>)
Rødgran (<i>Picea abies</i>)	Rødgran (<i>Picea abies</i>)
Bøg (<i>Fagus sylvatica</i>)	Bøg (<i>Fagus sylvatica</i>)

Tab. 1. Almindeligt dyrkede afgrøder der hybridiserer med vilde slægtninge. Mikkelsen & Jørgensen (1997) giver en mere omfattende oversigt over dyrkede, danske planters hybridisering med den vilde flora. • angiver at den vilde recipient optræder som ukrudt på dyrkede arealer.

har vegetativ formering: Almindelig Rajgræs (*Lolium perenne*) og Poppel (*Populus* spp.) der allerede findes som en del af visse plantesamfund er gode eksempler på sådanne planter. Agerkål (*Brassica rapa*) og Flyvehavre (*Avena fatua*) har potentiale for at krydse sig med beslægtede afgrøder, men er mindre konkurrencedygtige og findes kun som ukrudt i marken. En-årige planter med en høj grad af selvbestøvning, der kun overlever når de dyrkes, har ringe risiko for at få overført gener, og skulle det alligevel ske vil de antagelig ikke invadere naturlige plan-

tesamfund. I Danmark er Byg (*Hordeum vulgare*) et godt eksempel på en plante af denne type.

Ved at være opmærksom på hvilke arter der er truede og sårbare, vil vi måske kunne hindre bedst indførsel af slægtninge der ved genspredning yderligere accelererer udryddelsen af den truede art. Belært af historien kan vi konstatere, at især ukrudtsarter der er i tæt fysisk kontakt med en beslægtet kulturplante er i farezonen. For følgende arter er skaden måske allerede sket:

- Purhavre (*Avena strigosa*) der kan krydse sig med den dyrkede havre er nu muligvis helt forsvundet fra Danmark.
- Agerkål (*Brassica rapa*) er langt mindre hyppig end tidligere fordi den effektivt kan bekæmpes med herbicider, undtagen i rapsmarker. Her truer til gengæld risikoen for introgression fra Raps (Mikkelsen *et al.*, 1996, figur 1).
- Hundehør (*Camelina alyssum*), en nær slægting til Sæd-Dodder.

Alle tre arter er at finde på Nordisk Genbanks lister over truede ukrudsarter i Norden.

Hvidtjørn, *Crataegus*, hybridiserer på mange voksesteder så voldsomt med indførte arter, at den kan anses for sårbar. Ellers mangler der eksempler på at hjemmehørende danske arter, uden for dyrkede områder, er truede på grund af krydsning med indførte arter. Forklaringen kan være at det først er nu at mængden af introducerede planter stiger voldsomt, og at der ikke har været forskningsmæssig fokus på området. Der er i dag en bevidst og massiv introduktion af fremmede planter til vores naturlige eller semi-naturlige plantesamfund. I et forsøg på at øge de rekreative værdier sår amter og kommuner frøblandinger af smukke "vilde blomster" i de nyanlagte vejkanter (Calov, denne rapport). Resultatet af en sådan vellykket grøftekants-introduktion kan være krydsninger med hjemmehørende planter. En dyrket, ikke hjemmehørende Cikorie og den vildt forekommende dan-

ske Cikorie (samme art, *Cichorium intybus*) er begge smukke, og det er deres spontane hybrider også. DNA-undersøgelser støtter de morfologiske observationer af, at krydsning finder sted i vejkanter, hvor den dyrkede Cikorie tilsyneladende trives når den udsås. Endnu er hybridiseringen næppe et problem for den vilde Cikorie, da den dyrkede Cikorie kun er naturaliseret få steder. En sort af den dyrkede Cikorie, hvor der ved genetisk modifikation er indsat herbicid- og antibiotika-resistens (markørgen) og et han-sterilitetssystem, kan frit fremavles i EU (ansøgning nr C/NL/94/25). Da der ikke bruges herbicider på den vilde Cikories voksesteder vil det antagelig ikke have konsekvenser for biodiversiteten, hvis gener for herbicidresistens ved krydsninger overføres til den vilde Cikorie, men andre typer af gener kunne få konsekvenser for udbredelsen eller for organismer der er knyttet til Cikorien.

Hvad adskiller GMP'er fra hjemmehørende og introducerede planter?

Hvordan genspredning påvirker planternes overlevelse vil afhænge af de gener der overføres. Når vi frit dyrker GM-afgrøder er det ikke kun plantens egne gener der kan overføres, men selvfølgelig også de indsatte gener. I mange tilfælde vil introgression af transgener ikke påvirke planten eller økosystemet anderledes end

Egenskab (gen-produkt)

Donor organisme

Anti-koagulant (hirudin)	Lægeigle
Bioplastik (polyhydroxybutyrat)	Bakterie
Kosmetisk/ industriel (trierucin)	Plante (<i>Limnanthes alba</i>)
Kosmetisk/ industriel (laurat)	Plante (California Bay Tree)
Fosforoptagelse (phytase)	Skimmelsvamp (<i>Aspergillus niger</i>)

Tab. 2. Rapsfrøet som kemisk fabrik. Raps er let at gensplejse og frøudbyttet er højt. Derfor er der udviklet genetisk modificerede linier til produktion af komponenter til farmaceutiske eller industrielle formål.

overførsel af "naturlige" gener; men transgener kan på forskellig vis være anderledes end de gener der er overført fra nærtbeslægtede ved krydsning.

Nye kombinationer af egenskaber og planter

Transgener kan give planterne helt nye egenskaber som vi ingen erfaring har med på forhånd; fx produktion af medicin baseret på gener hentet fra dyr. Genetisk modifikation vil også muliggøre, at afgrøder der ikke kan dyrkes under vores klimatiske forhold vil kunne modificeres, så de kan give et godt udbytte her hos os. Vi får nye afgrøder på marken – og med dem helt nye muligheder for genspredning til den hjemmehørende flora. Vores viden om ikke hjemmehørende geners påvirkning af miljøet er meget begrænset, ligesom den forskning der kan afklare eventuelle effekter på miljøet. Den insektresistente majs med gener hentet fra *Bacillus thuringiensis* er godt beskyttet imod angreb af sommerfuglelarver, men først for nylig

har forskere på New York University vist at insektgiften også bliver udskilt til jorden fra den genetisk modificerede plantes rødder. Om udskillelsen påvirker jordens mikroorganismer vides ikke – og dette spørgsmål er blot ét eksempel på de mange nye biologiske problemstillinger som GMP'er konfronterer os med.

"Gamle" egenskaber med nye funktionsmåder kan give overraskelser

Kendte egenskaber, fx svamperesistens, kan være baseret på nye virkemåder som gør at vi ikke kan basere vores forudsigelser af konsekvenserne på erfaringer fra de traditionelt forædlede afgrøder med samme egenskaber. Nye funktionsmåder kan give planterne bedre fitness end egenskaber indsat ved traditionel forædling. Da de fleste transgene egenskaber – modsat mange egenskaber der overføres ved traditionel forædling – bestemmes af et enkelt gen vil der være større risiko for spredning ved krydsning.

Gener på farten. Rugen drær i Døjringe. Med planternes pollen spredes gener over lange afstande. Dels med vinden – som på fotoet – men også med insekter som transporterer pollen over store afstande. For økologisk landbrug er det afgørende at afgrøderne ikke forurenes med pollen fra GMO-afgrøder.

Succesfulde transgener dominerer det dyrkede land

Introduktionen af en egenskab til miljøet vil i mange tilfælde være hurtig og massiv. En god transgen egenskab vil blive indsat i sorter af forskellige arter som vil blive dyrket over store områder. Tænk fx på insektresistens af Bt-typen. De samme Bt-gener er indsat i så forskellige afgrøder som bomuld, majs, kartofler m.m.. I USA blev 65% af arealet med bomuld og 38% af majsarealet i 1999 dyrket med sorter der havde Bt-resistens. Introduktionen af Bt-gener til miljøet har været hurtig og uhyre omfattende. Derved adskiller mange transgener sig fra egenskaber introduceret gennem traditionel forædling eller ved indførsel af nye arter. Transgenerns effekter på miljøet må derfor forventes at blive større.

Mange forskellige transgener ophobes i samme plante

Der vil også være risiko for at en hel stribe af nye gener hober op (pyramidiseres) i de vilde planter i tidens løb. Der er jo ikke tale om at der kun vil blive indsat én type af nye gener. Det er normalt at der indsættes flere agronomiske egenskaber i kulturplanten samlet i én eller flere vektorer. I USA er der f.eks. markedsført kartofler med både insekt- og virusresistens og majs med insekt- og herbicidresistens. Den spontane genspredning vil sørge for at generne pyramidiseres endnu mere, og derfor kan en vild art efterhånden få overført alle de transgener der er indsat i den beslægtede afgrøde. Dvs. at vi kan risikere at få planter der på samme tid er resistente overfor vira, insekter, svampesygdomme, tørke, kulde o.s.v. Jo flere fordelagtige gener og jo større fitness desto større er risikoen for direkte og indirekte effekter på de andre organismer og økosystemet.

De første eksempler på en sådan naturlig pyramidisering af gener ved genspredning har vi allerede fra Canada, hvor der har været dyrket forskellige typer af herbicidresistent raps: En landmand i Alberta der ikke sørgede for tilstrækkelig afstand (den mindste afstand var 20 m) mellem tre marker med forskellige typer af herbicidresistent raps fik spildplanter som var resistente overfor alle tre ukrudtsmidler, glyphosat (Roundup), glyphosinat (Liberty/Basta) og imidazolinon (Pursuit). Eksemplet viser at skal man undgå gen-pyramidisering kræver det god

information om og overholdelse af dyrkningsmåde eller regulering af det markedsførte plantemateriale. I Danmark ligger konventionelle og økologiske landbrug side om side og i tæt kontakt med naturlige biotoper. I et sådant kulturlandskab vil den naturlige genspredning ikke kun være et problem i forhold til de vilde slægtninge, men i høj grad også for de landmænd der ønsker at holde deres frø-afgrøder fri for transgener. Problemet med genspredning fra mark til mark har vi fået i praksis: I Danmark, Sverige og UK har der i sommeren 1999 været dyrket en rapssort, 'Hyola', som var forurenset med 1% genetisk modificeret frø (med Roundup resistens). Frøpartiet var opformeret i Canada, og forureningen skyldtes genspredning fra en nærliggende mark med genetisk modificeret raps.

En opdateret information om de typer af genetisk modificerede planter der har været i markforsøg eller er godkendt i EU kan hentes via internettet (OECD, 2000, European Commission 2000).

Klima og samfundsforhold bestemmer vores afgrøder – og dermed genspredningen

På lidt længere sigt er det sandsynligt, at de afgrøder vi vil komme til at dyrke, vil være andre end i dag, og dermed vil mulighederne for genoverførsel til vilde slægtninge ændres. Ved genetisk modifikation vil det være muligt at tilføre gener for kuldetolerance til afgrøder der ellers ikke egner sig til Danmarks klima. Klodens klima vil også ændre sig fordi menneskets aktiviteter ændrer atmosfærens sammensætning og dermed jordens temperatur og vandbalance. Globale klimaforandringer kan gøre, at vi vil kunne dyrke nye afgrøder, og at vi får naturlige plantesamfund med en anden artssammensætning. Dermed skabes nye muligheder for hybridisering.

Valget af kulturplanter afhænger også af samfundsmæssige forhold; hurtige ændringer af arealet med en bestemt afgrøde sker i takt med ændring af EU-tilskudsreglerne for jordbruget. Hør (*Linum usitatissimum*) er et eksempel på en afgrøde, der fra at være sjælden i Danmark, nu er i tiltagende på grund af ændrede EU-tilskud.

Dermed forøges også mulighederne for hybridisering med vilde slægtninge til Hør, fx Vild Hør, *L. carthaticum*.

Patentering af vores dyrkede og vilde økosystemer

Mange gener og deres anvendelse vil være patenteret i fremtiden, og patenterne vil være så brede som lovgivningen tillader. Det er derfor sandsynligt at firmaer med særligt "succesrige" gener via deres patenter vil få monopol på specifikke anvendelser. Et "succesgen" vil blive indsat i en lang række forskellige kulturplantearter, fx Byg, Hvede, Raps, Majs, Bomuld, Squash osv., som så vil blive dyrket over store arealer på grund af deres gode egenskaber. Fordi så mange forskellige afgrøder bærer den samme egenskab – kodet for af det helt samme gen – vil strukturen i det dyrkede land ændres. Vi får nu en yderligere udvikling mod monokulturer, nu omfattende dyrkning af genetisk ens planter indeholdende "succes-transgenerne". Det kan næppe undgå at påvirke biodiversiteten både i landbruget og i naturområderne, og dermed skabe store dyrknings- og/eller naturbevaringsmæssige problemer som vi er uforberedte på at håndtere (Altieri, 2000). Vi dyrker allerede i dag store arealer med samme afgrøde, og vi anvender kun få sorter (se fx Vilby, denne rapport), og den genetiske ensretning af det dyrkede land vil yderligere forstærkes af patenterne på transgener.

Antagelig vil det snart lykkes at få transgener der giver holdbar og bred resistens overfor angreb af meldug-svampen på korn. Det vil ske, fordi resistens-generne nu kan hentes fra organismer der ikke er beslægtet med korn, og svampen har derfor ikke gennemgået en evolution sammen med kornarterne. De nye typer af modstandsdygtighed hos planten kan svampen ikke umiddelbart nedbryde ved at mutere. Derfor vil det effektive transgen blive indsat i en lang række kornarter, og landbrugsarealet vil blive "plastret til" med samme gen. Det kan ikke undgå at få en effekt på meldug-svampens hyppighed. I første omgang til glæde for producenterne – i anden omgang vil det givet betyde at andre svampesygdomme overtager hvor melduggen slap. Spørgsmålet er så om vi er i stand til

effektivt at bekæmpe de nye sygdomme. Der er mange eksempler på hvordan monokulturer har givet dyrkningsmæssige problemer. Svampesygdommen *Helminthosporium maydis* ødelagde 10% af USAs majsudbytte i et år hvor der kun blev dyrket få sorter (Power og Follett, 1987). For andre gener mod skadevoldere vil den massive påvirkning af skadevolderen ikke alene betyde at nye skadevoldere optræder i stedet, men også at andre påvirkninger af biodiversiteten kan optræde gennem effekter på fødekæderne. Hvordan sikrer vi at patentering af gener og deres anvendelse ikke ensretter GMP'er, så vi får monokulturer af samme indsatte gener? Om et par år har vi muligvis data fra USA der viser konsekvenserne af den massive dyrkning af Bt-planter.

Vi må sikre genetisk mangfoldighed i de dyrkede områder. Hvordan gøres det i lyset af de omsiggribende patenter på gener og deres anvendelser? Problemet forstærkes af, at nogle få store multinationale, agro-kemiske firmaer vil sidde på patenterne. Hvis et begrænset antal producenter udbyder sorter til landmanden – genetisk modificere eller ikke – risikerer vi en nedsættelse af biodiversiteten på de dyrkede områder. I Canada og USA er problemerne omkring patentering af plantegener allerede til at få øje på. Monsanto har anlagt sag mod en landmand fra Saskatchewan der gennem mange år har opformeret sin egen udsæd. Monsanto anklager ham for at have stjålet deres patenterede Roundup-resistens gen. Genet er fundet i spildplanter og nogle få rapsplanter i landmandens mark. Nu har landmanden til gengæld søgt Monsanto for at forurene afgrøden gennem genspredning fra naboernes GM-marker, og for bagvaskelse (Bridgland, 2000).

Kan geninvasionen forudsiges eller reduceres?

Risikovurdering

I hvor høj grad dyrkning af planter med nye gener vil føre til reduceret biodiversitet er svært at forudsige, da vores viden om evolutionære og økologiske interaktioner ofte er for dårlig til at forudsige GMP-effekterne. Den bedste håndtering af de genetisk modificerede planter er en risikovurdering fra sag til sag – præcis som lov-

givningen foreskriver. Målttede undersøgelser af GMP'er før markedsføring kan belyse eventuelle konsekvenser for miljøet. Normalt forløber den slags undersøgelser dog kun over nogle få plante-generationer. De kortsigtede forsøg giver derfor næppe en reel belysning af risici, da en del effekter på miljøet først vil kunne registreres mange år efter at kommerciel dyrkning af GMP'en er begyndt. At få et gen overført fra afgrøde til vild slægtning tager tid: Flere generationer af krydsninger er nødvendige før overførslen er fuldbragt, og frekvensen af vilde planter med genet skal øges før påvirkning af omgivelserne kan registreres. Matematiske modeller viser (Raamsdonk og Schouten, 1997), at under optimale forhold vil det tage ca. 25 plante-generationer før frekvensen af transgenet i den vilde

population har nået 50% – under forudsætning af at arten er fremmedbestøvet, har kraftig pollen- og frøspredning, at planternes overlevelse ikke nedsættes når der ikke selekteres for transgenet, og at udspaltningen af F2-afkommet giver planter som er meget lig den vilde art. Man hører ofte det argument at genetisk modificerede planter nu har været dyrket i en årrække uden at det har haft konsekvenser for miljøet. Det frikender dog ikke GMP'erne for at udgøre en risiko, men er netop hvad vi må forvente på grund af de komplicerede samspil mellem planterne og deres miljø.

Risikoforebyggelse og monitoring

Ofte kan strategier for dyrkningen af GMP'er medvirke til forebyggelse af uønskede miljøpå-

Udsåning af dyrket Cikorie, som kendes på de lysegrønne salatlige blade, medfører at gener spredes til den vildt forekommende Cikorie. Nu findes der hybrider i naturen.

Frugterne af Rynket Rose flyder udmærket i saltvand og frøene bevarer spireevnen længe. Derfor findes arten overalt langs kysterne. Mange fugle – f.eks. Grønirisker – æder gerne frøene og medvirker derved også til spredningen. Samtidig plantes Rynket Rose gerne af haveejere og sommerhusejere.

virksomheder. Hvis man vil undgå pyramidisering af transgener ved spontan krydsning, må man undlade at dyrke forskellige transgene sorter i samme område. Skoleeksemplet fra Alberta viser at vi hurtigt får planter der fx er multi-resistente overfor herbicider. Da landbruget stadig er afhængigt af herbicider må man bruge ældre og mere giftige ukrudtsmidler for at gøre kål på spildplanterne – en unødigt belastning af miljøet.

En anden mulighed for at mindske genspredningen er at indsplejse generne, så de er helt eller delvist biologisk indesluttede. Man kan modificerer afgrøderne genetisk så de ikke blomstrer, og spredning derfor kun kan foregå vegetativt. Det er en mulighed hos fodergræsser eller roer, hvor det ikke er frøet der er slutproduktet. I andre afgrøder, hvor frøproduktion er målet, kan man indsætte transgenerne i cytoplasmaets plastider (~grønkorn) i stedet for i cellekernen. Hos de fleste planter vil plastiderne ikke blive spredt med pollen, men kun med frø

og derfor vil genspredningen kun ske lokalt i marken. De forskellige former for biologisk indeslutning bør nu afprøves i praksis for at vise i hvilket omfang de nedsætter genspredningen.

På trods af tiltag til at forudsige GMP's konsekvenser eller minimere risici, kan vi ikke gardere os mod alt. Det er formodentlig erkendelsen af denne evigt tilstedeværende risiko der er baggrund for at producenterne for fremtiden skal langtids-overvåge om de markedsførte GMP'er påvirker miljøet (EU-direktiv "90/220"). Det nye direktiv er også på en lang række andre områder en klar forbedring af den miljømæssige risikovurdering af GMP'er. Paradoksalt nok stiller direktivet så skrappe krav til producenter at man må forvente at kun ganske få firmaer vil have ressourcer til at markedsføre en GMP. Konsekvensen af den strammere regulering vil blive at endnu færre aktører end i dag vil tilbyde genetisk modificerede planter. Det globale marked monopoliseres yderligere og diversiteten i de dyrkede områder formindskes.

En fremtid med GMP afgrøder?

Dyrkning af GMP'er med ikke hjemmehørende gener vil være en satsning hvor fordele og risici bør vejes op mod hinanden. Forbrugerne har haft svært ved at se fordelene ved GM-planterne. Hvad angår risici ved GMP'erne så finder vi "velnærede" europæiske forbrugere de miljømæssige risici mindre tungtvejende end andre forhold ved genteknologien. En uacceptabel jordbrugsproduktion, en monopolisering af verdensmarkedet, en "spillen gud med generne" er også blandt de mange lod på vægtskålen som afgør GMP'ernes fremtid. Denne type af etiske og sociale forbehold er svære at indflette i GMO-reguleringen, da de er så person- og erhvervsafhængige. Det er ingen hurtige løsninger på,

hvordan man bedst regulerer GMP'erne, så i øjeblikket vakler vores politikere mellem at tilgodese de vidt forskellige interesser hos forbrugere og industri (se fx "BioTIK-gruppen", 1999). I den sidste revision af EU-direktiv 90/220 (se Toft og Anker, denne rapport) har man forsøgt at indflette etiske principper; men med ringe held. Direktivet er næsten udelukkende baseret på en GMO-regulering efter naturvidenskabelige risici. Producenten skal blandt andet oplyse om mulighederne for overførsel af gener til de samme eller andre plantearter og enhver ny fordel eller ulempe for disse plantearter. Lovgivningen lægger således op til en beskyttelse af naturen – så vidt som den eksisterende viden, de regulerende myndigheder og politikere tillader.

Litteratur

- Altieri M.A. 2000. The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. - *Ecosystem Health* 6, s. 13-23.
- BioTIK-gruppen, 1999. De genteknologiske valg. Erhvervsministeriet. På: <http://www.em.dk/publica/biotik>
- Bridgland, F. 2000. Farmer v. Monsanto: GM Seed Fight in Canadian Court. Lycos network, june 2000. På: <http://ens.lycos.com/ens/jun2000/2000L-06-19-04.html>
- Ellstrand, N.C., Whitkus, R. & Rieseberg, L.H. 1996. Distribution of spontaneous plant hybrids. - *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, s. 5090-5093.
- Ellstrand, N.C., Prentice, H.C. & Hancock, J.F. 1999. Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. - *Annual Review of Ecology and Systematics* 30, s. 539-563.
- European Commission 2000. GMOs in Food and Environment På:<http://biotech.JRC.it>
- Mikkelsen, T.R., Andersen, B. & Jørgensen, R.B. 1996. Spread of transgenes. - *Nature* 380:31
- Mikkelsen, T.R. & Jørgensen, R.B. 1997. Kulturfgrødernes mulige krydsningspartnere i Danmark. Skov- og Naturstyrelsen og Forskningscenter Risø, København/Roskilde.
- OECD 2000. OECD's Database of Field Trials. På: <http://www.olis.oecd.org/biotrack.nsf>
- Power, J.F. & Follett, R.F. 1987. Monoculture. - *Scientific American* 256 (3): 57-64.
- Raamsdonk, L.W.D. & Schouten, H.J. 1997. Gene flow and establishment of transgenes in natural plant populations. - *Acta Bot. Neerl.* 46, s. 69-84