



## **GMO Tekniks Anvendelighed MHT Øget Planteproduktion i Samarbejdslandene**

Andersen, Sven Bode; Jørgensen, Søren Thorndal; Christiansen, Jørgen Lindsprog

*Publication date:*  
2008

*Document version*  
Også kaldet Forlagets PDF

*Citation for published version (APA):*  
Andersen, S. B., Jørgensen, S. T., & Christiansen, J. L. (2008). *GMO Tekniks Anvendelighed MHT Øget Planteproduktion i Samarbejdslandene*. Udenrigsministeriet.

Udenrigsministeriet

Danida

GMO Tekniks Anvendelighed MHT Øget Planteproduktion i  
Samarbejdslandene.

Draft

Danida ref. Nr. 104.DAN.4-52-5.b.

Oktober 2008

---

DET BIOVIDENSKABELIGE FAKULTET  
FOR FØDEVARER, VETERINÆRMEDICIN OG NATURRESSOURCER  
KØBENHAVNS UNIVERSITET



## **Indholdsfortegnelse**

|   |    |
|---|----|
| Introduktion.....                                     | 2  |
| Udvikling af fødevarereproduktionen.....              | 2  |
| Bioteknologi, GMO eller non-GMO?.....                 | 3  |
| Nogle bioteknologiske indsatsområder.....             | 5  |
| Herbicidresistens.....                                | 5  |
| Insektresistens.....                                  | 6  |
| Virusresistens.....                                   | 8  |
| Svamperesistens.....                                  | 8  |
| Tørke- og stresstolerance.....                        | 9  |
| Biofortifikation af fødevarer.....                    | 10 |
| Frøsektoren.....                                      | 11 |
| Globalisering, samhandel og ophavsretbeskyttelse..... | 11 |
| Sammendrag.....                                       | 12 |
| Anbefalinger.....                                     | 15 |
| Litteraturliste.....                                  | 15 |
| Ordliste.....   | 20 |

## Introduktion

De stigende verdensmarkedspriser på korn og deraf følgende stigende priser på fødevarer, har i den senere tid skabt debat omkring anvendelse af GMO-teknik i u-landene med henblik på at øge fødevarereproduktionen.

I 2002 fik Danida udarbejdet et arbejdspapir ”*Assessment of Potentials and Constraints for Development and Use of Plant Breeding and Crop Production in Developing Countries*”. Papiret gennemgår alle aspekter af planteforædling så godt, at de fleste forhold i rapporten stadig er gyldige, også selvom der på nogle områder er sket betydelige fremskridt siden rapportens udarbejdelse. Nærværende rapport giver, med udgangspunkt i rapporten fra 2002, en kortfattet fremstilling af genteknologiens nuværende stade, med særlig henblik på de områder af planteforædlingen, hvor teknikken kan være relevant for fødevarereproduktion i u-landene med fokus på Danidas samarbejdslande. Endvidere gives forslag til hovedretningslinier for Danida’s satsning på de nye teknologier i forbindelse med en øget planteproduktion i samarbejdslandene.

Rapporten, udarbejdet af professor Sven Bode Andersen, videnskabelig assistent Søren T. Jørgensen og lektor Jørgen L. Christiansen Det Biovidenskabelige Institut, Københavns Universitet, står alene for forfatterens mening og dækker ikke nødvendigvis Danida’s synspunkter.

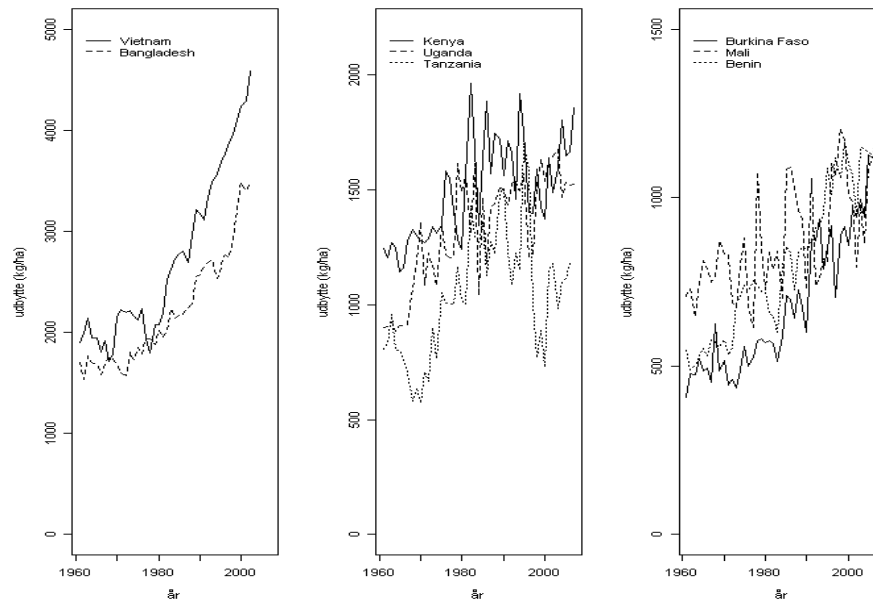
## Udvikling af fødevarereproduktion (Den grønne revolution)

Den grønne revolution i Asien er velkendt. I en kombination af nye sorter, øget gødskning, kontrolleret vanding, anvendelse af pesticider og adgang til kredit har udbyttet udviklet sig eksponentielt. Et meget væsentligt bidrag har været udvikling af daglængde neutrale rissorter, der kan dyrkes i tørtiden i områder, hvor der er mulighed for overrisling.

I figur 1 vises udviklingen i kornproduktionen i nogle af Danidas samarbejdslande. I Vietnam og Bangladesh er risudbyttet steget fra under 2 t/ha og er nu oppe på hhv 4,5 og 3,5 t/ha., og der er ikke noget, der tyder på en stagnation i udviklingen, der er stimuleret af et kunstgødningsforbrug, som kan sammenlignes med det danske. I Afrika er udviklingen i kornproduktionen gået langsommere og fra et lavere udgangspunkt. Fra 1960 til 2007 steg udbyttet således fra omkring 800 kg/ha til 1400 kg/ha. Samtidig er arealet udvidet fra 57 mio. ha til 105 mio. ha. Samlet for Afrika er kornproduktionen dog ikke steget helt så hurtigt som befolkningstallet. Lande med langvarig ustabilitet som f.eks. Angola, Congo, Mozambique og Zimbabwe er stærkt medvirkende til den svage produktionsudvikling på kontinentet som helhed.

Udviklingen i tre Øst- og tre Vestafrikanske samarbejdslande ses i figur 1. Udbytteerne er karakteriserede ved store fluktuationer fra år til år, men alle de viste lande med undtagelse af Tanzania har forøget arealudbytteerne over de sidste 30-40 år. Produktivitetsstigningen i Afrika kan i alt væsentligt tilskrives forbedrede dyrkningstekniker, f.eks. dyrkes kornafgrøderne i dag de fleste steder på række, hvilket betyder langt bedre ressourceudnyttelse samtidig med, at det letter den mekaniske ukrudtsbekæmpelse. Rettidig såning kan også have spillet en rolle, ligesom der nu findes et udvalg af

forbedrede sorter tilpasset forskellige agroøkologiske betingelser. Anvendelsen af kunstgødning og pesticider er derimod, i modsætning til de Asiatiske samarbejdslande, stadig begrænset. I såvel Asien



Figur 1. Udvikling i hektarudbyttet i ris i Vietnam og Bangladesh og hektarudbyttet i ris i Tanzania, Kenya og Uganda i Østafrika og Burkina Faso, Mali og Benin i Vestafrika (FAO Stat 2008).

som i Afrika er landbruget karakteriseret ved små brug, hvor arbejdskraften er billig, hvilket har stor indflydelse på teknologivalget. Specielt i Afrika er evnen til investering i moderne teknologi ringe og produktiviteten ligger langt under det mulige på de ofte frugtbare jorde. Ringe udvikling af infrastruktur og markedsadgang for bønderne er også medvirkende til den relativt lave produktivitet, fordi overskudsproduktionen ikke nødvendigvis kan sælges.

### **Bioteknologi, GMO eller non-GMO?**

Bioteknologi opfattes ofte i medierne som udelukkende anvendelse af gensplejsning (GMO), men non-GMO teknologi med anvendelse af højteknologiske metoder til forbedring af dyrkede planter udvikler sig også hurtigt.

GMO-teknologien omfatter teknik, hvor gener fra samme eller helt andre biologiske arter indsættes i forædlingsmateriale for at tilføje dyrkede planter egenskaber, som ikke er tilgængelige med traditionelle forædlingsmetoder. GMO er aktuel indenfor en række områder, specielt etableret ved herbicidresistens, insektresistens og virusresistens og er med nuværende teknologi kendetegnet ved at omfatte håndteringen af et eller nogle få gener. Resultaterne med GMO teknologi har ofte været beskyttet f.eks. ved patentering, hvorved tilgangen til resourcesvage bønder bliver problematisk og markedsføring og implementering er kompliceret og kostbar på grund af regulering og krav om dokumentation og risikovurdering.

Såkaldt non-GMO bioteknologi omfatter håndteringen i traditionel forædling af gener bl.a. gennem ”marker assisted selection” (MAS) med markører. Teknikken er kun anvendelig overfor gener, som allerede findes i de dyrkede arter eller deres nære slægtninge, men den er velegnet til samtidig håndtering af mange gener også gener for såkaldt kvantitative egenskaber (QTL). Markedsføringen af resultaterne lider ikke under krav om dokumentation og risikovurdering. Til gengæld begrænses privat investering i teknologien noget, fordi den ikke egner sig til beskyttelse af langsigtet investering gennem patentering.

#### **Boks 1.**

**Planteforædling:** Krydsning af forskellige planter for i afkommet at udvælge bedre sorter med gener for bedre dyrkningsegenskaber som udbytte, sygdomsresistens og kvalitet.

**Non-GMO teknologi:** Omfatter i denne forbindelse højteknologi til udvalgt af de bedste planter i forædlingsprogrammer baseret på deres fingerprints fra molekulære markører. Dette omfatter enten tilbagekrydsning, hvor gener fra fremmed materiale af den samme art indføres i dyrkede sorter eller pyramidisering, hvor gener fra en eller flere egenskaber i det dyrkede materiale samles i nye bedre sorter. Selektionsmetoderne betegnes også markør assisteret selektion (MAS). Sorterne bliver ikke gensplejsede og behøver derfor ikke speciel risikovurdering.

**GMO teknologi:** Teknologi til fremstilling af GMO, som er betegnelsen for genetisk modificerede organismer, der har fået indsat gensplejsede gener. De indsatte gener kan komme fra en anden art eller fra samme art. Gener fra bakterier kan f.eks. gøre plantesorter resistente overfor insekter (Bt). Sorterne bliver gensplejsede og kræver omfattende risikovurdering før markedsføring.

GMO teknologierne har deres største fordel ved at udvide vores genresource i planteforædling til at omfatte i princippet alle gener i alle arter. F.eks. har gener fra bakterier allerede vist sig at være en kilde til nye vigtige egenskaber (herbicidresistens og insektresistens) bl.a. fordi bakterierne gennem evolutionen har udviklet mange forskellige genetiske systemer, som vi nu har adgang til i planteforædlingen. Alternativt har MAS vist sig meget effektiv til forædling af genetiske systemer, som allerede findes i de dyrkede planter eller deres nære relaterede gennem effektivisering af traditionel forædling ved genetisk rekombination. MAS er dokumenteret effektiv til at indbringe nye genetiske egenskaber fra ikke tilpasset materiale ved tilbagekrydsning f.eks. fra gamle landsorter eller vildt materiale af den samme art (Swamy and Sarla 2008). Endvidere er MAS effektiv til at samle (pyramidisere) mange gener for en egenskab sammen i det allerede tilpassede plantemateriale (Kuchel et al., 2007). Specielt i mange lav-input områder dyrkes et ganske varieret sortsmateriale med mange forskellige gener for sygdomsresistens og tolerance overfor stress samt gener for lokale kvalitetskrav, som det er relativt simpelt med markører at pyramidisere i højtydende sorter.

Udover at pyramidisere generne direkte i højtydende sorter arbejdes der meget på at klon dem med henblik på at fremstille bedre markører (funktionelle markører) eller for at anvende dem til GMO konstruktioner. Dette muliggør i et vist omfang patentbeskyttelse, men det er med aktuel teknologi meget resourcekrævende og ofte ikke økonomisk finansierbart for gener uden fuldstændig effekt. For

høj-input produktion vil man formentlig i fremtiden se mange af disse QTLs blive pyramidiseret i gensplejsede plantesorter, hvorved der opnås mere bredspektrede forbedringer, som samtidig vil kunne nyde nogen beskyttelse under patentrettighederne for den gensplejsede komponent. De forskellige bioteknologiske teknikker vil således blive mere og mere indregerede som det er beskrevet af Zhang (2007) om fremtidig udvikling af "Green Super Rice".

### **Nogle bioteknologiske indsatsområder**

Med den øjeblikkelig udvikling er der nogle hovedområder, hvor der særligt sker en udvikling mod anvendelse af bioteknologi i planteproduktionen. Disse vil blive gennemgået i det følgende og deres relevans for Danidas samarbejdslande belyst.

#### **Herbicidresistens**

GMO metoder til fremstilling af herbicidresistente afgrødeplanter har haft stor succes gennem de seneste 10 år. Det gælder specielt gensplejsning til opnåelse af resistens overfor glyphosat (Roundup) i majs, soja og raps og i mindre grad resistens overfor glufosinat ammonium (Basta) i raps og enkelte andre planter. Endvidere anvendes udbredt planter med ikke gensplejset resistens overfor imidazolinoner (*imid* mutationer/ClearField) i raps, ris, solsikke etc. Herbicidresistens teknologien er udviklet til højtudviklede landbrug i rige lande. Den finansieres fortrinsvis gennem salg af certificeret udsæd samt på ophavsretsbeskyttelse gennem patenter.

De herbicidresistente afgrøder er blevet et nyt vigtigt bidrag til ukrudtskontrol, specielt i tørre og halvtørre områder, hvor de har muliggjort anvendelsen af relativt billige ikke selektive herbicider som glyphosat og imidazolinoner til supplerende eller erstatning for dyrere eksisterende herbicider imod hvilke, der hastigt udvikles tolerance i ukrudtsbestanden. På disse områder har man således fået et mere diversificeret udvalg af kemikalier til anvendelse i afgrøder, så der er bedre muligheder for at variere kemikalieanvendelsen og dermed modvirke udviklingen af herbicidresistens i ukrudtet.

De nye teknologier har muliggjort dyrkning af værdifulde afgrøder som f.eks soja på områder, hvor det førhen ikke var økonomisk givtigt og bl.a. Clearfield teknologien har været markedsført som et middel til at kontrollere alvorlige problemer med vilde ris i risproduktionen flere steder i verden. Der er dog sikre tegn på at *imid* resistensgenet hurtigt overføres gennem krydsning til de vilde risarter (Kadaru et al., 2008), så anvendelsen har tilsyneladende kort levetid, medmindre der findes vekseldrift metoder med anvendelse af andre kemikalier til bekæmpelsen af ukrudtsrisen. Der er lignende resultater med overførsel af *imid* tolerance fra dyrket imidtolerant hvede i Arkansas til "Jointed Goatgrass" (*Aegilops cylindrica*) (Gaines et al., 2008). Det er derfor klart at teknologien med herbicidtolerante afgrøder har problemer, hvis afgrøderne er nært beslægtet med vigtige ukrudtsarter.

Indenfor majs og sorghum har der været betydelige bestræbelser for at markedsføre en kombination af herbicidresistent afgrøde (*imid*) og kemikalie bejdsede frø for at kontrollere snylteplanten striga (*Striga hermonthica*). Teknikken er effektiv, men det er stadig uklart om gevinsten kan opveje de ekstra udgifter til indkøb af nye kemikaliecoatede frø hvert år (de Groot et al., 2008, Khan et al., 2008a, Khan et al., 2008b).

#### *Relevans for samarbejdslandene*

Ukrudtsbekæmpelse er en af de mest arbejdskrævende processer i subsistenslandbruget. Det samlede arbejdsforbrug på de små lodder er dog relativt lavt. I et afrikansk brug med ris eller majs er

ukrudtsbekæmpelsen f.eks målt til 300 timer/ha af et totalt arbejdsforbrug på 1000 timer/ha (Lawrence et al., 1997). Brug af herbicider i hovedafgrøderne er derfor minimal selv i mere udviklede lande som Kina. Herbicidresistente sorter kan med stigende arbejds løn blive relevant på mellemlangt sigt, men næppe i sig selv betyde nogen produktivitetsstigning.

### **Insektresistens**

Insektresistens baseret på transgene såkaldt Bt-konstruktioner har været meget succesfulde i løbet af de seneste 10 år. Disse konstruktioner indeholder dele af gener for delta endotoxin fra *Bacillus thuringiensis*. Proteinerne bruges og har længe været anvendt som konventionelle sprøjtemidler og de er aktive mod larver fra Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Diptera samt mod nematoder. Bt-konstruktionerne fungerer ved, at de lyserer fordøjelseskanalets epithelceller efter at protoxinet er blevet aktiveret i det specielle basiske miljø i larvernes fordøjelseskanalet (Gómez et al., 2007; Sanchis and Bourguet, 2008). Gensplejsede plantesorter indeholder normalt konstruktioner af *cry* typen af endotoxinerne og har vist sig overraskende specifikke med lille effect overfor ”non-target” arter. Endvidere er der en meget bred genetisk variation af disse gener i *Bacillus thuringiensis*, hvilket muliggør stadig udvikling af nye konstruktioner med forbedret effekt overfor forskellige racer og arter af insekterne (Xue et al., 2008; Seifinejad et al., 2008, Swiecicka et al., 2008).

Bt-konstruktioner bruges især i majsproduktion til at kontrollere problemer med Europæisk majsborer (*Ostrinia nubilalis*), Asiatisk majsborer (*Ostrinia furnacalis*), ”armyworms” (*Spodoptera frugiperda*) og ”rootworms” (*Diabrotica* spp) (Nowatzki et al., 2008; Siebert et al., 2008). I bomuld anvendes sådanne konstruktioner til kontrol af såkaldte ”bollworms” (*Helicoverpa* ssp), hvor de indgår i et integreret program, som også omfatter anvendelse af kemikalier mod insekter, der ikke påvirkes af Bt (Deguine et al., 2008).

Holdbarheden af Bt-baseret resistens har været diskuteret meget siden det blev introduceret, fordi det vides, at almindelige insekt populationer relativt let udvikler tolerance overfor toxinet. Selvom det således var forventet, at resistensen ikke ville holde længe i praksis, er der imidlertid endnu ikke rapporteret om større problemer med tolerante insektpopulationer overfor de Bt gensplejsede afgrøder, selvom der nu findes eksempler på populationer med høj frekvens af resistente individer (Liu et al., 2008). Til Bt-baseret resistens i bomuldproduktionen bruges ofte en såkaldte refugie teknologi, hvor 5-25 procent af arealet dyrkes med almindelig ikke resistent bomuld (Frisvold and Reeves, 2008). Refugierne virker ved at opformere ”normale” ikke tolerante insekter, som derefter parrer sig med sjældne resistente individer, hvis afkom bliver partielt resistent, så det ikke opformeres på den insektresistente afgrøde. Det er et spørgsmål om resistensudvikling kan kontrolleres i lav-input områder, hvor folk måske ikke overholder refugie reglerne. Et andet problem for teknologiens holdbarhed er, at sekundære insekter som ikke kontrolleres af Bt konstruktionerne, vil få en større betydning, når de følsomme insektarter reduceres, således at noget af gevinsten mistes (Lu et al., 2008).

Insektkontrollsystemerne, baseret på Bt-konstruktioner, er udviklede til rige landes landbrugssystemer, hvor de er baseret på finansiering gennem patentering og markedsføring med begrænsede ”farmers rights”. De har imidlertid vist sig også at være funktionelle for mere lav-input landbrug bl.a. i Kina og Indien, hvor den kinesiske offentlige forskning har udviklet egne patenterede konstruktioner til brug i bomuld, ris og majs. Der er endvidere mulighed for at Bt-konstruktionerne kan bringes til at virke overfor Lepidopteran lagerskadedyr (Hubert et al., 2008), som er et specielt problem i varme klimater. Forskellige lectiner og protease inhibitorer er mulige anvendelser i fremtiden bl.a. som nye typer af



transgene konstruktioner, men er stadig på udviklingsstadiet. Sådanne gener udgør en del af mange planters naturlige forsvar mod insekter (Mosolov and Valueva, 2008).

Adskillige forskningsgrupper arbejder med udvikling af systemer til indførelse af insekresistens baseret på introduktion af nye synteseveje, så planter kommer til at indeholde giftige eller væksthæmmende kemiske forbindelser. Kim and Sano (2008) foreslår insektkontrol med caffein, hvilket er demonstreret i tobaksplanter, som når de udtrykker alkaloidet, angribes mindre af en række insekter. Også introduktion af cyanidsyntese er en mulighed også demonstreret i tobak mod nogle insekter (Kristensen et al., 2005). Disse systemer er dog stadig på det basale udviklingsniveau.

I løbet af de sidste år er der sket en betydelig udvikling mod anvendelse af naturligt forekommende resistens/tolerance overfor insekter gennem QTL kortlægning af gener, som er aktive mod insekter. Nye eksempler på sådanne QTL er resistens mod "cutworm" (*Spodoptera litura fabricius*) og andre insekter i soya (Komatsu et al., 2008; Zhu et al., 2008), mod "greenbug" *Schizaphis graminum* i sorghum (Wu and Huang 2008), mod "armyworm" i majs (Brooks et al., 2007), mod "leaf folder" i ris (Selvaraju et al., 2007), og nogle typer af "bollworm" i bomuld (Wan et al., 2007). Sådanne QTL for resistens/tolerance overfor insekter vil normalt ikke fuldstændig eliminere skadevolderne, men hæmme deres angreb og udvikling på forskellig måde. De skal derfor anvendes integreret med andre kontroltiltag og samles sammen (pyramidiseres) evt. kombineret med gensplejsede systemer.

#### *Relevans for samarbejdslandene*

Afgrødeskader forårsaget af insekter, der kan bekæmpes med Bt-proteiner er i Afrika betydeligt, da der normalt ikke sprøjtes mod insekter i kornafgrøder. Udbyttetabene vil variere fra år til år og fra sted til sted, men vil formentlig sjældent overstige 10-15 % (De Groote, 2005). Insekt problemet er langt større i bomuld, der ofte dyrkes på kontrakt i forbindelse med forarbejdningsindustrien, hvor frø og anden input leveres til bønderne. Anvendelsen kan her være meget relevant, og må komme an på industriens omkostningsberegninger og lokal lovgivning.

Et igangværende projekt i samarbejde mellem KARI, CIMMYT og Syngenta, startede i 1999 (IRMA) ([http://www.cimmyt.org/english/wpp/gen\\_res/irma.htm](http://www.cimmyt.org/english/wpp/gen_res/irma.htm)) i Kenya, hvor man søger at forædle Bt resistente majs. De første typer var ikke effektive, men nye genkonstruktioner med bedre resistens mod den vigtigste skadegører, *Busseola fusca* er nu under afprøvning. Hvis genet er effektivt og kan benyttes frit til forædling i andre afrikanske lande, kan det betyde en forøgelse af udbyttet, da afgrøderne ikke i forvejen beskyttes med sprøjtemidler.

Kineserne har forædlet flere Bt resistente rissorter. I Vietnam anvendes store mængder insekticider i risproduktionen, og man må forvente at resistente sorter relativt hurtigt vil brede sig, da man i forvejen dyrker mange kinesiske rissorter i det nordlige Vietnam. Resistensen i de højproduktive områder kan føre til en reduktion i anvendelsen af pesticider, og dermed til øget fortjenste, men næppe til større totalproduktion (Huang et al., 2005).

MAS vil inden for insekresistens være et meget relevant alternativ til GMO. Der findes allerede en del nationale og internationale programmer for at udnytte genetiske forskelle i eksisterende dyrket eller relateret materiale af især majs, ris casava mv. Gennem evolutionen, sammen med insekterne, har planterne udviklet mange forskellige genetiske systemer til reduktion af insektangreb og disse genetiske forskelle findes ofte stadig i det lokalt dyrkede materiale hos subsistensbønderne. Det vil være forholdsvis simpelt at pyramidisere disse gener i forbedrede sorter til fri opformering

## **Virusresistens**

Genplejset virusresistens i planter var oprindelig baseret på konstruktioner indeholdende virus kappe proteiner, men bruger nu ofte siRNA eller RNAi teknologi, hvor konstruktionerne genererer dobbeltstrengede RNA strukturer, som inducerer nedbrydning af alt messenger RNA fra de homologe virus gener, så inficerende vira forhindres i opformering meget tidligt i infektionscyklus (Levy et al., 2008). Den ofte snævre resistens af sådanne konstruktioner, som kun er virksom overfor viruslinier, der er tæt beslægtede, kan til en vis grad overkommes gennem konstruktioner med sekvenser fra flere forskellige virus racer. Nyere tiltag for at kontrollere plantevira omfatter udtryk af "Single chain variable fragment" (scFv) antistoffer (plantibodies) specifikke mod virus protein (Prins et al., 2008; Morroni et al., 2008), dog stadig på laboratorieniveau.

På trods af den videnskabelige meget store succes med transgen virusresistens i planter, hvor teknologien har vist sig effektiv mod et rigtig stort antal forskellige vira i forskellige plantearter med konstruktioner fra mange forskellige gener (Prins et al., 2008), så har dyrkning af GMO virusresistente planter til kommerciel brug stadig begrænset omfang. Squash med resistens overfor agurk mosaik virus, Zucchini gulmosaik virus og vandmelon mosaik virus er markedsført i USA og resistensen har holdt i mere end 10 år. Papaya med resistens mod papaya ringspot virus er blevet markedsført fra forskningsgrupper på Hawaii og er formentlig en væsentlig årsag til, at man har kunnet opretholde produktion og eksport af papaya fra området. Også denne konstruktion har nu holdt sin effekt overfor virussen i ca. 10 år og papaya eksemplet viser, at det er muligt at markedsføre gensplejsede produkter fra akademia direkte til dyrkerne (Fuchs and Gonsalves, 2007). Shepherd et al. (2007) foreslår GMO majs med resistens mod maize streak virus i Afrika. Holdbarhed af GMO resistens bl.a. i relation til dens bredde overfor forskellige virusracer er stadig kun begrænset kendt, selvom eksemplerne ovenfor giver grund til optimisme.

Også med hensyn til kontrol af virussygdomme er der en betydelig udvikling mod bedre metoder til at anvende naturligt forekommende gener for resistens, f.eks. i soya mod soya mosaik virus (Maroof et al., 2008) og resistens i byg mod byg dværg virus (Kosova et al., 2008). Fordi markørsystemerne er relativt simple at anvende, er der også en del aktiviteter på området i udviklingslandene f.eks. virusresistens i sød kartoffel (Miano et al., 2008), Maize streak virus og andet i majs (Shepherd et al., 2007; Stevens, 2008), Cassava mosaik virus i Cassava (Okogbenin et al., 2007) og en del aktivitet er i gang mod Cassava Brown streak virus (Pearse, 2007).

### *Relevans for samarbejdslandene*

Virus forårsager en del tab også i store afgrøder som majs og cassava. Der findes allerede betydelig resistens i det dyrkede materiale, som vil kunne pyramidiseres med markører, men der er også gode muligheder med GMO teknologierne, hvis plantematerialet stilles frit til rådighed i sorter som kan selvopformerer.

## **Svamperesistens**

Der er stadig, på trods af omfattende forskning indenfor resistens overfor svampesygdomme på planter, langsom fremgang mod teknologi, som kan håndteres i praktisk produktion, specielt i ulande (Collinge et al., 2008). Vekselvirkningen mellem planter og deres svampepatogener har gennem lang tids evolution udviklet sig til at være endog meget kompleks, hvorfor GMO teknologien indtil videre ikke er særlig anvendelig.

Resultatet af evolutionen mellem planter og deres svampepathogener har imidlertid efterladt et tydeligt spor i form af resistensgener hos planterne og tilsvarende virulensgener hos svampene, som kan anvendes meget effektivt til pyramidisering gennem MAS. Litteraturen på området er meget omfattende og dækker næsten alle plantearter og deres svampesygdomme, også omfattende så komplekse systemer som f.eks. resistens overfor "blast" (Sharma et al., 2007) og "bacterial blight" i ris (Sundaram et al., 2008).

#### *Relevans for samarbejdslandene*

Medens GMO teknikken stadig har begrænsede muligheder med hensyn til resistens overfor svampesygdomme vil MAS pyramidisering af eksisterende resistensgener i lokalt dyrket materiale være relativt billig og kan med fordel gennemføres i samarbejde mellem mindre forskergrupper i u- og i-lande.

### **Tørke- og stresstolerance**

Et stort antal gener med effekt relateret til stresstolerance (tørke, varme, kulde etc) er nu beskrevet eller/og søgt patenteret med forskellige mere eller mindre forståede virkemekanismer. Dels gener som koder for stabilisering af protein og membranstrukturer ved lavt vandpotentiale (Castiglioni et al., 2008; Su et al., 2008), gener som hæver mængden af osmotisk aktive forbindelser, som beskytter mod vandtab fra cellerne (Iqbal et al., 2008), gener, som regulerer åbning af planternes stomata med henblik på at spare på vandet (Fan et al., 2008, Zhang et al., 2008) og gener som forøger nedbrydningen af fysiologisk skadelige "reactive oxygen species", som dannes i forbindelse med stress (Ramirez et al., 2008). Endnu flere gener er beskrevet i den fysiologiske litteratur eller/og forsøgt patenteret, hvor virkningsmekanismen er ufuldstændigt forstået (Wang et al., 2008; Reuzeau, 2008).

Stresstolerancegenerne markedsføres som generelle udbytteforøgende gener, fordi de giver planten ekstra kræfter, når den udsættes for uheldige miljøforhold (stress). Flere større satsninger er undervejs, sponsoreret af internationale firmaer eller konsortier og der tales om udbyttefremgang på 12-15%. Det er imidlertid stadig uklart om resultaterne kan holde også i virkelige produktionssystemer og resultaterne under meget lav-input forhold er ukendte (Maris 2008; Takeda and Matsuoka, 2008; Pennisi 2008 a,b; Leung, 2008).

Der findes en overordentlig omfattende litteratur omkring MAS og tørketolerance og tolerance overfor andre former for stress i dyrkede afgrøder. Der findes en meget stor genetisk variation i det dyrkede materiale f.eks. for tørketolerance i majs (Tuberosa et al., 2007), men det er komplekst nedarvet med mange gener og stor miljøeffekt, så det kræver et omfattende evaluering og selektionsarbejde at få anvendelige fremskridt. Der er dog, specielt omkring anvendelsen af MAS til screening for stresstolerance i vigtige afgrøder, rigtig stor optimisme (Witcombe et al., 2008) og bla The African Agricultural Technology Foundation (AATF) har startet et internationalt samarbejde mellem offentlige og private enheder støttet af Belinda og Bill Gates foundation til udvikling af tørketolerante majs til Afrika, se også <http://aatf-africa.org/UserFiles/File/WEMA-press-release.pdf>

#### *Relevans for samarbejdslandene*

I virkelig tørre områder ligger produktiviteten generelt lavt selv ved anvendelse af moderne teknologi

som f.eks. i store områder i Australien. Hvedeudbyttet i Australien har i de seneste 4 år (2002-2006) ligger mellem 802 og 1945 kg/ha. I det meste af Afrika er produktionspotentialet på grund af relativt pæne nedbørsmængder gennemgående langt bedre end i Australien. I Zimbabwe lykkedes det således ved systematisk udbud af sædefrø og kunstgødning i begyndelsen af 1980'erne at opnå majsudbytter på 6-7 t/ha hos småbønderne (Danagro, 1988). Det Danida støttede SASA projekt Iringa, Tanzania, viste, at der kan opnås udbytter på op til 6 gange normaludbyttet og en 3 gange forbedret vandudnyttelse med moderate mængder kunstgødning og forbedret jordbehandling (Jensen et al., 2003). Potentialet for udbytteforbedringer med kendt teknologi er derfor stort under de forhold, som findes i de afrikanske samarbejdslande ved forbedret dyrkningsteknik. De store fluktuationer i nedbør imødegås allerede med komponenter af meget tørkeresistente sorter og arter i dyrkningssystemerne. Mere tørkeresistente sorter kan bidrage, men de øjeblikkelige tilgange til både GMO og MAS baseret løsninger er stadig på et meget basalt niveau. En systematisk traditionel forædling af hovedafgrøderne suppleret med forædling af lokale afrikanske afgrøder, der indgår i klimarobuste dyrkningssystemer, vil give mere sikre resultater på kort sigt. Et væsentligt bidrag vil her være introduktion af tidligt modnende sorter specifikt tilpasset lokale præferencer.

### **Biofortifikation af fødevarer**

Fejlnæring som følge af underskud af mineraler som jern og zink, vitamin A, essentielle aminosyrer og protein er et omfattende fattigdomsproblem, specielt for mennesker som ernæres ensidigt af korn og bælgplanter. Der kan forædles for nogle af egenskaberne fordi forskellige linier af ris, bønner og ærter viser 3-5 gange forskelle i indhold af jern og zink. Et større initiativ "HarvestPlus" indenfor CGIAR (CIAT og IFPRI) er i gang for at forædle fødevarer med højt mineralindhold.

(<http://www.harvestplus.org/>). Jern og zink tilgængeligheden i planter kan også forbedres gennem mutationer som blokerer frøets syntese af phytat, der binder mineralerne kraftigt (Bohn et al., 2008, Lorenz et al., 2008). For forbedring af indhold af jern og zink findes også GMO teknologi som enten forbedrer optagelsen i roden eller lagringen i kernen (Ferritin) (Zhu et al., 2007, Mayer et al., 2008). For indhold af vitamin A, essentielle aminosyrer og protein har man generelt fundet lav genetisk variation i dyrkede planter og adskillige GMO tiltag er i gang for at introducere egenskaberne. Frembringelse af ris med højt indhold af beta-caroten som er forstadiet til vitamin A (Golden rice) er det bedst kendte eksempel. Det oprindelig lave caroten indhold i prototypen for denne ris fra 1989, er forbedret betydeligt gennem nye genkonstruktioner, selvom indholdet stadig er for lavt til at sikre den anbefalede mængde vitamin A ved daglig indtagelse af ris. Teknologien har også vist sig funktionel i andre arter (<http://www.goldenrice.org>). Der arbejdes også på indførelse af vitamin E og nogle andre vitaminer (Zhu et al., 2007).

Det er endnu uklart om aminosyre sammensætningen kan ændres væsentligt i dyrkede planter gennem GMO baseret expression af "rige" proteiner i kernen kombineret med regulering af aminosyresyntesen (Zhu et al., 2007). Der kendes flere mutanter af majs (opaque) som forbedrer aminosyresammensætningen betydeligt og som relativt let kan forædles ind i tilpasset materiale (Nognyamo-Majee et al., 2008).

### *Relevans for samarbejdslandene*

Nogle af de nævnte tiltag for at ændre næringsstofindhold, som jern, zink og vitamin A i vigtige dyrkede afgrøder kan formentlig få afgørende betydning for ernærings sundheden, hvis det lykkes at udbrede de nye afgrøder. Man må imidlertid forvente, at det vil kræve yderligere forbedring af sorterne, hvis bønderne skal blive motiveret til at dyrke dem. Den positive virkning vil være størst

blandt den fattige bybefolkning, med begrænset mulighed for at få en varieret kost.

## **Frøsektoren**

Vi mener, at det er en absolut forudsætning for at drage fordel af den nyeste genteknologiske udvikling i ulande, at der findes en lokal funktionel frøsektor, som kan sikre en forsyning af frø af de bedste sorter til en lav pris, fortrinsvis af sorter, som frit kan videre opformeres. I Danida's modtagerlande udgør den formelle frøsektor 10 pct (Danida, 2007) eller mindre af markedet, og heraf udgøres en overvejende del af en mere eller mindre offentlig støttet produktion af frit tilgængelige OP-sorter forædlet af CGIAR centrene og nationale institutioner. Disse sorter kan opformeres og vedligeholdes af bønderne og udgift til sædekorn har dermed været meget begrænsede, da indkøb af frø modsat f.eks. kunstgødning og pesticider har kunnet betragtes som en varig investering.

Udbredelsen af "moderne" frit tilgængelige sorter har derfor haft stor betydning for udbyttestigningen ikke blot i Asien, men også i Afrika. Frømarkedet for private firmaer er derimod overvejende interessant for havebrugsafgrøder og hybrider af f.eks. majs og ris. I Tanzania er ligefrem set en nedgang i den internationale private frøsektor i de seneste 15-20 år (Christiansen et al., 2006). Med udbytte niveauer under 2 t/ha og ofte under 1 t/ha er der ikke basis for at betale for nyt sædefrø hvert år.

På trods af en svag privat frøindustri er det stadig forholdsvis let at udbrede nye sorter, forudsat de frit kan opformeres. Hvis GMO-afgrøder skal få udbredelse blandt fattige bønder i Afrika, er det i hvertfald i begyndelsen, som påpeget af CIMMYT (Hoisington and Ortiz, 2008), nødvendigt med et offentligt engagement i lokal forædling og markedsføring.

## **Globalisering, samhandel og ophavsretbeskyttelse**

International samhandel og vekselvirkning er en forudsætning for anvendelsen af moderne teknik til forbedret planteproduktion. Beskyttelsen af langsigtede investeringer gennem patentering i forbindelse med udviklingen af de nye gensplejsede planter er et problem for anvendelse til lav-input områder, fordi producenten ofte forpligtes til ikke at fremstille egen udsæd. Princippet har fungeret i høj-input lande, men i ulande, hvor sådanne regler ikke kan implementeres, vil incitamentet til privat finansieret udvikling af nye plantesorter med egenskaber specielt rettet mod fattige producenter være stærkt begrænset på grund af usikre indtjeningsmuligheder. I nogle tilfælde kan investeringerne beskyttes gennem hybridsorter (f.eks. grønsager), men ellers må det internationale hjælpesystem samlet gennemføre udviklingen og markedsføringen af nye sorter, som frit kan opformeres af producenterne (Basu and Qaim, 2007). Det kunne f.eks. være specielle typer af Bt i majs, bomuld mv. med konstruktioner rettet mod lokale typer af "borere", "boolworms", lagerskadedyr mv., som i IRMA (et samarbejdsprojekt mellem Kenya, CIMMYT og Syngenta).

Problematikken omkring sameksistens er stadig uafklaret. Mange dyrkede planter spreder deres gener til beslægtede arter eller forvildede populationer gennem krydsning kombineret med frøspredning. Det er stadig uklart, hvor hurtigt egenskaber som f.eks. herbicidresistens forsvinder fra vilde populationer, når de ikke er under selektion med herbicidet (Warwick et al., 2008; Dlugosch and Whitton, 2008), ligesom det er uklart, hvordan den fremtidige internationale handel med planteprodukter vil blive reguleret overfor den uundgåelige indblanding af gensplejsede i ikke gensplejsede produkter

(Lieberman and Gray, 2008). En opretholdelse af afstrandskrav, sædskiftekrav o.l. vil formentlig være illosorisk i de fleste samarbejdslande.

## **Boks 2.**

**Cartagena protokollen** er et supplement til “Convention on Biological Diversity (CBD)” også kendt som Rio konventionen. Protokollen forsøger at beskytte den biologiske mangfoldighed fra en potentiel risiko forårsaget af GMO organismer. Protokollen udstikker retningslinier for regulering af GMO organismer indenfor international handel, transport mm. Den er tiltrådt af 147 lande og Danmark underskrev den 24. maj 2000. Skov og Naturstyrelsen (Lene Westergaard) er Danmarks kontakt vedrørende denne protokol.

Handlen med vegetabilsk materiale af GMO afgrøder (foder og fødevarer) er fuldstændigt reguleret i EU med forordning nr. 1829/2003. Det omfatter også import af foder og fødevarer fra Danida's samarbejdslande, men ikke non-food materialer som bomuld. Handel mellem andre lande udenfor EU er generelt reguleret med udgangspunkt i Cartagena protokollen. For at opnå godkendelse til salg i EU skal alle nye GMO egenskaber have en omfattende videnskabelig dokumentation vedrørende effekt på miljø, dyr, mennesker etc., hvilket har gjort godkendelsen af nye GMOer langsommelig. Dokumentationskravene bevirker også, at det hidtil kun har været de store multinationale selskaber (Monsanto, Syngenta etc.), der har kunnet løfte opgaven med registrering. Endvidere opretholder EU en nul-tolerance politik for ikke-godkendt GMO materiale i fødevarer eller foder. Fastsættelse af en minimumtærskel for tilstedeværelse af endnu ikke godkendt GMO materiale i foder og fødevarer diskuteres stadig med positive forventninger om en løsning (Petersen, 2008). Det er imidlertid klart, at handel med foder og fødevarer i fremtiden vil kræve betydelig dokumentation om indhold af GMO, og at disse krav kan blive meget vanskelige for Danida's samarbejdslande at honorere.

Fra den 15. april 2008 skal alt ris og risprodukter der importeres til EU fra Kina testes for tilstedeværelsen af Bt63 efter der i 2006 og 2007 er fundet partier i UK, Frankrig og Tyskland, hvor nul-tolerancen er overskredet. Kina har i flere omgange, uden held, selv forsøgt at identificere kilderne til indblandingen (Anonym, 2008). Vietnam er verdens tredjestørste riseksportør (4,5 mio. ton i 2007) og en del af eksporten går til EU (Polen og Litauen), dog sælges hovedparten til andre udviklingslande som Kenya, Cuba, og Filipinerne. Man må forvente at småbønderne i Vietnam vil forsøge at dyrke ris med Bt63 eller andre GMO rissorter fra Kina, uden at disse er godkendt i Vietnam eller EU. Det kan true den lukrative eksport af ris, der i 2008 er estimeret til ca. 15 milliarder DKK til bla. EU. For østafrikas vedkommende skønnes det, at kun en mindre del (1-6,5 pct.) af eksporten går til GMO-sensitive markeder (ICTSD, 2007)

Der er ingen tegn på at dokumentationskravet fra EU vil blive reduceret i nær fremtid, men det breder sig måske snarere til andre landes handelspolitik og kan frygtes at blive brugt som indirekte handelsrestriktioner også mellem ulande.

## **Sammendrag**

Den grønne revolution i Asien initierede en eksponentiel stigning i fødevarerproduktionen gennem introduktion af nye sorter, anvendelse af kunstgødning, pesticider, vanding og andre

dyrkningsteknologier. Metoderne udvikler sig stadig i udviklingslande både i Asien og Afrika, hvor der forsat er en kraftig stigning i fødevarerproduktionen også per arealenhed, som imidlertid modsvares af en stor befolkningstilvækst samt øget forbrug af animalske produkter.

Udviklingen af bioteknologiske metoder giver nye spændende muligheder inden for planteforædlingen. Man bør skelne mellem egentlige GMO teknologier, som anvender gensplejsning og non-GMO teknologier, som anvender andre metoder til at opnå forbedringer.

GMO teknologierne udmærker sig ved at muliggøre flytning af gener over artsgrænser, så det f.eks. nu er muligt at bruge gener fra bakterier og i princippet fra alle andre levende organismer i forædlingen af planterne. De fleste planter forædlet med GMO teknik beskyttes af patenter, hvilket kan gøre dem vanskeligere tilgængelige for fattige bønder og markedsføring af sådanne planter kræver omfattende dokumentation angående risiko for mennesker, dyr og miljø ved deres anvendelse.

Non-GMO teknologierne på den anden side begrænser sig til at anvende gener, som allerede findes indenfor plantearten eller dens nære slægtninge. Til gengæld er de effektive til hurtigt at samle vigtige gener sammen i et varieret materiale af planter, som dyrkes i mange ulandsområder.

Sorterne fra non-GMO forædling egner sig ikke til beskyttelse gennem patentering, hvilket kan modvirke langsigtede investeringer, men de kræver til gengæld heller ikke særlig dokumentation for risici ved deres dyrkning og der er ingen specielle problemer med sameksistens, som det kendes fra dyrkning af GMO.

I det industrialiserede landbrug er de økonomisk mest betydningsfulde fremskridt opnået med herbicid resistens i bomuld, majs, raps og sojabønner og resistens (Bt) over for sommerfugle og biller i bomuld og majs. Bt-teknikken har vist sig at fungere også i småbrug i Indien og Kina, og forsøges udviklet til majs under afrikanske forhold. Herbicid resistens er mindre interessant i ulandsbrug hvor herbicidanvendelsen er minimal.

GMO afgrøder har været med til at formindske brugen af insekticider og en række selektive herbicider, hvilket har reduceret kemikaliepåvirkningen af både mennesker og miljø, men næppe forøget planteproduktionen. Andre teknikker til kontrol af insekter er under udvikling, men de er stadig alle på et basalt udviklingsstadium. Også en lang række non-GMO teknikker er under udvikling til samling af naturligt forekommende gener for resistens overfor insekter.

GMO teknologien er dokumenteret at fungere eksperimentelt mod en lang række vira i mange forskellige plantearter, men markedsføringen er stadig begrænset til nogle grøntsager (squash og græskar) samt til papaya på Hawaii. Også non-GMO metoderne kan fungere overfor virussygdomme. Der er beskrevet rigtig mange naturligt forekommende gener for resistens mod virus mod mange forskellige vira i mange forskellige dyrkede plantearter.

Overfor svampesygdomme har GMO teknikkerne endnu kun udvist begrænsede muligheder. Her kan non-GMO metoderne anvendes med stor effektivitet til at samle allerede eksisterende resistensgener i det dyrkede materiale i nye forbedrede sorter.

Tørke- og stresstolerance i dyrkede planter er endnu ikke udviklede til anvendelse i praksis, hverken for GMO eller non-GMO. For ulande synes sådanne teknologier meget relevante som middel til generel forøgelse af fødevarerproduktionen. Det er imidlertid stadig uklart, hvor store fremskridt sådanne tiltag omkring stress og tørke vil kunne realisere. Der tales om 12-15 % udbyttefremgang,

hvilket imidlertid også vil kunne opnås med andre midler.

Teknologien til berigelse af fødevarers næringsindhold (fortifikation) med jern, zink, vitamin A, aminosyrer og protein har vist betydelige videnskabelige fremskridt. Indholdet af jern og zink i kornafgrøder kan forøges både med GMO og non-GMO teknik. For at motivere bønderne må sådanne nye planter kombineres med andre forbedringer, som direkte fører til større udbytte eller forøget fødevarer sikkerhed.

I industrialiserede lande har udvikling og markedsføring af GMO sorter i høj grad været baseret på internationalt samarbejde og beskyttelse af langsigtede investeringer gennem patenter med efterfølgende begrænsning i bøndernes ret til selv at opformere sorterne, så der købes ny udsæd hvert år. Sådanne mekanismer vil formentlig ikke kunne finansiere indsatsen i samarbejdslandene.

Det har i praksis vist sig at være umuligt at holde ikke gensplejsede produkter fri for indblanding af GMO i de industrialiserede lande. Det skyldes dels krydsbestøvning mellem marker, dels fysisk iblanding i forarbejdnings- og handelsleddene. I samarbejdslandene vil adskildelsen mellem produkterne være endnu sværere og formentlig illusorisk, hvilket kan påvirke samhandel negativt.

Der er ingen tegn på, at dokumentationskravet fra EU vil blive reduceret i nær fremtid. Der arbejdes på at etablere tærskelværdier for iblanding af ikke godkendt GMO i foder og fødevarer, dog uden en afklaring.

De nye teknologier kan opdeles i tre grupper efter deres udviklingshorisont 1) langsigtede teknikker, hvor der endnu ikke foreligger dokumentation for, at de kan fungere i et produktionssystem, 2) teknikker med mellemlang udviklingshorisont, hvor der findes dokumentation for funktion i produktionssystemer, men hvor det er nødvendigt med tilpasning til lokalområder og 3) direkte anvendelige teknikker, som umiddelbart kan tages i anvendelse dog normalt efter en kort forædlingsproces for at bringe dem i lokalt acceptable sorter.

Til de langsigtede teknikker hører forbedrede stress- og tørketolerance samt kontrol af insekter gennem introduktion af syntese af giftige forbindelser. Projekterne har lang udviklingshorisont med stor usikkerhed for opnåelse af anvendelige resultater.

Teknikker med mellemlang horisont omfatter de fleste typer af GMO baseret insekt- og virusresistens, som for det meste skal modificeres for at virke overfor lokale linier af skadegørere, med tilhørende omfattende dokumentation for risiko. Til denne gruppe hører også en del non-GMO teknikker, hvor der først skal gennemføres en kortlægning af gener.

Direkte anvendelige teknikker er GMO for insektresistens, herbicid resistens og virusresistens, som er effektive i det lokale miljø og hvortil ophavsret kan erhverves. Hertil hører også en række non-GMO teknikker, hvor generne for egenskaben er kendte og blot skal samles i forbedrede sorter.

Det er en absolut forudsætning for lokalt at drage fordel af de nye teknologier, at der findes en funktionel frøsektor. Denne må i mange tilfælde være offentligt støttet da lave udbytter i mange samarbejdslande kun kan finansiere forædling og opformering i begrænset omfang. Indsatsen både for GMO og traditionel forædling må derfor baseres på sorter, som bønderne selv efterfølgende kan opformere.

Muligheden for fremskridt gennem helt traditionel planteforædling er langt fra udtømt og vil i en overskuelig fremtid stadig bringe det største bidrag til sortsforbedring herunder udbyttetigning. Velfungerende lokale forædlingsinstitutioner og lokalt tilpasset sortsmateriale er i øvrigt en



forudsætning for udnyttelse af GMO teknikken.

I de afrikanske samarbejdslande foregår selv traditionel forædling stadig i meget begrænset omfang. For at sikre medejerskab til udviklingen af relevante programmer fordres, en betydelig udvikling af relevante lokale forskningsinstitutioner.

Endelig må det fremhæves at nye plantesorter alene ikke giver en grøn revolution, men at fortsat øget planteproduktion i såvel asiatiske som afrikanske samarbejdslande må baseres på en kombination af adgang til bedre teknologi og management i almindelighed. Desuden vil en lettere adgang til markedet være meget stimulerende for planteproduktionen.

## **Anbefalinger**

1. For GMO teknologier, som stadig er på meget basalt udviklingsniveau, hvor det endnu ikke er demonstreret at kunne fungere i et egentligt dyrkingssystem, er udvikling af GMO langsigtet med stor usikkerhed for anvendelige resultater. Sådanne teknologier bør udvikles i basale forskningsmiljøer eller i privat industri med offentlig eller patentbaseret finansiering og er ikke egnede til Danida støtte.
2. For teknologier med mellemlang horisont gælder at udviklingen af nye GMO konstruktioner, tager 8-10 år og med omkostninger til dokumentation og risikovurdering som mange gange overgår prisen for den rent videnskabelige udvikling og evaluering af konstruktionerne. Vi mener derfor, at sådan udvikling og markedsføring bør gennemføres som samarbejde i store internationale organisationer som CGIAR og andre, hvor der allerede er opbygget stor generel ekspertise både laboratoriemæssigt og med hensyn til markedsføring og samarbejde med private ophavsrettede holdere. Danida støtte skal baseres på en nøjere analyse af de enkelt projekter i relation til Danidas overordnede strategi.
3. For mere kortsigtet forædlingsprogrammer er der rige muligheder for mere lokale projekter med anvendelse af en kombination af konventionel forædling og bioteknologi i samarbejde mellem forskningsgrupper i samarbejdslande og Danmark, evt. med inddragelse af CGIAR-institutionerne. De fleste sådanne projekter kan have tidshorisonter på 6-8 år og kan fungere som basis for sortsforsyning til eksisterende eller nyudviklede frøsektorer. Sortsudvikling giver bæredygtige resultater og er umiddelbart egnede til Danida støtte, såfremt det passer ind i strategien forøvrigt.

## **Litteraturliste**

- Annonym (2008). Commission requires certification for Chinese rice products to stop unauthorised GMO from entering the EU. IP/08/219
- Basu, A. K. and Qaim, M., 2007: On the adoption of genetically modified seeds in developing countries and the optimal types of government intervention. *American Journal of Agricultural Economics* **89**, 784-804.
- Bohn, L., Meyer, A. S., and Rasmussen, S. K., 2008: Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. *Journal of Zhejiang University-Science B* **9**, 165-191.
- Brooks, T. D., Bushman, B. S., Williams, W. P., McMullen, M. D., and Buckley, P. M., 2007: Genetic basis of resistance to fall armyworm (Lepidoptera : Noctuidae) and southwestern corn borer (Lepidoptera : Crambidae) leaf-feeding damage in maize. *Journal of Economic Entomology* **100**, 1470-1475.
- Castiglioni, P., Warner, D., Bensen, R. J., Anstrom, D. C., Harrison, J., Stoecker, M., Abad, M., Kumar, G., Salvador, S., D'Ordine, R., Navarro, S., Back, S., Fernandes, M., Targolli, J., Dasgupta, S., Bonin, C., Luethy, M. H., and Heard, J. E., 2008: Bacterial RNA chaperones

- confer abiotic stress tolerance in plants and improved grain yield in maize under water-limited conditions. *Plant Physiology* **147**, 446-455.
- Christiansen, J.L., Hella J.P and Ruben, S.O.W.M. Development Associates for Danida. Technical review of on farm seed production. Copenhagen 2006.
- Collinge, D. B., Lund, O. S., and Thordal-Christensen, H., 2008: What are the prospects for genetically engineered, disease resistant plants? *European Journal of Plant Pathology* **121**, 217-231.
- Danagro.1988. Regional Seed Production and Supply Project, Copenhagen.
- Danida, 2007. Farmer seed production schools-and what they do. DK Embassy. Vietnam
- De Groote, H., Mugo, S. Bervingson, D., Odhiambo, B. 2005. Assessing the benefits and risks of GE crops: evidence from the Insect Resistance Maize for Africa project. *Info Systems Biotech news Rep Feb 2005*, 7-9.
- De Groote, H., Wangare, L., Kanampiu, F., Odendo, M., Diallo, A., Karaya, H., and Friesen, D., 2008: The potential of a herbicide resistant maize technology for Striga control in Africa. *Agricultural Systems* **97**, 83-94.
- Deguine, J. P., Ferron, P., and Russell, D., 2008: Sustainable pest management for cotton production. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **28**, 113-137.
- Dlugosch, K. M. and Whitton, J., 2008: Can we stop transgenes from taking a walk on the wild side? *Molecular Ecology* **17**, 1167-1169.
- Fan, L. M., Zhang, W., Chen, J. G., Taylor, J. P., Jones, A. M., and Assmann, S. M., 2008: Abscisic acid regulation of guard-cell K<sup>+</sup> and anion channels in G beta- and RGS-deficient Arabidopsis lines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **105**, 8476-8481
- Frisvold, G. B. and Reeves, J. M., 2008: The costs and benefits of refuge requirements: The case of Bt cotton. *Ecological Economics* **65**, 87-97.
- Fuchs, M. and Gonsalves, D., 2007: Safety of virus-resistant transgenic plants two decades after their introduction: Lessons from realistic field risk assessment studies. *Annual Review of Phytopathology* **45**, 173-202.
- Gaines, T. A., Henry, W. B., Byrne, P. F., Westra, P., Nissen, S. J., and Shaner, D. L., 2008: Jointed goatgrass (*Aegilops cylindrica*) by imidazolinone-resistant wheat hybridization under field conditions. *Weed Science* **56**, 32-36.
- Gomez, I., Pardo-Lopez, L., Munoz-Garay, C., Fernandez, L. E., Perez, C., Sanchez, J., Soberon, M., and Bravo, A., 2007: Role of receptor interaction in the mode of action of insecticidal Cry and Cyt toxins produced by *Bacillus thuringiensis*. *Peptides* **28**, 169-173.
- Hoisington, D and Rodomiro, O. Research and field monitoring on transgenic crops by the Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo (CIMMYT). *Euphytica* (in press)
- Huang, J, Hu, R., Rozel, S. and Pray, C., 2005. Insect-resistant GM rice in farmers fields: assessing productivity and health effects in China. *Science* **308** pp688-690.
- Hubert, J., Kudlikova-Krizkova, I., and Stejskal, V., 2008: Effect of MON 810 Bt transgenic maize diet on stored-product moths (Lepidoptera : Pyralidae). *Crop Protection* **27**, 489-496.
- Iqbal, N., Ashraf, M., and Ashraf, M. Y., 2008: Glycinebetaine, an osmolyte of interest to improve water stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.): water relations and yield. *South African Journal of Botany* **74**, 274-281.
- ICTSD.2007.Biotechnology: Eastern Africa Perspectives on Sustainable Development and Trade Policy. International Centre for Trade and Sustainable Development. Geneva, pp 106.
- Jensen, J.R., Bernhard, R., Hansen, S., McDonagh, J., Møberg, J.P. and Nielsen, N.E. (2003). Productivity in maize-based cropping systems under various soil-water-nutrient management strategies in a semi-arid alfisol environment in East Africa. *Agricultural Water Management*, **59**: 217-237.
- Kadaru, S., Zhang, W. Q., Yadav, A., and Oard, J. H., 2008: Development and application of allele-specific PCR assays for imazethapyr resistance in rice (*Oryza sativa*). *Euphytica* **160**, 431-438.
- Khan, Z. R., Midega, C. A. O., Njuguna, E. M., Arnudavi, D. M., Wanyama, J. M., and Pickett, J. A., 2008a: Economic performance of the 'push-pull' technology for stemborer and Striga control in smallholder farming systems in western Kenya. *Crop Protection* **27**, 1084-1097.
- Khan, Z. R., Amudavi, D. M., Midega, C. A. O., Wanyama, J. M., and Pickett, J. A., 2008b: Farmers' perceptions of a 'push-pull' technology for control of cereal stemborers and Striga weed in western Kenya. *Crop Protection* **27**, 976-987.
- Kim, Y. S. and Sano, H., 2008: Pathogen resistance of transgenic tobacco plants producing caffeine.

- Phytochemistry **69**, 882-888.
- Komatsu, K., Takahashi, M., and Nakazawa, Y., 2008: Antibiosis resistance of QTL introgressive soybean lines to common cutworm (*Spodoptera litura fabricius*). *Crop Science* **48**, 527-532.
- Kosova, K., Chrpova, J., and Sip, V., 2008: Recent advances in breeding of cereals for resistance to barley yellow dwarf virus - A review. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding* **44**, 1-10.
- Kristensen, C., Morant, M., Olsen, C. E., Ekstrom, C. T., Galbraith, D. W., Moller, B. L., and Bak, S., 2005: Metabolic engineering of dhurrin in transgenic *Arabidopsis* plants with marginal inadvertent effects on the metabolome and transcriptome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **102**, 1779-1784.
- Kuchel, H., Fox, R., Reinheimer, J., Mosionek, L., Willey, N., Bariana, H., and Jefferies, S., 2007: The successful application of a marker-assisted wheat breeding strategy. *Molecular Breeding* **20**, 295-308.
- Lawrence P R, Dijkman, J T and Jansen H P G. 1997. The introduction of animal traction into inland valley regions. I . Manual labour and animal traction in the cultivation of rice and maize: a comparison. *Journal of Agricultural Science*, 129, 65-70.
- Leung, H., 2008: Stressed genomics - bringing relief to rice fields. *Current Opinion in Plant Biology* **11**, 201-208.
- Levy, A., Dafny-Yelin, M., and Tzfira, T., 2008: Attacking the defenders: plant viruses fight back. *Trends in Microbiology* **16**, 194-197.
- Lieberman, S. and Gray, T., 2008: The world trade organization's report on the EU's moratorium on biotech products: The wisdom of the US challenge to the EU in the WTO. *Global Environmental Politics* **8**, 33-+.
- Liu, F., Xu, Z., Chang, J., Chen, J., Meng, F., Zhu, Y. C., and Shen, J. Resistance Allele Frequency to Bt Cotton in Field Populations of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in China. *Journal of Economic Entomology* **101**, 933-943. 2008.
- Lorenz, A. J., Scott, M. P., and LaInkey, K. R., 2008: Genetic variation and breeding potential of phytate and inorganic phosphorus in a maize population. *Crop Science* **48**, 79-84.
- Lu, Y. H., Qiu, F., Feng, H. Q., Li, H. B., Yang, Z. C., Wyckhuys, K. A. G., and Wu, K. M., 2008: Species composition and seasonal abundance of pestiferous plant bugs (Hemiptera : Miridae) on Bt Cotton in China. *Crop Protection* **27**, 465-472.
- Maroof, M. A. S., Jeong, S. C., Gunduz, I., Tucker, D. M., Buss, G. R., and Tolin, S. A., 2008: Pyramiding of soybean mosaic virus resistance genes by marker-assisted selection. *Crop Science* **48**, 517-526.
- Marris, E., 2008: Water: More crop per drop. *Nature* **452**, 273-277.
- Mayer, J. E., Pfeiffer, W. H., and Beyer, P., 2008: Biofortified crops to alleviate micronutrient malnutrition. *Current Opinion in Plant Biology* **11**, 166-170.
- Miano, D. W., LaBonte, D. R., and Clark, C. A., 2008: Identification of molecular markers associated with sweet potato resistance to sweet potato virus disease in Kenya. *Euphytica* **160**, 15-24.
- Morroni, M., Thompson, J. R., and Tepfer, M., 2008: Twenty years of transgenic plants resistant to Cucumber mosaic virus. *Molecular Plant-Microbe Interactions* **21**, 675-684.
- Mosolov, V. V. and Valueva, T. A., 2008: Proteinase inhibitors in plant biotechnology: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology* **44**, 233-240.
- Ngonyamo-Majee, D., Shaver, R. D., Coors, J. G., Sapienza, D., and Lauer, J. G., 2008: Relationships between kernel vitreousness and dry matter degradability for diverse corn germplasm II. Ruminant and post-ruminant degradabilities. *Animal Feed Science and Technology* **142**, 259-274.
- Nowatzki, T. M., Lefko, S. A., Binning, R. R., Thompson, S. D., Spencer, T. A., and Siegfried, B. D., 2008: Validation of a novel resistance monitoring technique for corn rootworm (Coleoptera : Chrysomelidae) and event DAS-59122-7 maize. *Journal of Applied Entomology* **132**, 177-188.
- Okogbenin, E., Porto, M. C. M., Egesi, C., Mba, C., Espinosa, E., Santos, L. G., Ospina, C., Marin, J., Barrera, E., Gutierrez, J., Ekanayake, I., Iglesias, C., and Fregene, M. A., 2007: Marker-assisted introgression of resistance to cassava mosaic disease into Latin American germplasm for the genetic improvement of cassava in Africa. *Crop Science* **47**, 1895-1904.
- Pearce, F., 2007: Cassava comeback. *New Scientist* **194**, 38-39.
- Pennisi, E., 2008a: Plant genetics: The blue revolution, drop by drop, gene by gene. *Science* **320**, 171-173.
- Pennisi, E., 2008b: Plant genetics: Getting to the root of drought responses. *Science* **320**, 173.

- Petersen S. (2008). Samtale den 25. august på Plantedirektoratet.
- Prins, M., Laimer, M., Noris, E., Schubert, J., Wassenegger, M., and Tepfer, M., 2008: Strategies for antiviral resistance in transgenic plants. *Molecular Plant Pathology* **9**, 73-83.
- RAMIREZ, GARCIA, V, COEGO, GONZALEZ A., and VERA, VERA P. Use of overexpressor of cationic peroxidase 3 OCP3 gene as regulator of drought resistance in plants. CALANTIA BIOTECH, S. L. (WO2008053059-A1).  
Ref Type: Patent
- REUZEAU, C. Enhancing yield-related traits in plants comprises modulating expression in a plant of a nucleic acid encoding a Crabs Claw-related protein. BASF PLANT SCI, G. M. B. H. (WO2008059048-A1).  
Ref Type: Patent
- Sanchis, V. and Bourguet, D., 2008: *Bacillus thuringiensis*: applications in agriculture and insect resistance management. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **28**, 11-20.
- Seifinejad, A., Jouzani, G. R. S., Hosseinzadeh, A., and Abdmishani, C., 2008: Characterization of Lepidoptera-active cry and vip genes in Iranian *Bacillus thuringiensis* strain collection. *Biological Control* **44**, 216-226.
- Selvaraju, K., Shanmugasundaram, P., Mohankumar, S., Asaithambi, M., and Balasaraswathi, R., 2007: Detection of quantitative trait locus for leafhopper (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenee)) resistance in rice on linkage group 1 based on damage score and flag leaf width. *Euphytica* **157**, 35-43.
- Sharma, R. C., Shrestha, S. M., and Pandey, M. P., 2007: Inheritance of blast resistance and associated microsatellite markers in rice cultivar 'Laxmi'. *Journal of Phytopathology* **155**, 749-753.
- Shepherd, D. N., Mangwende, T., Martin, D. P., Bezuidenhout, M., Kloppers, F. J., Carolissen, C. H., Monjane, A. L., Rybicki, E. P., and Thomson, J. A., 2007: Maize streak virus-resistant transgenic maize: a first for Africa. *Plant Biotechnology Journal* **5**, 759-767.
- Siebert, M. W., Tindal, K. V., Leonard, B. R., Van Duyn, J. W., and Babcock, J. M., 2008: Evaluation of corn hybrids expressing Cry1F (Herculex (R) I insect protection) against fall armyworm (Lepidoptera : Noctuidae) in the southern United States. *Journal of Entomological Science* **43**, 41-51.
- Stevens, R., 2008: Prospects for using marker-assisted breeding to improve maize production in Africa. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **88**, 745-755.
- SU, X., WU, B., HUANG, Q., ZHANG, B., and ZHANG, X., 2008: New transcription factor zinc finger protein gene, which is a drought resistant gene isolated from *Zygophyllum xanthoxylum* (Bunge) Maxim, useful for transforming plants to obtain drought-resistant plants.
- Sundaram, R. M., Vishnupriya, M. R., Biradar, S. K., Laha, G. S., Reddy, G. A., Rani, N. S., Sarma, N. P., and Sonti, R. V., 2008: Marker assisted introgression of bacterial blight resistance in Samba Mahsuri, an elite indica rice variety. *Euphytica* **160**, 411-422.
- Swamy, B. P. M. and Sarla, N., 2008: Yield-enhancing quantitative trait loci (QTLs) from wild species. *Biotechnology Advances* **26**, 106-120.
- Swiecicka, I., Bideshi, D. K., and Federici, B. A., 2008: Novel isolate of *Bacillus thuringiensis* subsp *thuringiensis* that produces a quasicuboidal crystal of Cry1Ab21 toxic to larvae of *Trichoplusia ni*. *Applied and Environmental Microbiology* **74**, 923-930.
- Takeda, S. and Matsuoka, M., 2008: Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. *Nature Reviews Genetics* **9**, 444-457.
- Tuberosa, R., Salvi, S., Giuliani, S., Sanguineti, M. C., Bellotti, M., Conti, S., and Landi, P., 2007: Genome-wide approaches to investigate and improve maize response to drought. *Crop Science* **47**, S120-S141.
- Wan, Q., Zhang, Z. S., Hu, M., Chen, L., Liu, D. J., Chen, X., Wang, W., and Zheng, J., 2007: T-1 locus in cotton is the candidate gene affecting lint percentage, fiber quality and spiny bollworm (*Earias* spp.) resistance. *Euphytica* **158**, 241-247.
- WANG, D., DING, Z., CHEN, F., QIN, H., and LIU, X. New R2R3 MYB transcription factor that correlates with stress tolerance of *Arabidopsis thaliana*, useful for increasing plant's tolerance to stress, high salinity and drought. CAS HEREDITY & GROWTH BIOLOGY GRADUATE SCHOOL. (CN101050461-A).  
Ref Type: Patent
- Warwick, S. I., Legere, A., Simard, M. J., and James, T., 2008: Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistance transgene in a weedy *Brassica rapa* population.

- Molecular Ecology **17**, 1387-1395.
- Witcombe, J. R., Hollington, P. A., Howarth, C. J., Reader, S., and Steele, K. A., 2008: Breeding for abiotic stresses for sustainable agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences **363**, 703-716.
- Wu, Y. Q. and Huang, Y. H., 2008: Molecular mapping of QTLs for resistance to the greenbug *Schizaphis graminum* (Rondani) in *Sorghum bicolor* (Moench). Theoretical and Applied Genetics **117**, 117-124.
- Xue, J., Liang, G., Crickmore, N., LI, H., He, K., Song, F., Feng, X., Huang, D., and Zhang, J., 2008: Cloning and characterization of a novel Cry1A toxin from *Bacillus thuringiensis* with high toxicity to the Asian corn borer and other lepidopteran insects. Fems Microbiology Letters **280**, 95-101.
- Zhang, Q. F., 2007: Strategies for developing green super rice. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America **104**, 16402-16409.
- Zhang, Y. M., Yang, J. F., Lu, S. Y., Cai, J. L., and Guo, Z. F., 2008: Overexpressing SgNCED1 in tobacco increases ABA level, antioxidant enzyme activities, and stress tolerance. Journal of Plant Growth Regulation **27**, 151-158.
- Zhu, C., Naqvi, S., Gomez-Galera, S., Pelacho, A. M., Capell, T., and Christou, P., 2007: Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. Trends in Plant Science **12**, 548-555.
- Zhu, S., Walker, D. R., Boerma, H. R., All, J. N., and Parrott, W. A., 2008: Effects of defoliating insect resistance QTLs and a cry1Ac transgene in soybean near-isogenic lines. Theoretical and Applied Genetics **116**, 455-463.

## Ordliste

- Bt-konstruktioner:** gensplejsede genkonstruktioner, som indeholder hele eller dele af gener fra bakterien *Bacillus thuringiensis*. Nogle af generne producerer enzymer som ødelægger fordøjelseskanalen hos larver af biller og sommerfugle
- CIMMYT:** Internationalt forædlingscenter for majs og hvede i Mexico. Hører under CGIAR
- CGIAR:** international organisation af centre for genetiske ressourcer og forædling
- Epithelceller:** Det yderste celleglag i fordøjelseskanalen betegnes epithelen
- Farmers rights:** Traditionelle rettigheder hos farmere, herunder retten til at tage frø af sin afgrøde til anvendelse som udsæd. Denne ret udfordres af nogle af de nye sortsbeskyttelsessystemer
- GMO:** Genetisk modificerede organismer. Organismer som har fået indsat gensplejsede gener
- Herbicidresistens:** resistens overfor ukrudtsmidler (herbicider). Når en sort er gjort resistent overfor et bredspektret ukrudtsmiddel, som ellers dræber alle planter kan sorten effektivt luges med det pågældende herbicid
- Ikke godkendt GMO:** Er betegnelse for gensplejsede planteprodukter, som indeholder gensplejsede gener, som ikke er godkendt af det land hvortil de eksporteres, f.eks. Europa. Produktet er måske godkendt i USA og findes i små mængder som indblanding i fødevarer eller foder. For tiden har EU ikke accepteret en mindstegrænse for forekomst af sådanne ikke godkendte GMO og afviser derfor alle produkter, hvor de kan spores
- Insekticider:** kemikalier, som anvendes til at bekæmpe skadelige insekter
- Hybridsorter:** Sorter hvor brugsfrøet er fremstillet ved sammenkrydsning af to indavlede forældre. Disse sorter kan landmanden ikke selv opformere uden at de ændrer sig
- KARI:** center for landbrugs forskning i Kenya
- Klone:** betegnelsen for at isolere et gen i en bakterie med henblik på gensplejsning
- Kvantitative egenskaber:** Egenskaber ved planter eller dyr, som både bestemmes af gener og opvækstforhold
- Lagerskadedyr:** Skadevoldere, specielt insekter, som angriber afgrøderne under lagring
- Landsorter:** oprindelige plantesorter, der ikke har været underkastet moderne forædling
- Markørsystemer:** forskellige teknikker til frembringelse af fingerprints, som viser organismernes forskelle i arvematerialet
- MAS.** Markør assisteret selektion betegner udvalg af bedre planter baseret på deres finger print fra molekylære markører
- OP-sorter:** Sorter som formeres ved fri bestøvning i modsætning til f.eks. hybridsorter. OP-sorter egner sig til at bønderne selv producerer udsæd
- Pesticider:** kemikalier som anvendes til bekæmpelse af ukrudt eller skadedyr
- Phytat:** Sukkeralkohol påsat 6 fosfat grupper, som kraftigt binder ioner af zink og jern. De fleste planter lagrer det meste af deres fosfat i frøene som

phytat, som ikke nedbrydes af enmavede dyr, så hverken fosfatet eller mineralerne er tilgængelige

Protoxin: en ikke giftig forbindelse, som bliver giftig efter kemisk aktivering

Pyramidisere: Betegnelsen for at samle gener for en eller flere egenskaber sammen i nye bedre sorter

QTL: Quantitative Trait Loci, gener som påvirker en egenskab, der bestemmes af flere gener og omgivelserne

Refugie teknologi: Betegnelsen for områder i gensplejsede marker, hvor der dyrkes ikke gensplejsede planter for at modvirke at f.eks. insektresistens overkommes gennem selektion for mere aggressive typer af insektet

Sameksistens: i forbindelse med gensplejsede planter betegner sameksistens evnen for sådanne sorter til at eksistere sammen med ikke gensplejset produktion uden at alvorligt skade denne gennem f.eks. indblanding etc.