



**Integreret produktion
den gyldne middelvej i fremtidens fødevareproduktion**

Møller, Birger Lindberg

Published in:
Visioner for fremtidens jordbrug

Publication date:
2002

Document version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Citation for published version (APA):
Møller, B. L. (2002). Integreret produktion: den gyldne middelvej i fremtidens fødevareproduktion. In E. S. Jensen, H. Vejre, S. H. Bügel, & J. Emanuelsson (Eds.), *Visioner for fremtidens jordbrug* (pp. 221-243). København: Gad.

12. Integreret produktion

- den gyldne middelvej i fremtidens fødevarerproduktion

Birger Lindberg Møller

Den gyldne middelvej

Hvordan får vi en større fødevarerproduktion og samtidig forbedret fødevarer-kvaliteten? Hvilke forbedringer er det overhovedet muligt at opnå i vores del af verden, når vi samtidig skal have forbedret i hvert fald et par milliarder menneskers livsvilkår ganske betragteligt? Hvilke redskaber skal vi betjene os af? Hvordan bliver sammenhængen mellem konventionel og økologisk produktion, og vil brug af genteknologi spille en rolle? Hvilke risici skal vi tage alvorligt, så vi bedst muligt prøver at undgå ulykker? Hvordan sikres, at rig og fattig samarbejder om løsningen af disse komplekse problemer, så resultatet ikke bliver endnu større global ulighed? Endelig må ens kommentarer afspejle den store dybe fascination og ydmyghed, der rammer én, når man gennem sit arbejde inden for dette meget komplekse område af-dækker visse lag og skaffer sig en punktvis forståelse.

Løsningen på alle sådanne spørgsmål er svær at udmønte i praksis, men selve svaret er ganske enkelt: Vi skal bruge vo-

res sunde fornuft og al den viden, vi har, og undgå at falde i fundamentalistiske grøfter af den ene eller anden art. Det betyder, at vi må kombinere det bedste af alle de metoder, vi har til rådighed: klassisk forædling, molekylærbiologi og genteknologi skal forenes med det bedste landmandskab – traditionelt og økologisk. Det er det, jeg kalder integreret produktion. Det kan også formuleres som at vi skal følge “den gyldne middelvej”.

“Den gyldne middelvej” er en almen leveregel, som udspringer fra antikkens græske filosoffer. Samme leveregel udtrykkes også med ordsproget “Alt med måde”. Aristoteles gjorde sig som Platons elev mange tanker om, hvorledes den naturlige verdens grundlæggende principper kunne forklares ved brug af fornuften. Men han beskæftigede sig også med dyden og kom frem til, at det er den rigtige balance mellem for meget og for lidt. Det er den romerske digter Horats digteriske formulering: *aurea mediocritas*, der har givet “Den gyldne middel-



Figur 12-1. Allegorien "Aurea mediocritas" fra centerhvælvingen i San Giovanni-kirken i Parma, Italien.

vej" ordsprogsstatus i de vestlige kultursamfund. Som fortolker af Aristoteles' tænkning nåede Thomas Aquinas i middelalderen frem til formuleringen "medium virtutis" om den rette vej mellem ekstreme standpunkter.

Samtidig er fødevareproduktionen ikke længere et område, hvor vi i Vesten kan tillade os at have luxusholdninger, som andre betaler for eller direkte lider under. Terrorangrebene i New York og Washington den 11. september har med ét slag tydeliggjort, hvor vigtigt et led fremtidens fødevareproduktion er med hensyn til at sikre fredelig sameksistens. Fattigdom, håbløshed og religiøs fanatisme er grobund for terrorisme. Det er mangel på mad, der gennem hele vores

historie har sat gang i de store folkevandringer. Hvis der ikke er rimelige levevilkår, vil befolkninger, der er unge, voksende og fattige søge til områder, hvor befolkningstilvæksten er gået i stå, hvor velstanden er høj og befolkningen gammel. Dvs. til Europa.

På denne baggrund vil jeg i dette indlæg forsøge at beskrive nogle af de udfordringer, vi står over for, og samtidig forsøge at anskueliggøre de muligheder, vi har, og nogle løsningsmodeller og holdningsændringer, der er nødvendige for, at de ressourcer, vi sætter ind, kan anvendes optimalt. Jeg har fået til opgave især at forholde mig til hvilken rolle, genteknologien kan komme til at spille på fødevareområdet.

Befolkningstilvækst og fødevarerforsyning

Nuværende status

Det store antal mennesker, vi nu er på Jorden, er økologisk set helt abnormt. Det forventes, at vi bliver godt 200.000 flere hver eneste dag i perioden indtil 2025. Af denne befolkningsstigning vil 98 % ske i udviklingslandene. En trediedel af denne vækst vil finde sted i blot to lande: Kina og Indien. De næste 50 år vil der derfor skulle produceres lige så meget mad, som der samlet er produceret, siden landbruget blev opfundet af mennesket for omkring 10.000 år siden.

Dertil kommer, at det stigende behov for fødevarerproduktion vil ligge i udviklingslandene. Vi har i dag mad nok til at brødføde alle Jordens 6 milliarder mennesker, men alligevel må hvert syvende menneske hver dag gå sulten i seng! 160 millioner børn under 5 år lider i dag af underernæring. Vi har altså et fordelingsproblem, hvor mangel på mad og vand forhindrer en milliard absolut fattige mennesker i at leve et værdigt liv. Et beskedent mål for os må derfor klart være at undgå, at de fattige lande kommer endnu længere bagud i forhold til os.

Fremtidige udviklinger og behov

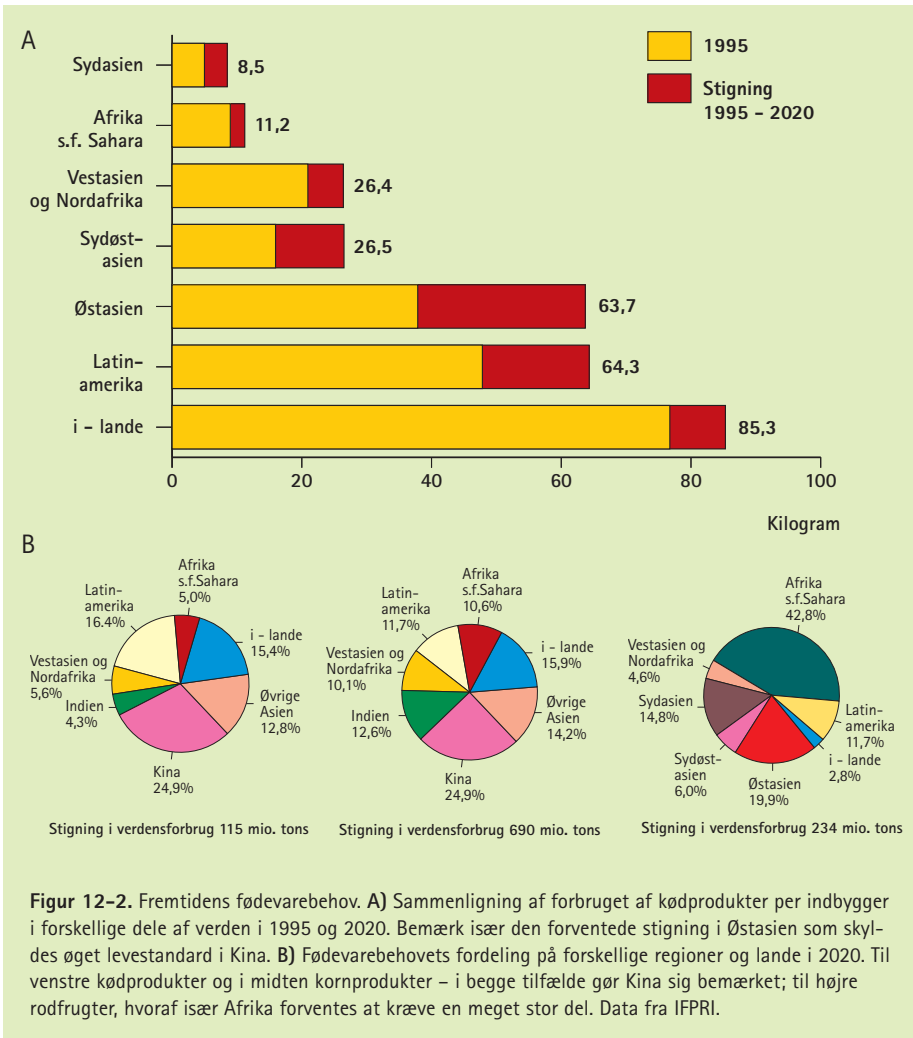
Hvordan forventes behovene så at være år 2025? Ja, det samlede forbrug af kød i udviklingslandene er i dag tre gange så højt, som det var for 20 år siden, og forventes at blive mere end fordoblet i de næste 25 år. Tilsvarende vil forbruget af vegetabiliske produkter også blive fordoblet i udviklingslandene. Globalt set vil der derfor i 2025 blive spist omkring 40 % mere korn og 60 % mere kød end i dag. Landbrugsarealet med korn forventes kun udvidet med 20 %, så der skal

betragtelige udbyttestigninger til, for at denne produktion kan opnås.

Selv med sådanne dramatiske produktionsstigninger vil en indbygger i et udviklingsland ifølge prognoserne fra International Food Policy Research Institute i 2025 forbruge mindre end halvdelen af den mængde korn og omkring en trediedel af den mængde kød, der forbruges pr. indbygger i den vestlige verden. Og der vil så stadig være 135 millioner underernærede børn under fem år! Kød og mælk vil i forhold til kornprodukter udgøre en stadig større del af kaloriejndtaget. I udviklingslandene vil en begrænset stigning i forbruget af kød og mælk forbedre ernæringsituationen, da det delvis vil kunne afhjælpe manglen på protein og mineraler. Da majs er bedre som dyrefoder end ris og hvede, vil den øgede animalske produktion medføre, at majs i 2025 nok vil være den vigtigste kulturplante.

Fødevarerproduktionen forventes at stige kraftigere i udviklingslandene end i de industrialiserede lande, således at over 60 % af plante- og kødproduktionen i 2025 kommer fra udviklingslandene. Alligevel forventes udviklingslandene i 2025 at skulle importere dobbelt så meget korn og otte gange så meget kød som i dag for at dække behovet. Stigende verdensmarkedspriser på landbrugsprodukter vil derfor ramme udviklingslandene hårdt.

Klimaforandringer, ozonhuller og andre naturlige fænomener har med mellemrum og i nogle tilfælde måske endog i løbet af meget korte tidsrum ændret levilkårene på Jorden – primært fordi det så ikke længere var muligt at dyrke de sædvanlige afgrødeplanter. Hvis de



Figur 12-2. Fremtidens fødevarerbehov. **A)** Sammenligning af forbruget af kødprodukter per indbygger i forskellige dele af verden i 1995 og 2020. Bemærk især den forventede stigning i Østasien som skyldes øget levestandard i Kina. **B)** Fødevarerbehovets fordeling på forskellige regioner og lande i 2020. Til venstre kødprodukter og i midten kornprodukter – i begge tilfælde gør Kina sig bemærket; til højre rodfrugter, hvoraf især Afrika forventes at kræve en meget stor del. Data fra IFPRI.

nævnte eller andre uforudsete fænomener ikke får afgørende negativ betydning på planteproduktionen, forventes fødevarerpriserne at blive nogenlunde konstante i de næste par årtier.

Menneskets aktivitet kan nu også bidrage til ændrede levevilkår for dyr og planter. Hvis vi forventer, at sådanne fænomener får stor betydning i de kommende årtier, så er det nu, at de prioriteringer, der skal sikre brugbare operatio-

nelle løsninger omkring år 2025, skal på plads og finansieres. Så er det nu, vi skal intensivere udvikling af kulturplanter, der kan vokse under ændrede temperaturforhold, under påvirkning af større doser ultraviolet lys og under tørke. Det gælder hvad enten sådanne planter ønskes udviklet ved hjælp af klassisk forædling eller ved brug af genteknologi. Og hvad enten planterne ønskes dyrket konventionelt eller økologisk.

Løsningsmodellen har mange facetter

For at sikre fødevarer af bedst mulige kvalitet og i tilstrækkelige mængder er det vigtigt i fremtiden at kombinere de bedste sider af konventionelt jordbrug, økologisk jordbrug, klassisk forædling og brugen af genteknologi. Vi skal så løbende vurdere, hvorledes vi på basis af vores værdibaserede holdninger og med produktionskravene for øje bedst tilrettelægger den samlede produktion.

I Vesten skal vi påtage os at hjælpe udviklingslandene med at skabe stabile, retfærdige politiske strukturer og med uddannelse og oplysning inden for alle discipliner i jordbrugserhvervet og imødekomme de finansielle krav, der er nødvendige for praktisk opfølgning. Vi skal undervise om økologiske driftsformer baseret på lokale sorter og organisk gødning. Men vi skal også fortælle om konventionelle produktionssystemer baseret på højtydende sorter tilpasset de gældende klimatiske og jordbundsmæssige forhold samt om brug af kunstgødning for samlet set at opnå så god en forvaltning af jord- og vandressourcer som muligt.

Det er selvfølgelig vigtigt, at småbønderne i udviklingslandene ikke tvinges i armene på de store multinationale firmaer. Men vi taler ikke så tit om, at det er endnu vigtigere, at de ikke er fuldstændig i lommen på lokale, korrupte karteller og klaner. Det vigtigste er at oplyse og give dem lejlighed til efter deres eget valg at kombinere det bedste fra hvert af produktionssystemerne, også selvom det involverer brug af gensplejede kulturplanter for at sikre fx tilstrækkelig modstandsdygtighed mod tørke eller saltstress. I den politiske diskussion vi har i Vesten, er det vigtigt at vi ikke tager

småbønderne i udviklingslandene som gidsler.

Planten som en grøn fabrik – produktion af finkemikalier

Det kan lyde som vilde fremtidsdrømme, når talen falder på fremtidige kulturplanter med stærkt forbedrede eller helt nye egenskaber. Men selvom det er komplekse biologiske egenskaber, det drejer sig om at ændre på, så er det sandsynligt, at vi kan fremskaffe den nødvendige punktvide viden, der gør det muligt. Og det er faktisk ikke så svært at forstå, hvorfor det i sig selv er muligt. Allerede ved hjælp af klassisk planteforædling har vi udviklet planter, der slet ikke ligner deres forfædre.

I modsætning til dyr kan planter ikke løbe væk, når det bliver for varmt, for koldt, for tørt eller for vådt. Fra det sted, hvor frøet tilfældigvis er spiret, skal planten kunne vokse ved hjælp af sollys, vand, luftens kuldioxid og uorganiske salte. Samtidig skal den fra samme sted kunne forsvare sig mod angreb fra virus, bakterier, svampe og dyr. Ligeledes skal den holde skadelige insekter på afstand og tiltrække insekter, der er nødvendige for bestøvningen. Det gør planter ved at producere et stort arsenal af kampstoffer og duftstoffer, især når de bliver angrebet af sygdomme eller insekter. Mere end 300.000 forskellige naturstoffer er allerede kendt, selvom det kun er en lille procentdel af Jordens plantearter, der overhovedet er blevet undersøgt. Derfor er planter naturens bedste syntesekemikere og utrolig fleksible med hensyn til hvilke stofskifteprodukter, de danner.

De store génprogrammer, der er sat i værk det seneste årti, vil, kombineret



Figur 12-3. Børstekoglefyr voksende i en lille lund i White Mountains i USA. De ældste træer i denne lund er over 4700 år gamle. At planter kan blive så gamle, viser, at de har utallige forsvarssystemer mod sygdomme og skadedyr og udviser ekstrem fleksibilitet og tilpasningsevne over for ændringer i klima og øvrige vækstforhold. Foto forf.

med den efterfølgende langsommelige og arbejdskrævende afklaring af de forskellige geners funktion samt bedre viden om de biokemiske sammenhænge i planternes stofskifte, give os de redskaber, der gør det muligt at bruge planternes store fleksibilitet til fremavl af planter med stærkt forbedrede kendte eller helt nye egenskaber som beskrevet i de følgende afsnit.

Min spådom er, at det vil være muligt

at udvikle planter, hvor noget nær 20% af tørstoffet udgøres af fx finkemikalier eller nye biopolymerer, og at planterne i de fleste tilfælde ikke vil have problemer med at oplagre disse forbindelser. Det er i dette perspektiv, at jeg tror, at det på konkurrencedygtige præmisser vil vise sig muligt at genindføre brugen af plan-teafledte produkter på utallige områder, hvor vi i dag i stedet baserer os på ikke-fornybare produkter stammende fra den petrokemiske industri.

Mad nok til kommende generationer

Vi har som nævnt ovenfor en stor opgave foran os med hensyn til at få produceret mad nok til at kunne dække det stigende globale behov. Samtidig er der behov for, at produktionen gøres mere bæredygtig. Her skal Vesten gå forrest, da det er her, de økonomiske ressourcer er til stede.

Når der grundet befolkningstilvækst hele tiden inddrages landbrugs- og naturarealer til opbygning af øget infrastruktur (boliger, fabrikker, veje, institutioner, lufthavne, militæranlæg) og samtidig ødelægges landbrugsarealer bl.a. grundet brug af forkerte dyrkningssystemer, er det helt afgørende, at udbyttet på de tilbageværende dyrkningsarealer forøges. Ellers er det umuligt at nå målet. På hvilke områder kan klassisk planteforædling kombineret med brug af molekylærbiologiske analysemetoder eller gensplejsning så tænkes at komme med væsentlige bidrag inden 2025? Jeg vil her nævne syv centrale og konkrete områder:

- 1) *Forøget udbytte.* Dette kan opnås ved dels at maksimere hver enkelt arts genetiske potentiale, dels at forbedre planternes sygdomsresistens og deres evne til at modstå stresspåvirkninger fx i form af tørke, kulde, varme og



Figur 12-4. Majs stammer fra den vilde græs teosinte (til venstre). Ved stadig forædling gennem mere end 10.000 år er det lykkedes at udvikle den majsplante, vi kender i dag, og som giver et dramatisk større udbytte og ikke indeholder de giftige indholdsstoffer, der fandtes i de oprindelige typer.

salt. Det kan også opnås ved fx at forlænge den periode, i hvilken stivelsesindlejring i kartoffelknolde eller kornsorternes aks foregår.

- 2) *Udvide antallet af betydende kulturplanter.* Dette kan gøres ved at fjerne giftstoffer og allergener fra vilde planter og samtidig forøge udbyttet af disse, så nye plantearter kan inddrages som kulturplanter og gøre basis for fødevarerforsyningen bredere. Hvis

bare én af vores allervigtigste kulturplanter, hvede, ris eller majs, i dag rantes af en sygdom, vi ikke kan bekæmpe, vil vi have et fødevarerforsyningsproblem. Et udvidet antal kulturplanter vil også gavne biodiversiteten i kulturlandskabet umådeligt.

- 3) *Kvalitetsforbedring af eksisterende kulturplanter.* Dette kan bestå i øget indhold af vitaminer, mineraler eller proteiner, af proteiner med større ernæringsindhold eller i udvikling af planter, der danner kræfthæmmende stoffer. Det kan tilsvarende opnås ved at fjerne giftstoffer og allergener.
- 4) *Reduceret brug af indsatsfaktorer (fx kunstgødning og bekæmpelsesmidler).* Dette kan opnås ved dels at forbedre planters evne til gennem rodhårene at optage næringssalte, dels ved at få planterne til at udskille stoffer, der tiltrækker kvælstoffikserende mikroorganismer. Optimeret vandbalance og forbedret sygdomsresistens vil virke i samme retning.
- 5) *Mindre arbejdskrævende fødevarerproduktion.* Dette kan opnås ved dyrkning af fx planter med forbedret sygdomsresistens, herbicidresistens og vandhusholdning.
- 6) *Mindsket brug af petrokemiske produkter (olie-, naturgas- og kulbaserede produkter).* Dette kan fx opnås ved produktion af kostbare finkemikalier i planters mælkesaft, produktion af stivelser med nye funktionelle egenskaber samt produktion af biopolymerer med skræddersyede egenskaber i planters cellevæg.
- 7) *Sikrere produktion af medicinske præparater.* Ved at producere vacciner og væksthormoner i planter i stedet for fx at isolere væksthormon fra døde dyrs hypofyser eller blodplasma reduceres risikoen for tilstedeværelse af

smitsomme stoffer i præparaterne. Nogle præparater kan i dag ikke fremstilles i de mængder, der er behov for uden brug af genteknologi.

Mange af ovenstående mål vil ikke kunne nås ved klassisk forædling i almindelig forstand. Men der bliver efterhånden udarbejdet genkort over alle vores kulturplanter. Samtidig iværksættes der i disse år yderligere en række store forskningsprogrammer med det formål i løbet af det næste årti i hvert fald i store træk at få klarlagt hvert enkelt gens funktion – først og fremmest i modelplanten gåsemad (*Arabidopsis thaliana*), men efterfølgende også i mange kulturplanter (se nedenfor om gåsemad).

Med denne basisviden bliver det efterhånden muligt ved hjælp af klassisk forædling kombineret med brug af avancerede molekylærbiologiske analysemetoder at finde frem til netop den ene krydsning blandt mange millioner, der på naturlig vis har givet anledning til netop den genkombination, som formodes at give en bestemt ønsket egenskab. Det vil også kunne gøres, selvom denne egenskab er bestemt af en række forskellige gener.

I stedet for klassisk forædling kan man bruge gensplejsning til at sikre fremavl af netop sådanne linier, hvor den ønskede egenskab kommer til udtryk. For at sikre, at gensplejsningen ikke er ledsaget af andre uønskede karaktertræk såsom nedsat udbytte, er det også her nødvendigt at foretage tilbagekrydsninger ved almindelig klassisk forædling. Klassisk planteforædling vil altså ikke blive overflødiggjort af genteknologien, tværtimod. Godt landmandsskab bliver også fremover en altafgørende faktor for succes eller fiasko. Udvikling af forbedrede dyrkningssystemer baseret på sunde

økologiske principper bliver også en væsentlig parameter.

Fødevarer og sygdomsbekæmpelse

Der skal ikke alene produceres mad nok. Den mad, der produceres, skal også have bedst mulig kvalitet. Det lægger vi især i Vesten stor vægt på. Der er bred enighed om, at frisk frugt er sundt. Opiniondannende forbrugere i Vesten ønsker i det hele taget at spise mindre forarbejdede produkter. Det kan jeg kun være enig i. Dog med den bemærkning, at 99,99 % af alle de giftstoffer, vi spiser, er naturligt forekommende giftstoffer i vores fødevarer, hovedsageligt stammende fra planter. Og mange forarbejdningsprocesser har faktisk den positive side, at de fjerner naturligt forekommende giftstoffer, fx allergener, der giver overfølsomhedsreaktioner.

Langt de fleste planter indeholder så store mængder giftstoffer eller allergener, at de slet ikke kan bruges til menneskeføde. Hver femtende dansker er allergisk over for kiwifrugter. Selv ris, én af vore allervigtigste kulturplanter, giver mange mennesker allergi. Jordnødder kan i nogle mennesker fremkalde allergiske reaktioner med dødelig udgang. De stoffer i planterne, der udløser allergi, er nu kendt.

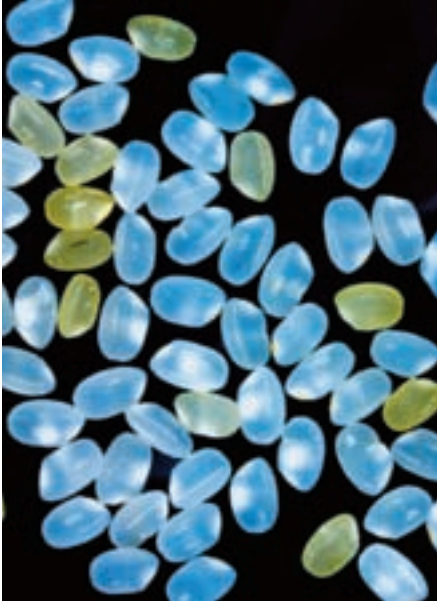
Ved hjælp af klassisk forædling kombineret med brug af avancerede molekylærbiologiske analysemetoder eller gensplejsning vil mange sådanne allergener kunne fjernes specifikt. Det betyder, at vores kulturplanter vil blive gjort mere sikre. Og at planter, vi tidligere slet ikke kunne spise, fremover vil kunne inddrages som kulturplanter.

I det hele taget vil der, baseret på molekylærbiologiske analysemetoder, blive udviklet on-line kvalitetskontrol af føde-



Figur 12-5. Øverst) Cassavaplanten er en af de allervigtigste kulturplanter i troperne. Dens knolde indeholder store mængder stivelse. Nederst) Cassavaknoldene skal forarbejdes meget omhyggeligt, inden de spises, idet de indeholder giftige naturstoffer. Ved udvaskningen af disse giftstoffer tabes også vitaminer, mineraler og proteiner. Ved hjælp af genteknologi arbejdes der nu på at blokere dannelsen af giftstofferne i cassava.





Figur 12-6. "Gyldne ris". De gule riskerner har ved hjælp af genteknologi fået indsat gener, der gør dem i stand til at producere et forstadium til vitamin A. Dyrkning af sådanne ristyper kan være med til at afhjælpe mangel på vitamin A. Foto P. Beyer.

varer, der sælges fra alle større forretninger. Sådanne on-line-analyser vil med stor sikkerhed kunne afgøre, om forbrugeren får et frisk produkt, hvad vitaminindholdet er og give oplysning om andre ønskede kvalitetsparametre og om, hvorvidt produktet samtidig er frit for visse sygdomfremkaldende bakterier og svampetoksiner. Den enkelte forbruger vil så også have denne viden, når det afgøres, hvad der skal ned i indkøbskurven: et konventionelt eller økologisk produceret produkt eller et gensplejset.

På samme måde som det ved hjælp af klassisk forædling kombineret med molekylærbiologiske analysemetoder eller ved brug af genteknologi er muligt at fjerne et bestemt giftigt indholdsstof fra en plante, er det også muligt at få ud-

valgte kulturplanter til at producere stoffer, der er gavnlige for vort helbred. Det kan fx være at få de stoffer i broccoli, hvorom vi nu ved, at de hæmmer fremkomsten af brystkræft, produceret i andre kulturplanter fx kål og radiser. Det kan også være at fremstille planter med et øget indhold af vitamin A og C. Her ved årtusindskiftet får 125 millioner børn for lidt vitamin A, og mellem 1 og 3 millioner børn dør hvert år på grund af A-vitaminmangel. Ved brug af genteknologi er der nu udviklet ris, der fremover kan være med til at afhjælpe dette problem. Fremavl af planter, der kan sikre en bedre ernæringstilstand i udviklingslandene, eller som kan sikre større livskvalitet i Vesten, bliver vigtige opgaver i de kommende år og en konkurrenceparameter i kampen om forbrugerens gunst i Vesten i de næste årtier.

Planter i stedet for olie

Et endnu større pres på planteproduktionen kommer der, fordi vi, i de årtier der ligger foran os, også bør satse på gradvist at erstatte brugen af fossile brændstoffer som olie, kul og naturgas med fornybare ressourcer dvs. plantebaserede produkter. Det var de udgangsmaterialer, vi før 1850 baserede tilværelsen på. De biologiske råmaterialer, der skal erstatte udgangsmaterialerne fra den petrokemiske industri, har imidlertid en meget mere kompleks og uensartet sammensætning. Det var jo netop hovedgrunden til, at den petrokemiske industri så hurtigt vandt indpas med produkter overalt. Det bliver altså vigtigt at kunne fremstille et mere ensartet og lettere udnytteligt plantemateriale.

En primitiv model er udvikling af hurtigvoksende pil, poppel og eucalyptus, der kan afbrændes i stedet for fossile brændstoffer. Hvis disse energiplanter



Figur 12-7. Hurtigtvoksende pil dyrket som energijafrøde. Planterne er ca. 4 meter høje.
Biofoto/Lars Gejl.

samtidig gøres mere modstandsdygtige over for stress og sygdomme, opnås en yderligere reduktion af den miljøbelastning, der er forbundet med dyrkningen. Mere raffineret vil det imidlertid være at udvikle gensplejsede planter, der producerer mere cellulose i cellevæggen.

Hvis der samtidig, i en anden del af plantecellen, produceres cellevægsnedbrydende enzymer, vil der fra sådanne planter være basis for en direkte produktion af alkohol eller andre ønskede organiske forbindelser efter høst. Gummitræer vil ved hjælp af gensplejsning kunne anvendes til produktion af mange kostbare finkemikalier og enzymer, idet disse blot tappes af træet som en ekstra bestanddel af den saft (latex), der i dag tappes til brug for fremstilling af naturgummi. Planter, der producerer bionedbrydelig plastic, vil også blive udviklet. Der er i dag allerede udviklet gensplejsede planter, hvor 8 % af tørvægten udgøres af en bionedbrydelig plastic.

Som et kuriosum vil der sandsynligvis i denne periode også blive udviklet transgene bomuldsplanter, hvor denne plastic indlejres direkte i bomuldsfibrene. Det vil give disse fibre udvidet styrke og bedre isolerende egenskaber. Disse bomuldsplanter vil måske samtidig kunne designes til samtidig at producere forskellige farvestoffer, der indlejres i fibrene, således at en efterfølgende kemisk farvningsproces undgås.

Vi vil også se træer med en ændret opbygning af lignin. Alt efter hvilke ændringer, der introduceres, opnås forskellige nye egenskaber. Det kan fx være planter, hvor ligninstrukturen er ændret, så den ikke bindes så stærkt til cellulosefibrene. Cellulosefibrene kan da uden brug af kraftige kemikalier udvindes i ren form til fx produktion af papir, hvorved det samtidig undgås at produ-

cere store mængder forurenede spildevand, et typisk problem ved tidligere papir- og cellulosefabrikker.

Miljøforbedrende planter

På miljøfronten vil vi også se forsøg på at få udviklet gensplejsede planter, der fra rødderne udskiller stoffer, som tiltrækker mikroorganismer, der er i stand til at binde atmosfærens kvælstof. På samme måde vil vi se udvikling af gensplejsede planter, der er i stand til at udskille signalstoffer, der tiltrækker bestemte svampe, der ved deres tilstedeværelse forøger plantens evne til at optage fosfat fra jorden. På denne måde reduceres behovet for tilførsel af kvælstof og fosfat, og energiforbruget (petrokemisk) til fremstilling af kunstgødning kan så

tilsvarende nedsættes med en reduceret miljøbelastning som resultat.

Til rensning af forurenede jord er der planter under udvikling, som gennem rødderne kan optage tungmetaller. Jeg forventer, at der i det næste årti kommer gensplejsede poppelplanter på markedet, der er i stand til at optage kviksølv fra den jord, de vokser i, uden selv at blive forgiftede (se også side 100). Tilsvarende vil vi kunne dyrke sennepsplanter, der optager cadmium fra jorden. Det sker ved at få de gensplejsede planter til at producere polypeptider, der sørger for at binde tungmetallerne meget stærkt, således at gifteeffekten forsvinder. Jorden kan da renses ved høst af planterne, som så afbrændes i et anlæg, hvor tungmetallerne kan opsamles.

Gåsemad viser vejen

Det første genomprogram på planteområdet var rettet mod en lille ukrudtsplante ved navn gåsemad (*Arabidopsis thaliana*) og blev afsluttet i 2001. At netop gåsemad blev gjort til genstand for dette pionerarbejde skyldes, at denne plante har en meget lille arvemasse (genom) i forhold til andre planter. I gåsemad indeholder hver celle 120 millioner DNA-baser, og disse koder for 25.900 gener. Arvemassen i ris, majs og hvede er henholdsvis tre, femten og halvfems gange større end i gåsemad.

Selvom gåsemad har en lille arvemasse, indeholder den de fleste af de genetiske egenskaber, som findes i andre planter, fx landbrugsafgrøder og træer. Når arvemassen i fx hvede er så stor, er årsagen, at der er flere kopier af hvert gen, og at der findes lange sekvenser af DNA,

som ikke koder for dannelsen af proteiner.

Opklaring af de enkelte plantegeners funktion

Der arbejdes nu på højtryk for at finde ud af, hvilken funktion hver af de enkelte gener i gåsemad har. Det er klart, at mange af generne indgår i komplekse samspil, som det vil være meget vanskeligt at udrede. DNA-chipteknologi vil være et redskab der her kan bruges (se også side 258).

Der opbygges i øjeblikket store mutantsamlinger, der dækker hvert eneste af gåsemads gener. Ved hjælp af disse mutanter kan man studere, hvad der sker, når det pågældende gen sættes ud af funktion. På denne måde og ved hjælp af en række andre molekylærbiologiske



Figur 12-8. Dyrkning af gensplejset gåsemad (*Arabidopsis thaliana*) i klimakammer på Landbohøjskolen. Planterne vokser ikke lige hurtigt, da der er foretaget forskellige ændringer i deres arvemasse. Ved hjælp af sådanne mutanter kan de enkelte gensers funktion opklares. Foto forf.

teknikker er målet, at vi i år 2010 har i hvert fald nogen viden om hvert eneste af generens funktion i gåsemad. Amerikanske laboratorier har af den amerikanske regering fået tildelt meget store bevillinger til gennemførelsen af dette projekt og vil derfor komme til at stå meget stærkt på dette område, også med hensyn til patenteringsmuligheder og senere patentrettigheder.

Hvad har gåsemad lært os?

Den viden, man efterhånden opnår om de enkelte geners funktion i gåsemad, vil man så forsøge at udnytte til at fremelske ønskværdige egenskaber i andre kulturplanter. Canadiske forskere har allerede fundet et gen i gåsemad, som er involveret i at beskytte planten mod høje mængder salt. I dag er ophobning af salt i jorden årsag til reduceret udbytte på en trediedel af samtlige kunstvandede arealer på Jorden. Behovet for salttolerante planter stiger derfor hele tiden. Nu søges viden om dette gen udnyttet i landbrugsafgrøder.

Et andet mål er udvikling af planter, der kan tåle større temperaturudsving. Amerikanske forskere har udviklet varianter af gåsemad med et konstant aktiveret alarmberedskab, som sætter dem i stand til at tåle pludselige temperaturfald uden at tage skade. Denne egenskab forsøges nu overført til sojabønne og majs.

Et tredje vigtigt mål, som er inden for rækkevidde nu, er at kunne ændre (fremskynde eller forsinke) en plantes blomstringstidspunkt. Dette kan være med nogle få uger med det formål at muliggøre, at en landmand kan dyrke to i stedet for én afgrøde på en sæson. Det kan også være for at reducere det antal år, det tager inden træer blomstrer. Et af

gåsemads gener, der styrer disse processer, er blevet indsat i aspetræer, som normalt først blomstrer efter 12-15 år. Det gensplejsede aspetræ blomstrede nu allerede i sin første vækstsæson. Det kan gøre arbejde med klassisk forædling af træer meget lettere, når der ikke skal ventes så mange år på at få den næste generation.

Atter andre forskere har fundet gener, som styrer planters højde. Disse har gjort det muligt at udvikle dværgvarianter af velsmagende ristyper som basmati-ris, hvilket ikke var lykkedes ved klassisk forædling. Fordelen ved dværgplanten er et kort, solidt strå, der ikke så let ødelægges af orkaner og kraftigt regn.

Mulighederne for ændringer er utallige. Men i hvert enkelt tilfælde skal der gennemføres meget omhyggelige vurderinger – fx af hvilke styreenheder, der skal sættes foran generne. Det er disse styreenheder, der afgør, hvor i planten en egenskab udtrykkes og på hvilket tidspunkt. Det er også muligt at bruge styreenheder som sørger for, at en egenskab kun kommer til udtryk, hvis planten behandles med et specielt stof, fx sprøjtes med en fortyndet opløsning af alkohol. Det er fx relevant, hvis et finkemikalie ønskes produceret i en plante umiddelbart før høst. Mange sådanne delelementer skal overvejes for at få det bedst mulige produkt, og med det formål at opnå en miljømæssig gevinst ved dyrkning af den pågældende plante.

Det må forventes, at vi i løbet af de næste ti år begynder at dyrke kulturplanter, som har fået indbygget egenskaber baseret på viden fra gåsemad. En meget vigtig anden betydning af arbejdet med gåsemad er, at det giver os en mængde ny grundvidenskabelig viden om planters helt basale livsfunktioner.



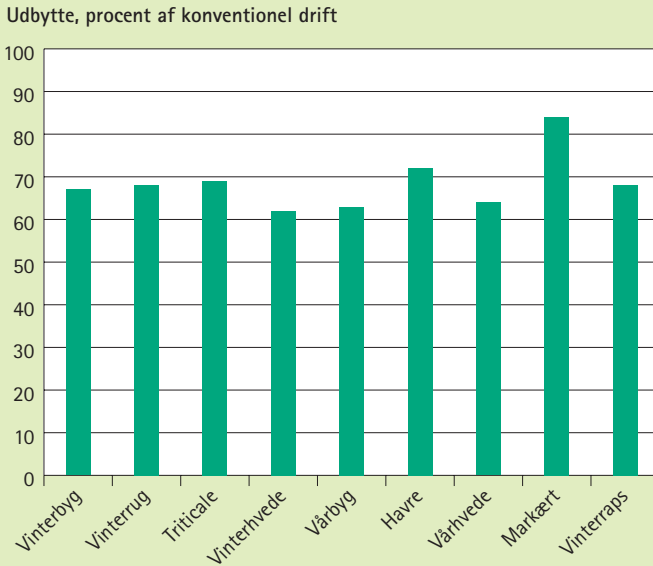
Figur 12-9. "The cornfield", maleri af Pieter Bruegel (1529-1569). Bemærk, at det korn, der dengang dyrkedes, var skulderhøjt. Et vigtigt led i den "Grønne Revolution" i 60'erne var udvikling af dværgformer af de vigtigste kornsorter såsom hvede og ris. Med de kortere strå kunne disse dværgformer bære et stort aks, hvilket førte til fordobling af udbyttet.

Den kommende "Ny Grønne Revolution"

Jeg forventer, at der på de ovenstående områder inden for de næste 20 år ved integreret brug af klassisk forædling, molekylærbiologiske analysemetoder og gensplejsning vil blive gjort fremskridt, der langt overstiger, hvad vi oplevede under den "Grønne Revolution" i halvfjerdserne. Er det så inden for områder, der overhovedet er vigtige for os i den vestlige verden? Efter den 11. september kan ingen være i tvivl om at svaret her er ja. Enten direkte eller indirekte. Selvom vi i Vesten har rådighed over eller fra udviklingslandene kan købe os til de føde-

varer, vi har brug for, så har vi en direkte interesse i, at der under behørig hensyntagen til miljøet og de bedste driftsformer opnås et højt udbytte pr. arealenhed.

Samlet set er det denne udvikling af fødevarerproduktionen, der skal gøre det muligt for udviklingslandene at opnå bare et beskedent løft i levestandarden. Samtidig er det den eneste mulighed for, at vi fremover kan friholde arealer, hvis opdyrkning ellers ville give miljømæssige problemer eller føre til tab af vigtige naturområder.



Figur 12-10. Udbytte i økologiske markforsøg i procent af konventionelle, 1998-2000. De viste data er indsamlet af Landsudvalget for Planteavl.

Økologisk fødevarerproduktion

Forbrugeren i Vesten bruger kun omkring 10 % af sin disponible indkomst til fødevarer. I udviklingslandene er det tilsvarende tal omkring 80%. Industrielt er det muligt at fremstille billige fødevarer af lav kvalitet. Det store befolkningsflertal i Vesten har ikke ønsket at betale ret meget for mad, men vil hellere bruge pengene til noget andet. Når vi bliver spurgt, kræver vi dog, at vores fødevarer skal være 100 % sikre. Det bruges der så mange ressourcer på. Men lige meget hvilke produktionsformer vi vælger, vil det mål aldrig kunne nås.

Et andet emne, der diskuteres, er at opnå en fødevarerproduktion, hvor vi be-

laste det omgivende miljø mindst muligt. Her har økologisk jordbrug fået en naturlig central position. Det er vigtigt, at vi altid sigter mod udvikling af produktionssystemer, der påvirker miljøet mindst muligt, men man må aldrig glemme, at end ikke en natur overladt til sig selv vil være uforanderlig.

Der er iværksat megen god forskning inden for økologisk jordbrug i Danmark, og der nås resultater. Og der er opnået uvurderlig ny viden om bl.a. forbedrede dyrkningssystemer, som nødig skulle gå tabt igen. Men samtidig er det klart, at det udbytte, der opnås i den økologiske produktion, er stærkt nedsat.

I Vesten betyder det, at de økologiske varer er dyrere end de konventionelt producerede, og det vil flertallet af forbrugerne typisk ikke betale for. Globalt set er det lave udbytte et kæmpeproblem.

De økologiske interesseorganisationer har vedtaget, at økologiske producenter skal fraskrive sig brug af genteknologi i deres forædlingsarbejde. Den holdning har de deres fulde ret til at have, og det giver helt klart en markedsfordel her og nu grundet mange forbrugeres frygt for gensplejsede produkter. Men hvis denne afstandstagen ikke snart ændres, bliver det en meget alvorlig hæmsko for den økologiske produktion. Den klassiske forædling er nemlig både så langsomme-lig og så dyr, at økologiske produkter ikke vil kunne følge med i udviklingen – hverken kvalitetsmæssigt eller miljø-mæssigt.

Globalt set er fødevarerproduktionen i dag stor nok. Overordnet set er der faktisk balance. Der er heller ingen tvivl om, at den konventionelle produktion af fødevarer i den vestlige del af verden sagtens kunne sættes væsentligt i vejret, hvis der blot var kunder nok til at betale for produkterne. Men hvis målet er, at den globale fødevarerproduktion skal foregå økologisk, så opstår der store problemer. Det vil medføre sult og elendighed. Udbyttet er ganske enkelt for lave. Ifølge de Danske Landsforsøg er udbyttet i hvede og byg fx kun mellem 60 og 65 % af udbyttet ved konventionel dyrkning (figur 12-10).

De økologiske dyrkningssystemer er komplicerede, og den reducerede brug af indsatsfaktorer gør, at ufavorable vækstbetingelser – fx en tørkeperiode – gør dem ulige meget sværere at håndtere. Dyrkning af planter med forbedret sygdomsresistens og tørkeresistens vil, hvad enten de er opnået ved brug af gentek-

nologi eller klassisk forædling, kunne reducere problemerne. I en økologisk mark, der intet udbytte giver fx grundet kraftige svampeangreb, er der heller ikke megen biodiversitet. På trods af disse helt centrale problemer lover nogle økologiske producenter alligevel, at de kan løse alle problemer. Akkurat den samme fejl gjorde molekylærbiologer og bioteknologer i firserne.

I den brede befolkning er der et forståeligt ønske om, at romantikken bringes tilbage i jordbrugserhvervet. Her ses økologiske dyrkningsmetoder som et redskab. Jeg har personlig meget stor sympati for denne tankegang. Men økologisk jordbrug skal være mere end det, hvis den fremover skal spille en rolle for andet end velbeslåede forbrugere i den Vestlige verden.

Økologisk fødevarerproduktion skal som ovenfor anført udvikles som enhver anden fagdisciplin for at udbytte, kvalitet og prisudvikling ikke bliver så ufordelagtig for økologiske produkter i forhold til de alternative produkter, at salget forbliver begrænset, og de positive effekter ved økologisk produktion derved ikke får nogen effekt set med en global målestok.

Som tidligere nævnt er antallet af mennesker på Jorden økologisk set helt abnormt. Hver sjette af de mennesker, der nogensinde har eksisteret på Jorden, er i live i dag og skal have noget at spise. Befolkningstilvæksten betyder, at nogle af de bæredygtige dyrkningsmetoder, der er udviklet i såkaldte primitive samfund, og som er meget avancerede økologisk set, ikke længere kan fastholdes.

Dette gælder fx mange systemer baseret på svedjebrug. Fra at kunne praktiseres med passende afmålte intervaller, er der nu brug for hyppigere omdrift for umiddelbart at opnå det større udbytte,

der kan sikre lokalbefolkningen en tilstrækkelig mængde fødevarer. Dermed bliver den gennem generationer opbyggede erfaring ikke umiddelbart anvendelig, og det betyder i mange tilfælde, at

svedjebruget fra at være rimelig driftsikkert bliver uforudsigeligt og over en årrække nemt resulterer i fx jorderosion. Der opstår derfor hele tiden nye krav, som der skal findes løsninger på.

Genteknologisk fødevarereproduktion

Vi skal sikre en bæredygtig produktion, hvor det omgivende miljø belastes mindst muligt. Her er det som tidligere nævnt vigtigt at inddrage de bedste sider af økologiske produktionsmetoder og bruge kulturplanter med forbedrede kvalitetsegenskaber fx øget ernæringsværdi, modstandsdygtighed over for sygdomsangreb og fravær af giftstoffer med skadelige effekter på forbrugeren. I fremtiden vil disse kvalitetsegenskaber typisk

være indført ved hjælp af en kombineret brug af klassisk forædling og genteknologi.

Det fokus, der de senere år har været på fødevarersikkerhed, vil i løbet af det næste årti som tidligere anført føre til on-line kontrol af mange kvalitetsparametre. Sådanne kvalitetscheck vil blive standard, hvad enten produkterne er produceret konventionelt, økologisk eller ved hjælp af gensplejsning. Konventionelle og økologiske produkter vil så blive underlagt den samme strenge kvalitetskontrol, som gensplejsede fødevarer i dag skal igennem. Min spådom er, at resultaterne af sådanne analyser generelt set vil være til stor fordel for de gensplejsede fødevarer.

Genteknologien er et meget stærkt redskab. Den kan derfor være utrolig gavnlig, men også give uønskede bivirkninger. Genteknologien må derfor styres og reguleres fra politisk hold. For at opnå maximal sikkerhed må der tages stilling fra sag til sag.

Der er en risiko forbundet med ethvert valg. Risikoanalyser, som anbefaler, at en strategi, en teknologi eller et produkt fravælges, har ikke nogen særlig værdi, hvis de ikke samtidig beskriver de risici, vi i stedet udsættes for ved de alternative valg, der så må træffes. Der må fremover stilles langt højere krav til risikoforskningens faglige niveau, således at den bidrager til at anvise de samlet set



Figur 12-11. Hvis etiske holdninger fører til, at man fravælger brug af genteknologi, er det en ærlig sag og må helt klart respekteres. Men i så fald er det vigtigt, at der skabes andre bæredygtige løsningsmodeller, der på realistisk vis forsøger at løse problemstillingen med en tilstrækkelig fremtidig fødevarereproduktion. Her udtalelse fra Vatikanets Pavelege Akademi, som går ind for gensplejsning af planter

mest fordelagtige løsningsmodeller i stedet for ofte blot at påpege, at der selvfølgelig foreligger en risiko. Ved brug af negative argumenter og følelser er det let at mobilisere folk til at være imod noget, men svært at nå til brugbare løsninger. På denne måde skabes et stemningsdemokrati, der fører os ud ad mange tilfældige tangenter, men som ikke skaber sammenhængende løsninger.

Risiko for spredning af uønskede gener

Generelt må målet være, at vi bruger genteknologien til at reducere risici og miljøbelastning ved landbrugsproduktionen. Typisk vil genteknologien blot bestå i, at et gen, der giver en uønsket egenskab, fx allergi, slås ud. Der er så ikke nogen risiko for spredning af det uønskede gen. Et andet eksempel på brug af genteknologi til minimering af risici er produktion af medicinske præparater. Humant væksthormon produceres nu i gensplejede mikroorganismer fx i bagerigær, der dyrkes i lukkede beholdere. Alternativet var isolation fra døde dyrs hjerner med deraf følgende risiko for utilsigtet overførsel af prioner til de patienter, der behandlede med væksthormonet.

Arbejdes der med udvikling af en gensplejset raps, er risikoen for at et indført gen overføres i naturen relativt stor. Det skyldes flere forhold. Raps er en fremmedbestøver, og plantens pollen spredes med vind og bier. Samtidig kan raps krydses med agerkål, således at det indsatte gen på sigt vil kunne overføres til denne ukrudtsplante. Samtidig kan rapsfrøet overleve i jorden. Det betyder, at spildfrø kan spire i en mark med en anden afgrøde året efter. Der skal derfor ikke indføres gener i raps, som det vil være et problem at få overført til andre plantearter.

En anden mulighed er, at det, inden der dyrkes gensplejset raps, sikres, at generne ikke spredes – fx ved brug af terminator-teknologi og ved udvikling af dryssefaste typer, dvs. sorter hvor de frøholdige skulper ikke åbnes før efter høst. Terminator-teknologi betyder så, at landmanden ikke kan gemme noget af sin egen høst og bruge den til udsæd næste år. Dette kan især blive et problem for fattige lande.

Imidlertid reduceres dette problem efterhånden, som planteproduktionen alligevel går over til at blive baseret på højtydende hybrider, hvor landmanden heller ikke med fordel kan producere sin egen såsæd, da udbyttet så bliver meget ringere. Faktisk dyrker vi allerede i dag mange kulturplanter, som ved hjælp af kontrollerede klassiske krydsninger er gjort sterile og derfor ikke kan opformeres på normal vis. Det nyder den enkelte forbruger godt af ved fx at kunne købe vindruer, appelsiner, citroner, bananer og dadelblommer uden kerner.

I forbindelse med pollenspredningen skal man i øvrigt huske, at raps har eksisteret side om side med agerkål lige siden den for henved 300 år siden blev indført. Alligevel har vi stadig to klart adskilte arter på vore marker. Så i praksis er den hyppighed, hvormed der overføres gener fra raps til agerkål, så lille, at man typisk skal bruge ultrafølsomme molekylærbiologiske metoder for at påvise den.

Majs er som raps en fremmedbestøver, og dens pollen spredes med vinden. Men majs kan ikke krydse med ukrudt eller andre afgrøder og dyrkes for øvrigt ikke til modenhed i Danmark. Der kan derfor ses bort fra en risiko for spredning af gener fra majs til andre arter. Sukkerroer og foderroer er også fremmedbestøvere og kan krydse med

strandbede, som findes på visse strandenge. Men både sukkerroer og foderroer høstes året før, de i givet fald ville blomstre, så også her er risikoen for pollenspredning ringe.

Modsat er langt de fleste fodergræsser fremmedbestøvere, der kan krydse med almindelige ukrudtsarter. Her er der altså brug for langt større forsigtighed, hvis fodergræsser med nye egenskaber ønskes indført. Alternativt skal der udvikles fodergræsser, som ikke blomstrer, og som derfor ikke spreder pollen. Dette arbejder DLF-Trifolium med. En yderligere fordel ved sådanne græstyper er, at deres ernæringsværdi for drøvtyggere bliver betragteligt forøget, når planten i stedet for at producere en svært fordøjelig stængel danner flere grønne blade.

En sådan opdeling af vores kulturplanter i diverse risikogrupper er netop udarbejdet i tæt samarbejde mellem en gruppe økologer, bioteknologer og repræsentanter for miljømyndighederne og offentliggjort i en bog med titlen: "Vidensyntese under FØJO II: Konsekvenser af genmodificerede afgrøder for økologisk jordbrug".

Genteknologi og godt landmandskab

Det allervigtigste er at holde fast i, at al fødevarerproduktion skal være et resultat af godt landmandskab bestående i valg af optimale sædskifter, gødningsplaner osv. Det er dårlig management på disse områder, der giver de største miljøproblemer. Med hensyn til dyrkning af gensplejsede afgrøder kan dette eksemplificeres med følgende problemstilling.

Der er udviklet gensplejsede majsplanter, der ikke angribes af majsmøl, fordi majsplanterne producerer et protein, kaldet Bt-toksin, der er giftigt for

majsmøllens larver. Det har medført nedsat forbrug af insekticider. Når majskolberne ikke gennembøres af gnavnende larver, bliver det også sværere for svampe at få adgang til kernerne. Vi får altså et produkt, der samtidig typisk har et reduceret indhold af skadelige kræftfremkaldende svampetoksiner.

Alligevel er denne fremgangsmåde ikke uden problemer. Et af dem er selvskabt og skyldes, at landmændene i bl.a. USA meget hurtigt har taget denne teknologi til sig. De dyrkede arealer med denne resistensegenskab har derfor nået et omfang, ingen for bare fem år siden havde forestillet sig. Det vil med al sandsynlighed medføre, at majsmøllet udvikler resistens mod Bt-toksin tidligere, end det ellers havde gjort. Den rigtige fremgangsmåde havde været at få brugen af denne ellers fremragende teknologi integreret i dyrkningssystemer, hvor der de enkelte år dyrkedes afgrøder med forskellige resistensfaktorer indbygget.

Det kunne der fra politisk hold have været opstillet regelsæt for. Et sådant regelsæt havde sikret en landbrugsproduktion baseret på almindeligt godt landmandskab og været garant for, at de store miljømæssige fordele ved den udviklede teknologi blev udnyttet fuldt. Oven i købet havde et sådant regelsæt samtidig haft den gavnlige virkning at åbne for, at andre mindre firmaer blev givet et incitament til at udvikle lige så miljøvenlige alternative resistensmekanismer. Det er desværre ikke lykkedes at få sådanne ordninger vedtaget, hvilket bl.a. skyldes mange politikeres hang til sort-hvide budskaber.

Genteknologi og forskning

Som alle andre nye teknologier bliver genteknologien mødt med sund skepsis.

De første produkter på planteområdet har været prototyper uden særlig appeal til den enkelte forbruger. På planteområdet mangler genteknologien stadig at vise, hvad godt den kan bringe os.

Når genteknologien debatteres, skal løfter om fremtidige fordele altså afvejes mod fremtidige risici og fremmanede skrækvisioner. Da genteknologien samtidig er tæt koblet til de multinationale industrikoncerner, har det været nemt at så stor tvivl om teknologiens berettigelse. I denne sammenhæng er det et meget stort problem, at forskerne fra politisk hold hele tiden afkræves praktiske resultater af deres arbejde. Det kommer bl.a. til udtryk i, at en stor del af de offentlige forskningsmidler kun kan søges, når der ansøges sammen med en industrivirksomhed eller foreligger medfinansiering fra en sådan. Når forskere så står frem og taler om positive sider af genteknologien, er der intet så nemt som straks at sætte et spørgsmålstegn ved vedkommendes uafhængighed og egne kommercielle interesser.

Ved højtidelige lejligheder henvises til videnssamfundet, som om vi i alle forhold burde og rent faktisk også drog fordel af den viden, der er til rådighed et eller andet sted. Især forskerne inden for naturvidenskaberne forventes i denne sammenhæng at levere klare svar, løsninger og teknologi og udvise handlekraft. I medierne interviewes den enkelte forsker om, hvornår den næste store opdagelse (fx løsningen af kræftens gåde) er en realitet, og hvornår der så kommer en effektiv behandling (fx medicin). Men der spørges ikke om den metode og de bevidste og ubevidste fravalg, der ligger til grund for den enkelte forskers arbejde. Tvivl og nuancerede holdninger er der ikke tid til eller interesse for. Dette

er faktisk i direkte modstrid med selve forskningens egen natur, hvor kritiske spørgsmål og tvivlen indgår i forskerens tankesæt som de elementer, der bringer ny viden frem.

Der findes ikke en eneste biologisk proces, som vi forstår i alle detaljer. Når videnskaben imidlertid formidles uden tvivl og uden, at en ny opdagelse ses i sammenhæng med anden viden, bliver resultatet, at videnskab i den almene befolkning forbindes med noget absolut. Så bliver videnskaben enten anset for det absolut værste eller som det absolut bedste. Når det hele fremstilles enten sort eller hvidt, opstår der på nogle områder nemt en opdeling mellem de kloge og hårde på den ene side og de følelsesbetonede og gode på den anden. Menneskets hjerne bliver umenneskelig og adskilt fra de sanser og følelser, der udspringer fra "hjertet". Videnskab og sandhed bliver sat i modsætning til moral.

Det, der i virkelighedens verden sker, er, at vi på få enkeltområder i nogle meget komplekse biologiske systemer punktvis får nok indsigt til også at kunne anvende ny viden i praksis. Mennesket får altså på områder, hvor det før har måtte lade tilfældighederne råde og været i vilkårenes vold, nu nogle valgmuligheder, som med større eller mindre sandsynlighed fører til et bestemt resultat, men som samtidig pådrager det menneske, der vælger, en form for ansvar. Det volder derfor ubodelig skade, når den biologiske forskning af enkeltforskere, politikere, statsmænd og medier konstant fremstilles som marcherende frem med stormskridt. I denne situation er det ikke muligt at komme til en forstandig, gennemtænkt og etisk ansvarlig forvaltning af den viden vi faktisk har.



Figur 12-12. Babelstårnet, maleri af Pieter Bruegel fra 1563. Vi skal tænke os om, så der ikke opstår ny babylonisk forvirring – som et resultat af, at vi fravælger eller vælger brugen af genteknologi i fremtidens fødevareproduktion.

Genteknologien kommer til at spille en rolle på planteområdet

Min vision er, at vi fremover kan håndtere genteknologien på en måde, så den bliver et godt redskab i fødevareproduktionen, både den konventionelle og økologiske. Men genteknologien vil være et redskab blandt mange andre.

Jeg tror, at produktionsomkostningerne på det genteknologiske område vil falde dramatisk. Men det er en spådom, og det er umuligt at sige om eller hvornår, det vil ske. Jeg tror, at det i løbet af det kommende årti bliver muligt med meget høj effektivitet at sætte nye gener ind i cellens DNA, nøjagtig hvor vi ønsker det. DNA-chipteknologi vil give os

bedre overblik over, hvilke gener der udtrykkes i en given transgen plante under forskellige dyrkningsforhold og påvirkninger. Det vil være et uvurderligt redskab i den fremtidige planteforædling og kvalitetskontrol.

De molekylærbiologiske teknikker, der danner baggrunden for produktion af gensplejsede produkter, udvikles og forbedres til stadighed. Det betyder, at der med fordel vil kunne udvikles mere og mere komplicerede produkter ved brug af genteknologi. Det betyder også, at både produktionsprocesser og det endelige produkts egenskaber løbende vil

blive optimeret, således at de kan opfylde større og større krav til kvalitet, fødevarerikthed og miljøbeskyttelse.

Et kritikpunkt, der fx har været rejst mod gensplejede planteprodukter, er brug af gener, der giver antibiotikaresistens i forbindelse med udvælgelsen af de gensplejede celler. Der har været en frygt for, at antibiotikaresistens derved kunne spredes til fx sygdomsfremkaldende bakterier, som så ville være svære at bekæmpe. Selvom de gener, der giver antibiotikaresistens, alle er isoleret fra almindelige bakterier i naturen, og risikoen derfor ikke kan elimineres ved blot ikke at bruge dem i gensplejede planter, er det besluttet at undgå brug af sådanne gener i fremtidige gensplejede produkter. Nye gensplejede produkter vil således være fri for antibiotikaresistensgener. Det er dels muligt fordi transformationseffektiviteten er så høj, at det ikke længere er nødvendigt at have noget selektionsgen, dels fordi der allerede er udviklet alternative udvælgelsesteknikker baseret på positiv selektion.

Placering af inducerbare og vævsspecifikke styreenheder foran de enkelte gener vil betyde, at en bestemt egenskab, fx forsvar mod angreb fra et bestemt insekt, kun kommer til udtryk, når dette angreb forekommer. Og det kun i den del af planten, der angribes. Kombineret med muligheden for at behandle meget store informationsmængder vil disse

forhold langsomt, men sikkert ændre både biokemi og molekylærbiologi fra videnskaber, der ser på enkeltprocesser, til videnskaber, der kan give billeder af helheder.

Når biokemi og molekylærbiologi traditionelt har haft et reduktionistisk udgangspunkt, skyldes det, at de problemstillinger, der studeredes, er så komplekse, at alt ikke kunne studeres på én gang. Når genernes struktur og manges funktion bliver opklaret, smelter alle disse videnskaber mere eller mindre sammen og nye videnskaber som kemisk biologi og kombinatorisk biologi vil kunne påvise hidtil ukendte sammenhænge og i langt højere grad kunne anvise løsningsmodeller også på komplekse problemstillinger fx i økologiske dyrkningssystemer.

Det er helt sikkert, at der i udviklingen af disse produkter og den store omlægning af produktionen, der ligger foran os, vil ske fejl. Men de nuværende produktionsformer er heller ikke uden risici, slet ikke hvis de skal bruges til at mætte endnu flere munde. Det er risici ved forskellige fremgangsmåder og produktionsformer, der skal afvejes mod hinanden, når vi skal prøve at nå størst mulig grad af bæredygtighed. Jeg vil håbe, at der kan opstilles regelsæt, der gør, at alle går til opgaven med største ydmyghed. Men selv da vil der akkurat som nu også i fremtiden være negative sider af alle valg.

