Formas Fokuserar

Genklippet ?

Maten, miljön och den nya biologin

Genklippet ?

Maten, miljön och den nya biologin

Idag kan vi förändra växter, djur och bakterier på ett nytt sätt – genom att klippa ut gener och föra över dem från en art till en annan. Är det farligt för människa och miljö när genmodifierade organismer börjar odlas och blir mat på våra fat? Eller blir gentekniken klippet som kommer att rädda världen från svält och miljöproblem?

Gentekniken påverkar det levandes urgamla spelregler. Därför har den stött på hårt motstånd från europeiska konsumenter och miljöorganisationer. Men vad säger forskarna om möjligheter och risker med den nya biologin?

Läs den här boken så får du veta!

Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas

Formas Fokuserar

PRISGRUPP
F
POCKETSTANDARD

ISBN 91-540-5906-2
9789154059065

Genklippet?

Maten, miljön och den nya biologin

Formas Fokuserar

Innehåll

Genklippet? 7
Birgitta Johansson

Blir framtiden ljus eller mörk i en genmodifierad värld? 15
Henrik Brändén

Vad är det forskarna gör egentligen? 23
Henrik Brändén

Genmodifierade växter kan lösa många problem 35
Marie Nyman

Är vi redo för GM-grödor på åkrarna? 51
Håkan Fogelfors och Margareta Hansson

Vi måste våga försöka – för matförsörjningens skull 63
Carl-Gustaf Thornström

Om konsten att tämja bakterier för miljöändamål 71
Janet Jansson

Genmodifierade träd i morgondagens skog 81
Stefan Jansson, Ove Nilsson och Björn Sundberg

Hanterbara risker med GM-husdjur 93
Leif Andersson

Genmodifierad fisk måste hållas i schack 113
Fredrik Sundström och Jörgen Johnsson

GM-mat kan vara säkrare och nyttigare än vanlig mat 125
Sven Lindgren

Konsumenterna är negativa till GM-maten 135
Ulla-Kaisa Koivisto Hursti

På väg mot en rimlig etik 145
Nils Uddenberg

Genklippet?

Kan gentekniken bli klippet som räddar världen från svält och miljöproblem? Eller kan det tvärtom bli farligt för människor och miljö när genmodifierade organismer börjar dyka upp på åkrar och tallrikar? Finns det någon viktig skillnad mellan traditionell växt- och djurförädling som har pågått i tusentals år och dagens genteknik när vi förändrar gener på laboratoriet – klipper och klistrar? Boken handlar om gentekniken tillämpad på jordbruk, livsmedel, skogsbruk och miljö.

Genmodifierat ris som kan ersätta insulinsprutor och genmodifierade bakterier som kan bli de viktigaste arbetarna i framtidens vätgasfabriker. Nyheter som de här ger förhoppningar för framtiden. Men många människor är oroliga, bland annat för att de genmodifierade organismerna ska sprida sig i naturen och för att multinationella företag ska få sådan makt över de nya grödorna att de fattigaste människorna i världen inte får tillgång till dem. Särskilt stark är oron när det gäller genmodifierade livsmedel, inte minst i Europa där gentekniken har stött på hårt motstånd från konsumenter och miljöorganisationer.

Även de officiella EU-reglerna har gått på tvären mot gentekniken. I USA har man talat om EU:s genmatsblockad och anser att den strider mot internationella

handelsregler. Under sommaren 2003 spreds nyheten att EU:s program för märkning av genmodifierade livsmedel hade tagit ett stort steg framåt. Vi fick också veta att Vatikanen gillar genmodifierade grödor, medan gräsrötterna inom katolska kyrkan är mer skeptiska. Och en svensk opinionsundersökning visade att mer än hälften av Sveriges lantbrukare med mer än 50 hektar åker är positiva till att odla genmodifierade grödor.

Samma sommar anklagade president Bush Europa för att bidra till svälten i Afrika eftersom européerna inte vill importera genmodifierad mat. Det leder enligt Bush till att afrikanska länder avstår från att satsa på sådana grödor – med minskade skördar som följd. Under 2003 trädde också ett FN-protokoll om genmodifierade grödor i kraft. Syftet är att tydliggöra frågan om handeln med genmodifierade organismer (GMO). Alla frakter ska anmälas i förväg, och innehållet ska deklareras. Varje land har rätt att neka införsel av GMO om det finns misstankar att de kan skada lokala grödor.

Det finns alltså många stötestenar för gentekniken i praktiken. Inom forskarvärlden finns det däremot inga större motsättningar. Forskarna anser att nyttan med gentekniken väger tyngre än riskerna, även om vissa forskare är lite mer skeptiska än andra. De säger att vi måste klargöra hur gentekniken ska utnyttjas i praktiken för att den ska ge de vinster vi hoppas på samtidigt som riskerna blir så små som möjligt.

Ljus eller mörk framtid?

I bokens första kapitel målar Henrik Brändén upp en ljus och en mörk framtid med gentekniken. Men vad är egentligen en gen, och vad är genmodifiering? Hur går den till? Och hur onaturlig är den? Henrik reder i det andra av sina kapitel ut vad det är forskarna gör när de flyttar gener mellan olika arter.

Genmodifierade växter kan lösa många problem, slår Marie Nyman fast. Gentekniken kan bidra till världens livsmedelsförsörjning och minskad miljöbelastning. Men den klassiska växtförädlingen kommer att stå i centrum även i fortsättningen. Marie är kritisk till det starka motstånd mot GMO som finns inom den västerländska miljörörelsen.

Nordamerika odlar idag större delen av världens genmodifierade grödor. Håkan Fogelfors och Margareta Hansson tror att de här grödorna är på väg även i Europa. Det vore svårt för oss att avstå från de fördelar som tekniken kommer att kunna erbjuda. Men det är viktigt att vi bedömer både risker och nytta innan vi börjar odla GMO kommersiellt. Det kan bli problem när de genmodifierade grödorna ska samexistera med andra grödor eftersom deras gener kan sprida sig i omgivningen via pollen. Det finns också en viss risk att den biologiska mångfalden minskar. Det krävs en genomtänkt odlingsstrategi, och det har vi ännu ingen. Målet ska vara ett uthålligt jordbruk, och genmodifierade grödor med rätt

egenskaper passar för både ekologiskt och konventionellt jordbruk, skriver de båda forskarna.

För att världens människor ska få mat måste vi våga pröva de genmodifierade grödorna. Det är Carl-Gustaf Thornström helt säker på. Men vi behöver en mer saklig debatt som också tar upp maktfrågor och regelverk. Vi skulle behöva styra genteknikens utveckling mer utifrån hungriga människors behov än utifrån storföretagens. Det kan till exempel inte vara rätt att bönder i fattiga länder på grund av ett patentsystem ska tvingas köpa sitt utsäde från mäktiga multinationella företag.

Tama bakterier och skräddarsydda träd

Det finns många nyttiga och användbara bakterier. Vissa kan sanera mark från giftiga kemikalier, andra kan ersätta kemikalier i jordbruket. Forskarna kan med hjälp av genteknik skräddarsy bakterierna för speciella ändamål. Industrin står i startgroparna och väntar på att få göra nya produkter av genmodifierade mikroorganismer, skriver Janet Jansson i sitt kapitel.

Träd kan också skräddarsys, bland annat så att kvaliteten på fibrerna passar bättre för olika användningsområden. Träd kan även genmodifieras så att de växer fortare. Snart kommer vi att se genmodifierade träd i skogsodlingen. Först kommer de i snabbväxande skogsplantager i andra länder, skriver Stefan Jansson, Ove Nilsson och Björn Sundberg. Lite senare får vi dem även i Sverige, i hög-

intensiva fiberodlingar som kompletterar våra vanliga skogar – inte ersätter dem. Men innan vi sätter ut genmodifierade organismer som träd eller bakterier i naturen måste vi undersöka riskerna, från fall till fall.

Husdjuren dröjer och fiskarna rymmer

Dagens forskare har inte så mycket mer att göra när det gäller att få husdjuren att växa snabbare, eftersom den traditionella husdjursförädlingen har lyckats mycket bra med just detta. Däremot kan genteknik på husdjur komma att användas för mer speciella syften, till exempel för att förbättra livsmedelskvaliteten och göra djuren mer resistenta mot sjukdomar. Genmodifierade husdjur kan också komma att användas i humanmedicinens tjänst. Riskerna med genteknik på husdjur är hanterbara, skriver Leif Andersson. Men han tror att konsumenterna först måste acceptera livsmedel från genmodifierade växter innan de kan acceptera livsmedel från genmodifierade djur.

Fisk kan genmodifieras så att den växer snabbare. Vad händer om sådana fiskar rymmer ur odlingar och simmar iväg? Kommer naturliga fiskbestånd att konkurreras ut och gå förlorade? Eller kan odlad genmodifierad fisk minska trycket på de vilda fiskbestånden? Vi vet inte riktigt än hur de genmodifierade fiskarna fungerar i naturen, skriver Fredrik Sundström och Jörgen Johnsson. Men visst kan det komma en dag när vi i fiskaffären kan köpa ”allergisäkra” räkor och genmodifierade fiskar, till

exempel mer näringsrik torsk och gäddor som har vuxit upp på växtprotein.

Människorna och gentekniken

Kan maten verkligen bli både säkrare och nyttigare med hjälp av genteknik? Ja, det anser i alla fall Sven Lindgren på Livsmedelsverket. Med gentekniken kan vi snabbt identifiera farliga bakterier och virus i maten, och vi kan framställa livsmedel som innehåller mer av nyttiga ämnen och mindre av skadliga ämnen än den mat vi har idag. Med EU:s nya regler ska vi inte behöva ifrågasätta säkerheten hos den genmodifierade maten. Men en liten brasklapp för kunskapsluckor skickar Sven Lindgren med i slutet av sitt kapitel.

Vad är det då som påverkar människors attityder till genmodifierade livsmedel? Ulla-Kaisa Koivisto Hursti har kommit fram till att människor vill ha kontroll över sina liv. Många ogillar också att man mixtrar med Guds skapelse. Men kan det vara så att de etiska överväganden används som ursäkt för något helt annat, nämligen rädsla för ny teknik? Kommer motståndet att luckras upp när flera nya genmodifierade livsmedel dyker upp på marknaden? Det gäller i vilket fall som helst att möta rädslan med respekt och få en mer nyanserad diskussion om teknikens fördelar och nackdelar.

Nils Uddenberg skriver i bokens sista kapitel att gentekniken knappast kommer att bli accepterad om den

inte utnyttjas ansvarsfullt. Han talar om en rimlig etik som bland annat innefattar en måttfull tolkning av den så kallade försiktighetsprincipen, så att inte all teknikutveckling blockeras.

Birgitta Johansson, redaktör

Birgitta Johansson är vetenskapsjournalist och informatör hos Formas.

Läs mera på nätet: www.forskning.se/nyabiologin
Nya biologin är en webbplats för dig som vill bli bekant med gentekniken, hur den används och utvecklas inom medicin, jordbruk och industri.

Om förkortningar
Den enda förkortning som förekommer i förordet är GMO, det vill säga genmodifierade organismer. I fortsättningen av boken finns GM i alla möjliga sammansättningar. I stället för att varje gång skriva ut ”genmodifierade” skriver vi kort och gott GM med ett bindestreck efter: GM-grödor, GM-husdjur, GM-fisk, GM-träd, GM-produkter, och så vidare. GM-mikroorganismer har dessutom fått en egen förkortning, nämligen GMM.

Blir framtiden ljus eller mörk i en genmodifierad värld?

Genteknik väcker starka känslor. Enligt anhängarna kommer den att lösa många av vår tids svåra problem. Den kan hejda svält och undernäring, lösa miljöproblem, skapa förnybara ersättningar för olja och förhindra att människor blir sjuka. Enligt motståndarna kommer tekniken att skapa fler problem än den löser. Ekosystemen kan skadas, mark och människor förgiftas, de ekonomiska klyftorna i världen vidgas och den biologiska mångfalden utarmas. Frilansskribenten Henrik Brändén målar en ljus och en mörk framtidsbild.

Henrik Brändén

Genteknik går i grund och botten ut på att man tar en gen, ett arvsanlag, från en livsform och för över den till en annan. Den nya arten får den egenskap som genen orsakar. Man får en genmodifierad (genförändrad) organism, en så kallad GMO. På detta sätt kan bakterier dirigeras att tillverka annars sällsynta läkemedel. Grödor kan göras tåliga mot ogräsmedel och virus, och grisar kan få miljövänligare bajs.

Den ljusa framtidsbilden

Enligt genteknikens anhängare är detta bara en försmak av de välsignelser tekniken kan ge. I deras framtidsvision ökar gentekniken avkastningen i jordbruket så mycket att världen klarar av att försörja sin snabbt växande befolkning. Och lokala grödor skräddarsys för att innehålla mycket av just de mineraler och vitaminer som människor i olika områden lider brist på.

Med genteknikens hjälp kommer jordbruket att bli mycket miljövänligare, till exempel med hjälp av grödor med inbyggda biologiska insektsgifter och husdjur med mindre fosfat i avföringen. Gentekniken kan bidra till bättre miljö även på andra sätt. Mark som har förgiftats av kemikalier eller tungmetaller kan saneras av genmodifierade bakterier och växter. Genmodifierade träd med mindre limämne i stammen kan minska utsläppen från massabruken.

Mineraloljan är i anhängarnas framtidsvision utbytt mot

råvaror från olika genmodifierade växter. Plastflaskor görs av stärkelse från genmodifierade potatisar. Smörjolja kommer från genmodifierad raps. Och kanske husen värms av flis från poppel eller sälg som har gjorts snabbväxande med hjälp av genteknik.

Och människor är mycket friskare än tidigare, ty tusentals olika experiment med genmodifierade bakterier, bananflugor och möss har lärt oss så mycket om hur vi själva fungerar och om hur olika sjukdomar uppkommer att vi på ett helt annat sätt än tidigare vet hur sjukdomar kan förebyggas, behandlas och medicineras.

Den mörka framtidsbilden

Motståndarnas framtidsbild målas i mörkare färger. Genmodifierade växter och fiskar kommer att smita från åkrar och laxkorgar i haven. De förökar sig med vilda släktingar, och de nya generna sprider sig. Ogräs blir resistenta mot ogräsmedel. Olika grödors vilda släktingar blir tåliga mot torka och köld, vandrar in i nya områden och tränger ut den tidigare växtligheten. Snabbväxande laxar konkurrerar ut ett stort antal andra fiskarter och tar över i haven. Känsliga ekosystem förstörs, och många arter försvinner.

Människor och miljö förgiftas. Genmodifierade växter som producerar läkemedel och kemikalier pollinerar släktingar på åkrarna intill. Deras frön ramlar till marken, gror och förgiftar den mat som odlas där nästa

säsong. Mängder av kemikalier vräks över åkrarna eftersom grödorna har gjorts motståndskraftiga mot olika gifter.

Klyftorna mellan världens fattiga och rika kommer att vidgas ytterligare. Endast en liten del av forskningen med genteknik ägnas åt sådant som tredje världens småbönder kan ha nytta av. I stället används det mesta av forskningen till att ytterligare öka avkastningen i västvärldens högteknologiska jordbruk. Jordbruksöverskottet där blir ännu större, och när detta exporteras slås tredje världens odlare ut.

De genmodifierade grödor som skulle kunna vara meningsfulla i tredje världen får fattiga småbönder ändå inte någon glädje av. Ty växtförädlingsföretagen har tillsammans med de önskade generna satt in så kallade ”terminatorgener” i sina grödor, gener som gör att skörden inte kan utnyttjas som utsäde. Det gör att bönderna måste köpa nytt utsäde varje år från växtförädlingsföretaget. Småbönder får därför allt svårare att konkurrera och tvingas sälja sin jord till storbönder.

Och allt eftersom de rika storbönderna går över till att odla ett fåtal högavkastande genmodifierade grödor försvinner tusentals traditionella sorter och varianter av grödorna. Mångfald ersätts av enfald, och efter en tid upptäcker man att många av de försvunna lokala grödorna

Lagar och regler för GMO

Genmodifierade organismer faller under miljöbalken (1998:808). Denna ramlag kompletteras av genteknikförordningen (1994:901) och förordningen om innesluten användning av genetiskt modifierade organismer (SFS 2000:271). Den senare innehåller detaljerade regler angående tillstånd eller anmälan om verksamhet med genmodifierade organismer (GMO). Vid utsättning av GMO gäller dessutom särskilda regler (SFS 2002:1086).

Laboratorier och växthus där man hanterar genmodifierade växter ska vara godkända av Jordbruksverket. För att få släppa ut en gröda i fältförsök måste man ha tillstånd – från Jordbruksverket för åkergrödor och från Skogsstyrelsen för träd. Ett tiotal genmodifierade grödor har fått tillstånd att odlas i EU, inklusive Sverige. Vidare får en handfull genmodifierade växter varje år tillstånd att odlas i begränsade fältförsök. För att få börja sälja ett genmodifierat utsäde måste man ha tillstånd som ges på EU-nivå och gäller för hela EU.

Genmodifierade mikororganismer måste först testas i laboratorium och växthus. Efter det går det att söka tillstånd från Kemikalieinspektionen för fältförsök.

Genmodifierad fisk finns på många laboratorier runt om i världen, men inget land har ännu tillåtit kommersiell odling. Flera ansökningar om sådan verksamhet behandlas av myndigheter, bland annat i USA och EU. I Sverige

finns i dagsläget ingen genmodifierad fisk. Ansökan om tillstånd för att hålla genmodifierad fisk ska skickas till Fiskeriverket.

Genmodifierade husdjur finns idag på ett begränsat antal forskningsinstitutioner och företag runt om i världen, men de används inte för produktion av livsmedel. Ännu har inga försök gjorts för att ta fram genmodifierade husdjur i Sverige. Innan man kan starta ett försök att ta fram sådana husdjur måste tillstånd beviljas av en djuretisk nämnd.

När det gäller regler för livsmedel finns det mer att läsa i Sven Lindgrens kapitel på sidan 125.

i längden hade varit mer lämpade för de olika jordarna och klimaten än de genmodifierade grödorna.

Väntar bakom låsta dörrar

Anhängare och motståndare har alltså radikalt olika syn på vad gentekniken kan föra med sig. Anhängarna hoppas att tekniken kan lösa många problem. Motståndarna betvivlar att förhoppningarna kommer att infrias och varnar i stället för en rad olika faror som tekniken kan föra med sig, farhågor som anhängarna säger är överdrivna.

Vi kan naturligtvis inte idag veta vilka framtidsbilder som kommer att slå in. Men det behöver inte dröja så länge innan vi vet. De flesta genmodifierade växter, djur och bakterier som figurerat i de två scenarierna finns redan idag. Visserligen lever de flesta inte på ängar och fält utan i forskarnas slutna laboratorier, växthus och djurstallar. Men det är bara en tidsfråga innan många av dem börjar släppas ut på fält, i hagar och i hav. Längst har utvecklingen gått i USA. Där är en stor del av den majs och soja som odlas genmodifierad. I Sverige är däremot de allra flesta genmodifierade organismer fortfarande inlåsta. Och reglerna är mycket stränga för att få släppa ut dem.

Henrik Brändén är filosofie licentiat. Han skriver, undervisar och fortbildar lärare kring modern bioteknik.

Vad är det forskarna gör egentligen?

Vad är egentligen en gen? Vad är genmodifiering? Hur går den till? Och hur onaturlig är den egentligen? Henrik Brändén reder ut forskarnas begrepp och verktyg. Det handlar om dubbelspiralen DNA och dess byggstenar som sätts ihop till gener. Och det handlar om hur man kan få främmande gener att foga in sig i arvsmassan hos bakterier, växter och djur.

Henrik Brändén

I allt som lever händer det saker. Det levande växer och förökar sig. Näringsämnen bryts ner och nya molekyler byggs upp av de byggstenar som då bildas. Signaler skickas fram och tillbaka. Många livsformer kan röra sig. Vi kan känna, tänka och älska.

All denna aktivitet utförs av ämnen som kallas proteiner. Proteinerna är det levandes maskiner. Olika proteiner klipper sönder näringsämnen så att de kan tas upp av blodet, andra bygger upp de stora molekyler vi är uppbyggda av. Somliga proteiner fångar upp signalämnen, och andra skickar meddelanden fram och tillbaka inne i våra celler. I en människa finns över hundratusen olika proteiner som utför varsin liten del av verksamheten i vår kropp. I den enklaste kända livsformen på jorden, en så kallad mykobakterie, finns ungefär femhundra olika proteiner med olika arbetsuppgifter.

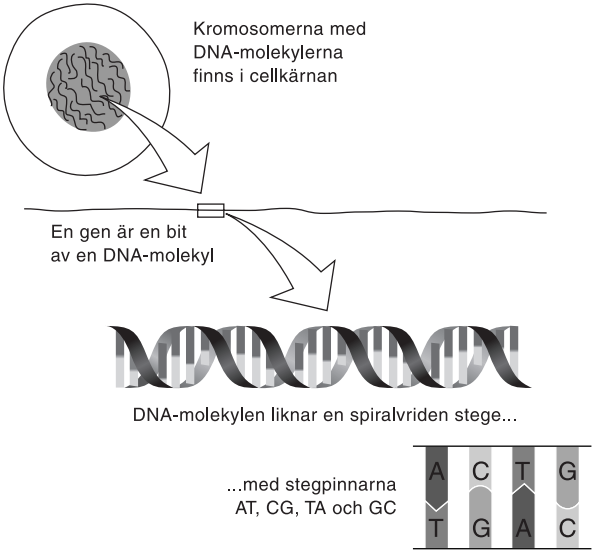
Proteinritningar i generna

Proteinerna slits ut med tiden. De bryts ner, och måste ersättas. Alla levande varelser måste därför kunna tillverka nya proteiner. I varje levande cell finns en samling instruktioner som talar om för cellen hur alla dess livsforms olika proteiner ska se ut. Instruktionerna kallas för arvsanlag eller gener.

Generna är uppbyggda av ett ämne som kallas DNA. Det är ett mycket avlångt ämne. De 46 DNA-kedjor (kromosomer) som finns i var och en av människans

celler är över två meter långa om man lindar upp dem tillsammans. Men varje DNA-kedja är så tunn att man skulle behöva tio miljarder kedjor för att spinna en tråd som är tillräckligt tjock för att kunna urskiljas med blotta ögat.

På sådana DNA-kedjor ligger alltså beskrivningar av olika proteiner. En beskrivning av ett protein utgör en gen. Generna ligger på rad efter varandra på DNA-molekylen, som vagnarna i ett tåg. En DNA-kedja har



A, T, C och G är första bokstäverna i namnen på de mindre molekyler som är ”stegpinnarna” i DNA-molekylen. Varje gen bildas av mellan hundra och en miljon bokstavsmolekyler tillsammans.

fyra olika slags byggstenar som brukar kallas A, T, C och G. Informationen i generna ligger i ordningsföljden hos dessa byggstenar i DNA-kedjan. ATG betyder en sak. CCT betyder något helt annat. Varje triplett av DNA-bokstäver beskriver en särskild del av det protein som genen har ritningen till. Forskarna har sedan länge dechiffrerat genernas språk och kan idag tala om vad varje triplett av DNA-byggstenar betyder.

Genmodifiering – ett mångsidigt verktyg

Under de senaste årtiondena har forskarna lärt sig göra olika saker med DNA i sina laboratorier. De kan klippa DNA-kedjorna i bitar och klistra ihop bitarna i nya kombinationer. De kan läsa vad som står på en DNA-kedja och de kan sätta ihop nya DNA-kedjor med den ordningsföljd av bokstäver de önskar. De kan också föra in nytt DNA i olika levande varelser.

Att föra in nya gener i en levande varelse kallas ofta för att genmodifiera varelsen. Den varelse som fått en ny gen kommer då att börja tillverka det protein som genen beskriver. Till exempel har man satt in människans gen för insulin i en bakterie, och fått fram bakterier som i stora tankar snabbt och billigt tillverkar mänskligt insulin åt diabetiker. En rad läkemedel tillverkas idag på motsvarande sätt av olika genmodifierade bakterier och jästsvampar. Med samma metod bildas de enzymer som finns i många tvättmedel för att bryta ner fetter.

Genmodifiering används inte bara för att tillverka olika proteiner. Tekniken används också för att förändra olika levande varelsers egenskaper. Exempelvis har man i olika växter satt in en bakteriegen som gör att växten innehåller ett protein som är giftigt för vissa insektslarver, som därför lämnar odlingarna ifred.
Forskarna kan inte bara flytta gener mellan olika organismer. De kan också ändra på gener som redan finns där – eller ta bort dem. Till exempel har man ändrat genen för det protein som bryter ner fett i tvättmedel så att det tål höga temperaturer och inte bara fungerar vid fintvätt. Genom att ta bort en gen för ett ämne som retar immunförsvaret har man konstruerat en gris med hjärtan som kan transplanteras till människor.

Så här går det till

Att föra in en ny gen i en bakterie eller en jästcell är lätt. Man klistrar fast den gen man vill föra in på en specialdesignad bärar-DNA-molekyl. Bakterierna får bada i en lösning med bärar-DNA-molekylen. Då kommer en del av bakterierna att ta upp DNA och börja tillverka det protein som genen beskriver.

Att föra in nya gener i växter är svårare. För att göra det använder man antingen en genkanon som skjuter guldkulor täckta med DNA in i växtcellerna. Eller så utnyttjar man en jordbakterie som i årmiljoner har genmodifierat växter för att få dem att tillverka näring åt sig. Forskarna tämjer dessa bakterier och får dem att föra in

den gen de önskar i växtceller. Då man väl fått en genmodifierad växtcell får den bilda en liten cellklump som man häller olika växthormoner på. Dessa får cellklumpen att växa, skjuta skott och bilda rötter, ungefär som när man tar en stickling.

En metod att skapa genmodifierade däggdjur är att spruta in de nya generna i ett nybefruktat ägg. Det befruktade genmodifierade ägget får sedan utvecklas till ett embryo som planteras in i en fostermoder. Där utvecklas det till ett färdigt djur som bär de nya generna i alla sina celler.

Att skapa genmodifierade bakterier, växter och djur tar mellan några dagar och några månader om man redan

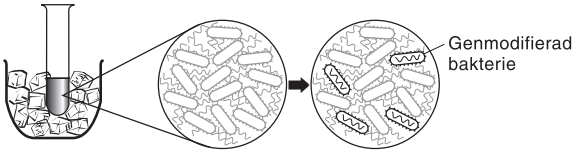
Övre bilden.
Det är inte så svårt att föra in en ny gen i en bakterie. Bakterierna får bada i en lösning där den nya genen finns. En del av bakterierna tar upp genen och börjar tillverka det protein som den beskriver.

Bilden i mitten.
Att föra in en ny gen i en växt är däremot inte så lätt. Det vanligaste sättet är att ta hjälp av en jordbakterie som är skicklig på just detta. Den nya gen som förs in av bakterien hamnar bland växtens egna gener inne i cellkärnan.

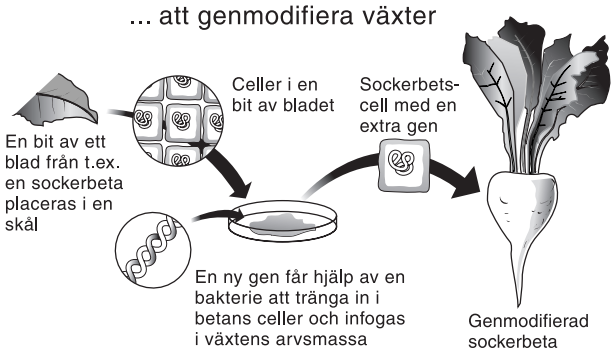
Nedre bilden.
Hos djur kan nya gener föras in i nybefruktade äggceller med hjälp av så kallad mikroinjektion med ett tunt glasrör. Ett annat sätt att genmodifiera djur är att använda så kallad kärnöverföring (bilden sidan 99).

Så här går det till ...

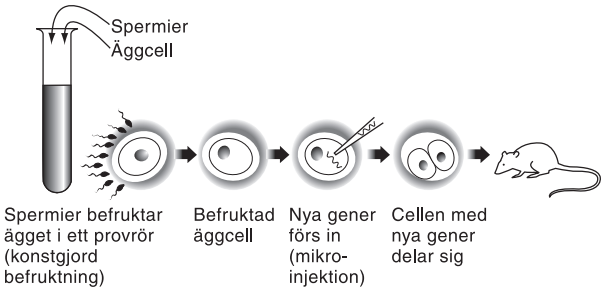
... att genmodifiera bakterier



... att genmodifiera växter



... att genmodifiera hela djur



har den gen man vill föra in. Men det tar ofta många år att utveckla en viss genmodifierad bakterie eller planta. Först går det ofta åt många års intensivt arbete för forskare att hitta den gen som de av olika skäl är intresserade av. Sedan kan det ta många år att få den genen att fungera på just det sätt man vill i den bakterie, jästsvamp eller gröda som man vill genmodifiera.

Under de år dessa metoder har funnits har man använt en rad olika ord för att beskriva dem. Just nu talar forskarna ofta om genmodifiering. Tidigare användes uttrycken genmanipulation och hybrid-DNA-teknik. Genmodifierade organismer förkortas ofta GMO. Ibland kallas de i stället transgena organismer, det vill säga organismer som har fått en gen utifrån.

Naturens urval – och människans

Under hela livets historia har olika livsformers gener ständigt förändrats. Var gång en cell delar sig måste dess arvsanlag kopieras, och mekanismen för att kopiera arvsanlag är aldrig hundraprocentigt korrekt. Därför sker det ständigt små förändringar av generna. Någon gång händer det dessutom att stora bitar av DNA-molekylen kopieras en gång för mycket, så att gener eller hela drösar av gener plötsligt finns i dubbel uppsättning. Det har till och med hänt att gener i naturen har flyttats från en art till en helt annan.

Därför uppkommer i naturen hela tiden individer med nya varianter av gener och nya kombinationer av olika genvarianter. Utan denna förmåga hos arvsanlagen att slumpvis förändras hade livet aldrig utvecklats till den mångfald av livsformer och arter som idag befolkar vår planet. Förändringarna har gjort att olika individer har haft olika kombinationer av genvarianter, och det naturliga urvalet har sett till att de genvarianter som gjort det lättare att få många överlevande avkommor har behållits.

När människan för tiotusen år sedan började bedriva jordbruk kompletterades ”det naturliga” urvalet med ett ”mänskligt” urval. De tidiga jordbrukarna tog frön från vildvete med hög avkastning och sådde dem nära sin bostad. De röjde fält där fröna såddes, och de hjälpte växterna att klara konkurrensen med andra växter genom att rensa ogräs och vattna. Många egenskaper som behövdes för att klara konkurrensen i naturen behövdes inte längre och försvann. För att klara sig gällde det i stället att ha de egenskaper som passade människan.

Människan lärde sig också att korsa växter med olika önskade egenskaper för att få ännu bättre grödor, och på samma sätt att para djur med önskade egenskaper med varandra för att få bättre dragare, mer kött och rikare mjölk. På det här sättet förändrades växterna och djuren dramatiskt. Den kortväxta urfadern till alla dagens nötkretaur omvandlades med tiden till våra rödbrokiga kossor – och till muskelberget ”Belgian blue”. En liten

oansenlig blomma förvandlades till såväl kålrot som brysselkål och blomkål (se sidan 37).

Under 1900-talets gång uppfann människan olika sätt att ytterligare snabba på utvecklingen. För att få växter med nya genvarianter behandlades de med olika kemikalier som orsakar slumpvisa förändringar av generna, så kallade mutationer. Med konstgjord insemination kunde populära avelstjurar bli pappor till många fler kalvar än tidigare. I somliga länder, dock inte i Sverige, skapas många kalvar genom att man tar ägg från populära avelskor, gör konstgjord befruktning och planterar in embryona i fostermödrar.

Växtförädling och kreatursavel har dock haft en begränsning. Man har bara kunnat kombinera gener med varandra som redan från början funnits i en gröda eller ett husdjur, eller i någon vild släkting till dem. Människan har inte kunnat föra gener över artgränserna. Men gentekniken har nu gett oss möjligheten att göra även detta. Därmed har vi kunnat göra saker som förut varit otänkbara: bakterier som tillverkar mänskligt tillväxthormon åt dvärgväxta, potatis med fullvärdiga proteiner, får med medicin mot ärftliga sjukdomar i mjölken, och så vidare.

Främmande gener i allt vi äter

Gentekniken är ny. Genmodifierade växter och djur har bara funnits på åkrar och ängar i ett drygt årtionde.

Tekniken väcker många förhoppningar. Kanske kan den bidra till att lösa en rad stora och små problem. Men den reser också många frågor och invändningar. Kan tekniken vara farlig för människa eller miljö? Och vem kommer egentligen att dra nytta av teknikens fördelar?

Innan andra författare går in på att diskutera fördelar och risker med olika konkreta tillämpningar av gentekniken ska jag här diskutera frågan om själva genmodifieringen i sig själv kan göra växter eller djur farliga att äta för människan.

För det första ska vi då tänka på att allt vi äter innehåller gener som är främmande för oss själva. Så länge vi inte äter sten och grus innehåller varje tugga mat miltals med främmande DNA – DNA från morötter, potatis, nötkreatur, lax, lök och så vidare. Sådant främmande DNA har tillsammans med DNA från hundratals olika bakteriearter under hela människans historia passerat genom våra tarmar utan att det ställt till med några problem. Främmande DNA är alltså i sig fullständigt ofarligt. Detta förändras inte ifall en liten bit av DNA i potatisen vi äter ursprungligen skulle komma från någon annan art.

Däremot diskuteras livligt frågan ifall det kan uppstå problem när de nya generna slår sig ner i en växt eller ett djur. Kanske den nya genen slår ut en gen som redan sitter där. Kanske den nya genen hamnar så olyckligt att den slår på användningen av en annan gen intill,

vilket kanske kan leda till att växten eller djuret tillverkar ett ämne som kan vara allergiframkallande eller rent av giftigt.

När man frågar forskare är alla ense om att sådana risker kan finnas. Men riskerna är inte unika för gentekniken. Precis samma risker finns när man i klassisk växtförädling bombarderar växter med kemikalier för att få många slumpvisa mutationer. Förutom den mutation man önskade får växterna mängder med andra mutationer som man inte har en aning om var de befinner sig. Det är alltså minst lika stor risk att en gröda blir giftig eller allergiframkallande med klassisk växtförädling som med genteknik.

Slutsatsen måste därför bli att genteknik i sig inte gör att risken ökar för att maten ska bli farlig att äta. Det betyder inte att det saknas risker med genteknik. Men dessa risker är inte generella; de beror inte på gentekniken i sig. De är i stället specifika. De beror på vad som konkret kan hända när en viss gen förs in i en speciell bakterie, en bestämd gröda eller ett visst djur.

Henrik Brändén är filosofie licentiat. Han skriver, undervisar och fortbildar lärare kring modern bioteknik.

Genmodifierade växter kan lösa många problem

Genetisk modifierade grödor kommer inte att lösa alla världsproblem, och den klassiska växtförädlingen kommer att stå i centrum även i fortsättningen. Men rätt använd kan gentekniken ge ett viktigt bidrag till världens livsmedelsförsörjning och till minskad miljöbelastning, skriver Marie Nyman på Sveriges lantbruksuniversitet. Hon är kritisk till det massiva motstånd mot GMO som finns inom den västerländska miljörörelsen.

Marie Nyman

Det är fascinerande att tänka sig att genetiskt sett är allt liv på jorden uppbyggt på precis samma sätt. Katten i ditt knä, maskrosen i din gräsmatta, bakterierna i din mage och du själv ”talar” samma genetiska språk. Ett befruktat människoägg eller ett litet vallmofrö ser inte mycket ut för världen, men det innehåller all information, det vill säga alla gener, som behövs för att skapa en ny organism.

Ända sedan vi människor började bruka jorden för bortåt 10 000 år sedan har vi sysslat med olika former av genetisk förädling. Inga av våra odlade grödor är naturliga arter, utan resultatet av ett långt arbete med att kombinera och förändra olika gener för bland annat smak, hög avkastning och motståndskraft mot sjukdomar.

Traditionell växtförädling …

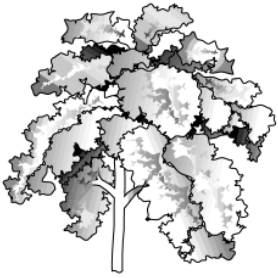
Det man gjorde för tusentals år sedan var att välja avvikande plantor med bra egenskaper. Dessa plantor hade uppstått via spontana mutationer, det vill säga förändringar i DNA-molekylen. Men spontana mutationer som ur människans perspektiv ger plantan ett mervärde är relativt ovanliga. På 1930-talet började man därför öka antalet mutationer genom att utsätta i första hand frön för strålning eller kemikalier. Det som hände var att man slumpmässigt stuvade om bland de kemiska bokstäverna, och hoppades att någon av alla de muta-

Brassica oleracea – en art med många variationer: vitkål, grönkål, brysselkål, blomkål och kålrabbi. Tro det eller ej, men alla hör de till samma art som vildkålen uppe till vänster.

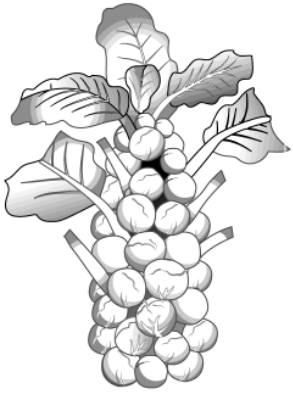
Kålsorter

Vildkål

Vitkål

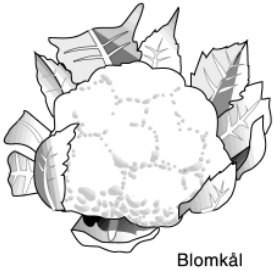


Grönkål



Brysselkål

Kålrabbi



Blomkål

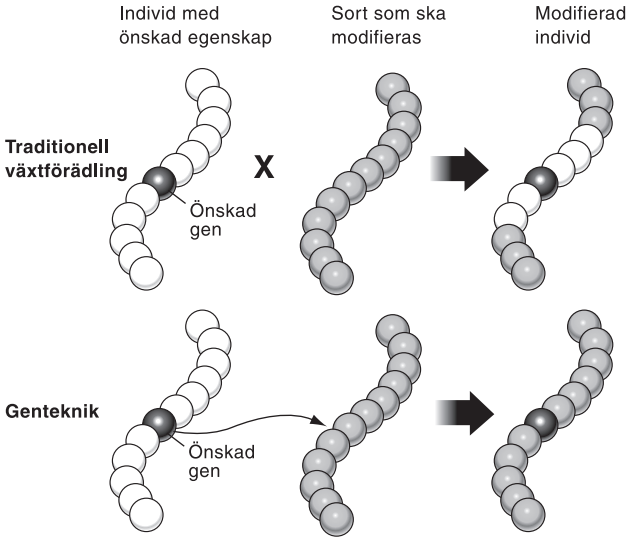
tioner som uppstod skulle vara till fromma för människan. Ett par årtionden senare lärde sig växtförädlarna att på konstgjord väg fördubbla antalet kromosomer i olika grödor. Det ledde till att många av våra kulturväxter blev större och växte snabbare.

Ett exempel på hur man genom traditionell förädling har förändrat en art dramatiskt är de olika kålsorterna. Den ursprungliga vildkålen är en relativt oansenlig växt utan något som helst odlingsvärde. Men till samma art (*Brassica oleracea*) hör även vitkål, brysselkål, kålrabbi, blomkål och grönkål. Genom successiv förädling har man fått fram så många olika varianter att det är svårt att tro att det är samma art, men alla dessa kålsorter har sitt ursprung i den vilda kålen.

… och modern genteknik

Inom den klassiska växtförädlingen är man hänvisad till den genetiska variation som finns inom arten eller hos närbesläktade arter och till de genvarianter som uppstått via mutationsförädling. Till skillnad från det kan man med hjälp av modern genteknik i princip använda genetiskt material från vilken levande organism som helst.

En annan viktig skillnad mellan klassisk förädling och genteknik är att man med den moderna tekniken har möjlighet att överföra en speciell gen, och inget annat än den. Vid sexuell korsning blandas det genetiska materialet från föräldrarna, och även oönskade egenskaper

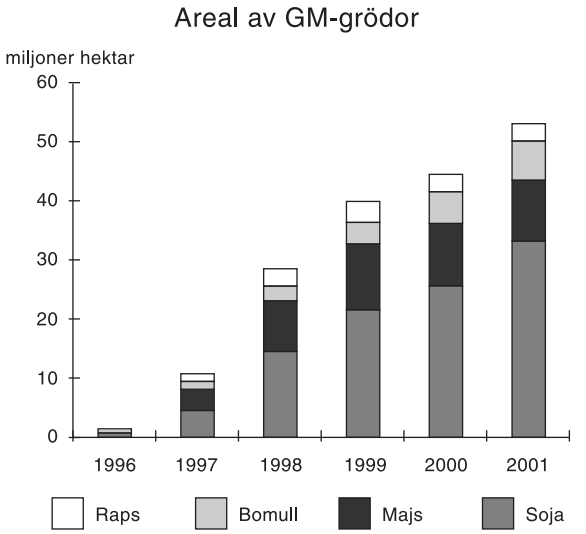


Vid traditionell växtförädling korsas en individ som har en önskad gen med den sort som ska modifieras (övre bilden). Då överförs fler gener än dem man vill ha, och därmed också fler egenskaper. Med genteknik gör man ingen korsning utan en direkt överföring av den gen man vill ha – och inget annat.

kan dyka upp i avkomman. Skillnaden mellan genteknik och den klassiska mutationsförädlingen är att det vid bestrålning uppstår en mängd slumpmässiga mutationer som i de flesta fall är negativa. Med genteknik tillför man organismen en specifik gen, som man på förhand vet vilket protein den producerar och därmed vilken egenskap den styr.

GM-grödor på fyra procent av arealen

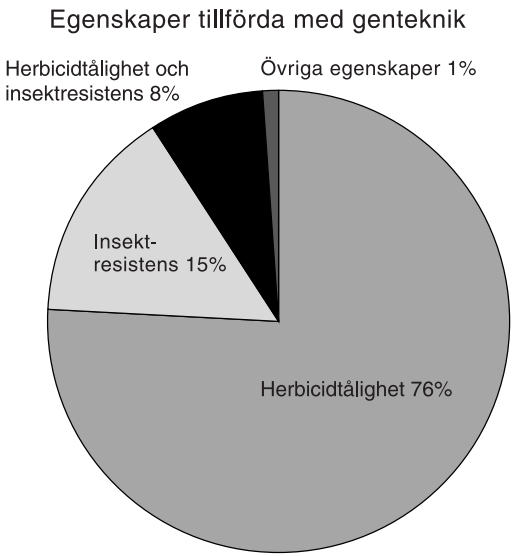
År 2002 odlades 58,7 miljoner hektar med genmodifierade grödor, en areal som motsvarar cirka fyra procent av den odlingsbara ytan i världen. Globalt är den största GM-grödan sojaböna, följt av majs, bomull och raps. Fyra odlarländer dominerar: USA, Kanada, Argentina och Kina, som i dagsläget står för 99 procent av den odlade arealen av GM-grödor i världen. Inom EU odlas små arealer av GM-majs i Spanien och Tyskland.



Sedan introduktionen 1996 har arealen GM-grödor årligen ökat fram till år 2001. Efter det har ökningstakten stagnerat. Det beror framför allt på ekonomiska problem på världsmarknaden, eftersom Europa och i viss utsträckning Asien inte köper GM-grödor och GM-produkter.

I Sverige finns år 2003 inga kommersiella odlingar av genmodifierade grödor, men en rad grödor har odlats i fältförsök, bland annat raps som tål ogräsbekämpningsmedel och potatis med förändrat stärkelseinnehåll. Inom EU är 14 genmodifierade grödor godkända för odling, och därmed även godkända i Sverige.

De genmodifierade grödor som odlas idag har nästan uteslutande tillförts rent odlingstekniska egenskaper, och



Herbicidtålighet är den vanligaste egenskapen som förts in i växter med hjälp av genteknik. Andra egenskaper än herbicidtålighet och insektresistens har förts in i mycket liten utsträckning.

det har i stort sett bara handlat om två typer av egenskaper, nämligen tålighet mot ogräsbekämpningsmedel (herbicider) och resistens (motståndskraft) mot insekter. Herbicidtåliga grödor står för hela 76 procent av den odlade arealen, följt av insektresistens (15 procent) och grödor med en kombination av de båda egenskaperna (8 procent). Alla övriga egenskaper står tillsammans för bara någon procent.

Herbicidtåliga grödor bra för miljön

Herbicider är skadliga inte bara för ogräset utan också för den gröda man odlar. Med hjälp av genteknik har man förädlat fram grödor som har inbyggd tålighet mot vissa typer av herbicider. Sådan tålighet har hittills överförts för glyfosat (till exempel Roundup) och glufosinat (Basta). Exempel på grödor som har fått en gen för herbicidtålighet är sojaböna, raps, sockerbeta och bomull.

Herbicidtåligheten betyder att man kan bekämpa ogräsen i växande gröda och att man kan använda en i sammanhanget miljövänlig herbicid med låg giftighet för människor och djur och relativt snabb nedbrytning. Möjligheten att bekämpa ogräsen i samband med sådd gör höstplöjningen onödig. Studier har visat att detta i sin tur leder till att kväveläckaget från åkrarna minskar och att jorderosionen minskar eftersom växternas rötter binder jorden. Dessutom minskar drivmedelsåtgången, och därmed växthusgaserna. Man får minskad jordpackning, och de nyttiga daggmaskarna

får vara ifred. Ett flertal studier har även visat att denna strategi leder till minskad herbicidanvändning.

Insektresistens ersätter bekämpningsmedel

Insekternas härjningar i jordbruket orsakar stora skördeförluster, och utan de stora mängder kemiska bekämpningsmedel som används skulle förlusterna vara närmast katastrofala i de tropiska och subtropiska områdena i världen. Bekämpningsmedlen är inte bara skadliga för naturen. För de bönder som inte har tillgång till modern spridningsteknik utan sköter besprutningen för hand är avvändningen av bekämpningsmedel dessutom en stor hälsorisk.

I naturen finns en guldgruva av försvarsmekanismer mot diverse skadegörare. Problemet är att dessa mekanismer inte alltid finns hos arter som går att korsa med våra jordbruksgrödor. Som tidigare nämnts innebär genteknik att man kan föra över egenskaper mellan helt obesläktade arter. Ett exempel på hur man har fört över en försvarsmekanism från en bakterie till växter är de så kallade Bt-grödorna. *Bacillus thuringensis* (Bt) är en bakterie som producerar protein som är giftiga för vissa insektsarter, men inte för andra djur eller för människor. Olika varianter av bakterien producerar olika typer av gifter, och vart och ett är skadligt för en specifik typ av insektslarv, till exempel larver av fjärilar, flugor, myggor eller vissa skalbaggar. Bakterierna har använts som biologiskt bekämpningsmedel ändå sedan 1950-talet genom att

man odlat dem i stora tankar och därefter spridit dem, levande eller avdödade, på fälten. Metoden är mycket populär bland ekologiska odlare och har även använts i Sverige för att bekämpa myggor. Det nya är att man med hjälp av genteknik har tillfört en eller flera av de gener som producerar insektsgift till en mängd olika grödor, en utveckling som de ekologiska odlarna motsätter sig. De genmodifierade grödorna (Bt-grödorna) producerar sitt eget bekämpningsmedel och har därmed fått ett inbyggt försvar mot angriparna. Användandet av Bt-bomull har lett till att man har kunnat minska mängden kemiska bekämpningsmedel med i vissa fall upp till 80 procent.

Vissa sjukdomsframkallande svampar som angriper grödan kan bilda gifter (mykotoxiner) som skapar stora problem för livsmedels- och foderindustrin. Den insektresistenta majsen har visat sig innehålla väsentligt lägre halter av dessa svampgifter. Majsens försvarsmekanism hindrar insekterna från att borra sig in i plantan, och det minskar mängden ingångshål för svampen. Det leder i sin tur till minskade svampangrepp och därmed mindre av de gifter som svampen producerar.

Fiskfettsyror i raps?

Hittills har odlingstekniska egenskaper dominerat fullständigt, men samtidigt pågår forskning kring grödornas kvalitetsegenskaper. Man arbetar bland annat med att förändra fettsyresammansättningen så att den blir hälso-

sammare, höja proteinkvaliteten och tillföra vitaminer och mineralämnen som saknas i grödan.

I de flesta industriländer är kosten fattig på vissa typer av fettsyror. Det gäller framför allt så kallade omega 3-fettsyror; det är fleromättade fettsyror som anses förebygga hjärt- och kärlsjukdomar och som främst finns i fisk. Forskning pågår för närvarande där man försöker överföra de gener som styr bildandet av omega 3-fettsyror till raps.

Det gyllene riset

Brist på vitamin A och järn orsakar stora hälsoproblem framför allt i de länder där ris är den huvudsakliga födan. Varje år blir hundratusentals barn blinda på grund av brist på vitamin A, och brist på järn i födan leder till blodbrist som i sin tur leder till ökad dödlighet bland barn och mödrar. Järnbrist påverkar även kroppstillväxten och den mentala och motoriska utvecklingen hos barn. En ensidig risdiet leder också till brist på vissa aminosyror som är byggstenarna i proteiner.

Karotenoider är ämnen som i kroppen omvandlas till vitamin A. De finns naturligt i ris, men bara i de gröna delarna och inte i de korn man äter. Morötter innehåller mycket karotenoider, så det är inte för intet man brukar säga att morötter är bra för synen. En grupp forskare i Zürich har med hjälp av genteknik framställt ett ris som producerar en typ av karotenoid som kallas beta-

karoten. Detta har varit möjligt genom att man isolerat och fört in gener från bland annat narciss i risets arvsmassa. Riskornen blir liksom moroten och narcissen gula, därav namnet ”det gyllene riset”. Försök pågår för närvarande där man korsar in det gyllene riset i lokalt anpassade rissorter. Samma forskargrupp arbetar även med att höja halten av tillgängligt järn och att öka mängden av de aminosyror som skulle kunna göra riset till en fullvärdig proteinkälla.

GM-växter blir industriråvaror

Det finns även en mängd potentiella användningsområden för genmodifierade grödor inom industrin. I stället för att bränna upp jordbruksöverskottet eller låta jorden ligga i träda skulle man kunna använda delar av åkerarealen till att producera skräddarsydda produkter för industrin. Här är det främst växternas innehåll av oljor, fetter och stärkelse som är av intresse. Att i framtiden kunna använda solens energi och växternas fantastiska fotosyntesapparat för att framställa biologiskt nedbrytbara plaster eller oljor och fetter som annars framställs ur jordens sinande oljeresurser är en ur miljöhänseende mycket lockande idé.

Vegetabiliska oljor används redan idag som råmaterial till industriella produkter, men fettsyresammansättningen är långt ifrån den bästa. Det gör att produkter baserade på mineralolja i många fall är betydligt bättre och framför allt billigare att framställa. Flera hundra olika

fettsyror har identifierats inom växtriket och många av dessa skulle kunna ersätta mineraloljan om de kunde framställas i stora kvantiteter till ett överkomligt pris. Stora insatser görs idag för att isolera de gener som är inblandade i bildandet av de olika fettsyrorna. Målet är att med hjälp av genteknik skräddarsy våra oljeväxter för olika industriella ändamål.

Stärkelse är en annan råvara som kan komma att få ökad användning inom industrin. Stärkelse består av två typer av långa molekyler som båda är uppbyggda av glukos (druvsocker). Den ena, amylopektin, är starkt förgrenad, medan den andra typen, amylos, är mer linjär. För vissa ändamål, till exempel bestrykning av papper, vill man ha ren amylopektin, medan den ogrenade amylosen är en utmärkt råvara för plasttillverkning. Svenska forskare har tillsammans med Svalöf Weibull AB med hjälp av genteknik förädlat fram dels en amylosfri potatissort, dels en potatis med högt amylosinnehåll. I stället för att framställa plaster ur mineralolja skulle man med andra ord kunna framställa den ur genmodifierad potatis. Det intressanta med denna typ av plast är att råvaran är förnybar och att den lätt bryts ner i naturen.

Med hjälp av genmodifierade bakterier och jästceller framställs idag en rad läkemedel, bland annat penicillin och insulin. Växter av olika slag har sedan urminnes tider varit en källa till läkemedel, och forskning pågår för närvarande där målet är att använda genmodifierade

växter som läkemedelsfabriker. Under senare år har man även avlat fram genmodifierade däggdjur som producerar läkemedel i mjölken.

Motstånd till nackdel för tredje världen

I Europa är många fortsatt skeptiska till användningen av genetiskt modifierade grödor och menar att vi inte behöver den nya tekniken. Men vi borde lyfta våra blickar och se oss omkring i världen. Visst har den svenske bonden problem med väder och vind, insekter med mera, och för den enskilde villaägaren är det naturligtvis en smärre katastrof när mördarsnigeln invaderar trädgårdslandet. Men låt oss sätta det hela i ett lite större perspektiv. De ovan nämnda skördeförlusterna innebär ingen katastrof i egentlig mening; vi producerar ändå ett överflöd av mat. För en fattig bonde i tredje världen däremot kan en förlorad skörd innebära svält. Allvarliga bristsjukdomar till följd av en alltför ensidig kost är inte heller något vi i västvärlden drabbas av.

Det gyllene riset har stor potential att lösa ett allvarligt folkhälsoproblem, och de insektresistenta grödorna har visat sig ge högre och säkrare skördar. Vidare har studier visat att man genom att odla insektresistenta grödor har kunnat minska användningen av kemiska bekämpningsmedel kraftigt. Vi kan inte bortse från att jordbruket i sig innebär en kraftig påverkan på ekosystemen, men om vi kan minimera miljöbelastningen genom att till exempel odla insektresistenta grödor är mycket vunnet.

Trots de uppenbara fördelarna finns ett massivt motstånd mot den fortsatta utvecklingen av GMO, inte minst bland de västerländska miljöorganisationerna. Men det är inte de möjligheter vi i Europa går miste om ifall vi säger nej till GMO som är det största bekymret. Problemet är att det europeiska motståndet även får konsekvenser för utvecklingsländerna. Om vi i Europa säger nej signalerar vi till omvärlden att detta är farligt. Det innebär också att utvecklingsländernas exportmöjligheter till den europeiska marknaden påverkas negativt. Om de europeiska konsumenterna vägrar köpa jordbruksprodukter från utvecklingsländer av rädsla för GMO kan detta få negativa konsekvenser för de fattiga ländernas redan hårt trängda ekonomi.

Genetiskt modifierade grödor kommer naturligtvis inte att lösa alla världsproblem, och den klassiska växtförädlingen kommer även fortsättningsvis att stå i centrum. Men rätt använd, där hänsyn tas till typ av gröda, tillförd gen och omgivande miljö, kan gentekniken ge sitt bidrag till världens livsmedelsförsörjning och till minskad miljöbelastning.

Marie Nyman arbetar som forskare och lärare i genetik och växtförädling vid Institutionen för växtbiologi och skogsgenetik, Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala.

Är vi redo för GM-grödor på åkrarna?

Odling av genmodifierade grödor är på väg – även i Europa, tror Håkan Fogelfors och Margareta Hansson på Sveriges lantbruksuniversitet. Fördelarna kommer i många fall att bli så stora att vi får svårt att avstå från dem. Men det gäller att bedöma både risk och nytta innan vi tillåter kommersiell odling. Målet måste vara ett uthålligt lantbruk. Bland problemen finns minskad biologisk mångfald, risker med genflöden mellan arter och svårigheter när GM-grödorna ska samexistera med andra grödor. Det krävs en genomtänkt odlingsstrategi, och en sådan saknas i dag, skriver de båda forskarna.

Margareta Hansson

Håkan Fogelfors

Kommersiell odlig av GM-grödor kommer förr eller senare till Europa, eftersom förädlingstekniken erbjuder stora möjligheter att på ett mer precist sätt förändra en grödas egenskaper till gagn för såväl miljö som odlare och konsumenter. Utmaningen blir att göra en bedömning av både risk och nytta från fall till fall. Det gäller särskilt grödor som raps och majs samt fröproduktion av vallgräs och klöver.

Det måste upprättas ett väl genomtänkt regelverk kring odlingsåtgärder, ansvarsfrågor och samexistens med annan odling innan kommersiell odling kan tillåtas, och detta måste ske på både nationell och internationell nivå.

Herbicidtålighet kan ge mera ogräsmedel

Grödor som är tåliga mot herbicider (ogräsmedel) kan ge flera fördelar, till exempel bättre effekt på ogräsen med färre bekämpningar och minskat behov av jordbearbetning. Det senare gör att det går åt mindre drivmedel och att det blir mindre jordpackning. Men det finns också risker. Exempelvis påverkas ogräsfloran både till mängd och artrikedom så att den biologiska mångfalden minskar. Detta påverkar bland annat tillgången på föda för vissa fågelarter.

Herbicidtåliga grödor kan medföra att en viss herbicid återkommer oftare i växtföljden än vad som annars skulle vara fallet, något som bäddar för tålighet mot herbiciden även hos ogräsen. Inom alla ogräspopulationer finns

nämligen nästan alltid en större eller mindre variation i känslighet. Använder vi en viss herbicid alltför ofta och ensidigt blir till slut bara de tuffaste individerna kvar på fältet. För att motverka detta behövs ett genomtänkt program för herbicidanvändningen. En annan risk är att genen för herbicidtålighet hos GM-grödan kan spridas till ogräs som är närbesläktade med grödan; många av våra mest odlade kulturväxter som raps, havre, betor och vallgräs har vilda släktingar som uppträder som ogräs. Sådan spridning av tåligheten kan leda till en mer svårbekämpad ogräsflora som kräver mer herbicider på sikt. Det kan också komma upp spillplantor av GM-gröda i efterföljande grödor, och även detta kan leda till ökad herbicidanvändning för bekämpning av spillplantorna.

Bilden är inte entydig när det gäller mängden herbicider som används i herbicidtåliga grödor jämfört med vanliga grödor. Den mest genomgripande studien av vanlig soja och herbicidtålig soja visar att användningen minskar med i genomsnitt tio procent med den tåliga sorten. Men skillnaderna är stora beroende på vilka grödor som har odlats åren före. Miljöfaktorer har också betydelse, till exempel jordart och klimat som på olika sätt påverkar ogräsfloran.

Herbicidtålig raps odlas mest i Kanada där den står för över 80 procent av den totala rapsarealen. Herbicidanvändningen har varit oförändrad eller minskat något.

På vissa håll i Nordamerika kan man se att det behövs mer herbicider när herbicidtåliga grödor introduceras, på grund av förändrad ogräsflora och spillplantor i den nya grödan.

En gröda som kan vara aktuell för svenska förhållanden är herbicidtåliga sockerbetor. Grödan odlas ännu inte kommersiellt; därför kommer de tillgängliga resultaten från försöksodlingar. Sockerbetor är en konkurrenssvag gröda gentemot ogräs, och dessa bekämpas därför intensivt. Upp till fyra behandlingar med olika herbicider är ofta nödvändigt. Antalet bekämpningar kan minskas till två vid odling av herbicidtåliga sorter. Resultat från Storbritannien och Danmark pekar på att relativt stora vinster för odlaren är möjliga på grund av bland annat minskade kostnader för herbicider. Odling av herbicidtåliga sockerbetor kan medföra att näringen som är hårt trängd från sockerrörsodlande länder kan få en möjlighet att överleva i Europa.

Mindre kemisk bekämpning med Bt-grödor

Marie Nyman beskriver i sitt kapitel hur grödor kan göras resistenta mot insekter med hjälp av *Bacillus thuringensis*; de blir då så kallade Bt-grödor. Till fördelarna med insektresistenta grödor hör att behovet av kemisk bekämpning av både svampar och insekter minskar. Minskad besprutning ger något lägre drivmedelsförbrukning och mindre jordpackning samt bättre arbetsmiljö för lantbrukaren. Till fördelarna hör också

att den biologiska mångfalden ökar genom större skonsamhet mot andra organismer än dem man vill bekämpa, till exempel nyttoinsekter.

Till nackdelarna med Bt-grödorna hör att det finns risk för att de insekter man vill bekämpa blir resistenta mot Bt-mekanismen. I USA finns det reglerat i lag att om en odlare vill odla till exempel Bt-majs ska 20 procent av den totala majsarealen vara konventionell majs. På så sätt minskar man genom utspädning risken för att en resistensgen ska komma till uttryck hos insekterna. Ännu har man dock inte i fält kunnat hitta någon resistent fjäril, trots att det relativt lätt kan framkallas i laboratorium.

När det gäller insektsmedel visar ett stort antal undersökningar att användningen minskar vid odling av Bt-grödor. De flesta rapporterar också att antalet bekämpningar i en Bt- gröda minskar. Detta är tydligast i Bt-bomull, medan reduktionen inte alls är lika stor i Bt-majs.

Trycket av ogräs och skadegörare avgör skördevinst

Nu när GM-grödorna har odlats några år kan vi dra slutsatser om avkastningsnivåerna. Ett genomgående intryck är att skördarna inte har ökat, med undantag för en liten ökning av skördarna av Bt-majs. Förhoppningarna om skördeökningar har alltså inte infriats, men variationen i avkastningssiffrorna är stora. Lägre odlings-

omkostnader förväntades också ge bättre ekonomi för odlaren, en förhoppning som inte heller har infriats eftersom utsädeskostnader har ökat och priserna på GM-grödorna har sjunkit.

I en stor undersökning som jämfört avkastningen av Bt-majs med konventionell majs ligger skördeutfallet för Bt-majsen på mellan minus 5 procent och plus 30 procent av skördeutfallet för den konventionella majsen. Förklaringen till de stora skillnaderna är enkel. För Bt-majs är skadeinsekten en fjäril, nämligen majsmottet. Stora angrepp uppträder med ungefär 3–4 års mellanrum och går inte att förutsäga. Vinsten med den resistenta grödan inträffar alltså bara de år man har angrepp av fjärilen.

När det gäller herbicidtåliga grödor beror vinsterna på det aktuella ogrästrycket i fältet. Det kan alltså vara vanskligt med stora undersökningar där medelvärden redovisas per region. En stor vetenskaplig studie har gjorts där herbicidtålig soja har jämförts med sin modersort (den sort som har använts för att sätta in genen för herbicidtålighet) och med de vanligaste konventionella högavkastande sorterna. Resultaten visar att GM-sorten avkastar 6 procent lägre än modersorten och 10 procent lägre än den högavkastande sorten. Man kan dra slutsatserna att det innebär en viss kostnad för plantan att vara herbicidtålig, att resurser som används för tåligheten inte kan användas för tillväxt och att det inte är de mest högavkastande sorterna som har gjorts herbicidtåliga.

De slutsatser vi dragit av litteraturen är att skördevinster finns att göra med GM-sorter när trycket av skadegörare eller ogräs är så högt att bekämpning är motiverad, men inte annars. Det är ett konstaterande som varken är förvånande eller kontroversiellt.

Risker med gener som flödar

En av de mest debatterade riskerna är att tålighetsgener ska flöda över via pollen till arter som är närbesläktade med GM-grödan. En överföring av en gen för herbicidtålighet till ett ogräs skulle kunna ge ett ”superogräs”. Raps har relativt många släktingar som den kan korsas med, men korsningsfrekvensen har visat sig vara låg. Utanför åkern har en eventuell hybrid (korsning) inte någon fördel. Av vad som hittills kommit fram kan man sluta sig till att problem som beror på inkorsning av tålighetsgen från raps till en annan art kommer att vara små. Däremot är situationen annorlunda när det gäller sockerbeta och majs, eftersom dessa arter är förädlingsprodukter av respektive vilda släkting och därmed av samma art. Risken för genflöden blir därmed större.

En svårhanterlig situation är pollenflöde mellan en GM-gröda och samma icke genmodifierade gröda. Samma sak gäller också överföring mellan GM-grödor för olika ändamål, till exempel livsmedelsgrödor och industrigrödor. Pollen kan färdas flera kilometer, och även om man inför säkerhetsavstånd finns det inga definitiva

garantier för en icke genmodifierad gröda. Risken att GM-genen sprids i den tidigare icke genmodifierade grödan är naturligtvis störst för korspollinerande arter där befruktningen sker mellan olika individer.

Kan GM-odling samexistera med annan odling?

Erfarenheter från Nordamerika väcker frågan om eller hur det är möjligt för GM-odling att samexistera med andra produktionsformer, till exempel ekologiskt lantbruk. På den frågan svarar vi att det beror på. GM-tekniken får inte uppfattas som något som är reserverat för det konventionella högteknologiska jordbruket. Tekniken bör i framtiden även kunna användas inom andra produktionsformer, till exempel ekologiskt lantbruk. Det bör vara de specifika egenskaperna hos GM-grödorna som i första hand avgör, inte produktionsformen som sådan. Grödor som till exempel minskar olika typer av miljöbelastning och således bidrar till ett uthålligare jordbruk bör vara intressanta för alla typer av odling.

Varför tar då det ekologiska lantbruket idag så klart avstånd från GM-grödor? GM-tekniken kopplas ihop med storskaliga lösningar för resursstarka marknader, medan ekolantbruket traditionellt har stått för småskalighet med lokal anpassning Det innebär att GM-grödor måste odlas över stora arealer, och lokalt anpassade sorter med värdefulla egenskaper för framtida växtförädling slås ut. Vi kanske får en eller två höstvete-

sorter från Nordfrankrike ända till Mellansverige. Vid ett sjukdomsangrepp saknas då inslag av resistenta sorter (genetiska barriärer), och det kan ske en snabb spridning som kan ge stora socioekonomiska konsekvenser för lantbruket. Det saknas med andra ord genetiskt modifierade sorter som passar för ekologisk odling. Som direkt oacceptabelt ses också det faktum att GM-grödor i många fall kan sprida de införda generna med sitt pollen, så att de nya egenskaperna korsas in i ekoodlingar och lokala sorter. Om GM-grödorna i framtiden utvecklas mot en mångfald av lokalt anpassade sorter som till exempel är resistenta mot svampar och insekter, kan det som ekoodlare bli svårare att säga nej till GMO.

Under alla förhållanden krävs det ett väl underbyggt regelverk för odlingen, något som saknades vid introduktionen i USA och Kanada. Detta har i vissa regioner lett till inblandning av GM-grödor med stora biologiska, ekonomiska och juridiska konsekvenser som är oacceptabla ur ett europeiskt perspektiv. Inblandning kan ske för det första vid utsädesproduktionen (rent utsäde måste under alla förhållanden säkerställas, oavsett produktionsformen), för det andra vid odlingen av grödan (inkorsning, spillplantor, maskiner), för det tredje vid transport och lagring, samt för det fjärde i processindustrin. En viktig faktor i sammanhanget är också frönas livslängd i marken. Frön av exempelvis raps och klöver kan förbli livskraftiga under 20–40 år medan andra arters frön inte alls kan överleva i marken.

Vid krav på ett gränsvärde på 0,1 procent inblandning av GM-gröda (detektionsgränsen idag) är följaktligen samexistens i praktiken omöjligt. Ett land eller en region måste då välja ett jordbruk med eller utan GM-grödor, vilket kommer i konflikt med ”odlarens fria val”! Men EU:s beslut om 0,9 procent kan öppna möjligheter. Datasimuleringar visar att skyddszonerna mellan grödorna då behöver vara av storleksordningen 0–200 meter beroende på gröda.

Hur relevanta är då dessa avstånd i en fältsituation? Hur inverkar landskapets struktur, häckar, grannsamverkan, sortegenskaper som tidpunkt för blomning, och så vidare? Är en säkerhetskoefficient på till exempel tio användbar för de teoretiskt beräknade avstånden – en variant på den i andra sammanhang använda försiktighetsprincipen när det inte finns mycket utrymme för misstag? Kontrollsystemet kommer att bli dyrt och vem ska betala – fröfirmorna eller konsumenterna?

Är vi redo för odling?

Har vi utnyttjat tiden under de sju–åtta år som GM-grödor har funnits på marknaden i exempelvis Nordamerika så att vi kan göra det bästa av de möjligheter som öppnar sig? Tyvärr måste vi konstatera att inte mycket har hänt kring själva odlingen. Det har inte gjorts särskilt många risk- och nyttoanalyser som har resulterat i nya odlingsstrategier. Det beror dels på att odlingsmaterial inte alltid ställs till förfogande för

oberoende forskning, dels på en ensidig satsning av forskningsmedel på den mer glamorösa laborativa ”vita” biologin till skillnad från den ”gröna”, det vill säga själva odlingen.

Här möts man inte så sällan av aningslöshet. ”Odlat har vi gjort i tusentals år – så det kan vi ju!” Men nu är det fråga om att på ett ansvarsfullt sätt föra in en helt ny typ av gröda i svensk växtodling. Om vi ska kunna utnyttja den nya tekniken på ett intelligent sätt och undgå att upprepa andras misstag krävs det att nya odlingsstrategier tas fram som tar sin utgångspunkt i våra egna förhållanden och önskemål innan en kommersiell odling tillåts!

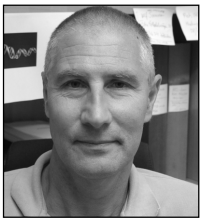
Effekterna av genteknik i odlingen beror på hur tekniken tillämpas, i vilket jordbrukssystem den införs och hur den omgivande miljön ser ut. Ett underlag för att bedöma dessa effekter för svensk del saknas till stor del idag; erfarenheter från andra länder är ofta bara delvis överförbara till våra förhållanden. Dagens situation i Nordamerika visar på frågans allvar. Ska vi kanske i stället ta chansen att utforma ett exportinriktat miljö- och naturresurseffektivt jordbruk fritt från GM-grödor med avstamp i till exempel dagens ekologiska lantbruk? Nu har vi tillfället att tillsammans aktivt utforma något, med eller utan GM-grödor, något som kan bli unikt för Sverige, innan de kortsiktiga ekonomiska krafterna har gjort vägvalet åt oss.

Håkan Fogelfors är statsagronom i ogräsens biologi och reglering samt docent i jordbruksekologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Sedan 1970-talet är han engagerad i lantbrukets natur- och miljöfrågor.

Margareta Hansson är docent i växtodlingslära på Institutionen för ekologi och växtproduktionslära vid Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Hon är just nu involverad i ett risk/nytta-projekt om odling av herbicid-resistenta grödor.

Vi måste våga försöka – för matförsörjningens skull

GM-grödorna behövs i den globala livsmedelsförsörjningen. Därför har vi inte råd att inte våga försöka, skriver Carl-Gustaf Thornström som är forskare och rådgivare i genpolitiska frågor. Vi behöver en mer saklig samhällsdebatt som också tar upp maktfrågor och regelverk. Det kan till exempel inte vara rätt att bönder i fattiga länder på grund av ett patentsystem ska tvingas köpa sitt utsäde från mäktiga multinationella företag.



Carl-Gustaf Thornström

Idag kan vi förändra arvsmassa med genteknik. Men låt oss konstatera att vissa ting är givna över lång tid; de ligger i princip utanför vad vi kan påverka. Vi har två öron, två ögon och en näsa. Detta faktum kan vi knappast förändra genetiskt. Med dagens spetsteknik kan vi på olika sätt påverka cirka 20 procent av genuppsättningen. Resten är och förblir nog lyckligtvis till vidare ”låst”. Riskerna för Frankensteinvarelser på växt-, djur- och humanområdet är mycket överdrivna.

GM-grödornas start blev mer än lovligt kaotisk och sköttes också mycket oprofessionellt i medierna, av offentliga myndigheter och i den demokratiska samhällsdebatten. Inom EU ledde detta till ett stopp 1998 för odling och import av GMO inom EU. Först senaste året har en viss öppning skett genom att ett direktiv har antagits om märkning och odling under vissa villkor. Vi behöver en mycket mer nyanserad och initierad debatt om GMO, fri från slagord och enkla osakliga påstådda paralleller, såsom till exempel att GMO är detsamma som DDT.

Odling av GM-grödor ökade 35 gånger under perioden 1996–2002. Idag odlas cirka 27 procent av världens GM-grödor i u-länder. Den resterande odlingen domineras starkt av USA (66 procent). Den expansion som karakteriserar odlingen av GM-grödor utgör en av de snabbaste som noterats för ny teknik inom växtodling. Men i många u-länder finns det frågetecken kring den

nya tekniken. Vissa länder har helt förbjudit odling och import av GM-grödor, till exempel Zambia och Mexiko. Andra, som Indien, tillåter industrigrödor som Bt-bomull, men inte genmodifierade livsmedelsgrödor.

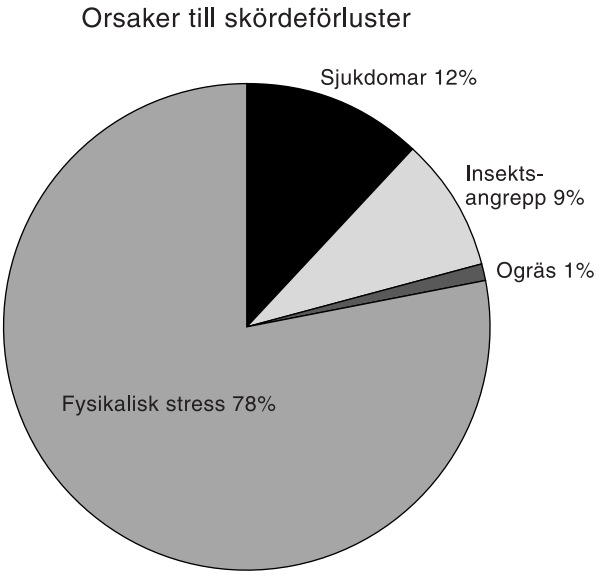
Det finns alltså rädsla i u-länderna för att gentekniken ska föra med sig risker för människa och miljö. Genflöden, eller pollendrift, är en särskilt känslig fråga i så kallade diversitetscentra, det vill säga områden på jorden där vilda växter först gjordes till kulturväxter, och där den genetiska mångfalden därmed antas vara störst. När det gäller GM-grödor har det framförts oro för att utkorsning till lokalt odlingsmaterial (lantsorter) och vilda släktingar kan bidra till genetisk nedsmutsning och utgöra ett hot mot den genetiska mångfalden.

GM-grödorna i den globala livsmedelsförsörjningen

Vad betyder GM-grödorna i den framtida globala livsmedelsförsörjningen? FN:s livsmedelsorganisation FAO och Världsbanken har gjort beräkningar kring de globala livsmedelsbehoven år 2030. För de stora stapelgrödorna som ris, vete och majs måste skördarna öka med mellan 25 och 40 procent. Denna ökning måste ske på en sammanlagd global odlingsareal som i bästa fall kan öka med 10 procent. Resten av den nödvändiga skördeökningen måste ske på redan nyttjade jordar.

De flesta jordbruksexperter anser att traditionell växtförädling inte kan klara de skördeökningsbehov som

finns om samtidigt miljöbelastningen ska minska. Det är i det sammanhanget GM-grödorna blir viktiga att diskutera. Har vi råd att inte våga pröva? Och vilka genmodifierade egenskaper ska vi i så fall satsa på? Är det bättre näringsinnehåll, tolerans mot torka och salt,



Skördeförlusterna i världen är stora. De orsakas av stress av olika slag under odling och lagring. Hittills har man satsat mycket lite på att ta fram grödor som tål fysiskalisk stress trots att det är den vanligaste orsaken till skördesskador. Fysiskalisk stress är sådant som torka, hög värme, stark kyla, salta jordar, mark- och luftföroreningar.

stråhärdighet eller inbyggd insektresistens och herbicid-tålighet? Och vad betyder möjligheten att producera läkemedel med hjälp av GM-grödor? Innebär det ytterligare komplicerade frågor att ta ställning till?

Strategi för mer sansade framsteg

Som vi ser av Marie Nymans kapitel har GM-satsningarna hittills mest gällt tålighet mot ogräsmedel och resistens mot insekter. Denna strategi för modifiering av livsmedelsgrödor lämnar mycket i övrigt att önska. Att minska bruket av kemiska bekämpningsmedel genom introduktion av Bt-mekanismen *(Bacillus thuringensis)* i exempelvis sojaböna och majs är sannolikt ett intressant första steg. Men för flertalet u-länder handlar det mer om att säkra ökade skördar genom ökad tålighet hos basgrödorna mot förändrat klimat, minskad vattentillgång och utarmning av redan näringsfattiga jordar. Förbättrat näringsinnehåll är inte minst viktigt att satsa på.

Dessa senare egenskaper har de internationella offentliga forskningsinstituten inom CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research) tagit fasta på i sina stora forskningsprogram. I dessa program kommer genteknik att få en ganska central plats. Mot bakgrund av de riskscenarier som redovisats tidigare kommer CGIAR:s satsningar att bli mycket selektiva och med höga krav på säkerhet. Man kommer också att ha tydliga regler för hantering av den biologiska allemansrätten när den privata sektorns produkter och teknik

ska användas i CGIAR:s forskning, och då är vi inne på patentfrågor.

Patentsystem inskränker allemansrätt

Ska man kunna ta patent på gener? Vem har rätt till ekonomisk vinning av de gener som hittas och nyttiggörs? Idag är det de företag som letar reda på generna som har patenträtterna. Det innebär att den som ska använda slutprodukten, en bonde eller en växtförädlare, måste ha tillstånd i form av licens. I sin tur reser detta nya frågor kring bondens urgamla rätt att utan tillstånd spara delar av skörden och använda till utsäde nästa odlingssäsong, liksom för växtförädlaren att använda slutprodukten för fortsatt förädling.

Ytterligare komplicerat blir det när en slutprodukt innehåller många patent som ägs av många olika företag och andra intressenter. Ett exempel på detta är det A-vitaminberikade så kallade gyllene riset som innehåller cirka 70 olika patenträtter som ägs av drygt 25 olika intressenter och företag i olika länder. Forskarna hade under arbetets gång utnyttjat 70 olika patent. Var och en av patentinnehavarna hade kunnat hindra användning av risplantan om de inte fick ersättning. I det här fallet beslutade de flesta av företagen att ge fri licens för fortsatt användning i vidare växtförädling i u-länder. Frågan är om nästa gyllene ris-variant kommer att mötas av samma generositet. Bruk av patent i utsädesframställning för kulturväxter skapar nya regler som inskränker den biologiska allemansrätten.

Vem ska ha makt över utsädet?

I och med privatiseringen av genteknikens resultat har patentfrågor blivit alltmer centrala för företagens val av strategi för växtförädling och framtagning av GM-grödor. Patentsystemet inskränker som sagt den biologiska allemansrätten. Företagskoncentrationen ökar de multinationella utsädes- och bioteknikföretagens monopol, främst när det gäller GM-utsäden. Detta reser nya frågor kring nationell livsmedelssuveränitet. Är det rätt att det årliga utsädet i en suverän nation bygger på tillgång till patenterat utsäde som kontrolleras av ett eller ett fåtal multinationella företag? Patent på utsäde utgör därmed ett nytt och mycket kraftfullt politiskt maktinstrument för att kontrollera marknader och enskilda nationer.

En annan problematik rör u-länders export av jordbruksprodukter till exempelvis EU. Vad innebär EU:s nyligen antagna GMO-direktiv för import av jordbruksprodukter från u-länder? Finns det risk för korsning och insmuggling av GMO via livsmedelsbistånd och från slutna fältförsök från länder i Afrika som accepterar GMO till länder i Afrika som har satt stopp för GMO? Finns det risk för spridning till produkter som exporteras till EU? Malawi har godtagit Bt-majs som livsmedelsbistånd, men inte Zambia. Omfattande försök med bland annat genmodifierad sötpotatis, sojaböna och majs förekommer idag i länder i södra Afrika och Östafrika.

Vi måste våga försöka

Regelverken nationellt och internationellt behöver i hög grad revideras för att underlätta en sansad öppenhet för ökat bruk av GM-grödor både i u-länder och i-länder. Inom världshandelsorganisationen WTO pågår förhandlingar om det globala jordbrukets framtida regelverk som kommer att vara av avgörande betydelse. Då blir maktfrågorna också mycket tydligare.

Det offentliga samhället har ingen anledning att enbart låta naturvetare, tekniker och multinationella företag tala om för oss vad som är bra eller dåligt – inte minst eftersom de gärna undviker maktfrågorna. Sådant ska i stället du och jag besluta om. Men det kräver att det offentliga samtalet blir mycket mer framförhållande och sakligt informerat, i stället för som nu passivt och reaktivt – och därmed ett lättfällt offer för grunda och osakliga anti-kampanjer eller förförisk och enögd teknikoptimism.

Den avgörande frågan kring GMO är knappast *om* utan snarare *hur*. Vi måste våga försöka!

Carl-Gustaf Thornström är filosofie doktor och docent i kulturgeografi med inriktning på jordbruksfrågor och politisk geografi. Han är gästforskare i genpolitik vid Centrum för biologisk mångfald i Uppsala och rådgivare åt Sveriges lantbruksuniversitet och Sida. Han är också knuten till regeringskansliet när det gäller genpolitiska frågor.

Om konsten att tämja bakterier för miljöändamål

Bakterier kan bland annat användas för att sanera mark från giftiga kemikalier och för att ersätta kemikalier i jordbruket. Men en bakterie som sätts ut i naturen direkt från laboratoriet har ibland svårt att stå sig i konkurrensen med andra organismer i naturen. Forskarna kan förändra bakterierna på genteknisk väg så att de klarar sig bättre. Dessutom kan bakterierna skräddarsys för speciella ändamål, skriver Janet Jansson vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Janet Jansson

Människor har under flera tusen år använt bakterier för olika biotekniska tillämpningar. Ost, yogurt, filmjölk, surkål och surströmming är exempel på livsmedel som produceras med hjälp av mikroorganismer. Vi använder och äter dagligen många av dessa produkter. Våra grödor är starkt påverkade av samspelet mellan mikroorganismer som antingen hjälper växterna eller som framkallar sjukdomar hos dem. Några av de ”nyttiga” mikroorganismerna har isolerats och används som biologisk växtnäring eller biologiska bekämpningsmedel.

Sanering av giftiga kemikalier med hjälp av bakterier eller svampar är ett annat exempel på användning av mikroorganismer för miljöns bästa. Alla dessa tillämpningar går att förbättra med hjälp av genteknik. Vissa mikroorganismer har genförändrats så att de producerar mediciner, till exempel insulin för diabetiker. Samtidigt kan genteknik i fel händer användas för oetiska tillämpningar, till exempel utveckling av nya biologiska vapen.

Det här kapitlet handlar om bakterieprodukter som utvecklas för olika miljötillämpningar och därför måste släppas ut i miljön. Vi sprider redan ut stora mängder av icke genmodifierade bakterier för miljötillämpningar, till exempel *Rhizobium*-bakterier som fixerar kväve från luften och tillför kvävet i en form som kan tas upp av växter. Dessa bakterier används som ett biologiskt alternativ till kemiskt kväve på åkern. Bakterierna sprids ut i stora mängder på fälten eller tillsammans med fröna

vid sådden. Bakterier sprids också ut för att bekämpa insekter eller växtsjukdomar. Ett exempel är *Bacillus thuringensis* som används för att minska mängden mygg vid exempelvis Nedre Dalälven. Dessa bakterier utvecklar ett protein som dödar insekterna som äter dem. Det krävs specifika förhållanden i magen, bland annat ett högt pH, för att aktivera det giftiga proteinet. Bakterien är inte giftig för oss människor eftersom vi har lågt pH i magen.

Industrin vill göra nya produkter

Den mikrobiella mångfalden i naturen är enorm. I ett gram jord finns det mer än en miljard mikroorganismer och flera tusen olika arter. Vi känner till bara en liten del, mindre än tio procent av dessa arter. Av dem vi känner har vi redan utvecklat flera olika produkter. Nu finns det ett stort industriellt intresse av att hitta nya mediciner, antibiotika och enzymer i den okända mikrobiella världen, och för att patentera och kommersialisera dem.

I Europa har flertalet genmodifierade mikroorganismer (GMM) hittills bara testats i fältförsök, men i USA finns det några kommersiella produkter. De flesta av fältförsöken i EU-länder har gjorts för att se hur mikroorganismerna överlever och sprider sig i naturen. Samtidigt har dessa mikroorganismer primärt modifierats ”bara” med så kallade markörgener för att man ska kunna identifiera dem i naturen. Varje GMM måste

testas och riskbedömas för sig från fall till fall. Beroende på resultat av försök inomhus och i fält kan ett företag sedan söka tillstånd för marknadsgodkännande på EU-nivå.

Viktigt förstå riskerna

Vi vet att många bakterier framkallar sjukdomar hos människor, djur eller växter och därför är ett hot mot människor och miljö. Vi kämpar ständigt mot sjukdomar orsakade av bakterieinfektioner inom sjukvården med olika antibiotika, som i sin tur blir mindre effektiva när resistensen ökar hos bakteriestammarna. Det här är skrämmande och hotfullt. Därför är det ytterst viktigt att veta så mycket som möjligt om de moderstammar som används för genmodifiering och om deras eventuella förmåga att framkalla sjukdomar.

Det finns några exempel på bakterier som har utvecklats för miljötillämpningar och som senare har visat sig vara släkt med patogener, det vill säga sjukdomsframkallande organismer. Ett exempel är bakteriearten *Burholderia cepacia* som var mycket lovande för biologisk kontroll av växtsjukdomar i USA. Ansökan har dragits tillbaka av USA:s naturvårdsverk sedan det har visat sig att bakteriearten kan vara sjukdomsframkallande hos patienter med cystisk fibros. I det här fallet var bakterierna inte genmodifierade, men det visar hur viktigt det är att förstå så mycket som möjligt om de moderstammar som eventuellt skulle kunna användas för miljötillämpningar.

En annan risk skulle kunna vara att moderstammarna producerar giftiga ämnen under sin ämnesomsättning eller när de bryter ner kemikalier. Därför är det viktigt att kartlägga dessa egenskaper för både GMM och för icke modifierade bakterier.

Bakterier med markörgen kan spåras

Riskerna med just GMM beror mycket på egenskaperna hos de nya generna och på hur genmodifieringen görs. Till exempel kan en utsläckning av en befintlig gen bli mer riskabel än överföring av nya gener. Vilka gener som överförs har stor betydelse. Till exempel har många genmodifierade bakterier fått en markörgen som en flagga för att man ska kunna hitta bakteriecellerna i miljön. På så sätt vet man var cellerna befinner sig och om de sprids. Annars kan det vara svårt eller omöjligt att hitta just en GMM bland de andra miljarderna bakterier som finns i ett gram jord. Därför anser jag att det är säkrare att släppa ut en GMM med en markörgen än en icke modifierad bakterie som man inte kan hitta.

Det finns förstås olika markörgener – allt från gener som ger resistens mot antibiotika till gener från eldflugor för att bakterien ska producera ljus, som i eldflugans lamporgan. Det mest kontroversiella är de gener som ger resistens mot antibiotika. Riskerna är olika stora beroende på om den aktuella antibiotikan används inom sjukvården eller veterinärmedicinen. Det är svårt att inte dra nytta av markörgener som ger antibiotikaresistens.

De utgör fortfarande grunden för de mest känsliga av alla metoder för att spåra bakterier. Men de ljusproducerande generna har blivit mycket populära därför att de bedöms som mindre riskabla och gör att man direkt ser bakterierna på exempelvis växtdelar.

Finns det risker för naturen?

Varje ny gen som överförs måste bedömas när det gäller potentiella risker för människa och miljö. En risk är att de nya generna kan överföras till andra bakterier, till exempel sjukdomsframkallade bakterier. Vi vet att gener överförs mellan olika bakterier i naturen, men normalt händer det så sällan att det är svårt att mäta. Det viktigaste är att studera konsekvenserna av sådan genöverföring. Följderna beror i sin tur på egenskaperna hos de gener som överförs.

Andra oönskade konsekvenser av utsläpp av GMM i miljön kan vara att den naturliga ekologiska balansen ändras, eller en negativ inverkan på organismer som man inte vill påverka. Sådana konsekvenser är svåra att mäta eller känna till i förväg. Men nu finns det flera bra verktyg för att mäta mikrobiell mångfald i naturen. När man tillsätter GMM till naturprover ser man ofta att sammansättningen ändras i de mikrobiella samhällena. Men man vet att många naturliga fenomen också kan orsaka stora förändringar. Till exempel kan olika växter, olika årstider samt variationer i näring, pH och temperatur förändra sammansättningen och mängden av

mikroorganismer i jorden. Huvudfrågan är därför om dessa ändringar har någon ekologisk betydelse. Just nu pågår forskningsprojekt för att undersöka om tillsats av GMM kan ändra funktionen hos mikrobiella samhällen. Hittills har inget fältförsök med GMM lett till oönskade miljökonsekvenser.

Det skulle förstås inte behövas några funderingar alls kring riskerna med utsläpp av GMM om det inte fanns intresse av att använda dem. Jag anser att GMM kan användas på ett säkert sätt för att förbättra miljön. Man ska också betänka alternativen. Exempelvis kan GMM användas i stället för kemikalier som vi vet är farliga för människor och miljö, till exempel i jordbruket. Andra GMM kan användas för att minska nivåerna av giftiga kemikalier som redan finns i miljön på ett snabbt och effektivt sätt som är mycket billigare än andra metoder. Även bakterier som man inte ämnar genmodifiera i övrigt kan märkas med markörgener för att man ska hitta dem i miljön.

Det är viktigt att kunna fortsätta att utveckla nya säkra GMM-produkter för olika miljöändamål. Men det är också viktigt att studera och bedöma möjliga risker innan produkterna sprids i miljön.

Säkra bakterieprodukter i jordbruket

Ett problem är att det ofta är svårt att etablera nya bakterieprodukter som klarar att sättas ut i naturen.

Bakterierna har ofta svårt att konkurrera med de bakterier som redan finns i marken eller blir uppätna av andra organismer. Med hjälp av genteknik kan bakterierna förbättras så att de blir mer konkurrenskraftiga och kan överleva längre i naturen. Cellerna kan genmodifieras så att de till exempel blir bättre på att kolonisera växtrötter och på så sätt etablerar sig bättre. Alternativt kan gener som ger intressanta egenskapar, till exempel *Bacillus thuringensis*-protein som är giftigt för insekter, överföras till en välkänd rotkoloniseringsstam som *Pseudomonas* eller till en bakterie som lever inuti växtstammen som *Clavibacter*.

En annan strategi kan vara att modifiera en bakterie som framkallar sjukdom hos en växt (växtpatogen) så att den inte längre är sjukdomsframkallande. Dessa modifierade bakterier kan spridas ut och kolonisera växterna före växtpatogenen som annars skulle leva på samma ställe på växterna. Denna strategi har använts till exempel i USA för att förhindra frostskada orsakad av en *Pseudomonas*-bakterie som bildar iskristaller. Iskristallerna är ett stort problem för grödor som jordgubbar. *Pseudomonas*-bakterierna genmodifierades så att genen som beskriver iskristallproteinet togs bort. De genmodifierade bakterierna spreds ut i fält för att skydda växterna från de naturliga iskristallbildande bakterierna – med minskade frostskador som följd.

En annan framtida möjlighet är att inaktivera oönskade

gener hos bakterier som annars är lovande produkter. Till exempel skulle det kunna vara möjligt att göra genmodifierade varianter av just *Burkholderia cepacia* så att den inte längre är en patogen för människor men behåller sina egenskaper som bekämpningsmedel. Hela genuppsättningen har kartlagts för *Burkholderia cepacia* och många andra bakterier. Därför finns det mycket information om vilka gener som finns, och de kan selektivt tas bort eller modifieras så att de inte längre är skadliga. Å andra sidan kan gener som är viktiga för biologisk kontroll av växtsjukdomar flyttas från *Burkholderia cepacia* till en annan mikroorganism som man vet är ofarlig för människa och miljö. Exemplen visar att genmodifiering kan vara ett sätt att få säkrare bakteriella produkter inom jordbruket.

Specialdesignade GMM bryter ner kemikalier

Det finns också många möjliga användningar av GMM för biologisk nedbrytning av giftiga kemikalier. Ofta finns olika kemikalier i blandningar som är svåra för befintliga mikroorganismer att bryta ner. Man kan därför designa GMM som effektivt kan bryta ner speciella blandningar av kemikalier. En annan aspekt är att nedbrytningshastigheten för befintliga populationer av mikroorganismer är för långsam på grund av låg temperatur, till exempel i Skandinavien. Med hjälp av genteknik kan nedbrytningsgenerna sättas in i en köldtolerant bakterie som sedan kan överleva och effektivt bryta ner kemikalier även när det är kallt.

Nedbrytningsorganismerna har ofta svårt att konkurrera och överleva i naturen. Det kan också vara svårt för dem att nå kemikalier i små porer i jord. Därför finns det intresse av att använda GMM med nedbrytningsgener som också kan kolonisera växtrötterna. När rötterna tränger ner i marken kan de bära med sig nedbrytningsorganismerna och transportera dem till ställen där kemikalierna finns.

Nytta ska vägas mot risker

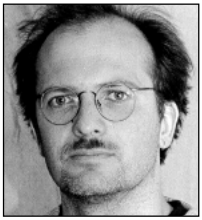
Slutsatsen blir att det i dagsläget finns flera möjliga tillämpningar av GMM i miljön. Vi har bara börjat undersöka vilka möjligheter som finns för framtiden. Med hjälp av information om bakteriers genuppsättning kan det vara möjligt att designa bakterier för specifika ändamål och att göra dem säkrare.

Samtidigt är det viktigt att bedöma riskerna med utsläpp av varje ny GMM för sig. Det krävs en kombination av kunskap om bakteriernas egenskaper och om möjliga risker för att bedöma om en ny GMM-produkt kan anses medföra en risk för miljön, och om så skulle vara fallet bedöma om den är värd riskerna. Det är också viktigt att ta med i bedömningen om alternativa behandlingsmetoder, till exempel kemikalier, är mer eller mindre riskabla än den aktuella GMM-produkten.

Janet Jansson är professor i mikrobiologi med miljöinriktning vid Institutionen för mikrobiologi på Sveriges lantbruksuniversitet i Uppsala. Hon är också ledamot i Gentekniknämnden.

Genmodifierade träd i morgondagens skog

Inom en snar framtid kommer genmodifierade träd att vara på väg in i skogsodlingen. Vi kommer först att se dem på den internationella arenan i olika typer av skogsplantager med korta omloppstider. Träd kan nämligen genmodifieras så att de växer snabbare. De kan också skräddarsys så att kvaliteten på fibrerna blir bättre för olika ändamål. Genmodifierade träd kan bli ett komplement till vanlig skogsträdsodling. Men innan vi sätter ut GM-träden i naturen måste vi analysera riskerna, skriver Umeåforskarna Stefan Jansson, Ove Nilsson och Björn Sundberg.



Stefan Jansson

Ove Nilsson

Björn Sundberg

I takt med att världens befolkning och levnadsstandard ökar, ökar också trycket på naturtillgångarna. Vi måste av både miljömässiga och praktiska skäl mer och mer ställa om vår konsumtion mot förnybara råvaror. Ved är en av våra vanligaste och mest allsidiga förnybara råvaror. Idag används vedråvara framför allt till trä- och pappersprodukter samt brännved. Men det pågår samtidigt en intensiv teknikutveckling mot framtida alternativ användning av vedråvara, till exempel för produktion av fiberbaserade polymerer och etanol.

Den ”gröna revolutionen” inom jordbruket ledde till stora skördeökningar och förvisso en del miljöproblem. Den var framför allt resultatet av ett framgångsrikt växtförädlingsarbete kombinerat med ändrade brukningsmetoder. Utan den gröna revolutionen skulle vi inte ha några möjligheter att föda världens nuvarande befolkning. Skogsbruket står nu inför en liknande utveckling där skördeuttagen på vissa marker skulle behöva ökas markant för att förhindra att all skogsmark tas i anspråk för råvaruproduktion. Genmodifierade träd (GM-träd) kommer kanske att vara ett av verktygen i detta arbete. Vi ska i det här kapitlet belysa både möjligheter och problem med GM-träd i skogsbruket.

Poppel är trädens ”bananfluga”

Trots att träd ser annorlunda ut än örter är de i de flesta fall nära släkt med dessa. Det innebär att träd genetiskt sett inte är särskilt unika och att de flesta gener som

finns i ett träd också finns i andra växter. Trots det måste det ju finnas genetiska mekanismer som ger träd deras unika egenskaper. Ett mål för forskningen är att hitta dessa gener och förstå deras funktioner, eftersom det är en förutsättning för användningen av genteknik.

För att förenkla detta arbete använder forskarna modellsystem, det vill säga arter som inte nödvändigtvis behöver vara ekonomiskt betydelsefulla men som det går lätt att forska på. Den förståelse man på det sättet får i ett modellsystem kan sedan tillämpas på ekonomiskt viktiga arter. Inom medicinsk forskning går det till exempel inte så bra att göra försök på människor. Därför används ofta möss och ibland också mindre besläktade arter som bananfluga för att förstå orsakerna till mänskliga sjukdomar.

På samma sätt är det inom trädforskningen. Olika gran- och tallarter hör till de ekonomiskt mest betydelsefulla träden, men av många anledningar är de svåra att studera. De innehåller ett mycket stort genetiskt material, och det är tidsödande att sticklingsföröka och gentekniskt förändra dem. Därför har släktet *Populus*, där vår svenska asp ingår, blivit trädforskningens modellsystem, och arbetet med att kartlägga dess hela genuppsättning är snart avslutat. Det handlar om uppskattningsvis 40 000 gener. Forskare i framför allt USA, Kanada och Sverige deltar i detta projekt som kommer att leda till att trädforskningen tar ett stort steg fram-

åt. När man känner till en organisms alla gener underlättas den genetiska forskningen på den organismen oerhört.

För att förstå funktionen av alla dessa gener är GM-träd mycket viktiga. Forskare försöker till exempel skapa träd som saknar vissa proteiner. Vad proteinerna betyder kan man sedan förstå genom att studera eventuella förändringar i det genmodifierade trädet. Det här sker på många ställen i världen. I Sverige bedrivs ett storskaligt industribaserat projekt som syftar till att förstå funktionen hos gener som är viktiga för produktion och egenskaper hos vedfibrer. Forskningen kommer att leda till nya insikter om hur ved bildas. Den kommer också att ge de bakgrundskunskaper som är nödvändiga för att man ska kunna förädla träd så att de producerar mera och bättre ved.

Genteknik kompletterar traditionell förädling

Sverige ligger väl framme när det gäller förädling av skogsträd. Forskningsinstitutet SkogForsk bedriver sedan länge ett framgångsrikt förädlingsprogram på framför allt gran och tall. Men problemet med traditionell förädling är de långa generationstiderna.

Så medan våra jordbruksgrödor har förädlats under tusentals generationer med mycket stora förädlingsvinster, arbetar SkogForsk idag med sin tredje generation. Med genmodifiering kan dessa hinder komma

att överbryggas, och förädlingen kommer också förhoppningsvis att ske med hög ”precision” eftersom man vet vilka gener som förändras. Men genmodifiering kommer på samma sätt som i jordbruket aldrig att ersätta traditionell förädling, utan metoderna kommer att komplettera varandra. Träd med goda växtegenskaper som tagits fram med traditionell teknik kan till exempel tillföras unika spetsegenskaper med genteknik. För att behålla de goda genetiska egenskaperna i ett förädlat träd måste man sedan föröka det vegetativt, till exempel genom sticklingsförökning. Detta tillämpas idag på våra förädlade sorter av fruktträd och bärbuskar.

Skräddarsydda träd för olika ändamål

Vedens och fiberns egenskaper är viktiga för skogsträdsförädlingen. Redan idag finns GM-träd med mindre lignin som dessutom är lättare att extrahera. Vid tillverkning av kemisk massa kokas ligninet bort för att förhindra att papperet gulnar. Ved från GM-träd med förändrat lignin har vid papperstillverkning visat sig kräva mindre energi och kemikalier för att ge papper med samma kvalitet som ”vanliga” träd.

Andra viktiga vedegenskaper som det finns goda förutsättningar att förändra med genteknik är cellulosainnehåll, fiberns längd samt ökat energivärde för användning av vedfiber som energikälla. I framtidens skogsbruk kan många träd vara ”skräddarsydda” för en viss användning. Idag används samma tallar och granar för

att producera en rad olika produkter, från finpapper till kraftkartong, byggnadsmaterial för takstolar och fönsterkarmar, eller för den delen som flis till pellets för husuppvärmning. Med genteknik kan man skapa träd med fibrer som är anpassade för olika typer av pappersprodukter, för energiändamål eller för fiberkompositmaterial. Dessa förändringar kommer att underlätta övergången från produkter baserade på icke förnybar råvara som plast, stål och betong till fiberbaserade produkter, som dessutom motverkar växthuseffekten.

Det arbetas också intensivt med att identifiera de gener som styr produktionen av vedbiomassa. Med genteknik kan vi få fram träd som växer snabbare och därmed förkorta omloppstiden i skogsbruket, det vill säga tiden mellan plantering och avverkning. Produktionen av vedråvara kommer säkert att öka genom att GM-träd med mycket specifika och värdefulla egenskaper kommer att odlas i plantager under jordbruksliknande förhållanden med relativt korta omloppstider (2–20 år). Sådana fiberodlingar finns redan idag på många håll i världen. I Sverige utnyttjas snart sagt all skogsmark för skogsproduktion, men med undantag för *Salix* (vide och pil) som odlas för energiändamål bedriver vi för närvarande inte renodlad plantageodling av skogsträd.

Motståndskraft och tidig blomning

Andra egenskaper som kan förbättras med genteknisk förädling är motståndskraften mot sjukdomar och

Asparna på bilden är båda ungefär sex månader gamla. Den genmodifierade aspen växer fortare eftersom den har fått en gen som ökar halten av tillväxthormon. Dessutom producerar den mer ved som innehåller längre vedfibrer, något som är högintressant för pappersmassaindustrin.

svamp- och insektsangrepp. Ett framtidsscenario är att det finns GM- träd som är helt motståndskraftiga mot angrepp av snytbaggar och barkborrar och som inte drabbas av *Gremeniella*-svampens härjningar. Genteknik kan med fördel också användas för att ge möjlighet till skogsodling på mindre gynnsamma marker. Redan idag finns träd med ökad tillväxt och överlevnad i torra miljöer. Detta skapar intressanta möjligheter till återbeskogning av tidigare skövlade och numera ofruktsamma områden på vår planet.

Genteknik kan också användas för att framkalla tidig blomning. Det förtjänar att nämnas att GM-träd kan komma att användas som ett verktyg i traditionell växtförädling av skogsträd. Eftersom många träd inte blommar förrän efter 10–20 år har en effektiv traditionell förädling inte kunnat ske, trots att den kan leda till stora produktions- och kvalitetsförbättringar efter ett fåtal generationer. Med genteknik kan man få träden att blomma efter bara några månader. Dessa snabbblommande träd kan sedan användas i förädlingsprogrammet för att förkorta generationstiden. När de förädlade träden sedan ska användas för skogsplantering kan den introducerade blomningsgenen korsas bort. Avkomman ärver ju bara hälften av varje förälders gener, och det går därför att sortera ut de individer som saknar blomningsgenen. Resultatet blir ett normalt blommande och högförädlat träd som inte bär på några främmande gener.

Större variation i skogsodlingen

All ny teknik bör tillämpas med försiktighet och varsamhet. Det gäller även skogsträdsförädling med genteknik. Människan har tidigare påverkat ekosystemen genom att ta ny mark i anspråk för jordbruk, bete, slåtter, nya skogsodlingsmetoder som kalhyggesbruk eller införande av nya trädslag som *Contorta*-tall. På samma sätt kommer fiberproduktion under jordbruksliknande former på igenlagd åkermark eller på tidigare skogsmark att leda till förändringar i flora och fauna, vare sig den bedrivs med eller utan GM-träd.

För att vi ska utnyttja marken effektivt i framtiden kommer antagligen högintensiva fiberodlingar att komplettera vårt nuvarande skogsodlingssystem – och inte ersätta det. Det finns all anledning att tro att den utveckling mot större variation i användningen av skogsmarken som pågår på många håll i världen kommer att fortsätta och bli tydlig även i Sverige. Vi kommer att avsätta viss mark för högproducerande fiberodlingar, fortsätta med vårt traditionella skogsbruk på en stor del av marken samt öka arealen skog som brukas lågintensivt eller inte alls. Detta bör kunna tillfredställa våra behov av att producera råvara till industrin, bevara den biologiska mångfalden samt öka möjligheterna till rekreation och turism.

Kanske kommer vi att importera en större del av virkesråvaran. Utvecklingen inom skogsbruket påverkas i

viss mån av politiska beslut men framför allt av ekonomiska realiteter. Eventuell framtida odling och användning av GM-träd måste ses i det perspektivet.

Kan GM-träden sprida sig?

Skulle de genmodifierade träden kunna sprida sig och etablera sig i naturen? Det finns många exempel på växter som har flyttats från en kontinent till en annan och där blivit svåra ogräs. Att det blir så här kan bero på att de skiljer sig så mycket från den inhemska floran att de bättre kan utnyttja specifika ekologiska nischer eller inte har några naturliga fiender i den nya miljön. Men detta gäller i allmänhet inte GM-träd som oftast är förändrade i bara en eller ett par gener, dessutom gener som oftast inte ger ett större överlevnadsvärde. För övrigt är de identiska med sina vilda släktingar. Däremot kan risken vara större för GM-träd som är resistenta mot vanliga skadeinsekter eller sjukdomar, eller som till exempel har ökad motståndskraft mot frost eller torka.

Träd kan sprida sig vegetativt, till exempel med rotskott. Ett potentiellt större problem är om GM-trädet skulle blomma. Det skulle då kunna sprida frön till naturliga bestånd. Dessutom skulle pollen spridas över stora avstånd, eftersom de flesta träd är vindpollinerade. På det sättet skulle trädets anlag okontrollerat kunna spridas till andra individer av samma art. Det är oklart om detta skulle innebära en reell risk för de ”naturliga” skogarna,

men det innebär hur som helst en oönskad genetisk nedsmutsning.

Därför finns det stor anledning att vara tveksam till att använda GM-träd som har möjligheten att blomma i ett framtida skogsbruk. De flesta bedömare menar att användningen av sterila eller mycket sent blommande träd kommer att vara en förutsättning för att framtida genmodifierade trädplantager ska accepteras. Men kan använda träd som inte blommar under normala omloppstider. Ännu mer effektivt är kanske att försena eller förhindra blomning med genteknik så att träden blir sterila. Dessutom pågår forskning för att på genetisk väg skapa nya ”artbarriärer”, det vill säga se till att avkomman mellan ett genmodifierat och ett ”vilt” träd inte kan gro. Det innebär att en korsning inte är möjlig.

Riskbedömning från fall till fall

Det finns alla skäl att tro att vi inom det närmast decenniet kommer att få anledning att ta ställning till om genmodifierade träd ska användas inom energiskogsodling och inom plantageskogsbruk i Sverige. Vad gäller introduktion av GM-träd i våra ”vanliga” skogar är tidsperspektivet däremot längre och beroende av utvecklingen inom många områden förutom gentekniken.

En riskbedömning av GM-tekniken måste göras från fall till fall. En egenskap som ökad sjukdomsresistens har

högre risk för spridning än till exempel ökat energivärde. För att ge politiker och allmänhet bedömningsunderlag är det viktigt att vi bedriver både ekologisk och samhällsvetenskaplig riskanalysforskning. Det är också viktigt att denna riskanalys sker i samarbete med den biotekniska utvecklingen. Sverige är idag en ledande nation inom skogsbioteknisk forskning, och vi bör därför också leda den riskanalytiska forskningen inom området.

Stefan Jansson är professor i växters cell- och molekylärbiologi på Institutionen för fysiologisk botanik vid Umeå universitet. Han arbetar framför allt med stressmekanismer och kartläggning av gener i asp.

Ove Nilsson är professor i växters reproduktionsbiologi på Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi vid Sveriges lantbruksuniversitet i Umeå. Han har visat att man med hjälp av genteknik kan få aspträd att blomma efter bara några månader.

Björn Sundberg är professor i skogsträdens växtfysiologi på Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi vid Sveriges lantbruksuniversitet. Han forskar på molekylär och fysiologisk reglering av vedens bildning och egenskaper.

Alla tre författarna arbetar inom Umeå Plant Science Centre som består av Institutionen för fysiologisk botanik vid Umeå universitet och Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Hanterbara risker med GM-husdjur

Våra husdjur har utvecklats från sina vilda stamformer under de senaste tiotusen åren. Den vägen har varit så framgångsrik att forskarna i dag inte har det lätt om de med genteknik vill göra ännu mer, exempelvis öka tillväxten. Däremot kan det i framtiden komma att finnas en rad mer specifika användningsområden för genteknik på husdjur. Får kan producera mediciner i mjölken. Djurorgan kan transplanteras till människa. Det går att göra ”hälsogrisar” med bra fettsammansättning och komjölk som ger mera ost. Och riskerna med genteknik på husdjur är hanterbara, skriver Leif Andersson vid Uppsala universitet.

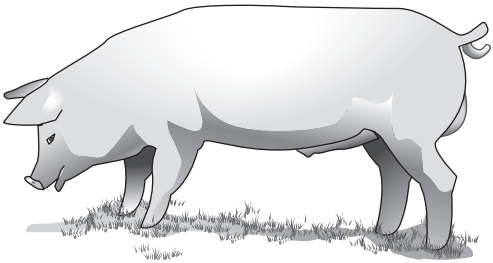
Leif Andersson

För ungefär 10 000 år sedan i samband med att jordbruket utvecklades började människan tämja vilda djur. För en del husdjur finns fortfarande den vilda stamformen kvar i naturen. Tamgrisens anfader vildsvinet finns fortfarande spridd över Europa och Asien. Den röda djungelhönan, ursprunget till våra värphöns och broilers, lever fortfarande i vilt tillstånd i Sydostasien. Däremot är nötkreaturens vilda anfader, uroxen, utdöd. Den sista dog år 1627 i en djurpark i Polen.

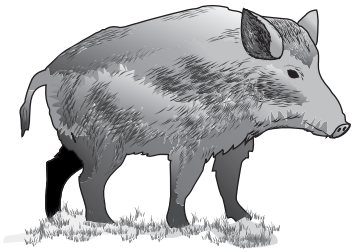
Om man inte känner till husdjurens ursprung är det svårt att tro att tamgrisen och vildsvinet tillhör samma art och att de utan problem kan para sig och få fullt friska kultingar. Ett vildsvin och ett tamsvin är markant olika när det gäller en lång rad egenskaper, till exempel färgteckning, behåring, kroppsform, beteende, aptit och tillväxt. Hur har det varit möjligt att åstadkomma dessa drastiska förändringar under en ganska kort tidsperiod? Jo, genom att man har valt ut speciella avelsdjur genom så kallat selektivt urval. Människan lärde sig tidigt att avkommorna, hos både djur och människor, tenderar att likna föräldrarna. Genom att använda djur med särskilt värdefulla egenskaper i avel kunde man successivt få fram djur som var allt bättre lämpade att producera nyttigheter för människan.

På barnen känner vi föräldrarna

Under de senaste hundra åren har husdjursaveln blivit alltmer effektiv tack vare våra ökade kunskaper om



Tamsvin



Vildsvin

Tamgrisen härstammar från vildsvinet, men har förändrats dramatiskt under årtusendenas lopp.

genetik. Husdjursavel innebär att man mäter olika egenskaper på potentiella avelsdjur eller på nära släktingar. Därefter använder man avancerade statistiska modeller för att räkna ut vilka djur som bör vara bäst lämpade för avel. Detta är särskilt väl utvecklat för mjölkproducerande nötkreatur där man använder konstgjord inseminering och omfattande avkommeprövningar av ungtjurar. Avkommeprövning innebär att man för ett hundratal av ungtjurarnas döttrar samlar in data på mjölkproduktion och övriga egenskaper, till exempel sjukdomar. Utifrån denna information kan man beräk-

na ett mycket säkert avelsvärde för varje ungtjur. De allra bästa tjurarna väljs ut för avel och kommer att få tusentals eller kanske tiotusentals avkommor.

Selektivt urval är alltså den metod vi hittills har använt för att förändra husdjuren. Men hur har den påverkat husdjurens gener? Husdjuren och deras vilda stamformer har samma uppsättning av gener. Skillnaden ligger i att vi har ökat eller minskat förekomsten av vissa genvarianter som påverkar viktiga egenskaper. All ärftlig variation uppstår genom mutationer. Man har beräknat att varje individ som föds av ett däggdjur bär på cirka hundra nya mutationer som uppstod i föräldrarnas könsceller. Mutationer kan innebära en förändring av en enskild byggsten i DNA-kedjan (se sidan 25), eller att en eller flera byggstenar försvinner eller kommer till. De allra flesta mutationer har ingen som helst påverkan på individens egenskaper eftersom de berör delar av arvsmassan som inte betyder något för funktionen. Vissa mutationer är direkt skadliga eftersom de påverkar en vital funktion, och ett litet antal mutationer leder till genvarianter som ändrar individens egenskaper.

Gentekniken gör våra verktyg skarpare

De markanta skillnader vi ser mellan tama och vilda former beror alltså på att vi har ökat de genvarianter som har positiva effekter på egenskaper vi värdesätter, till exempel förmåga att producera mjölk. Man kan säga att vi med urvalsmetoden kan sila fram fördelaktiga

mutationer utan att ha någon som helst kunskap om vilka gener som förändras. Skillnaden mellan traditionell husdjursavel och genteknik är att traditionell avel baseras på spontana mutationer, medan gentekniken gör det möjligt att introducera specifika mutationer.

Den moderna genetiken gör att vi nu kan ta reda på vilka mutationer som har ökat hos olika husdjur. Ett exempel från min egen forskning gäller den vita färgen som är vanlig hos tamsvin. Vit färg beror på att grisarna helt saknar pigmentceller i huden. Vi har visat att detta beror på mutationer i en speciell gen som har en central roll för pigmentcellernas utveckling. De vita grisarna bär på en extra kopia av just den här genen, och en av kopiorna har dessutom en mutation. Vi tror att den vita färgen utvecklades i två steg. Den första mutationen stör pigmentcellernas utveckling och ger upphov till brokiga grisar; den andra mutationen innebär att pigmentcellerna inte utvecklas alls. Det skulle vara fullt möjligt att åstadkomma samma förändring genom att införa liknande mutationer med genteknik.

Genmodifiera husdjur – hur gör man?

Principen för att ta fram GM-husdjur genom att direkt spruta in gener i nyligen befruktade äggceller fungerar på samma sätt som för andra däggdjur (bild på sidan 29). Den här så kallade mikroinjektionstekniken har använts sedan mitten på 1980-talet. Men den har klara nackdelar. Man kan inte kontrollera var den överförda

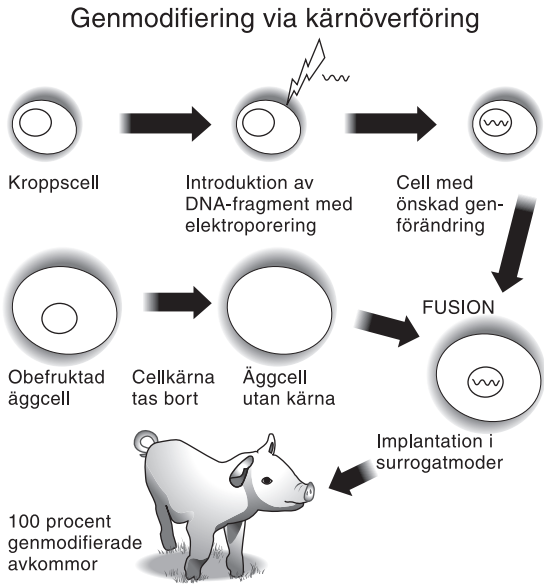
genen kommer att sätta sig. Därför kan det uppstå en genetisk defekt genom att den nya genen stör en befintlig gen. Dessutom sätter sig ofta många kopior av den överförda genen i rad på kromosomen. Det kan leda till att nedärvningen blir instabil, och det är en klar nackdel om man vill åstadkomma en permanent genförändring som ska fungera under många generationer.

Det har pågått ett intensivt arbete under flera år för att ta fram en mer sofistikerad metod som gör det möjligt att göra mer riktade förändringar. En sådan teknik finns redan för mus; den bygger på användning av så kallade stamceller från foster. Tekniken gör det möjligt att slå ut funktionen av enskilda gener (så kallad knockout) eller att förändra någon speciell del av genmaterialet. Problemet har varit att man ännu inte har lyckats få fram stamceller från husdjur så att de fungerar för ändamålet.

Elektrisk stöt öppnar cellen för DNA

Men nu har en alternativ metod utvecklats som bygger på den teknik med kärnöverföring som användes för att klona fåret Dolly. Tekniken innebär att man odlar kroppsceller i laboratoriet och använder så kallad elektroporering för att föra in gener i cellkärnan. Cellerna utsätts för en strömstöt som öppnar porer i cellerna och gör att det DNA man har tillsatt till odlingsmediet kan tas upp. Väl inne i cellen kommer genmaterialet i sällsynta fall (kanske en på miljonen) att orsaka precis

den förändring man vill åstadkomma. Det fina i kråksången med att göra detta i odlade celler är att man då kan använda olika gentekniska metoder för att bland miljontals celler sortera ut dem som har precis den genförändring man vill ha.



Med hjälp av så kallad kärnöverföring kan man sätta in DNA-fragment i en odlad kroppscell och därefter välja ut celler med den specifika genförändring man vill åstadkomma. Den genmodifierade cellkärnan förs sedan samman med en äggcell som har tömts på sin egen cellkärna. Utvecklingen till en ny genmodifierad individ sker i en surrogatmoder.

När man väl har fått fram en genmodifierad cell för man över dess cellkärna till en äggcell som har tömts på sin cellkärna. Äggcellen innehåller allt som behövs för att starta en normal fosterutveckling. När denna väl har kommit igång kan den genmodifierade cellkärnan ta över och styra utvecklingen till en ny individ. Utvecklingen sker i en surrogatmoder, och i gynnsamma fall föds en fullt frisk genmodifierad avkomma. Det finns nu flera rapporterar som visar att metoden fungerar på både får och gris. Man bör dock notera att kloning med kärnöverföring, med eller utan genmodifiering, fortfarande är en ineffektiv metod som ofta leder till mer eller mindre allvarliga störningar i djurens utveckling.

Skräddarsydda husdjur dröjer

När tekniken att framställa GM-djur först beskrevs i början på 1980-talet var en av kommentarerna att vi nu har en teknik för att genetiskt skräddarsy husdjur. Tjugo år senare kan vi konstatera att genmodifierade husdjur ännu inte används för livsmedelsproduktion. Vad beror detta på? En viktig orsak är att man underskattade den genetiska komplexiteten hos högre organismer och de stora framsteg man redan gjort att genetiskt förändra husdjuren med traditionella metoder. Det är inte så enkelt som att kasta in några extra kopior av en gen för till exempel tillväxthormon hos en gris och få den att växa dubbelt så snabbt. Traditionell avel har redan fördubblat tillväxthastigheten hos en tamgris jämfört med ett vildsvin, och det är knappast troligt att det är

mängden tillväxthormon i kroppen som begränsar tillväxten. Tillämpningen av genteknik på husdjur har alltså hämmats av vår bristande kunskap om de gener som kontrollerar viktiga produktionsegenskaper.

En annan viktig faktor är att försök med GM-husdjur är mycket kostsamma. Man måste hålla ett stort antal hondjur som äggdonatorer och surrogatmödrar för att få fram ett litet antal genmodifierade avkommor. Därför är det bara ett mindre antal forskargrupper i världen (inga i Sverige) som har sysslat med att ta fram GM-husdjur. Dessutom har få företag varit verksamma inom området, och de som varit aktiva har fokuserat på att använda genmodifierade husdjur för att ta fram mediciner till människor. Det är uppenbart att den stora tveksamhet som konsumenterna visat mot användningen av GM-växter har minskat intresset från företag, särskilt i Europa, att satsa på forskning kring genmodifierade husdjur.

Husdjurens arvsmassa kartläggs

Det har väl knappast undgått någon att vi nu år 2003 har en fullständig karta över arvsmassan hos människan och hos flera experimentorganismer, till exempel mus, bananfluga och backtrav. Ett däggdjur har ungefär 30 000 gener. Även om vi idag känner till DNA-koden för de allra flesta generna hos människan har vi mycket begränsad kunskap om hur mer än hälften av dessa gener fungerar. En stor utmaning för forskningen

de närmaste 20 åren är att förstå hur alla dessa 30 000 gener verkar och samverkar för att styra en så komplex varelse som ett däggdjur.

Den medicinska genetiken har varit mycket framgångsrik när det gäller att identifiera mutationer som orsakar ärftliga sjukdomar som cystisk fibros och blödarsjuka. Däremot vet vi nästan ingenting om de ärftliga varianter som gör att vissa människor kan springa 100 meter rasande fort och andra kan komponera fantastiska musikstycken. Snabbhet och musikalitet är två egenskaper som påverkas av både arv och miljö. Den ärftliga komponenten bestäms av ett okänt antal gener. På samma sätt är det med de flesta egenskaper som är av betydelse inom husdjursproduktionen, till exempel tillväxt, mjölkproduktion och motståndskraft mot infektionssjukdomar. Vi har fortfarande mycket begränsad kunskap om vilka gener som påverkar dessa egenskaper, men det pågår ett intensivt arbete för att förbättra kunskapen.

Det finns ännu ingen fullständig genkarta för något husdjur, men det är bara en tidsfråga innan denna basala biologiska information blir tillgänglig för ett flertal husdjur, som nötkreatur, gris, hund och höns. Den första analysen av hönsens gener beräknas bli klar redan i slutet av 2003. Det kommer att väsentligt förbättra våra möjligheter att påvisa gener och mutationer som påverkar viktiga egenskaper hos husdjur. Kunskapen kommer att få allt större betydelse i praktisk husdjursavel. Den

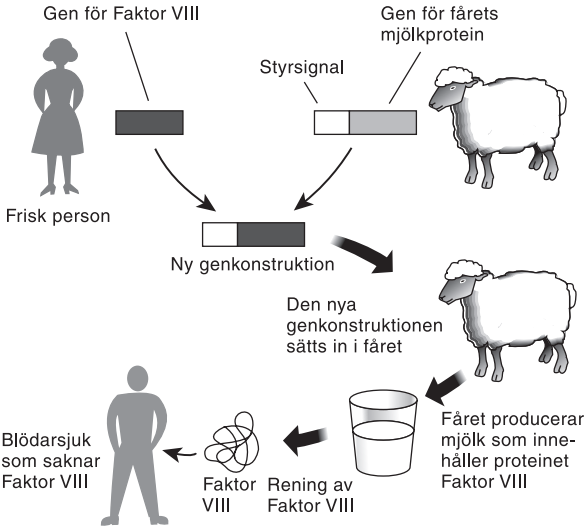
hittills använda urvalsmetoden har byggt på mätning och vägning av husdjur. Den kan nu kompletteras med gentester för att identifiera djur som bär på särskilt värdefulla ärftliga varianter. På sikt kommer denna kunskap också att innebära helt nya möjligheter att introducera specifika gener utifrån detaljerad kunskap om hur generna fungerar.

Medicin i fårmjölk

Redan på 1980-talet inleddes försök med att ta fram GM-husdjur som kan producera läkemedel i mjölk. Många små enkla proteiner går alldeles utmärkt att producera i bakterier, som till exempel insulin för att behandla diabetes eller tillväxthormon för att behandla dvärgväxt. Men de flesta proteiner behöver processas i en cell från en högre organism för att bli biologiskt aktiva. Det är fullt möjligt att producera dessa proteiner genom att odla genmodifierade celler från däggdjur. Men det är ganska dyrt att producera stora mängder protein i odlade celler. Därför föddes idén att man skulle kunna utnyttja genmodifierade husdjur.

För att förstå principen för dessa försök måste man veta att en gen består av två komponenter: en del som bestämmer hur det färdiga proteinet ska se ut och en annan del, en styrsignal, som bestämmer var, när och hur mycket protein som ska tillverkas. För att få fram ett GM-får som producerar ett mänskligt protein i mjölk måste man först snickra ihop en genkonstruktion. Den

ena delen hämtar man från den mänskliga gen som bestämmer hur det protein ska se ut som man vill producera. Styrsignalen tar man från en gen hos fåret som ser till att proteinet hamnar just i mjölken och ingen annanstans i djurkroppen. Därefter gör man ett GM-får enligt någon av principerna som beskrivs på sidorna 29 och 99.



Ett får kan genmodifieras så att det tillverkar mjölk som innehåller Faktor VIII, ett protein som saknas hos blödarsjuka. Kopplat till fårets egen mjölkproteingen finns en styrsignal som ser till att proteinet hamnar i mjölken och ingen annanstans. Denna styrsignal kopplas ihop med Faktor VIII-genen från en frisk person. Det gör att Faktor VIII också hamnar i mjölken, precis som fårets eget mjölkprotein. Faktor VIII måste renframställas för att kunna ges till patienten via injektioner.

Det pågår idag kliniska försök på människa med läkemedel som har producerats med denna metod, men ännu finns inget godkänt läkemedel på marknaden. Ett läkemedel som skulle kunna tas fram genteknikskt med hjälp av fårmjölk är Faktor VIII som ges till blödarsjuka.

Transplantation från djur till människa

Xenotransplantation innebär att man transplanterar celler eller vävnad från en annan art till människa. Intresset för den här tekniken beror på den akuta bristen på mänskliga organ för transplantation till svårt sjuka patienter. Grisen anses vara den mest lämpade arten för xenotransplantation på grund av sin storlek och vår långa erfarenhet av att föda upp grisar för köttproduktion.

Men det verkar vara omöjligt att transplantera levande celler från vanliga grisar till människan eftersom människans immunsystem attackerar de främmande cellerna. Man försöker nu få fram GM-grisar med flera genetiska förändringar som antingen ”humaniserar” grisens celler så att de inte upplevs som främmande eller som gör att grisens celler blir mer resistenta mot attacken från människans immunsystem. Flera viktiga steg för att uppnå målet har gjorts, men det återstår fortfarande mycket forskning och utvecklingsarbete innan xenotransplantation blir praktisk verklighet. Det finns också en oro för att xenotransplantation skulle kunna

innebära en risk att virus överförs från gris till människa och orsakar nya infektionssjukdomar.

Mer eller mindre lidande för djuren?

Det finns än så länge inte mycket forskning för att utveckla GM-husdjur med förbättrade egenskaper för livsmedelsproduktion. Det man skulle vilja åstadkomma med genteknik är till exempel bättre djurhälsa, bättre livsmedelskvalitet, miljövänligare produktion och förstås ökad produktion. Bättre djurhälsa är ett mycket angeläget mål i den traditionella husdjursaveln; det minskar förluster i produktionen och det ger mindre lidande hos djuren. Infektionssjukdomar och parasiter orsakar stora förluster inom husdjursnäringen, framför allt i subtropiska och tropiska områden. Med bättre kunskap både om sjukdomsframkallande organismer och om värddjurets försvarsmekanismer borde det bli möjligt att använda genteknik för att öka husdjurens motståndskraft mot infektionssjukdomar.

Den klart största risken för negativa effekter av genteknik på husdjur är annars att den i vissa fall skulle kunna orsaka lidande och försämrad hälsa hos djuren. Risken för detta kommer att bero på i vilken utsträckning den överförda genen påverkar djuret. En överförd gen som gör GM-husdjuret mer resistent mot en viss sjukdom skulle förbättra hälsan och minska lidande hos djuret. I andra fall, till exempel när ett husdjur producerar ett mänskligt protein i mjölk, är det inte tro-

ligt att genförändringen påverkar djurets välbefinnande. Men i vissa fall kan genförändringar orsaka allvarliga problem med djurhälsan. Ett exempel skulle kunna vara den försämrade djurhälsan hos belgisk blå boskap. Dessa djur har dock inte fått sin extrema muskelmassa genom genteknik, utan den beror på en spontan mutation som inaktiverar en gen som reglerar muskelutvecklingen. Samma djurhälsoproblem skulle naturligtvis uppstå om man använde genteknik för att inaktivera samma gen. Innan man kan använda genmodifierade husdjur inom jordbruket måste man i varje enskilt fall noggrant utvärdera risken för försämrad djurhälsa.

Miljögris med fosforfattig gödsel

Läckage av kväve och fosfor till naturen är ett problem i samband med storskalig grisproduktion. En kanadensisk forskargrupp utvecklade för ett par år sedan en genmodifierad ”miljögris” (Enviropig) som skulle kunna minska problemet. Den har bara en fjärdedel så mycket fosfor i avföringen som en vanlig gris.

Forskarnas utgångspunkt var att växtmaterialet i grisfoder innehåller tillräckligt med fosfor, men detta organiska fosfor är inte tillgängligt för den växande grisen eftersom den saknar vissa enzymer för att frigöra fosfor från växtmaterialet, till exempel enzymet fytas. Därför måste man tillsätta oorganiskt fosfor i fodret, och konsekvensen blir att grisens gödsel innehåller

fosfor som inte utnyttjas utan passerar rakt genom griskroppen. Forskarna gjorde då en genkonstruktion där den ena delen kom från tarmbakterien *Escherichia coli* och var en gen för enzymet fytas. Styrsignalen kom från en gen som är aktiv i grisens spottkörtlar. GM-grisen producerade därför saliv som innehöll enzymet fytas och som gjorde att fosfor frigjordes från växtmaterialet och blev tillgängligt för grisen. Konsekvensen blev att man inte behövde tillsätta oorganiskt fosfor i fodret, och mängden fosfor i gödslet minskade. Detta är ett bra exempel på hur genteknik kan komma att användas i framtiden för att åstadkomma genförändringar som är svåra eller omöjliga att uppnå med traditionell avel.

Traditionell avel har åstadkommit häpnadsväckande produktionsökningar inom husdjursnäringen under 1900-talet, och vi fortsätter att använda urvalsmetoden för att öka produktionen. Därför känns användningen av genteknik enbart med syftet att öka produktionen mindre intressant jämfört med de tänkbara tillämpningarna som nämns ovan.

Överdriven rädsla för allergier

När det gäller livsmedelskvalitet finns det redan en del intressanta försök med genteknik. Man vill åstadkomma livsmedel som är mer hälsosamma eller mer smakrika än konventionella produkter. En forskargrupp från Nya Zeeland har förändrat mjölkens sammansättning hos kor genom att föra in några extrakopior av arvs-

anlagen för vissa mjölkproteiner. Det gör att mjölken ger mer ost än vanlig mjölk. En forskargrupp i Japan arbetar med att ta fram ”hälsogrisar” som producerar kött med nyttigare fetter. Med hjälp av en gen från spenat får de mättade fettsyror att övergå till omättade.

En möjlig risk är att livsmedelsprodukter från GM-husdjur i något fall skulle kunna vara skadliga för människan eller orsaka någon form av födoämnesallergi. Men den här risken är av begränsad omfattning och egentligen inte annorlunda än för husdjur utvecklade med traditionell avel. En fördel med genteknik i det här sammanhanget är att man vet vilken förändring man har åstadkommit, och det underlättar riskvärderingen. Vid traditionell avel kommer då och då nya mutationer att uppstå som i mycket sällsynta fall skulle kunna orsaka problem med livsmedelskvaliteten, men i det fallet har man ingen aning om vilken gen som är förändrad.

I debatten har det förekommit vilseledande påståenden om att användning av GMO skulle öka risken för allergier i hög grad. Men det finns inga som helst vetenskapliga belägg för att så skulle vara fallet. Tvärtom kan gentekniken göra det möjligt att modifiera vissa gener som ger upphov till kända allergier. Det finns en sund skepsis mot främmande ämnen i livsmedel mot bakgrund av de problem vi tidigare upplevt med kemikalier som spridits i naturen och till slut hamnat

som farliga föroreningar i livsmedel. Men de gener man tillför en genmodifierad organism är inte giftiga i sig. Man kan naturligtvis aldrig utesluta möjligheten att proteinet från en överförd gen stör någon biologisk process på ett oväntat sätt. Men om detta sker kommer det med största sannolikhet att drabba GM-djuret innan det uppstår problem med livsmedelskvaliteten.

Hanterbara risker

Användning av genmodifierade husdjur (med undantag för domesticerade fiskar) skulle innebära försumbara ekologiska risker. För det första är det relativt lätt att kontrollera spridningen av husdjur i naturen om de skulle rymma från gårdar. Dessutom är våra moderna husdjur dåligt anpassade till att leva i naturen, och de genetiska förändringar man vill åstadkomma skulle knappast innebära en fördel om de spreds till en vild population.

Kunskapen om geners funktion och alltmer effektiva metoder för att göra specifika genmodifieringar ökar snabbt. Det råder ingen tvekan om att det kommer att öppna intressanta möjligheter för tillämpning av genteknik även på livsmedelsproducerande husdjur. De risker som finns kan inte ignoreras, men de verkar vara hanterbara. Det är därför högst sannolikt att denna teknik kommer att användas i framtiden, först i länder som USA och Kina och så småningom även i Europa. När detta kommer att ske är dock högst osäkert, och

det blir inte förrän livsmedel från genmodifierade växter är allmänt accepterade bland konsumenterna.

Genteknik kommer aldrig att ersätta traditionell avelsvärdering, eftersom genmodifierade avelsdjur måste utvärderas på samma sätt som vanliga avelsdjur för att man ska kunna bedöma värdet och eventuella negativa sidoeffekter av en viss genmodifiering. Dessutom kommer den ärftliga variationen i husdjurspopulationer att finnas kvar eftersom husdjur inte är starkt inavlade och nya spontana mutationer uppstår i varje generation. Genteknik kan alltså användas för att introducera genmodifieringar som sedan utvärderas på samma sätt som de spontana mutationer som hittills har varit husdjursavelns fundament. Men det återstår en hel del utvecklingsarbete innan gentekniken kan integreras i traditionella avelsprogram.

Leif Andersson är professor i husdjursgenetik vid Sveriges lanbruksuniversitet och gästprofessor i funktionsgenomik vid Uppsala universitet. Hans forskargrupp använder husdjur som modell för att klarlägga geners funktion och deras betydelse för olika egenskaper (=funktionsgenomik).

Genmodifierad fisk måste hållas i schack

Snabbväxande fisk för en växande fiskodling, diabetiker utan sprutor, och fisk som ändrar färg när badvattnet blir skadligt. Det här är exempel på tänkbara tillämpningar av genmodifierad fisk. Det kan komma en dag när vi i fiskaffären kan köpa GM-torsk med förhöjt näringsvärde, ”allergisäkra” räkor och gäddor som kan leva på växtprotein, skriver Fredrik Sundström och Jörgen Johnsson på Göteborgs universitet. Till baksidorna med GM-fiskarna hör att vi inte riktigt vet hur de fungerar i naturen. Kan odlade GM-fiskar minska trycket på vilda populationer? Eller kommer de att rymma och göra så att naturliga bestånd går förlorade?

Fredrik Sundström

Jörgen Johnsson

Möjligheterna att förändra organismer med hjälp av genteknik berör alla som är intresserade av fisk, vare sig det är för att äta, fånga eller hålla dem i akvarium. Sedan mitten av 1980-talet när de första genmodifierade fiskarna såg dagens ljus har man lyckats framställa flera olika typer. Vissa typer ger högre tillväxt, andra gör att fisken kan producera läkemedel, och en tredje typ gör fisken fluorescerande på beställning – för att bara nämna några exempel.

Fiskodling är den snabbast växande sektorn inom livsmedelsproduktionen och väntas gå om köttproduktionen inom tio år. De snabbväxande GM-fiskarna kan bidra till att möta en ökande efterfrågan på fiskprodukter, inte minst i u-länderna som står för 85 procent av världens fiskodling. Samtidigt finns det en utbredd oro i samhället för konsekvenserna av att tillåta produktion av genmodifierad fisk. Oron gäller etiska, hälsomässiga och ekologiska aspekter. Det här kapitlet kommer inte att ge alla svar, men förhoppningsvis hjälpa dig att få en bredare bild av de möjligheter och risker som framställning av genmodifierad fisk kan innebära.

Så framställs GM-fiskarna

En genmodifierad fisk framställs genom att främmande gener förs in i fiskens arvsmassa, ofta redan på äggstadiet. De främmande generna kommer framför allt från andra fiskarter, men mänskliga gener kan också användas. De vanligaste metoderna för att framställa genmodifierade

fiskar är mikroinjektion (genen injiceras i ägget genom en mycket fin nål) och elektroporering (ägget utsätts för en svag ström som gör att cellväggen öppnar sig och genen kan flyta in i ägget). Överlevnaden hos de behandlade äggen varierar, liksom sannolikheten för att den nya genen kopplas ihop med arvsmassan och fungerar hos den mottagande individen. Hur väl man lyckas beror på den tekniska skickligheten, metoden och vilken art som används.

När man väl har lyckats få fram livsdugliga genmodifierade individer kan dessa själva producera avkomma så som fiskar har gjort på egen hand i alla tider. På så sätt kan man enkelt få fram stora mängder genmodifierade individer, men dessa blir alltid av samma art och typ som föräldrarna. I dagsläget har närmare fyrtiotalet fisk-arter använts för att framställa genmodifierade stammar. De vanligaste är risfisk och zebrafisk som valts för att de har kort generationstid, genomskinliga ägg och är lätta att hålla och odla i akvariemiljö. Tilapia, flera arter av karp, guldfisk och laxfisk har valts för att de är av stort ekonomiskt intresse. Även två arter av grönling, tre arter malar, två sparider, killifisk, gös, gädda, bass och en släkting till guppy har använts.

Färgad fisk som miljöindikator

Ett stort område inom grundforskningen på GM-fiskar handlar om att överföra gener för ett fluorescerande

protein (GFP) från maneten *Aequorea victoria*. När genen hamnar hos fisken bildas ett protein som fluorescerar när det belyses med ett speciellt ljus. Det här kan man utnyttja när man vill överföra andra gener som inte ger en direkt synbar effekt på mottagaren. Genom att koppla ihop den önskade genen med GFP-genen och föra in hela paketet i ett fiskägg kan man genom att belysa fisken se om den önskade genen verkligen har kopplats ihop med mottagarens arvsmassa.

Genom ytterligare modifiering av GFP kan man få fram olika färger, som dessutom syns vid vanligt dagsljus. På det sättet går det att ta fram nya färgvarianter av fisk, något som kan bli intressant inom akvariefiskhandeln. Men viktigare är att den här typen av fiskar kan användas som miljöindikatorer. Genom att låta något slags ämne, till exempel en tungmetall, aktivera produktionen av GFP-proteinet skulle fisken kunna bli färgad om det blir för höga halter av ämnet i vattnet. Tänk dig en fisk som blir röd när vattnet i din badsjö innehåller för höga halter av koppar!

Specifika genavsnitt kan sättas in i enskilda individer som ett slags snabbåtkomligt ID. På detta sätt skulle varje cell hos fisken tala om vem den är. Kanske inget för guppyodlaren, men för köparen av koikarpar som kan kosta upp till hundratusentals kronor kan detta vara en bra säkerhetsåtgärd.

Fisk som medicinfabrik

GM-fiskar med gener överförda från människa kan användas som ”biologiska fabriker” för framställning av medicinska produkter. Hos tilapia med överförda mänskliga gener produceras insulin från celler som i en framtid skulle kunna transplanteras in hos diabetiker. Genmodifiering kan också användas för att förbättra immunförsvaret och öka sjukdomsresistensen hos kommersiellt intressanta fiskarter. Gener som medför ökad köldtolerans kan dessutom möjliggöra odling av arter under kallare förhållanden än de normalt klarar av.

Men den viktigaste tillämpningen av GM-tekniken är för närvarande att öka tillväxthastigheten hos fisk genom att föra in gener som ökar produktionen av tillväxthormon. Detta har lyckats hos flera laxfiskar, karpar och gädda. Tillväxtökningen varierar beroende på vilken art och vilken gen som används. Hos stillahavslax och en grönling har man åstadkommit fiskar som väger över 30 gånger så mycket som sina normala syskon redan vid ett års ålder. I laxens fall påverkas inte den maximala storleken, medan grönlingarna kan bli nästan fem gånger så stora som sina normala syskon. En fördel med fiskar som har genmodifierats för ökad tillväxt är att de blir mer effektiva på att utnyttja den föda de får. Det gör att de kräver mindre föda för att producera samma kroppsmassa som vanliga fiskar.

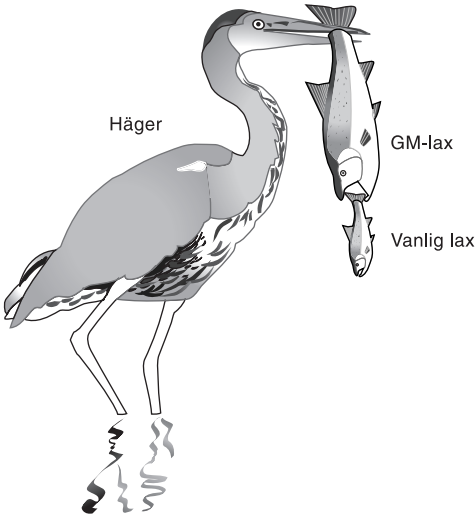
Gener på rymmen

På längre sikt är kanske den viktigaste frågan de ekologiska risker som GM-fiskar kan innebära om de skulle komma ut i naturen. Fokus ligger på fiskar med förhöjd tillväxt, eftersom det framför allt är dessa som är kommersiellt intressanta. Erfarenheter från konventionella marina laxodlingar visar att rymning är vanligt när till exempel stormar eller rovdjur har slitit sönder odlingskassarna. Vilka blir konsekvenserna om snabbväxande hungriga fiskar rymmer och konkurrerar med artfränder och andra arter? Har de ett annat födoval som kan störa balansen i ekosystemet? Kan förrymd GM-fisk konkurrera ut vild fisk i naturliga vattendrag?

Vi vet att genmodifierade laxar har större aptit och är mer benägna att exponera sig för rovdjur än normala fiskar i laboratoriemiljön. Försök med genmodifierade malar i dammar visar att de kan falla offer för rovdjur i större utsträckning än normal fisk. Eftersom genmodifierad fisk inte kan släppas ut i naturen har forskare simulerat deras förhöjda halter av tillväxthormon med hjälp av långtidsverkande hormonimplantat. Experimenten har visat att hormonbehandlad fisk kan växa snabbare och överleva lika bra som normal fisk även under naturliga förhållanden.

Flera teoretiska modeller har utvecklats för att förutsäga spridningen av gener från förrymd GM-fisk i vilda populationer. Beroende på vilka data som stoppas in i

modellerna kan utfallet bli allt från att den nya genen försvinner till att den sprids till hela populationen. Faktorer som spelar in är bland annat de genmodifierade hanarnas parningsframgång och avkommans överlevnad. Men många forskare varnar för övertro på teoretiska modeller. Man anser att kunskapen om biologin hos GM-fisk fortfarande är alltför bristfällig för att tillförlitliga bedömningar av riskerna ska kunna göras. I klartext betyder det att vi vet ungefär vilka faktorer som ska stoppas in i modellerna, men vi har



Kommer förrymda hungriga GM-fiskar att slå ut vilda bestånd – eller är de så dåligt anpassade till ett liv i frihet att de lätt faller offer för rovdjur?

dålig kunskap om vilka värden dessa faktorer ska ges. De potentiella ekologiska risker som finns har mötts med olika förslag för att förhindra att GM-fiskarna rymmer. Det säkraste tillvägagångssättet är att odla steril fisk i slutna system i tankar på land. Alternativt kan fertil avelsfisk odlas på land, medan kassodlad fisk steriliseras så att de nya generna inte kan föras vidare. Nuvarande steriliseringsmetoder är dock inte hundraprocentigt effektiva, i synnerhet inte om de ska användas i kommersiell skala.

Generna i sig är inte hälsofarliga

Det finns en utbredd motvilja bland konsumenter mot att äta genmodifierad föda. Men den införda genen i sig bör inte ha någon inverkan eftersom vi ändå äter biljoner genfragment så snart vi stoppar något i munnen. Däremot har forskare varnat för att främmande gener möjligen kan öka fiskens tolerans mot miljögifter, som kan ansamlas i fiskköttet för att sedan konsumeras.

GM-fisk med ökad tillväxt innehåller höga halter av tillväxthormon, och det är osäkert hur det kan påverka människor. Hormonerna förstörs visserligen vid kokning, men kan finnas kvar i råa produkter som sushi och gravad fisk. Genteknik kan också användas för att förändra köttets textur, färg och kvalitet.

Gentekniken ger även möjligheter att *lösa* hälsoproblem med livsmedel. Precis som nya gener kan ge upphov till

nya allergener (allergiframkallande ämnen) kan gentekniken användas för att ändra allergener så att de inte längre ger upphov till allergiska reaktioner. Genteknisk forskning pågår nu för att förändra proteiner hos räkor så att allergiska reaktioner ska kunna undvikas.

GM-laxar mer aggressiva

Förutom att det finns en uppenbar etisk aspekt på att manipulera organismers arvsmassa uppkommer också andra effekter av GM-tekniken. Snabbväxande GM-lax får i vissa fall fysiska missbildningar som kan orsaka sämre simförmåga, nedsatt andningsförmåga och svårigheter att svälja. Det ökade behovet av föda förändrar beteendet så att GM-laxar har högre aktivitet och är mer aggressiva än sina normala syskon.

Vissa av dessa effekter kan antagligen minskas genom att odlaren väljer ut individer som inte uppvisar abnormiteter, som man har gjort hos domesticerade stammar av lax. Exempelvis kan konventionellt odlad regnbågslax tillväxa lika snabbt som GM-fisk utan att för den skull uppvisa samma missbildningar. Skillnaden är att med genteknik kan en förändring ske över en generation i stället för över tio eller hundratals som det tar med konventionella metoder.

Missbildningar förekommer dock även hos andra fiskarter, till exempel guldfiskar där just abnormiteter premierats, något som måste tas med i debatten.

Negativa effekter på GM-fiskar med andra egenskaper än förhöjd tillväxt har inte rapporterats, men det betyder inte att de inte finns.

Deklarerade fiskgener i framtidens fiskaffär

I det här kapitlet har vi försökt beskriva både möjligheter och problem med genmodifiering av fisk. Med hjälp av gentekniken kan vi få veta saker som vi annars inte kunnat ta reda på, och vi kan skräddarsy fisk för att möta specifika behov. Samtidigt måste nyttan vägas mot de etiska problem och ekologiska risker som produktion av genmodifierad fisk kan medföra. Forskarna är oeniga när det gäller effekterna av kommersiell framställning av GM-fisk. Kanske kan en ökad odling av snabbväxande fisk minska fisketrycket på vilda populationer? Eller kommer förrymd GM-fisk att konkurrera med vild så att naturliga bestånd går förlorade?

Medan debatten pågår utvecklas gentekniken snabbt och det kommersiella trycket på vidare utveckling och exploatering är mycket starkt. Ett tänkbart framtida scenario är att GM-fisk tillåts inom forskning men inte i kommersiell odling. Eller så kan odling tillåtas under kontrollerade förhållanden, där risken för att fiskarna ska komma ut i naturen är obefintlig. Men först krävs ett bättre kunskapsunderlag för att riktiga beslut ska kunna fattas i en nära framtid.

Om politiker och konsumenter vill kan vi komma att få genmodifierad lax och andra arter som kan odlas i ett bredare spektrum av miljöer och som bara får enkönad eller steril avkomma. I fiskaffären kommer du kanske att kunna köpa GM-torsk med förhöjt näringsvärde, ”allergisäkra” räkor och gäddor som kan utnyttja växtprotein – och på innehållsdeklarationen kan du läsa hur mycket laxgener det finns i laxen du köper!

Fredrik Sundström är doktorand vid Zoologiska institutionen, Göteborgs universitet. Han arbetar bland annat på West Vancouver Laboratory i Kanada med stillahavslaxar som har genmodifierats för att växa snabbare.

Jörgen Johnsson är docent vid Zoologiska institutionen, Göteborgs universitet. Han arbetar med laxfiskars beteende och ekologi, men även med riskbedömning av genmodifierad fisk.

GM-mat kan vara säkrare och nyttigare än vanlig mat

Maten kan bli både säkrare och nyttigare med hjälp av genteknik. Tekniken ger oss redskap för att snabbt identifiera farliga bakterier och virus i maten, och den kan ge oss livsmedel som innehåller mer av nyttiga ämnen och mindre av skadliga ämnen än dagens mat. Eftersom det inte finns någon internationell överenskommelse om att stoppa GM-maten kommer vi snart att ha den här vare sig vi vill eller ej, skriver Sven Lindgren på Livsmedelsverket. En ny förordning från EU är på gång. Med den ska vi inte behöva ifrågasätta säkerheten hos GM-maten. Men i slutet av kapitlet finns en liten brasklapp för kunskapsluckor.

Sven Lindgren

Konsumenter och konsumentorganisationer har svårt att se behovet av den snabba utveckling som pågår inom området genteknik, och många uppfattar de produkter som tas fram som en säkerhetsrisk. Miljarder konsumenter har ovetandes utsatts för livsmedel och livsmedelstillsatser som på ett eller annat sätt har genomgått modern genmodifiering. Trots att de inte har vetat om det kan man med fog säga att det idag råder en tydlig fientlighet mot livsmedelstekniska tillämpningar av gentekniken.

Opinionen har svängt de senaste åren från positiv till negativ. Ett intressant exempel är synen på den genmodifierade burktomat som i början av 1990-talet lanserades på marknaden i Storbritannien. Produkten var märkt med att den var genmodifierad, och den rönte stor uppskattning. I samband med den tilltagande debatten om GM-produkternas vara eller inte vara i slutet av 1990-talet miste tomaten sin popularitet och försvann från marknaden.

Möjligheter med genteknik

Ett område som inte kommer fram i debatten är genteknikens betydelse i arbetet med livsmedlens säkerhet och redlighet. Tekniken ger redskap för att snabbt och exakt identifiera farliga bakterier och virus i vår mat och den är ett mycket viktigt redskap när man försöker spåra samband mellan smittade personer och livsmedel. En analys av genuppsättningen i ett livsmedel ger ett svar

på dess råvaruinnehåll. Detta är ett viktigt redskap i arbetet med att spåra eventuella bedrägerier, till exempel laxens billigare släktingar, eller åsna som uppges vara nötkreatur. Man kan också visa att det verkligen är gås i gåslevern och inte anka eller häst, och att det inte är glutenbildande spannmål i glutenfria produkter.

Genteknik kan också användas för att öka innehållet av substanser som befrämjar konsumenternas hälsa samt produktionen av viktiga näringskomponenter i växterna. Man kan styra bildningen av vitaminer, aminosyror, mikronäringsämnen, antioxidanter och sammansättning av fettsyror och stärkelse. Ett känt exempel gäller ökat innehåll av järn och vitamin A i ris. Man kan också använda genteknik för att avlägsna skadliga ämnen, till exempel gifter och allergiframkallande ämnen.

Växter som används som livsmedel kan även genmodifieras för att i framtiden användas som vaccin. Potatis har till exempel modifierats så att den påverkar skyddet mot hepatit B respektive kolera.

GM-tillsatser i maten

När detaljhandeln för några år sedan rensade hyllorna från GM-produkter tänkte man inte på alla de produkter som innehåller tillsatser som härstammar från genmodifierade organismer. Dessa produkter finns alltså idag i våra svenska butiker.

Bakterier och mikrosvampar används för att producera tillsatser till maten. Utbytet från den producerande organismen kan ökas mellan tio och hundra gånger genom genetisk modifiering. Vitaminer (till exempel riboflavin från en stam av *Bacillus subtilus*), aminosyror, enzymer, förtjockningsmedel, konsistensgivare, färgämnen och organiska syror produceras genteknikskt (se tabell). Det innebär att enzymer som amylaser, lipaser och proteinaser som ofta används livsmedelstekniskt har sitt ursprung från sådana organismer. 90 procent av all amerikansk ost påstås vara producerad med löpe från GMO.

Unika smakämnen som vanilj och pepparmyntolja eller sötningsmedlet taumatin kan i framtiden produceras till en låg kostnad och ersätta de naturliga produkterna,

Enzym	GM-organism	Livsmedel
Alfaamylas	Bacillus	Bröd, drycker
Löpe	Aspergillus	Ost
Glukosoxidas	Aspergillus	Drycker, äggprodukter
Maltas, hemicellulas	Bacillus	Bröd
Pektinlyas	Aspergillus	Drycker
Proteas	Aspergillus, Bacillus	Ost, bröd, kött och fiskprodukter

Genmodifierade mikroorganismer producerar enzymer för olika livsmedelstekniska tillämpningar. *Bacillus* är en bakterie och *Aspergillus* är en svamp.

ett faktum som inte är särskilt välkänt bland konsumenterna.

Mikroorganismer som processhjälpmedel

Mjölksyrabakterier har använts under årtusenden för att ge mejeri- och charkuteriprodukter samt syrade grönsaker en tilltalande smak, konsistens och säkerhet. Samma sak gäller för jäst vid beredning av öl och vin och mögelsvamp i ost och soja. Dessa så kallade processhjälpmedel finns också som genmodifierade organismer med bättre utbyte. De finns bara i laboratorierna, inte ute på marknaden. Ingen industri vågar idag lansera produkter som innehåller GM-mikroorganismer.

Inom mejerihanteringen rör det sig om mjölksyrabakterier med hög produktion av aromämnet diacetyl (smörsmak), hög syrabildningsförmåga och förstärkt smak i ost. Osten får sin smak under lagringen genom att proteaser hos organismer som har tillsatts som startkultur bryter ner ostproteinerna till smakämnen. I öl kan man föra in en egenskap i jästen som medför att ölet inte behöver lagras. I annat fall lagras öl för att den smörsmak som bildas under jäsningen ska brytas ned. Det finns även exempel på att man har genmodifierat vinjäst så att den bryter ner malonsyra. Malonsyran bidrar i annat fall till att vinet får en stark, sur smak. Man skulle också kunna ta bort eventuella anlag för bildning av mykotoxiner (svampgifter) i mögelsvamp som används för smakbildning i ost.

Inget tvivel om säkerheten

Samhället måste ta ansvar för att utforma regler kring vad som kan accepteras med tanke på eventuella skador av GMO. Den snabba och i vissa fall svåröverskådliga utveckling som sker inom området ställer självklart krav på att de produkter som skapas inte får innebära problem för miljö och konsumenter.

År 1997 trädde ett nytt regelverk i kraft inom EU som berör området Nya Livsmedel (förordning 258/97). I detta regelverk inkluderas livsmedel och livsmedelsingredienser som innehåller GMO eller som framställts med GMO. GMO definieras enligt ett direktiv (90/220/EEG). En viktig ståndpunkt i förordningen är att livsmedel och livsmedelsingredienser inte får innebära fara för konsumenten, inte får vilseleda konsumenten samt inte får skilja sig från livsmedel och livsmedelsingredienser som de ersätter. Säkerheten ska aldrig behöva ifrågasättas.

Säkerhetsvärderingarna är synnerligen kostsamma, och i dagsläget är det bara stora och väletablerade multinationella företag som bedriver utveckling på området. Fyra företag har i dagsläget ansökt om tillstånd att lansera 19 nya GM-produkter inom EU. Den kostnadskrävande säkerhetsvärderingen avspeglas i det slutliga priset på produkterna, som måste bära sina utvecklingskostnader. För de växter med herbicid- och/eller insektresistens som hittills har godkänts är odlarna beredda att betala för ett mervärde.

Ny förordning inom EU

En ny förordning som berör GMO är under utformning inom EU. I denna nya förordning bryts GM-livsmedel ut från förordningen för Nya Livsmedel, och man skapar ett enhetligt regelverk som omfattar GMO i livsmedel och fodermedel. Reglerna inbegriper också eventuella miljökonsekvenser. Genom att rådet och parlamentet kom överens i juli 2003 är avsikten att den nya förordningen ska träda i kraft i början av år 2004. I anslutning till förslaget till ny förordning har även en handledning utformats för säkerhetsvärderingen.

Inledningsvis utförs en jämförande analys av välbekanta egenskaper. Genetiskt modifierade organismer kommer från välkända växter, och det förenklar första steget i riskvärderingen. I nästa fas tittar man på ”påtagliga likheter” med motsvarande omodifierade växt. Om det inte finns en påtaglig likhet innebär inte detta att produkten är osäker. Däremot krävs en mer omfattande värdering.

I likhet med all annan säkerhetsvärdering inom livsmedelsområdet tittar man på eventuella giftiga och allergiframkallande egenskaper. Det säger sig självt att om man överför genetiskt material från en giftig planta till en säker växt så kan man alltid åstadkomma något farligt. Detta skedde när man överförde ett toxiskt snödroppelektin till potatis. Samma sak hände för allergener när man kombinerade en sojaböna med anlag från

paranöt. Sojabönan kom att innehålla allergener från paranöten.

Konstruktionen ska beskrivas

Som följd av det genetiska konstruktionsarbetet kan man få både förväntade och oförväntade resultat. Oförväntade resultat ställer krav på god kunskap om eventuella risker med själva konstruktionsarbetet, till exempel risk för horisontell överföring av genmaterial till andra växter och mikroorganismer. Generellt gäller att man ska undvika eller minimera införandet av onödigt genmaterial. Detsamma gäller spridning av GMO i naturen.

I den nya förordningen ställs det större krav på information som rör konstruktionsarbetet. Man ska bland annat karakterisera det insatta eller avlägsnade genmaterialet, tala om var den nya genen har placerats, hur den regleras och kommer till uttryck samt hur stabil konstruktionen är. Även området som omger en insatt gen måste redovisas med tanke på risken att det kan bildas nya och oväntade proteiner.

Ett område som har debatterats livligt gäller förekomsten av antibiotikaresistens som så kallad selektionsmarkör. Selektionsmarkörer används i konstruktionsarbetet för att man ska hitta det fåtal individer där genöverföringen har lyckats. Även om det finns underlag som pekar på att oron för spridning av resistens via gentekniken är överdriven så är de här generna inte önskvärda. Idag

finns det andra selektionsmarkörer som inte bygger på antibiotikaresistens.

GM-livsmedel ska märkas

I dag krävs det att livsmedel som innehåller mer än 0,9 procent av en genmodifierad råvara ska märkas. Det gäller också för livsmedel som man avsiktligt har gett en tillsats av en mindre mängd GM-produkt. Det pågår en diskussion om huruvida detta ska gälla även för produkter som har framställts med genteknik men där slutprodukten inte innehåller spår av modifierat DNA. Det innebär att tillsatser som har framställts med GM-mikroorganismer förmodligen ska märkas i framtiden. En intressant iakttagelse är att livsmedel från husdjur som har utfodrats med GM-foder inte behöver märkas.

En tidsfråga

Trots dagens negativa konsumentreaktion mot gentekniska tillämpningar inom livsmedelsområdet är det svårt att tro att teknikutvecklingen går att bromsa. Det är snarare en fråga om hur lång tid det tar innan den kommer att accepteras. Det är bara att konstatera att det inte finns någon internationell överenskommelse om att stoppa utvecklingen.

Som exempel kan nämnas att Europa till 75 procent är beroende av import av proteinrika fodermedel, i huvudsak soja, för sin kött- och mjölkproduktion. Marknaden för soja som inte genmodifierats begränsas i allt större

utsträckning. Hos de traditionella exportländerna USA och Argentina förekommer så gott som uteslutande GM-råvara, och ingen vet hur länge det dröjer innan de nya producentländerna som Brasilien kan hålla sin marknad fri från GM-soja.

Säkrare än kemisk syntes

Gentekniken är säkrare än konventionell kemisk syntes, vilket avspeglas i att den används vid produktion av läkemedel. En förutsättning är att höga krav ställs på renheten hos de genfragment som överförs och på den tekniska utformningen. Men visst kan man förutse vissa risker genom indirekta eller oavsiktliga effekter av insatta gener och oavsiktliga mutationer som hör samman med insatta gener. Dessutom saknas det kunskap som visar på eventuella risker med aktivering av slumrande gener i samband med genteknisk modifiering. Det är dock viktigt att inse att det inte är generna i sig som är farliga att äta utan de ämnen som eventuellt bildas med information från generna.

Sven Lindgren är professor i livsmedelsmikrobiologi vid Statens livsmedelsverk. Han har under de senaste sju åren suttit i EU:s livsmedelsvetenskapliga råd och har bland annat deltagit i dess arbetsgrupp för Nya Livsmedel.

Konsumenterna är negativa till GM-maten

Konsumenternas motstånd mot genmodifierade livsmedel är ett problem för genteknikens vidare utveckling. Ulla-Kaisa Koivisto Hursti vid Uppsala universitet har undersökt vad det är som påverkar attityderna. Människor vill ha kontroll över sina liv, och många ogillar också att man mixtrar med Guds skapelse. Men kanske används de etiska överväganden som ursäkt för något helt annat, nämligen rädsla för ny teknik? Och kanske kommer motståndet att luckras upp när flera nya GM-livsmedel dyker upp på marknaden. I vilket fall som helst gäller det att möta rädslan med respekt och försöka nyansera diskussionen om teknikens fördelar och nackdelar.

Ulla-Kaisa Koivisto Hursti

Amerikanska och kanadensiska konsumenter har länge varit mer positiva till genmodifierade livsmedel än konsumenterna i Europa. Men de senaste undersökningarna visar att acceptansen för GM-livsmedel har minskat även i Nordamerika. Svenskarna var ännu för några år sedan mest negativa i Europa. Idag har konsumentattityderna i de andra europeiska länderna blivit mer negativa, samtidigt som de i Sverige har stannat på ungefär samma nivå som tidigare.

I vilken mån konsumenterna accepterar genmodifierade livsmedel beror bland annat på vilka fördelar man ser med produkterna, men också på etiska överväganden och på vilken risk man upplever med GM-maten. Det beror också på vilken typ av organism som modifieras. I en brittisk studie sa konsumenterna att de upplevde tillämpningar med mikroorganismer och växter som nyttiga, nödvändiga och fördelaktiga, medan tillämpningar med djur och människor uppfattades som oetiska, skadliga och farliga. Resultaten understryker vikten av att studera inställningen till speciella tillämpningar av gentekniken i stället för att undersöka inställningen till tekniken i stort.

Män mer positiva än kvinnor till GM-livsmedel

I Uppsala har vi gjort dels en rikstäckande enkätundersökning med 800 konsumenter, dels en intervjustudie med cirka 40 konsumenter. Enligt de här två undersökningarna är svenska konsumenter i allmänhet negativt

inställda till genmodifiering av livsmedel. De tillämpningar som väcker mest oro är sådana som anses vara svåra att kontrollera, innebära lidande för djur eller där det finns starka kommersiella intressen inblandade. Män var i de här undersökningarna mer positiva till GM-livsmedel än kvinnor, och yngre konsumenter mer positiva än äldre. Men det finns andra studier som visar att äldre är mer positiva än yngre.

Vissa tillämpningar är lättare att acceptera än andra, till exempel vete som modifieras för högre avkastning och ris som modifieras för högre innehåll av järn och betakaroten; det senare är ett förstadium till vitamin A. Här kan man se en direkt nytta för människor i u-länderna. Tillämpningar som involverar djur är precis som i den brittiska studien svårast att acceptera, medan tillämpningar med växter och mikroorganismer är lättare.

Det visar sig också att kontroll är viktigt. Mikroorganismer som oftast finns på laboratoriet anses vara lättare att kontrollera än växter som växer fritt i naturen. Dessutom tror många att eftersom mikroorganismer är så små är de också mindre farliga. Många upplever att det finns någon slags hierarki med mikroorganismerna i botten, sedan kommer växter och djur och sist människan på toppen. Eftersom mikroorganismer är så långt från oss människor är det lättare att acceptera att de genmodifieras. Många av de svenska konsumenterna nämnde att mikroorganismer inte kan känna och därför

inte kan lida av att de modifieras, som exempelvis djur kan.

Att mixtra med Guds skapelse

Mest oro väcker tillämpningar med mänskliga gener och med gener från djur. Det kan handla om överföring av mänskliga gener till andra organismer för användning inom livsmedelsproduktion, eller lax som genmodifieras så att den växer fortare. Sådana tillämpningar anses vara onödiga, oetiska och otäcka. Intervjupersonerna trodde inte att överföring av gener från en art till en annan kan ske i naturen, och många tyckte att det var fel att modifiera på ett sätt som inte är naturligt. Det ansågs vara att mixtra med Guds skapelse.

Konsumenter brukar uppge att de väljer livsmedel efter smak, pris, kvalitet, nyttighet och därför att maten är svenskproducerad. Man kunde därför tro att man genom att erbjuda konsumenterna GM-livsmedel som är godare, billigare och nyttigare än ”traditionella” livsmedel skulle kunna öka acceptansen. Detta är också vad man sett i engelska studier, men så verkar det inte vara i Sverige. Resultatet av den svenska enkätstudien visar att bättre smak och lägre pris inte är tillräckligt starka argument för att motivera konsumenterna att köpa GM-livsmedel. Däremot sa ungefär en tredjedel av konsumenterna i enkätstudien att det är troligt att de skulle köpa GM-livsmedel om de vore bättre för miljön

eller hälsosammare än vanliga livsmedel. Nästan två tredjedelar ansåg dock att det är fel att överhuvudtaget äta GM-livsmedel.

Märkning utan värde?

Konsumenten har rätt att få veta om maten innehåller genmodifierade organismer för att kunna göra medvetna val, och så gott som alla konsumenter anser att GM-livsmedel måste märkas. Att konsumenterna vill ha märkning av GM-livsmedel är gemensamt för alla länder där detta studerats. Resultaten från vår enkätstudie visar att konsumenterna inte bara vill ha märkning av livsmedel som till stor del består av GM-råvara eller som innehåller mer än 0,9 procent GM-råvara (som enligt lagen är gränsen för märkning). De vill helst att även livsmedel som eventuellt kan innehålla GM-råvara ska märkas.

I intervjustudien kom det emellertid fram en del funderingar kring märkning. Kommer det att bli så mycket information på förpackningarna att ingen orkar läsa den? Och om alla livsmedel som eventuellt kan innehålla genmodifierad råvara ska märkas så blir snart alla livsmedel märkta. Då kommer märkningen att helt sakna informationsvärde. Och i ärlighetens namn, hur många läser innehållsdeklarationen på de livsmedel som man handlar hem – varje gång man handlar? Frågan om märkning är alltså mycket komplicerad.

Vad betyder kunskapsnivån för acceptansen?

Det har påståtts att skillnaderna i konsumenters attityder skulle bero på kunskapsnivån. De som har bättre kunskaper om gentekniken skulle ha lättare att acceptera den eftersom de har bättre förståelse för hur modifieringen går till och därför också lättare att utvärdera riskerna. Men det är troligt att alla som har en stark åsikt om genmodifiering, positiv eller negativ, kommer att skaffa sig mer kunskap som stöder den uppfattning de redan har. Därför kan hög kunskapsnivå hänga ihop med både negativa och positiva attityder.

I vår studie såg vi att konsumenter som anser att vi har en hög grad av kunskap om konsekvenserna också är mer positivt inställda. Om man känner att någon har kontroll över konsekvenserna blir det kanske lättare att acceptera den nya tekniken. Resultat från en annan svensk studie tyder på att anledningen till konsumenternas rädsla för genmodifiering har att göra med rädslan att förlora kontrollen över sina egna liv.

Ingen större skillnad mellan olika länder

Danska studier har visat att konsumenter tror att konsumtion av GM-livsmedel påverkar hälsan negativt och inte är att lita på eftersom långtidskonsekvenserna för både individens hälsa och för miljön är okända. Detta stämmer väl överens med våra resultat för svenska konsumenter.

I en studie där konsumenters uppfattningar om genmodifierade livsmedel jämfördes i de nordiska länderna hittade man inga nämnvärda skillnader. Konsumenterna var medvetna om de fördelar som GM-livsmedel kan tänkas ha, men fördelarna kunde inte uppväga de negativa associationerna. Att ett livsmedel inte var genmodifierat ansågs vara ett värde i sig. Avgörande för uppfattningen om produkterna var framför allt om den genmodifierade organismen var kvar i slutprodukten eller inte. Om exempelvis ett enzym användes i produktionsprocessen men inte fanns kvar i slutprodukten, var detta livsmedel mer omtyckt av konsumenterna än sådana livsmedel där den genmodifierade organismen fanns kvar.

Rädsla för ny teknik?

GM-livsmedel uppfattas av många som ohälsosamma, och detta anges ofta som grund för den negativa inställningen. Det är dock så när det gäller maten att den obestridligt största risken för människans hälsa är den fettrika och fiberfattiga kost som många väljer att konsumera. Trots att konsumenterna känner till hälsoriskerna äter många fortfarande fel. Att GM-livsmedel är ohälsosamma kanske inte är den egentliga anledningen till den negativa attityden hos konsumenterna.

Är det så att anledningen till den negativa inställningen i stället är genuina etiska och moraliska överväganden om naturens väl och ve? Men varför skulle gentekniken vara ett större ingrepp i naturen än alla de andra ingrepp

som människan har gjort under historiens gång? Det kanske är så att de moraliska och etiska överväganden delvis används som en ursäkt för någonting som helt enkelt är rädsla för en ny teknik? Vi har alltid varit skeptiska till ny teknik, och vi är också i allmänhet skeptiska mot nya livsmedel. Under årens lopp har vi ändå accepterat en ofantlig mängd nya metoder och nya livsmedel.

Rädsla ska mötas med respekt

Ju mer vi utsätts för nya livsmedel, desto lättare blir det att acceptera dem. Kanske kommer motståndet att luckras upp när flera nya GM-livsmedel dyker upp på marknaden. Så länge det finns alternativ är det ingen som tvingas konsumera GM-livsmedel mot sin vilja. Men man måste själv göra aktiva val, och studier om märkning har visat att det är relativt få som läser den information som finns på livsmedelsförpackningar.

Flera forskningsrapporter har visat att information inte har någon större effekt på människors inställning till GM-livsmedel. Det har också visats att den negativa inställningen baseras på ganska diffusa uppfattningar om genteknikens risker. Kanske en mer nyanserad diskussion om genteknikens fördelar och nackdelar där man med respekt möter konsumenters rädslor och farhågor skulle öka acceptansen och förståelsen hos konsumenterna.

Ulla-Kaisa Koivisto Hursti är doktor i medicinsk vetenskap och forskare på Institutionen för folkhälso- och vårdvetenskap vid Uppsala universitet. Hon vill med sin forskning få bättre förståelse för varför vi äter som vi gör för att kunna åstadkomma förändringar i matvanorna.

På väg mot en rimlig etik

Genetiken har varit en av 1900-talets mest kontroversiella vetenskaper, och diskussionen pågår fortfarande om hur långt och snabbt vi får förändra naturen. Många är skeptiska till gentekniken med tanke på människans hälsa och naturens balans. En del anser också att den ensidigt gynnar storskaliga ekonomiska intressen. Tekniken kommer knappast att bli accepterad om den inte utnyttjas ansvarsfullt, skriver Nils Uddenberg som är etiskt sakkunnig i genteknikmnden. Han lyfter fram en rimlig etik som inkluderar en måttfull tolkning av försiktighetsprincipen, så att inte all teknikutveckling stoppas.

Nils Uddenberg

Joseph Gottlieb Kölreuter var botanikprofessor i Karlsruhe i sydvästra Tyskland mot slutet av 1700-talet. Han korsade olika närbesläktade arter av tobak med varandra och kunde konstatera att hybriderna växte kraftigt. Egentligen gjorde Kölreuter sina försök för att undersöka växternas sexuella fortplantning. Men Kölreuter kunde ändå inte undgå att notera de ekonomiska möjligheter som de snabbväxande hybriderna erbjöd. Han slog fast att han skulle vilja ”ha lyckan” att framställa hybrider av träd som om ”ursprungsträden behövde hundra år för att bli fullvuxna” kunde bli det på ”halva tiden”. På så sätt skulle man alltså snabbt kunna producera stora mängder timmer, något som kunde få ”stora effekter på ekonomin”.

Kölreuter är en av den experimentella botanikens föregångsgestalter. Hans korsningsförsök inspirerade med tiden bland andra den österrikiske munken Gregor Mendel och bidrog alltså till den utveckling som tvåhundra år senare ledde fram till den moderna molekylärbiologin och gentekniken.

Genetikens ekonomiska betydelse

Allt sedan de första jordbrukarna började välja sitt utsäde och sina avelsdjur har genetiken haft en ekonomisk sida, och lika länge har den inneburit att man manipulerat naturen i akt och mening att tillfredsställa mänskliga önskemål. Länge skedde det utan att man hade några teoretiska kunskaper. Lantbrukarnas erfarenhet att av-

komlingarna brukade likna sina föräldrar var tillräcklig för att de skulle göra det urval av utsäde och avelsdjur som resulterade i alla de mer eller mindre lokala odlingsvarianter och husdjursraser som uppstod på olika håll i världen och ofta fick egenskaper som gjorde dem lämpliga att användas just på den plats där de hade utvecklats. De förändringar som åstadkoms på detta sätt var ofta genomgripande; det har krävts mycket forskning för att reda ut våra moderna sädesslags genetiska ursprung.

Det var först med den moderna Mendelinspirerade genetiken omkring år 1900 som förädlingen av växter och djur fick mer vetenskaplig karaktär. I vårt land var Herman Nilsson-Ehle den drivande kraften. Han var botanikprofessor i Lund och föreståndare för Svenska Utsädesföreningen i Svalöv några mil norr om den skånska universitetsorten. Nilsson-Ehle förenade excellenta teoretiska kunskaper med stor ekonomisk medvetenhet och försummade aldrig att påpeka vilka ekonomiska värden som hans förädlingsarbete hade medfört. Riksdagen lät sig mycket riktigt övertygas och understödde hans forskning med väl tilltagna anslag. Senare under 1900-talet har genetikens ekonomiska betydelse förstärkts ännu mer. Samtidigt har de tekniska möjligheterna utvecklats.

DNA-modellen epokgörande

Då James Watson och Francis Crick år 1953 publicerade sin epokgörande modell av arvsmassans biokemiska

struktur blev ärftlighetsläran ännu mer exakt. För första gången i världshistorien kunde biologerna precisera vad ett genetiskt anlag egentligen är för något – en liten bit DNA – och förstå hur det genetiska budskapet förmedlas från kromosomerna till cellplasman där syntesen av de proteiner som reglerar ämnesomsättningen i cellen äger rum. Principerna för denna överföring visade sig i stort sett vara identiska hos alla levande varelser antingen det rörde sig om bakterier, mögelsvampar, bananflugor, tobaksplantor, möss eller människor. Bara två decennier efter det att Watson och Crick hade offentliggjort sin upptäckt blev det möjligt att flytta arvsanlag från en organism till en annan.

Möjligheterna väckte både förhoppningar och oro. Kölreuters gamla dröm om att kunna skapa växter eller djur med ur ekonomisk synvinkel optimala egenskaper tycktes äntligen kunna gå i uppfyllelse. Riskkapitalet strömmade till och bioteknikföretagen växte som svampar ur jorden. Men gentekniken visade sig inte alltid vara den guldgruva optimisterna hade drömt om. Tekniken var mer svårhanterlig än man ofta hade föreställt sig, och allmänhetens reaktioner var lindrigt talat avvaktande. Borde forskarna ”leka Gud” på detta sätt? Riskerade de inte att skapa nya livsformer som kunde sprida farliga sjukdomar eller ställa den ekologiska balansen på huvudet?

Moratorium i Asilomar

Även forskarna själva reagerade. År 1975 träffades de i Asilomar på den kaliforniska kusten för att under ledning av biokemisten Paul Berg diskutera hur de skulle förhålla sig till de nya möjligheterna. Om man fogade in en cancergen i en mikroorganism kunde man kanske riskera att skapa en smittsam tumörform. Forskarna enades om ett moratorium; i avvaktan på bättre kunskaper skulle de avstå från att framställa organismer med en arvsmassa som innehöll gener från olika livsformer.

Asilomarmoratoriet är troligen vetenskapshistoriens enda exempel på att en grupp framgångsrika forskare har kommit överens om att avbryta sina undersökningar, och det blev mycket riktigt inte särskilt långvarigt. Redan ett år senare var de åter i full gång. Bara man arbetade under tillräckligt kontrollerade förhållanden ansågs forskningen vara riskfri.

Kraftiga reaktioner från allmänheten

Då var allmänhetens reaktioner svårare att komma till rätta med. Övertygelsen att människor inte borde ingripa i ”naturens ordning” visade sig vara djupt rotad, åtminstone bland de västerlänningar som skulle vara de första att beröras av den nya tekniken. Så länge gentekniken var begränsad till laboratorierna gjorde det väl inte så mycket, men när genteknikskt förädlade livsmedel fördes ut på marknaden blev reaktionerna kraftigare. Speciellt kraftiga blev de i Europa där konsumenterna inte

kände något behov av produkter som inte hade framställts med redan väletablerad teknik.

Saken blev inte enklare av att de första livsmedel som började säljas hade framställts ur grödor som gjorts tåliga mot ett ogräsbekämpningsmedel. Misstänksamheten mot kemiska besprutningsmedel var djupt etablerad. I bakgrunden lurade Rachel Carsons ”tysta vår”. Det hjälpte inte att forskarna framhöll att bekämpningsmedlet snabbt bryts ner i naturen och bara ger upphov till ofarliga nedbrytningsprodukter.

Biologer och lekmän har olika syn på naturen

Vår tids svenskar föreställer sig ofta naturen som en balanserad helhet där varje organism har en plats att fylla. Det finns, menar de, en anledning till att varje enskild organism existerar. Den är utformad för att passa in i en helhet där den fyller en funktion. Tankemönstret är inte nytt; Linné spårade Skaparens visdom och omtanke bakom den ordning han tyckte sig kunna iaktta i naturen. Numera tänker sig de flesta inte att skapelsen gått till på detta sätt, men menar ändå att evolutionen har åstadkommit en optimalt inrättad värld där varje livsform har sin egen ekologiska uppgift att fylla. Guds avsikter har ersatts av naturens, och precis som Guds vilja var moraliskt bjudande kan ”naturens lagar” vara det. Gentekniken kan medföra att de arter som naturen själv har format så att de fyller sin uppgift i de ekologiska systemen, riskerar att ersättas

av mänskliga påfund med egenskaper som ingen kan förutse.

Naturligtvis har denna oro visst fog för sig. Uppenbarligen kan nya organismer som sätts in i gamla ekosystem vålla problem; kaninerna i Australien är ett ofta upprepat exempel. Men många professionella ekologer delar ändå inte allmänhetens farhågor. Delvis beror skillnaderna på att dessa naturvetenskapligt orienterade forskare har en annan syn på naturen än många lekmän. För dem saknar naturen avsikter och mening, och de arter som just nu råkar omge oss är bara ett tillfälligt resultat av evolutionens avsiktslösa processer. Inte heller anser dessa professionella biologer att alla livsformer behövs för att vidmakthålla ”den ekologiska balansen”. För övrigt kan man knappast tala om någon balans. Naturen utmärker sig snarare genom dynamiska förändringar än genom konstans och beständighet. Människan har alltid ingripit i den natur som finns runt omkring henne. Gentekniken är bara ett ytterligare exempel på detta – och inte nödvändigtvis det mest dramatiska.

Många invändningar

Rädslan för obetänksamma ingrepp i ”naturens ordning” är bara en anledning till att konsumenterna har ställt sig avvaktande inför produkter som framställts med hjälp av genteknik. Många undrar dessutom om dessa nya livsmedel kan vara farliga att förtära. De flesta experter

avvisar emellertid denna tanke. Det finns i grund och botten ingen anledning att förmoda att livsmedel som framställts av genmodifierade organismer skulle vara mer hälsovådliga än andra. Idag är kontrollen av sådana födoämnen snarast rigorösare än för andra, och allmänhetens reaktioner har resulterat i krav på märkning.

Andra kritiker har tagit fasta på att gentekniken ensidigt gynnar storskaliga ekonomiska intressen utan att vanliga människor har någon glädje av den. Utsädesbolagen ägnar sig åt ekonomisk imperialism; de fattiga ländernas småbrukare tvingas ersätta mångfalden av lokalt utvecklade odlingssorter med enhetliga grödor som saluförs av multinationella bolag, som också kammar hem vinsten.

En lång rad invändningar har alltså mött de genetiskt modifierade livsmedlen. Hur ser då en rimlig etik ut när det gäller produktion och marknadsföring av sådana produkter? Det kan för det första inte vara rimligt att skilja mellan vad som är ”naturligt” respektive ”onaturligt” när det gäller livsmedelsproduktion. Trots att marknadsförarna gärna framhåller att deras produkter är ”naturliga” och visar upp bilder av blommande ängar med betande boskap innebär allt lantbruk ”onaturliga” ingrepp i naturens spontana ordning. Varken böljande sädesfält eller blomsterrika beteshagar skulle uppstå utan människans medverkan. Om det svenska landskapet lämnades åt sitt öde, skulle det vara betydligt mer

enformigt och mindre artrikt än den brokiga mångfald som uppstått till följd av bondens ingrepp. En etik som grundas på vad som är ”naturligt” och vad som inte är det kan alltså knappast bli hållbar, men det innebär givetvis inte att alla mänskliga ingrepp i naturen är försvarbara.

Försiktighetsprincipen misstolkad

Även om riskerna antagligen ofta överdrivs kan det inte uteslutas att man skulle kunna skapa grödor med så radikalt ändrade egenskaper att de skulle kunna sprida sig okontrollerat i landskapet och ge upphov till oönskade förändringar i detta. I dessa sammanhang är det vanligt att hänvisa till den så kallade försiktighetsprincipen som säger att då man känner sig osäker på om ett visst ingrepp kan få ogynnsamma effekter bör man avstå från det. Försiktighetsprincipen har ofta misstolkats; den innebär inte att man bör avstå från att göra några ingrepp tills dess det är fullständigt bevisat att de aldrig skulle kunna få ogynnsamma effekter. Det skulle nämligen omöjliggöra all teknisk utveckling. Däremot medför försiktighetsprincipen ett visst ansvar för den som vill lansera en ny teknik. Vederbörande får ett moraliskt ansvar att tänka igenom konsekvenserna av tekniken och ge belägg för att den inte ska få ogynnsamma effekter.

Är det då möjligt att förutse när en viss genmodifierad organism kan medföra risker för miljön? Svaret är antagligen: Ja i viss mån! Det går att ha välgrundade

åsikter om vilka egenskaper som kan ge en organism tillfälle att sprida sig okontrollerat och vilka som inte gör det. Motståndskraft mot ett visst ogräsbekämpningsmedel ger knappast några fördelar så länge man inte sprider denna herbicid utanför åkrarna. Ökad motståndskraft mot kyla eller torka kan däremot tänkas öka en viss organisms förmåga att överleva även utanför de områden där den odlas, och grödor med sådana egenskaper måste därför hanteras med stor försiktighet.

Känsligt med djuren

Hittills har jag mest talat om växter. När det gäller djur blir frågorna ännu känsligare. Djurskyddsrörelsen har fått ökad uppmärksamhet under senare hälften av 1900-talet – inte minst bland de unga. Evolutionsläran har visat att skillnaderna mellan människor och djur inte alltid är så knivskarpa som vi tidigare gärna föreställde oss; vanan att hålla sällskapsdjur har gjort många medvetna om att djur inte sällan har välutvecklade mentala förmågor och ett rikt känsloliv.

De flesta moderna svenskar anser att inte enbart däggdjur och fåglar utan även ”lägre” djur kan lida och att vi därför har ett moraliskt ansvar att inte åsamka dem onödigt lidande. Genetisk modifiering som medför lidande hos djuren kommer knappast att få acceptans hos allmänheten. När läkemedelsbolaget Dupont för några år sedan presenterade den patenterade onkomusen som var genmodifierad för att ”regelbundet utveckla

cancer”, reagerade de flesta med avsmak. Köttrasen Belgian blue utvecklar så mycket bakdelskött att kalvarna inte kan komma till världen på det vanliga sättet utan korna måste förlösas med kejsarsnitt. Den är visserligen inte något resultat av genmodifiering, men bara det ”onaturliga” i detta fortplantningssätt kom köttproduktionen från dessa kor att framstå som oetisk och köttet som osmakligt.

Teknikutveckling under ansvar

Genetikens utveckling under 1900-talet är en enastående framgångshistoria. För lite drygt hundra år sedan var uppfattningen om ärftlighetens lagar fortfarande mycket diffus. Mot slutet av seklet hade arvsanlagens biokemiska struktur klarlagts i detalj och den ”genetiska koden” kunde läsas ”bokstav för bokstav”. Forskarnas insikter har hela tiden givit upphov till praktiska tillämpningar. När Mendels lagar återupptäcktes alldeles i början av seklet gav det omedelbart resultat i form av en mer framgångsrik växt- och djurförädling. Watsons och Cricks beskrivning av DNA-molekylen resulterade snart i alla de metoder som vi brukar sammanfatta under benämningen genteknik.

Samtidigt har genetiken varit en av det tjugonde seklets mest kontroversiella vetenskaper som givit upphov till uppslitande meningsutbyten om i vilken omfattning en människas liv bestäms av hennes arv och hur långt

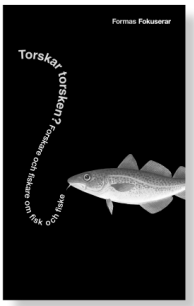
människan får driva sitt herravälde över naturen. Kölreuters drömmar om snabbväxande träd håller på att uppfyllas. Men gentekniken kommer knappast att få acceptans om den inte utnyttjas ansvarsfullt.

Nils Uddenberg är professor och författare. Efter utbildning till läkare har han de senaste tjugo åren framför allt arbetat inom gränsområdet mellan biologi och filosofi. Han är etiskt sakkunnig i den statliga genteknikn ämnden.

Tidigare utkomna Formas Fokuserar

Är eko reko? Om ekologiskt lantbruk i Sverige

Är det någon idé att köpa KRAV-märkt mat och betala lite mer? Är ekomaten verkligen bättre för hälsa och miljö? Vilka är egentligen skillnaderna mellan ekologiskt och konventionellt lantbruk? Ekologiskt lantbruk står högt på den politiska agendan. Regeringen har satt upp målet att 20 procent av åkerarealen ska vara ekologiskt odlad år 2005. Och Konsumentverket har fått i uppdrag att få oss att köpa mer ekomat. Som konsument har du rätt att få veta vad forskarna i dagsläget faktiskt vet – och varför de inte är överens.



Torskar torsken? Forskare och fiskare om fisk och fiske

Kommer vi att kunna äta torsk i framtiden – eller är det slutfiskat? Måste det bli ett torskfiskestopp? Kan fiskodling lösa problemen? Och hur ser det ut för andra arter i vattnet, som lax och kräftor? Sedan lång tid tillbaka har beslutsfattarna fått signaler från forskarna om att torskbestånden minskar. Men de har inte följt forskarnas råd. Framtidens fiske hänger på de beslut vi fattar idag. Frågan är hur stora risker vi är villiga att ta. Här finns det stora skillnader mellan olika intressegrupper. Vad säger forskarna – och vad säger fiskarna?