



KUNGL.
VETENSKAPS-
AKADEMIEN

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

VETENSKAPEN SÄGER

VETENSKAPEN SÄGER ★ NR 3 ★ AUGUSTI 2022

– om genmodifierade växter

Växtförädling har använts inom jordbruket i tusentals år. Men den explosiva utvecklingen inom cell- och molekylärbiologin på senare år har gett oss nya möjligheter att förädla växter med hjälp av genteknik. Resultatet kan bli minskad användning av gödsel och bekämpningsmedel samt nyttigare grödor som klarar ett förändrat klimat. Den här skriften vill beskriva vetenskapens syn på den roll som genmodifierade växter och växtförädling kan spela.

Från vilda arter till kulturväxter och vår tids förädlade grödor

Många av våra viktigaste grödor har en historia på cirka 10 000 år. Då övergick människan i det område i sydvästra Asien, som kallas den bördiga halvmånen, från att vara jägare och samlare till att bli bofasta jordbrukare. Ungefär samtidigt etablerades jordbruk även i Mellanamerika och i Sydostasien med majs respektive ris som bas.

Jordbruket innebar att människan förändrade de vilda arterna till kulturväxter. Processen kallas för domesticering och innebar genomgripande förändringar – från att vara väl anpassade till naturens ekosystem blev de nya växterna anpassade till jordbrukets förutsättningar. De ska bland annat kunna gro eller mogna vid samma tidpunkt, de ska sakna mekanismer för fröspridning och vara fria från giftiga eller illasmakande substanser.

Många egenskaper förändrades därför att de var värdefulla för människan trots att de saknade betydelse för växternas möjligheter att överleva i naturen. Jordbruket tillsammans med de nya odlingsformerna spreds över världen och anpassades under tusentals år till lokala klimat-, miljö- och så kallade ståndortsförhållanden. Växterna ska till exempel vara hårdiga mot frost på nordliga breddgrader och mot torka i varmare områden. Sådana lokala anpassningar byggde på att de varianter, bland nya spontant uppkomna genkombinationer och mutationer, som fungerade bäst i ett visst område gynnades. På så sätt etablerade människan lantsorter som var anpassade till lokala förhållanden och en rik genetisk mångfald uppstod.

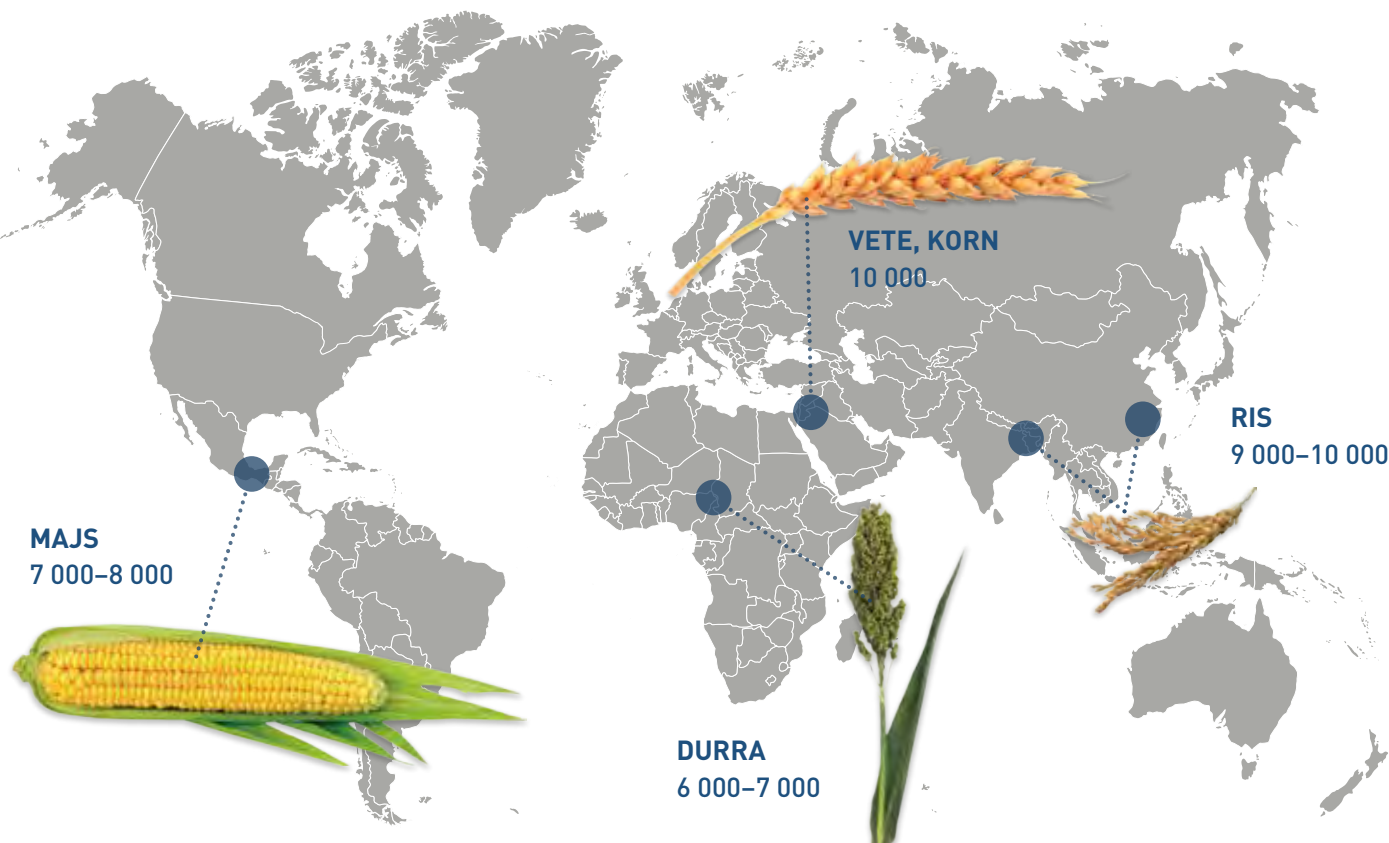
När den moderna växtförädlingen gjorde entré i slutet av 1800-talet utgick man från de gamla lantsorterna. Genom att tillämpa teorier från Darwin och Mendel gjorde växtförädlarna de första försöken till urval; de bästa typerna valdes ut och blev de första moderna sorterna. Ungefär samtidigt lärde man sig att korsa exemplar som hade önskvärda egenskaper och på så sätt producera nya och ännu bättre sorter. Men det var först med utvecklingen av den moderna cell- och molekylärbiologin som växtförädlarna fick tillgång till de mera precisa metoder som mycket av dagens växtförädling utnyttjar.

Växtförädling en grundpelare inom jordbruket

Det moderna jordbruket är minst lika vetenskaps- och teknikbaserat som andra kunskapsintensiva verksamheter, till exempel läkemedels- och IT-industrin. Så kommer det med all säkerhet att vara även i framtiden.

Förvisso ställs jordbruket inför delvis nya problem, som ökad miljöhänsyn och klimatanpassning, men lösningen ligger i att jordbruksforskningen ges delvis nya mål, inte i att forskningens betydelse tonas ner till förmån för en återgång till mer ålderdomliga jordbruksmetoder. Jordbruk måste även framöver vara högproduktivt och kunskapsintensivt.

Växtförädling är en av de vetenskapliga grundpelare som jordbruket vilar på. Det är på samma gång en både progressiv och konservativ verksamhet – gamla metoder används parallellt med de allra senaste. De nya redskap som tillkommer gör inte de gamla överflödiga – alla behövs men med olika syften.



Ursprungscentra för de viktigaste sädesslagen med ungefärlig tidsangivelse för domesticeringen.

Processen att ta fram en ny sort har en tidshorisont på cirka tio år, så förädlaren måste ta ställning till vad konsumenter och samhälle vill ha om ett decennium när sorten beräknas komma ut på marknaden. Miljöföreskrifter ändras, och klimatförändringar kommer successivt att påverka odlingsbetingelserna. Nya, mer svårbekämpade varianter av svampsjukdomar, och insektsarter som etablerar sig i nya områden, utgör ett ständigt hot. Konsumenternas krav förändras, flera munnar ska mättas i framtiden, samtidigt som jordbrukssystemen måste bli mera ekologiskt hållbara. Dessa och andra ändrade förutsättningar gör växtförädling till en ständigt pågående och alltid aktuell process – för alla växtslag.

Växtförädling är ofta en internationell verksamhet. Multinationella företagsgrupper med stora resurser för egen forskning och utveckling konkurrerar med mindre, mer regionala företag och statligt stödda förädlingsinsatser. Sverige ligger inte bara längre

norrut (och har därmed andra ljusförhållanden) än andra områden på jorden med jämförbart klimat. Vi har även extremt varierande villkor för jord- och trädgårdsbruk över landet; att odla i norr är inte detsamma som att odla i söder. Vi behöver sorter som är anpassade till dessa förutsättningar – och därför är svensk växtförädling viktig.

Växtförädlarens verktygslåda utökas

När man började förstå de genetiska mekanismerna kring förra sekelskiftet inträdde ett nytt skede i växtförädlingen. Man insåg att självbefruktande arter består av en mängd populationer av genetiskt enhetliga men sinsemellan olika varianter. Sådana varianter kallas för rena linjer. Genom att korsa individer från olika rena linjer får man en önskvärd genetisk variation hos den nya växten. Ur den kan man sedan söka förbättrade varianter. Hos korsbefruktande arter skapar man i stället en

motsvarighet till rena linjer genom systematisk inavel. Korsning mellan ursprungsplantorna (föräldrar) från sådana inavelslinjer ger nya plantor (avkommor) som utvecklas avsevärt bättre och ger en större skörd.

I början av 1930-talet stod det klart att antalet kromosomer i en växtcell kan öka spontant, så kallad polyploid. Processen har spelat en viktig roll i evolutionen av högre vilda växter, och även för kulturväxter som exempelvis brödvete, saffranskrokus och potatis. En ökning av kromosomtalet kan ofta ge ökad avkastning och andra önskade egenskaper. Detta väckte intresse för framställning av polyploider och i dag är många moderna sorter av klöver, sockerbeta, banan och ett flertal andra grödor konstgjorda polyploider.

I takt med att nya vetenskapliga rön gjordes lades nya metoder successivt till i växtförädlarens verktygslåda. Under 1960-talet utvecklades cell- och vävnadsodlingen – tekniken att odla till exempel celler, embryon eller enskilda pollenkorn i laboratoriemiljö och få dem att utvecklas till hela plantor.

Denna metod blev också en förutsättning för att kunna tillämpa andra metoder från den moderna molekylärbiologin i den praktiska förädlingen. Cell- och vävnadskulturer används numera för de flesta grödor när man vill flytta gener mellan olika organismer eller göra ändringar i deras genom (arvs massa).

Genetiskt modifierade växter (GM-växter)

Den nya tekniken gjorde det möjligt att föra in gener i en växts genom utan att använda konventionella sexuella korsningar. Det kallas transformation och resultatet blir en transgen eller cisgen växt (se faktaruta). Vid den mest använda metoden för transformation utnyttjas jordbakterien *Agrobacterium tumefaciens*. I naturen orsakar bakterien krongallsjuka, en sjukdom som yttrar sig som tumörartade utväxter på den infekterade växten. Bakterierna för in gener för tillväxthormon och för ämnen som kallas opiner i växtens genom. Generna

för tillväxthormon gör att de celler som bakterierna modifierat delar sig okontrollerat och de opiner som produceras ger bakterierna näring. Man kan säga att bakterien skaffar sig ett eget skafferi (tumören).

Denna upptäckt ledde fram till insikten att man kan utnyttja bakterien för att framställa växter med andra egenskaper än tumörbildning. Genom att ta bort de gener i bakterien som producerar opiner och orsakar tumörer i växten och ersätta dem med de gener som man vill föra in, får man ett redskap för att transformera växter och ge dem de önskvärda egenskaperna. De första vetenskapliga artiklarna som visade detta publicerades 1983. Sedan dess har andra tekniker för att modifiera växter utvecklats, men naturens egen genmodifierare, *Agrobacterium*, används fortfarande.

Hur vet man vad en gen gör?

En förutsättning för att genteknik ska kunna användas i växtförädlingen är att värdefulla gener identifieras. En vanlig metod för att ta reda på vad en gen gör är att inaktivera den så att den inte längre påverkar organismens egenskaper. Jämför man en växt som har alla sina gener intakta, med en där en gen har inaktiverats, kan man förstå funktionen av just den genen. Alternativt kan man öka genens aktivitet för att se vilken eller vilka funktioner som förstärks.

Under 2000-talet har stora framsteg gjorts inom genomik, en vetenskapsgren där en organisms hela genom studeras. Den snabba utvecklingen har varit möjlig genom att tekniker för att sekvensbestämma DNA utvecklats. De första sekvensbestämningarna tog lång tid och var mycket kostsamma. I dag är det rutin och man känner till funktionen av tiotusentals växtgener hos ett stort antal arter. Genom att sekvensbestämma DNA från olika individer av samma art blir det möjligt att studera den genetiska variationen. Det har visat sig att den kan vara oväntat stor: två kommersiella majssorter kan ha bara två tredjedelar av sitt genom gemensamt; den sista tredjedelen utgörs av DNA som är unikt för vardera sorten.



Den genetiska variationen i en och samma sort av till exempel majs kan vara mycket stor.

Cisgen. Om det tillförda DNA:t kommer från samma art, eller en närbesläktad art som grödan kan korsa sig med, kallas växten för cisgen.

Transgen. Om det tillförda DNA:t kommer från en art som växten inte kan korsa sig med kallas växten för transgen. I lagstiftningen används termen genetiskt modifierad växt om både cisgena och transgena växter.

Nukleotid. DNA-strängen byggs upp av nukleotider som tillsammans bildar en spiralformad dubbelhelix. De namnges av den kvävebas som är kopplad till varje nukleotid: Adenin (A), Tymin (T), Cytosin (C) och Guanin (G).

Sekvensbestämning. Sekvensbestämning innebär att man läser av och därmed tar reda på den inbördes ordningen av de nukleotider som bygger upp en organisms genom.

Ståndort. En växtplats med enhetliga egenskaper vad gäller klimat, mark och biotiska faktorer. Ordet biotisk används om miljöfaktorer som orsakas av levande varelser.

Lantsort. En gröda som inte förädlats formellt, är lokalt anpassad och är förknippad med lokala odlingssystem.

Generationstid. Den tid det tar innan en population av nyfödda individer i sin tur kan få avkomma.



Emmanuelle Charpentier och Jennifer Doudna fick Nobelpriset i kemi år 2020 för upptäckten av CRISPR/Cas9.

DNA-profil hjälper till med urvalet

För att välja ut vilka individer som är lämpliga att korsa gör man en "DNA-profil". Så kan man mer effektivt selektera fram egenskaper som styrs av många gener, var och en med ganska liten effekt. Vid förädling av växter som inte blommar förrän efter många år kan generationstiden kortas drastiskt genom att man identifierar de gener som styr blomningen och med genteknik kontrollera dessa. Eftersom effektiviteten i förädlingen är direkt beroende av generationstiden leder detta till stora förädlingsvinster, speciellt för långlivade arter som träd.

Gensaxen – ett stort genombrott

En modernare form av den konventionella mutationsförädlingen är att med hjälp av genredigering finjustera enstaka egenskaper i en i övrigt bra växtsort. De verktyg som används kallas populärt för gensaxar. Vid konventionell



Emmanuelle Charpentier



Jennifer Doudna

mutationsförädling används mutationsframkallande ämnen eller strålning. Dessa tekniker började utvecklas redan för 100 år sedan och leder till slumpmässiga mutationer över hela genomet. Med verktyg för genredigering kan forskaren eller förädlaren på förhand bestämma var mutationerna ska ske, mutationerna blir riktade. Genredigering har använts inom forskningen sedan 1990-talet, men det stora genombrottet kom när det Nobelprisbelönade verktyget CRISPR/Cas9 utvecklades i början av 2010-talet. Teknikerna för genredigering har öppnat helt nya möjligheter för forskare och växtförädlare att med större precision än någonsin förändra en växts eget DNA.

Vad kan man göra med genteknik?

I dag använder sannolikt majoriteten av laborativt inriktade växtforskare genetisk modifiering och genredigering i någon form. I första hand handlar det om ren grundforskning. Metoderna kommer till användning inom snart sagt alla aspekter av växters liv. Man vill förstå hur fotosyntesen fungerar, hur växter "vet" när de ska blomma, hur de står emot torka och angrepp av insekter eller svampparasiter, varför vissa frön är så svåra att få att gro, hur växter känner av vad som är upp och ner och hur blad vänder sig mot ljuset, varför näringsinnehållet skiljer sig mellan olika sorter och varför sticklingar av vissa arter lätt får rötter medan andra är hopplösa att rota. Frågorna är många och varierade, men tack vare genteknikens utveckling kan svaren numera ofta ges med större precision än tidigare.

Men det som är mest känt är genteknikens användning inom växtförädlingen. Vid konventionell förädling som bygger på korsning mellan olika individer blandas lika delar av föräldrarnas DNA, och avkomman ärver lika mycket från vardera föräldern. Gentekniken gör det möjligt att inte blanda alla gener från föräldrarna, utan man kan behålla bra egenskaper och bara tillföra gener för de egenskaper

man vill förändra. Detta ger både högre precision och snabbare förädling.

Förutom att flytta gener mellan individer av samma art kan genteknik användas till att flytta gener från en art till en annan. En gen som ger en bakterie vissa egenskaper, till exempel produktion av en substans som är giftig för en viss typ av insekter, kan fås att ge samma effekt i en växt som därmed kan bli motståndskraftig mot dessa insekter.

Mindre känt är att gentekniken också kan bidra till att bevara hotade arter. Ett exempel är den amerikanska kastanjen (*Castanea dentata*) som har drabbats av en svamp som hotar att utrota så gott som alla amerikanska kastanjeträd genom att den producerar stora mängder oxalsyra. En gen från vete gör att kastanjen kan bryta ned oxalsyran och kastanjeträd blir därmed mer motståndskraftiga mot svampen.

Slutligen ska nämnas att många vacciner och läkemedel, exempelvis insulin till diabetiker, och flera proteiner som används vid tillverkning av livsmedel i dag produceras på ett billigt och säkert sätt med hjälp av genetiskt modifierade mikroorganismer. I vissa fall kan växter ge alternativa produktionssystem för sådana ämnen.

Växtförädlingen ger oss en palett av många olika möjligheter

Livsbedingungen för en gröda påverkas inte bara av grödans gener utan också av andra levande organismer, som vi kallar biotiska faktorer, och av den fysikaliska och kemiska omvärlden, så kallade abiotiska faktorer.

I jord- och skogsbruk går man ibland miste om så mycket som 60–65 procent av den biologiskt möjliga avkastningen på grund av olika abiotiska stressfaktorer. Det kan bland annat handla om för hög eller för låg temperatur, otillräcklig vattentillgång, olämpligt pH, förhöjd salthalt eller otillräcklig näringstillgång i jorden.

Det pågår mycket förädlingsarbete rörande växters kväve- och vattenförsörjning, för att växterna ska kunna utnyttja det som tas upp på ett effektivare sätt. Det rör sig både om genteknisk och konventionell förädling. När det gäller GM-växter med förmåga att klara av miljöorsakad stress bättre är två grödor godkända för odling, torktolerant vete i Argentina och Brasilien samt torktolerant majs i Nigeria.

Svenska forskare har tagit fram växter som effektivare tar upp näringsämnen i organisk gödsel, som stallgödsel. I USA används genredigerade bakterier som fixerar kväve för att förbättra kväveförsörjningen för vete, majs och durra.

Växter som står emot virus och sjukdomar

De vanligaste sätten att hindra spridning och skador av virus i olika grödor innefattar användning av insekticider som bekämpar de insekter som sprider virusen, bekämpning av ogräs som kan tjäna som värdväxter, samt användning av virusfritt utsäde. Både kemisk insektsbekämpning och mekanisk eller kemisk ogräsbekämpning innebär ofta negativa miljöeffekter. Ett viktigt mål är därför att ta fram virusresistenta sorter. Om man känner till detaljer om hur viruset infekterar växten kan genteknik användas för att ta fram resistenta växtsorter mer effektivt än vad som är möjligt med konventionella metoder. Virusresistent GM-papaya och squash har odlats kommersiellt sedan 1990-talet och virusresistent böna sedan några år tillbaka. Under 2021 godkändes en virusresistent kassava i Kenya.

Praktiskt taget alla kulturväxter angrips av en eller flera allvarliga svampsjukdomar, som vanligtvis bekämpas med kemiska medel – fungicider. Svampsjukdomar verkar ofta genom att sätta ner livskraften hos den angripna grödan, eller rent av döda den. Många svampar producerar också giftiga substanser, så kallade mykotoxiner, som vi inte vill ha i våra livsmedel. Ett exempel är svampen mjöldryga, *Claviceps purpurea*, som producerar ett gift som kan hamna i mjölet från den infekterade spannmålen.

En av de svåra svampsjukdomarna är bladmögel på potatis. Svampen, *Phytophthora infestans*, angriper först bladen och framkallar sedan brunröta på knölarna. Nästan alla nuvarande potatissorter är känsliga och måste besprutas med bekämpningsmedel – ibland så mycket som tio gånger under växtperioden. Man har länge vetat att många vilda potatisarter i Anderna i Sydamerika bär på gener som ger resistens mot bladmögelsvampen. Med hjälp av genetisk modifiering kan dessa effektivt föras över till våra odlade potatissorter som därmed blir resistenta. Men dessa genetiskt modifierade potatissorter – som alltså skulle kunna leda till drastiskt minskad användning av bekämpningsmedel – odlas inte inom EU. Det beror till stor del på en blockering i den politiska delen av godkännandeprocessen för GM-grödor.

Stora miljövinster med färre insektsangrepp

Globalt sett är insekticider den mest använda gruppen av jordbrukskemikalier. Trots omfattande kemisk bekämpning av insekter inom jordbruket uppgår fortfarande skörde- och lagringsförlusterna orsakade av insekter till närmare 25 procent av världens totala jordbruksproduktion. Det är uppenbart att det vore en mycket stor hälso- och miljövinst om kemisk bekämpning kunde ersättas av växtsorter med en ökad insektsresistens.

Det finns en jordbakterie (*Bacillus thuringiensis*, ”Bt”) som bildar proteiner som när de bryts ner i matsmältningskanalen hos vissa insekter är giftiga för dem. Gener som kodar för dessa proteiner har identifierats och förts in i kommersiellt odlade nyttoväxter som majs, bomull, aubergine, kikärt och sojaböna. Dessa GM-grödor producerar alltså ett eller flera giftiga proteiner som dödar skadeinsekterna.

En annan väg att bekämpa insekter bygger på att påverka deras beteende via så kallade feromoner, artspecifika doftämnen som insekter reagerar på. Många insektsferomoner är baserade på substanser som också kan syntetiseras av växter. Man för då in



Det gyllene riset, som framställts med hjälp av genteknik, är en källa till A-vitamin.

de gener i växterna som kodar för de nödvändiga enzymer som ingår i syntesvägarna för doftämnen. Det resulterar i att växterna utsöndrar feromoner som lockar de aktuella skadeinsekterna i fällor. Ännu är inte någon feromonproducerande gröda godkänd för odling, men forskning pågår bland annat i Sverige.

Att bekämpa ogräs på genetisk väg

De klassiska metoderna att bemästra ogräs inom jordbruket bygger på antingen mekanisk bekämpning (plöjning, harvning, hackning, etc.), eller på kemisk bekämpning med selektiva medel som inte dödar grödan. En av de första tillämpningarna av genetisk modifiering var att åstadkomma grödor som är toleranta mot växtgifter, så kallade herbicider. Dessa kallas för ht-grödor där ht står för herbicidtolerans. Poängen är att om grödan inte skadas av den aktuella herbiciden kan ogräsbekämpningen ske i växande gröda när ogräset är som känsligast i samband med kraftig tillväxt. Detta leder i sin tur till att en lägre dos bekämpningsmedel kan användas.

Nyttigare grönsaker med hjälp av genteknik

Många projekt syftar till att med hjälp av genteknik öka näringsvärdet hos olika grödor. Exempel är GM-morötter med fördubblad halt av kalcium, tomater som innehåller mera antioxidanter och kassava med högre halt av både vitaminer och mineraler.

Det gyllene riset är genetiskt modifierat för att få förmågan att producera β -karoten (förstadiet till vitamin A) i riskornen. På så sätt blir ris en källa till A-vitamin, vilket man hoppas ska kunna rädda synen på många barn i de utvecklingsländer där ris är basföda eftersom A-vitaminbrist i värsta fall leder till blindhet. Efter många år av motstånd har detta ris, som kallas gyllene riset (namnet syftar på att β -karoten gör riset gulaktigt), nyligen godkänts för odling i Filippinerna.



Rosa ananas är en av de genetiskt modifierade grödor som odlas kommersiellt. Den rosa färgen beror på en ökning av halten lykopon som är en antioxidant.

Odling av genetiskt modifierade grödor – GM-grödor

Den första GM-grödan som godkändes för kommersiell användning var en tomat med fördröjd mognad som kallades Flavr Savr. Den utvecklades i USA och godkändes 1994.

Under 1996 började GM-grödor med de egenskaper som i dag är de vanligaste, insektsresistens och herbicidtolerans, att odlas på 1,7 miljoner hektar. Drygt 20 år senare, 2019, odlades GM-grödor i 29 länder på en areal om totalt cirka 190 miljoner hektar. Det motsvarar cirka tolv procent av världens åkerareal.

De största arealerna finns i USA, följt av Brasilien, Argentina, Kanada, Indien och Paraguay. GM-sojaböna odlades 2019 på 74 procent av den

totala sojabönsarealen i världen. Motsvarande siffra för bomull var 79 procent, för majs 31 procent och raps 27 procent. Övriga GM-grödor som odlades kommersiellt under 2019 var bland annat insektsresistent aubergine och sockerrör, virusresistent squash, papaya och böna, torktoleranta sockerrör, färgtistel med högt innehåll av oljesyra, en för djuren mer lättsmält variant av lusern, herbicidtolerant sockerbeta, äpplen och potatis som inte mörknar vid skada, bladmögelresistent potatis, och rosa ananas i stället för gul.

Under 2019 godkändes ytterligare GM-grödor, däribland en insektsresistent ögonböna i Nigeria och i USA en raps med omega-3-fettsyror i fröoljan samt

bomull med låga halter av gossypol i fröna. Gossypol är giftigt för människor och de flesta djur. Förekomst av ämnet är anledningen till att de proteinrika bomullsfröna inte används som livsmedel och endast i begränsad utsträckning som foder.

Under 2020 godkände Argentinas jordbruksdepartement det första GM-vetet. Det har modifierats för att bättre klara torka. Samma år godkändes en virusresistent kassava i Kenya, insektsresistent aubergine i Filippinerna samt torktolerant och insektsresistent majs i Nigeria.

Odling av GM-grödor ökar – men inte i EU

Medan odling av GM-grödor ökar globalt, har arealerna minskat inom EU. Endast en GM-gröda är tillåten för odling. Det är en fodermais med motståndskraft mot växtskadegöraren majsmott som godkändes för drygt 20 år sedan. Majsmottens larver äter av majsen och förorsakar skador där svampar som producerar gifter som är skadliga för människors och djurs hälsa får fäste.

Har gentekniken bidragit till en hållbar utveckling?

Eftersom mer än tio procent av den globala jordbruksarealen odlas med GM-grödor har introduktionen förstås fått konsekvenser för jordbrukssystemen. Dessa konsekvenser har studerats ingående; inte minst har man analyserat om de är bra eller dåliga ur hållbarhets-synpunkt.

Frågan om gentekniken bidrar till en hållbar utveckling har visat sig vara mycket komplex. Dels innefattar begreppet hållbar utveckling såväl ekonomiska, sociala som miljömässiga aspekter, dels beror svaret på vilken gröda och vilka egenskaper man avser. Oftast är frågan om hållbarhet främst kopplad till odlingssystemet och inte till vilken växtförädlingsmetod som använts; det går inte att dra alla tillämpningar av gentekniken över en kam.

Ett exempel på svårigheterna är frågan om en spridning av en transgen egenskap från en gröda till dess vilda släktingar innebär ett hot för den omgivande miljön. Huruvida det finns ett sådant hot

beror dels på om det finns några vilda släktingar som grödan kan korsa sig med och dels på om egenskapen – transgenen – ger någon konkurrensfördel utanför åkern. Om man tar exemplet potatis så finns det inga närbesläktade arter i Sverige som den kan korsa sig med, varför risken för spridning av transgena egenskaper till den vilda floran är väldigt liten.

När det gäller raps blir bedömningen annorlunda. Om vi skulle introducera en transgen rapssort i Sverige skulle det potentiellt kunna innebära att transgenen överförs till rapsens vilda släkting åkerkål. Om detta i sin tur skulle utgöra något hot för miljön beror på om den tillförda egenskapen ger åkerkålen någon konkurrensfördel. I Kanada har man observerat att egenskaper kopplade till tolerans mot ogräsmedel kan överföras från transgen raps till åkerkål, men att toleransegenskaperna sedan försvinner ganska snabbt i miljöer där ogräsmedlet inte används. En spridning av en transgen som ger ogrästolerans har således inte blivit ett problem i den omgivande miljön, men däremot skulle den kunna tas

upp av ogräset på odlingsmarken och bli ett problem för lantbrukaren.

Olika miljömål ställs mot varandra

Introduktionen av tolerans mot ogräsmedel har återkommande kritiserats för att bidra till en ensidig (och ökad) användning av det aktuella ogräsmedlet. Men även denna fråga behöver nyanseras. En effektiv kemisk bekämpning av ogräs är nämligen en förutsättning för de metoder för ett plöjningsfritt jordbruk som nu utvecklas på många håll. Dessa bidrar till minskad jordpackning och minskad erosion, samt i hög grad till minskade utsläpp av växthusgaser. I fallet med grödor som är toleranta mot ogräsmedel står därmed olika miljömål mot varandra, strävan efter att inte använda kemiska ogräsmedel respektive strävan efter att minska utsläpp av växthusgaser. Dessutom är frågan inte kopplad till val av förädlingsmetod. Till exempel finns både raps- och majssorter som är toleranta mot ogräsmedel och som tagits fram med konventionell växtförädling utan genteknik.

Kväve är ett växnäringsmedel som de flesta grödor behöver för att kunna växa. Det tillförs ofta genom olika former av gödsel, vilket är både kostsamt och har vissa negativa konsekvenser för miljön. Egenskaper som ofta efterfrågas är därför förmåga hos en gröda att bättre kunna ta upp kväve från marken. Om man lyckades överföra sådana egenskaper till en gröda skulle det ge ökade skördar, minskad energianvändning, minskat kväveläckage och minskade utsläpp av växthusgaser, många positiva bidrag till en hållbar utveckling. Men om den aktuella grödan kan korsa sig med någon vild släkting, som i fallet med raps och åkerkål, skulle egenskapen kunna överföras till den vilda släktingen och bidra till att den sprider sig på näringsfattiga marker. En egenskap kan därmed både bidra till en hållbar utveckling och samtidigt medföra en viss risk. Men risken är lika stor vare sig man använt sig av genteknik eller konventionella förädlingsmetoder.

Ekonomiska aspekter spelar en roll

Ett aktuellt exempel på en transgen egenskap som förts över med genteknik och som bidragit till en minskad miljöpåverkan och en ökad social och ekonomisk hållbarhet är insektsresistens i aubergine. Denna har utvecklats av forskare i samarbete med ett antal växtförädlingsföretag i USA och odlas sedan 2017 kommersiellt i Bangladesh. En analys av de socioekonomiska effekterna visar att insektsresistent aubergine har minskat lantbrukarnas kostnader för insekticider med drygt 60 procent och inneburit en ökning av skördenivåerna med 10–18 procent.

Givetvis är det ekonomiska vinster som ligger bakom att mer än var tionde hektar används för odling av GM-grödor globalt sett. Men även vad gäller ekonomin är situationen mycket komplex. Ytterst beslutar lantbrukaren vilket utsäde som ska väljas; om GM-grödan inte ger en ekonomisk fördel för lantbrukaren kommer den knappast att användas. Forskning har visat att vinsterna för andra delar av samhället fördelas mycket olika beroende på vilken gröda och vilken region eller vilket land man studerar.



Beslut om godkännande av en GM-växt i EU tas efter omröstning bland medlemsstaterna.

GMO-lagstiftningen inom EU sätter stopp för odling

I Sverige finns en lagstiftning som talar om vilka skyldigheter en forskare eller ett företag har när genetiskt modifierade växter hanteras, odlas eller säljs. Med undantag för växter som hanteras på ett laboratorium eller i särskilda växthus, är reglerna i princip desamma inom EU.

En forskare får tillstånd på nationell nivå för kontrollerade försök, men om kommersiell odling, import och bearbetning eller användning av GM-växter som livsmedel och foder ska prövas tas ett gemensamt beslut av EU:s medlemsstater.

För att man ska få odla GM-växter i ett laboratorium eller i ett växthus måste lokalen vara godkänd. Detsamma gäller vid hantering eller lagring av förökningsmaterial som frön och knölar. Vilka arter det rör sig om och hur de modifierats ska anmälas till Jordbruksverket.

Vid fältförsök måste en svensk forskare ha tillstånd från Jordbruksverket. Fältförsök med GM-växter har genomförts varje år sedan 1989 i vårt land. De arter och egenskaper som testats är bland annat virusresistent sockerbeta, bladmögelsresistent potatis, herbicidtolerant majs, äppel- och päronträd som växer på grundstammar som modifierats för att utveckla ett

bättre rotsystem, samt hybridaspår och backtrav som används i grundforskning.

För kommersiell användning av GM-växter krävs ett godkännande på EU-nivå. Kravet gäller odling, import och bearbetning av levande material (till exempel frön som kan gro), teknisk användning och användning av GM-växten som livsmedel eller foder. Produkter som består av en GM-växt, eller som innehåller eller har framställts från en GM-växt, måste även märkas.

Beslutsprocessen inom EU är blockerad

Beslut om godkännande av en GM-växt i EU tas efter omröstning bland medlemsstaterna. För Sveriges del är det regeringen som beslutar hur man ska rösta. En ansökan om till exempel kommersiell odling av en GM-majs lämnas in till en ansvarig myndighet i valfri medlemsstat. Den vidarebefordras till den europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet (EFSA), som skriver ett vetenskapligt utlåtande. Kommissionen ger ett förslag till beslut och medlemsstaterna röstar. Om omröstningen inte leder till kvalificerad majoritet kan EU-kommissionen ta beslut. För att nå kvalificerad majoritet krävs att 55 procent av medlemsstaterna röstar för ett visst förslag och att dessa stater företräder minst 65 procent av EU:s sammanlagda befolkning.

Mellan åren 1998 och 2004 rådde ett så kallat *de facto* moratorium inom EU – inga ansökningar behandlades. År 2003 trädde den förordning som nämnts ovan i kraft. Sedan dess har en kvalificerad majoritet av medlemsstaterna aldrig varit varken för eller emot kommissionens utkast. Ingen GM-sort har alltså getts tillstånd för kommersiell odling i EU.

Den blockering som råder i tillståndsprcessen har lett till att ansökningar som omfattar odling dragits tillbaka och att det inte längre lämnas in nya ansökningar där odling ingår. Däremot är en rad sorter av sojaböna, majs, raps, bomull och en sort av sockerbeta godkända för import och användning

som livsmedel och foder, och en rad nejliksorter är godkända för import som snittblommor. Beslut om godkännande har i dessa fall tagits av kommissionen sedan medlemsstaterna inte nått kvalificerad majoritet.

Lättnader för GMO kan vara på gång

Den största diskussionen i dag kring lagstiftning rör om genredigerade växter ska omfattas av lagstiftningen för genetiskt modifierade organismer, även om nytt DNA inte förts in i genomet. Flera av världens största jordbruksnationer har reviderat sin lagstiftning så att vissa genredigerade växter inte längre omfattas av samma lagstiftning som de som är modifierade med nytt DNA. Det gäller vanligtvis växter som inte innehåller något främmande DNA och där genredigeringen lett till förändringar i genomet som också hade kunnat ske spontant eller via konventionell växtförädling. Ett viktigt argument har varit att kontroll av efterlevnaden blir omöjlig om förändringarna är identiska med spontana händelser. I ett utslag 2018 har dock EU-domstolen kommit fram till att EU:s lagstiftning omfattar även sådana växter.

Detta har lett till omfattande protester från vetenskapssamhället och berörda delar av näringslivet. En inledande analys från EU-kommissionen 2021 öppnade för en förändring av lagstiftningen. Initiativet gäller enbart cisgena växter samt växter som förädlats genom att man åstadkommit en mutation på ett bestämt ställe, så kallad riktad mutagenes, med till exempel gensaxen CRISPR/Cas9. När detta skrivs (maj 2022) pågår en så kallad öppen konsultation i frågan.

Debatt med låsta positioner och stora motsättningar

Om det finns några risker med att använda genteknik i forskning och växtförädling har utretts grundligt och resultaten är entydiga; det finns inga speciella risker kopplade till tekniken.

En ny sort av en kulturväxt som tagits fram med genteknik är varken mer eller mindre riskabel för människors hälsa och miljön än en ny sort som tagits fram utan att genteknik använts. Likväl har debatten kring eventuella risker med genetiskt modifierade växter varit hätsk under decennier – och den fortgår. Den startade innan det fanns särskilt mycket kunskap om GM-växter, men nu kan vi luta oss mot decennier av omfattande forskning. Den huvudsakliga anledningen till de låsta positionerna

är att GM-frågan har blivit en symbolfråga, och att meningsmotsättningarna egentligen rör andra frågor än den om eventuella risker i strikt naturvetenskaplig mening.

Forskningens roll är och ska vara att undersöka och ta fram fakta som kan fungera som underlag för allmänhetens och beslutsfattarnas ställningstaganden. Men i frågan om genetiskt modifierade växter har denna process inte fungerat i EU. Undersökningar har visat att det nog inte finns någon annan fråga där glappet mellan vetenskapens resultat å ena sidan och allmänhetens uppfattning och politiska beslut å andra sidan är så stort.

Slutord

Människan har bedrivit växtförädling sedan jordbruket uppfinns – gentekniken är bara en uppsättning nya, kraftfulla verktyg i växtförädlarens verktygslåda, verktyg som bland annat gör att vi kan nå förädlingsmålen snabbare och säkrare. Jordbruk har också alltid inneburit ett ingrepp i naturens ordning, och kommer alltid att innebära det.

Möjligheterna att utnyttja den fotosyntesdrivna kemiska fabriken – det vill säga växterna – inom jord- och skogsbruk är närmast oändliga. Men med det utbredda motstånd som finns mot genteknik i jordbruket bland allmänheten, och med den oerhört restriktiva lagstiftning som finns i delar

av världen, är det osannolikt att dessa möjligheter kommer att utnyttjas fullt ut. Genteknik används i mycket stor grad inom forskningen om växter, men bara i begränsad omfattning i den praktiska växtförädlingen, och inom EU är denna väg i praktiken helt stängd.

Men det finns hopp inför framtiden. Nya tekniker, såsom CRISPR, ger många nya möjligheter, och den utveckling vi ser nu i många länder (EU ännu undantaget) leder ofta till tillämpningar för samhällets och miljöns bästa. Forskning skapar verktyg för att ge oss en bättre värld, samhället väljer om och hur dessa ska användas.



En expertgrupp bestående av ledamöter av Vetenskapsakademien och inbjudna experter har tagit fram materialet till denna skrift som bygger på den samlade vetenskapliga litteraturen. Skriften speglar expertgruppens uppfattning och ska inte ses som ett uttalande eller ställningstagande av Kungl. Vetenskapsakademien.

ROLAND VON BOTHMER*, professor emeritus, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp

TORBJÖRN FAGERSTRÖM*, professor emeritus, Lunds universitet

STEFAN JANSSON*, professor, Umeå universitet

MARIE NYMAN, f.d. kanslichef vid Gentekniknämnden

JENS SUNDSTRÖM, docent, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

* Ledamot av
Kungl. Vetenskapsakademien

VETENSKAPEN SÄGER – är en serie populärvetenskapliga skrifter från Kungl. Vetenskapsakademien som produceras och distribueras med stöd från Stiftelsen Natur & Kultur. Målsättningen är att sprida vetenskapsbaserad information om viktiga och aktuella ämnen till allmänheten, särskilt sådana där forskningen har gjort stora framsteg på senare tid.

© Kungl. Vetenskapsakademien, 2022

Expertgruppen för *Vetenskapen säger*
om *genmodifierade växter*

Redaktör: Eva Nevelius

Foto Charpentier: Hallbauer Fioretti,
Foto Doudna: Keegan Houser,
Foto övriga: Adobe Stock Photo
och Wikimedia Commons.
Illustrationer: ©Johan Jarnestad/
Kungl. Vetenskapsakademien
Grafisk form: © Fräulein Design



*Vetenskapsakademien säger om genmodi-
fierade växter* produceras och distribueras
med stöd från Stiftelsen Natur & Kultur.