

Bilaga

till föreläsningen "Bioteknikens nya och kommande tillämpningar – Utmaningar, möjligheter och ekonomiska effekter på jordbruket i Europa" hållet i EU-parlamentet av Jussi Tammisola 10.10.2006.

Odlingsväxter och växtförädling – i främsta ledet av utvecklingen från stenåldern till den gröna epoken

10.10.2006 Jussi Tammisola, agroforst dr., docent i växtförädling vid Helsingfors Universitet

- den första offentliga kritikern av växtgenteknik i Finland (på 80-talet)
- 35 år av föreläsningar och grundforskning i växtförädling inom den offentliga sektorn

1. Växter, växtskadegörare och näring

De flesta vilda växtarter vill inte bli uppätta av människan (med undantag av några frukter och bär vars frön vi hjälper till att sprida). Tvärtom, ur växternas synvinkel kan människan väl betraktas som en fördärvare.

Således försvarar växterna sig mot människan med många medel, i synnerhet med giftiga metaboliter (eller ämnesomsättningsprodukter). I växterna funnits redan över 200 000 småmolekylära ämnen, så kallade "sekundära metaboliter", och de flesta av dessa deltar i växternas försvar.

2. Generering av odlingsväxter

De första odlingsväxterna (för cirka 11 000 år sedan) liknade ännu i hög grad sina vilda förfäder. Gott om arbete fordrades för att de domesticerade växterna skulle utvecklas till framgångsrika odlingsväxter med egenskaper bättre lämpade för odlingsförhållanden och mänsklighetens behov.

Skördenivån för många viktiga odlingsväxter har stigit till och med 10–30-faldigt under odlingens och förädlingens årtusenden. (Cirka hälften är växtförädlingens förtjänst). Därtill har många skadliga eller giftiga vilda växter utvecklats till hälsosam föda eller ett närande foder tack vare växtförädlingen.

Den vilda kassavan innehåller dödande mängder av cyanid, och den vilda potatisen var för giftig för att duga till människoföda. Och genom att inta skadlig erucasyra i den naturliga raps- och rypsoljan hann vi skada oss i 4 500 år. Denna oönskade syra togs bort först på 1960-talet (med mutationsförädling), och därefter blev raps- och rypsoljan en hälsoprodukt som kan tävla med olivoljan.

I utvecklingen av både vilda och odlade växter har såväl arthybridisering som mångfaldigande av kromosomuppsättningen (polyploid) varit mycket vanliga och viktiga fenomen (till skillnad från djurriket). Således är vi mycket vana att njuta av olika "bastarder" (ett skällsord ur de "mörka århundraden" före genetikens genes). T.ex. jordgubben kom till som spontan korsning mellan en europeisk och en amerikansk smultronart, och dess kromosomantal är åttafaldigt (det kallas oktoploid, dvs. dess celler innehåller åtta uppsättningar smultrongenom). Och rågvete är en hybrid mellan allt i allt fyra gräsväxtarter (som representerar tre olika växtsläkten).

3. Växtförädling med traditionellt massurval (11 000 år)

Denna metod baserar sig på att växtpopulationens egenskaper förbättras genom att bara en samling av de bästa växtindividerna på odlingen blir valda som föräldrar till nästa växtgeneration.

Massurval är den äldsta förädlingsmetoden, och den användes redan av stenålderns "instinktiva" växtförädlare. Metoden kan funka till viss mån ännu i dag om den tillämpas på sådana nya växtarter som tillsvidare förädlats bara i ringa mån och ännu har gott om genetisk variation kvar. Ändå har massurval blivit ineffektivt på flesta viktiga odlingsväxter redan för länge sedan.

Urvalet som sådant ska alltid förbli en del av allt förädlingsarbete också i framtiden, på samma sätt då genteknik används.

4. Växtförädling med korsningar (cirka 300 år)

Att korsa växterna avsiktligt blev möjligt först i slutet av 1600-talet då växternas sexualitet upptäcktes.

I traditionella korsningar förloras båda föräldrarnas genotyper i avkomman.

I korsbefruktade växtarter motsvarar en 'sort' ofta bara en enda växtindivid med en unik (och många gånger mycket brokig) genkombination (dvs. en i hög grad heterozygotisk genotyp). Detta lyckokast har vanligen valts bland (hundra)tusentals avkomlingar under åren i fältförsök, och till slut kopierats med vegetativ förökning ända till miljoner plantor. Av sådana växtkloner består t.ex. sorterna av potatis och många övriga rotväxtarter, banan, jordgubbe, vinbär, och de flesta fruktträd och viner.

Statistiskt är det helt omöjligt att få samma lyckokombination av gener att formas någon annan gång på nytt. Därför lönar det sig inte att låta sortens genotyp att gå isär oåterkalleligt, såsom det oundvikligen går då man korsar sorten vidare. Detta skulle innebära att väldigt mycket arbete och färdiga resultat går förlorade för alltid (historien är nog alltför välkänd för antikens förlorare, kungen Sisyfos).

Men just detta händer när man arbetar med traditionell växtförädling (som baserar sig på korsning). Därför kan vi inte förbättra enbart en viss svaghet ("flaskhals"egenskap) i sorten och samtidigt hålla dess annars utomordentliga genotyp oförändrad – utan förbättringar kan bara införas genom att förädla helt nya (olika) sorter.

Med genteknik kan en önskad ny gen tvärtemot läggas till i en färdig växtsort utan korsning. Sålunda kan sortens populära genkombination förvaras (i praktiken intakt) och den nödvändiga förbättringen bara introduceras med i sortens egenskaper.

Några förädlingsexempel: Amerikas favoritpotatis Burbank kan förädlas att bli resistent mot potatisbladmögel (i efterhand), och Royal Gala -äpplen kan bli resistent mot päronpest. Den produktivare och mycket smakligare banansorten Gros Michel, som förlorades för 50 år sedan i destruktiva svampsjukdomar, skulle kunna återfinnas i butikerna om den förädlades att bli resistent mot växtskadegöraren i fråga. (Resistensgener finns i vilda bananarter men de generna kan inte föras in i odlade banansorter på annat sätt än med genteknik).

I självbefruktade växtarter såsom korn och vete är sorterna däremot ofta homozygotiska ”rena linjer”. Genotypen av en sådan sort kan ofta praktiskt taget ges tillbaka efter korsningen genom att korsningsavkomlingarna korsas tillbaka med den respektive sorten ett tjugotal generationer. Fastän det tar mycket arbete och tid kan man därmed också med gamla metoder utveckla den ursprungliga växtsorten till en förbättrad version där den önskade genformen bara lagts till i sortens annars goda genetiska konstitution.

När ***genteknik*** används för växtförädling bör man generellt också sälla igenom några, ändå mycket färre (dvs. från några tiotals till hundra) växtindivider. Hur väl genens funktion (särskilt dess funktionsnivå) lever upp till våra förväntningar beror nämligen dels på genens fixningsställe i växtens kromosomuppsättning. (I varje fall finns det tusentals lokaliseringar i växtgenomen där den förädlade genen kan fungera bra).

Således behöver tusenfaldigt färre försöksväxter undersökas i växtförädling om arbetet baseras på genteknik än på klassiska korsningar och en slumpmässig rekombination av gener.

I varje fall baserar växtförädlingens långa succé sig i stort sett på dess inbyggda praktik där endast de bästa toppavkomlingarna godkänns för fortsättningen på vart och ett förädlingssteg.

5. Traditionella korsningar mellan avlägsna släktingar (över 100 år)

”Fjärrkorsningar” kallas den traditionella metoden där en brukbar egenskap – t.ex. sjukdomsresistens – hämtas till odlade växtsorter ur deras avlägsna släktingar (dvs. en besläktad art eller en primitiv växtlinje).

Tillsammans med den önskade genen (eller få önskade gener) införs ändå tusentals okända och generellt oönskade gener som liftare. I praktiken kan flera av dessa visa sig skadliga och förorsaka att giftiga eller allergiframkallande ämnen produceras i skörden eller att växtsorternas avancerade odlingsegenskaper försämras.

Ett exempel: potatis genförändrad för generell resistens mot potatisbladmögel (se föreläsningen).

Många av liftargenerna kan bli ”utspädda” då avkomlingsväxter korsas tillbaka med den rena odlingsväxten i tiotals generationer. Utgallringen är emellertid inte säker utan beror på statistiska tillfälligheter. Således kan till och med hundratals främmande gener bli kvar i arvsanlaget, i synnerhet om den önskade genen råkar vara belägen i närheten av kromosomens centromerområde.

De skadliga egenskaperna som möjligen finns gömda i sådana gensvärmar (t.ex. förmågan att framkalla allergi) kan inte i praktiken utredas. Därför varken krävs eller görs sådana detaljerade studier alls i den traditionella växtförädlingen.

Då växten förädlas med genteknik, införs däremot bara en enda (högst några få) och därtill väl känd extra gen i arvsanlaget – och i renad form så att inga liftare ska följa med. Således kan och ska de förändrade generna alltid undersökas på förhand och i efterhand för säkerhetseffekter. Det är därför denna förädling, baserad på ny molekylbiologi, ofta bedöms vara tryggare än den gamla växtförädlingen t.ex. vad gäller allergifrågor (se utlåtandet av Tysklands vetenskapsakademiers union: www.geenit.fi/SaksanTdAkatiitto1104memorandum_green_biotechnology.pdf).

Traditionella fjärrkorsningar sätter också igång en viss *kaotisk genetisk modifiering* i arvsanlaget.

Upp till 40 procent av växternas arvsanlag kan ofta bestå av så kallade hoppande gener som har ”lugnat sig” och fattat posto i kromosomerna. Till följd av en fjärrkorsning kan dessa gener aktivera sitt hoppande på nytt och komma fram på andra ställen i kromosomerna. Därmed kan massvis med nya mutationer genereras i växtens genom.

Fjärrkorsningar kan också orsaka vida förändringar i genernas funktionsnivå. Normalt gömmer en stor del av växternas gener sig i ett permanent stillastående status. Dessa ofunktionella gener har ofta metylgrupper bundna i sina geners dna-baser. De här metylgrupperna dämpar genens funktion som ett slags sordiner – och om det finns rikligt om dessa så stängs genen totalt av.

I fjärrkorsningar lösgör dessa sordiner sig med ett resultat att gömde tysta gener startas. Efteråt binds metylgrupper på nytt – på slumpvisa ställen i kromosomerna – och måhända slås några viktiga växtgener av denna gång.

Därtill intensifieras även *somatisk rekombination* (dvs. genetisk rekombination utan könlig fortplantning) i växtens arvsanlag. Till följd av detta uppkommer nya genkombinationer i växter även utan sexualliv.

Å andra sidan genererar alla dessa tillfällighetsfenomen ny genetisk variation som är ett grundvillkor för såväl den naturliga som den människostyrda evolutionen (växtförädling). När det gäller odlingsväxter som förädlats med årtusendens arbete borde den nya variationen emellertid hållas så kontrollerbar som möjligt. Annars drivs vi varje gång för långt tillbaka och måste uppfinna hjulet omigen.

De ovannämnda kaotiska fenomen kan förhindras genom att hämta den nödvändiga nya genen ur naturens genreserver i en renad form med genteknik.



Fig. 1. ”**Karukka**” är en hybrid mellan krusbär och svart vinbär. I traditionell förädling får alla tusentals olika gener i två växtarter kombineras fritt som en ny växtsort (bara detta kan manipuleras att äga rum genom korsning). Detta gäller även idag. Däremot ställs genlagstiftningens hårda och kostbara krav om bara en välkänd gen (i stället för denna ”gengröt”) införs i helt ren form med mer kontrollerbara nya biometoder.

J. Tammissola©

Klassisk mutationsförädling (60 år)

Naturliga mutationer uppkommer bara sällan i växtgener (t.ex. med en frekvens av 10^{-6}). Detta händer då dna i arvsanlaget skadas till följd av bland annat funktionsfel i cellerna, kosmisk strålning, naturens skadliga kemikalier eller virus. Mutationer är ett grundvillkor för all evolution såväl i naturen som i växtförädling.

Ny genetisk variation har kunnat genereras i traditionell växtförädling genom att höja mutationsfrekvensen tillfälligt t.ex. med *gamma-* eller *röntgenstrålning* eller med *mutagena kemikalier*. För att få en optimal mutationsskörd används ofta en dosering som dödar cirka varannat av de behandlade fröna.

Slumpvis mutagenes är ändå både ett oberäkneligt och ineffektivt sätt att förbättra arvsanlaget. För varje önskad förändring skapas hundratusentals oönskade mutationer i växtens arvsfaktorer. Och den förbättring som vunnits till slut blir förmodligen ganska mycket sämre än den bästa möjliga, för slumpvisa förändringar är alltför grova och helt okontrollerade.

Tack vare *gentekniken* kan genernas struktur och deras regleringsmekanismer finjusteras och optimeras i detalj. Genen kan isoleras och dess struktur editeras dna-bas efter dna-bas med molekylbiologiska medel. Funktionsdugligheten och fördelaktigheten hos de olika genvarianterna kan sedan testas på förhand i laboratoriet. Endast de mest lovande genformerna väljs till slut för fortsatta studier i förädlingsprogrammet.

7. Misstag inom växtförädlingen

Bara några få misslyckade växtsorter har sluppit igenom inom växtförädlingen, fastän denna har tillämpats i årtusenden genom metoden av försök och misstag. Några potatissorter producerade för mycket av växtartens naturliga gifter (solanin, chaconin) – om också deras giftnivå ändå blev mycket mindre än i vildpotatisen. Dessa sorter drogs tillbaka från marknaden.

En gammal lantsort av zucchini uppehölls privat inom eko-odlingen på Nya Zeeland. År 2002 attackerades sorten hårt av skadeinsekter (då ett ordentligt växtskydd sänkades), och farligt höga halter om giftet cucurbitacin ackumulerades i dess frukter. Cucurbitacin är en bitter glykocid som produceras av gurkorna för att försvara sig mot växtskadegörare. Allt i allt 16 människor fördes till intensivvår för dropp efter att ha ätit av de giftiga zucchinierna. I nya zucchinisorter har denna tendens att överproducera cucurbitacin förädlats bort.

Det tredje fallet är en sellerisort som hade förädlats för att odlas i eko-produktion. Kort efter marknadsförandet noterades att sorten innehöll för mycket psoralen. Detta naturliga bekämpningsmedel produceras av flockblomstriga växter för att skydda sig mot insekter. Det orsakar långvariga brännskador för solljus i huden – obehaget är välkänt tack vare jättelokorna som spritt sig från trädgårdar till naturen. Skördemännen fick hudskador på händerna, varigenom sorten omedelbart togs ur bruk.

8. Oavsedda eller oväntade förändringar

Kombineringar av gener kan ha oväntade effekter. *Genetiska interaktioner* (dominans och epistasi) noterades redan av Gregor Mendel (1865). Interaktioner mellan generna har tagit en viktig position i förädlingens kvantitativa teori sedan 1920–30-talet.

I den traditionella växtförädlingen blir genernas nyttiga interaktioner vitt utnyttjade. De är i nyckelroll speciellt då så kallade hybrid sorter utvecklas. Sådana sorter har blivit populära överallt i världen (även i u-länder) för sin vitalitet, produktivitet och homogena skörd. Å andra sidan tas växtlinjerna med ofördelaktiga genetiska interaktioner regelbundet ur växtförädlingsprogrammen.

I en traditionell korsning kan det i princip förekomma ett formidabelt nummer av genetiska interaktioner. Om genen återigen införs i sorten *med genteknik* ska det även i teorin förekomma högst en liten bråkdel (typiskt 20 000-faldigt färre) av genetiska interaktioner.

I själva verket bevisar en ständigt växande mängd metabolismstudier (*metabolomik*) att det förekommer mycket färre oväntade förändringar i växtsorter som förädlats med genteknik jämfört med motsvarande sorter som har utvecklats med traditionella metoder.

I en traditionell korsning överförs vanligen 20 000 oavsedda och okända gener till växten och miljonfaldigt mer främmande dna än om den önskade genen skulle införas i en renad form med genteknik.

9. Genström mellan blomsterväxter (270 000 000 år)

Växterna har växlat gener med varandra via pollen sedan urminnes tider.

Under jordbrukets epok (11 000 år) har en liten genström förekommit även från odlingsväxter till deras vilda släktingar. Egenskaperna som förädlats i odlingsväxter har ändå varit avsedda att vara till nytta för människan. Således är dessa egenskaper bara sällan till nytta för växten själv, utan försvagar växtens möjligheter att klara sig i naturen. Därigenom har förädlingsegenskaperna inte ockuperat växternas naturpopulationer utan blivit utslagen i det naturliga urvalet.

Sorterna av odlingsväxter är inte några nya växtarter utan liknar sina föräldrar i det mesta, utom beträffande just den förädlade nya egenskapen.

Däremot är *nykomlingsväxter* främmande arter som inte har vuxit i regionen förut. En liten andel av dessa arter kan ha förmågan att etablera sig som permanenta populationer i regionen. Och ännu mera sällan lyckas växtarten föröka sig ”för effektivt” i den lokala naturen. Det oaktat har tusentals främmande växtarter importerats till trädgårdar överallt i Europa

10. Mot en lagstiftning om genteknik baserad på vetenskap

1) Bland växtbiologer råder ett omfattande samförstånd om att lagstiftningen rörande produkterna av den tillämpade genetiken ska baseras på slutresultatet – dvs. den förädlade egenskapen i växten –

och inte på metoden som använts i förädlingen. Denna princip har skrivits in redan 1989 i resolutionen från Unionen av Växtförädlingsforskare i Europa (EUCARPIA).

Förädlingslagstiftningen i Kanada baserar sig på denna biologiskt hållbara princip ("Växter med nya egenskaper"). T.ex. herbicidtoleransen – om denna egenskap är något nytt för växtarten i fråga – ska sätta igång lagens krav (bland annat ska tryggheten bedömas) oberoende av vilken förädlingsteknik som har tillämpats (må det ha varit gammal eller modern). Således rör Kanadas lag också raps förädlad för tolerans mot herbiciden imidazolinon med traditionella metoder, medan denna raps undgår gentekniklagstiftningen i Europa (som baserar sig på förädlingsmetoden).

2) Att slå av en medfödd skadegen i växten (t.ex. stoppa produktionen av en gift) är ekologiskt tryggt, och därför borde sådan här förädling befrias från kravet på miljöriskbedömning. Denna förbättring kan framställas t.ex. genom att begränsa tillämpningsområdet i direktiv 2001/18/EC och EU-förordning (EC) 8029/2003.

Naturen har redan testat alla möjliga geners avslåenden tusentals eller miljontals gånger per år, i miljoner år – utan evolutionär succé. Förändringar som eliminerar växtens naturliga (ofta defensiva) kapaciteter förbättrar ingalunda utan försvagar tvärtom växtens förmåga att reproducera sig och konkurrera i naturen.

3) Förbättringar i växtens näringsvärde gällande livsmedels- eller foderbruk borde också befrias från kravet på miljöriskbedömning. Denna slags förändringar försvagar nämligen bara växtens duglighet att klara sig i naturen. Därmed kommer sådana förändrade växtsorter att ha ännu färre möjligheter att orsaka skadliga miljöeffekter än helt vanliga växtlinjer utvecklade med konventionell förädling.

4) Då önskade gener hämtas in i odlingsväxter ur genetiskt avlägsna släktingar eller giftiga eller vilda växtarter, kan detta göras tryggast genom att införa genen i en renad form med genteknik. Denna odlingsmetod skulle därför föredras i stället för äldre metoder, och EUs gentekniklagstiftning behöver motsvarande uppdatering.

■ Mera detaljerad information om tekniska och biologiska frågor inom växtförädlingen

är tillgänglig i en enhällig rapport av vetenskapliga experter (på finska): "Muuntogeenisten viljelykasvien ja luonnonmukaisen maataloustuotannon rinnakkaiselon mahdollistaminen Suomessa. Väliraportti". Työryhmämuistio MMM 2005:9,

wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/trm2005_9.pdf

[*Genteknik och genförändrade odlingsväxter* behandlas på sidorna 15–20 & 73–84; och *listan över referenser* finns på sidorna 62–72]

■ Denna bilaga kan laddas ner på Internet i pdf-form: www.geenit.fi/EP101006bil.pdf

■ Själva föreläsningen i EU-parlamentet 10.10.2006 (kompletterad med några extra förädlings-exempel 7.2.2008; allt i allt 64 transparanger i pdf form) finns på Internet:

www.geenit.fi/EPxstr070208sv.pdf