



Näringsberikade grödor: En ny grön revolution

Det är nu femton år sedan det A-vitaminberikade "Gyllene Riset" först beskrevs i den vetenskapliga tidskriften Science (1). Trots att riset på ett kostnadseffektivt sätt skulle kunna bidra till att minska effekterna av A-vitaminbrist har byråkratiska hinder gjort att riset fortfarande väntar på ett marknadsgodkännande (2). Det måste ses som ett fundamentalt misslyckande av världssamfundet eftersom det gyllene riset beräknas kunna förhindra att en halv miljon barn blir blinda eller dör varje år (3). Det är också ett makabert kvitto på effekten av det överlastade reglemente som – ofta med hänvisning till försiktighetsprincipen – reglerar odling och import av gentekniskt förädlade grödor till Europa (4).



JENS SUNDSTRÖM

*Docent i växtfysiologi vid
Sveriges lantbruksuniversitet
Jens.Sundstrom@slu.se*

VÄXTFÖRÄDLING SOM SYFTAR till att förbättra näringsinnehållet i en gröda genom att öka vitamin- eller mineralhalten brukar i engelskan benämnas "biofortification". Det kan röra sig om mineral- och vitaminberikade stapelgrödor, men avser även oljegrödor med en mer hälsosam oljesammansättning, eller grönsaker som producerar mer och fler nyttiga färgämnen (5). I den här texten används ordet näringsberikning i den vida betydelsen som engelskans "biofortification" omfattar. Inom EU talar man allt mer om behovet av en säker livsmedelsproduktion. I det sammanhanget avser man både förmågan att på ett uthålligt sätt producera tillräckligt med mat och förmågan att

producera mat med god näringsammansättning. Växtförädling kan på ett positivt sätt bidra till att bägge dessa aspekter tillgodoses genom att förädlingsmålen breddas och omfattar både kvalitativa och kvantitativa egenskaper, d v s både ett ökat näringsinnehåll och ökad tålighet mot abiotisk och biotisk stress. Ofta används modern genteknik för att ta fram näringsberikade grödor men även konventionella förädlingsmetoder används. Den moderna växtförädlingen ger oss också möjligheten att föra tillbaka några av de egenskaper som påverkar grönsakernas smak och som av olika anledningar förlorats under det senaste århundradets riktade konventionella växtförädling. I den här översiktsartikeln sätts

det gyllene riset och andra gentekniskt förädlade grödor med näringsmässigt fördelaktiga egenskaper in i sitt sammanhang och diskuteras mot bakgrund av konventionellt förädlade alternativ och syntetiska vitamintillskott.

EUs regelverk gynnar ekonomiska storsäljare
Gentekniskt förädlade grödor odlas på en allt större areal i flera länder utanför Europa. Odling bedrivs framför allt i Syd- och Nordamerika men även i Kina och Indien (6). Globalt odlades gentekniskt förädlade grödor på 181 miljoner hektar under 2014. Introduktionen som påbörjades för snart 20 år sedan har skett relativt snabbt, men den kommersiella odlingen är fortfarande främst begränsad till ett antal stapelgrödor (soja, majs, bomull, och raps) och ett fåtal egenskaper; vilka är inriktade på att underlätta ogräsbekämpning och minska användningen av kemiska bekämpningsmedel mot olika skadeinsekter. Något förenklat kan man säga att de gentekniskt förädlade grödor som odlas kommersiellt är ekonomiska storsäljare som förädlats med egenskaper som efterfrågas av lantbrukarna. I universitetens forskningsportföljer och i de små och medelstora företagen finns det dock flera projekt som syftar till att ta fram gentekniskt förädlade grödor med en mer uppenbar konsumentnytta. Ett återkommande problem är dock att dessa projekt har svårt att lyfta från idé- och forskningsstadiet och utvecklas till kommersiella produkter.

En bidragande orsak till detta är att vi i Europa, och i viss mån även USA, tillämpar olika måttstockar när det gäller riskvärderingen av de grödor som förädlats med hjälp av modern genteknik och av de grödor som förädlas med konventionella metoder. Kostnaden för att dra en gentekniskt förädlad gröda genom EUs regelverk uppgår ofta till drygt hundra miljoner kronor (7), vilket gör att endast riktigt stora aktörer har råd att göra sig besvär. Vi har därmed hamnat i en situation där endast de grödor som efterfrågas i stor skala och som tas fram av växtförädlingsföretag med betydande ekonomiska muskler når marknadsgodkännande. Även om den vetenskapliga riskvärderingen uppfyller internationellt överenskomna regler och riktlinjer blockeras tillståndsgivningen regelmässigt av politiska och ideologiska skäl (4). Denna restriktiva hållning har dels gjort att växtförädlingsföretag flyttar sin verksamhet till länder utanför Europa (8), dels har den haft direkta återverkningar på utvecklingen av gentekniskt förädlade grödor i många utvecklingsländer (9).

Det enda positiva med dagens situation är att vi nu med god säkerhet kan säga att det inte finns någon ökad risk med gentekniskt förädlade grödor som beror på förädlingstekniken (10). Dessutom kan vi vara förvissade om att de GM-grödor som trots allt når marknadsgodkännande är fullt jämförbara med, och förmodligen dessutom säkrare än, motsvarande konventionellt



Foto: © UNICEF/NEPA2015-00037/Karik

Studier visar att det gyllene riset skulle kunna täcka 60 % av det dagliga A-vitaminbehovet hos barn och avsevärt reducera skadeverkningarna av A-vitaminbrist i Asien.



Under 2014 odlades globalt gentekniskt förädlade grödor på 181 miljoner hektar.

förädlade grödor. Det finns därför anledning till att hysa en viss förhoppning om att GM-grödor med en mer uppenbar konsumentnytta inom en rimlig framtid kan komma samhället till nytta, i alla fall i länder utanför Europa.

Konventionellt förädlade grödor med förbättrade näringsegenskaper

I den konventionella växtförädlingen begränsas växtförädlaren av den genetiska variation som finns inom grödan. I viss utsträckning går det dock att använda sig av vilda släktingar för att öka den genetiska variationen och föra in egen-

metoder är A-vitaminberikad majs (12) och den svenskaktuella sk superbroccolin *Beneforte*. I cerealier begränsas dock möjligheten att öka vitamin- och mineralhalten av att den mesta näringen lagras in i embryot och kärnans yttre cellager. Dessa delar rensas ofta bort vid tröskningen och den påföljande malningen, vilket innebär att även om näringsinnehållet ökas med hjälp av konventionella metoder kommer detta ha en mycket liten effekt på produkten som når konsumenterna.

Möjligheten att öka näringsinnehållet i kärnan med hjälp av modern genteknik framstår därmed som ett attraktivt alternativ, dels därför att behovet av återkorsningar minskar när endast kända och önskade anlag överförs, dels därför att det går att styra så att vitaminerna hamnar i den del av växten som konsumeras.

Ett gyllene ris

Det mest välkända exemplet där man ökat vitaminhalten med hjälp av genteknik är det gyllene riset. Det har tillförts två anlag som gör att provitamin-A produceras i risets stärkelserika endosperm (se bild intill). Ett av anlagen kommer från en lilja och det andra från bakterien *Pantoea* (1).

Bakgrunden till att man önskar öka A-vitaminhalten i ris är att närmare tre miljarder människor är beroende av ris för sitt huvudsakliga födointag. Ris innehåller väldigt lite provitamin-A och därför riskerar cirka 10 % av dessa människor att drabbas av A-vitaminbrist på grund av en alltför ensidig kost. Brist på A-vitamin försvagar immunförsvaret och bidrar till en ökad risk för sekundära infektioner. En allvarlig brist på A-vitamin orsakar blindhet och kan i värsta fall leda till döden (3). Variationen av halten provitamin-A i ris och dess närmaste vilda släktingar är dessutom väldigt låg. Möjligheterna att öka vitaminhalten i ris med konventionella förädlingsmetoder är därför ytterst begränsade. Studier som genomförts för att undersöka om det gyllene riset skulle kunna bidra till minskad A-vitaminbrist visar att 50 gram gyllene ris skulle kunna täcka 60 % av det dagliga A-vitaminbehovet hos barn och avsevärt reducera skadeverkningarna av A-vitaminbrist i Kina, Indien och Filippinerna (5, 13). Det bör påpekas att det gyllene riset ska ses som ett komplement och inte en ersättning till en varierad kosthållning. Därmed kan man se det gyllene riset som ett alternativ till de program där A-vitaminpiller delas ut av myndigheter till fattiga människor. En avgörande skillnad är att människorna kan



Foto: Wikimedia commons

En ökad halt av provitamin A ger riset en gyllene färg

skaper som ökar näringsinnehållet i den odlade grödan. Även om det finns moderna molekylära metoder som ökar precisionen i den konventionella förädlingen krävs det fortfarande ett stort antal återkorsningar för att återställa grödans agrara egenskaper. Förutom ett förändrat näringsinnehåll överförs även egenskaper som kan påverka skörd, blomningstid och resistens-egenskaper i en negativ riktning. För klonförökade grödor som till exempel potatis, brukar antalet återkorsningar som behövs beräknas till minst sju generationer. Självbefruktade grödor, till exempel ris och vete, behöver genomgå nio generationer innan grödan är återställd, medan utkorsande grödor, som raps och majs, kräver minst 17 generationer (11). Det innebär att även om möjligheten finns att öka grödornas näringsinnehåll så är det en långsam process. Bra exempel på grödor där man ändå lyckats förbättra näringsinnehållet med konventionella

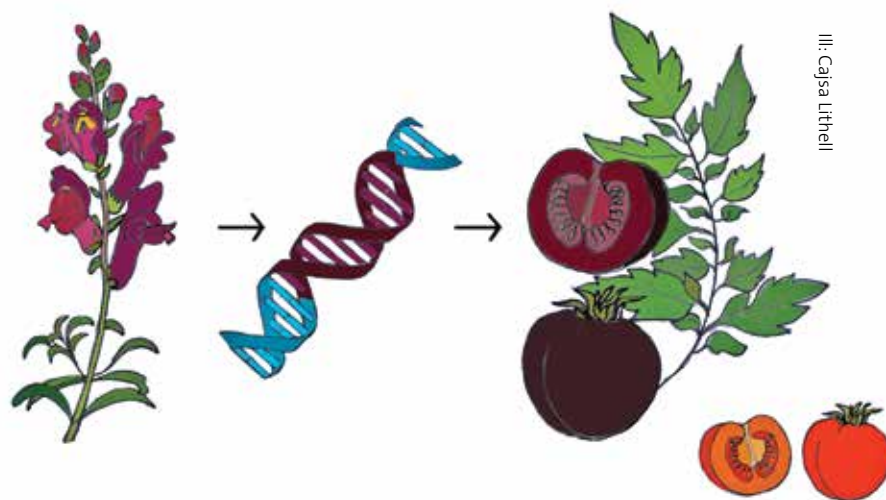
odla det gyllene riset själva eftersom det i detta projekt ingår avtal som gör det fritt tillgängligt för lantbrukarna att både odla och spara frön till nästa års sådd. Det gyllene riset har dessutom öppnat dörren för A-vitaminberikning av andra stapelgrödor som majs, kassava, potatis, sötpotatis och vete.

Anlag från backtrav ger ris med högre folsyrahalt
Ett annat exempel på vitaminberikning är ett ris där man ökat halten folsyra (folat, eller Vitamin B9) och dessutom påverkat stabiliteten så att riset får förbättrade lagringsegenskaper (13, 14). Brist på folsyra är vanligt förekommande och i Sverige diskuteras möjligheten att berika bröd och andra industriellt producerade livsmedel med folsyra för att säkerställa att blivande mödrar inte drabbas av folatbrist. Folsyra behövs för att bilda nya celler och för att bilda röda blodkroppar. Låga nivåer av folsyra under tidiga stadier av en graviditet kan leda till missbildningar i det centrala nervsystemet hos fostret. För att öka folsyrahalten har forskarna använt sig av två anlag från backtrav som påverkar biosyntesen av folsyra och ger ett ris med 100 gånger högre halt än vad som finns normalt. 25 gram ris motsvarar i det här fallet hela det dagliga behovet av folsyra hos en vuxen människa.

Möjligheten att motverka uppkomst av brist-sjukdomar med hjälp av näringsberikade grödor ska naturligtvis vägas mot andra alternativ som till exempel utdelning av vitaminpiller eller vitaminberikning av industriellt producerade livsmedel. Eftersom vitaminerna finns som provitaminer i växten och intaget sker som del av den vardagliga kosthållningen minskar risken för den överdosering som kan ske om vitaminer intas i tablettform. Det är därför intressant att se att näringsberikning av grödor framstår som ett kostnadseffektivt alternativ till distribution av syntetiska vitaminpreparat (5). Bäst blir effekten när flera egenskaper som motverkar brist på olika näringsämnen och mineraler tillåts samverka. Studier visar dock att både A-vitamin- och folsyraberikade grödor är mycket kostnadseffektiva även när de bedöms var för sig, eftersom produktionskostnaderna blir relativt låga när grödorna väl tillåts odlas lokalt. Dessutom visar flera studier att viljan att köpa näringsberikade grödor är tämligen hög och att många konsumenter dessutom är villiga att betala ett avsevärt högre pris för dessa grödor (5).

Lila tomater ger skydd mot cancer

Tomat är en gröda som lämpar sig väl för att



Ill.: Cajsa Lithell

försöka förbättra näringsinnehållet med hjälp av modern genteknik. Tekniken är sedan länge väletablerad, GM-tomater fanns t ex till salu i Storbritannien en kort tid redan i början på 90-talet. Vidare är tomat en viktig ingrediens i många maträtter i stora delar av världen. Tomat är dessutom en viktig källa till karotenoider medan sammansättningen av andra nyttiga färgämnen inte är optimal, och de flesta av dem återfinns dessutom i tomatens skal. En forskargrupp ledd av professor **Cathie Martin** vid *John Innes Center* i Norwich, England tog för några år sedan fram tomater som producerar ökade halter av det lila färgämnet anthocyanin i fruktens innanmäte (15).

Anthocyaniner förekommer naturligt i blåbär och svartvinbär och bidrar till bärens karakteristiska färg. Det lila färgämnet har skyddande effekt mot vissa cancerformer, har antiinflammatoriska egenskaper och motverkar uppkomst av fetma och diabetes (15, 16). Det skulle därför vara önskvärt om människor i en högre utsträckning skulle kunna tillgodogöra sig anthocyaniner via dieten. Det finns konventionellt förädlade tomater där man flyttat anlag för högre anthocyaninhalt från en vild tomatssläktning till dagens odlade tomater. Det lila färgämnet i dessa tomater ackumuleras dock enbart i tomaternas skal vilket endast utgör cirka fem procent av fruktens totala vikt. Nivåerna av anthocyanin i dessa tomater uppgår därför endast till 0,3 mg per g färskvikt. För att öka halten av anthocyaniner i fruktköttet använde sig de engelska forskarna av två anlag från lejongap. Dessa två anlag reglerar tillsammans biosyntesen av anthocyaniner (se bild ovan). Forskarna aktiverade anlagen i fruktens inre delar och i skalet. Detta resulterade i tomater som var

Anlag från lejongap ger tomaterna deras lila färg

”Alla grödor borde bedömas utifrån sina egenskaper och inte utifrån vilken teknik som använts i förädlingsledet.”

helt lila med halter av anthocyanin som uppgick till 3 mg per g färskvikt. Efter- som tomater utgör en viktig del i mathushållningen för många familjer runt om i världen skulle dessa tomater kunna bidra till att fler människor får i sig anthocyaniner via sin dagliga kost och därmed bidra till en förbättrad folkhälsa. Som ett första steg planerar man att de ska kunna säljas direkt till konsumenterna i form av en fruktjuice. På grund av de strikta regler som omgärdar odling av gentekniskt förädlade grödor i Europa odlas de lila tomaterna numera i Canada. Tomaterna kommer därmed endast att komma europeiska konsumenter till nytta om de godkänns för import.

Söta tomater, en verklig konsumentnytta! Som en avslutande kuriositet kan nämnas att grundläggande biologisk forskning har visat att många av de egenskaper som är förknippade med god tomat smak har förlorats under årens lopp genom konventionell förädling; eftersom dessa anlag omedvetet valts bort när förädlarna prioriterat lagringsegenskaper, form och färg. Utsagan att moderna tomat sorter mest smakar kartong har därmed fått en vetenskaplig förklaring. Den goda nyheten är att eftersom vi nu vet vilka anlag som ger tomaten dess karakteristiska smak har vi också möjligheten att återföra dessa anlag, samtidigt som vi bibehåller en attraktiv form och färg. Kanske kan den direkta konsumentnyttan som sådana tomater kan ge även leda till en ökad acceptans för gentekniskt förädlade grödor.

Sammantaget ger modern växtbiologisk forskning oss ökade kunskaper om växternas grundläggande biologi vilket i sin tur ger oss ökade möjligheter att sätta upp flera förädlingsmål än tidigare. Vi kan därmed uppfylla förädlingsmål som ger direkt miljönytta (grödor med mer effektivt kväveupptag och sjukdomsresistenta grödor) samtidigt som vi uppfyller förädlingsmål som ger grödan ett förbättrat

näringsinnehåll. För att detta ska komma Europas konsumenter till nytta, annat än som importerade varor, krävs en omprövning av det regelverk som omgärdar gentekniskt förädlade grödor. Samtliga grödor borde därför bedömas utifrån sina egenskaper och inte utifrån vilken teknik som använts i förädlingsledet.

Referenser

1. Ye X, Al-Babili S, Kloti A, Zhang J, Lucica P, Beyer P, et al. Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*. 2000;287(5451):303-5.
2. Wesseler J, Zilberman D. The economic power of the Golden Rice opposition. *Environment and Development Economics*. 2014;19(6):724-42.
3. WHO. Micronutrient deficiencies: VAD 2015 [cited 2015 20151104]. Available from: <http://www.who.int/nutrition/topics/vad/en/>.
4. Fagerstrom T, Dixelius C, Magnusson U, Sundstrom JF. Stop worrying; start growing. Risk research on GM crops is a dead parrot: it is time to start reaping the benefits of GM. *EMBO reports*. 2012;13(6):493-7.
5. De Steur H, Blancquaert D, Strobbe S, Lambert W, Gellynck X, Van Der Straeten D. Status and market potential of transgenic biofortified crops. *Nat Biotechnol*.

2015;33(1):25-9.

6. Clive J. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. Ithaca, NY.: ISAAA, 2014.
7. Greef D. GM Crops: The Crushing Cost of Regulation: AgBioWorld; 2011 [cited 2015 20151104]. Available from: <http://www.agbioworld.org/biotech-info/articles/biotech-art/crushingcost.html>.
8. Dixelius C, Fagerstrom T, Sundstrom JF. European agricultural policy goes down the tubers. *Nat Biotechnol*. 2012;30(6):492-3.
9. Paarlberg R. *Starved for Science, How Biotechnology is Being Kept Out of Africa*. Cambridge, USA: Harvard University Press; 2009.
10. Commission E. A decade of EU-funded GMO research (2001–2010). Luxembourg, Belgium: Publications Office of the European Union, 2010.
11. Shimelis H, Laing M. Timelines in conventional crop improvement: Pre-breeding and breeding procedures. *Australian Journal of Crop Science*. 2012;6(11):1542-9.
12. Azmach G, Gedil M, Menkir A, Spillane C. Marker-trait association analysis of functional gene markers for provitamin A levels across diverse tropical yellow maize inbred lines. *BMC Plant Biol*. 2013;13:227.
13. Tang G, Qin J, Dolnikowski GG, Russell RM, Grusak MA. Golden Rice is an effective source of vitamin A. *Am J Clin Nutr*. 2009;89(6):1776-83.
14. Blancquaert D, Van Daele J, Strobbe S, Kiekens F, Storozhenko S, De Steur H, et al. Improving folate (vitamin B-9) stability in biofortified rice through metabolic engineering. *Nature Biotechnology*. 2015;33(10):1076-+.
15. Butelli E, Titta L, Giorgio M, Mock HP, Matros A, Peterek S, et al. Enrichment of tomato fruit with health-promoting anthocyanins by expression of select transcription factors. *Nat Biotechnol*. 2008;26(11):1301-8.
16. Tsuda T, Horio F, Uchida K, Aoki H, Osawa T. Dietary cyanidin 3-O-beta-D-glucoside-rich purple corn color prevents obesity and ameliorates hyperglycemia in mice. *J Nutr*.

