

SVERIGES UTSÄDESFÖRENINGENS TIDSKRIFT

Journal of the Swedish Seed Association

Specialnummer 2014 Växtförädling vid SLU



SVERIGES UTSÄDESFÖRENING

Swedish Seed Association

Sveriges Utsädesförenings Tidskrift

Journal of the Swedish Seed Association

Redaktör och ansvarig utgivare

Editor: J. Weibull

Redaktionsråd (*Editorial Council*):

Tomas Bryngelsson

Larisa Gustavsson

Per Henriksson

Roland Lyhagen

Inger Åhman

Adress (*Address*): Sveriges Utsädesförening,

c/o Anders Nilsson

SLU, LTV-fakulteten

Box 53

230 53 Alnarp

Tel. +46 40 41 51 74

Bankgiro: 485-0657

Tidskriften utkommer med 2 nummer per år. Information om medlemskap och prenumeration framgår av avsnittet medlemsinformation samt på hemsidan www.sveuf.se

Membership in the Swedish Seed Association (SUF) gives a possibility to follow how plant breeding and related issues in agri- and horticulture are developing in the Nordic countries. Seminars and workshops are arranged in Alnarp and Stockholm. The journal of The Swedish Seed Association is published with 2 issues per year.

The membership annual fee together with subscription of the journal is SEK 300. You can become a member in SUF by paying the fee to the Swedish Bank giro account 485-0657. **Indicate your name, address and e-mail address.**

On www.sveuf.se you find more information about The Swedish Seed Association and its activities.

Contact person:

Anders Nilsson: Anders.Nilsson@slu.se

Styrelseordförande (*Chairman*)

Eva Karin Hempel

Övriga styrelseledamöter (*Board Members*)

Jens Weibull

Anders Nilsson

Dave Servin

Otto von Arnold

Magnus Börjesson

Annette Olesen

Morten Rasmussen

Roland von Bothmer

Årgång (Volume) 123

2014

Nr (No.) Special

SVERIGES UTSÄDESFÖRENINGENS TIDSKRIFT

Journal of the Swedish Seed Association

Organ för svensk växtförädling
Publication of Swedish Plant Breeding

ISSN 0039-6990

Innehållsförteckning

(Contents)

Jens Weibull: Från redaktören (From the editor).....	3
Inger Åhman: Inledning (Introduction).....	4
Lisa Beste: Växtförädling i kylan (Plant breeding and pre-breeding at SLU).....	5
Lisa Beste: Granens enorma arvs massa (The Norway spruce genome)	8
Lisa Beste: Robust salix med molekylära metoder (Molecular markers in salix breeding)	11
Lisa Beste: Stresstålig stråsäd (Stress resistance/tolerance in cereals).....	15
Lisa Beste: De gör så att blommorna blommar (Control of flowering).....	19
Lisa Beste: Perenn stråsäd (Perennial cereals).....	22
Lisa Beste: Genomiskt urval i tallförädlingen (Genomic selection in pine breeding).....	25
Lisa Beste: Att tämja en vild växt (Domestication of a wild species).....	28
Lisa Beste: Bär frukt (Breeding fruits and berries).....	32
Lisa Beste: Kampen mot algsvampen (Potato against Phytophthora).....	36
Lisa Beste: Nya tekniker i växtförädlingen (New techniques in plant breeding).....	41

Från redaktören

From the editor

Jens Weibull

Sveriges Utsädesförening ska aktivt bidra till att öka insikterna om växtförädlingens positiva betydelse för samhället. I föreningens uppdrag ingår därför bland annat att dela med sig av (...) ”utvecklingen rörande växtförädling och utsädesproduktion, om dess teknologier, mål och strukturella förändringar, globalt och i Sverige.” Därför är det med glädje som vi genom detta extranummer av tidskriften kan presentera SLU:s nya fakultetsgemensamma plattform för växtförädling, och en stor del av pågående växtförädlingsforskning vid SLU. För redigeringen av numret svarar professor Inger Åhman, ledamot av tidskriftens redaktionsråd med bistånd av styrelseledamot Anders Nilsson och redaktionsråd Larisa Gustavsson. God läsning!

The Swedish Seed Association works actively to increase our understanding of the beneficial impacts of plant breeding on society. The Association's mission includes, among other things, to share (...) “development of plant breeding and seed production regarding its technologies, goals and structural changes, globally and in Sweden.” Therefore, it is with great pleasure that we, through this supplementary issue of the journal, can present SLU's new platform for plant breeding, as well as a great deal of ongoing plant breeding research activities at SLU. Professor Inger Åhman, member of the journal's editorial committee, has served as main editor, with assistance from board member Anders Nilsson and editorial advisor Larisa Gustavsson. Good reading!



Jens Weibull
jens.weibull@telia.com

Inledning

Inger Åhman

I detta specialnummer av Sveriges Utsädesförenings Tidskrift beskriver vetenskapsskribent Dr. Lisa Beste växtförädlingsverksamhet vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU): både den som leder ända fram till marknadssorter och den som leder en bit på vägen och ger växtmaterial och kunskaper som den kommersiella växtförädlingsverksamheten kan ta över. En anledning till att SLUs växtförädlingsverksamhet nu beskrivs på det här sättet är att det sedan 1 juli finns en växtförädlingsplattform vid SLU. Den har till uppgift att verka för en intern samordning av SLU:s resurser och insatser inom växtförädling för jordbruk, skogsbruk och trädgård, och omfattar forskning, grundutbildning, infrastruktur och samverkan med samhället. Den ska också verka för att kraftfullt stärka SLU:s profil inom växtförädling gentemot omvärlden. I samband med SLUs omorganisation 1 januari 2014 beslutade Rektorn att inrätta tre fakultetsgemensamma ämnesområden: växtförädling, växtskydd och odlings-system. Dessa är ämnen som finns på flera av SLUs institutioner och fakulteter och som behöver samordnas över orts- och fakultetsgränserna. Särskilda medel har avsatts för denna satsning. I växtförädlingsplattformen ingår Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Fakulteten för skogsvetenskap och Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap. En kommitté med två ledamöter från varje fakultet leder samordningsarbetet. Denna skrift är tänkt att på ett populärt sätt informera alla växtförädlingsintresserade SLU:are om vad som pågår i det som brukar kallas Sveriges längsta universitet med campus på de fyra orterna Alnarp, Skara, Ultuna och Umeå. Skriften är också tänkt att fungera som information till olika intressenter utanför universitetet.

SLUs växtförädlingskommitté

Inger Åhman (Ordförande)
Ove Nilsson (Vice ordförande)
Anna Westerbergh
Mariette Andersson
Harry Wu
Martin Weih

<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/plattformar-for-vaxtforadling-vaxtskydd-och-odlingssystem/>

Introduction

Inger Åhman

In this special issue of the Journal of the Swedish Seed Association science writer Dr Lisa Beste describes plant breeding activities at the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU): the one leading up to market varieties and the other leading to plant material and knowledge that the commercial plant breeding can take over. One reason that plant breeding activities at SLU are now described in this way is that since July 1 a plant breeding platform has been implemented at SLU. Its mission is to promote an internal coordination of SLU's resources and efforts in plant breeding for agriculture, forestry and horticulture, and includes research, basic education, infrastructure and outreach. It will also work to powerfully strengthen SLU's profile in plant breeding in relation to the outside world. In connection with the reorganization of SLU as of 1 January 2014 the Rector of SLU decided to set up three joint faculty disciplines: plant breeding, crop protection and crop production systems. These are topics found in several of SLU's departments and faculties, and need to be coordinated across different locations and faculty boundaries. Special funds have been set aside for this venture. The plant breeding platform includes the Faculty of Landscape Architecture, Horticulture and Crop Production Science, the Faculty of Forest Sciences and the Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. A committee with two members from each faculty will lead the coordination work. This publication aims at being a popular way to inform all those SLU workers interested in plant breeding about what is going on in what is known as the country's longest university with campuses in four locations in Alnarp, Skara, Umeå and Ultuna. This issue of the journal is also meant to serve as information to various stakeholders outside the university.

The SLU plant breeding committee

Inger Åhman (Chair)
Ove Nilsson (Vice chair)
Anna Westerbergh
Mariette Andersson
Harry Wu
Martin Weih

<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/plattformar-for-vaxtforadling-vaxtskydd-och-odlingssystem/>



Lisa Beste

Växtförädling i kylan

Plant breeding and pre-breeding at SLU

Forskare inom växtförädlingsområdet är bekymrade över allmänhetens svala intresse för, och dåliga insikt om, hur viktigt det är med kontinuerlig växtförädling i Sverige. Om något, så är allmänheten snarast *emot* växtförädling i form av genetiskt modifierade grödor. Norden är en liten marknad, så få privata växtförädlingsföretag tycker att det är lönt att förädla specifikt för den marknaden. Statlig finansiering är ett viktigt komplement till företagets förädling för ett hållbart jordbruk med sunda och väl anpassade sorter av grödor som passar för odling i vår lilla avlånga del av världen.

Pre-breeding

Vid SLU tar växtforskare fram nya kunskaper och utvecklar metoder som växtförädlare ska kunna använda för att välja ut plantor med önskvärda egenskaper och snabba på hela växtförädlingsprocessen. Forskarna tar även fram nytt förbättrat växtmaterial av odlade grödor och skogsträd som kan användas i framställningen av marknadssorter hos växtförädlingsföretagen och i Skogsforsks förädling av skogsträd. Det handlar också om domesticering av nya grödor, t ex bioenergi grödan salix, nya oljeproducerande grödor som oljekål och fältkrassing, och stråsäd med flerårig livscykel som kan ge möjlighet till nya mer hållbara odlingssystem. Pre-breeding kallas förädlingsforskningen som ligger mellan grundforskningen om växter och den praktiska växtförädlingen som resulterar i nya marknadssorter. Pre-breeding kan handla om att ta fram ny kunskap och nya förädlingsmetoder, likväl som att föra över intressanta egenskaper till ett anpassat växtmaterial som i sin tur kan utnyttjas som korsningsföräldrar vid sortframställning. På SLU i Balsgård och Alnarp finns också växtförädling som leder ända fram till sorter av äpple, svarta vinbär, havtorn och potatis, då det inte finns några svenska företag som bedriver sådan förädling för Sverige.

Grundläggande forskning

Det finns också växtforskare vid SLU som arbetar med grundläggande forskning om växter. De tar fram nya kunskaper om t ex växters fysiologi,



Kornförsök vid Lönnstorp, Alnarp

genetik och cellbiologi. Den grundläggande forskningen kan på sikt användas i växtförädling och det finns samarbetsprojekt mellan grundforskningen och pre-breeding. Gränsen för vad som är grundforskning och vad som är pre-breeding är inte helt skarp.

Urval

För att kunna göra urval inom växtförädling måste det finnas en genetisk variation att välja bland. Urval kan växtförädlaren göra genom att undersöka plantors egenskaper; genom att titta på dem, se om de är stora eller små, om de har mycket eller lite angrepp av en viss skadegörare, om de växer mycket eller lite ogräs i närheten av plantorna, om de har gula eller gröna blad och så vidare. Kemiska analyser av växternas innehåll av olika ämnen kan också ligga till grund för urvalet i förädlingen. Genetisk analys utnyttjas mer och mer för att kunna göra de första stegen i urvalsprocessen på labb.

Upprepade urval av plantor i fältförsök, med en miljö som liknar de tilltänkta odlingsförhållandena för växtsorten, är ett nödvändigt steg, eftersom många miljöfaktorer som spelar roll för tillväxten och avkastningen finns i fält men inte på labb och i växthus. Men fältförsök kostar i form av t ex tid och odlingsareal. Därför är det bra om växtförädlaren kan gallra bort plantor som troligen inte bär på önskade egenskaper i ett tidigt skede i växtförädlingen.

Det går att gallra bort ointressant växtmaterial i växtförädlingen genom att analysera DNA-prover

redan från småplantor, förutsatt att man vet vilka DNA-sekvenser som för med sig de önskade egenskaperna eller totalt sett ger en bättre planttyp. En stor del av den pre-breeding som forskare vid SLU ägnar sig åt, går ut på att ta fram genetiska verktyg för att växtförädlare ska kunna göra sådana urval utifrån DNA-prover från växternas arvs massa.

Goda råd

Forskare inom pre-breeding och växtförädling av jordbruksgrödor vid SLU rådgör och samarbetar med växtförädlare på Lantmännen Lantbruk, Syngenta och andra växtförädlingsföretag. Forskarna tar också kontakt med odlingsrådgivare och lantbrukare för att hålla sig uppdaterade om vilka problem som finns att lösa inom växtodlingen i jordbruket. Kontakter finns också mellan forskare och frukt- och bärödlare, och samarbetet mellan skogsträdforskare och skogsnäringen är mycket etablerat i forskningsinstitutet Skogforsk. Industrins efterfrågan på olika typer av produktkvalitet är också viktig för inriktningen på förädlingsforskningen.

Centra och nätverk

Forskare inom pre-breeding och växtförädling vid SLU samarbetar med forskare på andra universitet i Sverige och övriga världen. Umeå Plant Science Centre (UPSC), PlantLink i Skåne och The Linnean Centre for Plant Biology in Uppsala är exempel på organiserade samarbeten. Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi vid SLU i Umeå och Institutionen för fysiologisk botanik vid Umeå Universitet bildade UPSC för 15 år sedan. Växtforskare på flera institutioner vid SLU i Alnarp och vid Lunds universitet bildade forskarnätverket PlantLink 2011. Vid SLU i Ultuna samarbetar växtforskare på Institutionen för växtbiologi och forskare vid Uppsala universitet inom The Linnean Centre for Plant Biology in Uppsala sedan 2012.

Finansiering

Växtförädlingen vid SLU innefattar forskning om skogsträd, jordbruksgrödor och trädgårdsväxter. Växtförädling är ett långsiktigt arbete; det tar flera år att få fram resultat i projekt där man arbetar med levande organismer som har långa generationstider. Vissa skogsträd blommar efter 20 år. Äppelträd sätter blom efter cirka sex år. Och även om stråsäd och oljeväxter sätter frön inom ett år så krävs det oftast flera generationer innan växtmaterialet kan

användas i forskning och fortsatt förädling. För att få nya anslag i de årliga utlysningarna från de olika forskningsråden, t ex Vetenskapsrådet och Formas, behöver forskare publicera så många vetenskapliga artiklar i så högt rankade vetenskapliga tidskrifter som möjligt. Detta kan vara svårt att uppfylla när utvecklingen av växtmaterialet tar så lång tid och oftast är det ett rent rutinarbete. Inte minst är detta ett problem i den 4-åriga doktorandutbildningen. Men det finns offentliga medel som löpande går till forskning inom pre-breeding och växtförädling och som möjliggör långsiktig materialutveckling.

Varje år sedan 2009 finansierar SLU och Formas (från början också Jordbruksverket och Stiftelsen lantbruksforskning) växtförädling med fokus på odling i Svealand och Norrland. I det här programmet för växtförädlingsverksamhet har SLU valt att satsa på potatisförädling, viss förädling av stråsäd samt förädling av äpple, svarta vinbär och havtorn. Mistra Biotech är ett annat stort, tvärvetenskapligt forskningsprogram där pre-breeding av fältkrassing, potatis och korn ingår. Sedan 2011 finns också ett nordiskt program för pre-breeding som finansieras till hälften av växtförädlingsföretag (projektvis) och till hälften av de nordiska länderna genom Nordiska Ministerrådet. Tre projekt har hittills initierats, inriktade på pre-breeding för förädling av vårkorn, äpple och rajgräs, och SLU är universitetspartner i de två försnämnda. Första december kan ansökningar för en ny 3-årsfas lämnas in och då kan även andra grödor bli aktuella.

Sorter för nya klimat

Klimatet i Norden är kallare än i resten av Europa och dagslängden är annorlunda med längre dagar under sommaren ju längre norrut man kommer. Vi behöver sorter av jordbruks- och trädgårdsgörödor och skogsträd som passar just vårt klimat och våra ljusförhållanden. Därtill kommer de väntade klimatförändringarna som komplicerar det förebyggande arbetet för en hållbar växtodling ytterligare. Det väntas bli ett varmare klimat med mer nederbörd i Norden och vi kan förvänta oss nya problem med växtsjukdomar och skadeinsekter. För två- och fleråriga grödor kan behovet av vinterhärdighet på våren öka på grund av ökad risk för skador av värfrost.

All pre-breeding vid SLU handlar dock inte om förädling för svenska förhållanden. Salixförädlingen, t ex inriktar sig mer generellt på den europeiska marknaden. Forskare inom växtförädling vid SLU arbetar även globalt, ofta genom doktorandutbild-

ning som ett led i Sidas biståndsarbete. Växtförädling är en global angelägenhet för att få maten att räcka till den växande befolkningen.

Plant breeding and pre-breeding at SLU

At the Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) plant scientists gain new knowledge and develop methods that plant breeders can use to select plants with desirable traits and thereby develop new improved varieties of crops. The research is also about the domestication of new crops.

Pre-breeding is the research step in between basic research and practical plant breeding that results in new varieties. It develops both plant material with improved traits and improved breeding methods.

The climate in the north is colder than in southern Europe - the day length is different with longer days during the summer the further north you go. We need varieties of crops and forest trees that suit our climate and our light conditions. In addition, the expected climate changes further complicates the predictions of how to breed for a future sustainable agriculture.

In order to make selections in plant breeding, there must be a genetic variation to select from. Selection of plants in field trials with an environment similar to the prospective agricultural conditions for the resulting plant variety is essential, because many environmental factors that play a role for the yield occur in the field but not in laboratories and greenhouses. However it is costly with field trials, both in time and space. It would be advantageous if the breeder could discard seedlings that likely do not carry the desired properties, already in the early generations of plant breeding.

It is possible to sort out the most promising plant material for further plant breeding by analyzing DNA samples from seedlings, provided that you know what DNA sequences are associated with the desired properties. Much of the pre-breeding at SLU is about developing genetic tools for plant breeders to be able to make such selections based on DNA-samples from the plants.

Granens enorma arvsmassa

The Norway spruce genome

I maj 2013 publicerade tidskriften *Nature* en artikel om att granens arvsmassa var kartlagd. Ove Nilsson, professor i skoglig genetik och växtfysiologi vid SLU i Umeå är en av de som ledde projektet och han berättar om arbetet som, tack vare DNA-sekvenseringsteknikens snabba utveckling, kostade en bråkdel i tid och pengar jämfört med kartläggningen av människans arvsmassa, trots att granens arvsmassa är sju gånger större än människans.

Ove Nilsson möter upp i cafeteria i flervåningshuset där Umeå Plant Science Centre, UPSC, har sina kontor och sin labbverksamhet. I en av korridorerna står en världskarta lutad mot väggen.

– 45 nationaliteter finns representerade här, berättar han och visar att det sitter nålar i kartan på de platser i världen olika medarbetare kommer ifrån.

Växtforskare vid SLU i Umeå och vid Umeå universitet bildade UPSC för 15 år sedan.

Att UPSC är ett framstående centrum för växtbiologisk forskning fick världen se förra året, 2013, då forskare härifrån rapporterade om DNA-sekvenserna från granens hela arvsmassa, i tidskriften *Nature*.

Ingen visste om det ens var möjligt att göra det här jobbet, för granen har sju gånger mer DNA per cell än människan, och cirka hundra gånger mer DNA i cellkärnorna än modellväxten backtrav.

– Vi ville veta varför granens genom är så enormt stort. Är generna större? Har granen väldigt många gener? Svaret vi fick var att det finns stora mängder repetitivt DNA, orsakat av transposoner, hoppande gener, säger Ove Nilsson och förklarar vidare att man inte vet vad det repetitiva DNA:t har för funktion. Troligtvis är det bara en ”defekt” till följd av att granen saknar ett effektivt sätt att rensa bort onödigt DNA.

Repetitivt DNA är områden i arvsmassan där likadana sekvenser av DNA upprepas gång på gång efter varandra.

Granens arvsmassa innehåller också många pseudogener, DNA som liknar gener men som muterat och tappat sin funktion.



Gran, Sveriges vanligaste skogsträd

Ove Nilsson och hans kollegor har studerat DNA-sekvenser i arvsmassan hos ytterligare några barrträd, men inte med lika djupa analyser som i granen.

– Vi har gjort några mindre analyser av tall, lärk, en, idegran, pichtgran och *Gnetum gnemon*, som visade att andra barrträd också har stora mängder repetitivt DNA, berättar han.

När forskarna känner till hur arvsanlagen ser ut hos organismerna, det vill säga vilken DNA-sekvens generna har, då kan de börja koppla ihop olika gener med olika egenskaper hos organismerna. Man kan titta på hur arvsanlagen uttrycks också. Med uttryck menas att generna översätts till RNA och proteiner som ofta resulterar i någon typ av enzymaktivitet i organismerna. Uttrycket kan vara olika i olika individer, vävnader och celler. Uttrycket av generna varierar och styr organismens utveckling i olika levnadsstadiet. Faktorer i organismens miljö påverkar också uttrycket av generna.

En typ av genetiska faktorer, så kallade små RNA, begränsar transposonernas möjlighet att hoppa runt och orsaka repetitivt DNA.

– En viss typ av små RNA visade sig i våra analyser ha ett lägre uttryck i granen än i andra växter, berättar Ove Nilsson. Uttrycket av dessa små RNA är dessutom begränsat till bara vissa vävnader i granen. Det styrker teorin om att granen saknar en effektiv ”städfunktion” i arvsmassan.

Vårt vanligaste träd

Gran upptar 45 procent av skogsarealen i Sverige och det är vårt vanligaste och viktigaste träd.

– Det är viktigt att välja en individ när man ska sekvensera DNA från genomet. Det skulle bli för svårt att läsa av DNA:t annars. Individer ser olika ut i arvsmassan och det är illa nog att granindivider har en kromosomuppsättning från mor och en från far, säger Ove Nilsson.

För sekvenseringen valde forskarna ut en gran som ingår i granförädlingsprogrammet vid förädlingsinstitutet Skogforsk. En frisk gran med god tillväxt som härstammar från Jämtland. Ove Nilsson berättar att det idealiska är om man kan sekvensera haploid vävnad från en organism. Haploid betyder att det bara finns en kromosomuppsättning i cellkärnorna. Det vanliga är att det finns två uppsättningar, en från varje förälder.

– Det finns haploid vävnad i frön, men granen har så små frön att det inte går att göra djup sekvensering från den vävnaden, berättar han.

Med djup menar han att man upprepar sekvenseringen ungefär 100 gånger (och får fler ”textremor”).

– Vi sekvenserade huvudsakligen barr från granen, alltså diploid vävnad. Tallar däremot har större frön och mer haploid vävnad som räcker till djup sekvensering, säger han.

Granen var det första barrträdet som blev sekvenserat.

– Ytterligare två barrträd har fått hela arvsmassan kartlagda nu, vitgran, *Picea glauca*, av en forskargrupp i Kanada och loblollytall, *Pinus taeda*, av en grupp i USA, säger Ove Nilsson och berättar också att han och hans medarbetare på UPSC har ett samarbete med forskargruppen i Kanada.

Hagelbössemetoden

Granens arvs massa är den hittills största arvs massan som blivit sekvenserad. Det kostade 75 miljoner kronor, en bråkdel av vad det kostade att kartlägga människans arvs massa för cirka 15 år sedan, 20 miljarder kronor.

– Från det att vi sökte pengar till projektet och tills det att vi startade så hade kostnaden halverats. När vi var klara med sekvenseringen hade priset sjunkit ytterligare till hälften, berättar Ove Nilsson.

Sekvenseringsmetoden kallas hagelbössemetoden (shotgun sequencing på engelska).

– Tänk dig att granens arvs massa är en bok, med

bokstäverna G, A, T och C, och att varje kromosom i arvs massan är ett kapitel i boken. Så kör man boken i en dokumentförstörare. Sen tar man en likadan bok och gör samma sak. Man tar hundra likadana böcker, säger Ove Nilsson för att förklara hur metoden fungerar.

Resultatet blir miljontals pappersbitar med bokstäver, t ex CTTGGAGAGGTTGAATGTGCCCTCACTTCAAGAGCAGAGTAGAGCCTTTCAGAGCTTAGAGAAAC-TATCTTTGAGCTTATGTGAAGGACTTGGAAATATGTCCAGGTTAACAGCACC-CAGTCGAGCCTAAAGCTTCCCATAATGCTAGATTTTAACTTGACCCTGCTGTGATTGGAGAGTTGCCCCC.

Dokumentförstöraren klipper inte på samma ställen i texten varje gång. Pappersbitarna med bokstäver från olika bokexemplar överlappar alltså varandra. Ungefär på samma sätt fungerar DNA-sekvensering. Forskarna kör förstås inte DNA-prover i dokumentförstörare, men de tar reda på bokstavskombinationerna i slumpvisa delar av arvs massan och resultatet blir detsamma; rader med bokstäver som överlappar varandra, som kan sammanfogas så att hela texten går att läsa, det vill säga hela boken eller hela arvs massan. Bokstäverna representerar baserna i kromosomernas DNA-molekyler.

Forskarna på UPSC gjorde sekvenseringarna tillsammans med forskare vid Science for Life Laboratory, SciLifeLab i Stockholm. Projektet startade 2009.

– Vi köpte en dator med ett RAM-minne på 2 terabyte, för att kunna hantera så stora mängder DNA-data. En dator med den kapaciteten fanns inte i hela Skandinavien då, berättar Ove Nilsson.

Artikeln i Nature har 56 personer i författarlistan, från svenska och utländska institutioner.

– Få av författarna deltog i själva labbarbetet. De flesta har bidragit med analyser efter sekvenseringen; tagit reda på vad som är gener och inte gener, kollat om gener är aktiva i olika vävnader, eller letat efter sina typer av favoritgener i arvs massan, säger Ove Nilsson.

Fortsatta analyser

– Nu arbetar vi med att placera generna i rätt ordning på kromosomerna i en genetisk karta. De repetitiva sekvenserna gör att det varit omöjligt att få ihop längre sammanhängande delar av DNA-sekvens som täcker mer än en eller ett par gener.

Vi har nu använt andra metoder för att pussla ihop längre sammanhängande delar av DNA-sekvens. För att kunna få en helt sammanhängande sekvens kommer det att krävas nya sekvenseringsmetoder som klarar att läsa längre sträckor av DNA, hela vägen igenom ett område med repetitivt DNA, förklarar Ove Nilsson.

Annoteringen av grangenomet fortsätter också. Annotering är att forskaren jämför DNA-sekvenser med gener som man redan vet vad de har för funktion, och på så sätt förutspår vad DNA-sekvenserna har för funktioner.

Hur ska kunskapen om granens arvs massa användas i växtförädlingen?

DNA-sekvensen från granens hela arvs massa visar vilka anlag som finns och hur de ser ut i en representativ gran med bra tillväxt. Forskare kan använda kunskapen om genernas sekvenser som en karta i förädlingen av nya granar för skogsnäringen. Det finns en stor variation i arvs massan hos granarna. Med hjälp av kartan ska granförädlare hitta de mest lämpliga träden att odla i olika delar av vårt land. Det kommer att bli möjligt att ta DNA-prov från granar och testa vilka anlag de bär på, t ex anlag för frosttålighet och motståndskraft mot rotrotta och snytbagge, eller anlag som ger egenskaper som passar bra för olika användningsområden, t ex pappersmassa, byggvirke eller biobränsle. Detta är egenskaper som andra forskargrupper inom SLU studerar och deras kunskaper kan nu utnyttjas i olika samarbetsprojekt.

– Urval för anpassning till ett nytt klimat kommer också att bli viktigt. Man kommer att kunna förutsäga vilka föräldrar som kommer att ge den bästa avkomman om de korsas med varandra, förklarar Ove Nilsson.

Knut och Alice Wallenbergs stiftelse finansierade kartläggningen av granens arvs massa.
Läs mer på: <http://www.upsc.se/>

The Norway spruce genome

In May 2013 the scientific journal Nature published an article about the spruce genome. Ove Nilsson, Professor in Forest Genetics and Plant Physiology at SLU in Umeå, tells us about the work with sequencing this large genome.

The researchers wanted to know why the Nor-

way spruce genome is so big. Are the genes larger? Does the Norway spruce have a lot of genes? The answer they got was that there are large amounts of repetitive DNA caused by transposons. The Norway spruce genome also contains many pseudogenes, DNA:s that look like genes but have mutated and lost their function.

When the researchers know the sequences of the genes in an organism they can link different genes to different traits of the organism. The Norway spruce genome is the largest genome that has been sequenced so far.

Now researchers are working to place the genes in the correct order on the chromosomes in a genetic map. The annotation of the spruce genome is also continuing.

Researchers can use the knowledge about the gene sequences as a map in the breeding of new trees for the forest industry. There is a large variation between Norway spruce trees. With the help of the map for Norway spruce, breeders should be able to find the most suitable trees for different parts of Sweden.



Ove Nilsson

Robust salix med molekylära metoder

Molecular markers in salix breeding

I projektet SAMBA, vid SLU i Ultuna, vill forskarna öka avkastningen från energigrödan salix i Sverige och anpassa grödan till odling på sydligare breddgrader. Det är viktigt att de nya sorterna får med sig motståndskraft mot svampsjukdomar och insektsangrepp. Molekylära markörer ska göra det lättare att välja ut planter med rätt egenskaper för bioenergidling på olika platser i Europa.

I slutet av 1970-talet utlyste SLU-professorn Gustav Sirén en tävling i tidningen Land där han uppmanade läsare att skicka in skott av kraftigt växande viden. De bästa han fick in av arten korgvide, *Salix viminalis*, utgör en del av ursprungsmaterialet i förädlingen av energigrödan salix i Sverige. Tack vare förädling i form av korsningar och urval ger salixodlingen idag 60 procent högre avkastning av biomassa jämfört med det bästa vildinsamlade växtmaterialet på 70-talet. Sorterna har motståndskraft mot skadegörande bladrostsvampar (*Melampsora* spp.) och insektsangrepp, men motståndskraft är lite av en färskvara då skadegörare med tiden ofta går runt den. Den kommersiella förädlingen av salix i Sverige startade vid dåvarande Svalöf AB 1987. Inger Åhman, numera professor i växtförädling vid SLU i Alnarp, ansvarade för resistensförädlingen av salix under drygt 20 år. Fortsatt förädling ska göra grödan ännu mer robust vad gäller motståndskraft mot svampar och insekter, och mer lönsam att odla i olika klimat.

Ann-Christin Rönnerberg Wästljung är docent i genetik och växtförädling och leder ett av delprojekten inom SAMBA, *Salix Molecular Breeding Actions*.

– Vi utvecklar nya metoder för salixförädlingen, för motståndskraft mot skadegörare, tolerans mot torrare och varmare klimat, och anpassning av fenologiska egenskaper, t ex knoppsprickning, lövfällning, knoppsättning och invintring, till olika dagslängder. Det handlar om komplexa egenskaper som regleras av flera anlag, förklarar hon.



Salix blommor tidigt på våren, hanblommor

Molekylära markörer

Ann-Christin Rönnerberg Wästljung och hennes kollegor i SAMBA tar fram genkartor som visar var i kromosomerna det finns anlag för intressanta egenskaper. De kopplar skillnader i DNA:t hos växtindivider till olikheter i individernas egenskaper. När förekomsten av en eller flera specifika DNA-sekvenser korrelerar med en viss önskad egenskap, då kan DNA-sekvenserna användas som så kallade molekylära markörer. En markör kan ligga i eller nära ett arvsanlag i kromosomerna. Om den ligger inne i arvsanlaget, kan det vara olikheten i DNA:t som är själva orsaken till skillnaden i egenskapen. Om markören ligger utanför, men nära arvsanlaget fungerar markören som en flagga för att här i närheten på kromosomen finns det önskade anlaget.

– Att ta fram nya sorter med optimala egenskaper med hjälp av korsningar och traditionella urval är en tids- och resurskrävande verksamhet eftersom var och en av egenskaperna styrs av flera arvsanlag, förklarar Ann-Christin Rönnerberg Wästljung.



Salixstammar för bioenergi

Molekylära markörer ska användas till att optimera egenskaper, möjliggöra urval av flera anlag samtidigt, och dessutom snabba på urvalsprocessen och göra förädlingsarbetet mindre resurskrävande.

– Samma plantor av salix ska odlas och ge bra avkastning i över 20 år. Vissa egenskaper går att observera med ögat först efter sex-sju år, och den samlade biomassaproduktionen vet man först efter plantans hela livslängd, förklarar Ann-Christin Rönnerberg Wästljung.

Det första urvalet efter en korsning går att göra med DNA-analyser på avkommorna redan när de är småplantor. De plantor som saknar de önskvärda anlagen behöver alltså inte gå vidare i flera år långa fältförsök som kräver mark, skötsel och egenskapsbedömningar.

Varför nya salixsorter?

Intresset för att odla salix i Sverige har gått ner sedan 90-talet, men söderut i Europa är trenden den motsatta, där ökar istället efterfrågan. Ett mål inom salixförädlingen är därför att ta fram sorter som passar att odla i varmare och torrare klimat än vi har i Sverige.

– Vi har fältförsök i Italien och vi simulerar syd-europeiskt klimat i växthus här i Ultuna, berättar Ann-Christin Rönnerberg Wästljung.

Martin Weih är professor i växtekologi vid SLU i Ultuna och hans forskargrupp inom SAMBA har visat att det finns svenska marknadssorter av salix som kan hushålla med vatten och växa bra i varma och torra klimat. De har också visat att salix har särskilda anpassningsstrategier för att hushålla med näring under torra förhållanden. Exempelvis växer plantor med mindre bladyta och mörkgröna blad, det vill säga näringsrika blad, bättre under torka.

– Nu försöker vi hitta de relevanta egenskaperna som styr närings- och vattenhushållning i salix



Martin Weih

i fält, i ett försök i norra Italien. Och vi försöker identifiera de relevanta områdena på kromosomerna, berättar Martin Weih.

Tack vare att salix är en ung, nyligen domesticerad, gröda finns det kvar mycket värdefull variation i förädlingsmaterialet. Salixförädlingen finns kvar hos Lantmännen, och det är bland annat deras sortmaterial som forskarna i SAMBA använder för att testa de molekylära markörerna. Företaget European Willow Breeding AB förädlar också nya salixsorter. Företaget Salixenergi Europa AB har köpt Lantmännens verksamhet inom produktion och försäljning av salixsticklingar. De sköter marknadsföringen av de kommersiella salixsorterna som Lantmännen tagit fram och uppförklningen av förädlingsklonerna.

Vid sidan om ökad avkastning, har motståndskraften mot bladrost varit det viktigaste förädlingsmålet i salixförädlingen hittills. Lantmännens sorter med motståndskraft kommer främst från korsningar med sibiriskt korgvide, *Salix schwerinii*.

Berit Samils är docent vid Institutionen för skoglig mykologi och växtpatologi på SLU i Ultuna. Hon arbetar i ett delprojekt inom SAMBA som handlar om att bredda resistensen mot bladrost.

– Vi vet var i arvsmassan motståndskraften från *Salix schwerinii* ligger. Det kan vara en eller flera gener som är inblandade i just det området på kromosomen, men vi misstänker att det är en enda gen, och vi har en kandidatgen i området, berättar hon.



Berit Samils

Berit Samils studerar också egenskaper hos rostsvampen ur olika aspekter. Olika varianter av rostsvampen angriper olika arter inom *Salix*-släktet.

Jan Stenlid är professor i skoglig patologi och ledare för delprojektet Förbättrad rostresistens inom SAMBA. Han berättar att det finns stor risk att rostsvamparna förändras och överlistar värdväxtens försvar, i och med att det verkar vara ett enda anlag hos salixsorterna som ger den mest verksamma motståndskraften.

– Rostsvamparnas sporer har tjocka väggar och kan transporteras långt med vinden och det betyder att olika varianter av skadegöraren snabbt kan svepa in över nya områden. Det är en anledning till att vi behöver hitta fler gener och medföljande markörer, för att få ett bredare, buffrande försvar mot olika bladrostvarianter hos salixsorterna, berättar Jan Stenlid och tillägger att sorterna som utvecklas för odling i södra Europa behöver få med sig ett robust försvar mot både svampsjukdomar och insekter som kan vara annorlunda än de vi har i Sverige.

Omkombinationer och förändringar (mutationer) i arvsmassan är en förutsättning för evolution och utveckling av nya arter. Växtförädlare förändrar odlade växter genom riktade urval, samtidigt som arter i det vilda också förändras, genom det naturliga urvalet. Det pågår en genetisk ”kraftkamp” mellan organismer på det odlade fältet liksom i det vilda.



Jan Stenlid

Salix som modellorganism

Salix är ett gemensamt släktnamn för flera olika arter av buskar och träd. Trots det klassas grödan salix som jordbruksgröda eftersom den odlas på jordbruksmark och med en kortare omloppstid än skog. Sofia Berlin Kolm är docent med ena foten i SAMBA-projektet och andra foten i sin egen nybildade forskargrupp på SLU i Uppsala. Hon studerar anlag som reglerar hon- och hanidentitet hos salixplantor. Hon driver också ett genomsekvenseringsprojekt för att ta reda på hur hela DNA-sekvensen i arvsmassan hos en viss honplanta av korgvide ser ut.

– Vi vill ”sälja in” salix som modellorganism för växtbiologisk forskning om vedartade växter, speciellt dioika arter, förklarar hon.

Att salixplantor är dioika betyder att växtindividerna har antingen han- eller honidentitet.

Salix-arterna är relativt enkla att korsa med varandra, och lyckas man så får man oftast många frön som är lätta att gro ut. Det går också lätt att föröka upp plantor med sticklingar, och det är bra när man vill göra försök med många upprepningar av samma genotyp, klon. Det gör salix till en bra modellväxt.

En forskargrupp vid Cornell University har nyligen sekvenserat genomet hos rödvide, *Salix purpurea*.

– Det ska bli intressant för oss att ta del av sekvensen för *S. purpurea*, speciellt sekvenserna som

ligger nära våra markörer. Fram tills nu har den sekvenserade närmaste släktingen till korgvide varit poppel. Salix och poppel är närbesläktade, men vår *S. viminalis* är närmare släkt med *S. purpurea*, berättar Sofia Berlin Kolm.

Projektet SAMBA finansieras av Energimyndigheten, SLU och Lantmännen Lantbruk.

Prof. Sara von Arnold är koordinator för SAMBA. Docent Ann-Christin Rönnberg Wästljung, prof. Jan Stenlid, prof. Martin Weih och prof. Christer Björkman leder varsitt delprojekt inom SAMBA.

Läs mer om SAMBA på: <http://www.samba-webb.se/>

Molecular markers in salix breeding

Within the project SAMBA at SLU in Ultuna, the researchers want to help increase the biomass yield from the energy crop willow in Sweden and adapt it for cultivation in Southern Europe via improved plant breeding methods. It is important that the new varieties are resistant to local fungal diseases and pest insects. Molecular markers will make it easier to select for plants with the right traits for cultivation in various locations in Europe.

The researchers develop new selection tools for willow breeders, for plant traits like resistance to pests, tolerance to drier and warmer climates and adaptation of the phenological characteristics, such as bud burst, bud set and hibernation periods, and for different day lengths. This involves complex traits controlled by many genes.

When the presence of one or more specific DNA sequence correlates with a certain desired trait, the DNA sequences can be used as so-called molecular markers. A marker can be located in or near genes in a chromosome.

Molecular markers will be used to optimize traits, enable selection of multiple genes simultaneously and will speed up the selection process as well as make plant breeding less resource demanding. Because willow is a young, newly domesticated crop, there is still much valuable variation in the breeding material. Willow could become a model organism for plant biology research in woody plants, especially dioecious species.



Christer Björkman



Några av forskarna i SAMBA. Främre rad: Sofia Berlin Kolm, Ann-Christin Rönnberg Wästljung. Bakre rad: Henrik Hallingbäck och Pascal Pucholt

Stresstålig stråsäd

Stress resistance/tolerance in cereals

Plantor sätter igång sin celldödsmechanism för att försvara sig mot svampar som lever på levande bladceller. Det svaret utnyttjar andra svampar som lever på döda celler och lurar därigenom växten att bli mottaglig. Det finns även andra typer av anlag för mottaglighet mot sjukdomar i växterna, likväl som det finns andra typer av gener för motståndskraft, resistens. På SLU i Alnarp tar forskarna fram korn som klarar av bladfläcksjuka, vete som kan konkurrera mot ogräs, korn som tål att stå i vattenmättad mark samt vete och korn som står emot angrepp från bladlöss.

Inger Åhman är professor i växtförädling vid SLU i Alnarp och förädlar korn för ökad motståndskraft mot bladfläcksjuka och havrebladlus samt vete resistent mot olika bladlusarter och sotsvampar.

En av svamparna som angriper korn och orsakar bladfläcksjuka heter *Pyrenophora teres*.

– Jag fick ”ärva” ett stort sjukdomsresistens-sortiment av korn från Lantmännen Lantbruk och har odlat det i fält på ett par platser och olika år för att hitta linjer med bred motståndskraft mot bladfläcksjuka, berättar Inger Åhman.

Från det första fältförsöket med kornlinjerna kunde hon välja ut fyra linjer som blev betydligt mindre drabbade av bladfläcksjuka än de andra. Hennes medarbetare korsade dessa fyra linjer med lovande nya sorter samt förädlingsmaterial från Lantmännen. Korsningar gör växtförädlare för att stupa om bland arvsanlagen från föräldralinjerna så att den åtråvärda resistensen kombineras med andra goda egenskaper.

I första generationen efter korsningen får vi avkomor som liknar varandra med en kromosom från vardera föräldern, men i generationen efter har arvsanlagen från föräldrarna blandats om och man får en stor variation i avkomman. I efterföljande generationer gäller det att ”renodla” linjerna. Korn är självbefruktare så det går lätt att inavla i flera generationer tills varje linje har i stort sett likadana anlag i de båda uppsättningarna av kromosomerna. Diploida organismer som korn har ju två kromosomer av varje typ. Ett annat sätt att få fram sådana linjer



Vilt och odlat korn

är att odla ungt pollen så det utvecklas till en planta. Pollen har bara en kromosomuppsättning men sådana haploida småplantor av korn brukar kunna bli diploida av sig själva. Plantorna kallas fördubblade haploider och avkomor från sådana plantor blir identiska med moderplantan och med syskonen.

– Varje sådan kornlinje är unik, berättar Inger Åhman, och förklarar att det inte är frågan om fullständig motståndskraft eller fullständig mottaglighet mot bladfläcksjuka i korn. Det är ett ”kvantitativt” försvar växterna har, längs en glidande skala. Därför är det nödvändigt att testa flera upprepningar av varje linje för att bestämma resistensgraden. I första steget kommer de mest mottagliga att gallras bort i en växthustest.

Nästa sommar, 2015, ska de mest resistenta linjerna ut i fältförsök, i Uppland och Skåne.

– Vi letar också efter kornplantor som är motståndskraftiga mot en annan svamp som också angriper bladen hos korn, *Cochliobolus sativus*. Den svampen kan dessutom orsaka rottröta, berättar hon.

– Mjöldagg var en allvarlig sjukdom i korn förr, men den är nere på noll nu i vissa sorter, tack vare växtförädling. Nu finns där plats för andra blad-sjukdomar istället, förklarar Inger Åhman. Den effektiva resistensen mot mjöldagg bygger på naturliga mutationer som uppstått i en gen som är viktig för mjöldaggen, en mottaglighetsgen kallad *mlo*.



Inger Åhman

Mottaglighetsgener

Det finns alltså aktiva anlag hos växter som gynnar vissa angripande organismer. De anlagen kallar man mottaglighetsgener. Genom att stänga av aktiviteten hos mottaglighetsgener mot skadegörare skulle forskare kunna åstadkomma ökad motståndskraft, alltså genom att göra motsatsen till att föra in anlag för resistens, som är det hittills vanligaste angreppssättet i resistensförädling. En strategi för att skapa motståndskraft mot bladfläcksjukan är att mutera mottaglighetsgener i korn med metoder för *riktad mutagenes*, t ex CRISPR som nämns i artikeln om nya tekniker. Om gener muteras kan de förlora sin funktion. Inger Åhman arbetar med två typer av gener från korn som hennes samarbetspartners i USA misstänker har med mottaglighet för bladfläcksjukdomarna att göra.

– Det gäller anlag hos korn som gör dem mottagliga för just nekrotrofa svampar, som lever på död växtvävnad. Nekrotroforna drar nytta av växtens försvar mot biotrofer, förklarar hon.

Men tekniken för att åstadkomma riktade mutationer i växtslaget korn är inte helt färdigutvecklad ännu.



Skillnaden mellan rågvete och vete avseende ogräskonkurrens

Svampresistens för ekologisk veteodling

Inger Åhman frågade ekologiska lantbrukare vilken sjukdom i vete de tycker är viktigast att resistensförädla mot. Svaret blev att de utsädesburna sjukdomarna stinksot, och på vissa platser även dvärgstinksot, är särskilt problematiska i ekologisk odling och Inger Åhman undersöker nu motståndskraft mot dessa sjukdomar i ett antal vetelinjer. Projektet är finansierat av Formas i form av ett EU-nätverksprojekt.

– Jag samarbetar med danska och österrikiska forskare. De har sortiment av vete med kända gener för motståndskraft mot sotsjukdomar. Och på genbanken NordGen har vi hittat vetelinjer som tidigare tagits fram av professor James Mac Key på SLU där enskilda sotesistensgener finns införda i samma vetesort genom urval och upprepade återkorsningar, till höstvetet Starke II. Det är linjer som varit bortglömda men som vi med NordGens hjälp har hittat nu, och det ska bli jättespännande att testa dem, berättar Inger Åhman. De är särskilt värdefulla för att ta fram molekylära markörer för de olika resistensgenerna, som sen kan användas för att enkelt kombinera flera resistensgener i en ny vetesort.

Motståndskraft mot insekter

Inger Åhman och hennes medarbetare letar också motståndskraft i vete mot havrebladlus och sädesbladlus och mot två andra bladlusarter som är viktiga skadegörare i andra världsdelar.

– Vi har fått vetelinjer från CIMMYT i Mexiko som till största delen har vetets arvs massa men med fragment av rågkromosomer i delar av arvs massan.

I andra linjer är det hexaploida vetet återskapat genom att korsa motsvarigheten till grödans förfäder, den tetraploida *Triticum dicoccum* och den diploida arten *Aegilops tauschii*, berättar hon.

I experiment på labb och i fältförsök har Inger Åhman och hennes medarbetare identifierat linjer som har upp till 75 procent mer motståndskraft mot bladlöss, jämfört med vanligt vete.

Inger Åhman har tidigare arbetat på Svalöf Weibull (nu Lantmännen Lantbruk) i drygt 18 år, med växtförädling just för ökad motståndskraft mot insekter. Ett av projekten där var att föra in havrebladlusresistens från kornets ursprung, ett vildkorn från Israel, till odlingsvärt korn. Det materialet arbetar hon och hennes medarbetare fortfarande med, genom återkorsningar och mellanliggande urval för resistensen.

– Det tar lång tid att återfå odlingsegenskaperna om man utgår från en vild resistenskälla, påpekar Inger Åhman.

Växters stresstålighet

Växter sitter ju fast i marken och har under evolutionen utvecklat fantastiska metoder att utstå både det ena och det andra. Ibland handlar motståndskraften om att växter producerar och utsöndrar ämnen, t ex giftiga ämnen eller doftämnen som förvirrar eller skrämmer bort växtätande organismer. Andra ämnen kan slå ut ogräs i närheten av plantan. Ibland handlar det om att växten låter celler dö runt en angripande svamp. Ibland handlar det om att klara torka eller syrebrist kring rötterna.

Konkurrens mot ogräs

Nils-Ove Bertholdsson är forskare i växtförädling på SLU i Alnarp och han förädlar höst- och vårvete för ökad konkurrenskraft mot ogräs.

– Det är stor skillnad mellan olika vetesorter i hur konkurrenskraftiga de är. Mängden av ogräset renkavle halverades i odlingar med de bäst konkurrerande vetesorterna jämfört med de sämre sorterna, berättar han.

Det kallas allelopati när en växt kan avge ämnen som hindrar andra växter från att växa. Ämnen kan komma från ovanjordiska delar av plantan eller från rötterna.

Råg är känd för att vara allelopatisk och Nils-Ove Bertholdsson arbetar med vetelinjer som innehåller kromosomsegment från råg, så kallade vete-råg-translokationer, för att få fram konkurrenskraftiga vetelinjer. I hans fall kommer ursprungsmaterialet



Stressmeter MINI-PAM

från förädling som professor Arnulf Merker bedrev vid SLU med utgångspunkt i rågvete.

– Det gäller att få med rätt delar av rågkromosomerna och att inte förlora t ex vetets bakningsegenskaper i den typen av material, säger Nils-Ove Bertholdsson och tillägger att det vore precisare att använda genetisk modifiering för att mer specifikt föra över endast valda delar av rågens arvs massa till vetet.

Råg börjar växa en månad tidigare än vetet på våren och rågvetet cirka två veckor tidigare än vetet. Att det finns mindre mängd ogräs i Nils-Ove Bertholdssons odlingar med rågvete och vete-råg-translokationslinjer än med vete, det beror dels på att rågvete börjar växa tidigare än vetet, och dels på de allelopatiska egenskaperna från råg.

– Under vissa miljöbetingelser kommer allelopatin inte till uttryck. Den kan induceras av miljöfaktorer, säger Nils-Ove Bertholdsson, men berättar samtidigt att det finns sorter av ris med lika stark allelopatisk effekt som om odlaren skulle använda en herbicid, det vill säga ett syntetiskt bekämpningsmedel mot ogräs.

– Och det finns kraftiga allelopatiska effekter hos vissa träd och buskar, där ingenting kan växa runt dem, tillägger han.

Vattenmättnadstolerans

Nils-Ove Bertholdsson har utvecklat en metod för att hitta kornplantor som tål att stå i mark som är mättad med vatten. Vattenmättnadstolerans och hög, säker avkastning går hand i hand. Växtförädlare har därför lyckats höja toleransen genom att göra urval för högre avkastning över en följd av år och på flera lokaler som täcker in årsmånsvariationer.

– Den kommersiella förädlingen idag är i stort sett bara inriktad på högre skörd, och då förädlar



Nils-Ove Bertholdsson

man ju indirekt för många egenskaper som bidrar till högre skörd. Det finns alltså ingen riktad växtförädling för just vattenstresstolerans. Förädlare räknar kallt med att välja sorter som ger hög avkastning, och samtidigt fånga upp stresstålighets-egenskaper på köpet. Men risken är att man förlorar viktiga arvsanlag i förädlingen när man inte förädlar riktat mot en viss stress, förklarar Nils-Ove Bertholdsson.

Korn är det av våra stråsådesslag som är mest känsligt för när det är blött i marken.

– Nederbörden har ökat mycket de senaste åren speciellt vinter och vår och förväntas öka ännu mer. Dessutom har man dragit ner på täckdikning. Det finns alltså flera faktorer som bidragit till att göra åkern blötare, säger Nils-Ove Bertholdsson.

Tyngre maskiner som packar marken orsakar också syrebrist. Packad jord får samma effekt som vattenmättnad, eftersom båda företeelserna orsakar syrebrist.

– Ibland kan man se att kornplantor på åkern är gula där traktorn kört, säger Nils-Ove Bertholdsson.

Han har utnyttjat det faktum att korn växer sämre när det får syrebrist kring rötterna och utvecklat en metod för att göra urval för vattenmättnadstolerans bland kornplantor.

– Det första som sker vid vattenmättnad är att fotosyntesen i kornplantans blad minskar. Stressymtomen uppstår redan efter tre-fyra dagar, förklarar han.

Apparaten som han använder är en Mini-PAM

och den mäter fluorescensen från bladen hos vattenstressade småplantor. Den används för att hitta plantor som är stresstoleranta mot vattenmättnad.

– Det finns genetiska skillnader mellan kornsorter i fluorescens som förklarar 50 procent av skillnaderna i vattenmättnadstålighet, berättar han. Även genetiska markörer har identifierats som förklarar mer än 50% av variationen i vattenmättnadstolerans i korn.

Forskningen om stråsådens stresstålighet har kostats med anslag från SLF, Formas, Mistra, SL-stiftelsen och Partnerskap Alnarp.

Stress resistance/tolerance in cereals

At SLU in Alnarp, researchers do pre-breeding of barley to make it resistant to *Pyrenophora teres*, wheat that competes better with weeds, barley that tolerates water-saturated soil, and wheat and barley that will resist attack from aphids.

P. teres is a fungus that attacks barley and causes net blotch on the leaves. In field experiments with various barley lines and cultivars, Inger Åhman, Professor in plant breeding, has found lines that are less affected by the pathogen than others. Together with collaborators she has crossed plants with high resistance with others that are good from an agronomic point of view. From these, recombinant inbred barley lines are now produced by selfing and also by production of doubled haploids.

There are active genes in plants that organisms such as fungi and insects can take advantage of, so called susceptibility genes. This can be exploited in resistance breeding if the expression of those genes is knocked out via mutation. This strategy is the reverse to introduction of resistance genes; by turning off the activity of existing susceptibility genes, researchers are able to achieve more resistant plants.

Inger Åhman and colleagues also search for resistance in wheat and barley against various aphid species and against bunt diseases in wheat, both types of organisms causing problems worldwide.

Nils-Ove Bertholdsson is a researcher who breeds for improved wheat competitiveness against weeds. He has also developed selection methods to find barley lines that can tolerate growing in soil that is saturated with water. Barley is the cereal in Sweden that is the most sensitive to wet soils.

De gör så att blommorna blommar

Control of flowering

När sockerbetan blommar avtar sockerproduktionen i roten. Lyckan för en sockerbetsodlare vore om det gick att så på hösten och ändå inte få plantor som blommar sommaren därpå. Forskare på SLU använder kunskaperna om hur gener styr blomning för tillämpningar inom växtförädling. Växter som blommar tidigare, blommar oftare, eller inte blommar alls, ska hjälpa oss att få ett uthålligare skogs- och jordbruk. En granmutant som sätter kottar tidigt, och alltså har en kortare generationstid, kan användas som ett "modellsystem" för att utforska andra växtgener.

Växter blommar för att fortplanta sig och blomningen är en förutsättning för att arvsanlag ska omkombineras i nya individer. Beroende på vad en växtart har för reproduktionssystem kan tidpunkten för blomning vara mer eller mindre viktig. För växter som korspollineras är det bra om plantorna i populationen blommar samtidigt. För odlare är det fördelaktigt med grödor som blommar och sätter frön synkront, så det går att skörda alla frön samtidigt.

Tidiga kottar

Jens Sundström, docent vid Institutionen för växtbiologi på SLU i Ultuna, har granar som kan sätta kottar redan på sin tredje tillväxtsång i sitt labb. Med lite trixande kan granarna blomma redan som ettåringar. De är granmutanter som har en defekt i ett arvsanlag som normalt skulle bromsa blomningen.

– Vi har utgått från en varietet av vanlig gran som kallas *acrocona*, som först beskrevs av botanikprofessor Theodor Fries här i Uppsala redan i mitten på 1800-talet, och har från den tagit fram tidigt kottsättande granar, berättar Jens Sundström. Men det verkar vara fler arvsanlag inblandade i att reglera blomningen. Olika faktorer i miljön, t ex temperatur och dagslängd, kan påverka när det är dags att blomma. Stress av olika slag t ex torka kan få en växt att blomma tidigare, och hormoner är inblandade i det hela.

– Nu senast har vi undersökt brett vilka andra



Granmutanten *acrocona*

gener än den muterade som uttrycks annorlunda i granmutanterna som sätter kottar tidigt. Vi har hittat ett antal gener som vi ska undersöka närmare, för att förstå bättre hur granen bestämmer sig för att börja sätta kottar, berättar Jens Sundström.

Snabbare förädling

Vanliga granar sätter inte kottar förrän de är 10-20 år gamla. Därför går förädlingen för att få fram träd med önskvärda egenskaper mycket långsamt.

– Vi tänker oss den tidigt kottsättande mutanten som en modellväxt för barträd att använda för att studera olika andra gener i, säger Jens Sundström och förklarar att det är både kottsättningen i sig som är intressant i mutanten, men också möjligheten att använda mutanten för att testa funktioner av andra gener i. Det är nämligen så att forskare kan testa vilken funktion arvsanlag har genom att öka eller minska uttrycket av arvsanlaget i växten med hjälp av genetisk modifiering (GM).

Med "uttryck" menas i hur hög grad ett anlag är aktivt. Vissa anlag kan vara tysta för det mesta. Andra kan ha full aktivitet hela tiden.



Jens Sundström

– I analyser av GM-växter vill forskare ha stabila GM-linjer. Det får man oftast efter två generationers självbefruktnings, med start hos själva plantan som först blev modifierad, förklarar Jens Sundström.

Om någon till t ex vill testa funktionen hos ett arvsanlag som de misstänker styr låt säga vedbildning i gran, då kan man modifiera anlaget i granmutanten och få fram barnbarnsgenerationen till den modifierade granen på tre-fyra år, istället för efter 40 år i vanlig gran. En GM-gran av *acroconamutanten* är alltså både mutant (för tidig blomning) och genetiskt modifierad (för genen man vill studera).

Vintersockerbetor

Ove Nilsson, professor i växternas reproduktionsbiologi på Institutionen för skoglig genetik och växtfysiologi vid SLU i Umeå, har upptäckt och beskrivit hur gener reglerar blomningen i sockerbeta. I ett samarbete med växtförädlingsföretaget Syngenta förstod han och hans kollegor att det finns två gener som liknar varandra, men som har motsatt effekt på blomningen. Uttrycket av den ena gör att plantorna blommar. Uttrycket av den andra bromsar blomningen. Med den kunskapen kunde forskarna modifiera uttrycket av den bromsande genen så att den var påslagen hela tiden och på så sätt fick

de fram en sockerbeta som inte blommar.

– Lantbrukare sår sockerbeter tidigt på våren och skördar betorna på hösten. Skördefenstret, det vill säga tiden lantbrukaren har på sig att skörda, är litet. Ett sätt att öka skördefenstret skulle vara att så sockerbetorna redan på hösten. Men om man sår vanliga sockerbeter på hösten så blommar de på våren och det blir bara små betor, förklarar Ove Nilsson.

Sockerbetan som inte blommar kan lantbrukaren däremot så på hösten och den fortsätter att bilda betor i marken under våren. Det blir en sockerbeta som kan etablera sig i marken före ogräset på våren, och konkurrera bättre om näringsämnen. Dessutom utnyttjas hela tillväxtsäsongen vilket leder till kraftigt ökad produktivitet.

– En annan tillämpning av kunskaper om blomningsgener är att styra blomningen i risodlingar, så att plantorna blommar tidigare. På vissa ställen i världen skulle de kunna hinna med en skörd till per säsong, om risplantorna blommade lite tidigare, förklarar Ove Nilsson.

Han har redan tagit fram den teknik som tillåter att man stimulerar tidig blomning hos t ex poppel och körsbärsträd, något som nu tillämpas för att snabba på förädlingscyklerna som i granexemplet ovan.

Genetiskt modifierade träd som går att föröka vegetativt med sticklingar kan modifieras ytterligare så att de inte blommar. Då upphör risken för att pollen och frön ska spridas från GM-träden ut i naturen.

Forskningen om granmutanten som sätter kortare tidigt finansieras av KSLA och Formas.

Forskningsarbetet med vintersockerbetan finansierades av Vetenskapsrådet och Syngenta.

Control of flowering

Researchers at SLU are using the knowledge about how genes control flowering for applications in plant breeding. Plant varieties that flower earlier, flower more often, or do not flower at all, will help us achieve more sustainable forestry and agriculture. Usually, Norway spruces do not produce cones until they are 10-20 years old. Therefore, the breeding for trees with desirable traits proceeds very slowly.

Jens Sundström has a spruce mutant that produces cones early - and thus has a shorter generation time. It can be used as a "model system" to analyze the function of various other plant genes.

Ove Nilsson has discovered and described how genes regulate flowering in poplar and sugar beet. There are two genes that are similar, but have opposite effects on flowering in sugar beet. Using this knowledge in breeding, the farmer could drill genetically modified sugar beets in the autumn, and the plants will continue to form the beets instead of flowering in the field in spring. It will be a sugar beet that can establish itself in the soil before the weeds in the spring and compete for the nutrients more successfully. Genetically modified trees that can be reproduced vegetatively by cuttings can be further modified so that they do not flower. This will prevent pollen and seeds spreading from GM trees into the environment.



Ove Nilsson

Perenn stråsäd

Perennial cereals

”Min forskning är ett led i att anpassa jordbruket i Sverige till väntade klimatförändringar.” Anna Westerbergh är docent i genetik och växtförädling vid SLU i Ultuna och forskar om flerårigt korn och vete. Varmare klimat och mer regn kräver grödor med nya egenskapskombinationer.

Redan som postdoktor i Minnesota, för mer än 10 år sedan undersökte Anna Westerbergh genetikerna bakom ettårigt och flerårigt levnadssätt hos vilda majsarter. Det var studier inom evolutionsgenetik.

– Det var inte aktuellt med odlingssystem med fleråriga sädeslag då, säger hon.

Nu studerar Anna och hennes forskargrupp korsningar mellan ettåriga odlade kornsorter och vilda perenna, det vill säga fleråriga, kornsläktingar.

– De vilda majssläktingarna är lätta att korsa med varandra, olika arter av kornsläktingar är dock mycket svårare att korsa och få avkomor från, förklarar hon.

Det handlar inte bara om att korngrödan ska bli flerårig. Det finns flera andra egenskaper som är intressanta ur agronomisk synvinkel hos de fleråriga arterna, t ex stor skörd och anlag för att klara av att växa när det finns mycket vatten i marken, att de har så kallad vattenmättnadstolerans.

– Vi inriktar oss på att vi behöver anpassa jordbruket i mellersta och norra Sverige till ett varmare klimat med mer regn och där kommer de perenna kornsläktingarna in i bilden, säger Anna Westerbergh men tillägger att det samtidigt finns farhågor om att fleråriga korn- och vetelinjer kan bli mer angripna av vissa sjukdomar. Å andra sidan är perenner troligen mer konkurrenskraftiga gentemot ogräs. Vi kommer även att studera näringsinnehållet i de perenna linjerna.

Fröer från Nya Zeeland

Det finns redan linjer av korsningar mellan odlat korn, *Hordeum vulgare* på latin, och den vilda arten *Hordeum bulbosum*. Forskare vid New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited har tagit fram ett antal sådana linjer. Anna Westerbergh och hennes forskargrupp har fått dessa korn-



Anna Westerbergh

linjer från Nordiskt genresurscenter (NordGen) i Alnarp, som de använder i sin forskning.

– Problemet är att den andra forskargruppen har haft fokus på anlag för motståndskraft mot sjukdomar i sin forskning när de gjorde urval av plantor, så det finns risk att det fattas delar av det vilda kornets arvs massa som är intressanta för oss, t ex arvsanlag för perenn levnadscykel och vattenmättnadstålighet, berättar hon.

De här linjerna har till största delen arvs massa från grödan korn, men med inslag av olika fragment i kromosomerna från den vilda arten. De är så kallade introgressionslinjer.

– Flera specifika arvsanlag måste följa med från den fleråriga vilda arten i en korsning med odlat korn för att avkomman ska bli perenn, säger Anna Westerbergh och tillägger att dessa anlag kanske inte finns i just de här linjerna.

Nya *H. vulgare* x *H. bulbosum*

– Vi gör egna nya korsningar nu, mellan odlat höstkorn, och vildarten *H. bulbosum*, berättar Anna Westerbergh. Vi börjar om där forskarna från Nya Zeeland startade för många år sedan, för vi behöver göra urval utifrån de egenskaper vi fokuserar på i vår forskning.

Vilda korsningar

– Det är svårt att göra korsningar inom växtsläktet *Hordeum*, förklarar Anna Westerbergh, och det är svårare ju längre ifrån varandra arterna ligger i släktträdet. Anna och hennes forskargrupp har

därför korsat vilda kornsläktingar som är närmare släkt med varandra än med det odlade kornet, för att få fler avkommeplantor att studera de olika arvsanlagen för flerårighet i. De vilda arterna som är närmare släkt med varandra är lättare att korsa och få frön från.

– Försöket med bara vildarter faller inom kategorin grundforskning, även om vi i framtiden kanske kommer kunna använda denna kunskap för att föra över önskvärda anlag från det vilda kornet till odlat korn, säger Anna Westerbergh.

Fröer från Land Institute

Anna Westerbergh har ett samarbete med forskare vid Land Institute i Kansas. Där har de korsat vete med vilda släktingar till vete och förädlat fram linjer av perenna vetesorter sedan 1970-talet, med fokus på just egenskapen flerårig livscykel.

– De har skickat fröer från några av sina linjer till oss, som vi väntat på med spänning, berättar hon.

Motsvarigheten till de inledande korsningarna mellan vete och vild perenn, som forskarna på Land Institute gjorde för 20 år sedan, gör Anna Westerbergh med korn och vild perenn nu. Liknande forskning mellan andra grödor och vilda växter går att göra med alla ettåriga grödor som har fleråriga korsningsbara vilda släktingar. Av olika anledningar valde människan att börja odla ettåriga grödor för 10 000 år sedan. Det kan t ex ha berott på att de ettåriga växtarterna gav snabbare och säkrare skörd.

– Intressant och glädjande är att förädlingsföretag som säljer utsäde har börjat visa intresse för att finansiera forskning för att utveckla perenn stråsäd, säger Anna Westerbergh.

Ett hållbart jordbruk

Fleråriga sädeslag skulle kunna fungera som fånggrödor för näringsämnen eftersom plantorna har en längre tillväxtsäsong och lever kvar i marken hela året. Det skulle minska näringsläckaget från marken ut i sjöar och hav. Näringsämnen som fosfor och kväve läcker från åkrar efter skörd och före sådd i odlingsystem med bara ettåriga grödor. Perenna grödor kan alltså bidra till att öka jordbrukets uthållighet.

– Perennodling innebär också mindre energiförbrukning, mindre packning av marken och mindre störning på de ”goda” mikroorganismerna (bakterier och mikrovampar) i jorden eftersom tunga



Forskarna Estelle Lerceteau-Köhler och Muhammad Sameri i Annas forskargrupp

jordbruksmaskiner inte behöver köra i samma omfattning på åkrarna, förklarar Anna Westerbergh. Knuten till Anna Westerberghs forskningsprojekt på perenna sädeslag är en rådgivningsgrupp med representanter från Lantbrukarnas Riksförbund (LRF), Ekologiska Lantbrukarna och andra forskare. Hon tycker att det finns mycket kunskaper att hämta från lantbrukarna.

– De är intresserade av vår forskning och ger värdefulla synpunkter på hur vi kan gå vidare med vår forskning, säger hon

Annas Westerberghs forskning finansieras av Formas i samverkan med Mistra och Lantmännens Forskningsstiftelse samt SLU.

Perennial cereals

We need to mitigate climate change effects on agriculture in Sweden. Scientists predict a warmer climate with more rain. Such a climate requires crops with specific trait combinations. Perennial grains can act as a catch crop for nutrients and water because these plants stay alive in the field all year. This would reduce nutrient leaching from the soil into lakes and sea waters. Nutrients such



Korn med inslag av släktingen *H. bulbosum* i arvmassan

as phosphorus and nitrogen leach from fields after harvest and before sowing in cropping systems with only annual crops. Anna Westerbergh studies barley lines with various fragments of chromosomes from a wild perennial barley species. They are so-called introgression lines. Several specific genes are needed from the perennial wild species in a cross with cultivated barley for the offspring to become perennial. The research team at SLU makes their own crosses, but they have also acquired such lines of barley and wheat from New Zealand and the United States.

For various reasons, man chose to grow annual crops 10 000 years ago. This may be due to that the annual plant species result in a faster and more reliable harvest. However, perennial crops mean less energy consumption and less compaction of the soil, since farm machinery does not need to run in the fields every year.

Genomiskt urval i tallförädlingen

Genomic selection in pine breeding

Om man tar frön från en tall och försöker odla dem mer än 200 kilometer längre norrut så dör många av de nya tallplantorna. De invintrar inte i tid och dör av frost. Tallar i södra Sverige växer snabbt och ger högre avkastning. Tallarna i norr är å sin sida anpassade till långa dagar. Flera olika arvsanlag hos träden samverkar och gör dem lämpliga att odla på olika platser.

På SLU i Umeå tar forskare fram metoder för att välja plantor med rätt anlag i tallförädlingen.

– Vi kopierar metoden *genomisk selektion* som används inom djuravel, berättar Rosario García Gil, forskare i skoglig genetik och växtfysiologi.

Trädförädlingen i Sverige, som startade på 1930-talet, går av lätt insedda skäl inte lika fort som förädlingen av jordbruksgrödorna. Det tar 15-30 år innan en tall blommar, och flera av tallens egenskaper kan förädlarna inte mäta förrän trädet är cirka tio år gammalt. Tall odlas på 38 procent av skogsmarken i Sverige och förädlingen, liksom all skogsträdförädling i Sverige, sker vid forskningsinstitutet Skogforsk som finansieras av staten och skogsnäringen.

Pre-breeding för skogsträd

Skogsträdforskare vid SLU samarbetar med Skogforsk och bidrar till förädlingen med kunskaper och metodutveckling.

– Vi gör grundforskning och så kallad pre-breeding på en och samma gång. Vi studerar egenskaperna hos träden ur ett ekologiskt perspektiv och vi tar fram genkartor och molekylära verktyg för att underlätta förädling av komplexa egenskaper som styrs av flera anlag som samverkar, berättar Rosario García Gil.

Pre-breeding är förädlingsforskning som ligger mellan grundforskningen inom växtbiologi och den praktiska växtförädlingen. För Rosario García Gil och hennes kollegor handlar det om att ta fram kunskaper om tillväxt, vedbildning, knoppsättning, frosttålighet och flera andra komplexa egenskaper hos tall som har ett ekonomiskt värde och som är intressanta ur miljösynpunkt. Forskningen



Rosario García Gil

handlar också om att minska risken för inavel i tall, det vill säga att bevara den genetiska variationen och att därigenom göra skogsnäringen förberedd på förändringar i miljön.

Att hitta rätt träd

Tallförädlingen vid Skogforsk har hittills byggt på korsningar mellan träd med extra god kvalitet som förädlare hittat i skogen, så kallade plus-träd. De träden är föräldraplantor till ett antal populationer av tall som forskare observerar på olika odlingsplatser i Sverige. Förädlingen skulle bli mycket mer effektiv om det gick att välja ut träd redan som småplantor. Det skulle minska antalet försöksträd som behöver stå i fält i många år. Vid SLU i Umeå utnyttjar forskarna sekvenseringstekniken, de tar reda på "bokstäverna" i DNA-koden i arvsmassan, och skapar en metod för att snabbt kunna testa hur sannolikt det är att en ny liten tallplanta bär på önskvärda anlag och därmed betydelsefulla egenskaper. Förädlare ska kunna använda metoden i framtiden för att få fram avelsvärden, genom att analysera DNA-prover från sina tallplantor, och kunna välja vilka träd som ska bli "avelsträd" utifrån dessa värden.

Genomisk selektion

– Vi kopierar avelsmetoden *genomisk selektion* som forskare använder inom djuravel för att knyta genetik till egenskaper. Det är en statistisk metod där man inte bryr sig om själva anlagen i kromosomerna när man gör urvalet, förklarar Rosario García Gil.

Istället för att studera enskilda arvsanlag, så utgår *genomisk selektion* från många små genetiska variationer, tiotusentals enstaka skillnader i nukleotidbaserna, ”bokstäverna”, i DNA-koden. Forskaren gör urval baserat på ett värde för hur sannolikt det är att en individ bär på de önskade egenskaperna genom att kartlägga hela arvsmassan hos individen.

Ny teknik för DNA-analyser har gjort det tekniskt och ekonomiskt möjligt att fastställa nukleotidbasernas ordning, sekvenser i DNA-molekylerna, hos i stort sett hela arvsmassan från enskilda individer.

Första steget i utvecklingen av metoden *genomisk selektion* för tall är nu att hitta de små genetiska skillnaderna mellan tallplantor med önskade egenskaper och plantor med sämre egenskaper. Forskarna samlar DNA-förändringar som höjer avelsvärdet på en ”analysplatta”, *array*, för tiotusentals DNA-sekvenser, som blir själva verktyget förädlare sen kan använda att jämföra DNA från nya tallplantor med. Metoden är speciellt lämplig när det gäller att förädla för egenskaper där många arvsanlag samverkar.

Ljuset i norr

Rosario García Gil och hennes kollegor vid SLU i Umeå studerar hur tallens och granens tillväxt och knoppsättning fungerar i olika ljusförhållanden. Sammansättningen av ljus med olika våglängder, t ex rött, djuprött och blått, varierar från norr till söder och under årstiderna. Andelen djuprött ljus är högst i norr på våren.

– Populationer av tallar är så genetiskt anpassade till specifika ljussammansättningar att det bara går att flytta dem 200 kilometer i nordlig riktning, längre norrut klarar de sig inte lika bra. Tallar som växer i södra Sverige ger hög avkastning och om klimatet i Sverige blir varmare, då skulle tallarna söderifrån kunna växa längre norrut, temperaturmässigt, men frågan är om vi kan få träden söderifrån att klara av de långa dagarna och sammansättningen hos ljuset i norr, berättar Rosario García Gil.

Anlag för olika ändamål

Vissa anlag gör att tallar passar för tillväxt i vissa regioner. Andra arvsanlag gör att träden passar bra för olika användningsområden, exempelvis virke, pappersmassa eller bioenergi.

Harry Wu är professor vid institutionen för

skoglig genetik och växtfysiologi vid SLU i Umeå. Han studerar den genetiska variationen som ligger bakom trädens tillväxt, och virkets form och kvalitet.

– Trä som ska bli virke ska ha hög densitet och så lite trävridning som möjligt. Pappersindustrin vill ha högt cellulossainnehåll, medan trä som ska ge bioenergi bör innehålla mycket lignin, berättar han.

Vissa egenskaper hos tallplantorna kan man observera genom att titta och mäta, andra egenskaper kartlägger forskarna genom att göra kemiska analyser på prover från stammen.

Trädens egenskaper mäter forskarna först när plantorna är cirka tio år gamla.

Harry Wu och hans forskargrupp studerar också arvsanlag för hur träd reagerar på olika stressfaktorer i miljön och hur de är anpassade till årstidsbundna händelser. Tillsammans med Skogforsk studerar de många populationer av tallar över hela Sverige och ställer sig frågan hur mycket av variationen i egenskaperna som beror på genetiska skillnader mellan träden och hur mycket som beror på faktorer i miljön. Forskningen går ut på att hitta de träd som passar bäst i specifika regioner, och att välja de bästa förädlingsstrategierna för att gå vidare med dem i tallförädlingen.

– En del av vårt arbete går ut på att hitta en bra balans mellan att trädet växer snabbt och att det ger bra vedegenskaper, berättar Harry Wu.

Förutom *genomisk selektion* har forskarna andra sätt att studera kopplingen mellan genetik och egenskaper hos tall och andra skogsträd. Ett sätt är att utgå från anlag som man tror eller vet har med en viss egenskap att göra, t ex från studier av andra växter, och leta efter skillnader, markörer, i eller nära just de anlagen i kromosomerna.

Forskningen finansieras av Föreningen Skogsträdsförädling, Kempestiftelserna, Formas, SLU och KSLA.

Läs mer på: <http://www.upsc.se/>

Genomic selection in pine breeding

If you take seeds from a pine tree and try to grow them more than 200 kilometers further north, many of the new pine seedlings die. Their hibernation period is not long enough and the new trees die from freezing. Pine trees in southern Sweden grow quickly and yield more. The pines in the north are, on the other hand, adapted for long

days. Several different genes interact within the trees and make them suitable to cultivate in different places.

At SLU in Umeå scientists develop methods to select plants with the right genes in pine breeding.

– We copy the method *genomic selection* used in animal breeding, says Rosario Garcia Gil, researcher in Department of Forest Genetics and Plant Physiology.

Researchers at SLU collaborate with Skogforsk and contribute to tree breeding with their knowledge and method development.

– We do basic research and so-called pre-breeding at the same time. We study the traits of trees from an ecological perspective and we develop genetic maps and molecular tools to facilitate the breeding of complex traits controlled by multiple genes that are interacting, says Rosario Garcia Gil.

Professor Harry Wu studies the genetic variation that underlies the growth of trees. Together with Skogforsk, Harry Wu and his research team study many populations of pine throughout Sweden and they quantify how much of the variation in traits is due to genetic differences and how much is due

to environmental factors. They want to identify the tree that best fits the specific forest regions as well as that give the right end use quality and to choose the best strategies to move forward with pine breeding.



Harry Wu

Att tämja en vild växt

Domestication of a wild species

Om vi fick önska oss en helt ny gröda till det svenska jordbruket, någonting som saknas, då skulle det kunna vara en flerårig växt som går att odla i hela Sverige i kombination med stråsäd på åkermarken. En växt som kan ta upp näringsämnen efter det att stråsäden mognat, så att kväve och fosfor inte hamnar i vattendrag och orsakar övergödning av sjöar och hav. En gröda som dessutom ger en skörd av någonting vi börjar få brist på. Olja!

Den vilda växten fältkrassing, *Lepidium campestre*, är tänkt att bli en ny miljövänlig oljekälla och ett medel för att förhindra övergödning av sjöar och hav. Professor Li-Hua Zhu och forskaren Mulatu Geleta Dida domesticerar den nya grödan, på Institutionen för växtförädling vid SLU i Alnarp.

Professorerna Sten Stymne och Rodomiro Ortiz har också en aktiv del i projektet, Sten Stymne som expert på växtfetter och hur de kan modifieras med hjälp av genteknik och Rodomiro Ortiz med djupa kunskaper om växters genetik och hur den kunskapen kan utnyttjas för samtidigt urval av många önskade egenskaper via genetiska markörer.

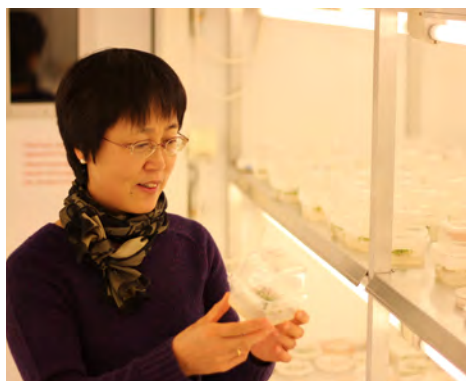
– Fältkrassing ska ge oss ökad produktion av vegetabilisk olja i Sverige för både livsmedelsändamål och industriella ändamål och minska vårt beroende av fossila oljor, berättar Li-Hua Zhu.

Fältkrassing är en tvåårig växt. Som en pusselbit i vår strävan efter ett miljövänligt hållbart jordbruk ska den nya grödan fungera som fånggröda, det vill säga att den ska fånga upp näringsämnena som annars hamnar i vattendragen.

Domesticering

Det finns omkring 300 000 arter av växter på jorden och 7 000 av dem har vi domesticerat och odlat för konsumtion under många, många år. På jordbruksmark odlar vi mestadels ettåriga grödor och det gör att marken står utan aktiv växtlighet från att grödan har skördats och fram till ny sådd antingen på hösten eller våren.

Troligen finns det mängder av växter i det vilda som vi skulle kunna tämja och utveckla till nya nyttoväxter. Men domesticering av nya grödor är



Li-Hua Zhu

en ovanlig företeelse idag. Växtförädling handlar mest om att förbättra de kulturväxter vi redan har, ibland med inslag av att förädlaren utnyttjar att man i växtforskning eller pre-breeding gör korsningar med vilda släktingar till grödorna för att få in någon speciell önskvärd egenskap, t ex motståndskraft mot en viss skadegörare.

Grödor som ris, majs och vete har domesticerats under tusentals år. Idag känner vi till mycket av vad som hänt med växterna under domesticeringen, tack vare forskning inom växtmolekylärbiologi och genetik. Forskare har kunskaper om växternas arvsanlag (gener) för egenskaper som är bra ur odlingssynpunkt, exempelvis anlag för att frön ska sitta kvar på plantan så de går att skörda maskinellt. Med den kunskapen, och nya tekniker, går det att ”snabb-domesticera” växter.

Fältkrassing – fånggröda och oljeväxt i ett

En åker utan växtlighet läcker näringsämnena ut till sjöar och hav. Det är ett av de stora problemen i jordbruket. En flerårig växt kan ta upp näring från marken under stor del av året, näring som annars skulle läcka ut i den omgivande miljön under sensommaren, hösten och tidigt på våren.

Att odla stråsäd i kombination med en flerårig gröda, som dels kan fånga upp näring och dels kan ge en egen skörd av något som vi har brist på, skulle vara idealiskt.

– Det skulle kräva mindre arbetsinsatser i jordbruket, t ex med plöjning och harvning, och därmed innebära mindre energikonsumtion och miljöpåverkan, säger Li-Hua Zhu.

I Sverige har vi få lämpliga fleråriga grödor som skulle passa in i ett sådant odlingsystem. Undantaget är fleråriga vallväxter som sås in i en stråsädesgröda.

För mer än 20 år sedan kom professor Arnulf Merker på att den vilda växten fältkrassing, skulle vara lämplig som en flerårig oljeväxtgröda som kan sås in i stråsäd redan på våren. Fältkrassing sätter många frön som är rika på olja, plantan växer upprätt och alla blommor på plantan blommar i stort sett samtidigt under sommarsäsongen. I och med det kan alla frön skördas samtidigt. Fältkrassing är också vinterhärdig ända upp i norra Sverige.

Li-Hua Zhu berättar att försöksodlingar med fältkrassing i Umeå visade lika hög överlevnad som motsvarande odling i södra Sverige. Raps däremot hade bara 2% överlevnad i Umeå i Västerbotten och i Lännäs i Ångermanland jämfört med i södra Sverige.

Däremot måste växten ”tämjas” vad gäller några viktiga egenskaper. Fältkrassing måste behålla fröna fram till skörd och börja tillverka ännu mer olja i fröna för att bli lönsam att odla.

– Sammansättningen av fettsyror i oljan måste också anpassas, beroende på vad vi vill att växtoljan ska användas till, förklarar Li-Hua Zhu.

Fettsyror i oljan bestämmer oljans egenskaper, och det är anlagen hos växten som bestämmer vilka fettsyror fröolja innehåller. Växtolja kan bli biobränsle, matolja, användas i tillverkningen av plast eller bli smörjolja i industrin.

Fröolja från fältkrassing innehåller både erukasyra och linolensyra som är olämpliga i livsmedel. Erukasyra är å andra sidan efterfrågad för produktion av smörjmedel och plast.

Det går att göra domesticeringen och kvalitetsförädlingen med olika metoder. Med hjälp av korsningar, genteknik och riktade mutationer kan oljan i växterna skraddarsys för olika ändamål. Och det går mycket snabbare än vad domesticering gjorde förr i tiden.

Dråsfasthet, oljehalt och -kvalitet

Hos stråsädesgrödor med dråsfasthet sitter fröna kvar på plantan och jordbrukaren förlorar inte så många frön vid tröskningen. Att inte släppa frön är en typisk egenskap som odlade grödor fått tidigt



Mulatu Geleta Dida

i domesticeringen, för flera tusen år sedan. Problemet att den vilda fältkrassing saknar egenskapen dråsfasthet går att lösa med genteknik, eller med urval efter DNA-test, eftersom arvsanlaget bakom dråsfasthet är känt.

Forskaren Mulatu Geleta Dida har 80 accessioner av fältkrassing som han och andra samlat in. Han observerar accessionernas egenheter och gör korsningar för att kombinera de olika önskvärda egenskaperna.

– Det finns en värdefull variation i växtmaterialet. Variationen är stor inom accessionerna, men skillnaderna mellan accessionerna är ännu större, säger han.

Han förklarar att accessionerna bland annat är växtmaterial som Arnulf Merker samlade in för cirka 20 år sedan i Sverige och Ungern, i början av domesticeringsprojektet. Det är också fältkrassing från före detta Tjeckoslovakien, Danmark, Frankrike, Tyskland, Grekland, Spanien och USA.

– Sommaren 2012 reste jag från södra Sverige upp till Gävle, och från öst till väst och hittade 40 nya accessioner av fältkrassing, även från Öland och Gotland, berättar han.

Han förklarar också att det svåraste i domesticeringen blir att höja oljehalten. Den vilda fältkrassing har runt 20 procent olja i fröna. Raps har 35-45 procent.

– Vi har sett en viss ökning av oljehalten efter flera omgångar av självbefruktningar, korsningar och urval, men halten bör bli mer än 30 procent för att fältkrassing ska bli lönsam att odla som oljegröda, säger han.

Forskarna studerar de önskvärda egenskaperna hos växten var för sig och sedan är tanken att korsa ihop olika växtlinjer, och ”samla” egenskaperna i



Rodomiro Ortiz, Leonardo Crespo, Sten Stymne och doktoranden Zeratsion Abera inspekterar fältkrassing i fält

en eller flera sorter för odling.

Här kan ett nytt sätt att bedriva växtförädling komma in, genomisk selektion. Den metoden bygger på att man gör urvalen med ledning av DNA-sekvenser utan att veta exakt vad dessa har för funktion. Rodomiro Ortiz och professor Dirk-Jan de Koning vid Institutionen för husdjursgenetik handleder en doktorand som utvecklar detta för fältkrassing.

Nils-Ove Bertholdsson, som är forskare vid SLU i Alnarp, gör fältförsök med vissa accessioner för att se om växten passar in i ett odlingssystem tillsammans med korn och vete. Han undersöker om det har någon effekt på stråsädesskörden om fältkrassing växer samtidigt på samma åkermark. Han tar också reda på hur man ska så fältkrassing tillsammans med stråsåden. Forskarna måste också lösa frågan om hur jordbrukaren ska kontrollera ogräs i odlingsystemet med fältkrassing.

Mistra och SLU stödjer forskningsprojektet med fältkrassing och det ingår som en del i forskningsprogrammet Mistra Biotech där professor Sven Ove Hansson är programchef. Programmet Mistra Biotech är tvärvetenskapligt och inriktat på användningen av bioteknik för en konkurrenskraftig och hållbar lantbruks- och livsmedelsproduktion i Sverige.

Läs mer om Mistra Biotech på: <http://www.slu.se/mistrabiotech>

Domestication of a wild species

The wild plant species field pepperweed, *Lepidium campestre*, could become a new environmentally friendly source of oil and a mean to prevent the eutrophication of lakes and sea water. Field pepperweed can give us an increased production of vegetable oil in Sweden for both food and industrial purposes and reduce our dependence on fossil oils.

Field pepperweed is a biennial plant. As one piece of the puzzle in our quest for a sustainable agriculture, the new crop could function as a catch crop; absorbing nutrients that would otherwise end up in the surface waters.

There are about 300,000 species of plants on Earth and 7000 of them have been domesticated and cultivated for human consumption for many years. In agriculture, we grow mostly annual crops which means that there are no living plants in the field after the crop has been harvested until next sowing, either in the autumn or spring.

Crops such as rice, corn and wheat were domesticated during thousands of years. Today we know a lot about what happened to the plants during domestication, thanks to research in plant molecular biology and genetics.

The researchers will do selection for oil quality, high oil content and less seed shedding in the domestication of the field pepperweed. Researchers introduce the desirable traits in plant lines separately, and then the idea is to cross different plant lines and combine the traits in one or more varieties suitable for cultivation.



Storleksvariation i fältkrassing

Bär frukt

Breeding fruits and berries

På äppellabbet i Balsgård testar professor Hilde Nybom och hennes team motståndskraft mot mögel i äpplen under lagring. I huset intill har Kimmo Rumpunen, forskare och Årets hortonom 2014, grönt ljus i sitt laboratorium. Där undersöker han förekomst av nyttiga ämnen i bär som kan bidra till att bevara vår hälsa.

På SLU:s förädlingsstation för frukt och bär, utför Kristianstad leder Hilde Nybom och Kimmo Rumpunen grundforskning, pre-breeding och framställning av nya äppel-, havtorns- och vinbärsorter.

Kimmo Rumpunen, forskare i växtförädling på Balsgård, öppnar dörren till sitt laboratorium och det lyser grönt ljus från lysrören i taket.

– Här studerar vi polyfenoler. Det är nyttiga ämnen med hälsobefrämjande egenskaper som finns i bär. Vissa ämnen är känsliga och bryts ner i vanligt vitt ljus, berättar han.

Han anser att det finns en potential i våra nordiska bär som vi borde ta hand om bättre i form av produktutveckling.

Han har en holistisk syn på odlingen av bär och tycker att vi borde kunna utnyttja växter på fler sätt.

– Domesticering av växter måste få ta tid. På 80-talet identifierade vi bland annat aronia som en framtidsgröda, rik på nyttiga antocyaniner och vitaminer. Nu har samhället kommit ifatt och vi använder aronia i olika produkter, men oftast som importerat koncentrat. Växtförädling bedriver vi ju för morgondagens behov och det är viktigt med relevanta förädlingsmål för att kunna skapa ett ekonomiskt mervärde, säger Kimmo Rumpunen och tillägger att som forskare får man ibland hoppa från en tuva till en annan beroende på vad som är populärt hos finansierarna, och anpassa sig till nycker i samhället.

Kimmo Rumpunen har många järn i elden, han har forskat om rosenkvitten, havtorn och flera andra bär men sedan tio år tillbaka handlar hans forskning vid SLU främst om polyfenoler och om förädling av svarta vinbär och havtorn.

Förädlingen av svarta vinbär går, liksom äppel-



Kimmo Rumpunen

förädlingen, ut på att kombinera egenskaperna hos klimatanpassat växtmaterial med moderna utländska sorters speciella egenskaper. Kimmo Rumpunen vill ta fram bär med god smak, härdiga buskar för ekologisk odling som klarar frosten på våren och som har ett växtsätt som underlättar skörd.

– Vi har fått in en varaktig resistens mot gallkvalster i vinbär. Det har växtförädlare jobbat med under lång tid för att kunna uppnå. Men det kanske inte alltid är önskvärt med fullständig motståndskraft mot sjukdomar då sådan resistens snabbt brukar kringgås av skadegöraren. När det gäller sjukdomar på blad kan det vara bättre att acceptera en tillräcklig men inte fullständig motståndskraft hos bärbuskarna, säger han.

Parallellt med växtförädlingen av bär arbetar Kimmo Rumpunen som projektledare för Centrum för innovativa drycker. Där hjälper han odlare och livsmedelsföretag att utveckla nya produkter. Han ger råd och gör pilotförsök i syfte att öka mervärdet hos skånska råvaror. Idag testar de en rabarberdryck på centret. Länsstyrelsen i Skåne, Jordbruksverket, SLU och EU finansierar projektet Centrum för innovativa drycker. Kimmo Rumpunens arbete med innovativa drycker bidrog, tillsammans med hans växtförädlingsarbete, till att han utsågs till Årets hortonom av Sveriges hortonomförbund 2014.



Äppellabbet

Äppellabbet

I källarvåningen i huset bredvid testar Hilde Nybom och hennes medarbetare egenskaper hos äpplen. I labbet testar fältassistent Charlotte Håhus och laboratorieingenjör Jasna Sehic äpplenas motståndskraft mot grönmögel svampen *Penicillium expansum*, som orsakar röta på äpplen under lagringen efter skörd.

– Vi sprutar in mögelsporer i äpplena, lagrar dem i tolv veckor och sedan mäter vi storleken på sjukdomsangreppet, förklarar Hilde Nybom. I forskargruppen ingår också forskaren Ibrahim Tahir och doktoranden Masoud Ahmadi-Afzadi som snart ska disputera på en avhandling om hur resistens mot grönmögel nedärvs hos äpple.

Forskargruppen kartlägger flera andra egenskaper hos äppelsorterna, t ex motståndskraft mot andra svampsjukdomar, fruktens kvalitet och förekomsten av allergener i äpplena. Forskningen handlar om att knyta egenskaper till arvsanlag, i både gamla och nya äppelsorter. Den stora samlingen av drygt 600 olika äppelsorter på Balsgård utgör en nödvändig bas för både forskningen och förädlingen.

– I framställningen av nya sorter vill vi kombinera egenskaper som gör att äpplen klarar det svenska klimatet med egenskaperna god smak, riklig fruktsättning, krispighet och sundhet. Vi korsar svenska lokalsorter med utländska sorter av hög kvalitet, förklarar Hilde Nybom.

Generationstiden från frö till frö är cirka 6 år för äpplen. Det första urvalet av potentiella nya äppelsorter gör forskarna redan på fröplantor som de erhållit efter att man har korsat två olika äppelsorter och sedan sätt ut kärnorna. Utvalda fröplantor förökas upp och klonas genom ympning på grundstammar. Sedan testar forskarna de nya äpp-



”Petter”, en ny storfruktig sort av svarta vinbär för trädgårdsodling

lenas olika egenskaper och gör urval utifrån dessa resultat.

– Våra senaste sorter som vi registrerade 2014, heter Agnes, Trulsa, Lovisa och Folke. De tre första är bordsfrukter som mognar från mitten av augusti till mitten av september. Folke, som inte mognar förrän i början av oktober, ger stora, syrliga äpplen som passar både som bordsfrukt och till att göra äppelkaka och must av, berättar Hilde Nybom.

Stiftelsen Trädgårdsodlingens Elitplantstation (EPS) sköter marknadsföringen av de nya sorterna från Balsgård.

Balsgård

Balsgård har varit en del av SLU (och dåvarande Lantbrukshögskolan) sedan 1970. Men fruktträdsvärdlingen på Balsgård startade redan i början av 1940-talet, på initiativ av genetikern Herman Nilsson-Ehle och i regi av Föreningen för växtförädling av fruktträd. Sedan 1960-talet har det kommit många nya svenska sorter av både frukt och bär härifrån, av äpple, päron, plommon, körsbär, jordgubbar, hallon, vinbär, surkörsbär, björnbär, smulgubbar, havtorn, blåbär och lingon. Hela tiden med allra störst fokus på svenska äppelsorter.

Idag plockar två utställare äpplen och päron av olika sorter i genbankerna. De kommer från Göteborgs Botaniska trädgård och hämtar, liksom flera andra äppelutställare runtom i landet, material från Balsgård varje år. Äpplebanken med sina 600 sorter är en unik resurs.

Europeiska äppelprojekt

Ett stort äppelprojekt inom EU, Fruitbreedomics, går ut på att hitta små olikheter i äppelsorternas arvs massa och knyta olikheterna till egenskaperna hos de olika sorterna. Kunskaperna om egenska-

pernas genetiska bakgrund kan sedan effektivisera växtförädlingen.

– 1200 äppelsorter ingår i hela projektet. Vi på Balsgård bidrar med 200 sorter från norra Europa och Nordamerika. I projektet kartlägger några forskare hundratusentals små skillnader i äppelns arvs massa och här på Balsgård ansvarar vi för att testa de nordliga, hårdiga äppelsorternas olika egenskaper, så att det ska gå att koppla anlag till egenskaper, berättar Hilde Nybom.

Vid genbanker i t ex Italien, Belgien och Tjeckien gör de liknande egenskapstester.

Medarbetarna inom Fruitbreedomics ingår, tillsammans med andra forskare runt om i världen, i Hilde Nyboms forskningsnätverk. Andra samarbetspartners är Högskolan i Kristianstad, och forskare och växtförädlare i Norge och Finland som tillsammans med Balsgård driver ett PPP-projekt (Publikt Privat Partnerskap) för pre-breeding av äpplen för det nordiska klimatet. Nordiska Ministerrådet och SLU finansierar det projektet.

– I t ex Frankrike och Belgien samarbetar plantskolor och universitet om växtförädling. I Sverige finns inga privata företag som ägnar sig åt frukt- och bär förädling, säger Hilde Nybom och berättar att odlare som är intresserade av nya sorter ibland testodlar sorter, men marknaden är för liten för att intressera privata aktörer att investera i frukt- och bär förädling i Sverige. SLU och forskningsrådet Formas ger varje år anslag till förädling av äppelsorter och vinbär avsedda för Svealand och Norrland.

Fruktträdskräfta i äpple

Motståndskraft mot svampsjukdomen fruktträdskräfta (*Neonectria ditissima*) är en mycket önskvärd egenskap hos äpple. Sjukdomen är allvarlig i Sverige, norra Europa och t ex på Nya Zeeland, där klimatet är varmt och blött på sommaren och hösten. Vissa äppelsorter drabbas mer av sjukdomen än andra. Forskare vid SLU i Alnarp och Balsgård bedriver forskning om motståndskraft mot sjukdomen i samarbete med flera kollegor utomlands, t ex i FruitBreedomics och ett PPP-projekt. Larisa Gustavsson är forskare i genetik och växtförädling och letar efter markörer i DNA:t hos äppelsorter som är mer motståndskraftiga. Hon har undersökt genetiska skillnader hos olika äppelsorter som är viktiga för odling både i Sverige och andra länder.

– Nu tittar vi på vilka arvsanlag som uttrycks i äppelträdet när vi infekterar det med svampen.



Folke, ny sort från Balsgård

Vi jämför genuttrycket hos mottagliga och motståndskraftiga äppelsorter, berättar hon.

Larisa Gustavsson och Anna Holefors tillsammans med doktoranden Marjan Ghasemkhani och laboratorieingenjör Anna Zborowska utvecklar också en molekylär metod för att snabbt kunna mäta hur mottagligt eller motståndskraftigt ett äppelträd är för fruktträdskräfta.

– Vi mäter närvaron av själva svampen genom att detektera arvs massan från svampen i prover från träd stammen, förklarar Larisa Gustavsson.

SLF, KSLA, Partnerskap Alnarp och Einar och Inga Nilssons stiftelse finansierar forskningen om fruktträdskräfta.

Breeding fruits and berries

At SLU:s breeding station for fruits and berries, Balsgård, scientists do pre-breeding and produce new varieties of apple, sea-buckthorn and black currant. Among other things they study polyphenols; health-promoting compounds found in berries.

In black currant and apple breeding the researchers combine Swedish climate-adapted plant materials with modern foreign varieties that have certain other desirable traits. Good taste, frost hardiness, resistance to fungal diseases, and less allergens are important traits in the breeding programs as well as high yields and growth habits that facilitate harvest.

In the apple laboratory, apples are inoculated and tested for resistance to the disease *Penicillium expansum*, which causes rot on apples during storage.

Various traits in different apple varieties - both old and new varieties - are correlated to the differences in their DNA, information that can be

used as markers for plant selection when breeding. The large collection of over 600 different varieties of apple at Balsgård is an important base for such research as well as for breeding.

Generation time from seed to seed is approximately six years for apples. Scientists do the first selection of potential new apple varieties on seedlings they receive after crossing two different apple varieties. Selected seedlings are propagated and cloned by grafting onto rootstocks. After that the researchers evaluate the new apples for different characteristics and make the selection based on these results.



Larisa Gustavsson

Kampen mot algsvampen

Potato against Phytophthora

Potatisodlare har en fiende nummer ett: algsvampen *Phytophthora infestans* som orsakar bladmögel på bladen och brunröta i knölnarna. Lantbrukare besprutar potatisåkrar med stora mängder kemiska preparat för att bli av med skadegöraren. På SLU pågår forskning och framtagning av nya potatissorter med förbättrad motståndskraft mot potatisbladmögel.

I Europa har vi odlat potatis sedan 1500-talet. På 1800-talet kom algsvampen *Phytophthora infestans* hit och orsakade enormt stora problem med skördeförluster och svår svält. Idag besprutas potatisfält med stora mängder gift för att hålla skadegöraren borta. För miljöns, odlarnas och konsumenternas skull vore det önskvärt att slippa använda svampbekämpningsmedlen.

Vissa vilda växter som är släktingar till odlad potatis har dock en bättre förmåga att försvara sig mot algsvampen. Växtförädlare har därför försökt överföra anlag för motståndskraft hämtade från vilda arter till traditionella potatissorter både via traditionella korsningsmetoder och via modifiering med genteknik. Tyvärr verkar det bara vara en tidsfråga innan *P. infestans* överlistar växternas försvar. På SLU använder forskarna flera olika strategier för att istället överlista skadegöraren, och varje projekt kan ses som ett bidrag i verktygslådan för att förädla fram besprutningsfria potatissorter.

Potatis – en etablerad gröda

Christina Dixelius är professor i växtförädling vid SLU i Ultuna och en av flera forskare som studerar potatisens försvar mot algsvampen.

– Det finns få grödor som vi människor har så starka åsikter om, som potatis. Konsumenterna vill ha de gamla sorterna som Bintje och King Edward. Nya egenskaper är inte välkomna hos varken återförsäljare eller slutkonsumenter, förklarar hon.

Vilda släktingar till potatis saknar många av de bra egenskaper som förädlats fram i odlade sorter. Många vildarter sätter inte ens knölar. Vi vill få bort mottagligheten för potatisbladmögel i potatissorterna, men vi vill ha kvar de etablerade sorternas speciella kvaliteter vad gäller smak, färg, form och konsistens, låga halter av skadliga ämnen, lagringsduglighet och god avkastning i odlingen.



Christina Dixelius



Ulrika Carlsson-Nilsson

Vilda korsningar

När Svalöf Weibull valde att lägga ner sin potatisförädling i Sverige tog SLU över delar av förädlingsmaterialet. Ulrika Carlsson-Nilsson är forskare i växtförädling och hon ansvarar för potatisförädlingen vid Institutionen för växtförädling i Alnarp.

Fokus ligger på framtagning av matpotatis med motståndskraft mot bladmögel men naturligtvis måste även många andra egenskaper såsom avkastning, knölform, smak och motståndskraft mot andra sjukdomar vara tillräckligt bra.



Vild potatissläktning, bägarnattskatta

– Det finns t ex en förädlingslinje som vi övertog från Svalöf Weibull som har mycket goda anlag för motståndskraft mot potatisbladmögel, men den har samtidigt mindre bra egenskaper, såsom sen mognad, dålig knöiform och alltför hög halt av giftiga glykoalkaloider, förklarar Ulrika Carlson-Nilsson.

Därför har man gjort många korsningar mellan denna linje och olika traditionella potatisorter med syfte att försöka kombinera den höga motståndskraften med olika goda knölegenskaper från sorterna. Ett antal linjer från dessa korsningar har redan utvärderats i fält under 5-6 år av Ulrika Carlson-Nilsson och hennes kollegor och har visat sig relativt lovande. I traditionell växtförädling korsar förädlaren två olika föräldraplantor och väljer sedan ut vilka individer bland avkomman som är tillräckligt bra att gå vidare med. Antingen direkt som ny sort eller att användas i fortsatta korsningar. Avkommorna testas i upprepade fältförsök på flera olika lokaler under ett antal år. För att studera motståndskraften mot bladmögel och brunröta ytterligare genomförs även infektionsförsök av blad och knölar i laboratoriet.

Ett sätt att försöka undvika att bladmöglet överkommer motståndskraften alltför fort är att kombinera olika typer av resistensanlag från flera olika källor. Därför genomför Ulrika Carlson-Nilsson och hennes tekniker korsningar mellan olika motståndskraftiga sorter men även med olika vilda potatisarter. Vid förädlingsprogrammet i Alnarp har man nämligen också tillgång till en samling Syd- och Centralamerikanska vilda potatisarter genom ett samarbete med en forskare från Vavilov-institutet i S:t Petersburg, Ryssland. För närvarande håller Ulrika Carlson-Nilsson och hennes kollegor på att undersöka detta material med så kallade molekylära markörer för att ta reda på vilka olika



Korsningsmödrar med mognande bär i påsarna

anlag för motståndskraft som de olika vildarterna och avkommorna mellan dessa bär på. Detta är viktigt för att man ska veta vilka individer som är lämpligast att korsa för att ha större sannolikhet att skapa nya sorter där flera anlag för motståndskraft är kombinerade i en och samma sort.

Ulrika Carlson-Nilsson har också gjort korsningar mellan den motståndskraftiga förädlingslinjen från Svalöf Weibull AB och en motståndskraftig sen sort som heter Sarpo Mira.

– Vi vet genom samarbete med forskare vid Institutionen för växtskyddsbiologi att dessa två har olika typer av anlag för motståndskraft och därför har vi valt att försöka få dessa olika anlag tillsammans i en och samma avkomma för att försvåra för algsvampen att övervinna den.

Att arbeta med korsningar mellan traditionella sorter och vildarter är komplicerat eftersom de ofta har olika antal uppsättningar av kromosomer. Detta kan leda till svårigheter att genomföra lyckade korsningar och även att korsa den erhållna avkomman vidare. Upprepade korsningar är nämligen viktigt när man jobbar med vilda arter eftersom vildarterna ofta bär på egenskaper som inte alla är lika positiva som motståndskraft mot bladmögel. För att "få bort" dessa dåliga egenskaper gör man så kallade återkorsningar tillbaka till traditionella sorter med goda knölegenskaper. Men det finns "knepp" för att kringgå detta såsom fördubbling och halvering av kromosomtalet med hjälp av kemikalier eller speciella potatisgenotyper som kan fungera som så kallade korsningsbygggar.



Bladmögelangripna King Edward och Bintje närmast kameran och resistent förädlingsmaterial bakom, i augusti.



Erik Alexandersson

GM-potatis

Fortuna heter en potatissort som fått två olika anlag för motståndskraft mot *P. infestans* från vilda potatissläktingar. Med hjälp av genteknik kunde växtförädlare föra över anlagen direkt, utan att behöva göra tidskrävande och komplicerade återkorsningar, och sorten sågs som ett genombrott för potatisodlingen. BASF Plant Science hade försöksodlingar i Sverige med Fortuna 2011-2012, men företaget har lagt ner sin verksamhet i hela Europa på grund av motståndet mot genmodifierade grödor.

Ny motståndskraft från vild potatis

På stranden i Lomma växer besksöta, *Solanum dulcamara*. Arten är en vild släkting till vår odlade potatis. Den sätter inte knölar men är lik den odlade potatisen i arvsmassan. Forskare från SLU i Alnarp har upptäckt att det finns både motståndskraftiga och infektiösa känsliga plantor av besksöta på platsen. Nu vill de ta tillvara de nyupptäckta anlagen för motståndskraft och använda dem i potatisförädlingen.

Erik Andreasson, professor i resistensbiologi vid SLU i Alnarp, och hans medarbetare studerar anlagen mot potatisbladmögel i besksöta och två andra vilda potatissläktingar som växer i Sverige. Han ansvarar också för att utveckla en metod för att se samband mellan potatisplantors proteiner och deras förmåga att försvara sig mot *P. infestans*.

– Vi studerar både växternas arvs massa och deras proteinprofil för att förstå vilka sorter vi ska kombinera och få in flera olika resistensmekanismer i en och samma potatis, berättar han. Forskare vid Lunds universitet hjälper till med de kemiska analyserna av proteininnehållet i olika potatisplantor.

– När vi hittar proteiner i flera motståndskraftiga potatisgenotyper, som inte finns i känslig potatis, då förstår vi mer om mekanismerna bakom motståndskraften, berättar Erik Andreasson.

En listig skadegörare

En motståndskraftig potatis känner igen algsvampen och försvarar sig genom att låta bladcellerna i ett litet område omkring algsvampinfektionen dö, så att skadegöraren inte har något att livnära sig på där. Men *P. infestans* kan förändra sig och börja utsöndra proteiner som växten inte känner igen. Då förstår inte potatisplantan att den ska slå på celldöds mekanismen, och blir alltså drabbad av potatisbladmögel. Resistensen är överkommen.

Christina Dixelius studerar hur *P. infestans* och

potatisplantor kommunicerar med varandra, och har visat att små RNA-molekyler fungerar som signaler som reglerar om arvsanlag ska slås på eller av. Tanken är att förse potatissorter med gener som ska göra dem smartare än den skadegörande algsvampen. Skadegöraren manipulerar växtens försvar men Christina Dixelius och hennes medarbetare utvecklar strategier för att istället sätta angriparens mekanismer ur spel.

– Forskare har försökt överlista *Phytophthora* i mer än hundra år, introducerat anlag efter anlag för motståndskraft i potatis, men resistensen har brutits ner och på senare år har vi börjat förstå varför, berättar hon. *P. infestans* har ett ”super-genom”.

Algsvampen utsöndrar en stor mängd molekyler, så kallade effektorproteiner, när den infekterar potatisplantan. *P. infestans* har dessutom massor av mobila element i arvs massan, så kallade transposoner, som arrangerar om och förändrar skadegörarens egna gener så att den kan anpassa sig och kringgå både växternas försvar och de kemiska preparaten som potatisodlare använder som bekämpningsmedel.

Generna hos potatisen och algsvampen

Erik Alexandersson, forskarassistent i resistensbiologi vid SLU i Alnarp, tar fram metoder för att analysera stora mängder data om vilka arvsanlag som kommer till uttryck, i potatisplantan och i potatisbladmöglet, från infektiösa ögonblicket och en tid därefter. Det är data som visar hur starkt eller svagt nästan alla gener som finns i kromosomerna kommer till uttryck i de båda organismerna.

– Det handlar om cirka 35 000 gener i potatis och cirka 15 000 gener hos *P. infestans*, och analyserna ska ge en helhetsbild av de molekylära mekanismerna i samspelet mellan de två organismerna, berättar han.

Formas, SSF, Mistra, Crafoord foundation, SLF, Plantlink, SLU och SLU Ekoforsk finansierar detta arbete

Potato against *Phytophthora*

Farmers that grow potatoes have a number one enemy: the oomycete plant pathogen *Phytophthora infestans*, which causes late blight on foliage and brown rot in the tubers. Farmers spray potato fields with large amounts of chemicals to get rid of this disease. At SLU there is ongoing research and development of new potato varieties with improved resistance to potato late blight.

For the sake of the environment, farmers and consumers, it is desirable to avoid the use of anti-fungal agents. Some wild plants that are relatives of cultivated potato have a better ability to defend themselves against the pathogen. Plant breeders have therefore tried to transfer genes for resistance derived from wild species into traditional potato varieties, both via traditional breeding methods and via genetic engineering. Unfortunately, it seems only a matter of time before *P. infestans* thwarts this plant defense. SLU researchers use several different strategies to thwart the pest instead. Each project can be seen as a contribution to the toolbox of breeding for potato varieties that do not need to be sprayed with fungicides.

Focus is on the production of potatoes resistant to late blight, but obviously many other traits such as yield, tuber shape, taste and resistance to other diseases are also important.



Erik Andreasson

Nya tekniker i växtförädlingen

New techniques in plant breeding

CRISPR är bland det senaste inom bioteknik. Forskare på SLU i Alnarp anpassar metoden så den ska gå att använda bland annat i potatisförädlingen. Inom genteknik lånar människan mikroorganismernas naturliga avancerade mekanismer för att förändra DNA. Tekniken snabbar på arbetet och ger nya möjligheter att förbättra grödor genom växtförädling.

CRISPR-Cas9 är en ny relativt snabb metod för att specifikt mutera eller laga gener. Metoden är enkel, jämförd med tidigare metoder för riktad mutagenes. Forskare världen över har hittills mestadels testat metoden på bakterier och djur, men den fungerar också i ris- och tobaksplanter. Metoden går till så att en RNA-molekyl, kallad CRISPR, som är en förkortning för Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats guidar ett enzym som kan klippa i DNA, Cas9, fram till ett specifikt anlag. Forskare har konstruerat verket så att det kan klistra in DNA också, och därigenom antingen reparera eller ”sabotera” anlag i arvsmassan. Forskaren väljer vilket anlag som ska korrigeras, och väljer om det ska lagas eller om det är en riktad mutation verket ska åstadkomma. Det finns hopp om att CRISPR ska bli ett värdefullt redskap inom växtförädlingen. Metoden är mycket lovande inom medicinsk forskning, för att t ex laga trasiga gener och bota sjukdomar hos människor, och forskare tror att metoden på sikt kommer kunna användas till att tillföra hela gener hos en organism.

Det finns andra metoder för att göra mutationer på specifika platser i arvsmassan, men då är det proteiner och inte RNA som letar rätt plats i arvsmassan. CRISPR är en snabbare och enklare metod att använda.

Med genteknik kan forskare förändra arvsmassan hos organismer, det vill säga skapa genetiskt modifierade organismer (GMO). Dessutom använder forskare genteknik för att studera funktioner hos arvsanlag, för att ta fram grundläggande kunskaper om gener.

Det är inte klart om organismer som behandlats med CRISPR och liknande metoder kommer



Mariette Andersson visar transformerade potatisblad

klassas som GMO, för mutationer som inducerats med kemikalier eller strålning räknas inte som GMO i EU.

CRISPR i potatis

Potatisplanter har fyra uppsättningar kromosomer, de är tetraploida. (Jämför med människan som är diploid och alltså har två kromosomuppsättningar, en från mamma och en från pappa.) Potatis får alltså två kromosomuppsättningar från vardera föräldraplanta. För att få en kraftfull effekt i potatis behöver forskaren mutera fyra arvsanlag i en och samma planta.

I diploida växter tar det bara två generationer av självbefruktning, efter själva muteringen, tills man har linjer med genförändringen i båda kromosomparen, om man inte lyckas få in mutationen i båda kromosomerna från början.

Hos potatis är det fyra kromosomer som ska muteras och det är knepigare. Potatis korsar man helst inte, utan forskarna vill få in mutationerna i alla fyra uppsättningarna av arvsmassan på annat sätt.

Forskarna Per Hofvander och Mariette Andersson på Institutionen för växtförädling i Alnarp utvecklar CRISPR-metoden för potatisplanter.

– Vi löser problemet med tetraploiditeten genom att upprepa behandlingen med CRISPR-metoden på samma potatisklon flera gånger om det behövs, tills vi fått in mutationer i alla fyra aktuella kromosomer, förklarar de.



Per Hofvander

Ingen antibiotika

Ett argument mot att odla genetiskt modifierade sorter av grödor är att de ofta har blivit försedda med ett anlag för resistens mot antibiotika (som forskare använder för att kunna skilja ut GM-vävnad från icke-GM-vävnad under det laborativa arbetet). Med CRISPR-metoden och andra metoder för riktad mutagenes behöver forskarna inte använda antibiotikaresistens. Förändringarna i arvsmassan blir bara mutationer i specifika arvsanlag. Det för också med sig att det inte går att spåra om förändringen har skett med hjälp av CRISPR eller om den skett naturligt och spontant. Om man inte känner till hur arvsanlaget såg ut innan DNA-förändringen, så går det inte att se att förändringen överhuvudtaget skett.

Stärkelsepotatis

Mariette Andersson arbetar med att förändra sammansättningen av stärkelse i potatis och anpassa stärkelsen till olika användningsområden. Stärkelse innehåller molekylerna amylos och amylopektin som har olika struktur och egenskaper.

– Stärkelsemolekylerna är mer användbara var för sig än i en blandning och det är en krävande process att separera dem, förklarar hon.

Med genetisk modifiering har Mariette Andersson och hennes medarbetare stängt av syntesvägen för amylopektin och alltså tagit fram en potatis med mycket hög andel amylos i stärkelsen.

Amylos har lågt glykemiskt index (GI). Förhöjd halt amylos i matpotatis skulle kunna göra den mer hälsosam. Amylos är också användbar som råvara i tillverkning av plast. Produktion av bioplast kan minska vårt beroende av fossil olja.

– Motståndet mot genetiskt modifierade råvaror och ingredienser i livsmedel gör att modifierad



Genetiskt modifierade potatisplantor

industripotatis är mer accepterad än matpotatis i det här fallet, förklarar Mariette Andersson och berättar att just nu är målet att höja stärkelsehalten i amylospotatisen. Amyloshalten ökar inte lika mycket som amylopektinhalten sjunker efter genmodifieringen.

I fabrikspotatis är det själva stärkelsen man processar fram från potatisknölarna. Industrin använder amylopektin för tillverkning av papper och som en komponent i lim. För pappers- och limindustrin är det alltså intressant med en omvänd stärkelsesammansättning jämfört med GI- och plast-potatisen. Amylos bildar klumpar i processen. Med en amylopektinpotatis skulle pappers- och limtillverkarna inte behöva använda så stora mängder energi och kemikalier som idag.

Amflora heter en amylopektinpotatissort som togs fram med hjälp av genteknik i Sverige. Men den odlades bara i begränsad omfattning efter godkännandet 2010. Motståndet mot genetiskt modifierade grödor gjorde att den drogs tillbaka från marknaden. Allmänheten väljer kemikalier och energiförbrukning inom industrin framför potatis framställd med genteknik.

– Vi har inte sett någon större naturlig variation hos olika potatissorter vad gäller kvoten amylos och amylopektin i stärkelsen, berättar Mariette Andersson.

Det går alltså inte att göra korsningar och urval på traditionellt växtförädlingsmanér för att få mer amylos eller mer amylopektin, eftersom urval kräver att det finns en tillräcklig variation bland plantorna. Med metoden CRISPR skulle det gå att ta fram en ny potatissort för lim- och pappersindustrin, som liksom Amflora-potatisen har högre halt amylopektin och lägre halt amylos men som inte har anlag för antibiotikaresistens.



Anders Carlsson

Smörjolja som görs i växter

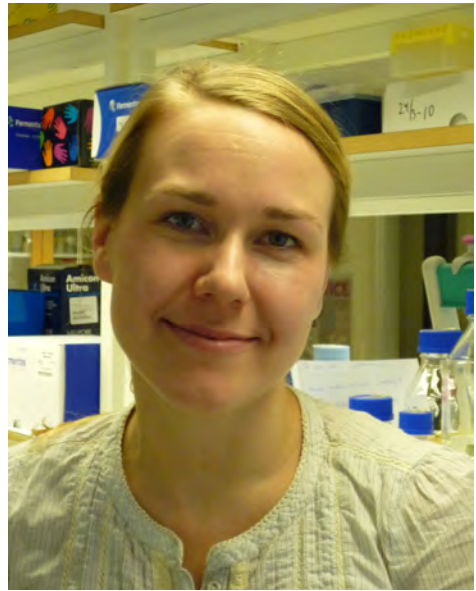
Per Hofvander arbetar med flera olika förädlingsmål, t ex enzymer för produktion av vaxestrar och hur man skulle kunna låta oljeväxter producera dessa för olika användningsområden. Detta arbete initierades av professor Sten Stymne och en av växterna som modifierats i samarbete med professor Li-Hua Zhu är oljekål (*Crambe abyssinica*), som inte används för livsmedelsproduktion i Sverige.

– Vaxestrar kan t ex användas som värmetålig smörjolja, berättar Per Hofvander.

Kolets väg till lagringsprodukter i växter

Tillsammans med Per Hofvander, arbetar professor Anders Carlsson och forskare Åsa Grimberg med att ta reda på varför olika växter lagrar kol (energi) i olika former såsom socker, olja och stärkelse. De studerar bland annat hur växter dirigerar kolfödet till produktion av dessa olika näringsämnen i lagringsorganen. Forskarna letar efter svar på dessa frågor i lagringsorgan hos växter med ovanligt mycket olja och tror att denna kunskap kan omsättas till att utveckla nya oljeväxter i framtiden.

– Om vi vill ta fram en ny oljeväxter som lagrar oljan i t ex en rotknöl, så har vi god hjälp av att studera ett växtslag som redan lagrar oljan på detta sätt, förklarar Anders Carlsson. En sådan



Åsa Grimberg

modellväxt är jordmandel (*Cyperus esculentus*) vars underjordiska knölar kan innehålla upp till 30 % olja, lika mycket stärkelse och en hel del socker. Vi har arbetat med denna växt under en längre tid och identifierat intressanta anlag av betydelse för oljebildning i en knöl.

– Intressant nog har vi nu visat att när ett sådant anlag, en viss så kallad transkriptionsfaktor, aktiveras i en potatisknöl så bildas och lagras olja i knölen (som vanligtvis inte har någon olja alls), förklarar Per Hofvander.

En annan växt som har studerats ingående på grund av dess förmåga att lagra olja i sina frön är havre.

– Havre kan lagra upp till 15 % av olja i sina frön där de flesta andra sädeslag såsom vete främst lagrar stärkelse, berättar Åsa Grimberg. Vi har bland annat identifierat och isolerat samma typ av anlag i havrefrön som visade sig vara viktigt för att starta oljebildning i jordmandelknölar. Genom att överföra detta anlag till ett blad kan vi starta oljebildning i bladet och sedan i detalj studera den oljebildande processen på genuttrycks-nivå. Genom denna kunskap om hur olja bildas i havre hoppas vi kunna förädla fram t ex oljemajs eller oljevete i framtiden.

Fältförsök med genetiskt modifierade grödor

Växtforskare och växtförädlare som vill göra försök ute i fält med genetiskt modifierade växter behöver få tillstånd från Jordbruksverket. Mariette Andersson, Per Hofvander och deras medarbetare har haft fältförsök med genetiskt modifierad potatis på ett par olika platser i Skåne.

– För att undvika att pollen från våra GM-potatisar ska hamna i honung klippte vi av blommorna från plantorna under ett försöksår, men stärkelse-egenskapen hos potatisarna försämrades av det, berättar Mariette Andersson, och tillägger att för att biodlare ska kunna sälja sin honung som ”GMO-fri” ser hon nu i stället till att fältförsöket ligger mer än tre kilometer från närmaste bikupa.

Pollen klassas som ingrediens i livsmedel och honung innehållande pollen från icke kommersiellt godkända GM-grödor får man inte sälja inom EU. Det är dock inte så troligt att pollen från potatis hamnar i honung eftersom potatis vanligtvis inte är attraktiv för bin.

– En fördel med potatissorter är att vi förökar upp dem vegetativt med knölar. Och potatispollen är tungt och sprider sig inte med vinden, förklarar Mariette Andersson.

Oljekålen har också varit ute i fältförsök under några år, och den är aktuell för storskaliga fälttester i Brasilien.

Den här forskningen finansieras av Lyckeby stärkelsen, Mistra, EU, Formas, Vinnova och SLU.

New techniques in plant breeding

Researchers at SLU in Alnarp adapt the method CRISPR for use in potato breeding. Genetic engineering often makes use of advanced microbial mechanisms to alter DNA and this is one example of that.

CRISPR is a new, quick and relatively easy-to-use method to create specific mutations or to repair damaged genes. Scientists worldwide have so far mostly tested the method on bacteria and animals, but it also works in rice and tobacco plants.

It is not clear whether the organisms treated with the CRISPR, and similar methods, will be classified as GMOs. On the whole, it is difficult to decide what techniques should be called genetic engineering and not.

Per Hofvander, Anders Carlsson and Åsa Grimberg study genes in plants that are crucial for the production of sugar, oil and starch, and which me-

chanisms direct the carbon flow into the storage organs of plants.

Mariette Andersson does research on genetically modified potato with thereby adapted starch quality for different uses. Starch contains amylose and amylopectin molecules that have different structures. These starch qualities are more useful separately than in a mixture but from ordinary potato it is difficult and expensive to separate them technically.

Sveriges Utsädesförenings Tidskrift publicerar på antingen svenska eller engelska artiklar, meddelanden, översiktsartiklar samt föredrag från konferenser och möten. Alla vetenskapliga originaluppsatser genomgår en referegranskning. Bidrag i form av vetenskapliga artiklar av intresse för växtförädling och närbesläktade områden mottas.

En sammanfattning på engelska eller svenska på högst 160 ord skall ingå samt 6 nyckelord som publiceras i samband med sammanfattningen.

Ett manuskript, som inskickas elektroniskt, bör inte överstiga 16 A4-sidor med dubbelt radavstånd inkluderande figurer och tabeller. Manuskript som överstiger detta sidantal ska först diskuteras med redaktören. Illustrationer skall inlämnas separat som EPS, TIFF eller JPEG format. Artikelförfattaren (-na) ombeds även att skicka in ett välliknande foto i TIFF eller JPEG-format.

Referenser skall nämnas i den löpande texten med författarens efternamn och årtal. Listan med referenser skall ges i alfabetisk ordning enligt följande:

Green, A. G. 1986. A mutant genotype of flax (*Linum usitatissimum* L.) containing very low levels of linolenic acid in its seed oil. *Can. J. Plant Sci.* 66, 499-503.

Manuskriptet tillsammans med illustrationer samt författarens namn, adress och institutionstillhörighet skall skickas till:

Jens Weibull (huvudredaktör) jens.weibull@telia.com

The Journal of the Swedish Seed Association publishes, in Swedish or English, articles, notes, commentaries, reviews as well as proceedings of meetings and seminars. All scientific original papers are subject to a referee procedure. The submission of original articles in the field of plant breeding and related areas is encouraged.

An abstract in English or Swedish not exceeding 160 words is required together with 4 to 6 keywords.

Contributions should preferably exceed 16 A4-pages with double spacing including figures and tables. Manuscripts exceeding this recommended number of pages must obtain a preapproval from the Editor. Illustrations shall be submitted separately separately in either EPS, TIFF or JPEG formats. Authors are requested to submit a recent photograph (TIFF or JPEG format) in addition to the manuscript.

References should be indicated in the text by the surname of the author(s) followed by the year of publication. The full list of references should be typed in alphabetical order as shown below:

Green, A. G. 1986. A mutant genotype of flax (*Linum usitatissimum* L.) containing very low levels of linolenic acid in its seed oil. *Can. J. Plant Sci.* 66, 499-503.

The manuscript together with illustrations and with the author's name, address and institutional affiliation should be submitted to:

Jens Weibull (Main Editor): jens.weibull@telia.com

