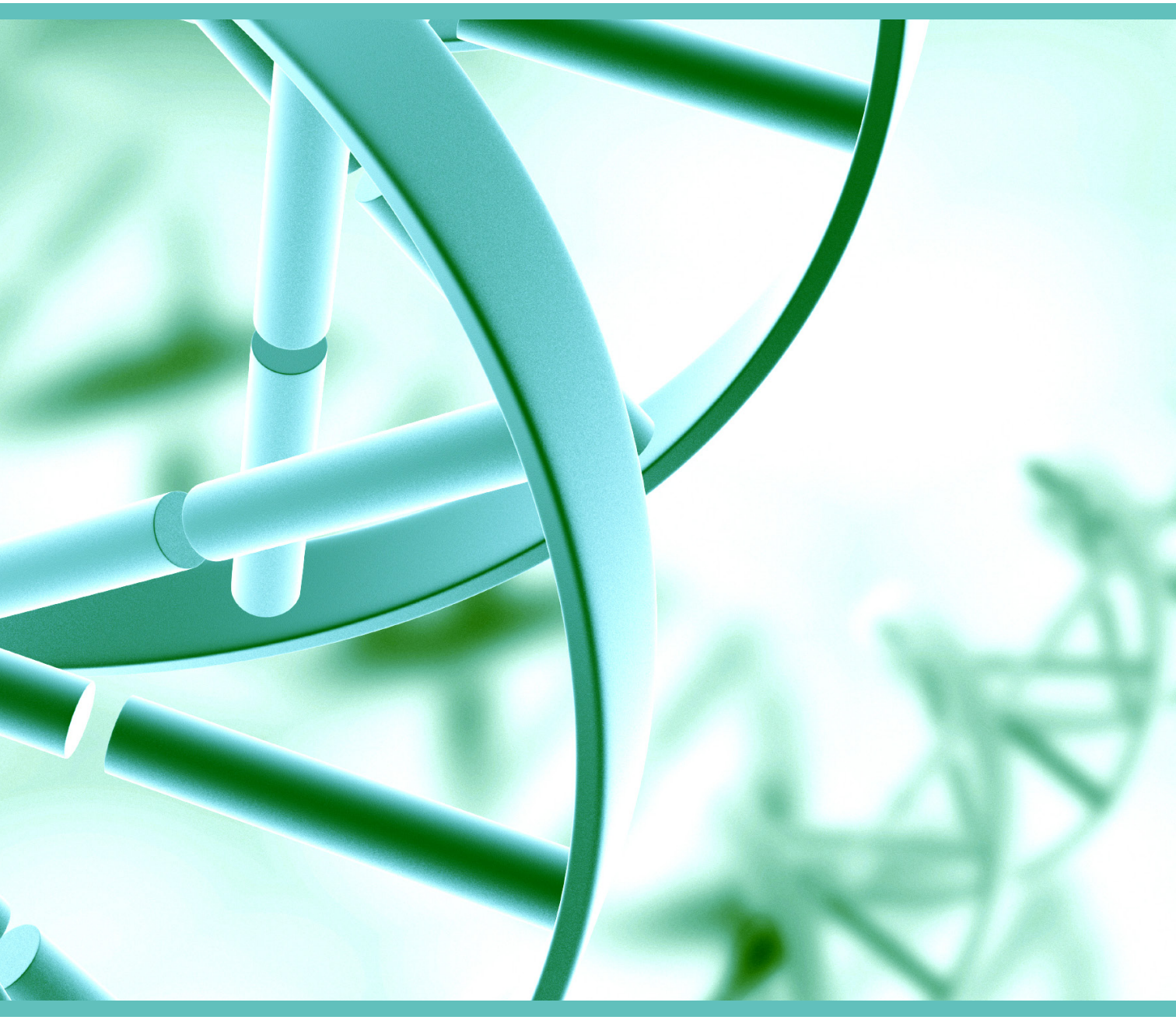
Genvägen till framtidens skog

- Slutrapport från forskarskolan i skogsgenetik och förädling



SLU

Research school
Forest Genetics and Breeding

SKOGFORSK

SLU
Skogsvetenskapliga fakulteten
901 83 UMEÅ
slu.se

I SAMARBETE MED
KK-stiftelsen
Box 3222
103 64 STOCKHOLM
kks.se

SKOGFORSK
Uppsala Science Park
751 83 UPPSALA
skogforsk.se

Övriga finansiärer:
Föreningen Skogsträdsförädling
SweTree Technologies AB
Kempestiftelserna
Thunholms stiftelse

Redaktör: Mats Hannerz, Silvinformation
Formgivning: Inger Petré
Utgivare: Skogforsk
Omslagsbild: iStockphoto

© Skogforsk 2011

ISBN 978-91-977649-7-1

Gävle Offset AB, Gävle

Research school
Forest Genetics and Breeding
Forskarskolan, SLU
901 83 UMEÅ
resschool.slu.se

Rapporten finns att beställa på Skogforsk.

Innehåll

3 Inte blir väl ett plus ett lika med tre? Jo, ibland! *Bengt Andersson*

4 Industri och akademi i samverkan

5 Röster från industrin

6 Optimerat urval i skogsträdsförädlingen ger högre tillväxt och mindre inavel, *Jon Hallander*

9 Gener bakom tallens ljusreaktion på väg att demaskeras *Sara Abrahamsson*

10 Hur väljer vi de träd industrin vill ha i framtiden? *Mats Berlin*

12 Bra strategi att testa träd i olika miljöer, *Johan Kroon*

14 Aspens variation i Sverige är ett resultat av naturligt urval *David Hall*

16 Är det möjligt att styra trädens åldrande? *Maria Klintenäs*

18 Kunskap om hormoner lär oss förstå trädens invintring *Lars Resman*

20 Gener från backtrav ger nycklar till trädens vedbildning *Ellinor Edvardsson*

23 Trädförädling kan minska andelen skevt virke *Henrik Hallingbäck*

24 Rottickans angrepp kan bromsas med förädling *Jenny Arnerup*

26 Smart urval kan ge insektståliga Salix-kloner, *David Tingström*

Inte blir väl ett plus ett lika med tre? Jo, ibland!



Bengt Andersson, programdirektör för Forskarskolan Skogsgenetik och Förädling.

Den skogsgenetiska forskningen har tidigare löpt i två skilda spår: traditionell kvantitativ genetik och molekylär genetik. Forskningen inom båda inriktningarna har utvecklats snabbt under senare år. Framför allt har den molekylärgenetiska forskningens framsteg uppmärksammats. Men utbytet mellan disciplinerna har varit begränsat, trots att en gränsöverskridande forskning har förutspåtts en stor potential.

I Forskarskolan Skogsgenetik och Förädling har de första stegen tagits för att kombinera ämnena. Forskarskolan har dessutom integrerats med den operativa förädlingen vid Skogforsk. Skogsbolag, skogsägarföreningar och teknikutvecklingsföretag har också medverkat – som arbetsgivare och i handledargrupper för samordnade praktikprojekt. Detta har fört forskningen närmare praktiken, men också praktiken närmare forskningen.

Erfarenheterna från Forskarskolan har varit mycket positiva från både doktorander, handledare, universitet och företag – mycket beroende på en god vilja och positiv inställning hos alla medverkande. Ett tydligt bevis är att alla de elva doktoranderna har fullföljt eller är på god väg att fullfölja sina studier. Forskarskolan har blivit internationellt uppmärksammad som ett lyckat exempel på skogsgenetisk forskning och utbildning, inte minst genom den vetenskapliga rådgivningsgrupp, med sex internationellt framstående forskare som varit kopplad till Forskarskolan. Och nu smids planer på en ny forskarskola, med den nuvarande som modell.

Idag står den skogsgenetiska forskningen betydligt bättre rustad för att möta framtiden, jämfört med när Forskarskolan startade för sju år sedan. Nu finns elva välutbildade yngre forskare redo att ta sig an uppgifter på universitet, i förädlingsorganisationer och ute i praktiken.
Bra jobbat alla som medverkat – och ett stort tack till finansiärerna KK-stiftelsen, SLU, Föreningen Skogsträdsförädling, Skogforsk, SweTree Technologies AB, Kempestiftelserna och Thunholms stiftelse!

Forskarskolan Skogsgenetik och Förädling har sin bakgrund i en utredning av den skogsgenetiska forskningen vid SLU som gjordes 2001. Här konstaterades att den kvantitativa genetiken behövde förstärkning och att det fanns en potential i att kombinera denna med molekylär genetik och operativ förädling. En forskarskola och tillhörande forskartjänster föreslogs som kärna i förstärkningen. Föreningen Skogsträdsförädling, SLU och Skogforsk har varit drivande i detta arbete.

Industri och akademi i samverkan

Alla studenter i forskarskolan har varit knutna till ett värdföretag i skogs- eller energisektorn. Att vara industridoktorand i forskarskolan har inneburit att utbildningen förlängts med ett års praktik på ett eller flera företag. Värdföretagen har deltagit i handledning och kontakter med hela forskarskolan. Studenten har samtidigt rustats för en framtid med för-ankring i både industri och akademi.

Värd	Kontakt och handledare	Forskarstudent
Svenska Skogsplantor	Finnvid Prescher, fröchef	Jon Hallander Johan Kroon
Holmen Skog	Erik Normark, skogsvårdschef	Sara Abrahamsson
Skogforsk	Ola Rosvall, forskningschef; Bengt Andersson, programledare	Mats Berlin Johan Kroon Jon Hallander
SCA Skog	Jörgen Andersson, chef Norrplant	David Hall
SweTree Technology	Petter Gustafsson, professor	Maria Klintenäs Ellinor Edvardsson
Agrobränsle	Stig Larsson, professor	Lars Resman
Bergvik Skog	Kristin Haga, föryngringsansvarig; Lars-Erik Wigert, skogschef	Henrik Hallingbäck
Södra	Magnus Lindén, skötselsamordnare	Jenny Arnerup



Foto: iStockphoto

Röster från industrin

Foto: David Normark



Erik Normark, skogsvårdschef på Holmen Skog

”För oss har det varit mycket stimulerande att ha en doktorand på vår arbetsplats och det har väsentligt utökat vårt nätverk i forskarvärlden. Sara Abrahamssons resultat blir värdefulla bidrag för att förfina metoderna i det svenska tallförädlingsprogrammet. Det är något som kommer hela skogsbruket till godo.”

Foto: Per-Anders Sjöqvist



Jörgen Andersson, chef för NorrPlant, SCA Skog

”Vi har haft nöjet att följa vår industridoktorand David Hall hela vägen till färdig doktor. Samarbetet med forskarskolan har varit värdefullt på många sätt för oss på SCA. Vi har fått följa den mödosamma vägen till en avhandling, med alla de praktiska problem som forskarna måste lösa under hand. Att få inblick i de andra doktorandprojekten och den forskning som bedrivs vid UPSC är en extra bonus.”

Foto: IUFRO



Finnvid Prescher, fröchef, Svenska Skogsplantor

”Svenska Skogsplantor har alltid haft ett nära samarbete med den skogsgenetiska forskningen. Som Sveriges största plantproducent och plantageägare måste vi ju veta vilket frö vi använder, och vi strävar förstås efter att urvalet ska bygga på den senaste och bästa kunskapen. Forskarskolan har ytterligare stärkt vårt samarbete med akademin, och för mig framkallar det minnen från min egen tid som forskarstuderande vid SLU.”



Foto: iStockphoto

Optimerat urval i skogsträds-förädlingen ger högre tillväxt och mindre inavel

Ökad tillväxt är ett av huvudmålen i det svenska förädlingsprogrammet för skogsträd. Det måste dock balanseras mot risken för minskad genetisk variation och ökad inavel. **Jon Hallander** utvecklade i sin avhandling kraftfulla statistiska och matematiska metoder som optimerar tillväxten utan att äventyra släktskapet mellan träden.

Genetisk variation är en förutsättning för en framgångsrik skogsträdsförädling. De egenskaper som är intressanta att förädla för kallas kvantitativa, eller komplexa, egenskaper. Deras genetiska variation och heritabilitet (arvbarhet) är därför nyckelbegrepp för förädlaren. Den genetiska variationen kan också delas in i additiv variation och variation beroende av dominanseffekter.

Jon Hallander utvecklade ett hjälpmedel för att förbättra skattningen av dessa genetiska parametrar och utvärderade det med simulerade träddata och ett fältförsök med tall. Han konstaterade bland annat att en rent additiv modell som inte tar hänsyn till genetiska samspelseffekter överskattar arvbarheten avsevärt (cirka 25 % i studien). Med förenklade modeller påverkas också rangordningen av trädens avelsvärden.

I nästa steg utvecklade han en metod för att optimera urvalet utan att släktskapet påverkas. Metoden gav upp till hela 30 % högre effektivitet än de traditionella urvalsmetoderna. Ekonomiska parametrar var dock inte med i optimeringsprocessen. Metoden krävde ingen särskild korsningsdesign, utan kunde tillämpas även på mer komplexa släktskap. Jon Hallander tror att denna metod kommer att vara standard i de flesta trädförädlingsprogram i framtiden.

I avhandlingen undersökte Jon Hallander också undersökt hur inaveln i förädlingspopulationerna kan begränsas. I takt med att träden blir närmare släkt med varandra ökar inaveln, vilket kan äventyra flera egenskaper hos deras avkommor. Reproduktionsförmågan är en sådan viktig egenskap. En stokastisk optimeringsmetod utvecklades som ska underlätta planeringen av korsningsarbetet. Genom att korsa träd som var så lite släkt som möjligt minskade inavelsnivån betydligt jämfört med om träden korsades slumpvis. Samtidigt ökade tillväxten mer med den nya metoden.

Genetiska parametrar – mått som beskriver hur olika egenskaper varierar och nedärvs, t.ex. genetisk varians och heritabilitet.

Genetisk variation – genetisk mångfald, förekomst av genetiskt olika individer inom en population. Genetisk variation är en förutsättning för naturligt urval, anpassning och evolution.

Heritabilitet – arvbarhet, ett statistiskt mått på en egenskaps ärftlighet. Heritabiliteten anges ofta mellan 0 och 1, där t.ex. 0,5 betyder att hälften av en egenskap betingas av genetik och hälften av miljön.

Additiv varians – ett mått på hur förädlingsvärdena varierar. Additiv varians nedärvs till avkomman efter korsning med ett flertal partners (faderträd).

Dominansvarians – genetisk varians som beror på att en korsning mellan två individer får egenskaper som avviker från medelvärdet av föräldrarna. Dominans är samspel mellan alleler på samma loci (plats på kromosomen). Det skiljer sig från epistasi som är samspel mellan gener på olika loci. Båda är exempel på specifika genetiska samspel.

Fortsatt forskning

Det är viktigt att vidareutveckla stokastiska datorintensiva metoder som kan ta fram mer information ur det komplexa data som genereras inom skogsträdsförädlingen. Det kommer att leda till säkrare urval och högre tillväxt.



Jon Hallander disputerade den 3 april 2009 på SLU med avhandlingen ”Novel methods for improved tree breeding”.

Handledare: **Patrik Waldmann**, Ola Rosvall, Finnvid Prescher.

Värdföretag: Svenska Skogsplantor AB och Skogforsk.

Kontakt: jon.hallander@slu.se



Foto: Stefan Örtenblad/SKOGENbild

Gener bakom tallens ljusreaktion på väg att demaskeras

Tallar från olika delar av det avlånga Sverige är anpassade till olika daglängder. De är också anpassade till olika sammansättning av ljuset. **Sara Abrahamsson** fann några potentiella gener som påverkar tallens ljusreaktion. Resultaten kan få betydelse för förädlingen, eftersom så många av tallens egenskaper styrs av ljuset.

Tallens egenskaper har studerats ingående sedan mitten av förra seklet, men vi vet fortfarande väldigt lite om vilka gener som är inblandade och hur de regleras. Sara Abrahamsson gjorde en ansats att koppla ihop tallens egenskaper med molekylära markörer. Hon fokuserade på tallens reaktion på ljus.

Tallar i svenska naturbestånd är anpassade till det lokala ljusklimatet. Från söder till norr blir dagarna allt längre under växtsäsongen, men tallen kan inte utnyttja de långa dagarna fullt ut. Den måste ju invintra i tid, och nordliga tallar sätter därför knopp vid en kortare nattlängd än sydliga tallar. Men dag- och nattlängden är bara en faktor. Ljusets sammansättning påverkar också. Tallen har visat sig vara anpassad till proportionerna av rött (R) och långvågigt rött ljus (FR). Under växtsäsongen är andelen FR högre i norr än i söder.

Sara Abrahamsson testade därför plantor under kontinuerlig ljus med R- respektive FR-sammansättning. Tallar i FR sträcker sig och blir långa, som de också gör när de står i skugga i naturen. Skillnaden i reaktion mellan ljusklimaten kunde kopplas till olika genuttryck, och på så sätt kunde hon identifiera några potentiella gener bakom ljusreaktionen.

I en annan studie undersökte Sara Abrahamsson inavel, mätt med molekylära markörer. I naturliga föryngringar är ju många föräldraträd släkt, och avkommorna kan därför ha en viss grad av inavel. Hon kunde se att inaveln hade effekter på mängden matat frö och frövikt, och även på avkommornas tillväxt. En del av de skadliga generna sorteras dock bort genom att avkommor dör eller blir tidigt utkonkurrerade. Avkommor från besläktade föräldraträd kan därför vara i bättre skick än vad som förväntas från släktskapsgraden.

Inavel – självbefruktning eller korsning mellan besläktade individer. Inavel sänker normalt vitaliteten eller tillväxten hos avkomman (inavelsdepression).

Fortsatt forskning

Genom att identifiera fler gener som styr tallens utveckling kan vi utveckla nya metoder i förädlingen och i framtiden mera precist förutsäga hur tallen reagerar på miljöförändringar. Mera forskning behövs också för att se om inaveln är generellt hög i bestånd föryngrade med fröträd.



Sara Abrahamsson planerar att disputera hösten 2011 vid SLU.
Handledare: **Rosario Garcia-Gil**, Bengt Andersson, Jan-Erik Nilsson, Rishi Bhalerao, Erik Normark
Värdföretag: Holmen Skog AB
Kontakt: sara.abrahamsson@slu.se

Hur väljer vi de träd industrin vill ha i framtiden?

Vad är mest värt – 10 % högre tillväxt, 5 % högre överlevnad eller 4 % rakare träd? En skogsträdsförädlare ställs dagligen inför knepiga avvägningar. **Mats Berlin** fokuserade i sin avhandling på hur man värderar olika egenskaper på en gemensam skala. När dessa översätts till kronor och ören kallas de ekonomiska vikter.



Foto: Bo Göran Bäckström/SKOGENbild

Ekonomiska vikter har använts under lång tid inom husdjursförädlingen, men det är en utmaning att överföra dem till skogen. De långa omloppstiderna från plantering till skörd skapar osäkerhet om vilka egenskaper industrin kommer att efterfråga i framtiden. I stället för att sätta kronor och ören på egenskaperna direkt, började Mats Berlin med att utveckla ett modellramverk för beräkning av ekonomiska vikter. Detta ramverk användes sedan som plattform för två fallstudier som rörde tall i norra Sverige.

Mats Berlins första studie fick ett direkt genomslag i det svenska programmet för skogsträdsförädling. Han visade där att överlevnaden inte har den stora betydelse för arealproduktionen som man tidigare antagit. Ett undantag är de kärvaste områdena i norra Sverige. Överlevnaden är oftast ojämnt fördelad på en föryngringsyta. Om vartannat träd skulle dö behöver det inte betyda så mycket för produktionen. De träd som finns kvar kompenserar tomrummet med högre tillväxt. Om däremot alla träd på ena halvan av en plantering skulle dö betyder det mycket – då försvinner nästan halva arealproduktionen.

De modeller Mats Berlin utvecklade för att skatta överlevnadens betydelse vid olika luckighet och planttäthet är nu införda i Plantval, som är ett webbaserat beslutsstöd för val av skogsodlingsmaterial.

I sin andra studie tittade han närmare på behoven hos ett tallsågverk i norra Sverige. Av de egenskaper som studerades var de viktigaste knutna till tillväxt och veddensitet. Rakhet och överlevnad var dock mindre viktiga. Resultaten underströk behovet av mer studier på veddensitet och hur egenskapen kan införlivas i tallförädlingen. Dessutom belyste studien behovet av mer forskning kring värdet av egenskaper som grenighet och formstabilitet.

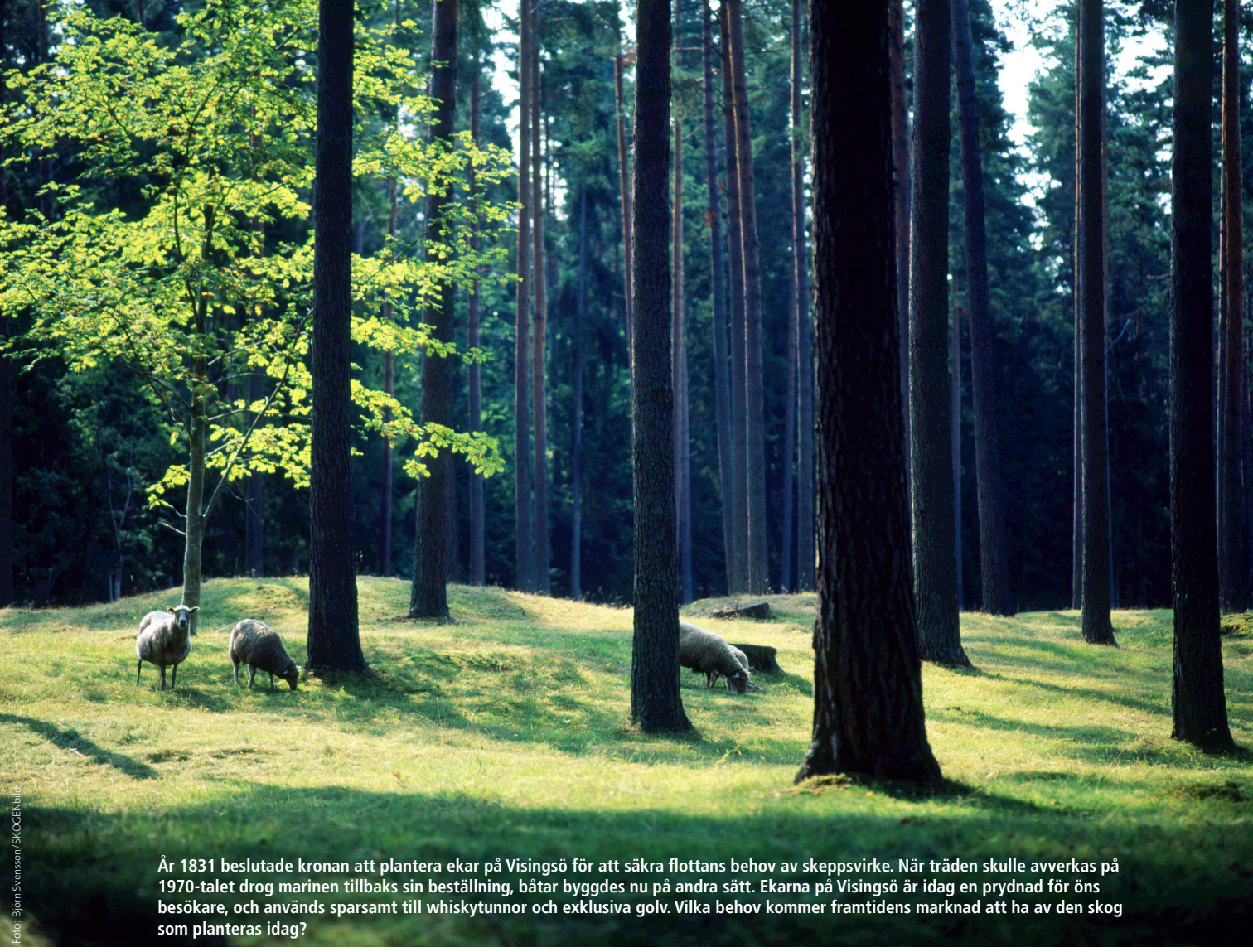


Foto: Björn Svensson/SKOGENbild

År 1831 beslutade kronan att plantera ekar på Visingsö för att säkra flottans behov av skeppsvirke. När träden skulle avverkas på 1970-talet drog marinen tillbaks sin beställning, båtar byggdes nu på andra sätt. Ekarna på Visingsö är idag en prydnad för öns besökare, och används sparsamt till whiskytunnor och exklusiva golv. Vilka behov kommer framtidens marknad att ha av den skog som planteras idag?

Ekonomiska vikter – vikter som anger hur olika egenskaper ska värderas i urvalsförädlingen. I kärva klimatlägen kan t.ex. överlevnad ha en större vikt än höjdtillväxt. För massaindustrin kan densiteten ges en större ekonomisk vikt.

Fortsatt forskning

Tvärvetenskapliga samarbeten mellan förädlare, ekonomer och träforskare behövs för att förbättra kunskapen om trädegenskapers ekonomiska betydelse för olika användningsområden. Fler fallstudier behövs både för tall och gran i olika delar av landet och för olika industriella processer.



Mats Berlin disputerade den 10 december 2009 vid SLU på avhandlingen "Development of economic forest tree breeding objectives".

Handledare: **Gunnar Jansson**, Öje Danell, Tore Ericsson, Lars Lönnstedt.

Värdföretag: Skogforsk

Kontakt: mats.berlin@skogforsk.se

Bra strategi att testa träd i olika miljöer

Det är de genetiska skillnaderna mellan träd som är grunden i skogsträdsförädlingen. Skillnaderna förändras dock med trädens ålder. **Johan Kroon** gjorde en gedigen genomgång av hur genetiken kommer till uttryck i unga och mogna försök. Resultaten ger många konkreta råd för den praktiska tallförädlingen, bland annat vikten av att testa träd i olika miljöer och att väga in diametern i urvalet.

I Johan Kroons avhandling tas läsaren med på en resa över hela fältet av genetiska variations- och samspelsmått, vilka alla har stor betydelse för hur och när urval bör göras. Studierna hämtade främst sina data från norrländska tallförsök, och många försök följdes från ung röjningsskog till mogen ålder. I en övergripande studie av genetiska skillnader innefattades både tall och gran i försök över hela landet.

I den ordinarie förädlingen av tall i Norrland görs ett urval på främst höjd, överlevnad och skador vid 12-16 års ålder. En alltför tidig mätning kan dock äventyra precisionen. Johan Kroon visade att ett urval vid 10 års ålder resulterade i lägre produktionsvinst än om urvalet baserades på trädens volym vid 30 års ålder. De genetiska skillnaderna tenderade också att öka med åldern. Han noterade dessutom att sambandet mellan diameter och höjd varierade mellan olika trädfamiljer, och att diametern bör vägas in vid urvalet för att få en bättre skattning av den totala tillväxten.



Foto: Andreas Barth/SKOGENbild

En faktor som inte alltid uppmärksammas är trädens form. Här kunde Johan Kroon visa att de förädlade träden i genomsnitt var slankare, vilket kan ha både för- och nackdelar. Trädens form påverkar också den beräknade totalproduktionen, vilket är ytterligare ett motiv för att väga in diametern i urvalet.

Johan Kroon fann också argument som talade för ett tidigt urval, förutsatt att trädens storleksskillnader inte beror på skador. Med ökad ålder och trängsel ökar konkurrensen, och då överskattas de genetiska skillnaderna. Ett tidigt urval ökar också hastigheten i förädlingen, vilket kan ge snabbare förädlingsframsteg trots en något försämrad precision.

Genetiska parametrar som heritabilitet, variationskoefficient och genetiska korrelationer sammanställdes för över 100 fältförsök från hela landet i åldrar från 5 till 20 års ålder. Studien ger en god bild av hur parametrarna förändras med ålder, över ståndorter och breddgrad, och med förflyttning av material. Resultaten stöder den svenska strategin att testa träd i olika miljöer. Den tyder också på att tall bör testas något längre än gran i fält.

Johan Kroon undersökte också hur de genetiska skillnaderna i blomning förändras med åldern. Till skillnad från tidigare resultat på andra trädslag är Johan Kroon tveksam till att blomningsstudier i ung ålder kan användas för att förutsäga fröproduktionen hos vuxna träd i fröplantager.



Foto: Erik Viklund/Skogforsk

Variationskoefficient – ett statistiskt uttryck för standardavvikelsen dividerat med medelvärdet. Den additiva genetiska variationskoefficienten ger ett mått på möjligheterna att förbättra en egenskap med urval och förädling.

Genetisk korrelation – ett statistiskt mått på hur olika egenskaper samvarierar på genetisk nivå. Genetiska korrelationer mellan egenskaper är viktiga att beakta i förädlingen, eftersom urval på en egenskap kan påverka en annan egenskap, både på gott och ont.

Fortsatt forskning

Det behövs mera forskning kring sambandet mellan tidiga genetiska skillnader i höjd och stamvolym vid högre åldrar; mellan tidig höjdmätning och arealproduktion; och mellan blomningsförmåga och tillväxt. Vi behöver veta mer om den optimala tidpunkten för urval för tall.



Johan Kroon disputerade den 27 maj 2011 vid SLU på en avhandling med titeln "Spatiotemporal patterns of genetic variation for growth and fertility in Scots pine".

Handledare: **Bengt Andersson**, Dag Lindgren, Finnvid Prescher, Tim Mullin.

Värdföretag: Skogforsk och Svenska Skogsplantor AB.

Kontakt: johan.kroon@skogforsk.se

Aspens variation i Sverige är ett resultat av naturligt urval

Tidpunkten för invintring är en central egenskap för skogsträdens överlevnad och konkurrensförmåga. **David Hall** undersökte hur aspens knoppsättning varierar över landet och hur den styrs av genetik. Han fann specifika varianter i arvsmassan som kunde förklara 20 % av de genetiska skillnaderna.

Aspen förekommer i hela Sverige. De ståtliga aspar som frodas i den skånska myllan har naturligtvis andra förutsättningar än de hukande aspar som hittas i kanten av fjällkedjan i norr. Träden måste vara anpassade till ljuset och temperaturen på växtplatsen. Anpassningen innebär bland annat skillnader i när aspen startar och avslutar sin tillväxt under året.

David Hall var intresserad av vilka evolutionära krafter som ligger bakom denna anpassning, och särskilt hur de har format den bakomliggande genetiken. Han jämförde tidpunkten för knoppsättning mellan träd insamlade från större delen av Sverige. Egenskapen mättes på flera kopior av drygt 100 individuella träd som fått växa tillsammans på två platser i Sverige (Sävar och Ekebo). Variationen var stor – det skiljde nästan en månad mellan den tidigaste och den senaste.

Från tidigare studier hos närbesläktade träd valde han ut de gener som tros vara inblandade, och sedan letade han efter skillnader i arvsmassan som kan förklara variationen mellan individer. För att lyckas med detta krävdes tre steg. Steg ett var att svara på hur nära släkt träden var med varandra. Likheter i arvsmassan kan ju bero både på släktskap och på ett naturligt urval under liknande förhållanden. Det andra steget var att beräkna hur stor del av den uppmätta variationen som styrs av genetik respektive miljö och andra faktorer. Det tredje steget var att sekvensiera DNA i de utvalda generna och jämföra detta mellan individerna.

Aspens frön och pollen sprids med vinden. Fröna är dessutom mycket små och kan färdas långa sträckor. Släktskapsanalysen baserad på de genetiska analyserna bekräftade också att det inte finns några barriärer i pollenflöde mellan olika delar av landet. De skillnader i arvsmassan som samstämde med egenskapen berodde därför sannolikt på ett liknande tryck från det naturliga urvalet.

David Hall fann också att 70 % av variationen i knoppsättning kunde förklaras av genetiska faktorer. Fyra varianter i olika delar av arvsmassan förklarade tillsammans en stor del av skillnaderna. Genvarianterna skiljde sig vid fyra olika positioner i en sträng på över 500 miljoner baspar (storleken på aspens arvsmassa). Kombinerat kan dessa fyra varianter förklara nästan 20 % av de genetiska skillnaderna, alltså 14 % av de uppmätta skillnaderna.



Foto: Stefan Örtenblad/SKOGENbild



Foto: Björn Svensson/SKOGENbild

DNA-sekvensiering – en teknik för att avläsa ordningsföljden av basparen i DNA-molekylen. Tekniken utvecklas snabbt. Idag är det möjligt att avläsa 1 miljard baspar på mindre än ett dygn.

Genomic selection – en form av markörbaserat urval där markörerna är många (mer än 50 000) för att täcka hela genomet. Genomic selection används i husdjursaveln runtom i världen.

Fortsatt forskning

En bättre förståelse och kunskap om den genetiska arkitekturen bakom egenskaper är ett viktigt steg i utvecklingen av effektiva metoder för tidigt urval i avel och förädling. Än så länge får de absolut senaste metoderna för detta – såsom ”Genomic Selection” – fortfarande anses trubbiga, om än lovande.



David Hall disputerade den 16 januari 2010 vid Umeå universitet på en avhandling med titeln ”Tracing Selection and Adaptation along an Environmental Gradient in Populus tremula”.

Handledare: **Pär Ingvarsson**, Rosario Garcia-Gil, Jan-Erik Nilsson, Jörgen Andersson

Värdföretag: SCA Skog AB

Kontakt: david.hall@slu.se



Är det möjligt att styra trädens åldrande?

Kan microRNA156 bli ett redskap för att styra trädens åldrande? **Maria Klintenäs** har påbörjat en intressant resa som skulle kunna leda till att vi kan styra när träden ska blomma, när veden ska få mogna egenskaper eller när blomningen helt ska slås av. Upptäckten att microRNA fungerar på samma sätt i asp som i den ettåriga backtraven är ett stort genombrott som gör att väl beprövade gentekniker kan börja användas på skogsträd.

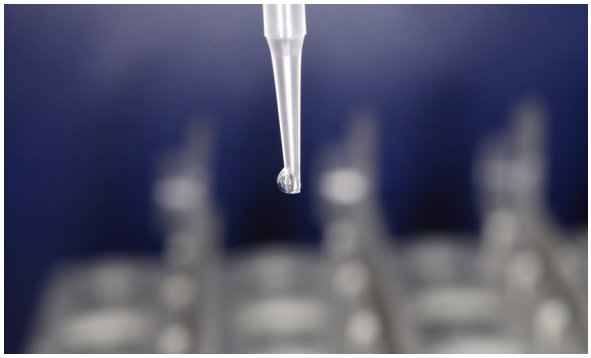


Foto: iStockphoto

Ett träd blommar först när det har nått en viss mognad, och mognaden är kopplad till ålder. Granen väntar ända till 10-15-årsåldern, vilket är ett bekymmer i förädlingsarbetet. Om träden skulle mogna snabbare kunde korsningar göras tidigare. Tillsammans med markörbaserad förädling skulle urvalsarbetet bli väsentligt effektivare.

Med en bättre kunskap om mognaden skulle man kunna förutsäga eller till och med säkerställa blomning vid en önskad tidpunkt. Kunskapen kunde också användas för att skapa sterila träd, vilket skulle öka acceptansen för transgena träd. Genom att styra mognaden skulle man kunna få sticklingar att rota sig bättre, eller styra vedens utveckling.

Idag känner vi till en del om vad som styr blomningen hos ettåriga plantor. Forskarna har också använt den informationen för att undersöka vilka funktioner generna har hos träd. Aspen används ofta som modellart.

Maria Klintenäs undersökte en del av det naturligt förekommande RNA som kallas microRNA156. Det är en liten del av en RNA-sträng som förhindrar proteinsyntes för en stor grupp målgener. MicroRNA har använts för att reglera gener hos Arabidopsis (backtrav). Maria Klintenäs visade dock, som en av de första i världen, att microRNA156 har samma funktion i asp. Hon fann att nivåerna minskade från ett- till tvååriga aspar. Samtidigt sker flera fysiologiska förändringar, som att aspens blad och stam tappar sina hår och att bladens färg och form förändras.

Hon kunde också visa att ett konstant högt uttryck av microRNA156 hindrade dessa fysiologiska förändringar. Det påverkade även en mängd andra egenskaper som knoppsättning, vedegenskaper och förgrening.



Foto: Stefan Örtenblad/SKOGENbild

Markörbaserad förädling – om genetiska markörer kan fastställas för en specifik egenskap kan det utnyttjas för att göra ett markörbaserat urval, kanske redan på frö- eller plantstadiet.

RNA – ribonukleinsyra, en molekyl som styr proteinsyntesen i cellerna. RNA är uppbyggd av baspar som speglar basparen i DNA-molekylen.

Transgena träd – gener kan överföras från en individ till en annan, och till och med mellan olika arter, med hybrid-DNA-teknik. Ett transgent träd har tillförts främmande genetisk information. Det kan handla om nya gener, eller att gener i trädet aktiveras eller inaktiveras.

MicroRNA – microRNA upptäcktes för knappt 10 år sedan. Det är ett RNA vars roll inte är att styra bildningen av ett protein utan att blockera andra geners aktivitet genom att binda till och bryta ner deras mRNA. MicroRNA156 kontrollerar t.ex. blomningstid, behåring och bladform mellan unga och gamla plantor, bl.a. hos backtrav, ris och majs.

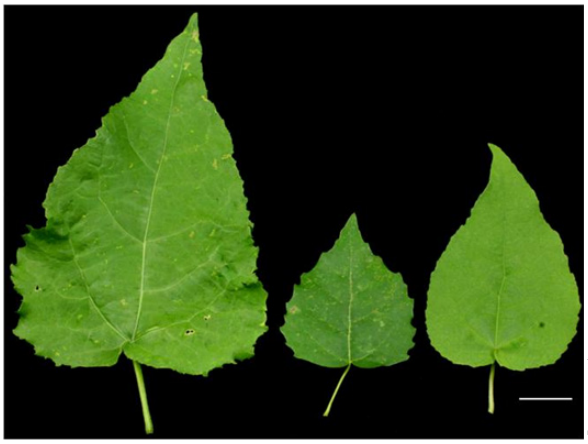


Foto: Maria Klintenäs

De båda vänstra löven är från vilda aspar - den vänstra ettårig och den i mitten tvåårig. Det högra lövet är från en mutant där microRNA156 hindrat åldrandet. Färgen och formen liknar mer en ettårig vildasp. Skalstrecket representerar 2 cm.

Fortsatt forskning

MicroRNA156 ger nya möjligheter att styra trädens gener. Mer forskning behövs om dess funktion i träd i allmänhet. Efter asp står gran och tall på tur att bli undersökta.



Maria Klintenäs planerar att lägga fram sin doktorsavhandling vid SLU under vintern 2011-2012. Den preliminära titeln är ”Regulation of the juvenility to maturity transition in trees.”

Handledare: **Ove Nilsson**, Curt Almqvist, Petter Gustafsson, Reyes Benlloch.

Värdföretag: SweTree Technologies

Kontakt: maria.klintenas@slu.se



Foto: Stefan Örtenblad/SKOGENbild

Kunskap om hormoner lär oss förstå trädens invintring

Vintervilan är en snillrik anpassning till vårt bistra klimat. Hormonet abskisinsyra är en viktig faktor som styr hur och när träden ska bygga upp sin vintervila. **Lars Resman** har lärt sig mer om hur hormonet regleras av generna, och dessutom hur funktionen kan slås av. Med bättre förståelse för invintringen kan vi också lära oss att styra den.

Det krävs uppfinningsrikedom för att överleva den nordiska vintern. Våra svenska träd är duktiga på att läsa av daglängden. De allt kortare dagarna blir en signal för att sätta knopp och bygga upp köldhärdigheten. På våren är det i stället värmen som talar om när det är dags att vakna, åtminstone för de flesta trädarter. Men här gäller det att inte bli lurad! En brittsommarvecka i oktober vore katastrofal om träden skulle väckas och börja växa.

Men träden är smarta: de kräver en tillräckligt lång period med låga temperaturer för att knopparna ska reagera på värmen. Perioden kallas ibland för knoppvila. En invintrad asp som flyttas in i växthus i november börjar inte växa även om det skulle vara både ljust och varmt – knoppvilan är ju inte bruten än.

Bakom vinteranpassningen döljer sig komplicerade hormonella processer, som i sin tur styrs av gener. Lars Resman var särskilt intresserad av hur trädens härdnings-

process och knoppvila ser ut på gennivå. Han kunde bland annat se att genregleringen i träd (i det här fallet asp och hybridpoppel) från olika breddgrader skiljde sig i tiden, och dessutom att olika gener uttryckts olika starkt. Han kunde också visa att gener som reglerar växthormonet ABA (abskisinsyra) uttrycktes kraftigt vid invintringen. Det är känt sedan tidigare att ABA ökar i knopparna efter tillväxtavslutningen, men dess fortsatta roll för invintring och knoppvila är inte fullständigt känd. Hormonet är känt för sin roll i frövilan, och man har länge misstänkt att det har en roll även i knoppvilan.

Lars Resman gick vidare och undersökte ABAs roll. Han konstruerade transgena träd med nedsatt produktion av ABA. Dessa träd slutade växa och bildade knopp som vanligt, men de gick aldrig in i någon knoppvila. Därmed kunde han visa att abskisinsyra inte styr själva tillväxtavslutningen, men är däremot inblandat i knoppvilan. Genregleringen av abskisinsyra kan vara en nyckel för att bättre förstå och på sikt också styra vintervilan hos träden.

I avhandlingsarbetet undersökte Lars Resman också flera andra invintringsmekanismer på molekylär nivå. Resultaten har gett en ökad förståelse för vad som händer med lagringsproteiner, omvandlingen av stärkelse till socker och hur det styrs av generna.



Foto: Bo Göran Backström/SKOGENbild

Abskisinsyra – ett växthormon som främst verkar hämmande på tillväxt och utveckling hos växten. Kallas ibland för vissningshormon.

Fortsatt forskning

För att kunna förstå hur träd styr invintringen krävs fler experiment där man identifierar kandidatgener kopplade till både invintringen och köldhärdigheten. Med nya biokemiska metoder är det idag möjligt att genomföra större experiment med fler upprepningar. Avhandlingsarbetet utfördes på asp och hybridpoppel, men studierna bör också utvidgas till gran och tall.



Lars Resman disputerade den 8 oktober 2010 vid SLU på en avhandling med titeln ”New insights into growth cessation and dormancy in trees”.

Värdföretag: Agrobränsle AB

Handledare: **Rishi Bhalerao**, Rosario Garcia-Gil, Karl-Anders Högberg, Stig Larsson

Kontakt: larsresman@gmail.com



Foto: Nils Jerling/Skogforsk

Gener från backtrav ger nycklar till trädens vedbildning

Trädens vedbildning är en komplex process som styrs av en mängd gener. Det är tidsödande att analysera alla de DNA-strängar som kan vara inblandade. **Ellinor Edvardsson** tog i stället en genväg. Hon utgick från gener som kommit till uttryck i popplars sekundära cellvägg och testade funktionen hos likvärdiga gener på backtrav.

Att känna till hur vedbildningen styrs biokemiskt har länge varit en dröm för forskare och skogsindustri. Det skulle göra det möjligt att skräddarsy vedfibrer för specifika ändamål. Veden har många funktioner i ett träd – det handlar om transport av vatten och näring, att ge stadga åt stam och grenar och att hysa ett försvar mot angrepp. Det är naturligt att regleringen av vedens formation är komplex och svår att fånga i detalj.

Ellinor Edvardsson undersökte ett urval gener som har liknande funktion hos både poppel och backtrav (Arabidopsis). Backtraven var den första växtart som fick sitt genom fullständigt kartlagt, och är en bra modellart för andra arter. Poppeln är också ett väl undersökt träd som används som modell för många andra trädarter.

I ett första steg identifierade Ellinor Edvardsson poppelgener som varit aktiva i vedbildningen - sådana som kommit till uttryck i den sekundära cellväggszonen. Potentiella kandidatgener med likartad uppbyggnad testades sedan hos

Arabidopsis. En av generna visade förändringar i mängden cellulosa och/eller hemicellulosa jämfört med vildtypen av backtrav. För de två övriga testade generna kunde inga skillnader påvisas, men det utesluter inte att skillnader finns. Dessutom identifierade hon ytterligare tre besläktade Arabidopsis-gener med okänd funktion.

De okända generna undersöktes mera i detalj, och Ellinor Edvardsson fann att alla hade en likartad uppbyggnad och mest troligt kan dessa hittas i plasmamembranet på celler. När generna slogs ut en i taget visade det sig som effekter på de relativa mängderna av hemicellulosa, pektin och lignin. Resultaten ger en fingervisning om generas funktion men mer ingående studier krävs för att få en klarare bild av deras roll.

En annan del av Ellinor Edvardssons projekt var en fortsättning på andras försök i Arabidopsis, men nu på transgena hybridaspar. I Arabidopsis kan tillväxten påverkas rejält genom att reglera ett visst protein, EPC1, (Ectopically Parting Cells). I de transgena hybridasparna hade mängden protein påverkats genom att öka eller minska uttrycket av EPC1 i cellerna. Däremot påverkades inte tillväxten av stam, löv och rötter av en hämning av proteinet på samma sätt som hos Arabidopsis. Trots avsaknaden av tillväxteffekter kan det fortfarande ha skett förändringar som inte kunde upptäckas. Det kan också handla om att andra proteiner kompenserar för den effekt som EPC1 skulle ha bidragit till. Fler försök behövs för att se vad som skett med dessa transgena PtEPC1-plantor.

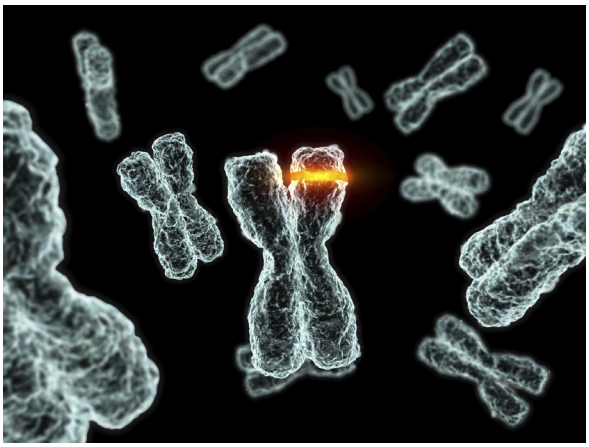


Foto: iStockphoto

Backtrav – (Arabidopsis thaliana) är växtgenetikernas ”bananfluga”. Den är ettårig, lättodlad och har ett relativt litet genom som är lätt att manipulera.

Sekundär cellvägg – en andra vägg runt den primära cellväggen som omger celler. Uppkommer när celler slutar växa och ger cellen styrka. Innehåller oftast lignin.

Plasmamembran – en hinna som omger celler, består av lipider i dubbelt lager som släpper in och ut ämnen som cellen behöver eller själv har tillverkat.

EPC1 – ett protein som i Arabidopsis har en central roll för växtens normala utveckling av rötter, stam, löv och blommor. Kan möjligen också spela en viktig roll i cell-cell adhesion. Tillhör glycosyltranferaserna, dvs en grupp proteiner som kan flytta sockermolekyler från ett ställe till ett annat.

Fortsatt forskning

För att få svar på hur vedbildningen regleras behöver vi fortsätta våra studier av gener som är involverade, både genom fortsatta transgena försök och genom att kombinera experiment och kompetens från flera fält, såsom kemi, fysiologi och molekylär biologi. Med nya tekniker kommer fler gener att kunna testas mer ingående. Kartläggningar av fler växters genom kommer även att vara ovärderliga i de fortsatta studierna av vedbildningen i framtiden.



Ellinor Edvardsson disputerade den 7 maj 2010 vid SLU på avhandlingen ”Integration of Arabidopsis and poplar model systems to elucidate gene function during wood formation”.

Handledare: **Alan Marchant**, Rishi Bhalerao, Göran Sandberg, Magnus Hertzberg

Värdföretag: SweTree Technologies

Kontakt: ellinor@blavinge.se



Foto: Mattias Westerberg/SKOGENbild

Trädförädling kan minska andelen skevt virke

Stora mängder byggnadsvirke är så skevt att det måste kasseras. **Henrik Hallingbäcks** avhandling visade att skogsbruket kan minska problemet genom att välja plantmaterial som härstammar från föräldraträd med fibrer som lutar mindre. Trädförädlingen kan därmed hjälpa träförädlingen.

Dålig formstabilitet, till exempel skevhet, hos sågat virke orsakar stora förluster för sågverk och byggbranschen. Vid husbyggen händer det att man får kassera upp till 30 procent av det virke som levererats på grund av bristande formstabilitet. Problemen med bristande formstabilitet minskar om man sågar, torkar, förvarar och använder virket på rätt sätt, men träets inneboende egenskaper har stor inverkan på slutresultatet. En viktig sådan egenskap är fibervinkeln i veden. De avlånga fibercellerna i barrträd lutar ofta åt något håll i förhållande till stammens längdriktning och denna lutning kallar man fibervinkel. Sågade brädor och plank från träd med hög fibervinkel (växtvridna träd) blir ofta oacceptabelt skeva under torkningen.

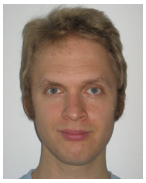
Syftet med Henrik Hallingbäcks doktorsarbete var att undersöka möjligheterna att förbättra formstabiliteten i gran- och tallvirke genom skogsträdsförädling. Hur man väljer ut träd med goda formstabilitetsegenskaper är en komplicerad fråga, eftersom man inte kan avgöra om ett träd är växtvridet bara genom att titta på det.

Det finns en mätmetod som snabbt och skonsamt mäter fibervinkeln alldeles under barken på trädet. I undersökningarna utnyttjades denna metod för att mäta fibervinkeln på ett stort antal träd i tall- och granplanteringsförsök där trädens härstamning är känd. Resultaten från undersökningarna bekräftade att fibervinkeln är en delvis ärftlig egenskap, och förädlare kan således minska fibervinkeln hos framtida plantmaterial genom att välja föräldraträd med genetiskt anlag för liten fibervinkel. Det syntes inga tecken på att mer lodräta fibrer skulle ha någon negativ inverkan på andra viktiga trädegenskaper, som tillväxt, stamform och grenvinkel.

Trots detta, var det osäkert om fibervinkelmätning under bark var pålitligt nog för att avgöra sågade brädors formstabilitet. Fibervinkeln i centrum av stammen skiljer sig ofta väsentligt från fibervinkeln under bark och en plankas skevhet beror på fibervinkeln i hela plankan. I nya undersökningar avverkades och sågades ett urval av de fibervinkelmätta träden. Efter torkningen av plankorna mättes skevheten. Det visade sig att en hög fibervinkel mätt under bark var tämligen starkt kopplad till skevheten hos virket. Mätmetoden var därför praktiskt användbar för skogsträdförädling.

Fortsatt forskning

Fibervinkelmätningar på borrkärnor skulle troligen ge mer värdefull information, men de befintliga mätmetoderna för borrkärnor behöver utvecklas och automatiseras för att bli praktiska. Man behöver också undersöka förädlingspotentialen för andra egenskaper som påverkar virkets formstabilitet.



Henrik Hallingbäck disputerade den 25 mars 2010 vid SLU på avhandlingen "Genetic improvement of shape stability in Norway spruce and Scots pine sawn timber".

Handledare: **Gunnar Jansson**, Anders Fries, Björn Hannrup, Rosario Garcia-Gil, Lars-Erik Wigert

Värdföretag: Bergvik Skog AB

Kontakt: henrik.hallingback@slu.se

Rottickans angrepp kan bromsas med förädling

Trots förebyggande åtgärder som stubbbehandling ökar rotrötan i de svenska granbestånden. Skogsträdsförädling för ökad motstånds-kraft skulle kunna vara en motåtgärd. **Jenny Arnerup** visade i sin avhandling att granens försvar mot rottickan är generellt. Förädling mot rotröta skulle troligen ge granar som var mer toleranta även mot insektsangrepp och andra svampsjukdomar.

När en gran angrips av rotticka startar en rad olika försvarsreaktioner. Cellväggarna förstärks och olika kemiska ämnen produceras för att hindra infektionen. Cellvävnad kan också aktivt förstöras med syfte att försöka hejda infektionen, något som i stället kan underlätta för rottickan att etablera sig.



Foto: Jenny Arnerup

Syftet med Jenny Arnerups doktorsarbete var att hitta genetiska nyckelkomponenter i försvaret mot rotticka i gran. Undersökningar av en granfamilj som ingår i förädlingsprogrammet för södra Sverige har bekräftat att det finns olikheter mellan individer i hur de svarar på svampangrepp, och att en viss del av skillnaden beror på genetik. I arbetet fann Jenny Arnerup att det fanns skillnader i genuttryck i barken mellan granar som infekterats av rotticka och granar som skadats mekaniskt.

Det visade sig att samma gener kom till uttryck efter svampinfektion som efter den mekaniska skadan. Styrkan i genuttrycket var dock högre efter infektionen för de flesta undersökta gener. En likartad aktivering av de två viktiga försvarssubstanserna salicylsyra och jasmonsyra tyder på att försvaret är generellt.

Barrträdens försvar består till stor del av olika typer av sekundära metaboliter. Kåda innehåller bland annat terpener, men även olika fenoliska ämnen som monolignoler, flavonoider och stilbener. Vissa av dessa ämnen har visat sig viktiga för trädets försvar mot rotticka. Jenny Arnerup undersökte om kloners motståndskraft är kopplad till förändringar i genetiska uttryck och till skillnader i sammansättningen av sekundära metaboliter. Hon fann vissa skillnader för fenoliska ämnen, t.ex. catechin.

Två kloner med en högre tolerans mot rotröta visade sig ha olika strategier. Den ena hade en relativt hög grundnivå av vissa kemiska försvarsämnen, och ett större uttryck för viktiga försvarsgener. Den andra klonen ökade mängderna av försvarsämnen efter en attack. Denna strategi är troligen att föredra, eftersom framställningen av sekundära metaboliter kostar mycket energi som kan gå ut över tillväxten.



Foto: Jenny Arnerup

Sekundära metaboliter – organiska föreningar som, till skillnad från primära metaboliter, inte är direkt nödvändiga för växters normal utveckling och reproduktion, även om de bidrar till dess kondition. Sekundära metaboliter spelar ofta en viktig roll i växters försvar mot insekter och patogener. Exempel på sekundära metaboliter är terpener och olika fenoliska ämnen.

Fortsatt forskning

För att minska skogsbrukets förluster av rotröta krävs förädlat plantmaterial med högre resistens. Det förutsätter att det utvecklas tillförlitliga och billiga test av motståndskraften mot rotröta. Testerna kan sedan användas för att kartera förädlingspopulationer.



Jenny Arnerup disputerade den 20 maj 2011 vid SLU i Uppsala på en avhandling med titeln ”Induced defence responses in Picea abies triggered by Heterobasidion annosum s.l.”.

Handledare: **Jan Stenlid**, Malin Elfstrand, Rosario Garcia-Gil, Bo Karlsson, Magnus Lindén.

Värdföretag: Södra

Kontakt: jenny.arnerup@slu.se

Smart urval kan ge insektståliga Salix-kloner

Skadeinsekter är ett av de största hoten mot storskaliga energiodlingar med Salix. **David Tingström** undersökte om det är möjligt att hitta motståndskraftiga kloner genom hybridisering och urval. Hans forskning har gett ökade insikter om hur viden hybridiserar och hur insekter väljer vilka plantor de äter på.



Foto: Lars Davner/SKOGENbild

Viden (Salix) är särskilt lämpade för energiskogsodling. De är snabbväxande och lättodlade. Dessutom är de resurseffektiva – de kan producera mycket biomassa även vid små mängder tillsatt gödsel. Skadeinsekter är dock ett problem. Kraftiga angrepp kan minska produktionen av biomassa med upp till 40 %. Det finns många olika insekter som äter på viden, och de vanligaste är olika skalbaggsarter. Vissa insekter har specialiserat sig på en eller ett fåtal videarter medan andra är generalister.

Insekternas preferenser för Salix antas bero på vilka kemiska substanser som ingår i bladen. Salix kan delas in i två grupper utifrån vilka fenoler som finns i bladen: de med höga halter av tanniner och de med höga halter av fenoliska glukosider (t.ex. salicylater). Tanninernas försvar mot insekter fungerar genom att de binder till proteiner, och därmed minskar proteinupptaget hos insekterna. Många fenoliska glukosider har i stället en direkt toxisk effekt som hämmar insekternas utveckling och överlevnad.

Viden hybridiserar lätt. Hybriderna skiljer sig ofta från sina föräldrar med avseende på motståndskraft. Studier av bladkemin har visat att hybridgenerationen (F1) ofta har en motståndskraft som är ett genomsnitt av föräldrarnas (P0-generationen). Avvikelser förekommer dock. Vid korsning av två individer i F1-generationen får man en ny generation (F2) som ofta har en enorm variation i t.ex. bladkemi. Det finns hybrider som har egenskaper som är identiska med, intermediära mellan eller till och med frånvarande hos mor- och farföräldrarna.

Det är i F2-generationen man skulle kunna hitta individer som är lämpade till energiskogsodling genom att de kombinerar hög tillväxt och motståndskraft mot insekter. I F2-generationen kan man också kartera kloner för andra egenskaper, t.ex. köldtolerans, eller kombinationer av egenskaper.



Foto: Mats Hannerz/Silvinformation

David Tingström undersökte 1.000 F2-individer som testades i ett fältförsök i Sävar i Västerbotten. Den första korsningen (P0-generationen) var mellan korgvide (Salix viminalis) och krypvide (S. repens). Korgvide är den oftast använda arten i energiskogsodlingar och den har ett tanninbaserat kemiskt försvar. Krypvide har inga kommersiella förutsättningar men arten har höga halter av fenoliska glukosider i bladen, vilket gör den mycket motståndskraft mot skadeinsekter.

Under försökets gång observerades en mycket stor fenotypisk variation hos F2-hybriderna, både med avseende på utseende och bladkemi. Vid försökets slut hade ingen individ identifierats som var kommersiellt gångbar (d.v.s. hade stor biomassaproduktion). Däremot bidrog försöket med utökad kunskap om hur viden hybridiserar och vilka preferenser insekter har vid valet av födoplanta.

Fortsatt forskning

Ökad kunskap om hur växters försvar mot herbivorer nedärvs kommer att leda till en högre precision i förädlingen av viden för kommersiell odling.



David Tingström planerar att lägga fram sin licentiatavhandling vid SLU hösten 2011.
Handledare: **Joakim Hjältén**, Rosario Garcia-Gil, Patrik Waldmann
Kontakt: d.tingstrom@gmail.com

