

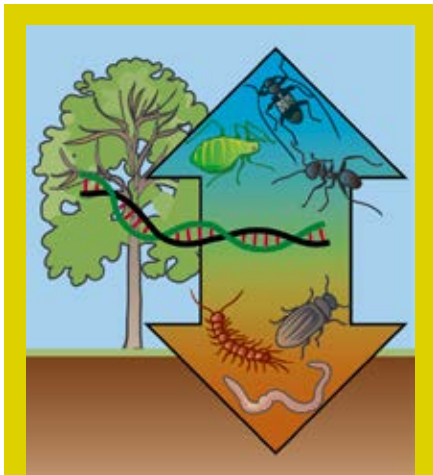
Petter Axelsson • Joakim Hjältén



Figur 1. Träd utgör livsmiljö för en mängd olika organismer. När träden fällt sina löv eller dött utgör de en viktig för resurs för nedbrytarsamhällen såväl på land som i vatten. Foto Petter Axelsson.

Genetiskt modifierade träd – hur uppfattas de av andra organismer?

- Genetisk modifiering (GM) kan vara ett snabbt och effektivt sätt att förändra växters egenskaper. Detta kan vara av extra stort värde när det gäller förädling av träd, då de har långa generationstider, vilket gör att traditionell förädling tar mycket lång tid.
- Med hjälp av genetisk modifiering kan man direkt ändra ett trädets befintliga egenskaper men även introducera nya egenskaper. En ny egenskap som kan introduceras är förmågan att producera Cry-proteiner (Bt), ett toxin som ger träden skydd mot skadeinsekter.
- Kunskapen är dock fortfarande begränsad om hur väl träd med förändrade egenskaper klarar skadeangrepp och om modifieringen också leder till en ökad produktion. Vi saknar också kunskap om påverkan på andra organismer som är direkt eller indirekt beroende av träden.
- GM-aspar som producerade Bt-toxin, som bör ge motståndskraft mot insekter, skadades mycket mindre av en bladätande skalbagge än vanliga aspar. När skalbagarna var riktigt talrika verkar resistensen också leda till tillväxtfördelar för GM-träd.
- Vissa andra, sekundära, skadegörare (bladrullare och sniglar) påverkades inte negativt av Bt-toxinet.
- Nedbrytarsamhället på blad från GM-aspar som hamnade i åar avvek från det från vanliga aspar.
- I framtida utvärderingar av miljöeffekter av genetiskt modifierade insektsresistenta växter är det viktigt att också angränsande miljöer tas i beaktning och att mekanismerna bakom eventuella effekter klagörs.



Figur 2. Förändrade eller introducerade gener i genetiskt modifierade träd har möjlighet att påverka inte bara trädets interaktioner med skadegörare och andra organismer i trädets kronor utan också nedbrytarsamhällen på land eller vatten.

■ Träd är en viktig ekonomisk resurs som också utgör livsmiljö för många organismer och påverkar förutsättningarna för många andra genom sin dominerande roll i skogsekosystemet. Trädens långa livscykel gör också att denna påverkan kan ha ett långtgående inflytande på andra organismer och naturliga processer som inte alltid är lätt att förutse. Trädens egenskaper påverkar deras förmåga att bidra med de resurser människan vill utnyttja, men också på skogens arter och funktioner. Målsättningen med vårt projekt var att studera både fördelar och eventuella nackdelar med att använda genetiskt modifierade insektsresistenta träd.

Liten med stor betydelse

Trots att gener utgör en liten del av växtens massa har de en oerhört stor betydelse inte bara för den enskilda växten utan också för växtens interaktioner med hela sin omgivning (Figur 2). Genernas uttryck är av avgörande betydelse för växtens förmåga till framgång i miljön där den befinner sig. Generna kontrollerar bl.a. egenskaper som är viktiga för växtens resistens och tolerans mot skadegörare. Vidare är egenskaper som tillväxt och produktion till viss del också genetiskt betingade.

Växtförädling har under lång tid utnyttjats av människan för att skapa produkter som bättre tillgodoser våra behov. Domesticering av grödor började redan 8 000 F.Kr, med det tidiga jordbrukets framväxt (Lev-Yadun et al. 2000). På senare tid har våra möjligheter att förbättra våra kulturväxter ökat ytterligare då moderna molekylära

metoder att förändra en växts genuppsättning blivit mer välutvecklade. Genetisk modifiering används nu frekvent inom jordbruket och en betydande del av alla grödor som odlas idag i exempelvis USA, Argentina och Brasilien utgörs av genetiskt modifierade varianter. Man använder två huvudtyper av förändringar:

1. öka/minska uttrycket av redan befintliga gener
2. introducera nya gener i växterna.

När det gäller träd är tekniken dock inte lika utbredd och utnyttjas endast marginellt i kommersiella syften (Lawrence 2008). En av anledningarna till denna begränsade användning är att eventuella oönskade miljöeffekter ännu till stor del är outredda.

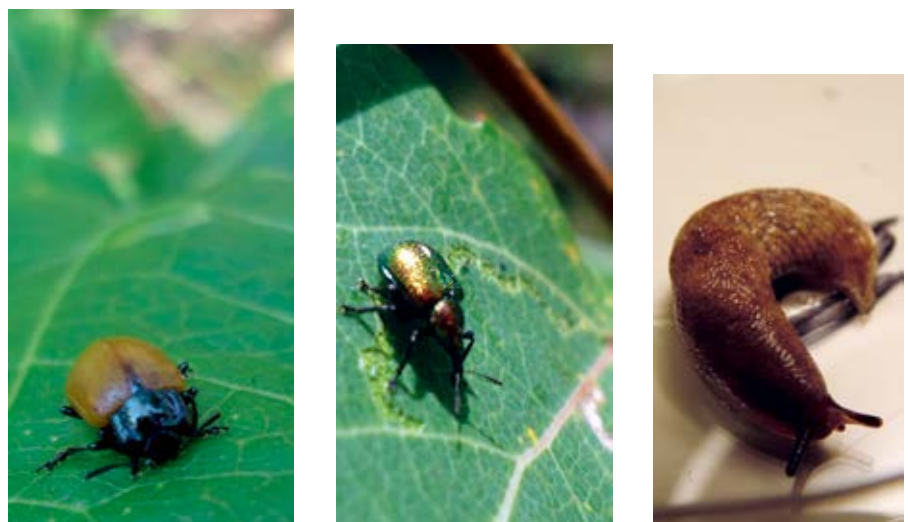
Modifierade egenskaper

Att skapa insektsresistenta växter genom att introducera gener från bakterien *Bacillus thuringiensis* (Bt) är kanske den för närvarande intressantaste genetiska modifieringen. Genom denna modifiering kan växten ges förmågan att producera Cry-toxiner som är giftiga för främst insekter. Genom detta kan man i teorin minska skadorna utan att behöva använda bekämpningsmedel mot insekter (insekticider) vilket kan ha många positiva fördelar för både människa och miljö. Vi vet dock ännu inte om dessa Cry-toxiner har några oförutsedda miljöeffekter. Utöver introducerade egenskaper kan också genetisk modifiering ge för-

ändringar i växtens andra egenskaper, t.ex. den kemiska sammansättningen i bladen, vilket kan påverka växtens smaklighet och interaktioner med andra arter och viktiga processer i ekosystemet (Hjältén et al. 2007; Axelsson et al. 2011b). I detta projekt använde vi oss av två varianter av genetiskt modifierade insektsresistenta (Bt) asphybrider som tidigare visat på god potential (e.g. Bt17 and Bt27; Genissel et al. 2003).

Trädens smaklighet och bladskador

I projektet testades de genetiskt modifierade asphybridernas smaklighet för en rad olika organismer i försök i växthus såväl som i fält. Försöksresultaten varierade beroende på organismgrupp (Figur 3). Bladbaggen *Phratora vitellinae* (Coleoptera) orsakade lägre bladskador på GM-plantor jämfört med icke modifierade plantor. Dödligheten hos bladbaggar var också högre på insektsresistenta plantor och *P. vitellinae* förmådde bara reproducera sig på icke modifierade plantor (Hjältén et al. 2012). Detta är i enlighet med en tidigare studie som visat god motståndskraft också mot en annan bladbagge, *Chrysomela tremulae* (Genissel et al. 2003). Den bladrollande viveln *Byctiscus populi* (Coleoptera) utnyttjade däremot insektsresistenta plantor i samma utsträckning som icke modifierade plantor (Axelsson et al. 2012). En representant från en annan grupp av organismer, sniglar, föredrog dock blad från insektsresistenta plantor framför



Figur 3. Tre potentiella skadegörare som visar olika respons på genetiskt modifierade insektsresistenta asphybrider. För *Chrysomela tremulae* är resistensen dödlig, medan *Byctiscus populi* utnyttjar insektsresistenta plantor till äggläggning i motsvarande grad som icke modifierade plantor av vildtyp (Wt). Däremot föredrog sniglar (*Deroceras* spp.) löv från insektsresistenta plantor framför löv från Wt-plantor. Foto Petter Axelsson.

blad från de plantor som inte var modifierade (Axelsson et al. 2011b). Sammantaget visar resultaten att den introducerade insektsresistensen har en god potential att minska bladskadorna från specifika skadegörare. Olika arter reagerar dock olika vilket innebär att introducerad resistens inte per automatik behöver innebära immunitet. Allt beror sannolikt på de olika skadegörarnas relativa inverkan på plantan i den miljö där den växer.

Trädens tolerans och tillväxt

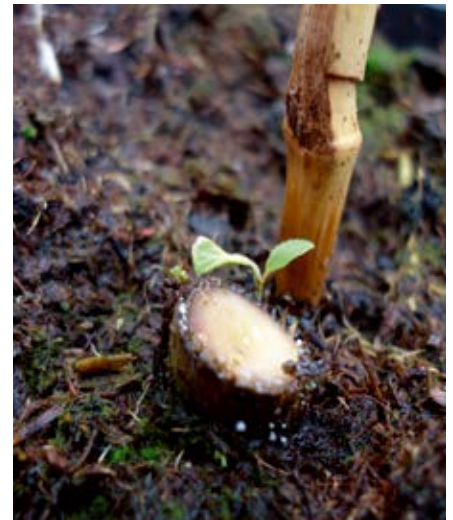
Ett träds förmåga till tillväxt när det utsätts för betning är dock inte bara avhängigt dess resistens utan beror också på dess tillväxt och tolerans mot skada. Detta studerades i projektet, dels i fält där träden utsattes för naturlig herbivori, dels i växthus där träden utsattes för kontrollerade skador i olika nivåer. I kontrollerad miljö i växthus växte den icke modifierade hybriderna marginellt bättre än de insektsresistenta plantorna vid avsaknad av *P. vitellinae* (Figur 4). När *P. vitellinae* var talrika växte dock de insektsresistenta plantorna bättre än icke modifierade plantor (Figur 5). Trots resultaten i labbstudien gav den introducerade resistensen inga tillväxtfördelar i fält (Axelsson et al. 2012). Trolig orsak till detta är att abundansen av skadegörare var för låg för att generera stora fördelar. Växthuset försöket visar också att alla testade varianter hade motsvarande förmåga att utstå bladskada samt att skjuta stubbskott efter skörd (Figur 6; Axelsson and Hjältén 2012). Det senare är av stor vikt t.ex. när det gäller produktion av bioenergi på plantager med korta omloppstider.

Ekosystemprocesser

Trädens påverkan på sitt eget såväl som angränsande ekosystem sker bl.a. genom deras stora bidrag av organiskt material till mark- och vattenmiljöer. I detta projekt undersöktes hur blad från genetiskt modifierade träd koloniserades och togs om hand av nedbrytare (vattenlevande insekter) i mindre år. Det visade sig att mer än 45 vattenlevande arter på ett eller annat sätt utnyttjade de asplöv som introducerades i mindre år. Nedbrytningen av löv från insektsresistenta träd motsvarade nedbrytningen av löv från icke-modifierade träd. Dock visade det sig att artsammansättningen hos de nedbrytare som koloniserade löven skilde sig mellan löv från modifierade insektsresistenta och icke modifierade träd (Axelsson et al. 2011a). Skillnaderna i artsammansättning tar sig bl.a. uttryck i att många arter var numerärt vanligare på blad från insektsresistenta aspar vilket också ledde till att andelen bäcksländor var, på bekostnad av nattsländor och dagsländor, aningen högre på blad från genetiskt modifierade insektsresistenta aspar (Figur 7).

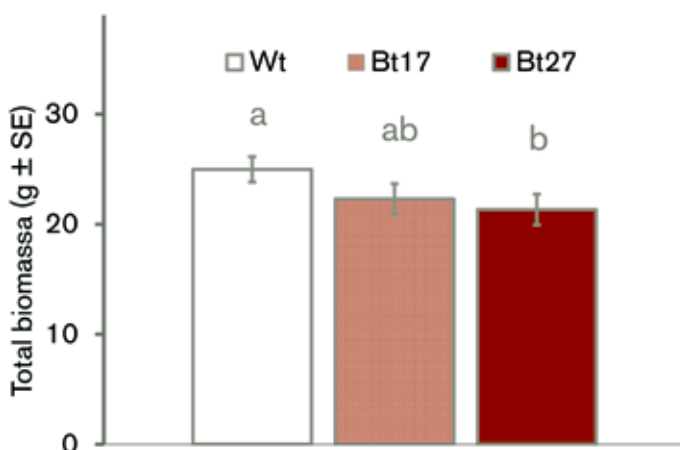
Slutsatser och framtida kunskapsbehov

Projektet visar att de genetiskt modifierade insektsresistenta asphybriderna som undersöktes har en god potential att minska skador från specifika skadegörare, men lämnar också vissa frågor obesvarade. Den minskade skadegraden och ökade dödligheten av skadegörare på insektsresistenta plantor har sannolikt god potential att öka produktionen

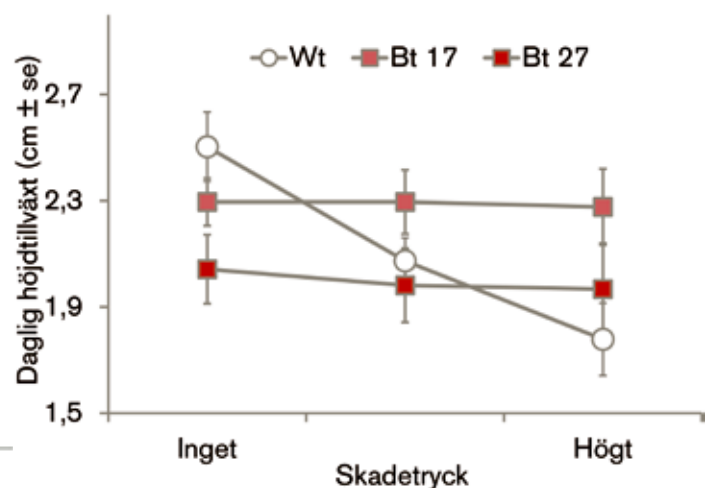


Figur 6. Ett träds tillväxt efter skada eller skörd är av stor vikt bl.a. för dess lämplighet att användas för bioenergiproduktion på plantager med snabba omloppstider. Foto Petter Axelsson.

i fält, speciellt inom ett plantagebaserat skogsbruk där skadegraden förväntas vara hög. Vaksamhet bör dock iakttas när det gäller sekundära skadegörare. Hur sekundära skadegörare, som här exemplifieras av sniglar och *Byctiscus populi*, påverkas av förändrade egenskaper i träden samt en minskad konkurrens från primära skadegörare i fält är ännu oklart och behöver utredas. I fortsatta utvärderingar av genetiskt modifierade insektsresistenta växter bör eventuell påverkan på angränsande ekosystem också beaktas. Speciellt viktigt i detta avseende är att inte bara illustrera effekter eller icke-effekter utan också etablera en förståelse för bakomliggande mekanismer.

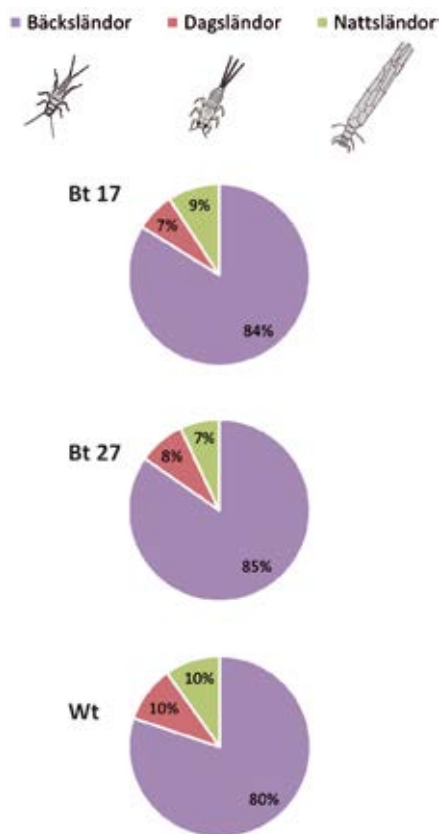


Figur 4. Total biomassatillväxt hos en icke modifierad asphybrid (Wt) och två asphybrider som är genetiskt modifierade för insektsresistens (Bt17 och Bt 27).



Figur 5. Höjdtillväxt hos icke modifierade (Wt) samt genetiskt modifierade (Bt17 och Bt27) asphybrider vid olika betningsstryck från *P. vitellinae*.

Genetiskt modifierade träd – hur uppfattas de av andra organismer?



Figur 7. Andelen bäcksländor, dagsländor och nattsländor i nedbrytarsamhällen som utnyttjade blad från insektsresistenta aspar (Bt 17 och Bt 27) samt blad från icke modifierade aspar (Wt) i små år. Andelen bäcksländor var aningen högre på blad från insektsresistenta träd jämfört med blad från icke modifierade blad.

Läs mer

Axelsson, E. P., Hjältén, J., LeRoy, C. J., Whitham, T. G., Julkunen-Tiitto, R. & Wennström, A. 2011a. Leaf litter from insect-resistant transgenic trees causes changes in aquatic insect community composition. *J. Appl. Ecol.* 48:1472–1479. doi:10.1111/j.1365-2664.2011.02046.x

Axelsson, E. P., Hjältén, J., Whitham, T. G., Julkunen-Tiitto, R., Pilate, G. & Wennström, A. 2011b. Leaf ontogeny interacts with Bt modification to affect innate resistance in GM aspens. *Chemoecology* 21:161–169. doi:10.1007/s00049-011-0080-8

Axelsson, E. P. & Hjältén, J. 2012. Tolerance and growth responses of populus hybrids and their genetically modified varieties to simulated leaf damage and harvest. *Forest Ecology and Management* 276:217–223. doi:10.1016/j.foreco.2012.04.012

Axelsson, E. P., Hjältén, J. & LeRoy, C. J. 2012. Performance of insect-resistant *Bacillus thuringiensis* (Bt)-expressing aspens under semi-natural field conditions including natural herbivory in Sweden. *Forest Ecology and Management* 264:167–171. doi:10.1016/j.foreco.2011.10.006

Genissel, A., Leple, J. C., Millet, N., Augustin, S., Jouanin, L. & Pilate, G. 2003. High tolerance against *Chrysomela tremulae* of transgenic poplar plants expressing a synthetic *cry3Aa* gene from *Bacillus thuringiensis* ssp *tenebrionis*. *Molecular Breeding* 11:103–110.

Hjältén, J., Lindau, A., Wennström, A., Blomberg, P., Witzell, J., Hurry, V. & Ericson, L. 2007. Unintentional changes of defence traits in GM trees can influence plant–herbivore interactions. *Basic and Applied Ecology* 8:434–443.

Hjältén, J., Axelsson, E. P., Whitham, T. G., LeRoy, C. J., Julkunen-Tiitto, R., Wennström, A. & Pilate G. 2012. Increased Resistance of Bt Aspens to *Phratora vitellinae* (Coleoptera) Leads to Increased Plant Growth under Experimental Conditions. – *PLoS One* 7:e30640. doi:10.1371/journal.pone.0030640

Lawrence, S. 2008. Brazil surpasses US in new transgenic crop plantings. *Nature Biotechnology* 26:260.

Lev-Yadun, S., Gopher, A. & Abbo, S. 2000. The cradle of agriculture. *Science* 288:1602–1603. doi:10.1126/science.288.5471.1602

Ämnesord

GMO, GM-träd, Bt-toxin, försvar, insekter, nedbrytning.

Författare



PETTER AXELSSON
Postdoktor,
institutionen för skogens
ekologi och skötsel,
SLU, 901 83 Umeå
Petter.Axelsson@slu.se



JOAKIM HJÄLTÉN
Professor,
institutionen för vilt, fisk och
miljö, SLU
901 83 Umeå
Joakim.Hjalten@slu.se