

Analys av 2010 års försöksserie med olika hybridasp- och poppelkloner på 13 olika lokaler från latitud 56 till 65

Slutrapport 2015 för Energimyndighetens projekt 35136-1

2015-06-29

Lars Göran Stener och Johan Westin, Skogforsk

e-post: lars-goran.stener@skogforsk.se, johan.westin@skogforsk.se



SKOGFORSK



Energimyndigheten

Sammanfattning

Studien behandlar resultat efter 3-4 års tillväxt från klontester med hybridasp och poppel planterade på 7 skogsmarks- och 6 jordbrukslokaler från latitud 56° till 65°. Huvudsyftet var att utvärdera fenotypiska respektive genotypiska skillnader avseende överlevnad, tillväxt och fenologi inom och mellan hybridasp- och poppelkloner för de olika försökslokalerna.

Ett av huvudresultaten var att hybridasp verkar vara lättare att etablera än poppel. Överlevnaden var efter 3-4 års tillväxt generellt sämre för poppel på alla lokaler och extremt dålig (<39%) i de fyra nordligaste försöken. Tillväxten var också sämre för poppel på alla lokaler. Detta kan huvudsakligen förklaras av en sämre klimatisk adaptation för poppeln. På två lokaler har dock ett lågt mark-pH sannolikt påverkat poppelns resultat kraftigt negativt.

Den genetiska variationen var i allmänhet stor och egenskaperna tillväxt samt fenologi var intermediärt till starkt genetiskt styrda, liksom överlevnad på de nordliga lokalerna. Detta indikerar att det finns goda möjligheter att förbättra skogsodlingsmaterialet genom selektionsförädling. Resultatet verifierar rekommendationen om att de selekterade klonerna av hybridasp och poppel för kommersiellt bruk kan användas på milda lokaler upp till Mälardalen liksom att finsk hybridasp kan användas på milda lokaler i Norrland.

Idag rekommenderas de selekterade klonerna av hybridasp och poppel för kommersiellt bruk i södra Sverige att användas på milda lokaler upp till Mälardalen och finsk hybridasp rekommenderas på milda lokaler i Norrland. Dessa rekommendationer verifieras av resultaten från denna studie.

Genetiska korrelationer för tillväxt mellan genotyp och miljö (försökslokal) var för hybridasp oftast starka, medan de var inkonsekventa och ofta icke signifikanta för poppel. Detta indikerar att södra Sverige upp till Mälardalen kan användas som en odlingszon för hybridasp, åtminstone för jordbruksmark. På motsvarande sätt verkar Norrlandskusten kunna utgöras av en odlingszon. De motstridiga resultaten gör det inte möjligt att göra några zonindelningar för poppel.

Bakgrund och syfte

Insatser som leder till ökad produktion av mängden tillgängligt biobränsle från jord- och skogsbruk, betonas i ”Bränsleprogrammet tillförsel”. Hybridasp och övrig poppel är snabbväxande trädslag som är högst relevanta alternativ för att öka tillgången på förnyelsebara råvaror för energiändamål. Markägarens intresse av dylika odlingar tilltar naturligtvis med ökad lönsamhet och en förutsättning för ett bra ekonomiskt utfall är att odlingsmaterialet är högvärdigt. Idag finns i södra Sverige endast ett begränsat antal utvalda, vältestade hybridasp- och poppelkloner på plantmarknaden och i mellersta och norra Sverige saknas testat odlingsmaterial. Inför en förväntad ökning av den odlade arealen med hybridasp och poppel är det nödvändigt att testa och välja ut fler bra kloner.

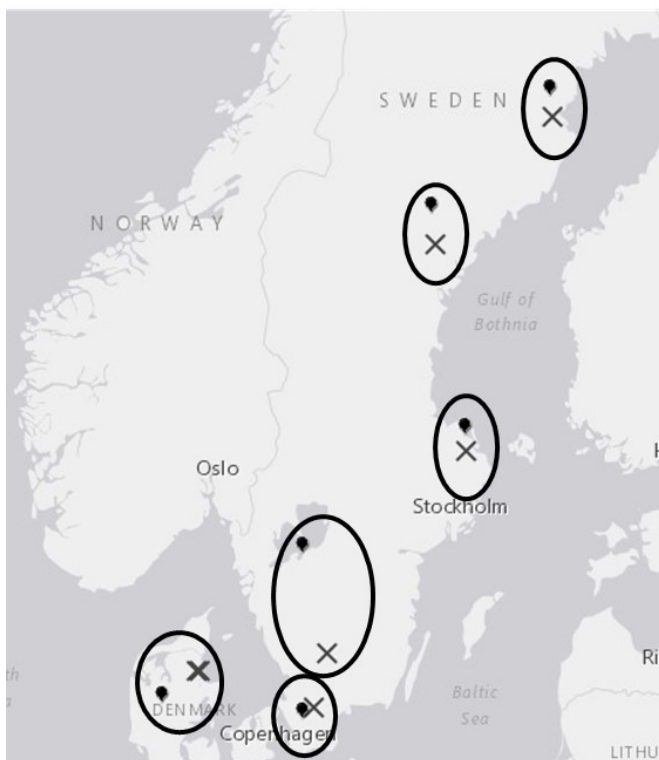
Nya fälttester med olika kloner av poppel och hybridasp anlades år 2010 på sex lokaler i södra Sverige (latitud 56°, 58°, 60°) och fyra under våren år 2011 i norra Sverige (latitud 62°, 65°). År 2012 kompletterades dessa med tre försök i Danmark. Inom ett begränsat latitudintervall etablerades ett försök på skogsmark och ett på jordbruksmark med exakt samma testmaterial (Figur 1). Förutom de svenska kommersiella klonerna av hybridasp och poppel, ingår bl.a. lettisk och finsk hybridasp som marknadsförs som alternativ till det svenska materialet, dock utan att man vet hur bra de är. I försöken ingår även nya lovande poppelkloner. De olika

testmiljöerna ger bl.a. kunskap om samspel mellan klon och miljö som är viktigt vid en eventuell klimatförändring. Dessutom ska försöken ge ett vetenskapligt underlag för att förbättra odlingsmaterialet i Götaland, Svealand och södra Norrland. Försöken har nu mätts och analyserats en första gång vad gäller överlevnad, tillväxt, fenologi och skador.

Huvudsyftet med studien är ge ett första beslutsunderlag för urval av kloner till olika klimatområden och ge utgångsvärden inför ett slutligt urval när försöken är ca 10 år gamla.

Material och metoder

Samtliga 13 försök (figur 1, tabell 1) är utformade som randomiserade blockförsök med 6-9 block där varje block innehåller 1-2 plantor av varje klon med ett planteringsförband på 3x3 m. Hybridasparna och popplarna planterades trädslagvis (subplots) i varje block. Till försöken på skogsmark valdes bördiga, icke frostlänta lokaler och jordbruksmarkerna var normala, avställda marker, d.v.s. inte av den allra bördigaste typen. För att skapa en så gynnsam och homogen planteringspunkt som möjligt användes inverterad markberedning via grävskopa på alla skogsmarksytor och jordbruksmarkerna behandlades med roundup en till två gånger innan plantering. Samtliga försök hägnades.



Figur 1. Försökens lokalisering. Parallellförsöken, d.v.s. de som anlagts i en region med ungefär samma klimat och med samma testmaterial, varav ett på skogsmark (X) och ett på jordbruksmark (ballongsymbol), omges av en "cirkel".

I alla försök ingick de 15 kommersiella klonerna av hybridasp respektive poppel, 23 finska hybridaspkloner (ej Danmark) samt 11 nya lovande hybridaspkloner. Sedan tillkom beroende på latitud ytterligare hybridaspkloner från Tyskland (12), Lettland (22) och poppelkloner från Belgien (46), Italien (7) och sådana som valts för centrala/norra Sverige (47) (Bilaga 1 och 2).

Plantorna var alla 1-åriga vegetativt förökade täckrotsplantor som planterades under sensvåren 2010-2012. Mätning gjordes enligt tabell 2 på varje levande planta vid 3 (danska försöken) respektive 4 (svenska försöken) års fältålder. Jordprover togs efter 3 års tillväxt i centrum av varje block i samtliga svenska försök för mätning av pH (Karlton 1996).

Tabell 1. Beskrivning av försöken som sorterats från söder till norr. Försöksnumret utgörs av landet, marktyp där F = skogsmark och A = jordbruksmark och en siffra (1-5) inom resp land, där försök med samma siffra är parallella, d.v.s. de innehåller exakt samma kloner. TS = temperatursumma baserad på dygnstemperatur >5°C (Perttu & Moren 1995)

Trial no	Name	Type of land	Planted year	Lat	Long	Alt m	TS
				Dec.degr.			Degree days
Den_A1	Give	Agricultural	2012	55.83	9.16	20	1533
Den_F1	Lounkaer_Nord	Forest	2012	56.72	10.20	20	1479
Den_F2	Lounkaer-Syd	Forest	2012	56.70	10.14	20	1480
Swe_A1	Sturup	Agricultural	2010	55.56	13.38	120	1466
Swe_F1	Matteröd	Forest	2010	56.11	13.62	114	1438
Swe_A2	Remningstorp	Agricultural	2010	58.26	13.37	133	1291
Swe_F2	Toftaholm	Forest	2010	56.99	14.05	162	1344
Swe_A3	Harg	Agricultural	2010	60.09	18.25	20	1276
Swe_F3	Karön	Forest	2010	60.17	18.22	25	1267
Swe_A4	Ed	Agricultural	2011	63.25	17.23	75	1039
Swe_F4	"Pommac"	Forest	2011	63.11	17.27	265	888
Swe_A5	Degerbyn	Agricultural	2011	64.78	20.81	20	993
Swe_F5	Degerbyn	Forest	2011	64.78	20.81	20	992

Den genetisk statistiska analysen baserades på individuella trädobservationer enligt modellen $y_{ijk} = \mu + b_i + c_j + e_{ijk}$ där y_{ijk} = observation k , i block i för klon j , μ = försöksmedelvärde, b_i = fix blockeffekt i , c_j = slumpmässig kloneffekt j enligt $NID(0, \sigma_c^2)$ och e_{ijk} = slumpmässig felterm för observation ijk , $NID(0, \sigma_e^2)$. Varianser skattades enligt REML (Restricted Maximum Likelihood) metoden, via programmet ASREML (Gilmour et al. 1999). För analys av skillnader mellan olika trädslag och klongrupper användes blockvisa medelvärden som analyserades via Proc GLM (SAS, 2008) enligt modellen

$y_{ij} = \mu + b_i + p_j + e_{ij}$, där y_{ij} = observation ij , μ = medelvärde, b_i = fix blockeffekt i , p_j = grupp eller trädslag j , e_{ij} = slumpmässig felterm för observation ij , $NID(0, \sigma_e^2)$.

Tabell 2. Beskrivning av mätta variabler.

Trait	Unit	Description
Surv	(0-1)	Survival, classified as 0=died and 1=alive
Height	cm	Total height
Dia	mm	Diameter at breast height (only for trial Swe_A2)
Flush	(0-6)	Spring phenology based on flushing for the upper half of the living crown registered in 6 classes: 0,1=dormant, 2=buds started to swell, 3=slightly broken buds where little green can be seen at the top, 4=broken bud, 5=developed leaves, 6=fully developed leaves. Classification dates: Swe_A1: April 26 for Poplars and May 7 for hybrid aspen, 2013. Swe_A2: May 11, 2013. Swe_A5: May 28, 2013. Swe_F5: May 24, 2013.
Colour	(0-100)	Autum phenology classified by coloration of leaves and/or lost leaves in 10% classes where 0 = no autumn colours and/or no leaves lost ... 100 = 100% autumn colouration and/or 100% lost leaves. Classification dates: Swe_A1: Oct 4 and 16, 2013. Swe_A2: Sep 17, 26 and Oct 8, 2013. Swe_A5: 27 Sept, 2013. Swe_F5: Sept 30, 2013.
Frost	(0-1)	Dry top probably caused by frostdamage, classified as 0=none, 1=damaged

Resultat och diskussion

Fenotypiska data – Överlevnad, tillväxt och fenologi

Resultaten indikerar att hybridasp är lättare att etablera än poppel (tabell 3, 4). Överlevnaden var generellt sämre för poppel på alla lokaler och extremt dålig på de nordliga lokalerna (<39%). Tillväxten var också bättre för hybrid Aspen på alla lokaler oavsett om alla kloner inom respektive trädslag eller om enbart de mest relevanta klonerna för den specifika latituden ingick i jämförelsen.

Tabell 3. Medelvärden för fyra egenskaper fördelade på försök och trädslag. Den statistiska signifikansnivån mellan hybridasp och poppel framgår av "Pr>F" för varje egenskap och försök och de som är markerade med fetstil är signifikanta på minst 5 % nivån.

Trial	Survival, %				Height, cm				Flushing (1-6)				Colouration, %			
	Hasp	Popp	All	Pr>F	Hasp	Popp	All	Pr>F	Hasp	Popp	All	Pr>F	Hasp	Popp	All	Pr>F
Den_F1	94	70	86	0.0018	401	166	334	<0.0001								
Den_F2	94	89	93	0.1295	289	189	254	<0.0001								
Den_A1	91	89	91	0.6209	277	258	268	0.0391								
Swe_A1	92	69	84	0.0018	351	295	335	0.0178	4.4	3.3	4.0	0.0024	67	49	62	0.0003
Swe_F1	83	11	59	<0.0001	281	100	270	<0.0001								
Swe_F2	82	76	81	0.1611	270	161	244	0.0007								
Swe_A2	95	52	85	<0.0001	517	447	508	0.1063	3.9	2.7	3.7	0.0030	59	71	60	0.0045
Swe_A3	77	76	77	0.6983	270	260	268	0.0828								
Swe_F3	93	83	90	0.0269	236	233	235	0.8777								
Swe_F4	69	33	60	0.0690	192	38	152	0.0042								
Swe_A4	50	0	37	0.0255	221											
Swe_A5	58	19	38	<0.0001	163	128	145	0.0203	5.3	5.5	5.4	0.1592	46	53	50	0.1428
Swe_F5	82	38	60	<0.0001	258	122	190	<0.0001	5.8	5.7	5.8	0.3380	33	58	45	0.0047

Tabell 4. Jämförelse av överlevnad och tillväxt för parallella försök, d.v.s. mellan jordbruksmark (Agri) och skogsmark (Forest) för försökslokaler inom samma latitudområde. Här ingår enbart de mest relevanta klonerna, dvs i de danska och sydsvenska försöken ingår enbart de kommersiella hybridasp och poppelklonerna och i de nordliga försöken ingår endast Swe_N_Old och Swe_N_New. Den statistiska signifikansnivån mellan de två jämförande marktyperna framgår av "Pr>F" för varje försöksserie och trädslag och de som är markerade med fetstil är signifikanta på minst 5 % nivån.

Site	Hybrid aspen						Poplar					
	Survival, %			Height, cm			Survival, %			Height, cm		
	Agri	Forest	Pr>F	Agri	Forest	Pr>F	Agri	Forest	Pr>F	Agri	Forest	Pr>F
Den_A1_F1	91	93	0.4053	265	394	<0.0001	93	70	<0.0001	259	173	<0.0001
Den_A1_F2	91	93	0.5641	265	275	0.3590	93	89	0.3387	259	188	<0.0001
Swe_A1_F1	90	77	0.0005	376	281	<0.0001						
Swe_A2_F2	98	81	<0.0001	530	290	<0.0001	47	82	<0.0001	446	178	<0.0001
Swe_A3_F3	79	92	0.0001	282	258	0.0063	70	80	0.0556	264	236	0.0068
Swe_A4_F4	55	76	<0.0001	211	169	<0.0001						
Swe_A5_F5	71	85	0.0005	165	244	<0.0001						

Den dåliga överlevnaden i tre av de nordligaste försöken kan bl.a. förklaras av stora problem med sork och till viss del hare. Trots herbicidbehandling var markvegetationen riklig, vilket ger en bra skyddande miljö för gnagare. Det gick inte att urskilja några skillnader i viltskador mellan hybridasp och poppel.

Markens pH kan ha stor inverkan på tillväxt eftersom det påverkar tillgängligheten av olika näringsämnen. I en studie på Salix av Ericsson & Lindsjö (1981) var rot och skotttillväxt kraftigt reducerad för pH värden runt 3.8 – 4.3 medan tillväxten var normal vid pH över 5.0. Detta stämmer också bra med de kanadensiska rekommendationerna om att poppel bör odlas på marker med minst pH 5.0 (Anon 1991). Mark-pH från de svenska försöken varierade mellan 4.9 till 7.8 på jordbruksmark och mellan 4.2 till 7.8 på skogsmark. Försök Swe_F1

(Matteröd) hade det lägsta pH-värdet och där var också överlevnaden extremt dålig för poppel (11%). Eftersom viltskadorna var få och ståndorten som sådan inte avvek från det normala, så torde det låga pH-värdet förklara poppelns dåliga utveckling. Sannolikt kan den låga överlevnaden i försök Swe_F5 (Degerbyn) också förklaras av ett mycket lågt pH (4.4). Det ska även noteras att hybridaspn i dessa två försök inte verkade ha påverkats, eftersom överlevnad och tillväxt inte avvek signifikant från närliggande försök.

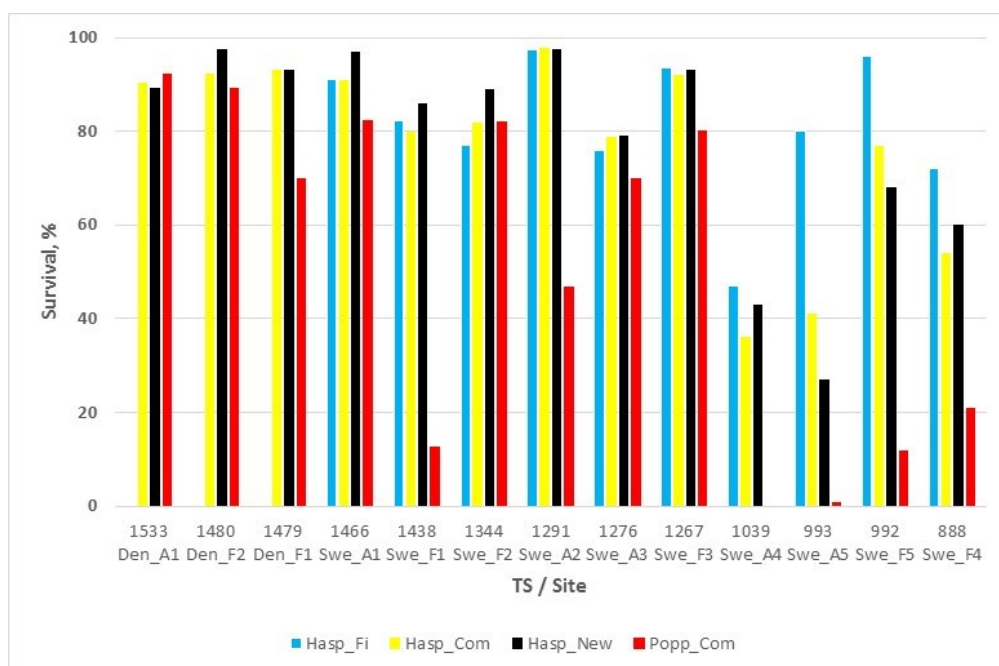
En annan förklaring till poppelns höga dödlighet är dålig klimatadaption som blir allt viktigare ju längre norrut vi kommer, speciellt för introducerade arter såsom poppel som inte är naturligt anpassad till vårt klimat. Att hitta individer med lämplig tidpunkt för tillväxtens start respektive avslutning är av yttersta vikt för hög tillväxt och överlevnad (Hannerz 1998). Från mätningar gjorda den första hösten, d.v.s. efter en vegetationssäsong, vet vi att överlevnaden i alla försök generellt var hög (88-100% för hybridaspn och 91-100% för poppel). I två av försöken (Swe_A2, Remningstorp och Swe_A3, Harg) gjordes även mätningar efter 2 års tillväxt i fält och där minskade överlevnaden från 100% hösten år 1 för båda trädslagen och lokalerna till 96 % respektive 80 % för hybridaspn och 55 % respektive 79 % för poppel. Efter år 2 förändrades överlevnaden endast marginellt, d.v.s. den första vintern hade en stor effekt på överlevnaden, vilket indikerar att det är ett problem som är kopplat till klimatadaption.

Om vi studerar figur 2 och 3, där tillväxtens respektive överlevnadens utveckling i princip presenteras från det sydligaste till det nordligaste försöket, kan man inte se någon uppenbar trend från syd till norr för någon materialgrupp i de sydliga försöken (till Swe_F3). Idag rekommenderas de kommersiella hybridasp och poppelklonerna att användas på milda lokaler upp till Mälardalen, d.v.s. latitud ca 60°, vilket nu stöds av resultaten från denna studie.

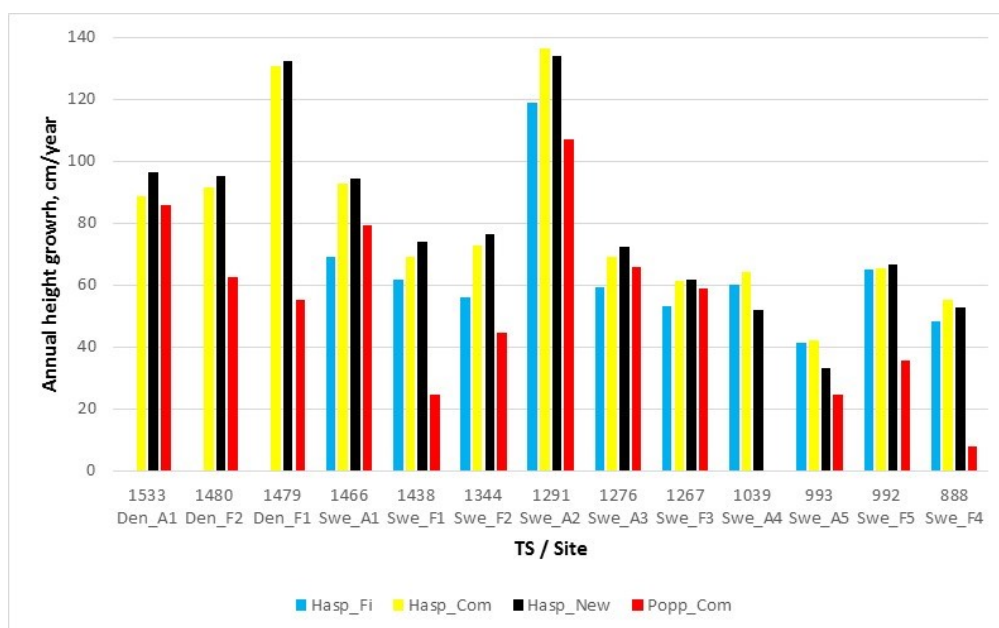
Det är visserligen ett försök Swe_A2 (Remningstorp) där överlevnaden för den kommersiella poppelgruppen (Popp_Com) är betydligt sämre än i de övriga sydliga försöken förutom Swe_F1 (Matteröd) med lågt mark pH. Det är hälften av klonerna i denna grupp som främst är drabbade men vi kan inte hitta någon förklaring till detta. På mer sydliga respektive nordliga lokaler har den kommersiella poppelgruppen hög överlevnad. Det finns inte heller någon koppling till klonernas klimatadaption (fenologi) och plantmaterialet har behandlats på samma sätt i plantskolan och i alla försöken.

Överlevnaden för den finska hybridaspgruppen var en av de bästa i de nordliga försöken samtidigt som tillväxten inte skilde sig signifikant från de nordsvenska grupperna (Figur 2, 3). Detta resultat stödjer också dagens rekommendation om att finsk hybridasp kan användas på milda lokaler i norra Sverige. Att använda finsk hybridasp i södra Sverige verkar dock inoptimalt (Figur 2 och 3). Tyska hybridaspkloner är lovande i södra Sverige (Bilaga 3) men det är för tidigt att göra några slutgiltiga rekommendationer.

Det är förvånande att den hybridasp som är rekommenderad för södra Sverige (Swe_S_Com, Swe_S_New i bilaga 3a, b) har så pass hög överlevnad (68 %, 77%) och hög tillväxt (skiljer sig inte signifikant från mer nordligt material) i det nordligaste försöket (Swe_F5, Degerbyn). Detta indikerar att hybridaspn inte är speciellt känslig för kraftig nordlig förflyttning om planteringslokalen är gynnsam.



Figur 2. Genomsnittlig överlevnad (%) efter 3-4 års tillväxt för tre materialgrupper med hybridasp (kloner från Finland, kommersiella kloner valda i Sverige resp nya kandidater valda i Sverige) och en med poppel (kommersiella kloner valda i Sverige) för 13 olika försökslokaler sorterade efter temperatursumma (se tabell 1), vilka redovisas ovan respektive försöksnamn. Notera att finska materialgruppen saknas i de danska försöken.



Figur 3. Årlig medeltillväxt (cm) för tre materialgrupper med hybridasp (kloner från Finland, kommersiella kloner valda i Sverige resp nya kandidater valda i Sverige) och en med poppel (kommersiella kloner valda i Sverige) för 13 olika försökslokaler sorterade efter temperatursumma (se tabell 1), vilka redovisas ovan respektive försöksnamn. Notera att finska materialgruppen saknas i de danska försöken.

Det är för tidigt att utifrån dessa resultat ge rekommendationer för poppelodling i norra Sverige, men så här långt finns specifika kloner inom främst de nordsvenska, norska och isländska grupperna som är lovande. Vad vi däremot definitivt kan säga, är att det kommersiella sydsvenska poppelaterialet inte ska användas i norra Sverige.

Jämförelsen av de två parallella försöken på jordbruks- respektive skogsmark (Tabell 4) inom de olika latitudområdena visade i allmänhet högre tillväxt på jordbruksmark, vilket är logiskt med tanke på dess högre bördighet. I de nordliga försöken i Degerbyn (Swe_F5, Swe_A5) var dock resultatet det omvända, vilket sannolikt beror på den mycket gynnsamma skogsmarken (lång sluttning i söder) och den mer frostutsatta jordbrukslokalen.

Klimatadaption är avhängig trädens fenologi vilket i den norra hemisfären främst styrs av temperatursumma och fotoperiodens längd (Hannerz 1998, Fracheboud et al. 2009). Material som förflyttats norrut påbörjar generellt tillväxten senare på våren och avslutar tillväxten senare på hösten och vice versa jämfört med lokalt material, vilket också överensstämmer med vårt resultat för höstfenologin (Bilaga 3d). Exempelvis var bladens höstfärger svaga för de tyska hybridaspklonerna men kraftigare för de finska klonerna på de sydliga lokalerna, vilket indikerar en sen respektive tidig tillväxtavslutning. I de två nordligaste försöken hade de sydligaste grupperna (Swe_S_Com and Swe_S_New) den senaste tillväxtavslutningen. För poppel tenderade det kontinentala materialet (Be, Eu_Com) ha svaga höstfärger (sen avslutning) på de sydliga lokalerna liksom de kommersiella klonerna (Swe_S_Com) på de nordliga lokalerna. Initieringen av tillväxten (Flushing) följde dock inte förväntningarna eftersom t.ex. knoppsprickningen var tidig för de tyska och sena för de finska hybridaspklonerna (Bilaga 3c). Vidare hade de kontinentala popplarna "Eu_Com" en sen knoppsprickning i de sydliga försöken. Där finns naturligtvis en variation mellan kloner, men den kan ändå inte förklara den generella trenden för knoppsprickningen. Hur som helst visar resultatet att material som förflyttas långt från den plats land där det selekterats, har en annan tillväxttrytm än mer lokalt selekterat material, vilket måste tas hänsyn vid val av skogsodlingsmaterial och i den praktiska skogsträdsförädlingen.

Genotypiska resultat

Studien bekräftar tidigare resultat om en intermediär till stark genetisk kontroll och stor genetisk variation för tillväxt, överlevnad och fenologi.

Heritabiliteten är ett värde mellan 0 och 1 och indikerar hur starkt egenskapen är styrd av genetik (ju högre värde, desto större genetisk kontroll). Tillväxt visade i allmänhet en intermediär genetisk kontroll (Bilaga 4) och överensstämmer med tidigare rapporter (t.ex. Einspahr et al. 1963, 1967, Ilstedt 1996, Stener 2004). Heritabiliteten för poppeln i norra Sverige var dock svag vilket sannolikt kan kopplas till den låga överlevnaden. Den genetiska variationen i tillväxt mellan kloner var stor (CV_G , Bilaga 4) och är också på samma nivå som i tidigare studier såsom Stener & Karlsson (2004). Den generella slutsats som kan göras av detta är att den genetiska variationen i kombination med den genetiska kontrollen är av en sådan storlek att det finns goda möjligheter för ett effektivt klonurval.

Heritabiliteten för överlevnad var låg i de sydliga hybridaspförsöken (Bilaga 4), vilket också stämmer med tidigare studier (Stener & Karlsson, 2004). I norra Sverige med dess kärvare klimat var dock heritabiliteten för överlevnad högre, d.v.s. överlevnad är här en viktig egenskap att ta hänsyn till. För poppel som i hög grad är ett introducerat trädslag är överlevnad en mycket relevant egenskap, vilket också verifierades i denna studie genom intermediära till höga heritabiliteter både i söder och norr. Fenologiegenskaper är normalt kraftigt heritabla (Hannerz 1998, Pliura et al. 2014) vilket också stämmer med våra resultat (Bilaga 4).

Genetiska korrelationer (r_G) ger indikation om hur starkt olika egenskaper är genetiskt kopplade, vilket är av stor betydelse vid urvalsförädling. Korrelationerna för tillväxt mellan första och fjärde tillväxtåret var intermediära till starka för hybridasp medan de för poppel

varierade kraftigt i storlek och i vissa fall kunde de vara negativa. Detta indikerar att de första årens tillväxt för poppel relaterar dåligt till senare tillväxt, vilket återigen är ett uttryck för dålig klimatisk adaptation. Liknande resultat har visats av Ilstedt (1996).

Den genetiska korrelationen mellan tillväxt och fenologi (Bilaga 5) var svag och icke signifikant för poppel, vilket beror på få kloner med få upprepningar vilket orsakades av dålig överlevnad. För hybridasp indikerade resultatet att kloner med tidig knoppsprickning växte bättre vilket också var fallet för kloner som hade en lång tillväxtperiod på hösten. Resultatet var i allmänhet detsamma både i söder och norr. Liknande resultat har visats av Pliura et al. (2014), Yu (2001) and Ceulmans et al. (1992). Korrelationerna var intermediära, d.v.s. det finns en stor variation, men resultatet visar ändå att det finns en generell tendens att en lång tillväxtperiod ökar tillväxten. Det innebär att ett urval som enbart baseras på tillväxt ökar risken för frostsador eftersom en lång tillväxtperiod är kopplat till en tidig start eller sen avslutning av tillväxten. Detta pekar återigen på betydelsen av att ha kontroll på materialens tillväxttrytm. Den stora genetiska variationen och den starka genetiska kontrollen för fenologin är i detta avseende gynnsam.

Den genetiska korrelationen mellan samma kloner på olika försökslokaler (r_{GE}) indikerar hur klonerna uppför sig i olika miljöer. För hybridasp var alla r_{GE} skattningar positiva och huvudsakligen starka för tillväxt (Bilaga 6), vilket visar att en klons tillväxt är relativt stabil i olika miljöer. Så var inte fallet för poppel där skattningarna var inkonsekventa och sällan signifikanta, vilket återigen beror på få testade kloner i kombination få överlevande individer. Svaga samspel mellan genotyp och miljö rapporterades även för försök på jordbruksmark av Stener & Karlsson (2004) och Nielsen et al. (2014). Tillsammans visar dessa resultat att södra Sverige, åtminstone jordbruksmarker, kan användas som en enda odlingszon för hybridasp, vilket förenklar både odling och framtida förädlingsaktiviteter. Det verkar också som om Norrlandskusten kan användas som en odlingszon för hybridasp, vilket dock måste verifieras via ytterligare försök. För poppel måste nya försök anläggas för att få klarhet i uppdelning av odlingszoner i Sverige.

Resultaten i bilaga 4 påvisade alltså stora skillnader mellan olika materialgrupper. Detta är dock relativt irrelevant om syftet är att selektera fram ett bra odlingsmaterial. Det som är av intresse är att oavsett materialtillhörighet selektera de allra bästa individerna avseende klimatadaptation, tillväxt, överlevnad och kanske stamkvalitet. Detta exemplifieras i Figur 4 där det framgår att det finns stora klonskillnader inom grupperna som kan utnyttjas för urval framöver. En ”multi-trait” analys över flera lokaler kommer efter nästa mätning, d.v.s. när försöken är ca 10 år, ge ett bra underlag för selektion av ett bättre odlingsmaterial till skogsbruket.

Konklusion

De viktigaste slutsatserna är följande:

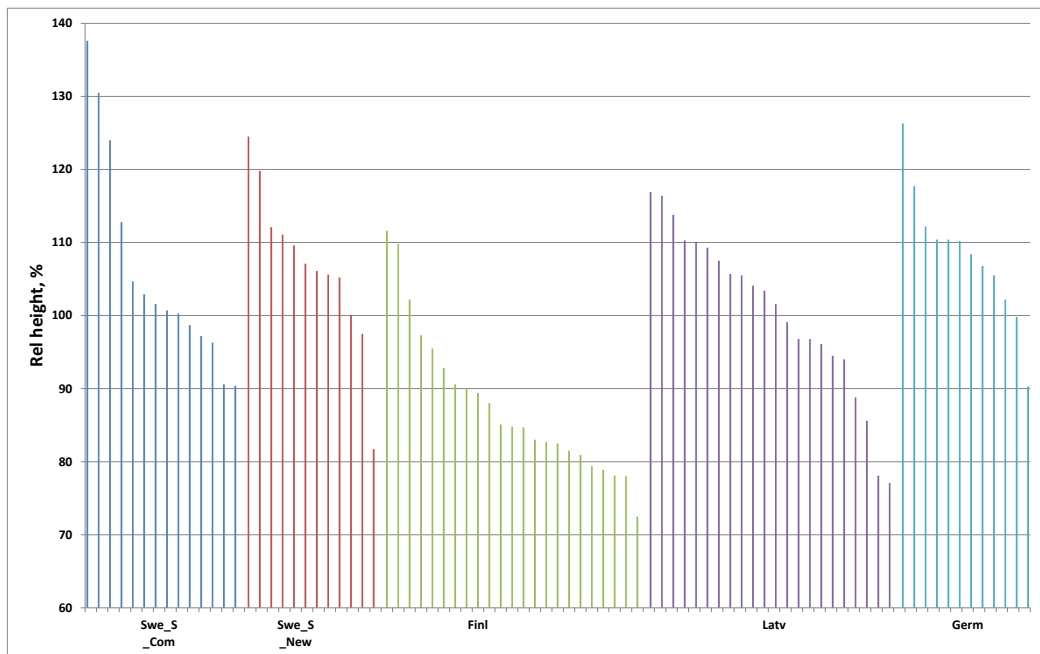
- 1) Hybridasp verkar vara lättare att etablera än poppel. Efter 3-4 års tillväxt i fält har hybridasp generellt sett bättre tillväxt och överlevnad än poppel på alla lokaler från Danmark i söder till Umeå i norr. Detta kan huvudsakligen förklaras av en bättre klimatisk adaptation för hybridasp.
- 2) Lågt mark-pH verkar ha stor betydelse för poppelns tillväxt och överlevnad men inte för hybridaspens.
- 3) Det finns indikationer på att med tilltagande latitud (kärvare klimat) blir det allt viktigare att plantera hybridasp och poppel på en klimatiskt gynnsam lokal (gärna sydlig sluttning).

4) Rekommendationen om att de selekterade klonerna för kommersiellt bruk av hybridasp och poppel kan användas på milda lokaler upp till Mälardalen verifieras av resultaten liksom att finsk hybridasp kan användas på milda lokaler i Norrland.

5) Den stora genetiska variationen i kombination med den intermediära till starka genetiska kontrollen av egenskaper såsom tillväxt, fenologi och i norr även av överlevnad, möjliggör ett effektivt urval av nya odlingsvärda kloner.

6) Genetiska korrelationer mellan genotyp och miljö för hybridasp indikerar att södra Sverige upp till Mälardalen kan användas som en odlingszon, åtminstone för jordbruksmark. På motsvarande sätt verkar Norrlandskusten kunna utgöras av en odlingszon. Motstridiga resultat gör det inte möjligt att göra någon zonindelning för poppel.

Det är viktigt att påpeka att resultaten bygger på mätningar efter 3-4 års tillväxt i försöken, d.v.s. det behövs ytterligare ca 6 år innan mer säkra slutsatser kan göras.



Figur 4. Genotypvärden (BLUP) uttryckta i procent av försöksmedelvärdet, sorterade från den bästa till den sämsta klonen inom olika materialgrupper av hybridasp i försök Swe_A1, Sturup. Notera att y-axeln börjar vid 60%.

Referenser

- Anon, 1991. A growers guide to hybrid poplar. Ministry of Natural Resources. Ontario, Canada. 148 pp.
- Ceulemans, R., Scarascia-Mugnozza, G., Wiard, B.M., Braatne, J.H., Hinckley, T.M., Stettler, R.F., Isebrands, J.G. and Heilman, P.E. 1992. Production physiology and morphology of Populus species and their hybrids grown under short rotation. I. Clonal comparisons of 4-year growth and phenology. Can. J. For. Res. 22: 1937-1948.
- Einspahr, D.W., Benson, M.K. & Peckham, J.R. 1963. Natural variation and heritability in triploid aspen. Silvae Genetica 12: 51-58.

- Einspahr, D.W., Benson, M.K. & Peckham, J.R. 1967. Variation and heritability of wood and growth characteristics of five-year-old quaking aspen. Inst. Pap Chem Gen Physiol Note 1, Madison W1, pp 1-6.
- Ericsson, T. & Lindsjö, I. 1981. The influence of pH on growth and nutrition of some energy forest tree species. Technical report no 11: 1-13.
- Fracheboud, Y., Luquez, L., Björken, A., Sjödin, H., Touminen, H. and Jansson, S. 2009. The control of autumn senescence in European aspen. *Plant. Phys.* 149: 1982-1991.
- Gilmour, A.R., Cullis, B.R., Welham, S.J. and Thompson, R. 1999. ASREML reference manual. New South Wales Agriculture. Orange. 2800. Australia.
- Hannerz, M. 1998. Genetic and seasonal variation in hardiness and growth rhythm in boreal and temperate conifers. Report No 2: 1-140. Skogforsk.
- Ilstedt, B. 1996. Genetics and performance of Belgian poplar clones tested in Sweden. *Forest Genetics* 3(4): 183-195.
- Karlton, E. 1996. Markkemiska analyser inom ståndsorkarteringen. SLU ????
- Nielsen, U.B., Madsen, P., Hansen, J.K., Nord-Larsen, T. and Nielsen, A.T. 2014. Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. *Biomass and Bioenergy*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.030>
- Perttu & Moren. 1995. Regionala klimatindex. Fakta skog nr 13: 1-4. SLU.
- Pliura, A., Suchockas, V., Sarsekova, D. and Gudynaite, V. 2014. Genotypic variation and heritability of growth and adaptive traits, and adaptation of young poplar hybrids at northern margins of natural distribution of *Populus nigra* in Europe. *Biomass and Bioenergy*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.09.011>. 17 pp.
- SAS, 2008. SAS/STAT Users guide. Cary. NC, USA. SAS Institute Inc.
- Stener, L.G. & Karlsson, B. 2004. Improvement of *Populus tremula* x *P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. *Forest Genetics* 11(1):13-27.
- Stener, L.G. 2010. Tillväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska fältförsök. Arbetsrapport nr 717, Skogforsk. In Swedish.
- Yu, Q. 2001. Selection and propagation of hybrid aspen clones for growth and fibre quality. Dissertation for Ph.D. Dep. of Applied Biology, University of Helsinki, Finland, 41 pp.

Bilaga 1. Beskrivning av ingående testmaterial. STT = Swedish Tree Technology i Umeå

Group / Species	Main deployment area	Aim and description of the clonal selection	No of clones
Hybrid aspen			
Swe_S_Com	S. Sweden	Genotypically selected clones used commercially	15
Swe_S_New	S. Sweden	An additional genotypic selection in year 2009 from the same trials where Swe_S_Com were tested initially	11
Swe_N_Old	N. Sweden	Phenotypic selection before 1990 of promising candidate clones	15
Swe_N_New	N. Sweden	Phenotypic selection after 2009 of promising candidate clones	8
Finl	S. Finland	Phenotypic selection for commercial use	23
Germ	N. Germany	Phenotypic selection for commercial use	15
Latv	Latvia	Phenotypic selection for commercial use	22
All			109
Poplars			
Swe_S_Com	S. Sweden	Genotypically selected clones used commercially (<i>P. trichocarpa</i> or <i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>). Includes clone OP42	16
Swe_N_New	N. Sweden	An additional genotypic selection in year 2009 from the same trials where Swe_S_Com were tested initially	8
Swe_N_Old	N. Sweden	Phenotypic selection before 2000 of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones	8
Swe_N_OldU	C. Sweden	Phenotypic selection before 2000 of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones	6
Swe_STT_C	C. Sweden	Phenotypic selection by SST of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones	5
Swe_STT_N1	N. Sweden 1	Phenotypic selection by SST of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones. Selection 1.	6
Swe_STT_N2	N. Sweden 2	Phenotypic selection by SST of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones. Selection 2.	3
Icel	Iceland	Phenotypic selection of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones	7
Norw	Norway	Phenotypic selection of promising candidate <i>P. trichocarpa</i> clones	4
Be	Belgium	Phenotypic selection of promising candidate, mostly <i>P. deltoides</i> x <i>P. trichocarpa</i> clones	46
Ital	Italy	Genotypically selected clones used commercially (AF2, AF8, AF13, Monviso, AF18, AF24,	7
EU_Com	C. Europe	Genotypically selected clones used commercially (Grimminge, Koster and Muur).	3
Alla			119
Total			228

Bilaga 2. Klonernas fördelning på olika materialgrupper för olika försök och träslag.

Trial	Material groups of Hybrid aspen							Material groups of Poplars												
	Swe_ S_Com	Swe_ S_New	Swe_ N_Old	Swe_ N_New	Finl	Latv	Germ	Swe_S _Com	Swe_ N_New	Swe_ N_OldU	Swe_ N_Old	Swe_ STT_C	Swe_ STT_N1	Swe_ STT_N2	Icel	Be	Ital	EU_ Com	Norw	
Den_F1	15	11					4	15										3		
Den_F2	15	11					4	15												
Den_A1	15	11					4	15										6		
Swe_A1	15	11			23	22	12	15								43	4	3		
Swe_F1	15	11			23	22	12	15								43	4	3		
Swe_F2	15	11			23	22	12	15				5	6					4		
Swe_A2	15	11			23	22	11	15				5	6					4		
Swe_A3	15	11			23	22		15				5	6							
Swe_F3	15	11			23	22		15				5	6							
Swe_F4	15	10	15	7	23			4	4	3	4					4				3
Swe_A4	15	10	15	8	23			4	4	4	5					5				3
Swe_A5	15	10	15	8	23			15	8	6	8					3	7			4
Swe_F5	15	10	13	8	23			16	8	5	8					2	7			4

Bilaga 3. Jämförelse av olika materialgrupper för hybridasp respektive poppel. Den statistiska signifikansnivån för materialgrupp framgår av "Pr>F" för varje försökslokal och träslag.

Bilaga 3a. Överlevnad (%)

Trial	Hybrid aspen, Survival, %									Poplar, Survival, %													
	Swe_S _Com	Swe_S _New	Swe_N _Old	Swe_N _New	Fi	Latv	Germ	Mean All	Pr>F	Swe_S _Com	Swe_ N_Ne	Swe_ N_OldU	Swe_ N_Old	Swe_ STT_C	Swe_ STT_N1	Swe_ STT_N2	Icel	Be	Ital	EU_ Com	Norw	Mean All	Pr>F
Den_F1	93	93					98	94	0.4464	70												70	
Den_F2	92	98					98	95	0.0802	89									93			90	0.8662
Den_A1	90	89					100	93	0.0805	92									63			89	0.0306
Swe_A1	91	97			91	95	78	92	0.0335	83								61	31	83		69	<0.0001
Swe_F1	80	86			82	90	75	83	0.0240	13								11	8	6		11	0.4695
Swe_F2	82	89			77	81	80	82	0.1029	82				83	89				13			76	<0.0001
Swe_A2	98	98			98	97	79	95	0.0019	47				93	77				3			52	<0.0001
Swe_A3	79	79			76	77		77	0.8445	70				100	77							76	0.0009
Swe_F3	92	93			94	94		93	0.8986	80				94	83							83	0.0991
Swe_F4	54	60	79	76	72			68	0.0014	21	49	11	45				48				25	33	0.6642
Swe_A4	36	43	54	57	47			50	0.1835													0	
Swe_A5	41	27	52	75	80			55	<0.0001	1	20	19	13			0	48				67	26	<0.0001
Swe_F5	77	68	40	89	96			75	<0.0001	12	45	27	43			21	63				43	37	<0.0001

Bilaga 3b. Relativ höjd (%), d.v.s. höjden för respektive materialgrupp i relation till försöksmedelvärdet.

Trial	Hybrid aspen, Relative height, %									Poplar, Relative height, %													
	Swe_S _Com	Swe_S _New	Swe_N _Old	Swe_N _New	Fi	Latv	Germ	Mean All	Pr>F	Swe_S _Com	Swe_ N_Ne	Swe_ N_OldU	Swe_ N_Old	Swe_ STT_C	Swe_ STT_N1	Swe_ STT_N2	Icel	Be	Ital	EU_ Com	Norw	Mean All	Pr>F
Den_F1	98	99					110	402	0.0242	100												166	
Den_F2	94	98					116	291	<0.0001	98									116			192	0.2086
Den_A1	97	105					110	275	0.0188	100									97			258	0.8052
Swe_A1	106	107			79	99	113	351	<0.0001	108								94	100	91		295	0.2582
Swe_F1	98	105			88	103	116	281	0.0008	99								100	93	65		100	0.0173
Swe_F2	108	113			83	93	94	270	<0.0001	110				92	71				45			161	0.0002
Swe_A2	105	104			92	105	103	517	0.2989	96				110	93				141			447	0.0351
Swe_A3	103	107			88	101		270	0.0002	101				102	97							260	0.1953
Swe_F3	104	105			90	102		236	0.0676	101				94	102							233	0.2841
Swe_F4	113	108	93	88	99			195	0.1524	84	111	124	121				103				103	38	0.2863
Swe_A4	116	94	92	100	109			221	0.1131													0	
Swe_A5	105	83	110	101	102			161	0.1933	84	106	69	87			-	120				97	118	0.3729
Swe_F5	102	104	90	98	101			257	0.0351	117	101	114	98			50	106				90	122	0.0291

Bilaga 3c. Knoppsprickning

Trial	Hybrid aspen, Flushing, (1-6)									Poplar, Flushing, (1-6)													
	Swe_S _Com	Swe_S _New	Swe_N _Old	Swe_N _New	Fi	Latv	Germ	Mean All	Pr>F	Swe_S _Com	Swe_ N_Ne	Swe_ N_OldU	Swe_ N_Old	Swe_ STT_C	Swe_ STT_N1	Swe_ STT_N2	Icel	Be	Ital	EU_ Com	Norw	Mean All	Pr>F
Swe_A1	4.3	4.4			3.8	4.8	5.4	4.4	<0.0001	3.6								3.4	1.5	1.5		3.3	<0.0001
Swe_A2	4.0	3.9			3.3	4.1	4.3	3.9	<0.0001	2.6				2.7	3.0				2.5			2.7	0.3581
Swe_A5	4.6	3.5	5.8	5.4	5.7			5.3	0.0010	5.2	5.7	3.5	5.6			-	5.7				5.9	5.4	0.0284
Swe_F5	5.9	6.0	6.0	5.8	5.8			5.8	0.0748	5.1	5.6	5.7	6.0			5.5	5.8				5.8	5.7	0.0010

Bilaga 3d. Höstbladfärg (%)

Trial	Hybrid aspen, Colouration, %									Poplar, Colouration, %													
	Swe_S _Com	Swe_S _New	Swe_N _Old	Swe_N _New	Fi	Latv	Germ	Mean All	Pr>F	Swe_S _Com	Swe_ N_Ne	Swe_ N_OldU	Swe_ N_Old	Swe_ STT_C	Swe_ STT_N1	Swe_ STT_N2	Icel	Be	Ital	EU_ Com	Norw	Mean All	Pr>F
Swe_A1	72	51			91	67	41	67	<0.0001	60								36	74	53		49	0.0037
Swe_A2	55	48			84	55	38	59	<0.0001	58				77	99				50			71	<0.0001
Swe_A5	28	25	38	53	44			38	<0.0001	73	37	52	48			-	56				54	51	0.1353
Swe_F5	22	14	39	39	36			29	<0.0001	43	55	55	49			70	67				67	57	0.0010

Bilaga 4. Genetiska parametrar för olika egenskaper, lokaler och trädslag där "H²" = heritabilitet, "S.e." = Standard error för heritabilitet, "N_Obs" = Totalt antal observationer, "N_Clone" = Antal kloner, "Mean" = aritmetiskt medelvärde och "CV_G" = Genetisk variationskoefficient i %.

Trial	Hybrid aspen						Poplars					
	N_Obs	N_Clone	Mean	H ²	S.e.	CV _G	N_Obs	N_Clone	Mean	H ²	S.e.	CV _G
Survival (%)												
Den_A1	244	30	93	0.02	0.04		170	21	89	0.08	0.07	
Den_F1	254	30	94	0.06	0.04		146	21	70	0.03	0.05	
Den_F2	252	30	95	0.04	0.04		163	21	90	0.03	0.05	
Swe_A1	706	83	92	0.10	0.03		363	66	69	0.20	0.06	
Swe_F1	703	83	83	0.03	0.03		346	31	11	0.03	0.03	
Swe_F2	698	82	82	0.01	0.02		222	31	76	0.32	0.08	
Swe_A2	697	82	95	0.21	0.05		220	31	52	0.41	0.08	
Swe_A3	641	71	78	-			224	27	76	0.37	0.09	
Swe_F3	623	71	93	0.02	0.02		216	27	83	0.25	0.08	
Swe_F4	599	70	69	0.06	0.03		108	22	33	0.15	0.10	
Swe_A4	608	71	50	0.08	0.04							
Swe_A5	552	71	58	0.23	0.05		395	51	0.19	0.31	0.06	
Swe_F5	572	69	81	0.22	0.06		399	50	0.38	0.16	0.05	
Height (cm)												
Den_A1	229	30	275	0.23	0.07	12.3	151	21	258	0.14	0.08	8.7
Den_F1	240	30	402	0.26	0.07	11.0	102	21	173	-		
Den_F2	239	30	291	0.32	0.08	13.7	146	21	192	0.25	0.09	14.1
Swe_A1	647	83	351	0.26	0.05	16.3	250	66	293	0.28	0.06	14.8
Swe_F1	580	83	282	0.23	0.05	16.5	39	28	104	-		
Swe_F2	569	82	269	0.38	0.05	17.7	167	31	162	0.23	0.09	16.8
Swe_A2	653	82	518	0.20	0.04	11.5	110	31	449	0.26	0.11	13.9
Swe_A3	477	71	270	0.20	0.05	12.9	167	27	261	0.27	0.09	12.4
Swe_F3	579	71	236	0.12	0.04	14.5	179	27	233	0.11	0.06	10.5
Swe_F4	412	70	191	0.31	0.06	21.8	36	22	40	0.25	0.28	20.0
Swe_A4	301	71	221	0.23	0.06	16.3				-		
Swe_A5	322	64	163	0.22	0.07	17.5	74	25	119	0.04	0.21	9.1
Swe_F5	466	63	257	0.28	0.06	17.2	151	37	132	0.00		
Flushing (1-6)												
Swe_A1	531	83	4.35	0.39	0.05	20.1	232	66	3.32	0.77	0.04	23.8
Swe_A2	631	82	3.88	0.72	0.04	14.9	107	31	2.74	0.35	0.12	11.6
Swe_A5	337	64	5.25	0.19	0.08	14.7	85	29	5.49	0.46	0.12	16.8
Swe_F5	468	63	5.84	0.00			201	41	5.75	0.03	0.06	2.7
Colouration (%)												
Swe_A1	611	83	67	0.81	0.03	37.4	235	66	49	0.68	0.05	44.1
Swe_A2	638	82	32	0.72	0.04	66.6	107	31	41	0.83	0.05	67.3
Swe_A5	325	64	46	0.57	0.06	42.0	79	27	55	0.35	0.16	25.5
Swe_F5	468	63	33	0.43	0.06	40.0	177	41	56	0.19	0.09	18.2

Bilaga 5. Genetiska korrelationer (r_G) och dess medelfel (S.e.) mellan tillväxt (height) och två fenologiegenskaper för olika försökslokaler. Fetstilta värden är signifikanta på 5% nivån.

Trial	Hybrid aspen		Poplar	
	r_G	Se	r_G	Se
Height x Flushing				
Swe_A1	0.58	0.11	0.24	0.17
Swe_A2	0.52	0.11	0.37	0.32
Swe_A5	0.67	0.17		
Height x Colouration				
Swe_A1	-0.7	0.08	0.05	0.19
Swe_A2	-0.51	0.12	-0.15	0.28
Swe_A5	-0.46	0.18	-0.11	0.75
Swe_F5	-0.46	0.15		

Bilaga 6. Genetiska korrelationer (r_{GE}) mellan lokaler för olika egenskaper för respektive trädslag. Fetstilta värden är signifikanta på 5% nivån.

Trial 1	Trial 2	Hybrid aspen		Poplar	
		r_{GE}	Se	r_{GE}	Se
Survival					
Swe_A1	Swe_A2	0.47	0.19	0.44	0.34
Swe_A1	Swe_F2			0.99	0.45
Swe_A1	Swe_F3			0.54	0.33
Swe_A1	Swe_A3			0.69	0.25
Swe_A2	Swe_F2			0.50	0.35
Swe_A2	Swe_F3			0.84	0.13
Swe_A2	Swe_A3			0.76	0.14
Swe_F2	Swe_F3			0.80	0.38
Swe_F2	Swe_A3			0.84	0.30
Swe_F3	Swe_A3			0.88	0.12
Swe_A4	Swe_F4	0.70	0.24		
Swe_A5	Swe_F5	0.85	0.12	0.71	0.16
Swe_A5	Swe_A4	0.56	0.22		
Swe_A5	Swe_F4			0.03	0.40
Swe_F5	Swe_A4	0.51	0.23		
Swe_F5	Swe_F4	0.30	0.27	0.55	0.40
Height					
Swe_A1	Swe_F1	0.78	0.09		
Swe_A1	Swe_A2	0.88	0.08	-0.86	0.21
Swe_A1	Swe_F2	0.85	0.07	-0.29	0.37
Swe_A1	Swe_F3	0.77	0.13	0.41	0.40
Swe_A1	Swe_A3	0.98	0.07	-0.54	0.30
Swe_F1	Swe_A2	0.76	0.11		
Swe_F1	Swe_F2	0.80	0.08		
Swe_F1	Swe_F3	0.64	0.16		
Swe_F1	Swe_A3	0.86	0.11		
Swe_A2	Swe_F2	0.75	0.10	0.17	0.34
Swe_A2	Swe_F3	0.62	0.16	0.25	0.39
Swe_A2	Swe_A3	0.86	0.10	0.82	0.21
Swe_F2	Swe_F3	0.75	0.13	0.61	0.33
Swe_F2	Swe_A3	0.81	0.10	0.31	0.29
Swe_F3	Swe_A3	0.67	0.17	0.51	0.31
Swe_A4	Swe_F4	1.00			
Swe_A5	Swe_F5	0.78	0.14		
Swe_A5	Swe_A4	0.85	0.14		
Swe_A5	Swe_F4	0.9	0.10		
Swe_F5	Swe_A4	1.00			
Swe_F5	Swe_F4	0.86	0.12		
Flushing					
Swe_A1	Swe_A2	0.92	0.04	0.96	0.12
Colouration					
Swe_A1	Swe_A2	0.83	0.04	0.86	0.10
Swe_A5	Swe_F5	0.99	0.02	0.25	0.40