



Utilizarea și transferul materialului genetic forestier

în Europa în contextul
schimbărilor climatice



Monika Konnert, Bruno Fady, Dus an Gomory, •
Stuart A'Hara, Frank Wolter, Fulvio Ducei, Jarkko
Koskela, Michele Bozzano,
Tiit Maaten and Jan Kowalczyk

Prezenta publicație este tradusă pe baza materialului EUFORGEN “Use and transfer of forest reproductive material in Europe in the context of climate change”, cu acordul Programului EUFORGEN.

Traducerea este realizată de un grup de specialiști din cadrul Centrului de Genetică și Seminologie Forestieră (CGSF) al Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice (ICAS).

Bioversity International este o organizație globală de cercetare-dezvoltare. Avem o viziune - că biodiversitatea agricolă hrănește oamenii și susține planeta. Oferim dovezi științifice, practici de gestionare și opțiuni de politică pentru utilizarea și protejarea biodiversității agricole și a arborilor pentru a atinge o siguranță globală și nutrițională durabilă la nivel mondial. Colaborăm cu parteneri din țările cu venituri reduse, din diferite regiuni, în care biodiversitatea agricolă și a arborilor poate contribui la îmbunătățirea nutriției, a rezistenței, a productivității și a adaptării la schimbările climatice. Bioversity International este membru al Consorțiului CGIAR - un parteneriat global de cercetare pentru un viitor sigur pentru produsele alimentare.

Programul european de resurse genetice forestiere (EUFORGEN) este un instrument de cooperare internațională care promovează conservarea și utilizarea adecvată a resurselor genetice forestiere în Europa. A fost înființată în 1994 pentru implementarea Rezoluției 2 de la Strasbourg adoptată de prima Conferință ministerială a procesului FOREST EUROPE, care a avut loc în Franța în 1990. EUFORGEN contribuie, de asemenea, la implementarea altor angajamente ale FOREST EUROPE privind resursele genetice forestiere și deciziile relevante ale Convenției privind Diversitatea biologică (CBD). În plus, EUFORGEN contribuie la punerea în aplicare a priorităților strategice la nivel regional ale Planului global de acțiune pentru conservarea, utilizarea durabilă și dezvoltarea resurselor genetice forestiere (GPA-FGR), adoptată de Conferința FAO în 2013. Programul reunește experți din țările membre pentru schimbul de informații și experiență, analiza politicilor și practicilor relevante, dezvoltare strategiilor, instrumentelor și metodelor bazate pe știință, pentru o mai bună gestionare a resurselor genetice forestiere. În plus, EUFORGEN furnizează, după caz, contribuții la evaluările europene și globale și servește drept platformă pentru dezvoltarea și punerea în aplicare a proiectelor. EUFORGEN este finanțat de țările membre, iar activitățile sale se desfășoară în principal prin intermediul grupurilor de lucru și al atelierelor de lucru. Comitetul de coordonare al EUFORGEN este format din Coordonatori naționali desemnați de statele membre. Secretariatul EUFORGEN este găzduit de Bioversity International. Informații suplimentare despre EUFORGEN pot fi găsite la adresa www.euforgen.org.

Desemnările geografice utilizate și prezentarea materialelor în această publicație nu implică exprimarea oricărei opinii din partea Bioversity sau a CGIAR privind statutul juridic al oricărei țări, teritorii, orașe, zone sau a autorităților sale sau privind delimitarea frontierelor, sau a granițelor sale. În mod similar, opiniile exprimate sunt cele ale autorilor și nu reflectă neapărat opiniile acestor organizații.

Menționarea unui nume de proprietate nu reprezintă aprobarea produsului și este indicat doar pentru informare.

Citește: Konnert, M., Fady, B., Gömöry, D., A'Hara, S., Wolter, F., Ducci, F., Koskela, J., Bozzano, M., Maaten, T. Și Kowalczyk, J. Programul European privind resursele genetice forestiere (EUFORGEN). 2015. Utilizarea și transferul materialelor forestiere de reproducere în Europa în contextul schimbărilor climatice. Programul European de resurse genetice forestiere (EUFORGEN), Bioversity International, Roma, Italia. xvi și 75 p.

Fotografii de copertă / imagini: Ewa Hermanowicz (la dreapta) și Fulvio Ducci (la stânga)
Aspect: Ewa Hermanowicz

ISBN 978-92-9255-031-8

Bioversity International
Via dei Tre Denari, 472/a

00057 Maccarese
Roma, Italia

© Bioversity International 2015

AUTORI

Monika Konnert

Bayerisches Amt fuer forstliche Saat- und
Pflanzenzucht (ASP), Teisendorf
Germany

Bruno Fady

Institut national de la recherche
agronomique (INRA) - Ecologie des Forets
Méditerranéennes (URFM), Avignon
France

Dušan Gömöry

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka
fakulta, Zvolen
Slovakia

Stuart A'Hara

Forest Research, Northern Research Station,
Roslin
United Kingdom

Frank Wolter

Administration de la nature et des forets
Diekirch
Luxembourg

Fulvio Ducci

Consiglio per la ricerca in agricoltura e
l'analisi dell'economia agraria, Centro di
Ricerca per la Selvicoltura (CREA-SEL),
Arezzo
Italy

Jarkko Koskela

Bioversity International, Rome
Italy

Michele Bozzano

Bioversity International, Rome
Italy

Tiit Maaten

Eesti Maaülikool, (EMÜ)
Metsandus- ja maaehitusinstituut
Tartu
Estonia

Jan Kowalczyk

Instytut Badawczy Leśnictwa (IBL)
Sękocin Stary
Poland

PREFAȚĂ

Regenerarea pădurilor, fie ea naturală sau artificială, se bazează pe utilizarea resurselor genetice forestiere (adică a materialului genetic al speciilor forestiere, care este folosit în mod real sau potențial pentru oameni). Regenerarea naturală se bazează pe materialul genetic care este deja disponibil pe un anumit teritoriu, în timp ce regenerarea artificială, efectuată prin însămânțare sau plantare, implică de obicei transferul materialului forestier de reproducere (FRM) (adică părțile unui arbore care pot fi utilizate pentru reproducere) din alte teritorii. În Europa, o mare parte din materialul utilizat pentru regenerarea artificială este produs și transferat în cadrul aceleași țări. Cu toate acestea, materialului forestier de reproducere, de obicei sub formă de semințe sau butași, este din ce în ce mai mult comercializat peste frontierele naționale, în special în interiorul Uniunii Europene. Întrucât managerii și proprietarii de păduri încearcă să reducă la minimum costurile pentru înființarea noilor păduri, adesea se fac greșeli în ceea ce privește corespunderea materialului achiziționat cu condițiile de amplasare ecologică pentru asigurarea unui nivel genetic și fiziologic ridicat al calității materialului.

Acest fenomen nu este nimic nou, deoarece materialului forestier de reproducere a fost comercializat în Europa de secole. Cu toate acestea, schimbările climatice vor crește probabil cererea viitoare pentru materialul forestier de reproducere importat, deoarece managerii și proprietarii de păduri încearcă să identifice speciile și proveniențele de arbori care vor putea crește în țara lor, în condiții climatice noi. Potrivit Comitetului interguvernamental privind schimbările climatice (IPCC), temperatura medie globală a suprafeței (temperatura combinată a solului și oceanului) a crescut cu aproape 1°C în perioada 1901-2012.¹ Raportul recent al IPCC concluzionează că este foarte probabil ca temperatura să continue să crească în cursul secolului XXI în diferite părți ale lumii, inclusiv în Europa. În același raport, IPCC prognozează că temperatura din timpul verii (iunie-august) va crește cu 3-4° C în cea mai mare parte a Europei până în 2081-2100 și chiar și până la 4-5 ° C în anumite locuri din regiunea mediteraneeană. Acest lucru va modifica condițiile de mediu la care se adaptează speciile forestiere europene și poate crea chiar condiții climatice noi. Ca urmare, se așteaptă ca unele părți din gama de distribuție a speciilor forestiere să devină necorespunzătoare, în timp ce noi zone sunt probabil adecvate pentru multe specii la latitudini sau altitudini mai mari. Viteza accelerată a schimbărilor climatice a ridicat îngrijorări serioase cu privire la modul în care speciile de arbori pot face față

¹ IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1535 p. doi:10.1017/CBO9781107415324.).

schimbărilor proiectate. În plus, climatul în încălzire va facilita probabil răspândirea dăunătorilor și a bolilor, creând o amenințare suplimentară pentru pădurile și populațiile acestora.

Majoritatea țărilor europene au recomandări sau orientări pentru selectarea speciilor și proveniențelor care pot fi utilizate într-un anumit sit sau zonă. Cu toate acestea, prezentele recomandări se bazează în cea mai mare parte pe condițiile climatice prezente sau trecute. Prin urmare, acestea oferă consultanță limitată pentru selectarea FRM astfel încât generațiile următoare de arbori să prospere până la sfârșitul perioadelor de rotație în condiții climatice destul de diferite față de prezent. Din ce în ce mai multe FRM sunt tranzacționate la nivel transfrontalier, dar liniile directoare naționale oferă rareori ajutor pentru a decide unde trebuie folosit materialul importat. Soluțiile pentru aceste probleme și provocări au fost explorate prin intermediul instrumentelor europene de colaborare în domeniul resurselor genetice forestiere. Au fost testate diferite proiecte europene de fezabilitate a armonizării regiunilor naționale de proveniență de pe întreg continentul și au fost reevaluate studiile de proveniență existente, pentru a anticipa modul în care schimbările climatice vor afecta creșterea pădurilor și modul în care vor funcționa speciile și proveniențele individuale în condiții climatice în schimbare. Din păcate, multe dintre noile informații generate de aceste eforturi sunt discutate și dezbătute numai de către oamenii de știință, în timp ce proprietarii de păduri, managerii și factorii de decizie de multe ori rămân neinformați privind potențialul pe care îl oferă utilizarea resurselor genetice forestiere pentru a facilita adaptarea pădurilor la schimbarea climei.

În decursul ultimului deceniu, Programul european privind resursele genetice forestiere (EUFORGEN) și-a intensificat eforturile de promovare a conservării și durabilității în utilizarea resurselor genetice care pot fi adaptate la schimbările climatice și pentru a l-e facilita dialogul dintre oamenii de știință, proprietarii de păduri, manageri și factorii de decizie în acest domeniu. EUFORGEN a fost înființată în 1994 pentru a coordona colaborarea pan-europeană a resurselor genetice forestiere, ca parte a conferințelor ministeriale privind protecția pădurilor din Europa (denumit acum procesul FOREST EUROPE). În timpul fazei a IV-a (2010-2014), EUFORGEN a avut trei obiective: (1) să promoveze utilizarea adecvată a resurselor genetice forestiere ca parte a gestionării durabile a pădurilor în contextul schimbărilor climatice; (2) să dezvolte și să promoveze strategii paneuropene de conservare genetică și să îmbunătățească liniile directoare pentru gestionarea unităților de conservare genetică și a zonelor protejate; și (3) să colaboreze, să mențină și să difuzeze informații fiabile (de încredere) privind resursele genetice forestiere din Europa.

Acest raport prezintă concluziile și recomandările grupului de lucru a activității EUFORGEN pe FRM. Raportul prezintă abordări posibile pentru utilizarea și transferul FRM în contextul schimbărilor climatice și identifică factorii critici; Nu încearcă să furnizeze instrucțiuni

la nivel din domeniul utilizării și transferului materialului. Grupul de lucru a organizat două întâlniri, prima fiind găzduită de Bioversity International în Maccarese, Italia, 28-30 martie 2012, iar cea de-a doua, de către Bavarian Office for Seeding and Planting Forest (ASP) din Freising, Germania, 4-6 iulie 2012. Comitetul director al EUFORGEN a discutat un proiect anterior al acestui raport în cadrul celei de-a opta reuniuni, care a avut loc la Paris, Franța, în perioada 27-29 noiembrie 2012. Proiectul de raport actualizat a fost apoi prezentat unui grup mai larg de experți pentru discuții ulterioare la atelierul EUFORGEN pe tema FRM care a fost organizat la Kostryca, Polonia, în perioada 1-3 octombrie 2013. După atelier, grupul de lucru a inclus comentariile primite în revista revizuită și a prezentat-o spre aprobare Comitetului director în cadrul celei de-a 9-a ședință, care a avut loc la Tallinn, Estonia, în perioada 3-5 decembrie 2013. Comitetul de coordonare a aprobat proiectul de raport, cu condiția unor comentarii suplimentare minore și a solicitat grupului de lucru să finalizeze raportul pentru publicare. Membrii grupului de lucru recunosc cu satisfacție contribuțiile și comentariile primite de la toți experții naționali care au contribuit la pregătirea acestui raport.

CUPPRINS

AUTORI	5
PREFAȚĂ	6
Prescurtări utilizate în text	10
Rezumat	11
Introducere	14
SCHIMBĂRILE CLIMATICE ȘI UTILIZAREA MATERIALULUI FORESTIER DE REPRODUCERE	18
Impactul proceselor naturale și al factorilor biologici asupra variabilității genetice	18
Identificarea factorilor critici pentru persistența schimbărilor climatice	20
Ce este "local" și este materialul reproductiv forestier local întotdeauna cel mai bun?	24
Provocările utilizării materialului forestier apt pentru reproducere în contextul schimbărilor climatice	24
CADRUL LEGAL ȘI POLITIC	27
Directiva 1999/105 / EC a Consiliului Europei	27
Schema de plantare și semințe forestiere OECD	27
Legislația națională privind materialul forestier de reproducere - asemănări și deosebiri	28
EVOLUȚII RECENTE ÎN CADRUL POLITIC ȘI JURIDIC	32
Noi sisteme de trasabilitate și certificare pentru materialul forestier de reproducere prin intermediul unor markeri genetici	32
Protocolul de la Nagoya privind accesul și împărțirea beneficiilor	33
ORIENTĂRI ȘI RECOMANDĂRI ACTUALE REFERITOARE LA MATERIALUL FORESTIER DE REPRODUCERE	35
Recomandări adoptate de FOREST EUROPE	35
Activități regionale - exemplul Silva Mediterranea	36
Recomandări naționale de proveniență și instrumente de sprijin	37
Considerații științifice și practice privind alegerea proveniențelor în contextul schimbărilor climatice	41
Abordări alternative pentru delimitarea regiunilor de proveniență și recomandările privind transferul de semințe în contextul schimbărilor climatice	42
ARGUMENTAREA ȘTIINȚIFICĂ PENTRU TRANSFERUL MATERIALELOR FORESTIERE DE REPRODUCERE ORIENTĂRI GENERALE	45
Aspectele metodologice ale transferului de material forestier de reproducere pe baza cercetărilor de proveniență	45
Studii de caz și recomandări pentru transfer la speciile selectate	48
PROVOCĂRI ȘI OPORTUNITĂȚI	60
Potențialul de creștere a arborilor pentru a satisface nevoile de conservare și provocările legate de schimbările climatice	60
Reproducerea asistată de marker și abordări genomice	64
Markeri moleculari pentru caracterizarea genetică a materialului reproductiv forestier	66
Progrese în fenotipuri și fenomene	68
RECOMANDĂRI	70
BIBLIOGRAFIE	74

Prescurtări utilizate în text

ABS	Access and Benefit Sharing / Accesul și partajarea beneficiilor
COST	European Cooperation in Science and Technology / Cooperarea europeană în domeniul științei și tehnologiei
EST	expressed sequence tag / Tag-ul de secvență exprimat
EUFORGEN	European Forest Genetic Resources Programme / Programul European de resurse genetice forestiere
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations / Organizația Națiunilor Unite pentru Alimentație și Agricultură
FGR	forest genetic resources / resurse genetice forestiere
FRM	forest reproductive material / material forestier de reproducere
G×E	genotype-by-environment / genotip-de-mediul
GBV	genomic estimated breeding values / Valorile estimate ale reproducerii genomice
GIS	geographical information system / system informational geografic
GWAS	genome-wide association studies / Genom-la nivel de asociere studii
INC	Intergovernmental Negotiating Committee / Comitetul interguvernamental de negociere
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Comisia interguvernamentală pentru schimbările climatice
IUFRO	International Union of Forest Research Organizations / Uniunea Internațională a Organizațiilor de Cercetare a Pădurilor
masl	metres above sea level – metri deasupra nivelului mării
MAT	mutually agreed terms / Termeni conveniți de comun acord
MPBS	Multiple Population Breeding System / Sistemul multiplu de creștere a populației
NGS	next-generation sequencing / Urmatoarea generație de secvențiere
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development / Organizația pentru Cooperare și Dezvoltare Economică
PIC	Prior Informed Consent / Consimțământul prealabil în cunoștință de cauză
RAD	restriction-site-associated DNA [marker] / ADN-ul asociat site-ului de restricție [marker]
QTL	Quantitative Trait Locus / Trasabilitatea cantitativă a locului
SNP	Single Nucleotide Polymorphism Polimorfismul nucleotid unic

Rezumat

Regenerarea pădurilor poate fi naturală sau artificială. Ambele depind de resursele genetice ale pădurilor, dar în timp ce regenerarea naturală se bazează pe ceea ce este deja disponibil într-un anumit sit, regenerarea artificială face adesea transferul deliberat, din alte părți a materialului forestier de reproducere (FRM). Acest material poate fi sub formă de semințe, răsaduri sau butași. Selecția adecvată a FRM, a dobândit o nouă importanță atât pentru că arborii sunt specii longevive, dar și pentru că schimbările climatice rapide vor avea un impact asupra condițiilor de mediu ale arborilor în timp ce cresc și se maturizează. Importanța FRM pentru silvicultură și comerțul transfrontalier cu FRM a fost conștientizată în mai multe țări europene, exercitând un anumit control asupra surselor de FRM și selecției acestora. Schimbările climatice reprezintă unul dintre motivele pentru care țările trebuie să-și reevalueze și să modifice cadrul politic și orientările privind utilizarea FRM. O provocare practică suplimentară importantă este aceea că, până la un nivel fără precedent, administratorii de păduri trebuie să ia în considerare climatul, pe care o nouă generație de arbori ar putea să-l aibă în viitor, pentru a selecta materialul care se va dezvolta acum, în condițiile actuale și, de asemenea, evoluția climatului prognozat. În plus, mulți proprietari de păduri consideră FRM ca un cost care trebuie minimizat, mai degrabă decât ca o investiție pentru care ar trebui să caute un randament mai bun.

În acest context, un grup de lucru în cadrul EUFORGEN a fost însărcinat să raporteze cu privire la utilizarea și transferul FRM pentru a răspunde provocărilor legate de schimbările climatice. Grupul de lucru a examinat cercetarea științifică privind proveniența și adaptarea, inclusiv mai multe studii de caz privind transferul, cadrul de reglementare existent și evoluțiile recente ale politicilor, orientările privind transferul FRM și baza lor științifică, precum și provocările și oportunitățile viitoare.

Grupul a concluzionat că:

- Transferul FRM este o opțiune valoroasă pentru adaptarea pădurilor la schimbările climatice, deși pot exista limite la transferul FRM.
- Probele locale nu pot fi întotdeauna cea mai bună sursă de FRM.
- Înainte de a examina schimbarea speciilor de arbori, managerii de pădure ar trebui să ia în considerare implementarea altor proveniențe bine testate ale speciilor existente de arbori. La nivel European, recomandările privind transferul FRM trebuie revizuite și armonizate și, în același timp, toate etapele de producție și comercializare ar trebui controlate mai riguros.
- Exploatarea arborilor oferă, de asemenea, oportunități de a ajuta pădurile și gestionarea pădurilor să se adapteze la schimbările climatice.

- Documentația îmbunătățită este esențială pentru a se asigura că utilizarea de astăzi a FRM poate informa alegerile de mâine, la fel cum eforturile anterioare au ajutat să ghideze recomandările de astăzi.
- Cercetările de bază privind adaptarea populațiilor de arbori forestieri, împreună cu cercetarea provenienței, ar trebui să continue și să fie consolidată, iar rezultatele să fie diseminate în forme pe care proprietarii de păduri, managerii și factorii de decizie politică să le poată folosi.

Proveniența, adaptarea și corespunderea

Termenul "proveniență" se referă la sursa FRM, iar la materialul cunoscut proveniența a fost o caracteristică a regenerării pădurilor timp de mai multe decenii. Grupul de lucru a luat în considerare utilizările istorice și actuale ale FRM de proveniență cunoscută, inclusiv utilizarea studiilor de proveniență, pentru a furniza informații suplimentare. Studiile de proveniență, în care materialul de proveniență diferită este plantat într-un singur loc (studii comune ale plantărilor), sau în diferite locații, care acoperă o serie de condiții de mediu, au contribuit la descoperirea variațiilor genetice între proveniențe, precum și diferențele dintre plasticitatea proveniențelor și răspunsuri fenotipice la condițiile fluctuante de mediu. O concluzie esențială este că proveniențele locale sunt deseori depășite de alte proveniențe pentru multe trăsături.

La speciile longevive, cum ar fi arborii, populațiile au fost experimentate prin selecție naturală, eventual pe mai multe generații, pe un anumit sit. Cu toate acestea, populația inițială la care a acționat selecția naturală, a constatat doar din puieții prezenți la începerea selecției. Este posibil ca acestea să nu aibă diversitate genetică sau plasticitate fenotipică pentru a garanta performanțe bune în condițiile schimbării climatice. O populație diferită de la o distanță mai îndepărtată, care s-ar fi confruntat cu selecția în condiții mai asemănătoare decât cele prognozate pentru refacerea sitului, ar putea reprezenta o sursă de semințe mai potrivită. Instrumentele moleculare moderne și alte abordări analitice oferă noi metode științifice pentru evaluarea corespunderii diferitelor proveniențe pentru diferite site-uri, pe lângă susținerea unei înțelegeri mai profunde a adaptării. Cercetarea poate, de asemenea, aprofunda înțelegerea interacțiunii puternice GxE (interacțiunea dintre performanța genotipului și condițiile de mediu) care operează pe multe specii forestiere. Cea mai bună proveniență pe un sit este puțin probabil să fie cea mai bună pe un alt sit.

În mod științific regenerarea speciilor de arbori, ca toate formele de selecție, are ca rezultat, în mod inevitabil pierderea diversității genetice. Cu toate acestea, eforturile intense de creștere a arborilor sunt utile în îmbunătățirea FRM, cu condiția să se acorde atenție trăsăturilor care vor fi cele mai importante în viitor în cadrul diferitelor regimuri climatice. Rezistența la secetă și stabilitatea fenotipică (adică capacitatea de a menține productivitatea superioară pe o

serie de situri) ar putea fi ținte utile pentru reproducere, care vor fi ajutate de tehnici moleculare, cum ar fi reproducerea asistată de marker, fenotipuri cu randament mare și altele.

Legea și politica

Directiva 1999/105 / EC a Consiliului Europei oferă temeiul juridic pentru reglementarea producției și comercializarea FRM în cadrul Comunității Europene, iar toate statele membre au adoptat legislația națională pentru a îndeplini obiectivele directivei. Grupul de lucru a examinat detaliile directivei și ale legislației naționale, împreună cu alte seturi de standarde, și subliniază că niciunul dintre acestea nu ține cont în prezent de schimbările climatice. Raportul identifică oportunități de modificare a unor aspecte ale reglementării, de exemplu utilizarea instrumentelor genetice moderne pentru controlul provenienței. Un mod fructuos ar putea fi extinderea controlului de la producția și comercializarea FRM la utilizarea sa, eventual sub forma unor instrumente de sprijinire a deciziilor, pentru a ajuta managerii de pădure să aleagă cea mai bună sursă de FRM.

În perspectivă, Comisia Europeană revizuieste în prezent controlul asupra materialului reproducător al plantelor. Această revizuire va duce mai degrabă la un regulament, decât la o directive în armonizarea abordărilor pan-europene. Implicațiile Protocolului de la Nagoya privind schimbul de resurse genetice forestiere în scopuri de cercetare și dezvoltare rămân neclare. Protocolul de la Nagoya poate împiedica principal eforturile de cercetare și dezvoltare, de exemplu prin creșterea costurilor de tranzacție.

Un cadru politic adecvat adaptat ar putea face mult pentru a îmbunătăți perspectivele de transfer al FRM ca răspuns la schimbările climatice. Cu toate acestea, pentru a se asigura că acest cadru politic poate fi pus în aplicare, vor fi necesare cercetări suplimentare, împreună cu furnizarea rezultatelor cercetării în formă utilizabilă.

Introducere

Utilizarea și transferul materialului forestier de reproducere (FRM) (adică semințe, butași sau puieți) au o istorie lungă în Europa. Milenii în urmă, vechii greci și romani au cultivat castan (*Castanea sativa*) și pin (*Pinus pinea*) în principal pentru producția de alimente, și, de asemenea, au comercializat semințele lor în regiunea mediteraneeană (Conedera et al., 2004; Vendramin et Al., 2008). În secolul al XVIII-lea au fost comercializate și transferate pe scară largă în scopuri forestiere în țările europene semințe de mai mulți arbori forestieri, cum ar fi (*Pinus sylvestris*), în Norvegia molid (*Picea abies*), Laricele european (*Larix decidua*) și stejarul (*Quercus spp.*) (Tulstrup, 1959). Testarea în teren a speciilor de arbori și a diferitelor surse de semințe, inclusiv mai multe specii de arbori introduse din America de Nord, au început cu peste două sute de ani în urmă (vezi König, 2005, pentru o revizuire ce cuprinde cercetări de proveniență în Europa). Aceste eforturi de testare timpurie au relevat faptul că originea semințelor a avut o influență majoră asupra succesului eforturilor de plantare a arborilor. Acesta este considerat punctul de plecare pentru cercetarea de proveniență modernă, care ne-a sporit înțelegerea noastră cu privire la efectele climatului, condițiile site-ului și resurse genetice pentru creșterea arborilor (König, 2005).

Pe parcursul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, transferul internațional de semințe a continuat în cantități mari în multe părți ale Europei. Cererea de semințe a fost ridicată, deoarece multe țări au început să-și regenereze artificial pădurile supra exploatate. În ciuda faptului că importanța utilizării surselor adecvate de semințe a fost demonstrată de experiențele practice și de studiile științifice timpurii, multe eforturi de reîmpădurire par să fi acordat puțină atenție acestui aspect. Documentele istorice indică faptul că eforturile de reîmpădurire nu au fost întotdeauna de succes și că mai multe țări au încercat să limiteze utilizarea surselor de semințe străine sau necunoscute.

La începutul secolului XX, s-au inițiat eforturi mai sistematice de evaluare pentru mai multe specii de arbori din Europa (vezi König, 2005). Primul proces de proveniență internațională pentru pinii scoțieni a fost înființat în 1907 sub auspiciile Uniunii Internaționale a Organizațiilor de Cercetări în Domeniul Pădurilor (IUFRO). Aceasta a fost urmată de stabilirea unei a doua serii de studii IUFRO pentru pinii scoțieni în anii 1938-1939, iar apoi a treia serie în 1982. În cadrul colaborării IUFRO, a fost stabilit și un studiu internațional de proveniență pentru molidul norvegian în 1938. Mai târziu, multe țări au stabilit studii suplimentare de proveniență pentru aceste și alte câteva specii de arbori nativi, cum ar fi bradul argintiu (*Abies alba*), brazil mediteraneeni (*Abies spp.*), zada europeană (*Larix decidua*), gorunul (*Quercus petraea*) stejarul pedunculat (*Q. robur*), precum și specii de arbori introduse (de exemplu, brad mare (*Abies grandis*), molid (*Picea sitchensis*) și duglas (*Pseudotsuga menziesii*)). Ulterior, mai multe țări

europene au lansat programe de creștere pentru multe dintre aceste specii de arbori în anii 1950 și 1960.

În anii 1990, când schimbările climatice au început să ridice preocupări, studiile de proveniență au fost redescoperite deoarece oferă date empirice disponibile pentru studierea impactului schimbărilor climatice asupra creșterii arborilor în condiții de teren (de exemplu, Mátyás, 1996). Deși pădurile europene sunt gestionate relativ bine, schimbările climatice sunt considerate o amenințare suplimentară, în special pentru multe specii de arbori izolați și populații marginale, chiar și pentru speciile comune și cele mai răspândite. Populațiile de arbori au trei opțiuni pentru a evita dispariția în cazul schimbării climei: (1) persistența locală, utilizând flexibilitatea inerentă (sau "plasticitatea fenotipică") într-o gamă largă de condiții de mediu; (2) persistența locală prin reproducere și adaptarea genetică crescută la noile condiții; și (3) supraviețuirea prin migrație (Aitken et al., 2008). Studiile de proveniență au arătat că arborii prezintă diferite condiții fenotipice de mediu (de exemplu Rehfeldt, Wykoff și Ying, 2001; Rehfeldt et al., 2002), iar gradul de plasticitate variază între populații și specii (Aitken et al. Skrøppaand Kohlmann, 1997). Schimbările climatice pot favoriza genotipurile cu niveluri ridicate de plasticitate, în timp ce plasticitatea scăzută poate duce la dispariție (Rehfeldt, Wykoff și Ying, 2001). Cu toate acestea, capacitatea de tamponare oferită de plasticitatea fenotipică este limitată (de exemplu, Mátyás, 2007). Mai mult, viteza migrației naturale a arborilor forestieri este considerabil mai lentă decât ritmul schimbărilor climatice (Jump, Mátyás și Penuelas, 2009), astfel încât și potențialul lor de migrație este limitat.

În trecut, condițiile de mediu au determinat în mare parte selectarea FRM pentru a fi utilizat într-un anumit sit. Schimbările climatice fac ca acest lucru să fie mai dificil, deoarece proprietarii de păduri și managerii vor trebui să ia în considerare tipul de climă pe care noua generație de arbori ar putea să o aibă în următorii 50-100 de ani și să încerce să selecteze material care nu numai că ar putea să prospere în climatul prezent, da și să reziste modificărilor prognozate ale condițiilor climatice. Din păcate, mulți proprietari și administratori de păduri nu acordă suficientă atenție acestui lucru. În plus, ele rareori iau în considerare selecția și achiziționarea FRM ca o investiție, ci mai degrabă ca un cost care ar trebui minimizat.

Utilizarea și transferul FRM în contextul schimbărilor climatice a fost unul dintre subiectele discutate în cadrul unui atelier FOREST EUROPE organizat de EUFORGEN și IUFRO în 2006 (vezi Koskela, Buck și Teissier du Cros, 2007). Atelierul de lucru a menționat că impactul schimbărilor climatice asupra pădurilor va varia în diferite părți ale Europei, generând atât oportunități, cât și amenințări. Acesta a subliniat faptul că resursele genetice forestiere joacă un rol-cheie în menținerea rezistenței pădurilor la amenințările schimbărilor climatice și la valorificarea oportunităților oferite. În plus, atelierul de lucru a recomandat elaborarea unor

orientări pan-europene privind transferul FRM pe baza celor mai recente cunoștințe științifice, menținerea productivității pădurilor europene și pentru a facilita adaptarea pădurilor la schimbările climatice.

Între 2005 și 2009, rețeaua de gestionare forestieră EUFORGEN s-a axat, de asemenea, pe probleme legate de utilizarea FRM. Experții care au participat la această rețea au realizat două anchete în perioada 2006-2007: una privind politicile și practicile relevante legate de resursele genetice și gestionarea pădurilor, iar alta privind instrumentele și mecanismele de promovare a utilizării FRM de înaltă calitate. Sondajele au constatat că multe țări promovează eforturile de plantare a arborilor prin instrumente juridice și politice. Cu toate acestea, mai multe țări promovează în mare măsură utilizarea proveniențelor locale, iar unele țări au interzis chiar utilizarea de proveniențe non-locale sau introducerea speciilor noi de arbori. În plus, unele țări au cerințe specifice de proveniență, ca parte a schemelor de finanțare care sprijină în eforturile de plantare a arborilor.

Rețeaua de administrare a pădurilor a constatat că partea de producție (sursele de semințe și aprovizionarea cu semințe) funcționează destul de bine în țările europene, în timp ce există unele probleme cu informațiile. Oamenii de știință și profesioniștii din domeniul forestier au o multitudine de informații, care nu sunt întotdeauna ușor accesibile sau disponibile pentru proprietarii de păduri și cei care sunt contractați să planteze puieti. Când informațiile sunt disponibile, acestea sunt uneori neglijate de proprietarii de păduri și de plantațiile de arbori. Rețeaua de administrare a concluzionat că pe partea de utilizare, cele mai importante probleme, ca lipsa de cunoștințe, forțele pieței și mecanismele comerciale, care deseori lucrează împotriva utilizării FRM de înaltă calitate (atât în ceea ce privește calitatea genetică cât și fiziologică). De asemenea, rețeaua a constatat că, atunci când materialul de calitate scăzută a fost utilizat sau când materialul nu a fost bine adaptat la condițiile de amplasare, a durat de obicei 5 până la 10 ani pentru soluționarea problemelor (de exemplu, daunele provocate de îngheț, vigoarea scăzută, susceptibilitatea la dăunători, zăpadă etc.) pentru a deveni vizibile rezultatele. Cu toate acestea, în unele cazuri, aceste probleme au apărut numai după mai bine de 30 de ani.

În 2010, Comitetul de coordonare al EUFORGEN, format din reprezentanți ai tuturor țărilor membre, a decis să înființeze un grup de lucru pentru a examina cele mai recente informații disponibile cu privire la utilizarea și transferul FRM în contextul schimbărilor climatice și să facă recomandări pentru acțiunile ulterioare la nivel pan-european. Mai exact, Comitetul director a solicitat grupului de lucru:

- Revederea activității existente a rețelelor EUFORGEN și a proiectelor europene relevante.
- Sintetizarea liniilor directoare existente (naționale).
- Selectarea speciilor model (utilizate pe scară largă).

- Identificarea factorilor critici legați de schimbările climatice și nevoile viitoare asociate cu transferul FRM.
- Rezumarea lecțiilor din studiile de proveniență pentru transferul de semințe.
- Analizarea dacă trebuie adăugate informații relevante în documentele de însoțire, astfel cum sunt specificate în Directiva CE și în alte sisteme relevante care acoperă circulația FRM.
- Compilarea unei liste a modelelor și instrumentelor existente care pot fi utilizate pentru planificarea viitoare a gestionării pădurilor și transferul FRM.
- Enumerarea problemelor legate de contextul schimbărilor climatice.
- Pregătirea unui proiect de raport (inclusiv recomandări).

Acest raport prezintă în detaliu constatările și recomandările grupului de lucru.

SCHIMBĂRILE CLIMATICE ȘI UTILIZAREA MATERIALULUI FORESTIER DE REPRODUCERE

Diversitatea genetică este baza evoluției. Selecția, fluxul de gene derivă împreună și formează motorul evoluției, procesele prin care diversitatea genetică poate fi modificată atunci când condițiile de mediu se schimbă. Fără diversitatea genetică, adaptarea la noile condiții de mediu este aproape imposibilă. Datorită schimbărilor climatice, condițiile locale vor fi modificate grav în întreaga gamă de distribuție a speciilor până la sfârșitul secolului al XXI-lea. Alegerea unui FRM potrivit este o provocare pentru silvicultură atunci când condițiile medii și critice de mediu se schimbă rapid.

Impactul proceselor naturale și al factorilor biologici asupra variabilității genetice

Coresponderea FRM la un anumit sit este judecată după capacitatea sa de a supraviețui, de a crește și de a se reproduce în acea locație. Această abilitate derivă din modul în care se exprimă genele și combinațiile de gene în locația respectivă, adică ce trăsături fenotipice vor apărea sub acțiunea factorilor biotici și ecologici critici în acel loc și dacă aceste trăsături pot fi modificate atunci când condițiile de mediu se schimbă (adică plasticitatea fenotipică). Diversitatea genetică este termenul folosit pentru a descrie diferențele din secvența ADN între indivizi (sau grupuri de indivizi), altele decât variațiile cauzate de influențele mediului. Compoziția genetică unică a unui individ (genotipul său) își va determina performanța (fenotipul) într-un anumit loc. Implementarea cu succes a FRM poate fi realizată, acum și în viitor, prin evaluarea variațiilor genetice și a înțelegerii modului în care acestea sunt structurate la niveluri individuale, de populație și de specie.

Variabilitatea genetică pot fi clasificată în două tipuri: neutră și adaptivă. Variația neutră rezultă din diferențele de secvență a ADN în rândul indivizilor care nu afectează în mod direct capacitatea lor de a supraviețui și de a se reproduce. Variabilitatea adaptivă rezultă din diferențele de secvență ADN care afectează aptitudinea generală a unui individ și astfel pot fi selectate pentru sau împotriva unui anumit habitat. Mai multe procese esențiale afectează variabilitatea genetică cum ar fi: mutația, migrația, fluxul genetic și selecția naturală (Caseta 1). O parte din variabilitățile fenotipice ereditare observate nu rezultă din modificările secvenței ADN, ci mai degrabă din modificările expresiei genice declanșate de condițiile particulare de mediu în timpul etapelor esențiale de viață. Această variabilitate potențială reversibilă este menționată ca fiind "epigenetică". Modificările epigenetice sunt în general induse de stimuli de mediu; în acest fel, un arbore poate "aminti" mediul în care este expus și transmite aceste

informații descendenților săi. Există dovezi pentru astfel de efecte de memorie și natura lor epigenetică pentru fenologia coniferelor (Johnsen et al., 2005; Skrøppa et al., 2009), dar astfel de fenomene pot fi mult mai răspândite și se aplică altor trăsături specifice conexe. Atât variabilitatea genetică cât și cea epigenetică influențează modul în care arborii supraviețuiesc, cresc și se reproduc într-o anumită locație. Mărimea acestei variabilități poate fi măsurată utilizând studii de culturi comparative și markeri moleculari. Studiile de culturi comparative, cunoscute și sub numele de experimente de transplantare, adică teste de teren care compară materialul genetic de origine geografică de diferită (proveniență) sau genealogică (descendentă) într-un mediu comun, au o istorie lungă în silvicultură. Ele au fost utilizate pentru evaluarea variabilității adaptive și selectarea materialului pentru reproducere. Până de curând, tehnicile moleculare furnizau informații despre variabilitatea neutră (derivată și fluxul de gene) și modelele de împerechere în populațiile naturale și în plantațiile de semințe. Progresele recente ale tehnicilor moleculare încep să permită realizarea unor legături între trăsăturile adaptative și variabilitățile moleculare și descifrarea bazei genetice și moleculare a adaptabilității arborilor forestieri.

Caseta 1. Procesele majore care afectează diversitatea genetică în cadrul și între populațiile de arbori

Mutația este un eveniment rar întâlnit care acționează asupra ADN-ului pentru a crea noi variabilități genetice în cadrul unei specii. Este un eveniment aleatoriu care poate altera atât variabilitatea genetică neutră, cât și cea adaptivă. Mutațiile la genele adaptive pot conferi un avantaj selectiv sau, mai frecvent, un dezavantaj, pentru individ sau nu au nici un efect.

Fluxul de gene și migrația fluxului de gene - migrarea de variante genetice prin dispersare naturală de semințe, polen sau părți vegetative - acționează pentru a omogeniza atât variabilitatea neutră și cea adaptivă între populațiile de arbori. Această conectivitate poate crește capacitatea unei păduri date de a răspunde presiunilor de selecție în schimbare, oferind o intrare regulată a materialului genetic din arbori adaptat la diferite condiții ecologice. Cu toate acestea, fluxul de gene poate fi, de asemenea, adaptat defectuos, în special față de gama și marjele de adaptare în zonele marginale ecologice, deoarece materialul care ajunge într-o locație nouă poate proveni dintr-un habitat cu condiții ecologice foarte diferite.

Selecția naturală este orice factor care împiedică sau reduce reproducerea anumitor indivizi într-o populație și reprezintă o presiune de selecție. Deoarece mortalitatea este adesea cea mai mare atunci când arborii se află la stadiul de puieți sau de plantule, acesta este momentul

în care selecția naturală ar putea avea cea mai mare influență, cel puțin pentru anumite trăsături. Selecția naturală acționează asupra trăsăturilor fenotipice, deci asupra variabilității adaptative, dar poate fi observată și indirect în variabilitatea neutră dacă selecția a cauzat blocaje demografice.

Migrația este reducerea aleatorie a variabilităților genetice într-o populație de dimensiuni limitate. Migrația genetică afectează în cea mai mare parte diversitatea genetică neutră. Se mărește atunci când dimensiunea populației scade și efectele sale sunt cele mai mari în cadrul populațiilor izolate mici, de obicei în anumite marje ecologice și la anumite intervale de timp.

Identificarea factorilor critici pentru persistența schimbărilor climatice

Trăsăturile perioadei de viață, cum ar fi durata fazelor juvenile și adulte, timpul și intensitatea creșterii, debutul îmbătrânirii sau secvența temporală a evenimentelor și proceselor, cum ar fi reproducerea, depozitarea nutrienților, dispersarea semințelor, anumite caracteristici fiziologice sau morfologice, capacitatea de germinare) sunt trăsături ale speciilor, populațiilor sau indivizilor care sunt modelate prin interacțiunea factorilor biotici și abiotici. Ele sunt asociate cu variabilitatea fertilității și a supraviețuirii pe tot parcursul vieții și, prin urmare, au implicații evolutive. Trăsăturile perioadei de viață sunt supuse unor compromisuri complexe care au fost modelate la etape de evoluție îndelungate și constituie strategii evolutive în medii mai stabile. Deși o parte din periodicitatea anuală este intern reglementată ontogenetic și continuă aproape indiferent de semnalele externe, condițiile climatice joacă un rol esențial în reglarea temporală a creșterii și reproducerii. Timpul proceselor biologice în plante rezultă din compromisuri evolutive între nevoile conflictuale. În cazul fenologiei vegetative (înmugurirea stoparea creșterii, înghețuri puternice etc.), de exemplu, este adaptarea în principal între lungimea sezonului de creștere și riscul pagubelor produse de îngheț (Gömöry and Paule, 2011; Leinonen și Hänninen, 2002). În condițiile schimbării climatice rapide, aceste strategii și adaptările sunt grav periclitate (Pigliucci și Marlow, 2001; Roff, 2000).

Schimbările climatice pot împinge speciile dincolo de limitele nișelor ecologice și, astfel, conduc populațiile de arbori la dispariția locală. În mod alternativ, fenomenele meteorologice extreme sau schimbările climatice anuale pot perturba semnalele climatice primite de la plante și, în consecință, pot întrerupe strategiile de adaptare. Dispariția populațiilor locale este consecința ulterioară a acestor procese și, chiar și atunci când populațiile de arbori reușesc să persiste (de exemplu prin procese cum ar fi plasticitatea fenotipică și adaptarea genetică), pierderile de productivitate reprezintă o preocupare serioasă pentru exploatarea forestieră practică. În plus, dacă schimbările climatice influențează negativ procesele de reproducere, pot pune în pericol și

persistența populațiilor de arbori. Diminuarea și adaptarea la schimbările climatice printr-o alegere adecvată a FRM necesită existența unor variabilități genetice în ceea ce privește rezistența sau toleranța față de factorii nocivi asociați cu schimbările climatice. Mai mulți factori abiotici și trăsături ale perioadei de viață sunt esențiale pentru FRM european în contextul schimbărilor climatice.

Dintre factorii critici abiotici, stresul la secetă este, în general, considerat a fi principala problemă. Majoritatea scenariilor climatice prevăd creșterea temperaturilor și perioadele prelungite de secetă, ceea ce a dus la o creștere a continentalismului în mare parte din Europa (IPCC, 2007, 2014). Temperaturile ridicate, în combinație cu stresul față de apă, perturbă procesele fiziologice, cum ar fi absorbția nutrienților sau fotosinteza (Saxe et al., 2001). Efectele fiziologice ale unei singure secete severe pot dura nu doar un sezon de vegetație, ci pot persista pe parcursul mai multor ani (Jonard et al., 2012). În plus față de scăderea creșterii arborilor (Cailleret și Davi, 2011), reproducerea poate fi, de asemenea, amenințată de secete periodice. Secetele periodice de vară pot diminua recoltarea semințelor și puieților multor specii de arbori (de exemplu, Perez-Ramos et al., 2010, Silva și colab., 2012). Plantele reacționează la stresul de secetă printr-o varietate de mecanisme, fiziologice și structurale ereditare cum ar fi schimbarea morfologiei sau anatomiei organelor asimilative sau a sistemelor radiculare (Ahuja et al., 2010, Kozłowski și Pallardy, 2002, Newton și colab., 1991). În cele din urmă, stresul provocat de secetă poate duce la devitalizarea (ofilirea) arborilor adulți și la moartea acestora. Condițiile xeroterme (când temperaturile ridicate se combină cu seceta intensă) pot fi accentuate în Marea Mediterană, unde verile sunt deja uscate și variabilitatea anuală a precipitațiilor este mare (Scarascia-Mugnozza et al., 2000). Regiunea mediteraneeană a Europei de sud este de așteptat să piardă aproape un sfert din speciile de plante până în anul 2100 (EEA, 2007; Thomas et al., 2004; Bakkenes, Eickhout și Alkemade, 2006).

Creșterea perioadelor de secetă și a condițiilor xeroterme în întreaga Europă v-a face ca incendiile naturale să fie o amenințare și o forță selectivă mai răspândită decât în prezent. Arborii forestieri prezintă două răspunsuri de bază pentru a suporta focul: se pot regenera printr-o germinare declanșată de incendiu a unui depozit de semințe (de exemplu pinii mediteraneene ca *Pinus halepensis* / *brutia*) sau pot supraviețui și regenera biomasa supraterană distrusă (specii de foioase Mediteraneene cu frunza veșnic verde). Frecvența crescută a incendiilor forestiere cauzate de schimbările climatice poate avea un efect dăunător asupra speciilor care nu au mecanisme de a suporta incendiile forestiere, cum ar fi coniferele montane precum *Abies spp.*, *Picea abies*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris* sau *Pinus leucodermis*. Reducerea severă a dimensiunilor populației și, în consecință, creșterea migrației genetice. Chiar și arborii forestieri

mediteraneeni de dimensiuni reduse, adaptați la foc, pot fi expuși riscului dacă frecvența incendiilor forestiere crește peste vârsta maturității reproductive.

Schimbarea modelelor precipitațiilor de iarnă reprezintă o altă amenințare. Caracteristicile aritmetice ale arhitecturii arborelui, cum ar fi forma coroanei sau ramificația, rezultă adesea din adaptarea evolutivă la presiunea zăpezii și apariția înghețului și a gheții (Geburek, Robitschek și Milasowszky, 2008). Schimbarea zăpezii ude și grele către altitudini mai mari poate provoca daune excesive și, prin urmare, pierderi economice importante.

Perioadele cu temperaturi ridicate în timpul iernii pot provoca secete hivernale în rășinoase, când solul înghețat nu permite preluarea apei pierdute prin transpirație. Acest lucru a cauzat daune sub forma pierderii acelor de brad la Douglas (Larsen, 1981) și la molidul Norvegian la latitudini mari (Kullman, 1996). Deoarece se așteaptă ca temperaturile de iarnă să crească mai mult decât temperaturile din timpul verii în contextul schimbărilor climatice, secete hivernale asociată cu pierderea umidității xilemului și pierderea acelor poate reduce productivitatea pădurilor de rășinoase. Schimbările de temperatură (în special calendarul schimbărilor de temperaturi sezoniere) în toamnă și iarnă pot influența procesul de călire și decălire. Întârzierea înghețului este un mecanism care previne deteriorarea membranelor celulare din cauza formării cristalelor de gheață. Toamnele și iernile mai călduroase pot provoca niveluri mai înalte de rezistență (Saxe et al., 2001), cauzând pagube produse de unele fenomene bruște de îngheț. Faza în care rezistența maximă la friguri este în cele din urmă realizată este indusă de temperaturile de îngheț (Weiser, 1970) și este asociată cu modificări structurale în celule. Dat fiind că procesele de creștere necesită o stare fiziologică normală a celulelor, întregul proces este inversat primăvara. Temperaturile minime calde scad în frecvență după câteva zile, dar scăderea minimă poate încetini sau chiar decăli, determinând niveluri fluctuante ale rezistenței la îngheț (Leinonen, Repo și Hänninen, 1997). Cu toate acestea, evoluția ontogenetică determinată de temperatură față de înmugurire este ireversibilă și, odată ce înmugurirea începe, lăstarii nu se pot lignifica din nou ca răspuns la temperaturile joase (Repo, Makela și Hänninen, 1990; Leinonen, Repo și Hänninen, 1997). Schimbarea modelelor de temperatură din cauza încălzirii climatice poate duce la o iarnă mai scăzută călirea și decălirea prematură, cu riscul de a fi afectate de gerurile de primăvară.

Formarea și creșterea lăstarilor noi și a organelor vegetative și încetarea creșterii reprezintă alte secvențe ciclice ale fenomenelor asociate ciclului anual. În plus față de perioada de fotosinteză, ele sunt parțial legate de temperatură pe parcursul unui an. Lujerii și mugurii vegetativi intră într-o stare de dormitare în toamnă. Încetarea creșterii este declanșată în principal de lungimea nopții, dar temperaturile minime zilnice scăzute pot determina o încetare a creșterii anterioare (Hänninen și Taninos, 2011). Cu toate acestea, chiar dacă doar fot periodicitatea joacă

un anumit rol, intrarea în repaos într-un moment în care temperatura încă permite o creștere ulterioară, ar însemna că arborii nu exploatează pe deplin sezonul de creștere.

Dormitarea presupune că diviziunea celulară și creșterea au încetat, iar dezvoltarea miocardului este finalizată. Ulterior, mugurii necesită temperaturi de răcire (împreună cu lungimea nopții) pentru a deveni receptivi la temperaturi ridicate. Condițiile de răcire diferă între specii și genotipuri dintre specii, astfel: arborii cu cerințe scăzute de răcire sunt eliminați mai devreme. Procesul de creștere și diviziune celulară care are ca rezultat înmugurirea este indus de acumularea de sume de temperatură. Lipsa de răcire provocată de încălzirea climatică poate determina apariția unor înmuguriri anormale la unele specii (Morin et al., 2009). Mai mult, temperaturile ridicate ale aerului în timpul inducției de dormitare la sfârșitul verii cresc adâncimea de dormitare, ceea ce înseamnă că este nevoie de mai multă răcire pentru a rupe perioada de dormitare și că trebuie să se acumuleze mai multe grade -zile pentru a induce înmugurirea (Granhus, Floistad și Sogaard, 2009). În cele din urmă, modelele de desfășurare a frunzelor în timpul pauzei mugurilor variază puternic în funcție de trăsăturile perioade de viață, cum ar fi speciile de foioase veșnic verzi tolerante sau intolerante la umbră (Davi et al., 2011). Efectul final al schimbărilor climatice asupra cursului fenologic de înmugurire este deci greu de prezis (Hänninen și Tanino, 2011). Reproducerea, adică producția de flori și semințe, suferă o evoluție ciclică similară declanșată de indicatori climatici, compromisuri fiziologice și, eventual, strategii de evadare ale prădătorilor, un fenomen cunoscut ca masting (Herrera et al., 1998). Saxe și colab. (2001) a susținut că arborii își pot permite riscul de a pierde sau de a distruge organele de reproducere, deoarece acestea pot fi ușor compensate printr-o fructificație în decursul unui an mai favorabil. Acest lucru este valabil dacă aceste pierderi sau daune rămân un fenomen rar. Fenomenele de îngheț pot reduce în mod semnificativ culturile de semințe, dar pot fi și condiții climatice nefavorabile în timpul maturării semințelor (de exemplu, temperaturile de vară mari), care se presupune că vor crește în majoritatea scenariilor privind schimbările climatice. Mai mult decât atât, o climă în schimbare poate desincroniza producția de polen și receptivitatea florii de sex feminin, ducând la o densitate efectivă scăzută și o calitate scăzută a semințelor (de exemplu, creșteri de încrucișare la speciile compatibile) (Alizoti, Kilimis și Gallios, 2010) Margini (Restoux et al., 2008). Pe termen lung producția de semințe, culturile îndepărtate în condiții adecvate de recrutare și persistența populațiilor locale poate fi pusă în pericol.

Ce este "local" și este materialul reproductiv forestier local întotdeauna cel mai bun?

Condițiile de mediu variază între teritorii și, prin urmare, gradul de presiune a selecției variază de asemenea în diferite populații. Acest proces duce la diferențierea trăsăturilor adaptative ale populațiilor de arbori între locații. Selecția naturală acționează pentru a elimina genotipurile cele mai puțin corespunzătoare într-un teritoriu și acesta este folosit ca bază pentru principiul "speciile native și proveniențele locale ar trebui să fie preferate acolo unde este cazul" (MCPFE, 1993). În teritoriile cu o perioadă lungă de ocupare (generații multiple), arborii care sunt prezenți actualmente, se consideră că au cele mai optime genotipuri după ce au suferit mai multe cicluri de selecție naturală. Cu toate acestea, Gould (1997) a susținut că selecția naturală nu poate funcționa decât în baza materialului disponibil. Prin urmare, genotipurile adulte dintr-un anumit teritoriu sunt doar cele mai bune dintre genotipurile care au fost prezente la locul de plantare, mai degrabă decât cea mai bună opțiune posibilă pentru acest teritoriu. În plus, este dificil să se definească dimensiunea exactă a unei populații locale pentru arborii forestieri (cum ar fi acei arbori la care au loc schimburi de gene în timpul reproducerii), în special atunci când nu există gradienti de mediu puternici și la specii în care polenul este dispersat pe distanțe lungi. Topografia, densitatea populației, intensitatea înfloririi, fenologia și trăsăturile perioadei de viață influențează toate dimensiunile populației locale. În cazul speciilor de frasin polenizate cu ajutorul vântului, de exemplu, adaptarea funcționează la scări foarte largi de până la câteva sute de kilometri, iar distanțele geografice influențează mai mult diferențierea la *Fraxinus ornus* (FRAXIGEN, 2005).

Diversitatea genetică a unui material forestier reproductiv, este produsul materialului genetic original care a colonizat locul pe care a acționat selecția naturală, în condițiile migrării și fluxului de gene. Influența relativă a factorilor evolutivi și demografici poate fi investigată utilizând o combinație de markeri moleculari și studii de proveniență pentru a furniza informații privind amplexarea geografică a adaptării locale. Aceste informații sunt esențiale pentru selectarea și utilizarea FRM în diferite teritorii și habitate.

Provocările utilizării materialului forestier apt pentru reproducere în contextul schimbărilor climatice

Structura actuală a variabilității genetice la arborii forestieri și adaptarea lor la condițiile climatice a avut loc în timpul evoluției care durează între mii și milioane de ani. Rata răspunsurilor adaptive la schimbările de mediu la nivelul populației depinde de mai mulți factori,

cum ar fi: nivelul variabilității genetice în rândul indivizilor inter-reproducători, mărimea populației, iritabilității adaptive, fluxul de gene între populații și intensitatea lui, direcția și durata presiunii de selecție. Multe specii de arbori forestieri sunt cunoscute sau se crede că au variabilitate genetică ridicată în ceea ce privește trăsăturile importante de adaptare (Petit și Hampe, 2006). De asemenea, acestea au o capacitate de fecundare ridicată, ceea ce creează un fond comun genetic mare pentru selecția naturală. Cu toate acestea, ritmul fără precedent al schimbărilor climatice antropogene (Loarie et al., 2009), împreună cu timpul de regenerare relativ lung pentru mulți arbori forestieri, înseamnă că nu poate fi suficient timp pentru ca selecția naturală să conducă la populații adaptate la noile medii climatice (Jump și colab., 2006). Numai atunci când o populație de arbori este inițial mare, schimbările de mediu nu sunt prea severe, iar potențialul evolutiv este ridicat, poate supraviețui în mod eficient prin adaptarea genetică (Gomulkiewicz și Holt, 1995).

Este îngrijorător faptul că nu există suficient timp pentru a se asigura că adaptarea are loc înainte ca populațiile de arbori să se confrunte cu dispariția, care a oferit impulsul pentru intervenția sub formă de migrație asistată (Aubin et al., 2011, Hoegh-Guldberg et al., 2008), în contextul prezentului raport, transferul artificial al FRM către un loc ne-autohton. Motivul din spatele migrației asistate este că habitatul viitor prevăzut la locul în care materialul este transferat se potrivește cu habitatul actual al arboretelor de unde este preluat materialul. Cu toate acestea, similitudinea actuală și viitoare a habitatului este judecată pe baza climei, care nu este suficientă pentru a defini un habitat adecvat. De asemenea, FRM transferat fiind semnificativ diferit de materialul local, vor apărea interacțiuni genetice complexe între FRM autohton și cel transferat, cu rezultate incerte în ceea ce privește adaptarea. Impactul acestei diversități introduse va depinde de amploarea plantării, comparativ cu cea a populației locale și a gradului de diferențiere genetică dintre populații.

Adaptarea genetică va depinde de variabilitatea genetică prezentă în populațiile naturale, deoarece este puțin probabil ca noile variabilități să fie create prin intermediul unor noi mutații. Iritabilitatea măsoară acea parte a variabilității unei trăsături fenotipice care este iritabilă într-o populație. Cu cât iritabilitatea unei trăsături este mai mare, cu atât selecția este mai eficientă pentru un fenotip nou, mai adaptat. Iritabilitatea rezistenței la frig sau la eroziuni este scăzută până la moderată (Bower și Aitken, 2006; Rweyongeza, Yeh și Dhir, 2010). Spectrele fenologice prezintă frecvent variabilitate clinală de-a lungul gradientilor longitudinali, latitudinali sau altitudinali, așa cum au demonstrat experimentele culturilor comparative de diferite proveniențe (Dæhlen, Johnsen and Kohmann, 1995; von Wuehlisch, Krusche and Muhs, 1995). Acest lucru oferă perspective bune pentru recomandările FRM legate de fenologie. Cu toate acestea, răspunsurile la creșterea temperaturii în timpul diferitelor procese asociate ciclului anual s-au

dovedit a fi diferite în rândul speciilor, adică aceeași modificare a temperaturii poate accelera înmugurirea într-un singur grup de specii, însă poate întârzia în altul (Hänninen și Tanino, 2011). Întrebarea este dacă asemenea diferențe de reacție există și în cazul genotipurilor sau proveniențelor dintre specii. Cercetarea nu a abordat suficient această problemă. Mai mult, o parte din variabilitatea ereditară este epigenetică. La rășinoase, lungimea și temperatura zilei în timpul embriogenezei zigotului și maturizarea semințelor (asociate atât cu diferențele latitudinale cât și cu cele de altitudine) afectează începerea circulației sevei primăvara, încetarea creșterii toamna, creșterea în înălțime și rezistența la îngheț (Johnsen et al., 2005; Skrøppa, 1994). În cele din urmă, o astfel de memorie epigenetică duce la schimbări rapide ale comportamentului fenologic al descendenților proveniențelor transplantate după o generație (Skrøppa et al., 2009). În prezent, nu sunt disponibile modele mecanice fiabile a procese fenologice, deoarece există o mare nesiguranță în ceea ce privește procesele fiziologice de fond și factorii externi care le declanșează. Modelele existente simulează cu exactitate înregistrările anterioare ale fenologiei pe termen lung, chiar dacă diferite modele se bazează pe ipoteze substanțial diferite (Saxe et al., 2001). Cu toate acestea, rămâne îndoielnic dacă se pot face predicții fiabile despre comportamentul fenomenologic al materialului transferat în contextul schimbărilor climatice.

Mai multe opțiuni sunt oferite de FRM pentru atenuarea schimbărilor climatice și adaptarea pădurilor la schimbările climatice. Cu toate acestea, nu există un consens general cu privire la modul cel mai bun de a utiliza FRM, fie pentru a favoriza adaptarea locală, fie pentru migrațiile asistate. Opțiunile privind utilizarea FRM vor depinde de obiectivele managementului (producție, protecție, facilități), de trecutul evolutiv al pădurii (Indiferent dacă este genetic sau nu), pe poziția sa în domeniul de distribuție a speciilor (marginea posterioară, miezul sau marginea de vârf) și în cadrul nișei ecologice a speciei (marginală sau centrală). Cercetarea, în special cercetarea de proveniență și genetica moleculară și ecologia, vor contribui în primul rând la elaborarea unor strategii adecvate, cerințe legale și reglementări pentru implementarea acestora.

CADRUL LEGAL ȘI POLITIC

Directiva 1999/105 / EC a Consiliului Europei

Cadrul juridic din Uniunea Europeană pentru producerea și comercializarea materialului forestier de reproducere (FRM) în cadrul Uniunii se bazează pe Directiva 1999/105 / EC a Consiliului Europei, care se aplică tuturor statelor membre ale UE. Directivele UE stabilesc anumite rezultate finale care trebuie realizate în fiecare stat membru. Autoritățile naționale trebuie apoi să își revizuiască legile naționale pentru a atinge aceste obiective, dar sunt libere să decidă cum să facă acest lucru. Cerințele Directivei 1999/105 / EC sunt organizate în raport cu patru categorii diferite de FRM ("sursă identificată", "selecționat", "calificat și testat").

Directiva stabilește norme pentru aprobarea materialului de bază (determinat de fiecare stat membru) pentru producerea și comercializarea FRM. De asemenea, prevede un sistem de înregistrare, etichetare și control pentru a permite identificarea FRM din faza de colectare până la livrarea către utilizatorul final.

Obiectivele acestei directive sunt următoarele:

- asigurarea liberei circulații a FRM în cadrul UE;
- protejarea împotriva introducerii și răspândirii organismelor dăunătoare plantelor în UE;
- oferirea FRM de înaltă calitate și adaptat genetic pentru diferitele condiții ale amplasamentului; și
- conservarea biodiversității forestiere, inclusiv a diversității genetice.

Domeniul de aplicare al directivei este limitat la 47 de specii și hibrizi artificiali importanți pentru silvicultură (enumerați în anexa 1 a Directivei). Directiva prevede un set comun de cerințe minime, dar permite statelor membre UE să impună cerințe suplimentare și mai stricte pentru aprobarea materialului de bază și producerea de FRM pe propriul teritoriu, utilizând legislația națională. Excepția este comercializarea - nu sunt acceptabile alte restricții decât cele prevăzute în Directivă. Aceasta oferă statelor membre o flexibilitate specială de a reglementa producția și comercializarea FRM din categoria "sursă identificată" în ceea ce privește omologarea materialelor și comercializarea către ultimul utilizator. Directiva nu include cerințe privind utilizarea finală a FRM, dar statele membre sunt libere să stabilească cerințe în acest sens în legislația lor națională.

Schema de plantare și semințe forestiere OECD

Directiva Consiliului privind comercializarea FRM este armonizată cu OCDE schema de certificare a materialului forestier de reproducere și mișcările de FRM în comerțul internațional.

Această schemă voluntară este deschisă tuturor membrilor OCDE, precum și oricărui membru al Organizației Națiunilor Unite. Există patru categorii de material de reproducere în cadrul schemei ("sursă identificată", "selecționat", "calificat" și "testat").

Conform deciziei Uniunii Europene, semințele și materialul forestier din toate cele patru categorii produse în șase țări din afara UE în cadrul sistemului OCDE și certificate oficial de către autoritățile naționale sunt considerate echivalente cu semințele și materialul săditor, în conformitate cu Directiva 1999 / 105 / EC.

Legislația națională privind materialul forestier de reproducere - asemănări și deosebiri

Directiva 1999/105 / CE a Consiliului Europei a fost transpusă în legislația națională de toate cele 28 de state membre. Statele terțe suplimentare, cum ar fi Serbia, au adoptat reguli similare. Turcia a adoptat, de asemenea, textul Directivei și o aplică cu strictețe. Toate definițiile privind tipul de material și categoriile utilizate au fost introduse fără modificări în legile și reglementările naționale și sunt pe deplin acceptate de autoritățile naționale, de proprietarii de păduri și de producătorii de FRM. Termenul "producție" este adoptat în mod uniform atunci când se ia în considerare prelucrarea și manipularea semințelor. Înmulțirea unor părți din plante sau propagarea *in vitro* este considerată ca producție de FRM numai în unele țări.

În toate statele membre, regiunile de proveniență (denumite și zone de semințe) sunt delimitate, pe baza unor criterii, inclusiv unități ecologice sau zone de vegetație, asemănări fenotipice sau genetice, sau o combinație a acestora. Numărul și mărimea regiunilor de proveniență variază foarte mult între țări datorită abordărilor diferite utilizate pentru delimitare, complexitatea condițiilor de amplasare, compoziția ecosistemelor forestiere dintr-o țară și importanța economică a speciilor. Aspectele legate de schimbările climatice nu sunt încă luate în considerare.

În general, legislațiile naționale respectă cerințele pentru aprobarea arboretelor surse de semințe din Directivă. În aproape toate statele membre, un serviciu oficial de inspecție verifică materialul de bază înainte de aprobare. În statele cu structuri federale, precum Germania, Italia și Spania, acest lucru nu se realizează la nivel național, ci la nivel regional. Revizuirea materialului de bază aprobat este recomandată la 10 ani (majoritatea țărilor) și 15 ani (de exemplu în Italia). În unele legi naționale (de exemplu, în Germania) nu este indicată nici o perioadă de revizuire, însă revizuirea se face în mod continuu. Italia aplică o legislație specială privind clonele forestiere datorită valorii economice a clonelor de plop din țară.

În general, un furnizor de FRM are nevoie de o licență oficială pentru comercializarea de materiale în scopuri forestiere. În multe țări, se păstrează un registru al furnizorilor. Licențele și înregistrarea sunt efectuate de organisme oficiale, dar nu sunt întotdeauna solicitate teste profesionale și abilități ale acestora.

Certificatul de proveniență (masterat) este eliberat în toate țările de către o autoritate publică, în general, serviciul forestier local sau biroul local al organismului național. Testarea semințelor se face, de asemenea, de laboratoare autorizate sub autoritatea publică.

Controlul oficial se realizează cu intensități diferite între țări. Acesta include inspecții pe teren cu regularitate temporală diferită și controlul cărților și documentelor însoțitoare (certificatul de proveniență (masterat) și documentele de livrare). Pentru a facilita controlul transferului transfrontalier, în februarie 2012 a fost adoptată o recomandare a Comisiei privind orientările pentru prezentarea informațiilor pentru identificarea loturilor de FRM și informațiile care trebuie furnizate pe eticheta sau documentul furnizorului. Acest document conține coduri de identificare armonizate pentru diferite cerințe, enumerate la articolul 13 din Directiva 1999/105 / EC a Consiliului și servește ca traduceri numerice ale textului în documentele sau etichetele furnizorului.

În multe țări există restricții legate de comercializarea FRM, pe baza protecției resurselor genetice locale valoroase. Restricția la comercializarea FRM se bazează pe rezultatele testelor ecologice și genetice pentru anumite specii. În cazul "sursei identificate", aceasta se bazează pe criterii de calitate pentru aprobarea materialului de bază din această categorie, care în aceste țări face obiectul "cerințelor mai stricte" cu privire la criteriile de aprobare sau restricționarea acestei categorii pentru anumite specii în ansamblu.

Tabelul 1. Reglementări, scheme și recomandări adiționale făcute de anumite țări cu privire la materialele forestiere de reproducere (FRM) (detaliile se bazează pe răspunsurile statelor membre la un chestionar al Grupului de Lucru)

Specificarea detaliată	Țara
1. Cadrul legal	
1.1 Controale sau limitări privind producerea și comercializarea FRM (material de bază, colectare, reproducere și control	
Limitări privind lista speciilor	BE, FR, SI, IE
Lista suplimentară de specii	HU, ES
Limitările pentru categoria de surse identificate	BE, FR, DE, HU, LU, SI, CZ, IE, RS, IT, SK
Autorizație ministerială pentru importul de materiale din afara UE	BG, FR; PL, HR, RS, SI (După avizul profesional din partea SFI)
Schema de certificare voluntară, inclusiv eşantioane de referință	BG, FR, DE, UK, SI, NL (Pentru specii suplimentare care nu sunt direcționate)
Reinspectarea arboretelor sursă de semințe	HU, PL

Specificarea detaliată	Țara
1.2 Cerințe pentru menținerea diversității genetice minime	
Numărul de indivizi care trebuie colectați din arboretele de semințe, variind pe specii și categorii	BE, CY, BG, HR, DK, DE, GR, IT, LU, NO, RO, SI, SK, UK, CZ, PL
Numărul de clone în livezile de semințe	HR, EE, FI, FR, DE, HU, NO, SK, SE, SI, CZ, PL, IT, SI
Zona minimă de colectare	DE, GR, HU, LT, SI, UK, CZ, PL, IT (pentru speciile selectate)
Distanța dintre arbori pentru colectare	BG, IT, PL, CZ, SI
Vârsta arboretelor surse de semințe; Număr de arbori maturi de la care se colectează	DE, HU, CZ, PL, SK
Desemnarea arborilor pentru colectare	BE, SI
Numărul minim de arbori diferiți genetic	NL
Norme speciale pentru sursa identificată	UK, NL (În special pentru surse autohtone de semințe), IT (colectare și utilizare în aceeași regiune de proveniență), SI (criterii suplimentare pentru aprobare)
1.3 Reglementări naționale sau regionale privind utilizarea FRM în pădure	
Reguli, excepții specifice, limitări, autorizarea administrativă pentru transferul FRM în și între regiunile geografice sau regiunile de proveniență	BG, CY, HR, EE, FR, LT, NO, SK, SI, SE, UK, RS, PL
Specii adaptate condițiilor amplasamentului	BE, BG, FI, FR, GR, LT, SI
Restricții privind speciile în ariile protejate (Natura 2000, Parcuri naționale etc.)	BE, HU, SK, IE, HR, CZ, ES
Proveniențele au fost adaptate condițiilor site-ului pentru speciile importante	BE, EE, FI, FR, GR, LT, NO, SI
Limitări asupra speciilor exotice	BE, BG, CY, EE, FI, GR, HU, NO, PL, SK, SE, SI, ES (Legislație națională cu listă de specii exotice invazive)
Este necesară utilizarea FRM locale	GR, CZ (numai în unitățile de conservare genetică), SI (recomandat, dar cu un grad de adecvare) SE, SI
Limitarea FRM-ului clonal	
1.4 Reglementări naționale sau regionale privind subvențiile legate de FRM	
Suportul pentru finanțarea subvențiilor în silvicultură este permis numai dacă se utilizează FRM recomandat	CY, FR, DE, GR, IT, PL, SK, SI, ES, UK, IE, CZ, RS
Finanțarea regenerării pădurilor condiționată de condițiile speciale și / sau de regulile de utilizare FRM, cum ar fi pericolele naturale, utilizarea FRM local, adaptarea la condițiile sitului	FI, LT, LU, SI, RS, ES
Finanțare pentru producția de FRM	SI, FI, RS
Finanțare pentru promovarea lemnului tare	SE, IE, RS, ES

Specificarea detaliată	Țara
Finanțare conform listei pozitive a FRM	DK, ES
2.Orientări și recomandări	
2.1 Transferul de specii sau de proveniență (documente, web etc.)	BG, FI, FR, HU, LT, SK, SI, ES, SE, UK, CZ, IT, NO
2.2 Utilizarea speciilor pe regiuni ecologice (documente, web etc.)	BE, BG, DK, FR, HU, LT, LU, RO, SK, SI, ES, SE, UK, CZ, IT
2.3 Utilizarea proveniențelor pe regiuni ecologice (documente, web etc.)	BE, BG, DK, FR, DE, HU, LT, NO, ES, SE, UK, IE, CZ, IT, SI
2.4 Alte orientări și recomandări	
Numărul de arbori de la care trebuie colectat	FR, NO, DE, ES, SI
Producția de FRM: diversitate, nr. de arbori, nr de exemplare pe clonă	ES, FI, DE, SI
Recomandări privind diversitatea pădurilor de stat	PL
Folosirea FRM pentru o apropiere de silvicultura naturală	DK
Cerințe de calitate pentru comercializarea FRM	ES

Noi sisteme de trasabilitate și certificare pentru materialul forestier de reproducere prin intermediul unor markeri genetici.

Pentru controalele oficiale, documentarea adecvată prin certificatele de master și documentele de livrare este un element important. Adesea transportul pe distanțe lungi în timpul producției, de la recoltarea semințelor până la plantare, face posibilă etichetarea greșită sau declarația eronată a originii FRM. Prin urmare, sunt evident necesare metode pentru a testa în mod specific originea FRM, indiferent de stadiul în care sunt prelevate probele (locurile de recoltare, loturile de semințe sau materialul de reproducere cultivat în pepiniere). Markerii ADN deschid posibilități pentru tehnici de control care sunt și mai exacte și mai eficiente. Astfel de sisteme sunt utilizate pentru a verifica originea FRM, pentru a verifica numărul de arbori din care au fost colectate semințele, pentru a identifica speciile de arbori, hibrizi sau clone și pentru a verifica relațiile părinte-descendenți. Instrumentele de control bazate pe teste genetice, în general, nu sunt prevăzute în legislație, dar pot fi implementate în conformitate cu legislația privată.

În Germania, în prezent există două sisteme de certificare aproape identice, adică Schema de certificare pentru urmărirea originii materialelor forestiere reproductive din sudul Germaniei (ZüF; <http://www.zuef.de/>) și Certificarea FFV, susținută de ISOGEN Și Asociația pentru semințe forestiere (ISOGEN; <http://www.isogen.de/>) (Konnert și Hussendörfer, 2002; Konnert și Behm, 2006; Konnert și Hosius, 2008). Ambele sisteme urmăresc să verifice și să urmărească originea FRM de la recoltare și prelucrare a semințelor până la creșterea puieților în pepiniere. Ele se bazează, în esență, pe eșantioane de referință și pe compararea compoziției lor genetice utilizând o serie specifică de markeri moleculari diferiți. Probele de referință sunt colectate în diferite stadii ale producției FRM (recoltare, curățarea semințelor și / sau amestecarea loturilor de semințe și livrarea plantelor) și sunt stocate central. Pentru a spori eficiența și a reduce costurile, este selectat și analizat numai un subset selectat aleatoriu. Frecvențele alelelor marker moleculare sunt utilizate pentru a evalua similitudinea sau similaritatea genetică a probelor de referință. Ambele sisteme sunt deschise pentru producătorii de FRM în toate țările europene.

În Austria și Slovenia se prelevează eșantioane de referință din fiecare arbore recoltat pentru semințe și stocat pentru controale prospective. În Slovenia, regulamentul privind confirmările și certificatele de proveniență pentru FRM și modificările acestuia (UL RS 11/2003, 19/2004, 55/2012) solicită producătorul să colecteze un eșantion de țesuturi vii (de exemplu o ramură vie, trei miezuri de lemn incluzând cambiu viu, conuri, conuri de creștere, jir, etc.) din

fiecare arbore utilizat pentru producția de semințe, îl livrează autorizat la ofițerii de teren profesioniști, care apoi trimit întregul material împreună cu o copie a documentului de confirmare Institutului forestier sloven (SFI). Odată ce materialul este primit, ADN-ul este extras și depozitat la -85 ° C până la procesare.

O nouă abordare bazată pe amprentarea ADN poate verifica eficient originea surselor de semințe fără utilizarea mai multor probe de referință multiple (Degen, Holtken și Rogge, 2010). Autorii au folosit doar un eșantion de arbori maturi în cadrul semințelor de stejar, iar controlul a fost efectuat direct pentru fiecare plantă suspectă sau un grup de plante suspecte prin utilizarea atribuției genotipului multi-locus. Cu toate acestea, această nouă metodă nu este încă utilizată în practica generală.

Protocolul de la Nagoya privind accesul și împărțirea beneficiilor

În octombrie 2010, cea de-a 10-a Conferință a părților la Convenția privind diversitatea biologică (CBD) a adoptat un acord internațional numit Protocolul de la Nagoya privind accesul la resursele genetice și împărțirea echitabilă a beneficiilor din utilizarea lor (accesul și împărțirea beneficiilor - ABS). Scopul protocolului, este - în termeni foarte simpli - să faciliteze accesul la resursele genetice și să se asigure repartizarea echitabilă a beneficiilor care decurg din utilizarea lor, prin stabilirea unui cadru obligatoriu și clar din punct de vedere juridic. "Utilizarea resurselor genetice" este definită în Protocolul de la Nagoya ca fiind "efectuarea cercetări și dezvoltări privind compoziția genetică și / sau biochimică a resurselor genetice, inclusiv prin aplicarea biotehnologiei" (CBD, 2011). Prin urmare, protocolul nu se aplică utilizării resurselor genetice în scopuri de producție, cum ar fi obținerea semințelor pentru cultivarea și plantarea puieților ca parte a operațiunilor normale de exploatare forestieră. Protocolul de la Nagoya impune ca utilizatorii, inclusiv oamenii de știință, companiile și indivizii care utilizează resurse genetice și cunoștințele tradiționale asociate acestor resurse din alte țări în scopuri de cercetare și dezvoltare, să obțină în prealabil:

- Permisele din țara de origine a resurselor genetice și o aprobare scrisă, numită "consimțământ prealabil în cunoștință de cauză" (PIC).
- După obținerea PIC, utilizatorul resursei genetice trebuie să negocieze împreună la nivel bilateral cu țara de origine termenii și condițiile schimbului (Inclusiv un set de beneficii pe "termeni conveniți de comun acord" - MAT).

Protocolul urmărește să crească certitudinea juridică și transparența pentru schimbul de resurse genetice și informații conexe. Drepturile și obligațiile care decurg din orice acord internațional existent nu sunt afectate de punerea în aplicare a protocolului. În octombrie 2012, Comisia Europeană a prezentat o propunere de regulament al UE privind ABS pentru punerea în

aplicare a elementelor în conformitate cu protocolul de la Nagoya pentru Uniunea Europeană. Ulterior, Parlamentul European și Consiliul au adoptat Regulamentul (UE) nr. 511/2014 privind ABS la 16 aprilie 2014. A intrat în vigoare la 9 iunie 2014 și se aplică de la data intrării în vigoare a Protocolului de la Nagoya (12 octombrie 2014)). Există un consens că schimbul de resurse genetice forestiere (FGR) pentru cercetare și dezvoltare trebuie să fie facilitat și intensificat în contextul schimbărilor climatice. Cu toate acestea, în prezent nu este foarte clar modul în care punerea în aplicare a Protocolului de la Nagoya și a Regulamentului UE ((UE) nr. 511/2014) va afecta schimbul de resurse genetice forestiere pentru cercetare și dezvoltare, inclusiv între statele membre ale UE să mențină libera circulație a FRM pe piața internă a UE. Din nefericire, se așteaptă să sporească costurile tranzacțiilor și să se creeze obstacole administrative înainte ca țările să reușească să stabilească sisteme naționale de reglementare a ABS complet funcționale și transparente (de exemplu, Koskela et al., 2014).

ORIENTĂRI ȘI RECOMANDĂRI ACTUALE REFERITOARE LA MATERIALUL FORESTIER DE REPRODUCERE

Recomandări adoptate de FOREST EUROPE

Procesul FOREST EUROPE (anterior Conferința ministerială privind protecția pădurilor în Europa - MCPFE) a adoptat mai multe rezoluții privind resurse genetice forestiere, inclusiv FRM.

Rezoluția de la Strasbourg S2 (1990) a stabilit principiile conservării resurselor genetice forestiere în Europa și cooperarea dintre țările din acest domeniu. El a solicitat instituirea unui instrument funcțional dar voluntar de cooperare internațională pentru promovarea și coordonarea: (1) metodelor *in situ* și *ex situ* pentru conservarea diversității genetice a pădurilor europene; (2) schimburi de materiale de reproducere; și (3) monitorizarea progresului în aceste domenii. Ulterior, EUFORGEN a fost înființat în 1994. Rezoluția S2 a recunoscut, de asemenea, că utilizarea materialelor genetic îmbunătățite este de o importanță majoră pentru împădurire și refacere, în special în cazul producției de lemn. În plus, Rezoluția S2 a solicitat țărilor să țină evidența, cel puțin pentru pădurile publice, a identității exacte a materialelor de reproducere utilizate pentru plantare și regenerare.

Conform **Rezoluției H1 (1993) din Helsinki**, speciile indigene și proveniențele locale ar trebui să fie preferate acolo unde este cazul. Folosirea speciilor, a proveniențelor, a soiurilor sau a ecotipurilor din afara ariei lor naturale ar trebui descurajată unde introducerea lor ar pune în pericol ecosistemele indigene importante sau valoroase, de floră și faună. Speciile introduse pot fi utilizate atunci când impactul lor negativ potențial a fost evaluat și reevaluat în timp suficient și unde acestea oferă mai multe beneficii decât speciile indigene în ceea ce privește producția de lemn și alte funcții. Ori de câte ori speciile introduse sunt folosite pentru a înlocui ecosistemele locale, ar trebui luate suficiente măsuri în același timp pentru conservarea florei și faunei native.

Rezoluția H2 de la Helsinki prevede că, conservarea taxonilor resurselor genetice ale pădurilor ar trebui să fie recunoscute de țări ca un element esențial ale managementului dezvoltării durabile a pădurilor. Mai mult, **Rezoluția H4 din Helsinki** a încurajat studiile privind variabilitatea genetică a speciilor de arbori importanți din regiune ca răspuns la schimbările climatice și creșterea concentrației de dioxid de carbon, precum și gradul și rata proceselor evolutive și de adaptare.

Declarația generală a Conferinței de la Lisabona (1998) a preferat utilizarea speciilor indigene și a proveniențelor locale pentru reîmpădurire și împădurire. Anexa 1 a **Rezoluției L2 de la Lisabona** a introdus un indicator cantitativ privind schimbările în limitele arboretelor gestionate pentru conservarea și utilizarea resurselor genetice forestiere (păduri rezervații

genetice, arborete surse de semințe, etc.). În conformitate cu orientările de gestionare din Anexa 2 a Rezoluției L2 de la Lisabona, trebuie încurajată și / sau menținută o diversitate genetică, speciile și structurile adecvate pentru a spori stabilitatea, vitalitatea și capacitatea de rezistență a pădurilor la factorii de mediu adversi și pentru a consolida mecanismele de reglementare naturală. Mai mult, aceasta a afirmat că planurile de gestionare ar trebui să țină seama de resursele genetice *in situ*, pe cale de dispariție sau protejate, și că ar trebui utilizate numai speciile, proveniențele sau soiurile introduse, cu impact asupra ecosistemului și asupra integrității genetice a speciilor indigene și a proveniențelor locale evaluate, pentru a evita sau a minimiza impactul negativ.

Declarația Generală de la Viena (2003) reamintește importanța menținerii, conservării, restaurării și dezvoltării diversității biologice a pădurilor, inclusiv a resurselor lor genetice, atât în Europa, cât și la scară globală. Conform **Rezoluției V4 din Viena**, țările ar trebui să promoveze conservarea resurselor genetice forestiere ca parte integrantă a managementului durabil al pădurilor și continuarea colaborării pan-europene în acest domeniu. În plus, a cerut din nou țărilor să promoveze regenerarea naturală și regenerarea cu specii și proveniențe native.

În 2008, Declarația Generală de la Varșovia a reamintit menținerea, conservarea, restaurarea și sporirea diversității biologice a pădurilor, inclusiv a resurselor lor genetice prin gestionarea durabilă a pădurilor.

În 2011, procesul **FOREST EUROPE** a decis să lanseze negocieri pentru un acord legat de pădurile din Europa. Un comitet interguvernamental de negociere (INC) pentru acest acord și-a început activitatea în 2012, cu scopul de a încheia negocierile până în 2013. Textul Proiectului negociat, după reluarea celei de-a patra sesiuni de negociere (Geneva, Elveția, 7-8 noiembrie 2013), nu include nici o referire directă la utilizarea FRM sau la conservarea resurselor genetice forestiere. Cu toate acestea, acestea sunt acoperite în mod indirect de dispozițiile acordului de proiect. Unul dintre obiectivele proiectului de acord, de exemplu, este "să mențină, să protejeze, să restaureze și să consolideze pădurile, sănătatea, productivitatea, biodiversitatea, vitalitatea și rezistența la amenințări și pericole naturale și capacitatea lor de adaptare la schimbările climatice Precum și rolul lor în combaterea deșertificării ". În octombrie 2015, Conferința extraordinară ministerială v-a discuta aspectele care nu au putut fi convenite de INC.

Activități regionale - exemplul Silva Mediterranea

Silva Mediterranea, care a devenit organismul principal al FAO în 1948, este un forum internațional dedicat pădurilor mediteraneene. Ea încorporează țări din trei continente (Europa, Africa de Nord și Orientul Apropiat), care nu numai că au o legislație, mediu, social și istoric foarte diferită, dar și diferite structuri și nevoi organizaționale. *Silva Mediterranea* utilizează

schema OECD ca principală referință pentru certificarea FRM, însă unele dintre criteriile și orientările generale sunt susținute și / sau influențate de Directiva Europeană 1999/105 / CE, în special în regiunea mediteraneeană de Nord. Activitatea FRM a companiei Silva Mediterranea se concentrează pe adoptarea unor criterii comune pentru a facilita comerțul internațional. De exemplu, Topak (1997) a realizat un inventar al materialului de bază prezent în 17 țări *Silva Mediterranea*, conform schemei OCDE. *Silva Mediterranea* și în special grupul său de lucru "Resurse genetice forestiere în regiunea mediteraneeană" promovează utilizarea cunoștințelor și expertizei existente prin diseminare și formare pentru a răspunde nevoilor locale.

Silva Mediterranea a instituit studii de proveniență în colaborare cu IUFRO în anii 1970. Aceste studii au fost localizate în nouă țări mediteraneene și au inclus specii de pin, brad, cedru și chiparos mediteraneean, precum și stejarul de plută (Besacier et al., 2011). Studiile de proveniență au fost recent inventariate pentru crearea unei noi baze de date (Pichot, 2007; <http://w3.avignon.inra.fr/ForSilvaMed/>), dezvoltată de partenerii INRA-Avignon și Silva Mediterranea. Această activitate a fost realizată parțial în cadrul proiectului TREEBREEDEx (www.treebreedex.eu).

Conform planului său de lucru, Grupul de lucru FGR al Silva Mediterranea v-a promova dezvoltarea și formarea unei noi generații de cercetători capabili să comunice și să dezvolte capacități științifice și tehnice de adaptare a FGR și a pădurilor la schimbările climatice (Ducci, 2009; www.fao.org/silviculture/19318-0ebc0835b0ffd94872e2249feaf1c10d6.pdf). În acest scop, Grupul de lucru a pregătit recent acțiunea "Cooperarea europeană în domeniul științei și tehnologiei (COST) intitulată "Consolidarea conservării: o problemă esențială pentru adaptarea populației marginale / periferice a arborilor forestieri la schimbările climatice în Europa" (MaP / FGR). Acest proiect a fost lansat în noiembrie 2012 și implică mai multe țări europene, pe lângă partenerii Silva Mediterranea, precum și instituții internaționale precum Bioversity International, FAO, EFIMED și IUFRO. Proiectul are, de asemenea, scopul de a promova utilizarea corespunzătoare a FRM în contextul schimbărilor climatice.

Recomandări naționale de proveniență și instrumente de sprijin

Astfel cum s-a explicat mai sus, Directiva 1999/105 / CE stabilește doar un cadru care urmează să fie abordat ulterior de legislația națională a statelor membre ale UE. Majoritatea legilor naționale reglementează numai producția și comercializarea, dar nu reglementează utilizarea FRM. Pentru a asigura utilizarea corectă a FRM, unele state membre au inclus în legislațiile lor naționale recomandări adresate proprietarilor de păduri privind utilizarea FRM. În alte state membre, administrațiile forestiere fac recomandări pentru utilizarea proveniențelor în

diferite regiuni. Ele se bazează în cea mai mare parte pe conceptul de regiuni de proveniență, care sunt zonele în care materialul reproducător poate fi transferat cu risc mic de a fi slab adaptat la noile teritorii. Ele se bazează, în general, pe rezultatele studiilor de proveniență și pe experiențele pe termen lung ale practicilor silvice (culturi comparative). În general, indicilor climatici nu li se acordă nici o considerație preferențială.

Recomandările de proveniență au adesea rolul de sprijin decizional, iar proprietarii de păduri nu sunt obligați să le urmeze. Cu toate acestea, ele pot fi obligatorii în unele țări în cadrul schemelor auxiliare. Sprijinul financiar pentru aceste recomandări este crucial pentru o implementare reușită. Țările europene au atins niveluri diferite de punere în aplicare a acestor recomandări. În multe țări europene, recomandările de proveniență sunt furnizate fie pentru toate, fie doar pentru un subset de specii din listele naționale.

Forma de publicare a recomandărilor este, de asemenea, diferită de la o țară la alta. Acestea variază de la documentația pe suport de hârtie până la instrumentele interactive de decizie bazate pe internet, care leagă locul de plantare într-o zonă ecologică cu FRM recomandat disponibil într-o pepinieră. Cele mai multe sisteme recomandate sunt o combinație de documente și hărți disponibile pe internet.

În Germania, de exemplu, administrația pădurilor din statele federale oferă proprietarilor de păduri recomandări pentru utilizarea proveniențelor în diferite regiuni. Acestea diferă după forma de prezentare între state, dar urmează un consens comun: proveniența locală este recomandată preferențial (de exemplu, pentru Bavaria vezi: <http://www.stmelf.bayern.de/wald/asp/014927/index.php>).

În Franța, recomandările privind utilizarea FRM franceze sunt publicate la <http://agriculture.gouv.fr/conseils-dutilisation-des-provenances-et-varietes-forestieres>.

O revizuire a recomandărilor franceze este în curs de desfășurare în contextul schimbărilor climatice. Compania de semințe Vilmorin oferă, de asemenea, recomandări pentru utilizarea semințelor de la livezile semincere duglas, pe baza caracteristicilor teritoriului, a înmuguririi, a reușitei de creștere (producția de lemn) și a variabilității genetice (vezi www.vilmorin-treeseeds.com).

În Italia, sunt utilizate mai multe modele pentru a oferi orientări și recomandări. Acestea includ orientări formale, documente tehnice emise pe baza rezultatelor programelor de cercetare (<http://www.Ricercaforestale.it/>) și rețele de servicii regionale forestiere și instituții de cercetare care coordonează activitățile relevante.

În Slovenia, legea privind pădurile prevede că FRM adaptat la condițiile teritoriului trebuie să fie utilizat în orice împădurire sau reîmpădurire prin plantare și însămânțare. În consecință, utilizarea FRM în aceleași regiuni sau zone diferite de proveniență și în zonele de

altitudine au recomandări definite pe categorii, din cele mai adecvate, foarte potrivite, adecvate, mai puțin adecvate, adecvate numai în situații excepționale. Recomandările fac parte din regulamentul privind delimitarea regiunilor de proveniență și modificarea acestora (Ur.l. RS 72/2003, 58/2012). În plus, Institutul forestier sloven a publicat (în limba slovenă) ghidul tehnic EUFORGEN pentru conservarea și utilizarea resurselor genetice forestiere, cu recomandările slovene pentru utilizarea FRM.

În Regatul Unit, Comisia pentru silvicultură publică note informative, care oferă recomandări privind selecția provenienței pentru condițiile din Regatul Unit. Prima alegere de proveniență ar trebui să fie un arboret sursă de semințe "selecționat", de preferință care crește în aceeași regiune de proveniență cu suprafața de plantare. Ca o alternativă, materialul selectat de la arboretele din Nord-Vestul Europei (Țările de Jos, Nord-Vestul Franței, Nordul Germaniei și Belgiei). Materialul semincer din Europa continentală centrală și estică nu ar trebui să fie plantat, deoarece este puțin adaptat la condițiile Regatul Unit în ceea ce privește productivitatea de creștere, supraviețuirea, fenologia și rezistența la bolile foliare. În unele privințe, dimensiunea climatică este luată în considerare prin afirmația că mișcarea spre nord a materialului genetic (cu sute de kilometri) poate avea ca rezultat o sporire a vigorii de creștere în comparație cu proveniențele din sursele locale, în timp ce orice mișcare spre sud este considerată necugetată.

În Irlanda, Serviciul forestier (autoritatea de reglementare) oferă recomandări pentru alegerea provenienței pe baza rezultatelor dintr-o serie extinsă de studii de proveniență. Semințele recoltate din arborete surse de semințe înregistrate în Irlanda ar trebui utilizate atunci când este posibil. Un tabel totalizator cu origini de semințe acceptabile este prevăzut în liniile directe, iar pentru speciile europene este necesar ca prima alegere să fie înregistrată ca și material irlandez. Dacă acest lucru nu este disponibil, ar trebui să se folosească materialul de reproducere înregistrat din semințele selectate de britanici (englezi sau galezi), francezi (Nordul Parisului), belgieni, olandezi, danezi sau germani (la Nord de Frankfurt).

În Spania, Ministerul Agriculturii, Alimentației și Mediului, în colaborare cu Centrul spaniol de cercetare forestieră (INIA-CIFOR), a publicat regiunile de proveniență și recomandările pentru utilizarea FRM pentru speciile de arbori care intră sub incidența legislației la nivel național. Există, de asemenea, recomandări la nivel regional, cum ar fi cele din Castilla y Leon, iar proprietarii privați de păduri ar trebui să le urmeze dacă doresc să primească subvenții din partea administrației publice.

Unele sisteme recomandate sunt instrumente de decizie interactive, bazate pe internet, care leagă zonele de plante în zone ecologice cu ajutorul FRM recomandat și disponibil în pepiniere. În Austria, o platformă online (www.herkunftsberatung.at) a fost creată de Centrul de cercetare și instruire a pădurilor, amenințărilor naturale și peisajului (BFW), în colaborare cu

administrația pădurilor, pentru a sprijini proprietarii de păduri în selecția de proveniență. Acest serviciu online se bazează pe registrul național al surselor de semințe aprobate, rezultatele studiilor de proveniență din Austria și colecțiile de semințe declarate anual.

În Danemarca, Agenția Daneză pentru Natură din cadrul Ministerului Mediului, în cooperare cu Universitatea din Copenhaga, furnizează recomandări privind speciile și proveniențele printr-un instrument web de bază, care ghidează și ajută utilizatorii să selecteze materialul adecvat scopului de plantare și localității (www.plantevalg.dk). Sistemul are două componente: o bază de date în care sunt disponibile informații despre specii și surse de semințe și o funcție de recomandare prin care sunt puse la dispoziție liniile directe pentru selectarea speciilor și a surselor de semințe pentru diferite scopuri de plantare. Procesul de ghidare are trei nivele: primul nivel este o recomandare a speciilor (inclusiv în scop de plantare), al doilea nivel constă în recomandările pentru proveniențe și materialele selectate (producția de semințe), iar al treilea nivel este referitor la informațiile privind locul de cumpărare a materialului vegetal (adică disponibilitatea surselor de semințe în diferitele pepiniere). Sistemul este o interfață geografică pe bază de web, în care utilizatorii își pot găsi pădurea în 13 zone ecologice. Criteriile de selecție sunt transparente și bine documentate. Sunt incluse informații despre posibilele subvenții. De asemenea, sistemul permite utilizatorului să furnizeze comentarii pentru îmbunătățirea sistemului.

Norvegia are un sistem de recomandări bazat pe internet, găzduit de Centrul de semințe forestiere din Norvegia ([www. Skogfroverket.no](http://www.Skogfroverket.no)). Clienții pot alege locația lor de plantare și altitudinea și vor primi sugestii pentru loturile de semințe adecvate, cu diferențierea între cele optime și utilizabile (în conformitate cu regulile de transfer interne norvegiene). După alegerea unui anumit lot de semințe, clientul v-a primi, de asemenea, informații despre ce pepinieră produce plante din acel lot, la momentul respectiv. Sugestiile pentru loturile de semințe din arborete sunt făcute în conformitate cu legislația în vigoare și nu sunt luate în considerare efectele schimbărilor climatice. Recomandările pentru implementarea zonelor pentru îmbunătățirea materialele pepinierelor, sunt făcute cu o anumită atenție pentru posibilele schimbări climatice. După cum prezicerea privind situațiile viitoare ale teritoriului din Norvegia este foarte dificilă din cauza peisajului montan cu schimbări abrupte de coborâre pe distanțe mici, cultivarea arborilor și studiile legate sunt considerate un instrument foarte important pentru explorarea și utilizarea "abilităților genetice" ale speciilor într-un proces de adaptare la climatul viitor.

Suedia are un sistem similar de recomandări, care este găzduit de Skogforsk ([Http://www.skogforsk.se/sv/ KunskapDirekt / Alla-Verktyg / Plantval /](http://www.skogforsk.se/sv/KunskapDirekt/Alla-Verktyg/Plantval/)). Sugestiile pentru loturile de semințe adecvate sunt făcute cu privire la prognozele climatice viitoare.

Considerații științifice și practice privind alegerea proveniențelor în contextul schimbărilor climatice

Succesul eforturilor de plantare a arborilor depinde în mod fundamental de utilizarea FRM adecvat, care este capabil să supraviețuiască și să prospere la locul de plantare. Deciziile luate astăzi cu privire la selectarea materialului adecvat pentru regenerarea pădurilor trebuie luate în lumina proiecțiilor climatice pentru următorii 30-200 ani, când arborii plantați acum vor fi maturi, chiar dacă acestea vor duce la arborete care sunt adaptate sub-optimal la condițiile actuale și viitoare. Utilizarea FRM corespunzătoare și capacitatea de a verifica originea FRM este, prin urmare, de o importanță vitală pentru eforturile noastre de pregătire și gestionare a efectelor schimbărilor climatice asupra pădurilor Europene.

Diversitatea genetică oferă materia primă pentru adaptare și, prin urmare, are un rol important în menținerea elasticității ecosistemelor forestiere în fața amenințărilor asociate cu schimbările climatice. Un nivel ridicat al diversității genetice într-o populație crește probabilitatea ca o parte din genotipuri să supraviețuiască în viitor prin creșterea adaptabilității acestei populații. Prin urmare, este imperativ ca FRM cu niveluri ridicate de diversitate genetică să fie alese pentru a menține adaptabilitatea genetică la un anumit teritoriu. Acest lucru este valabil în special la marginea posterioară a distribuțiilor geografice, în care condițiile ecologice locale ar putea fi deja extreme și unde se așteaptă ca efectele schimbărilor climatice să fie ridicate. În schimb, FRM din aceste populații marginale pot să demonstreze adaptarea locală la condițiile xerice și să fie o sursă valoroasă de FRM pentru reîmpădurirea în condițiile schimbărilor climatice (St Clair și Howe, 2007, Mátyás, 1994, Robson et al., 2011). Există diferite abordări pentru conservarea sau creșterea diversității genetice și pregătirea pădurilor pentru viitor. O opțiune ar putea fi adoptarea așa-numitei abordări "portofoliu" și crearea unei combinații de proveniențe alături de populația actuală, folosind prognozele privind schimbările climatice pentru a ghida alegerea de proveniențe pentru viitor (de exemplu, Hubert și Cottrell, 2007). O a doua abordare mai mare ar fi introducerea FRM dintr-o singură proveniență dintr-o locație cu un climat similar cu cel prognozat pentru teritoriu. Presupunerea este că proveniența translocată va conține gene mai potrivite pentru supraviețuire în climatul viitor. O a treia opțiune este să se bazeze pe regenerarea naturală și să utilizeze variabilitatea genetică ridicată și plasticitatea fenotipică care apare la cele mai multe specii de pădure și să folosească gestionarea pădurilor pentru a crea condiții în care selecția poate să apară la puietii regenerați în mod natural - presiuni severe de selecție.

Abordări alternative pentru delimitarea regiunilor de proveniență și recomandările privind transferul de semințe în contextul schimbărilor climatice

În mod tradițional, abordarea privind reglementarea transferului de semințe, atât la nivel legislativ, cât și voluntar, a fost una geografică, bazată pe zonele sau regiunile de proveniență, care ar trebui să conțină populații cu caracteristici de adaptare identice sau similare. Acest lucru a fost criticat de Mátyás (2007), de exemplu, care a argumentat în favoarea utilizării mai degrabă a criteriilor climatice decât a originii geografice ca bază pentru transferul de semințe. Mai mult decât atât, regiunile de proveniență au fost deseori delimitate pe baza omogenității mediului (în principal climatic), mai degrabă decât a modelelor de variabilitate genetică sau a omogenității răspunsurilor adaptive demonstrate de studiile pe teren. Prin urmare, în ultimii ani au apărut noi abordări privind delimitarea regiunilor de proveniență sau reglementarea transferului de semințe.

În Canada, primele zone de colectare a semințelor au fost descrise în 1940 pe insula Vancouver. În 1962, Haddock a propus șapte zone de colectare a semințelor pentru întreaga Columbie Britanică. Acest concept a fost mai târziu reformulat la începutul anilor 1970, când în toate provinciile au fost delimitate 67 de zone pentru colectarea semințelor (Ying și Yanchuk, 2006). Baza pentru delimitare a fost o aproximare preliminară a clasificării ecologice a terenurilor forestiere. O nouă revizuire, făcută la începutul anilor 1980, a ținut cont, de asemenea, de rezultatele studiilor de proveniență din 24 de regiuni de proveniență. În același timp, pentru prima dată a fost introdus "principiul plutitor" al transferului de semințe (Rehfeldt, 1983). Aceasta înseamnă că limitele transferului de semințe nu mai sunt date de limitele regiuni de proveniență fixe, ci mai degrabă ele sunt definite de-a lungul clinelor adaptive și de-a lungul distanțelor geografice. În practică, acest lucru înseamnă că puieții pot fi plantați în regiuni de proveniență în care au fost colectate semințele, atât timp cât transferul se situează în limitele adaptive ale sursei de semințe pe baza unui model statistic (de ex., Wu și Ying, 2004). Modelul definește gradul și direcția optimalității locale de-a lungul longitudinii și altitudinii. În afară de această abordare științifică, versiunea operațională a orientărilor privind transferul de semințe în British Columbia încorporează cunoștințele și experiențele forestierilor locali pentru a acoperi situații specifice din peisajele împădurite mari care nu pot fi anticipate de modele.

Introducerea conceptului (ecologic) de distanță climatică (Mátyás, 1994, 1996) a deschis posibilitatea aplicării variabilelor climatice în locul celor geografice pentru orientările de transfer. Odată cu îmbunătățirea modelelor statistice și a software-ului capabil să transforme distanța fizică la cea climatică, Hutchinson (2004) și Wang et al. (2006) au inclus variabile climatice în regulile de transfer de semințe. Pe această bază, regulile de transfer de semințe din

British Columbia au fost reexamine și ușor modificate în lumina schimbărilor climatice (Ministerul Pădurilor, Terenurilor și Operațiunilor Resurselor Naturale din British Columbia, diverse date). Acum este permisă mutarea majorității speciilor în majoritatea zonelor de la 100 la 200 m în sus, în altitudine.

În Nord-Vestul Pacificului (statele din Oregon și Washington), regiunile de proveniență au fost inițial stabilite la sfârșitul anilor 1960, în special în urma cererilor din programele extinse de ameliorare a arborilor pentru duglas. O regiune de proveniență a fost definită de o anumită zonă geografică în cadrul căreia semințele pot fi colectate și semănate, cu așteptarea ca arboretele rezultate să fie adaptate la condițiile din zonă. Primele regiuni de proveniență s-au bazat pe diferențele de climă și vegetație și au fost subdivizate prin înălțime (150 m sau 500 ft) (Johnson et al., 2004). Aceste zone au fost ușor revizuite în 1973 (Harta zonelor, a arboretelor surse de semințe, 1973). Pe baza noilor rezultate privind trăsăturile adaptive din studiile de culturi comparative și din studiile de proveniență, zonele arborilor seminceri au fost revizuite, extinse și specificate speciile (Randall, 1996, Randall și Berrang, 2002). Noile recomandări pentru mișcarea semințelor în această regiune se bazează în principal pe cercetarea genecologică folosind rezultatele culturilor comparative (Johnson et al., 2004, St Clair și Howe, 2007, St Clair, Mandel și Vance-Borland, 2005). În studiile pepinierelor, s-au măsurat zeci de trăsături adaptive și parametri de mediu. Pentru a simplifica analiza seturilor complexe de date, aceste trăsături au fost combinate în câteva componente principale care rezumă cea mai mare parte a variabilității. Clair, Mandel și Vance-Borland (2005) au arătat că două variabile componente explică o mare parte a variabilității dintre trăsăturile individuale și între locații.

Prima componentă principală, este extrem de relevantă cu temperaturile minime din lunile de iarnă și datele primăverii și primului îngheț de toamnă, a arătat o linie Est-Vest asociată cu altitudinea și temperatura. Temperaturile joase par să fi avut drept rezultat selectarea naturală a trăsăturilor anterioare, probabil pentru a evita înghețul de toamnă și apariția mai rapidă, pentru a promova crearea de puieți, imediat ce condițiile ar fi favorabile în primăvară.

A doua componentă principală a fost corelată cu precipitațiile și temperaturile maxime în lunile de vară și prezintă o linie Nord-Sud. Potrivit autorilor, selecția pentru înmugurirea anterioară ar putea fi un mecanism care să asigure o creștere suficientă timpurie înainte ca seceta de vară să devină un factor limitator. Riscul de adaptări eronate a fost definit ca proporția de non-suprapunere între distribuțiile normale ale populației actuale și a populației în viitor (prognostat pe baza scenariilor climatice) pentru prima variabilă componentă. Pe baza unor astfel de studii, cercetătorii pot elabora orientări privind mișcarea semințelor în contextul schimbărilor climatice. Rezultatele studiului sus-menționat sugerează, de exemplu, că populațiile de duglas ar trebui deplasate cu 450-1130 m înălțime și 200-540 km spre nord pentru a se potrivi climatului

așteptat până la sfârșitul secolului al XXI-lea. Ukrainetz, O'Neill și Jaquish (2011) au folosit această abordare pentru a dezvolta atât regiunile de proveniență, cât și liniile directe pentru transferul de “floating principle” (punctul de focalizare) pentru *Picea glauca* și *P. engelmannii* în British Columbia. Ei au ajuns la concluzia că abordarea focală oferă puncte mai mari la care FRM poate fi transferat la un anumit nivel de risc de adaptări eronate.

În Austria, rezultatele experimentului de proveniență extensivă stabilită în Norvegia, de K. Holzer, au fost folosite pentru a elabora linii directe de transfer pentru regiunea alpină (Kapeller et al., 2012). Autorii au folosit o abordare a populației bazată pe un indice anual de căldură-umiditate, în care funcțiile de răspuns au fost calculate atât pentru populațiile individuale, cât și pentru grupurile de populații bazate pe regiunile de proveniență actuale, regiunile altitudinale și datele climatice. Această abordare a permis identificarea grupurilor de populație cu cele mai bune performanțe, în contextul condițiilor climaterice actuale și a prognozei climatice până în 2080. Interesant este faptul că populațiile cu cei mai buni indicatori de productivitate provin din regiuni filogenetice distincte de zona de distribuție de bază a molidului norvegian, parte a variației la răspunsul climatic în rândul populațiilor. Autorii au sugerat că în prezent populațiile din zonele calde și predispuse la secetă par a fi bine adaptate la condițiile climatice respective și pot fi candidați adecvați pentru o utilizare extinsă în viitor.

Consolidarea potențialului genetic al populației de arbori de a se adapta la schimbările climatice este de asemenea o opțiune care trebuie luată în considerare. Savolainen și colab. (2004) cuantifică variabilitatea genetică a caracteristicilor de creștere și rezistență în populațiile de pin scoțieni din Finlanda. Ei au găsit o iritabilitate relativ ridicată a trăsăturilor fenologice și o diferențiere genetică puternică între populațiile din Nord și Sud ($QST = 0,86$). Autorii au folosit o abordare de simulare pentru a testa dacă pinii scoțieni din nordul Finlandei se pot schimba la noul optim prognozat prin migrație și selecție locală în următorii 100 de ani, presupunând că noul optim fenotipic poate fi dedus pe baza potrivirii actuale a sumei temperaturilor și mijloacele fenotipice. Simularea a arătat că răspunsul adaptiv la schimbările climatice v-a rămâne în spatele optimului în mișcare. Deși nu există recomandări speciale pentru transferul de proveniență mediată de om, autorii sugerează că regenerarea artificială cu surse adecvate de semințe poate crește proporția de genotipuri adaptate.

ARGUMENTAREA ȘTIINȚIFICĂ PENTRU TRANSFERUL MATERIALELOR FORESTIERE DE REPRODUCERE ORIENTĂRI GENERALE

Aspectele metodologice ale transferului de material forestier de reproducere pe baza cercetărilor de proveniență

Baza moleculară a adaptării a făcut obiectul unor studii intensive în ultimul deceniu, utilizând metode de genomica directă și indirectă. Cu toate acestea, markerii moleculari adaptivi sunt, în general, încă în construcție și nu au fost folosiți pentru planificarea la scară largă a variațiilor genetice într-o măsură comparabilă cu markerii neutri. Prin urmare, experimentele culturilor comparative, în special studiile de proveniență, rămân principala sursă de informare referitoare la procesele adaptive și rezultatele acestora la arborii forestieri.

Scopul principal al cercetării de proveniență este identificarea populațiilor de arbori cu plasticitate ecologică mare și suficient de adaptați care pot fi folosiți ca surse de semințe pentru reîmpădurire (König, 2005). Cu toate acestea, studiile de proveniență au și alte obiective, unele pur științifice, și anume identificarea caracterului (ecotipic sau clinal) și principalele tendințe geografice ale variației caracteristicilor fenotipice.

Cadrul spațial existent pentru recomandările privind transferul FRM (regiuni de proveniență, zone de creștere) se bazează în general, mai degrabă pe zona climatică sau biogeografică, decât pe rezultatele studiilor de proveniență. Ideea care stă la baza acestei abordări este că adaptarea locală este cea mai importantă forță ecologică care modelează variabilitatea genetică și că clima și fotoperiodicitatea (adică factorii asociați cu locația geografică) sunt principalele motoare ale selecției naturale. Cu toate acestea, nu există unanimitate în ceea ce privește dimensiunea sau numărul rezonabil al acestor zone între țări. Nu există nici un consens cu privire la principiile și metodologiile pe care ar trebui să se bazeze. Uneori, datele empirice nu oferă suport pentru zonele existente (Isik, Keskin și McKeand, 2000).

Informațiile empirice despre comportamentul FRM transferat în ceea ce privește randamentul, creșterea, supraviețuirea și calitatea arborilor au fost folosite de mult timp în luarea deciziilor privind materialul adecvat pentru reîmpădurire. Ele s-au bazat în principal pe experiența practică (de exemplu, importul stejarului sloven în Europa centrală) sau informații narative provenite din studiile de proveniență cu privire la cele mai performante proveniențe. Termenul "proveniență" este folosit aici într-un sens foarte restrâns, care denotă o populație locală sau o regiune foarte mică (cum ar fi proveniența poloneză de molid Istebna sau Rycerka). Cu toate acestea, o interacțiune genotip-mediu ($G \times E$) puternică este tipică pentru arborii

forestieri, ceea ce înseamnă că cele mai bune "proveniențe" nu trebuie neapărat să fie cele mai bune pretutindeni.

În experimentele de proveniență modernă, numeroase proveniențe au fost planificate în mod repetat pe o serie de loturi de încercări într-o gamă largă de condiții de mediu. Astfel de setări experimentale permit testarea reacțiilor de proveniență pentru a se transfera: pe de o parte, determinarea mediului în care o anumită proveniență se comportă cel mai bine; pe de altă parte, alegerea provenienței optime pentru un anumit teritoriu. Pentru a determina răspunsurile climatice legate de populațiile de arbori provenite din studiile de proveniență larg concepute, au fost dezvoltate două abordări primare: funcțiile generale de transfer și funcțiile răspunsului populației (Aitken et al., 2008; Rehfeldt et al., 1999). Ele pot fi folosite ca alternativă pentru recomandarea proveniențelor (Ukrainetz, O'Neill și Jaquish, 2011) și pot oferi sprijin pentru delimitarea regiunilor de proveniență.

Funcțiile generale de transfer privesc trăsăturile generale ale arborilor plantați la distanțele geografice sau climatice dintre proveniențe și teritorii comune (adică diferența de variabile geografice sau climatice între locul de origine și locul plantației) (Mátyás, 1994, Rehfeldt et. Al., 1999). Este de așteptat ca răspunsul populației la transfer să varieze de-a lungul gradientului distanță – mediu într-un mod neliniar. Valoarea maximă a funcției de răspuns determină rata de transfer la care performanța unei populații este cea mai bună. Diferite tipuri de funcții de răspuns uni modal au fost astfel folosite pentru a modela această relație (Gaussian, Weibull, beta, polinomul din ordinul 2). În mod obișnuit, datele din diferite suprafețe de testare, chiar din diferite experimente, sunt reunite împreună pentru a dezvolta o funcție de transfer general, presupunând că forma și maximele curbelor de transfer nu variază semnificativ între medii (Rehfeldt et al., 1999).

Funcțiile de răspuns ale populației descriu regula de reacție a unei populații individuale la o serie de medii de pe teritoriile testate. Metodologia este foarte asemănătoare cu funcțiile generale de transfer, însă proveniențele nu sunt considerate în comun. În mod natural, această abordare impune ca o proveniență să fie planificată în mod repetat pe un număr reprezentativ de parcele de încercare care acoperă o gamă suficient de largă a condițiilor climaterice. Ratele de transfer rapid ale populațiilor pot să difere una de cealaltă, dar ele prezintă adesea continuitate geografică și, uneori, tendințe la scară largă. Acestea pot fi astfel folosite pentru delimitarea zonelor adaptive omogene, unde populațiile prezintă reacții similare la condițiile climatice.

Alegerea Proxy-urilor climatice adecvate reprezintă chestiunea esențială în orice abordare bazată pe modelarea matematică a relației de tip arbore-climă. Reacțiile populațiilor de arbori asupra transferului nu trebuie să urmeze gradientele geografice (longitudine sau latitudine), dar indicatorii climatici bruți, cum ar fi temperaturile medii anuale sau precipitațiile din sezonul de

vegetație, nu descriu neapărat în mod corespunzător acele aspecte ale climatului care sunt adevărați factori de adaptare. Diferite tipuri de indicatori climatici au fost frecvent utilizați în acest scop (Mátyás și Yeatman 1992; Rehfeldt et al., 1999, 2002). Problema cu acești indicatori este aplicabilitatea lor în practică. Nici un silvicultor nu ar fi probabil dispus să calculeze, de exemplu, gradul de precipitații anuale (Rehfeldt și colab., 2002) al teritoriului de reîmpădurire și toate sursele FRM potențiale pentru a decide care este sursa FRM. Cu toate acestea, astfel de indicatori pot fi utilizați în sistemele automatizate de susținere a deciziilor bazate pe sistemul de informații geografice (GIS), care încorporează distribuțiile geografice ale variabilelor climatice.

Alternativ, regulile de transfer au fost generate de alte abordări statistice și geo statistice. Beaulieu, Perron și Bousquet (2004) și Campbell (1986) au propus evaluarea relativă a riscului, bazată pe mărimea neconcordanței dintre curbele normale ale distribuțiilor genotipice ale localităților și proveniențelor transferate la locul plantării. Hamann și colab. (2000) a prezis performanța surselor de semințe în locații necunoscute, cu criptare obișnuită pe baza datelor de proveniență din locurile de testare și a generat orientări privind transferul semințelor prin analiza principală a componentelor normelor de reacție prevăzute. Hamann, Gylander și Chen (2011) au aplicat la arbori regresia multivariată pentru a împărți variabilitatea genetică, utilizând un set de variabile prezicătoare de mediu sau geografice ca și criterii de compartimentare într-o serie de diviziuni dihotomice ale setului de date genetice, din nou bazate pe date provenite din studii de proveniență. St Clair, Mandel și Vance-Borland (2005) au identificat relațiile dintre diferite trăsături și variabilele de mediu la locațiile sursă prin analiza canonică de corelare. Ecuațiile de regresie au fost apoi utilizate pentru a schimba variabilitățile genetice ca o funcție a mediului, folosind instrumente GIS.

Deduția despre populațiile naturale provenite din studiile de proveniență sunt asociate cu mai multe avertismente. Una se aplică naturii a ceea ce numim "proveniență" și reprezentativitatea probelor de proveniență pentru populația maternă. Semințele pentru stabilirea proceselor, în special atunci când sunt organizate experimente internaționale extinse, pot fi obținute, în unele cazuri, din loturile comerciale de semințe. În acest caz, acestea ar putea reprezenta un amestec de numai câteva familii cu polenizare deschisă, uneori colectate dintr-un singur arboret, și reprezintă de obicei cultura de semințe de un an. Chiar și atunci când un lot de semințe este recoltat de la mai mulți arbori mamă, este posibil să nu reprezinte în mod corespunzător structura genetică a întregului arboret mamă. Într-un an de recoltă slabă, doar unii arbori participă la fertilizare. Mai mult, structurile genetice s-au dovedit a fi diferite semnificativ, de asemenea, între catargul culturilor anuale (Konnert și Behm, 2000).

O altă problemă este asociată cu modul în care sunt stabilite experimentele. În mod tipic, puieții sunt cultivați în condiții de îngrijire optimă și apoi plantați în câmp. Oportunitățile de

selecție naturală în stadiile juvenile sunt în mare măsură elucidate de practici în pepinieră. Mortalitatea precoce este condiționată pe distanțe mari, controlul vegetației concurente și protecția împotriva erbivorelor mari, a rozătoarelor și a dăunătorilor.

Procesele mai vechi de proveniență nu includ, de regulă, teritorii marginale ecologice și nu acoperă întreaga gamă de distribuție a speciilor (Aitken et al., 2008). Cu vârsta în creștere, mortalitatea nu poate fi evaluată deoarece o parte din arbori trebuie îndepărtați prin rărire, iar numărul arborilor în picioare poate scădea sub limita reprezentativității. Majoritatea studiilor se bazează pe măsurători la vârsta juvenilă. De exemplu, un studiu aprofundat al răspunsurilor climatice ale molidului norvegian în Austria bazat pe un experiment extins (389 de proveniențe pe 29 de situri) a fost publicat de Kapeller et al. (2012); Cu toate acestea, înălțimea la 15 ani a fost folosită aici ca un înlocuitor al vigorii de creștere. Rămâne îndoielnică întrebarea în ce măsură concluziile bazate pe astfel de măsurători pot fi extrapolate la vârsta adultă, care este mai relevantă din punct de vedere practic, cu excepția cazurilor în care trăsăturile corelației juvenil-maturi s-au dovedit a avea un interes mai puternic în experimentele anterioare. În cele din urmă, ideea că experimentele de proveniență pot ghida migrația asistată ca măsură de atenuare a schimbărilor climatice (Mátyás, 1996) se bazează pe substituția spațiu-timp. Nu avem suficiente cunoștințe despre validitatea acestei abordări în acest caz particular. Chiar ținând cont de toate aceste limite, experimentele de proveniență oferă o resursă uriașă pentru ecologia evolutivă și studiile privind schimbările climatice și reprezintă cea mai fiabilă bază pentru recomandările practice.

Studii de caz și recomandări pentru transfer la speciile selectate

Următoarele studii de caz sunt destinate să ilustreze principiile explicate în subsecțiunea anterioară, cu exemple ale acelor specii de arbori pentru care s-au adunat suficiente cunoștințe prin studii genetice anterioare și printr-o gamă largă de experimente de proveniență cel puțin la nivel regional. În consecință, alegerea este părtinitoare față de speciile pe scară largă, importante din punct de vedere comercial, deoarece cercetarea din trecut s-a axat în principal pe acest grup de specii. Deși selecția speciilor este parțial dezechilibrată din punct de vedere al trăsăturilor perioadei de viață, aceasta este cel puțin echilibrată în ceea ce privește distribuția: boreală (pin silvestru), temperat (fag european, brad argintiu), precum și specii mediteraneene (Brad, bradul Bornmüller, brad Nordman, pinul Aleppo, pinul calabrian) sunt reprezentate. Douglasul a fost, de asemenea, inclus ca un exemplu de specie de arbori introdus pe scară largă în silvicultura Europeană.

Pinul silvestru (*Pinus sylvestris*)

Pinul silvestru este o specie pioneră care se regenerează spontan după tulburări majore naturale sau umane, în cazul în care concurența buruienilor și presiunea de pășunat sunt scăzute. Specia crește în principal pe soluri mai sărace, nisipoase, aflorimente stâncoase și de turbă. Specia este polenizată de vânt și are pe același arbore flori masculine și feminine. Înflorirea este regulată; înflorirea feminină începe la vârsta de 20-30 de ani. Florile masculine apare abundant câțiva ani mai târziu. Anii de fructificație sunt relativ frecvenți, dar la limita pădurii boreale, maturarea semințelor este împiedicată de sezonul scurt de creștere; aici anii de fructificație pot să apară rar o dată sau de două ori în 100 de ani (Mátyás, Ackzell și Samuel, 2004). Potențialul ridicat de migrare atât a polenului, cât și a sămânței are ca rezultat un flux de gene efectiv în gama continuă, provocând un model distinct, clinal de variație în cadrul speciei, cel puțin pentru trăsăturile adaptive. Acesta este, de obicei, cazul caracterelor fenologice și de creștere, care sunt determinate în principal de temperatură. Selecția pinului silvestru ca specie model pentru studiile de caz a fost motivată de importanța comercială și forestieră a pinului silvestru în părți mari ale distribuției sale native, care acoperă întreaga gamă Euro-Siberiană, din cele mai răspândite specii de arbori de pe pământ.

Spre sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, semințele de arbori forestieri au fost transferate în Europa fără nici o reglementare. S-au importat în Germania din Belgia, Franța, Austria, Ungaria și Rusia (Lüdeman, 1961). În Suedia și Livonia (în prezent, nordul Letoniei și sudul Estoniei) s-au înregistrat rezultate slabe în ceea ce privește semințele din Europa Centrală, în special semințele din pinul "Pfälzer" din Sud-Vestul Germaniei, care de atunci are o reputație proastă (Langlet, Meikar și Tamm, 2003). Această experiență a subliniat importanța originii materialului de împădurire. Pentru speciile de pini silvestru au fost stabilite numeroase teste de proveniență (Giertych, 1991). Rezultatele arată o diferențiere semnificativă a creșterii în rândul populațiilor în ceea ce privește transferul pe distanțe lungi al FRM. În general, transferul populațiilor nordice de la paralela 57-67 ° N spre Sud duce la creșterea înălțimii și volumul tulpinilor (Giertych, 1979; Oleksyn și Giertych, 1984). În același timp, populațiile provenind din partea centrală a gamei de specii din Europa cresc, la fel, sau mai bine decât cele provenite din zonele de Nord. Acest lucru indică faptul că populațiile din Europa Centrală a speciilor de pin silvestru au un potențial de creștere mai mare decât populațiile Nord-Europene. Modelarea statistică a arătat că schimbările climatice pot conduce la reacții rapide de plasticitate în populațiile contemporane de pin silvestru, inclusiv pierderi mari de creștere și productivitate în partea Centrală și de Sud a Europei de Est, pierderi modeste de creștere și productivitate de-a lungul periferiei sudice a distribuției speciilor în Asia și câștiguri de productivitate în partea de Nord și Est a intervalului de distribuție (Rehfeldt et al., 2002). Rezultatele indică faptul că

experimentele de proveniență pot fi utilizate în mod eficient pentru a prognoza reacțiile de răspuns la creșteri ale FRM transferate în noile condiții de mediu.

Fag european (*Fagus sylvatica*)

Fagul european este un exemplu de specie larg răspândită, cu distribuție mai mult sau mai puțin continuă, în centrul zonei, deși populațiile mici și izolate apar la marginile exterioare sau interioare. Ca o specie polenizată de vânt, este de așteptat să se prezinte în mod accentuat circulația de gene și să se manifeste un nivel ridicat al fluxului de gene, ceea ce a fost confirmat parțial de studii genetice (Merzeau et al., 1994). În ciuda acestui fapt, structurile genetice spațiale în interiorul spațiului indică modele puternice de izolare-localizare (Chybicki et al., 2009). Istoricul glacial și migrația Holocenă a fagului diferă la majoritatea speciilor europene de arbori. Deși au existat mai multe refugii glaciare în sudul Europei, multe populații refugiate nu s-au extins sau au colonizat numai zone restricționate, deoarece răspândirea a fost blocată de câmpiile joase cu râuri mari. Partea majoră a arealului actual al fagului (cu excepția Italiei și a Balcanilor de Sud) a fost colonizată dintr-o singură sursă, localizată în Slovenia și Istria (Magri et al., 2006). Aceasta explică diferența relativ scăzută pentru locii nucleelor neutre observate în general la fagul european. Bazele genetice inițiale ale fagului supuse selecției naturale au fost relativ omogene, cu excepția unei scăderi treptate a bogăției alelice față de intervalul de timp cauzat de efectele fondatoare recurente în timpul migrației holocenului (Comps et al., 2001), care a fost doar parțial compensată de fluxul de gene. Prin urmare, modelele clinale pentru mai multe trăsături fenotipice (în special fenologie și rezistență la frig) observate în experimentele de culturi comparative sunt puțin probabil să rezulte din izolarea pe distanțe mari și pot fi atribuite adaptării.

La începutul anilor 1990, a fost stabilit un experiment de proveniență internațională a fagului, care conținea 202 surse de semințe plantate în două reprize de plantare (studii de teren), cuprinzând 23 și, respectiv, 24 plantații. Aceste studii sunt localizate în 21 de țări europene. Peninsulele Apenini și Balcani sunt puternic subreprezentate în ceea ce privește colectarea materialului testat în acest experiment.

În perioada 2006-2010, o evaluare integrată a experimentului de proveniență a fagului a fost realizată în cadrul unei acțiuni COST. În general, sit-urile de încercare s-au dovedit a avea cel mai important efect asupra supraviețuirii și creșterii (componentele de variație respective au variat între 30% și 70% din variația totală). Efectul originii sursei de semințe a fost considerabil mai mic, în proporție de la 0% până la 7%. În același timp, pentru majoritatea trăsăturilor de creștere, cu o componentă de variație de 4% până la 21% (Alía et al., 2011), s-a observat o interacțiune semnificativă a provenienței $\times$ sit experimental. Când s-au înregistrat valori medii

pentru situri, nu a fost identificată o tendință geografică clară în ceea ce privește performanțele proveniențelor individuale pentru supraviețuire ci doar o corelație slabă cu parametrii de latitudine și climă a locului de origine a fost observată pentru creșterea înălțimii. Nu a existat, de asemenea, un model clar spațial al stabilității proveniențelor (model de regresie comună Finlay-Wilkinson). În ceea ce privește creșterea înălțimii, se pare că există populații care funcționează bine într-o gamă largă de condiții de mediu.

În ciuda interacțiunilor semnificative $G \times E$, care ascund tendințele spațiale globale în ceea ce privește creșterea și supraviețuirea, răspunsurile provenienței la transfer arată modele geografice destul de clare. Gömöry (2010) a analizat funcțiile de răspuns la nivel de proveniență. El a găsit modele geografice clare pentru aproape toate combinațiile de răspuns și variabilele climatice și geografice fundamentale. În general, corelațiile dintre ratele de transfer optime și variabilele fundamentale au fost puternice și semnificativ negative, în timp ce mediile optime au fost aproape identice pentru toate proveniențele. Aceasta indică faptul că amploarea adaptării locale este destul de limitată, probabil datorită plasticității fenotipice mari ai fagului.

Mátyás și colab. (2011) a constatat că performanța de creștere a populațiilor de fag la limita xerică a distribuției se deteriorează, în general, cu transferul în climatul mai continental (cum este cuantificat de indicii Ellenberg). La nivelul provenienței, există o diferențiere marcată. Condițiile marine arată o îmbunătățire a performanței cu încălzirea și condițiile mai uscate, în timp ce populațiile continentale prezintă opusul. Rezultatele propun o relație între originea climatului și caracterul răspunsului la schimbările climatice.

Fenologia vegetativă de primăvară și de toamnă este, în general, considerată o trăsătură importantă de comportament. O evaluare cuprinzătoare a spălării frunzelor făcută de Robson și colab. (2011) a confirmat că acumularea de căldură în timpul iernii și primăvara ($\text{grad-ore} > 5^\circ \text{C}$) este cel mai important determinant al calendarului înmuguririi, dar și rolul foto periodicității, în perioada rece și seceta de vară pot juca un rol. Durata totală a timpului mediu de intrare în vegetație a proveniențelor a fost de 11 până la 12 zile, aproape independent de locul de plantare. Indiferent de altitudine, există o tendință generală ca provinciile din Sud-Estul Europei în regiunile mediteraneene și continentale calde să se intre în vegetație mai devreme în comparație cu proveniențele târzii din Nordul și Vestul Europei, unde influențele oceanice asupra climei sunt puternice.

Gömöry și Paule (2011) au arătat că daunele cauzate de înghețurile târzii sunt aproape în întregime determinate de data de intrare în înmugurire. Corelațiile puternice dintre creșterea înălțimii / diametrului și lungimea sezonului de vegetație indică faptul că timpul de la apariția circulației sevei până la apariția frunzelor este condiționată evolutiv între utilizarea eficientă a vegetației pentru fotosinteză și evitarea deteriorării prin îngheț. Dacă înghețurile târzii devin

frecvente în urma schimbărilor climatice, transferul materialului de reproducere din Vest spre Est poate deveni o opțiune viabilă de atenuare. Robson și colab. (2011) a sugerat luarea în considerare a proveniențelor din Sud-Vestul Europei pentru utilizarea ulterioară în contextul schimbărilor climatice, deoarece acestea sunt adaptate la mediul mediteraneeen și totuși intrarea în vegetație relativ târzie și, prin urmare, pot fi propuse pentru a rezista la schimbările climatice fără a fi susceptibile de îngheț. Cu toate acestea, proveniențele respective sunt de obicei mai puțin productive.

Bradul alb (*Abies alba*)

Bradul este un exemplu de specie de rășinoase care a suferit reduceri serioase în ultimele secole, în principal prin influența umană (preferințele silvice pentru monoculturile de molid din Norvegia). Arealul său natural se întinde de la paralela 52 ° N (nordul Germaniei) până la paralela 38 ° N (sudul Italiei) și de la meridianul 22 ° E (estul României) până la meridianul 03 ° W (Pirineii de Vest) (Cremer, 2009). Distribuția sa este caracterizată de un nucleu central în Europa Centrală și de Est și o zonă marginală fragmentată, cu populații izolate. Bradul este o specie de rășinoase monoică polenizată de vânt, semințele sale sunt dispersate în principal prin vânt.

În pădurile montane mixte din Europa centrală, bradul prezintă un rol specific ca element stabilizator datorită sistemului său radicular adânc și a capacității sale de a regenera și supraviețui perioade lungi la umbră (Cremer, 2009, Schütt, 1994). În contextul schimbărilor climatice, bradul alb este promovat de planurile de management în multe părți din arealul său natural de distribuție, deoarece este considerată ca o alternativă cu risc scăzut față de molidul din Nordul Norvegiei (*Picea abies*) (Brosinger, 2011).

Din numeroase studii genetice, se știe că, în rezultatul perioadei migrației după ultima epocă de gheață, influența umană asupra ecosistemelor forestiere și a proceselor de selecție naturală, bradul prezintă un nivel ridicat de diferențiere genetică atât la nivel macro, cât și la micro geografic (Konnert și Bergmann, 1995; Konnert, 1993; Vendramin și colab., 1999; Liepelt și colab., 2008). Variabilități genetice ridicate au fost găsite în Calabria (Bergmann, Gregorius și Larsen, 1990; Vicario et al., 1995; Camerano și colab., 2012), întrucât populațiile de la marginea de Nord a distribuției naturale în Nord de Bavaria, Turingia și Saxonia prezintă o diversitate genetică foarte scăzută (Konnert 1993; Llamas, 1994). În această zonă, bradul este în general de proastă calitate și prezintă simptome de declin. Rezultatele recoltelor din aceste arborete au, fără excepție, o proporție mare de semințe goale, indicând o depresiune genetică.

Diferențele genetice mari sunt ilustrate și de o variabilitate a trăsăturilor adaptative (Sagnard, Barberot și Fady, 2002) și de comportamentul de creștere în studiile de proveniență

(de exemplu, Wolf, 1994, Commarmot, 1995, Ruetz, 2002). Chiar și proveniențele din aceeași regiune microgeografică (de exemplu, Calabria) diferă semnificativ în ceea ce privește creșterea înălțimii și data începerii înmuguririi (Hansen și Larsen, 2004).

Primele culturi comparative de proveniență pentru brad au fost instalate în anul 1905 de Engler în Elveția (vezi Pavari, 1951). În 1924, Italia și Franța au inițiat culturi comparative internaționale cu 20 de proveniențe din Pirineei, Alpi și Apenini (Pavari, 1951). Rezultatele au arătat o rată superioară de supraviețuire și rezistență la efectele secetei pentru provinciile din Sud (în special din Calabria) și o rezistență mai mică la condițiile climatice mai continentale, comparativ cu proveniențele din regiunea alpină. Dispoziția mai puternică "oceanică" a provenienței calabriene Serra S. Bruno a fost confirmată de un test efectuat în două locuri în Danemarca (Hansen și Larsen, 2004) pe 13 provincii din Sudul Italiei (Calabria), Italia centrală, Germania (Pădurea Neagră), România (Carpații) și Danemarca. Înălțimea după 15 ani, începerea înmuguririi și mortalitatea au variat semnificativ între proveniențe. În special, în studiul de teren, care a fost bine protejat împotriva înghețului târziu de primăvară și a înghețului timpuriu de toamnă de către un adăpost de lemn de zada, sa observat o mare variație în creșterea înălțimii.

Între anii 1986 și 1989 a fost stabilit un studiu de proveniență a bradului în Sudul Germaniei (Ruetz, Franke și Stimm, 1998). Un total de 21 de proveniențe care acoperă întreaga gamă de distribuție naturală au fost plantate în șapte locații. După 20 de ani, proveniențele din Carpați în România și Slovacia au arătat cea mai bună creștere și cea mai mică mortalitate. Dintre provinciile din Europa Centrală, cei din Munții Vosges din Franța și din Sud-Vestul Germaniei (Pădurea Neagră) au avut o performanță deosebită. Creștere medie a fost întâlnită în provinciile din Franța de Vest, Italia, Macedonia și populațiile de la granița de Nord a arealului natural de distribuție din Nord-Estul Bavariei. Populațiile din Calabria și Serbia au avut rate mari de mortalitate (Ruetz, 2002). Pe baza rezultatelor inventarelor genetice și a studiilor de proveniență, se recomandă plantarea bradului din regiunea Carpatică, în special din Slovacia și România, pentru a îmbunătăți situația bradului în Sud-Estul Germaniei. O condiție prealabilă este că materialul cu identitate demonstrabilă este disponibil (verificarea originii prin intermediul metodelor genetice este posibilă și efectuată la întâmplare). Această recomandare se bazează pe motive practice și nu include niciun fel de considerații privind schimbările climatice.

Brazii Mediteraneeni

Unsprezece specii de brad adunate sub numele de brazi mediteraneeni, se găsesc în regiunea mediteraneeană. Ei cresc la înălțimi mai mari, între 800 m și 2800 m, în funcție de latitudine, de la Pirinei, până la Alpi, Apenini, Sicilia și Balcani (*Abies alba* Mill., *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei, *Abies borisii-regis* Mattf., *Abies cephalonica* Loud.), la Pontul

Turc și Orientul Apropiat (*Abies bornmuelleriana* Mattf., *Abies cilicica* (Ant. Et Kotschy) Carr., *Abies equi-trojani* Aschers et Sint.) Mattf., și arealul Caucazului (*Abies nordmanniana* (Stev.) Spach.). Grupul occidental de specii se extinde până la peninsula Iberică (*Abies pinsapo* Boiss) și spre munții Atlas din Africa de Nord (*Abies marocana* Trabut., *Abies numidica* Carr.). Aceste specii pot produce hibrizi în zone în care arealele se suprapun, cum ar fi *A. borisii-regis* (Panetsos, 1990) sau variante geografice, de ex. între *Abies bornmuelleriana* și *A. equitrojani* (Ata, 1990). Similar cu *Abies alba*, diferențierea genetică a brazilor mediteranieni prezintă în general un model geografic atât în markerii neutri, cât și în trăsăturile fenotipice (Fady and Conkle, 1993, Parducci *et al.*, 2001, Ducci *et al.*, 2004).

Arealul de distribuție a unor brazi mediteraneeni este foarte fragmentat și adesea redus la populații unice, împrăștiate și izolate, caracterizate printr-o dimensiune foarte redusă. *Abies nebrodensis*, *A. pinsapo* și *A. numidica* sunt cele mai periclitare specii în ceea ce privește schimbările climatice, cu o așteptată modificare în sus a zonelor de altitudine.

În anii '70, în cadrul rețelei IUFRO au fost înființate mai multe studii internaționale cu speciile de brad mediteraneene. Unul dintre primele teste a fost stabilit cu participarea Franței, Italiei și Greciei, care conține proveniențe ale *Abies bornmuelleriana*, *A. equi-trojani*, *A. nordmanniana* și *A. alba*. În același timp, FAO *Silva Mediterranea* a extins studiul cu proveniențe de *Abies cephalonica*, care au variat considerabil în ceea ce privește supraviețuirea și creșterea.

În Italia și în Grecia (Panetsos, 1990; Ducci *et al.*, 2011), populațiile din *A. cephalonica* din Mainalon (Veti și Kapo), Parnassos (Koro și Mevr) și Cephalonia Island (Ceph) a avut cele mai bune rezultate, deși ultima denumire a fost sensibilă la înghețul târziu de primăvară. În sudul Franței, proveniențele grecești Mainalon și Parnon au obținut cele mai bune rezultate și, prin urmare, au fost recomandate pentru împădurire (Fady, 1993). În plus, *A. cilicica* are un potențial interesant în același domeniu bioclimatic ca *A. cephalonica*. Chiar dacă *A. bornmuelleriana* și *A. equi-trojani* sunt interesați de Sudul Franței, cultivarea lor ar trebui să se limiteze la situri acide, înălțimi ridicate și zone înalte cu precipitații.

Printre brazii regiunii Pontice, *A. bornmuelleriana* sa dovedit a avea o mare vigoare chiar și în condiții relativ aride. Proveniențele *A. bornmuelleriana* din Kangal și Arag și proveniența *A. equi-trojani* din Kazdag au arătat performanțe bune atât pentru creșterea în înălțime, cât și pentru cele în diametru, în timp ce proveniențele *A. nordmanniana* au prezentat cele mai slabe rezultate. Datorită popularității *A. nordmanniana* și *A. cephalonica* ca pom de Crăciun, materialul reproductiv al acestor specii este răspândit în întreaga Europă.

Pinii mediteraneeni din grupul *halepensis* (*Pinus halepensis* și *Pinus brutia*)

Pinus halepensis și *P. brutia* se numără printre cele 11 specii de pini care cresc în zona bioclimatică mediteraneeană. Ele sunt specii pioniere, remarcabile, rășinoase, ce cresc la altitudine joasă, cu distribuție extinsă în bazinul mediteraneean. Abilitatea ambelor specii de a se dezvolta în condițiile climatice nefavorabile din regiunea mediteraneeană, combinată cu creșterea lor rapidă pe situri favorabile, le fac specii multifuncționale foarte importante pentru silvicultură, în timp ce capacitatea lor de a suporta incendiile forestiere prin mecanisme specifice face de neînlocuit aceste ecosistemele mediteraneene speciale și uneori delicate (Aravanopoulos *et al.*, 2004; Alizoti, Bailian & Panetsos, 2004, Chambel și colab., 2013).

Testarea provenienței a fost lansată la începutul anilor 1970 în majoritatea țărilor mediteraneene, în urma inițiativelor internaționale coordonate de FAO și IUFRO, care au dus la colectarea semințelor provenite din 50 de proveniențe (33 de *P. halepensis* și 17 de *P. brutia*) la numeroase studii de proveniență ale celor două specii din întregul bazin mediteraneean. Ulterior, alte inițiative internaționale de colaborare au exploatat rețeaua deja existentă și au stabilit, de asemenea, noi studii pentru cele două specii (FAO *Silva Mediterranea*, proiectele IUFRO și UE). În Grecia, Italia, Franța, Spania, Israel, Maroc și Tunisia s-au stabilit studii de proveniență pentru *P. halepensis*, în timp ce studiile pentru *P. brutia* se află în principal în Turcia, Grecia, Franța și Italia. Scopul studiilor de proveniență nu este doar evaluarea supraviețuirii și dezvoltării celor două specii, ci și potențialul lor adaptativ în condiții de mediu diferite și uneori limitative (Chambel *et al.*, 2013).

Rezultatele rețelelor de studii prezentate mai sus indică existența unei plasticități ridicate pentru trăsăturile de creștere și a interacțiunii semnificative $G \times M$ (genotip cu mediul) de-a lungul siturilor. Clasificarea relativă a proveniențelor tinde să rămână destul de stabilă, ceea ce indică faptul că interacțiunea $G \times M$ este mai degrabă cantitativă și nu calitativă (Chambel *et al.*, 2013). Interacțiunea $G \times M$ pentru trăsături precum forma tulpinii și rezistența la îngheț a fost mai mică decât cea a trăsăturilor de creștere, atât la o specie cât și la un nivel de proveniență. Rezultatele indică, de asemenea, existența diversității genetice adaptive ample pentru ambele specii, cu proveniențe *P. halepensis* fiind, în general, mai tolerante la stres, în timp ce proveniențele *P. brutia* sunt mai puțin susceptibile la pagube produse de îngheț (Calamassi, Falusi și Tocci, 1980; Falusi, Calamassi și Tocci, 1983; Calamassi, Falusi și Tocci, 1984; Grunwald și Schiller, 1988; Atzmon, Moshe și Schiller, 2004; Voltas și colab., 2008). *P. brutia* sa dovedit a fi mai rezistentă la insecta *Pissodes notatus* (Ducci și Guidi 1998). *Pinus halepensis* prezintă o linie de Nord-Est - Sud-Vest pentru trăsăturile adaptive, proveniențele Nord-Estice indicând rate de creștere timpurie mai bune și forme mai bune decât cele provenite din Sudul Iberiei și Nordul Africii (Chambel *et al.*, 2013). Tendințele geografice similare pentru alocarea timpurie a reproducerii au fost, de asemenea, raportate de către Climent *et al.* (2008), indicând

faptul că populațiile din Estul și Nordul țării sunt mai puțin precoci în ceea ce privește menținerea conului decât proveniențele din Sudul Iberiei și Nordul-Africii. Diferențele de creștere și trăsăturile adaptative au fost, de asemenea, relevate pentru populațiile de *P. brutia* care crește la diferiți gradienti altitudinali (Kaya și Isik, 1997; Pichot și Vauthier, 2007). Studiile Eco fiziologice efectuate asupra proveniențelor *P. halepensis* în condiții dure de mediu, aproape deșertice, au arătat existența unei variabilități semnificative inter- și intra-proveniențe și au arătat că populațiile care prezintă heterozigozitate mai ridicată, rezistență la secetă mai mare și randament la apărare au supraviețuit și au avut o performanță mai bună Schiller și Atzmon, 2009; Klein și colab., 2013). În ceea ce privește diversitatea genetică neutră, au fost înregistrate niveluri ridicate de diferențiere printre populații, dar destul de scăzute în populație, cu o tendință de creștere de la Vest la Est. Sa sugerat că modelele genetice menționate mai sus au apărut datorită unei combinații de factori, cum ar fi climatul pleistocen, strategiile migrației speciilor și impactul incendiilor devastatoare (Fady, Semerci și Vendramin, 2003; Fady, 2012). Este de așteptat ca schimbările climatice să aibă ca rezultat creșterea temperaturii și secete mai pronunțate și frecvente în bazinul mediteraneean. În regiunile din regiunea mediteraneeană nordică, însă, a fost înregistrată o creștere a extinderii distribuției *P. halepensis* în fața schimbărilor climatice pentru (Rathgeber et al., 2000; Thuiller, 2003). La marginea distribuțiilor ambelor specii a fost înregistrată o scădere notabilă a creșterii prin metode dendrocronologice, adică pentru *P. halepensis* în zonele de coastă foarte uscate din Sud-Estul Spaniei (De Luis et al., 2007) și pentru *P. brutia* în unele insule grecești din Marea Egee (Körner, Sarris și Christodoulakis, 2005; Sarris, Christodoulakis și Koerner, 2007). Deteriorarea prin îngheț poate reprezenta un alt risc pe care *P. halepensis* îl poate întâmpina, în special, în zonele montane sau continentale din cauza schimbărilor climatice, având în vedere lipsa rezistenței speciei la temperaturi scăzute și schimbările de temperatură bruscă așteptate datorate încălzirii globale (Fernández et al. 2003; Climent și colab., 2009).

Transferul de *P. brutia* FRM din Turcia este în prezent aprobat în mai multe țări, adică Italia, Franța și Spania. Mai exact, în Italia, materialul importat este cel care a prezentat cea mai bună supraviețuire și performanță în studiile FAO / *Silva Mediterranea*. Materialul forestier de reproducere de *P. halepensis* este produs în țările mediteraneene prin materiale genetice prelevate din regiuni de proveniență națională și din arboretele surse de semințe. Folosirea materialului de reproducere introdus și neadaptat de *P. halepensis* (adică proveniențele algeriană și italiană) în scopuri de împădurire în Sudul Franței a avut ca rezultat o mortalitate ridicată datorată pagubelor cauzate de îngheț și temperaturile reci de iarnă (Tabeaud și Simon, 1993; Bedel, 1986). Având în vedere toate cele de mai sus, se recomandă utilizarea materialului forestier de reproducere de *P. halepensis* de proveniențe națională, pe baza rezultatelor obținute

din rețelele studiilor experimentale existente. Materialul genetic care s-a dovedit a fi tolerant la condițiile extreme, aproape deșert, ar putea fi luat în considerare pentru plantarea în situri cu indicatori potențiali de temperatură ridicată și secetă. Transferul și utilizarea materialului forestier de reproducere de *P. brutia* ar trebui să se bazeze pe cerințele speciilor și limitele de adaptare, precum și pe rezultatele obținute în urma studiilor la faza de teren.

Duglas (*Pseudotsuga menziesii*)

Duglasul are unul dintre cele mai largi areale naturale din orice specii de arbori și cea mai mare distribuție Sud-Nord dintre toate rășinoasele folosite în comerț în America de Nord, care se extinde de la paralela 19 ° N în Mexic până la paralela 55 ° N în Vestul Canadei. În această zonă geografică mare, cu condiții climatice puternic opuse, duglasul ocupă multe habitate. Populațiile sunt în general considerate a fi adaptate foarte bine la condiții de mediu diferite. Două varietăți ale speciei sunt recunoscute: variabilitatea tipică de coastă sau variabilitatea verde (*var. Menziesii* sau *viridis*) se întinde de la insula Vancouver și de la munții de coastă din Columbia Britanică de-a lungul pantei Pacificului până în California și are o distribuție aproape continuă de la nivelul mării la o altitudine de aproximativ 1800 m. Pe versantul Estic al cascadelor și în Munții Stâncoși din nordul Columbiei Britanice în Sud-Vestul Statelor Unite ale Americii și Mexic, botanicii recunosc varietatea *glauca*, cunoscută și ca și duglas "interior" sau "albastru". Această varietate diferă de *menziesii* prin culoarea frunzelor, forma conului, rata de creștere și cerințele față de condițiile de mediu. Are o distribuție izolată, mai ales în Sud și un areal mai mare de înălțimi, de 500 până la 3500 m. Această varietate se amestecă cu varietatea de coastă din Sudul Columbiei Britanice și Nord-Estul Washingtonului (Hermann, 1985).

Duglasul (*Pseudotsuga menziesii*) a fost cultivat în Europa de peste 120 de ani și este una dintre cele mai importante specii introduse în multe țări Europene. Pe lângă condițiile de amplasare și tratamentul forestier, proveniența este crucială pentru introducerea cu succes a acestei specii non-native. Până la sfârșitul anilor 1960, în majoritatea cazurilor de import, nu s-a știut nimic despre proveniențele introduse. La mijlocul anilor 1960, zonele de recoltare de semințe pentru duglas au fost stabilite în Pacificul de Nord-Vest. În același timp (1967-1968), a fost inițiat un studiu de proveniență IUFRO cu proveniențe din Oregon și statul Washington din Statele Unite ale Americii și din British Columbia în Canada. Mai mult de 120 de proveniențe au fost plantate în peste 100 de teste pe teren în 33 de țări din întreaga lume, dar mai ales în Europa. Acesta este unul dintre cele mai mari studii internaționale de proveniență instalate pentru arbori forestieri. Există și alte studii numeroase (Kleinschmit și Bastien, 1992). În 1990, cercetătorii de la INRA-Orleans au prezentat rezultate la scară largă pe baza datelor colectate din 108 de studii și din 20 de instituții din 15 țări (Breidenstein, Bastien și Roman-Amat, 1990). Rezultatele acestui studiu demonstrează o adaptare mai bună și o creștere mai bună a proveniențelor de

coastă (var. *Menziesii*) în toate siturile Europene. În Europa Centrală, proveniențele cu cele mai bune performanțe au provenit din statul Washington (sub 600 de unități), în timp ce proveniențele din nordul Oregonului au crescut rapid numai pe siturile cu un climat blând. În general, mortalitatea a fost scăzută până la moderată în aproape toate locurile (15-30%). S-a observat o mortalitate mai mare la proveniențele din Columbia Britanică, în timp ce proveniențele statului Washington au prezentat cea mai mică mortalitate. În aproape toate testele, proveniențele varietății *glauca* (duglas interior) au prezentat o supraviețuire excelentă în primii ani (Kleinschmit et al., 1974, 1991), dar performanțele slabe de creștere în etapele ulterioare.

În regiunea mediteraneeană și în special în Italia, câteva zeci de mii de hectare de duglas plantate cresc în lanțuri montane cu performanțe foarte bune și caracteristici tehnice bune. În acest domeniu, au fost comparate mai mult de 120 de proveniențe din Columbia Britanică până în California, New Mexico și interior, cu proveniențele introduse mai devreme în Italia. Rezultatele arată că pentru Italia cele mai adecvate proveniențe sânt din zona de coastă din Oregon și California (înălțimi mai mari). Toate aceste proveniențe au arătat, în general, o interacțiune scăzută $G \times M$, performanță foarte bună, rată de supraviețuire ridicată, procentaj scăzut de arbori înfurciți, forma tulpinii bună și număr scăzut de ramuri. De asemenea, unele terenuri italiene se situează printre cele mai bune, în special proveniența calabriană Mercurella și arboretele de semințe din nordul Toscanei, Acquerino (Ducci et al., 2003). În Spania, cele mai bune materiale au provenit din Nordul Oregonului și din Sudul Washingtonului de la latitudini nordice de 45 ° N (Zas et al., 2003).

Ca o concluzie a acestor teste, se oferă recomandări pentru selectarea proveniențelor pentru diferite situri de plantare din întreaga Europă. În Europa Centrală și de Est, alegerea materialului reproductiv de duglas este limitată la zona de înălțime mijlocie a arealului Cascadelor din Nordul statului Washington, deoarece proveniențele de la latitudine și înălțime mare au rate de creștere lentă. Numai la siturile cu un climat dur, proveniențele de duglas de la înălțimi mari ar putea fi interesante. În Europa sudică și mediteraneeană, proveniențele de la înălțimi joase din Nordul Oregonului și la Sud de Washington par a fi de mare interes.

Colecția de proveniență IUFRO a stimulat numeroase alte colecții de semințe pentru duglas în anii 1970. De exemplu, pentru a rafina recomandările de proveniență din Sudul Germaniei (Bavaria), au fost instalate mai mult de douăzeci de teste suplimentare în teren între 1971 și 1976. Acestea includ proveniențe din care se așteaptă rezultate promițătoare, inclusiv o probă de altitudine de până la 1000 de mii în unele zone (Ruetz, 1987). Ca urmare a acestor încercări, au fost elaborate noi orientări pentru importul și utilizarea semințelor de duglas pe baza regiunilor de proveniență și altitudinii (Ruetz, 1987). Aceste linii directoare au făcut, de asemenea, parte din recomandările de proveniență din Bavaria. Pentru regiunile fără secetă de

vară, se recomandă proveniențe din panta de Vest a Cascadelor din Washington de la înălțimi joase și medii. Pentru regiunile cele mai blânde din Bavaria și pe zonele uscate, sunt preferate proveniențele din Nordul Oregonului și din panta de Est a Peninsulei Olimpice din statul Washington. Proveniențele de pe intervalele de coastă ale Washingtonului au avut rezultate bune, în general, și au suferit puțină pagubă cauzată de înghețul de primăvară. Astfel, acestea sunt recomandate în special pentru zonele susceptibile de înghețuri de primăvară târzie.

PROVOCĂRI ȘI OPORTUNITĂȚI

Potențialul de creștere a arborilor pentru a satisface nevoile de conservare și provocările legate de schimbările climatice

Activitățile de creștere a arborilor diferă în ceea ce privește intensitatea, focalizarea și impactul asupra silviculturii în diferite regiuni ale Europei. Programele intensive de creștere s-au concentrat, în general, pe câteva specii forestiere. De obicei, creșterea este organizată ca un ciclu recurent de selecție, testare și producție. Creșterea intensivă poate duce la pierderea diversității, dar oferă și posibilitatea de a crește substanțial diversitatea printr-o gestionare corespunzătoare a resurselor genetice utilizate.

Creșterea este un instrument pentru a face față schimbărilor climatice. Controlul factorului genetic prin îmbunătățirea arborilor este de așteptat să producă arbori care sunt mai bine adaptați la anumite condiții de mediu. Deoarece efectul combinat al creșterii temperaturilor și scăderii precipitațiilor, adică stresul provocat de secetă, este considerată o problemă majoră asociată cu schimbările climatice, plantarea arborilor rezistenți la secetă poate reprezenta o opțiune de atenuare. Pericolul provocat de secetă este o trăsătură cu iritabilitate moderată (Cumbie et al., 2011, Newton et al., 1991), astfel încât există potențial de îmbunătățire genetică. Mai multe programe actuale de reproducere includ toleranța la secetă (Butcher, 2007, Dalla-Salda et al., 2009), rezistența la dăunători și agenți patogeni (a căror incidență este așteptată să crească odată cu schimbările climatice), fenologia vegetativă și înfloritoare sau caracterele fiziologice ca trăsături țintă. Dezvoltarea recentă a genomicii arborilor forestieri, în special progresarea descoperirii SNP relevante din punct de vedere biologic prin intermediul asocierii genetice, poate accelera considerabil progresele în acest sens (Hamanishi și Campbell, 2011; Neale și Kremer, 2011). Se efectuează cercetări pentru identificarea genelor pretendente care au legătură cu trăsăturile care vor răspunde schimbărilor climatice (înmugurirea, formarea mugurilor, rezistența la ger, rezistența la secetă și eficiența utilizării apei). Cu toate acestea, realizările obținute până în prezent nu se află încă în stadiul introducerii acestor gene (prin traversare sau prin alte mijloace) în speciile comerciale.

Plasticitatea fenotipică, capacitatea unui genotip de a produce fenotipuri diferite în medii diferite, poate fi considerată o trăsătură proprie, care este ereditară și poate astfel să fie supusă selecției. Plasticitatea fenotipică este favorizată de evoluția în medii spațioase și temporale eterogene. Schimbarea fenotipică poate varia nu numai în ceea ce privește cantitatea și modelul, ci și viteza de exprimare, reversibilitatea și capacitatea de a apărea în diferite stadii de dezvoltare (Schlichting and Smith, 2002). Atât eterogenitatea spațială cât și temporală se aplică arborilor

forestieri, care formează populații mari care acoperă, de obicei, o mulțime de microsit-uri climatice și diferențiate din punct de vedere edafic. Ca organisme vii, arborii sunt expuși, de asemenea, la schimbări de mediu, chiar și pe parcursul vieții lor. Termenul a fost aplicat pe scară largă în literatura de genetică a pădurilor, nu întotdeauna în conformitate cu definiția originală, care a fost producția sensibilă la mediu a fenotipurilor *alternative*. Interpretarea termenului a devenit din ce în ce mai liberă, iar cultivatorii de arbori au folosit adesea termenul pentru a exprima amploarea variabilității condițiilor staționale, tratată cu succes de populație sau de genotip. Prin urmare, este recomandat să se utilizeze în schimb termenul de **stabilitate fenotipică** pentru a exprima capacitatea de a menține aptitudinea (superioritatea creșterii) într-o gamă largă de stațiuni, depășind adesea populațiile adaptate local. Stabilitatea fenotipică este exprimată prin norme de reacție sau prin funcțiile de transfer calculate din teste comparative, cum ar fi studiile de proveniență. Trăsătura este determinată genetic și devine din ce în ce mai importantă în mediile climatice în schimbare. Programele de reproducere ar trebui să promoveze selecția și îmbunătățirea acestei trăsături.

Definițiile pentru stabilitatea expresivității fenotipice sunt aproape la fel de numeroase ca și aplicațiile lor. În general, măsurile de stabilitate fenotipică încearcă să cuantifice tendința genotipului de a exprima expresivitatea fenotipică constantă în medii diferite (Lynch and Walsh, 1998). În silvicultură, modelele prin care materialul forestier de reproducere diferit (de exemplu, loturile de semințe de la semințele selectate, semințele din familii testate în pepiniere sau clonele de semințe) răspund condițiilor de mediu și sunt determinanții primari ai caracterelor dorite ale materialului forestier de reproducere în diferite condiții de mediu. Stabilitatea performanței materialului forestier de reproducere într-o gamă largă de condiții de mediu este de obicei esențială din punctul de vedere al cultivatorilor. Eliminarea familiilor instabile este o alternativă pentru a reduce impactul interacțiunii $G \times M$ în populațiile de reproducere (Mata, Voltas și Zas, 2012). Mulți autori au sugerat luarea în considerare a stabilității genotipice a stațiunilor ca o trăsătură de selecție în procesele de selecție (Johnson, 1998). Selecția bazată pe parametri de stabilitate reprezintă, de asemenea, o decizie de garanție privind tablourile actuale a schimbării globale. Selecția pentru adaptarea specifică în prezent poate duce mai ușor la ușurarea viitoarelor preocupări de adaptare a materialului desfășurat (Ledig și Kitzmiller, 1992). Înlăturarea familiilor cele mai interactive a redus într-adevăr o interacțiune $G \times M$, dar obținerea unei stabilități aproape deplină a populației de reproducere ar necesita deplasarea a până la 70% din materialul inițial. Acest lucru ar implica o reducere prea mare a variabilității genetice, care, de departe, nu este cea mai bună decizie din punct de vedere al durabilității. Aplicarea unei selecții de intensitate scăzută pentru stabilitate, și anume eliminarea a aproximativ o treime din familiile cele mai interactive, ar trebui să fie opțiunea de alegere, deoarece ar putea reduce substanțial

efectele interacțiunii, păstrând, probabil, o rezervă genetică suficientă pentru activități viitoare în programul de reproducere.

Selectarea este în mod inevitabil asociată cu pierderea variabilității genetice. În cazul fiecărui ciclu de reproducere, se pot pierde gene de joasă frecvență, care se pot dovedi benefice în medii viitoare, atât prin selecție, cât și prin devierea genetică asociată dimensiunilor mici ale populațiilor de reproducere (Godt et al., 2001). În multe țări și pentru multe specii de arbori, materialul îmbunătățit reprezintă o parte substanțială a împăduririi. Acesta este cazul speciilor propagate prin clonare, cum ar fi speciile de plop și sălcie, cu câteva clone cultivate pe zone imense, dar și rășinoase importante din punct de vedere comercial (pinul scoțian și zada europeană), unde majoritatea semințelor sunt produse în livezi de semințe. Opțiunile disponibile pentru sporirea diversității în cadrul materialului de reproducere produs de livezile de semințe sunt polenizarea suplimentară în masă sau suplimentarea loturilor de semințe recoltate în livezi de semințe cu semințe provenite din alte specii sau alte livezi de semințe. Există cel puțin două aspecte ale reproducerii care trebuie subliniate în legătură cu schimbările climatice. În primul rând, trebuie acordată mai multă atenție alegerii mediilor țintă pentru materialul îmbunătățit. Acest lucru necesită o testare adecvată a descendenților, unde testele pe teren sunt stabilite nu numai pe stațiunile optime, ci și în mediile climatice marginale. În mod alternativ, încercările de teren pot fi înlocuite cu teste interne sau în pepiniere cu regimuri de temperatură și irigare dirijată, ori de câte ori este cazul. Dezvoltarea unor proceduri rapide și necostisitoare de testare timpurie pentru toleranța la secetă este, de asemenea, de dorit pentru a accelera desfășurarea clonelor, familiilor și proveniențelor adecvate pentru climatul viitor (Dvorak, 2012). Al doilea aspect este conservarea unei diversități genetice suficiente în cadrul materialului îmbunătățit. Lindgren, Gea și Jefferson (1996) au dezvoltat conceptul de *status number* ca un fel de dimensiune eficientă a populației pentru a monitoriza pierderea diversității genetice în livezile de semințe sau în amestecurile clonale. De asemenea, markerii genetici pot fi utilizați pentru a monitoriza pierderea potențială a genelor. Cu toate acestea, riscul de pierdere a genei este inevitabil, în special în creșterea reproducerii avansate, deși poate fi diminuată prin proiectarea adecvată a reproducerii. Prin urmare, este nevoie de abordări de reproducere care să combine realizarea obiectivelor de reproducere cu măsurile de conservare a genei.

Una dintre provocările majore pentru creșterea arborilor este aceea că obiectivele ridicate ale priorităților de reproducere stabilite astăzi pot avea o importanță limitată atunci când este timpul să se recupereze câștigurile așteptate, în special având în vedere incertitudinea condițiilor de mediu, care se pot schimba dramatic pe o perioadă de rotație și sunt dincolo de orice control uman. În consecință, un program de creștere a reușitei ar trebui conceput astfel încât să corespundă viitoarelor modificări ale obiectivelor de reproducere și ale schimbărilor de mediu.

Sistemul multiplu de reproducere a populației (MPBS) dezvoltat de G. Namkoong poate îndeplini aceste cerințe, deoarece populația de reproducere este împărțită în sub-populații mai mici de dimensiuni egale care sunt plantați preferențial pe un sector mare, în timp ce trăsătura țintă ar putea fi diferită pentru diferite subpopulații. MPBS este structurat ierarhic și pune accentul pe diversitatea inter-populațională într-o serie de populații, atât în trăsăturile vizate de îmbunătățire, cât și în ceea ce privește adaptabilitățile de mediu. În acest fel pot fi evidențiate simultan mai multe vârfuli adaptative, deoarece în cadrul fiecărei sub-populații pot fi selectate combinații de trăsături separate și adaptabilități ale stațiunii pentru aplicarea selecției recurente (Namkoong 1984; Eriksson, Namkoong și Roberts, 1993), în timp ce sistemul poate fi modificat să producă hibrizi de inter populare. Obiectivele de conservare pot fi, de asemenea, îndeplinite prin MPBS ca eșantionare largă pentru a stabili populații multiple, iar dezvoltarea continuă a variabilității inter-populaționale poate asigura existența unei diversități ample pentru a răspunde provocărilor schimbărilor de mediu.

Principalul avantaj al MPBS este că acesta combină captarea totalului existent de variabilități genetice cu o variabilitate satisfăcătoare în cadrul fiecărei sub-populații și permite subpopulațiilor să se adapteze la condițiile de mediu predominante, pe lângă faptul că selecția perturbatoare și, astfel, viteza de evoluție ar putea fi mai mare într-o sub-populație decât într-o populație extinsă de mii de arbori.

Potrivit lui Eriksson, Ekberg și Clapham (2006), MBPS a fost adoptat în Suedia pentru mesteacăn, pinul lodgepole, molidul și programele de reproducere a pinilor și diferite subpopulații ale acestor specii au fost distribuite pe diferite stațiuni și condiții de mediu. Strategia MPBS a fost, de asemenea, adoptată în multe alte programe de reproducere de pe tot globul.

Sistemul de reproducere a nucleului este un alt exemplu al unui sistem de reproducere pe termen lung care are ca scop conservarea genelor și câștigul genetic pe termen lung. Acest sistem împarte populația de reproducere în subpopulații de dimensiuni inegale. Cel mai mic nucleu conține mai puțini arbori, în timp ce partea mai mare include un număr semnificativ de arbori. Cele mai intense eforturi de creștere apar în nucleul mic, în timp ce conservarea și câștigul pe termen lung sunt asigurate în subpopulația mai mare. Transferul materialului genetic de la populația mai mare la nucleu poate minimiza încrucișarea în interiorul nucleului, în ciuda pierderii câștigului genetic.

Reproducerea asistată de marker și abordări genomice

În ultimii 20 de ani, s-au înregistrat progrese importante în evaluarea variabilității neutre a ADN-ului în speciile de arbori utilizând o serie de tehnici moleculare dezvoltate în această perioadă. Isozymes, RFLPs, RAPDs, AFLPs, microsatelit și, mai recent, markeri SNP necodificați, s-au dovedit a fi extrem de valoroși în stabilirea modelelor demografice ale variabilității genetice neutre. Din punctul de vedere al materialului forestier de reproducere, această variabilitate neutră nu oferă nicio informație fenotipică sau adaptativă, care este esențială atunci când se analizează transferul materialului în contextul schimbărilor climatice. Următorul progres tehnologic major va fi probabil să valorifice recenta dezvoltare a unor tehnici de diagnoză accesibile, rapide și informative pentru a evalua un număr mare de gene adaptative și variabilității genetice atât la nivel individual, cât și la nivel de populație. Înțelegerea potențialului genetic adaptativ al populațiilor de arbori forestieri este fundamentală și extrem de important pentru evaluarea vulnerabilității lor la schimbările climatice și a corespunderii pentru transfer.

O abordare genomică are scopul de a explica modul în care complexul de gene total al unui individ contribuie la fenotipul său. Genomica cuprinde o serie de abordări care vizează integrarea disciplinelor genetice tradiționale cu tehnologiile în curs de dezvoltare în domeniul biologiei moleculare, analizei ADN și bio-informaticii, toate evoluând cu o rată uluitoare. Abordările genomice actuale includ transcripția - secvențierea genelor exprimate într-un organism sau tip de țesut specific și producerea de etichete de secvență exprimată (EST), care reduce complexitatea genomului și, prin urmare, efortul de secvențiere; Proteomică și metabolomică - analiza proteinelor și a profilurilor metabolitului primar și secundar; și cartografierea genetică care vizează înțelegerea arhitecturii genetice. Hărțile genetice sunt extrem de utile deoarece locurile care controlează trăsăturile cantitative moștenite (QTL) au fost deja identificate în mulți arbori forestieri pentru o varietate de creștere, calitatea lemnului și alte trăsături economice și adaptive. Cu toate acestea, aceste trăsături sunt, în general, controlate de mici contribuții de la un număr mare de gene și în prezent există o deplasare de la metoda QTL față de întreaga abordare a scanării genomului.

Diferitele abordări genomice creează sinergii pentru a furniza informații valoroase privind organizarea și funcția genomului arborelui. Aceste abordări sunt posibile numai datorită progresului realizat în tehnologiile de secvențiere a ADN-ului. Tehnologiile de secvențiere de generație următoare (NGS) pot produce mii sau milioane de secvențe simultan și pot să genereze giga octeți de date într-o chestiune de zile, la un cost mult mai redus.

Rigault și colab. (2011) a folosit puterea NGS pentru a confirma și a spori catalogul genei *Picea glauca*, oferind o acoperire mai profundă pentru transcriptomele rare, extinzând multe pâlcuri incomplete și măbind acoperirea globală a transcriptomelor. Cu această disponibilitatea informațiilor despre secvențe la mii de gene cu potențial important sau regiuni de reglementare, caracterizarea diversității genetice adaptive și asocierea cu variabilitatea caracterelor fenotipice devine tot mai accesibilă. Progresul realizat cu tehnologiile de secvențiere este deosebit de important pentru studierea genomilor mari și foarte repetitive de specii de conifere. Aceasta a implicat aplicarea atât a secvențierii țintelor de complexitate inferioară, adică a ESTs-urilor transcriptomice sau a markerilor ADN asociate cu restricții (RADs), cât și a abordării secvențierii întregului genom.

Unul dintre obiectivele finale practice ale genomicii arborilor este acela de a obține abilitatea de a identifica genele selectate datorită factorilor geo-climatici, de a determina diversitatea lor alelică și de a aplica aceste cunoștințe în deciziile de management legate de utilizarea și transferul resurselor genetice.

Disciplina genomică a peisajelor a apărut recent, combinând genetica populației și ecologia peisajului cu studiul modelelor de variabilitate genetică demografică și adaptivă în peisaje eterogene. Deoarece speciile de arbori forestieri au adesea populații largi, dar care demonstrează adaptarea locală, ele sunt modele excelente de studiu empiric în genomica peisajului.

Un studiu care se desfășoară la Universitatea din California din Statele Unite ale Americii urmărește să genereze informații complete despre transcriptomi polimorfi din opt specii de conifere din California, să selecteze gene care să arate variabilitatea adaptativă și apoi să creeze cipuri genotipice Illumina Infinium dense (20 000 SNP) genotipul 2000 din fiecare dintre cele opt specii (16 000 de arbori în total). Scara acestui proiect nu ar fi putut fi prevăzută chiar și acum 5 ani.

Un serviciu comercial de secvențiere a genomului a fost lansat recent, cu o recuperare de două săptămâni pentru US \$ 9 500. Tehnologii de secvențiere de generația treia care folosesc un senzor la nano-scară pentru citirea electronică a secvenței unei singure molecule ADN pot face costul întregului genom uman care scade sub 1 000 USD. Progresele de acest gen ar permite geneticienilor de arbori să îmbrățișeze conceptul de studii de asociere la nivelul genomului (GWAS), implicând scanarea mărimilor mari de probe cu sute de mii de markeri SNP localizați în tot genomul, cu o comparație ulterioară a frecvențelor fie ale alelelor SNP unice, genotipuri sau haplotipuri multi-marker, între grupuri fenotipic diferite. Această analiză identifică poziția cu diferențe semnificative statistic în frecvențele alelelor sau dintre fenotipuri, indicând rolul lor în caracter. Spre deosebire de studiile genetice candidate, care selectează gene pentru studii bazate

pe mecanisme cunoscute sau suspectate, GWAS permite o scanare cuprinzătoare a genomului într-o manieră imparțială și, astfel, are potențialul de a identifica noi factori.

Selecția genomică (Nakaya și Isobe, 2011) este o formă de selecție asistată de marker (MAS) care selectează indivizi favorabili pe baza valorilor genomice de reproducere estimate (GEBVs). GEBV-urile sunt de asemenea utilizate în creșterea animalelor, dar nu a fost un indice popular în creșterea plantelor. Acestea sunt definite ca "suma estimării deviației genetice și a sumei ponderate a estimărilor efectelor rasei care sunt prevăzute folosind datele fenotipice din genealogia familiei. GEBV a devenit o abordare fezabilă cu progresele recente în platformele de genotipare cu capacitate mare de transfer.

Ceea ce costa odată milioane de dolari și care a durat ani de realizare poate costa în curând mai puțin decât multe teste standard de diagnosticare astăzi. Deși astfel de tehnologii pot dura o perioadă de timp pentru a fi filtrate până la genetica arborilor, este clar că va exista o schimbare model în cantitatea de informații de secvență generate. Din perspectiva materialului forestier de reproducere, provocarea va fi să înțeleagă și să exploateze această cantitate imensă de informații într-un mod semnificativ.

Markeri moleculari pentru caracterizarea genetică a materialului reproductiv forestier

Cele mai multe specii de arbori forestieri prezintă niveluri ridicate de diversitate genetică care pot fi caracterizate prin utilizarea unor markeri moleculari și folosiți pentru a identifica originea materialului de reproducere crescut în pepiniere înainte sau după plantare în cazul în care apare o nevoie de confirmare. Majoritatea markerilor moleculari curenți sunt selectiv neutri (variația neutră rezultă din diferențele dintre genotipuri care nu afectează capacitatea lor de a supraviețui și de a se reproduce) și nu reflectă distribuția variabilității adaptive care va fi luată în considerare ulterior. Cu toate acestea, markerii neutri pot furniza informații despre nivelul diversității genetice, căile de colonizare și liniile de colonizare, pe lângă faptul că ajută la confirmarea originii materialului forestier de reproducere sau pentru a se asigura că traseul materialului din pepinieră în pădure este autentic.

Nivelul diversității genetice poate fi măsurat cu ușurință, de obicei cu micro sateliți sau markeri SNP foarte variabili. Un exemplu simplu este utilizarea markerilor moleculari pentru a evalua starea de sănătate genetică a materialului săditor, adică dacă acesta prezintă semne de încrucișare. În Sudul Germaniei, diversitatea genetică a tuturor arboretelor de Douglas și brad este evaluată utilizând o serie de markeri de izozime și micro sateliți. Dacă arboretul prezintă niveluri mai mici de variabilitate în comparație cu alte arborete, acesta va fi respins ca sursă de semințe.

Markerii moleculari sunt, de asemenea, utilizați pentru a determina nivelul de puritate al lemnului de stejar și zadă. Ca un exemplu suplimentar, variabilitatea inerentă între arborii individuali poate fi valorificată cu markeri moleculari care să permită identificarea individuală a clonelor (de exemplu, cireș, măr și păr), precum și pentru identificarea hibrizilor (de exemplu, plop (*P. nigra* × *P. deltoides*) și larice (*L. kaempferi* × *L. decidua*)).

Alegerea metodei moleculare cele mai potrivite pentru a determina originea FRM depinde în mare măsură de specia și de informațiile actuale privind modelele de distribuție spațială a diversității sale genetice. De exemplu, există informații foarte detaliate asupra tiparelor de variație fitogeografică a haplotipurilor de ADN cloroplastice în stejarul European (Petit et al., 2002), ceea ce face ca markerii ADN-ului cloroplast să fie un instrument excelent pentru a urmări originea stejarului. Utilitatea variabilității moștenită uni-parental se datorează unei dispersii sporite a semințelor. În multe specii de arbori europeni, cel mai înalt nivel de diversitate a markerilor a fost găsit în Europa Centrală, ceea ce ar putea fi datorată refugiiilor antice sau unui amestec de linii diferențiate genetic (Petit et al., 2003).

În viitor, identificarea markerilor ADN adaptativi ar putea fi de mare folos în alegerea materialului FRM adecvat, care va fi cel mai potrivit pentru un anumit tablou climatic. În prezent există o mare parte a lucrărilor în desfășurare în domeniul variației adaptive.

Eforturile de cercetare se concentrează în prezent pe studierea variabilității genelor candidate, legate de trăsăturile care vor fi importante ca răspuns la schimbările climatice, cum ar fi înmugurirea (Derory et al., 2009), (Frewen et al., 2000) Perdiguero și colab., 2011). Pentru moment, aceste abordări sunt limitate la căutarea genelor candidate și explorarea diversității lor în populațiile existente (Gonzalez-Martinez et al., 2006). Deși abordările genomice permit evaluarea simultană a diferențierii genetice într-un număr mare de poziții, influența polimorfismelor asupra variației adaptive nu poate fi evaluată fără date fenotipice de bună calitate și programe extinse de reproducere. Dovezile actuale din studiile de genomică indică o moștenire complexă multi-genică a trăsăturilor adaptive.

Există un mesaj clar care subliniază faptul că culegerea de informații genetice de bază privind speciile de arbori la toate nivelurile (arbori, arborete și țări individuale) ar trebui făcută cu cunoașterea faptului că cu cât este mai mare cantitatea de informații disponibile, cu atât mai mare este posibilitatea de a utiliza Markerii ADN cu precizie pentru identificarea originii FRM și pentru a înțelege starea de sănătate genetică actuală a speciilor de arbori. Trebuie reamintit faptul că arborii nu respectă granițele politice și, prin urmare, ar trebui încurajată utilizarea seturilor comune de markeri cu standarde comune între țări.

Progrese în fenotipuri și fenomene

În mod tradițional, setul de trăsături evaluate în experimente de teren cu arbori forestieri a fost limitat la rata de supraviețuire, creștere, fenologie, rezistență la îngheț și trăsături arhitecturale ale arborilor. Deși acestea sunt trăsăturile de interes primar pentru practica forestieră, potențialul lor este limitat pentru înțelegerea proceselor de adaptare și explicarea tiparelor de răspuns la schimbările de mediu în timp (de exemplu, schimbările climatice) și spațiu (transfer FRM).

Datorită mărimii și longevității lor, arborii forestieri nu sunt obiecte potrivite pentru înregistrarea caracteristicilor fenotipice într-un mod complex, așa cum este posibil cu alte organisme. În biologie, termenul de "phenomica" ca o analogie cu genomica a fost recent inventat pentru achiziționarea de date fenotipice de dimensiuni mari pe o scară organizațională la scară largă (Houle, Govindaraju și Omholt, 2010). Phenomica este o trans disciplină emergentă dedicată studiului sistematic al fenotipurilor, folosind metode noi pentru scopuri cu performanțe ridicate și se concentrează asupra corelării variabilității genetice evaluate în studiile genomice și de exprimare a genei cu variabilitățile fenotipice. A devenit o componentă recunoscută a științelor biologice, medicale și agricole.

Toate proiectele de cercetare recente care se concentrează asupra geneticii și reproducerii arborilor pun accentul pe fenotipuri cu performanțe ridicate. Cu mult înainte de epoca genomicii, au fost necesare tehnici eficiente de evaluare a fenotipurilor de arbori ca fiind componente cheie ale abordărilor convenționale de reproducere (Neale și Kremer, 2011). Abilitatea evaluării rapide și rentabile a caracteristicilor fenotipice pe un număr mare de arbori este crucială, nu numai pentru reproducerea practică, ci și pentru dezvoltarea fundalului genetic al trăsăturilor fenotipice complexe. Acest lucru se aplică și în cazul trăsăturilor evaluate în mod convențional. Dezvoltarea recentă a noilor dispozitive de măsurare și sistemele de colectare a datelor pe câmp asistate de calculator, cum ar fi FieldMap, a permis o evaluare fiabilă și rapidă a caracteristicilor de creștere, chiar și în studiile mai vechi.

Cu toate acestea, înțelegerea mai profundă a bazei genetice a proceselor de adaptare și prezicerea răspunsurilor populațiilor de arbori la schimbările de mediu necesită extinderea spectrului de trăsături evaluate în toate tipurile de experimente în interior și în aer liber, inclusiv culturi comparative, și găsirea unor proceduri cu randament mare pentru aceste trăsături. Acestea ar include trăsăturile enumerate mai jos.

- **Trăsături fiziologice.** Recent, metodologiile de monitorizare a unui număr mare de parametri care caracterizează fluctuația carbonului și a apei din plante s-au dezvoltat considerabil (Kramer et al., 2004, Rosenqvist și van Kooten, 2003, Seibt et al., 2008). Îmbunătățiri similare sunt de

așteptat, de asemenea, în monitorizarea absorbției nutrienților, rezistenței la îngheț, toleranței la secetă etc. În același timp, disponibilitatea crescândă a camerelor digitale de înaltă rezoluție și a software-ului de procesare a imaginii permite documentarea procesului de creștere și a reacțiilor la factorii de stres dependenți de timp, utilizând măsurători în întreaga gamă de lungimi de undă disponibile din punct de vedere tehnic de la infraroșu la imagistica cu raze X, sau alte metode imagistice, cum ar fi imagistica prin rezonanță magnetică (RMN) sau scanarea terahertz (Eberius și Lima-Guerra, 2009).

- **Proprietățile lemnului.** Dezvoltarea tehnicilor de microscopie asociate analizei imaginii asistate de calculator a permis identificarea numeroaselor trăsături structurale și ultra structurale ale lemnului (Fahlén și Salmén, 2005; Xu et al., 2006). De asemenea, au apărut noi tehnici pentru analiza chimiei lemnului (Selig și colab., 2011; Zhou, Taylor și Polle, 2011). Deși proprietățile lemnului par a fi în special de importanță comercială, ele afectează stabilitatea arborilor, echilibrul apei și alte trăsături relevante din punct de vedere ecologic.
- **Rezistența împotriva insectelor și a agenților patogeni.** Dezvoltarea rapidă a teledetecției și a analizei imaginii permite creșterea eficienței estimărilor la scară largă a daunelor cauzate de dăunători și agenți patogeni în studiile exterioare (King, 2000).
- **Proteome și metabolom.** Metodele îmbunătățite ale chimiei organice analitice permit identificarea numeroaselor proteine și a metaboliților secundari care mediază răspunsul unui genotip la un anumit mediu (Ossipov et al., 2008; Warren, Aranda și Cano, 2012).

Facilitățile care permit manipularea mediului, cum ar fi fitotronii și cutii climatice, sunt disponibile în multe laboratoare din întreaga Europă. Proiectele internaționale recente, cum ar fi NovelTree sau Trees4Future, au întreprins inventare ale unor astfel de instalații și dispozitive adecvate pentru fenotipuri cu un randament mare și au permis încrucișarea și cooperarea internațională în utilizarea lor.

RECOMANDĂRI

Transferul FRM reprezintă o opțiune valoroasă pentru adaptarea pădurilor la schimbările climatice

Populațiile arborilor forestiere s-au adaptat (genetic) într-o perioadă lungă (și încă se adaptează) la habitatele lor respective și, ca urmare a acestei adaptări, au format așa-numitele proveniențe. Schimbările climatice sunt de așteptat să modifice condițiile de habitat ale pădurilor din Europa într-un ritm atât de rapid încât procesele naturale (selecția, fluxul genetic, migrația) care conduc evoluția și adaptarea nu vor acționa suficient de repede. Prin urmare, intervenția umană sub forma transferului FRM (migrație asistată) reprezintă o opțiune valoroasă pentru adaptarea pădurilor la schimbările climatice, în special în acele zone care sunt cel mai grav amenințate de schimbările climatice.

Local nu este întotdeauna cel mai bun

Populațiile locale de arbori autohtone provin în urma proceselor complexe de selecție care acționează asupra unei baze regionale de gene restricționate. Din motive biotice și abiotice diverse, populațiile locale nu demonstrează întotdeauna o capacitate optimă (pentru trăsăturile silvice importante) în comparație cu alte FRM în experimentele culturi comparative. În plus, în Europa, populațiile găsite la nivel local provin adesea din transferul istoric al FRM, dar pentru care datele pașaportului sunt pierdute. Materialul forestier de reproducere local nu va fi întotdeauna răspunsul la provocările legate de schimbările climatice. Pe măsură ce condițiile locale de mediu se schimbă, managerii de pădure trebuie să-și extindă opțiunile atât la materialul forestier de reproducere local, cât și la cel ne-local.

Utilizați proveniențele în locul speciilor în schemele de migrație asistată

Știința a arătat în repetate rânduri că diversitatea genetică adaptivă în cadrul speciilor forestiere este adesea foarte mare și totuși se pare că, sub presiunea schimbărilor climatice, gestionarea pădurilor ar schimba mai degrabă speciile decât proveniențele atunci când elaborează eforturi de împădurire. Prin urmare, există o nevoie urgentă de a disemina informații și cunoștințe despre potențialul de adaptare care este ușor accesibil pentru diferit material genetic de reproducere în cadrul speciilor de arbori.

Transferul materialului forestier de reproducere are și limitele sale

Având în vedere creșterea temperaturii și perioadele de secetă, există o cerere din ce în ce mai mare din partea silviculturii pentru proveniențele din regiunile mai calde din sud. Atâta timp cât apar evenimente extreme precum înghețurile târzii, aceste proveniențe pot fi recomandate

numai în cazuri excepționale, iar transferul materialului utilizat trebuie să fie bine documentat. Transferurile scurte, nu cele pe distanțe lungi, vor fi adesea mai relevante din punct de vedere ecologic și ar trebui să fie preferate. Conservarea resurselor genetice locale ar trebui luată în considerare atunci când se ia în considerare migrația asistată. Administratorii de pajiști ar trebui să protejeze în special amenințarea cu material forestier de reproducere (majoritatea populațiilor periferice din marginile posterioare ale distribuțiilor geografice) care ar putea fi folositoare în alte locații mai potrivite.

Revizuirea recomandărilor privind transferul care este necesară la nivel pan-european

Regiunile de proveniență sau zonele de semințe reprezintă cadrul spațial pentru recomandările de transfer a materialului forestier de reproducere în Europa. Numărul și mărimea acestora variază foarte mult între țări, deoarece sunt utilizate abordări diferite pentru delimitarea lor. FRM se tranzacționează din ce în ce mai mult dincolo de frontiere, dar recomandările naționale rareori oferă ajutor pentru a decide unde trebuie folosit materialul importat. Recomandările de transfer ar trebui să aibă o perspectivă pan-europeană și ar trebui să includă, de asemenea, considerații privind schimbările climatice.

Un control mai riguros al FRM este necesar la toate etapele de producție și comercializare

Cadrele juridice pentru producția și comercializarea FRM sunt bine definite la nivelul UE și al nivelelor OCDE. Cu toate acestea, la nivel național persistă încă diferențe majore pentru controlul originii FRM pe întreg lanțul de producție. Sunt necesare mecanisme de control armonizate și cooperarea strânsă între agențiile de control din diferite state membre ale UE și țările colaboratoare. Progresele tehnologice recente, în special în domeniul biologiei moleculare, permit agențiilor de control să monitorizeze și să urmărească cu ușurință și în mod rezonabil FRM și să difuzeze informații utilizatorilor finali.

Necesitatea de documentare a creșterii materialului forestier de reproducere în contextul schimbărilor climatice

Cel mai bine adaptat FRM de astăzi nu poate dovedi cel mai bine adaptat FRM de mâine în contextul schimbărilor climatice. Prin urmărirea succeselor și a eșecurilor în deciziile de management, managerii forestieri vor putea să-și adapteze propriile strategii. Datele privind FRM - originea geografică, condițiile de recoltare, diversitatea genetică și metodele de producție

- sunt probabil surse-cheie de informare pentru eforturile de plantare, astfel încât managerii de pădure ar trebui să fie deosebit de dornici să solicite și să păstreze o evidență.

Exploatarea arborilor oferă oportunități pentru silvicultură în contextul schimbărilor climatice

Programele de reproducere s-au axat, în mod tipic, pe îmbunătățirea randamentului, calitatea lemnului și rezistența la dăunători și boli. Rezistența sau toleranța la secetă sau creșterea perioadelor de stres la secetă devin o prioritate pentru noile generații de programe de reproducere, la fel și menținerea populațiilor mari de reproducere. Acest material forestier de reproducere poate fi adaptat nevoilor managerilor de la utilizări foarte specifice la portofolii mari.

Este esențial să continuăm cercetarea privind proveniența în contextul schimbărilor climatice

Experimentele de proveniență oferă o multitudine de resurse pentru ecologia evoluționistă și studiile privind schimbările climatice și reprezintă cea mai fiabilă bază pentru formularea recomandărilor practice pentru materialul forestier de reproducere. Rețelele existente de experimente de proveniență trebuie să fie modernizate pentru a include populațiile și siturile subreprezentate (de exemplu, periferice) și trebuie monitorizate și măsurate în mod regulat. Eforturile pan-europene de colectare, arhivare și analiză a datelor la nivel de specie ar trebui continuate și intensificate, astfel încât rezultatele să poată fi transferate în recomandări practice pentru administratorii de pădure.

Lacune de cunoaștere ar trebui completate în cazul adaptării arborilor forestieri

Înțelegerea potențialului genetic adaptiv al populațiilor de arbori forestieri și răspunsul lor la schimbările de mediu în timp și spațiu este fundamentală și extrem de importantă pentru evaluarea modului în care FRM ar putea fi utilizat în fața schimbărilor climatice. În special, baza moleculară a adaptării și relația dintre variabilitatea genetică într-un set mare de gene și fenotipuri în gradientele de mediu reprezintă în continuare lacune în cunoaștere. Cooperarea internațională trebuie intensificată în acest context, inclusiv prin utilizarea în colaborare a facilităților comune de cercetare.

Este necesară îmbunătățirea diseminării informațiilor referitoare la valoarea FRM pentru proprietarii de păduri, managerii și factorii de decizie politică

Comunitatea științifică are cunoștințe și informații extinse cu privire la potențialul pe care îl oferă utilizarea FRM pentru facilitarea adaptării pădurilor la schimbările climatice. Trebuie continuată și intensificată educația și formarea pentru creșterea gradului de conștientizare a părților interesate, cum ar fi proprietarii de păduri, gestionarii habitatelor forestiere și factorii de decizie politică. Modalitățile de creștere a capacității de utilizare a cunoștințelor bazate pe știință și de promovare a unui dialog eficient și reciproc avantajos în materie de gestionare a științelor trebuie să fie pe deplin explorate, mai mult decât oricând.

BIBLIOGRAFIE

- Ahuja, I., de Vos, R.C.H., Bones, A.M. & Hall, R.D. 2010. Plant molecular stress responses face climate change. *Trends in Plant Science*, 15(12): 664-674.
- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. & Curtis-McLane, S. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1(1): 95-111.
- Alia, R., Bozic G., Gomory, D., Huber, G., Rasztoivits, E. & von Wühlisch, G. 2011. The survival and performance of beech provenances over a Europe-wide gradient of climate. *Monografias INIA, Seria Forestal*, 22: 115-127.
- Alizoti, P.G., Bailian Li & Panetsos, K.P. 2004. Time trends of genetic parameters and provenance variation of *Pinus halepensis* Mill. in Greece. p. 200, in: Proc. IUFRO Joint Conf. of Div. 2 "Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics: Progress and Future", 1-5 November 2004, Charleston, S.C., USA. Available at <http://www.iufro.org/download/file/4751/4507/20200-charleston04.pdf>/ Accessed 2015-06-20.
- Alizoti, P.G., Kilimis, K. & Gallios, P. 2010. Temporal and spatial variation of flowering among *Pinus nigra* Arn. clones under changing climatic conditions. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 786-797.
- Aravanopoulos, F.A., Bariteau, K., Isik, K., Schiller, G., Varela, M.C., Vendramin, G.G., Alizoti, P.G., Ducrey, M., Fabre, J.M., Fady, B., Isik, F., Korol, L., Lefevre, F., Ozturk, H., Pichot, Ch., Shklar, G. & Teissier du Cros, E. 2004. Genomics and breeding of low elevation Mediterranean conifers. pp. 26-28, in: Proc. IUFRO Joint Conf. of Div. 2 "Forest Genetics and Tree Breeding in the Age of Genomics: Progress and Future". 1-5 November 2004, Charleston, S.C., USA.
- Ata, C. 1990. Fast growing natural fir hybrids in the west of Turkey. pp. 173-182, in Séminaire international "Sapins méditerranéens", INRA, Avignon, 11-15 June 1990.
- Atzmon, N., Moshe, Y. & Schiller, G. 2004. Ecophysiological response to severe drought in *Pinus halepensis* Mill. trees of two provenances. *Plant Ecology*, 171(1-2): 15-22.
- Aubin, I., Garbe, C.M., Colombo, S., Drever, C.R., McKenney, D.W., Messier, C., Pedlar, J., Saner, M.A., Venier, L., Wellstead, A.M., Winder, R., Witten, E. & Ste-Marie, C. 2011. Why we disagree about assisted migration: Ethical implications of a key debate regarding the future of Canada's forests. *Forestry Chronicle*, 87(6): 755-765.
- Bakkenes, M., Eickhout, B. & Alkemade, R. 2006. Impacts of different climate stabilisation scenarios on plant species in Europe. *Global Environmental Change - Human And Policy Dimensions*, 16(1): 19-28.
- Beaulieu, J., Perron, M. & Bousquet, J. 2004. Multivariate patterns of adaptive genetic variation and seed source transfer in *Picea mariana*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de recherche forestiere*, 34(3): 531-545.
- Bedel, J. 1986. Aménagement et gestion des peuplements de pin d'Alep dans la zone méditerranéenne française. pp. 109-125, in: R. Morandini (ed.). *Le pin d'Alep et le pin Brutia dans la sylviculture méditerranéenne*. Options Méditerranéennes, Série Etudes, No. 1986/1. CIHEAM-IAMM, Montpellier.
- Bergmann, F., Gregorius, H.R. & Larsen, J.B. 1990. Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba*). Are they related to the species' decline? *Genetica*, 82(1): 1-10.
- Besacier, Ch., Ducci, F., Malagnoux, M. & Souvanavong, O. 2011. Status of the experimental network of Mediterranean Forest Genetic Resources. CRA SEL, Arezzo, and FAO *Silva Mediterranea*, Rome, Italy.
- Bower, A.D. & Aitken, S.N. 2006. Geographic and seasonal variation in cold hardiness of whitebark pine. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de recherche forestiere*, 36(7): 1842-1850.
- Breidenstein, J., Bastien, J.-C. & Roman-Amat, B. 1990. Douglas fir range-wide variation results from the IUFRO database. pp. 2.132.26, in: Proc. Joint Meeting Western Forest Genetics Association and IUFRO Working Parties S2.02-05, 6, 12 and 14 - Douglas fir, contorta pine, Sitka spruce

- and *Abies* breeding and genetic resources. Olympia, WA, 20-24 August 1990.
- British Columbia Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations. Various dates. See <https://www.for.gov.bc.ca/code/cf-standards/>
- Brosinger, F. 2011. Mehr Mut zur Tanne. *LWF Wissen*, 66: 7-10. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft.
- Butcher, T.B. 2007. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand. 7: Maritime pine and Brutian pine tree improvement programs in Western Australia. *Australian Forestry*, 70: 141-151.
- Cailleret, M. & Davi, H. 2011. Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient. *Trees-Structure and Function*, 25(2): 265-276.
- Calamassi, R., Falusi, M. & Tocci, A. 1980. Variazione geografica e resistenza a stress idrici in semi di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw. (Geographic variation and resistance to water stress in seeds of *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. and *Pinus eldarica* Medw.). *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, 11: 193-230.
- Calamassi, R., Falusi, M. & Tocci, A. 1984. Effets de la température de germination et de la stratification sur la germination des semences de *Pinus halepensis* Mill. (Effects of germination temperature and stratification on the seed germination of *Pinus halepensis* Mill.). *Silvae Genetica*, 33(4-5): 133-139.
- Camerano, P., Ferrazzini, D., Ducci, F. & Belletti, P. 2012. Regioni di Provenienza per l'Abete bianco. [Provenance Regions of Silver fir]. *Sherwood*, 18(182): 35-40.
- Campbell, R.K. 1986. Mapped genetic variation of Douglas fir to guide seed transfer in southwest Oregon. *Silvae Genetica*, 35(2-3): 85-96.
- CBD [Convention on Biological Diversity]. 2011. Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from Their Utilization to the Convention on Biological Diversity. Text and Annex. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.
- Chambel, M.R., Climent, J., Pichot, C. & Ducci, F. 2013. Mediterranean pines (*Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten.). pp. 229-265, in: L.E. Pâques (ed.). *Forest Tree Breeding in Europe. Current state-of-the-art and perspectives*. Springer Verlag.
- Chybicki, I.J., Trojankiewicz, M., Oleksa, A., Dzia- luk, A. & Burczyk, J. 2009. Isolation-by-distance within naturally established populations of European beech (*Fagus sylvatica*). *Botany-Botanique*, 87(8): 791-798.
- Climent, J., Prada, M.A., Calama, R., Sanchez de Ron, D., Chambel, M.R. & Alia, R. 2008.
- To grow or to seed: ecotypic variation in reproductive allocation and cone production by young female Aleppo pine (*Pinus halepensis*, Pinaceae). *American Journal of Botany*, 94(7): 1316-1320.
- Climent, J., Chambel, M.R., del Cano Prieto, F., Lopez Rodriguez, R. & Alia Miranda, R. 2009. Adaptacion de procedencias de *Pinus halepensis* en las margas del Valle del Duero: crecimientos supervivencia y caracteres reproductivos (Adaptation of *Pinus halepensis* provenances to the Duero valley margins: growth, survival and reproductive characters). In: *Montes y sociedad: saber que hacer*. Actas del 5º Congreso Forestal Español, Avila, 21-25 September 2009.
- Commarmot, B. 1995. Internationaler Weißtannen-Herkunftsversuch. Entwicklung der Herkünfte bis zum Alter 12 auf der Versuchsfläche Bourrignon im Schweizer Jura. pp. 59-68, in: W. Eder (ed.). *Ergebnisse des 7. IUFRO-Tannensymposiums der WP S. 1.0108 "Ökologie und Waldbau der Weisstanne"*. Altensteig, 1994.
- Comps, B., Gömöry, D., Letouzey, J., Thiebaut, B. & Petit, R.J. 2001. Diverging trends between heterozygosity and allelic richness during postglacial colonization in the European beech. *Genetics*, 157(1): 389-397.
- Conedera, M., Krebs, P., Tinner, W., Pradella, M. & Torriani, D. 2004. The cultivation of *Castanea sativa* (Mill.) in Europe, from its origin to its diffusion on a continental scale. *Vegetation History and Archaeobotany*, 13(3): 161-179.

- Cremer, E. 2009. Population genetics of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Northern Black Forest Preconditions for the recolonization of wind-throw areas and associated ectomycorrhizal communities. PHD Thesis, Department of Conservation Biology, Philipps University of Marburg. 93 p.
- Cumbie, W.P., Eckert, A., Wegrzyn, J., Whetten, R., Neale, D. & Goldfarb, B. 2011. Association genetics of carbon isotope discrimination, height and foliar nitrogen in a natural population of *Pinus taeda* L. *Heredity*, 107(2): 105-114.
- Dohlen, A.G., Johnsen, O. & Kohmann, K. 1995. Hostfrostherdighet hos unge granplanter fra norske provenienser og froplantasjer. *Rapport fra Skogforsk*, 1/95, 24 p.
- Dalla-Salda, G., Martinez-Meier, A., Cochard, H. & Rozenberg, P. 2009. Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) clones related to a heat and drought wave in France. *Forest Ecology and Management*, 257(1): 182-189.
- Davi, H., Gillmann, M., Ibanez, T., Cailleret, M., Bontemps, A., Fady, B. & Lefevre, F. 2011. Diversity of leaf unfolding dynamics among tree species: New insights from a study along an altitudinal gradient. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12): 1504-1513.
- De Luis, M., Gricar, J., Cufar, K. & Raventos, J. 2007. Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *IAWA Journal*, 28(4): 389-404.
- Degen, B., Holtken, A. & Rogge, M. 2010. Use of DNA fingerprints to control the origin of forest reproductive material. *Silvae Genetica*, 59(6; Special Issue): 268-273.
- Derory, J., Scotti-Saintagne, C., Bertocchi, E., Le Dantec, L., Graignic, N., Jauffres, A., Casasoli, M., Chancerel, E., Bodenes, C., Alberto, F. & Kremer, A. 2009. Contrasting relations between diversity of candidate genes and variation of budburst in natural and segregating populations of European oaks. *Heredity*, 105(4): 401-411.
- Ducci, F. 2009. "Conservation of Mediterranean Forest genetic resources in the context of climate change. "2009-2012 Work Plan of the *Silva Mediterranea* Working Group on "Forest Genetic Resources in the Mediterranean region". FAO *Silva Mediterranea* Draft Proposal for immediate action in the Mediterranean Area. FAO, Rome, Italy. Available at: <http://www.fao.org/forestry/19318-Oebc0835b-0ffd94872e2249feaf1c10d6.pdf> Accessed: 2015-06-22.
- Ducci, F. & Guidi, G. 1998. I pini della sez. halepensis, selezione e possibilità di impiego di specie e provenienze per l'Italia (The Pines of the Aleppo pine section: selection and use of species and provenances in Italy). *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, 29: 58-67.
- Ducci, F., Heois, B., De Rogatis, A. & Proietti, R. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, 1969/70 IUFRO field experiment results in Europe and Italy. SISEF (Italian Society of Silviculture and Forest Ecology) *Atti*, 4: 101-109.
- Ducci, F., Favre, J.M., Proietti, R. & Verdelli, G. Relationships between *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei and other Mediterranean firs. *Annali CRA-Istituto Sperimentale per la Selvicoltura - Arezzo*. 31: 73-93.
- Ducci, F., Fusaro, E., Proietti, R. & Pelleri, F. 2011. The Greek and other Mediterranean Firs experimental networks in Italy. pp. 46-55, in: Ch. Besacier, F. Ducci, M. Malagnoux and O. Souvannavong (Eds.). Status of the Experimental Network of Mediterranean Forest Genetic Resources. CRA SEL, Arezzo, and FAO *Silva Mediterranea*, Rome, Italy.
- Dvorak, W.S. 2012. Water use in plantations of eucalypts and pines: a discussion paper from a tree breeding perspective. *International Forestry Review*, 14(1): 110-119.
- Eberius, M. & Lima-Guerra, J. 2009. High-throughput plant phenotyping - data acquisition, transformation, and analysis. pp. 259-278, in: D. Edwards et al. (eds.). *Bioinformatics: Tools and Applications*. Springer Verlag.
- EEA [European Environment Agency]. 2007. *Europe's Environment. The Fourth Assessment*. EEA, Copenhagen, Denmark.
- Eriksson, G., Ekberg, I., Clapham D. 2006. An Introduction to Forest Genetics. Genetic Centre, Swedish Univ. of Agricultural Sciences, Uppsala. 188 p.

- Eriksson, G., Namkoong, G. & Roberts, J.H. 1993. Dynamic gene conservation for uncertain futures. *Forest Ecology and Management*, 62(1-4): 15-37.
- Fady, B. 1993. Caractéristiques écologiques et sylvicoles des sapins de Grèce dans leur aire naturelle et en plantation dans le sud de la France. Perspectives pour le reboisement en région méditerranéenne. *Revue forestière française*, 45(2): 119-133.
- Fady, B. 2012. Biogeography of neutral genes and recent evolutionary history of pines in the Mediterranean Basin. *Annals of Forest Science*, 69(4): 421-428.
- Fady, B. & Conkle, M.T. 1993. Allozyme variation and possible phylogenetic implications in *Abies cephalonica* Loudon and some related eastern Mediterranean firs. *Silvae Genetica*, 42(6): 351-359.
- Fady, B., Semerci, H. & Vendramin, G.G. 2003. Technical guidelines for genetic conservation and use for Aleppo pine (*Pinus halepensis*) and Brutia pine (*Pinus brutia*). EUFORGEN, International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.
- Fahlén, J. & Salmén, L. 2005. Pore and matrix distribution in the fiber wall revealed by atomic force microscopy and image analysis. *Biomacromolecules*, 6(1): 433-438.
- Falusi, M., Calamassi, R. & Tocci, A. 1983. Sensitivity of seed germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Silvae Genetica*, 32(-2): 4-9.
- Fernandez, M., Royo, A., Gil, L. & Pardos, J.A. 2003. Effects of temperature on growth and stress hardening development of phytotron-grown seedlings of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.). *Annals of Forest Science*, 60(3): 277-284.
- FRAXIGEN. 2005. Ash species in Europe: biological characteristics and practical guidelines for sustainable use. Oxford Forestry Institute, University of Oxford, UK. 128 p.
- Frewen, B.E., Chen, T.H.H., Howe, G.T., Davis, J., Rohde, A., Boerjan, W. & Bradshaw, H.D. 2000. Quantitative trait loci and candidate gene mapping of bud set and bud flush in *Populus*. *Genetics*, 154(2): 837-845.
- Geburek, T., Robitschek, K. & Milasowszky, N. 2008. A tree of many faces: Why are there different crown types in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)? *Flora*, 203(2): 126-133.
- Giertych, M. 1979. Summary of results on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) height growth in IU- FRO provenance experiments. *Silva Genetica*, 28: 136-152.
- Giertych, M. 1991. Provenance variation in growth and phenology. pp. 87-101, in: M. Giertych and C. Matyas (eds.). *Genetics of Scots pine*. Akademiai Kiado, Budapest.
- Godt, M.J.W., Hamrick, J.L., Edwards-Burke, M.W. & Williams, J.H. 2001. Comparisons of genetic diversity in white spruce (*Picea glauca*) and jack pine (*Pinus banksiana*) seed orchards with natural populations. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de recherche Forestiere*, 31(6): 943-949.
- Gömöry, D. 2010. Geographic patterns in the reactions of beech provenances to transfer. pp. 90-97, in: K. Spanos (ed.). *Beech genetic resources for sustainable forestry in Europe*. National Agricultural Research Foundation - Forest Research Institute, Thessaloniki, Greece.
- Gömöry, D. & Paule, L. 2011. Trade-off between height growth and spring flushing in common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Annals of Forest Science*, 68(5; Special Issue): 975-984.
- Gomulkiewicz, R. & Holt, R.D. 1995. When does evolution by natural selection prevent extinction? *Evolution*, 49(1): 201-207.
- Gonzalez-Martinez, S.C., Krutovsky, K.V. & Neale, D.B. 2006. Forest-tree population genomics and adaptive evolution. *New Phytologist*, 170(2): 227-238.
- Gould, S.J. 1997. An evolutionary perspective on strengths, fallacies, and confusions in the concept of native plants. pp. 11-19, in: J. Wolschke-Bulmahn (ed.). *Nature and Ideology: Natural Garden Design in the Twentieth Century*. Dumbarton Oaks Research Library and Collection, Washington DC, USA.
- Granhus, A., Floistad, I.S. & Sogaard, G. 2009. Budburst timing in *Picea abies* seedlings as affected by temperature during dormancy

- induction and mild spells during chilling. *Tree Physiology*, 29(4): 497-503.
- Grunwald, C. & Schiller, G. 1988. Needle xylem water potential and water saturation deficit in provenances of *Pinus halepensis* Mill. and *P. brutia* Ten. *Forêt Méditerranéenne*, 10: 407-414.
- Haddock, P.G. 1962. Douglas fir in Canada: seed collection zones based on geographic variation of populations as influenced by climate. Faculty of Forestry, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- Hamanishi, E.T. & Campbell, M.M. 2011. Genome-wide responses to drought in forest trees. *Forestry*, 84(3): 273-283.
- Hamann, A., Gylander, T. & Chen, P.Y. 2011. Developing seed zones and transfer guidelines with multivariate regression trees. *Tree Genetics and Genomes*, 7(2): 399-408.
- Hamann, A., Koshy, M.P., Namkoong, G. & Ying, C.C. 2000. Genotype x environment interactions in *Alnus rubra*: developing seed zones and seed transfer guidelines with spatial statistics and GIS. *Forest Ecology and Management*, 136(1-3): 107-119.
- Hänninen, H. & Tanino, K. 2011. Tree seasonality in a warming climate. *Trends in Plant Science*, 16(8): 412-416.
- Hansen, J.K. & Larsen, J.B. 2004. European silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances from Calabria, southern Italy: 15-year results from Danish provenance field trials. *European Journal of Forest Research*, 123(2): 127-138.
- Hermann, R.K. 1985. The Genus *Pseudotsuga*: Ancestral history and past distribution. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, USA. Special Publication 2b. 32 p.
- Herrera, C.M., Jordano, P., Guitián, J. & Traveset, 1998. Annual variability in seed production by woody plants and the masting concept: Reassessment of principles and relationship to pollination and seed dispersal. *American Naturalist*, 152(4): 576-594.
- Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D.B., Parmesan, C., Possingham, H.P. & Thomas, C.D. 2008. Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321(5887): 345-346.
- Houle, D., Govindaraju, D.R. & Omholt, S. 2010. Phenomics: the next challenge. *Nature Reviews Genetics*, 11(12): 855-866.
- Hubert, J. & Cottrell, J. 2007. The role of forest genetic resources in helping British forests respond to climate change. Information Note, Forestry Commission, Edinburgh, UK.
- Hutchinson, M.E. 2004. ANUSPLIN Version 4.3. Centre for Resource and Environmental Studies, Australian National University, Canberra, Australia.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. [Core Writing Team: R.K. Pachauri and A. Reisinger (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 p.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.
- Isik, F., Keskin, S. & McKeand, S.E. 2000. Provenance variation and provenance-site interaction in *Pinus brutia* Ten.: consequences of defining breeding zones. *Silvae Genetica*, 49(4-5): 213-223.
- Johnsen, O., Daehlen, O.G., Østreg, G. & Skroppa, T. 2005. Daylength and temperature during seed production interactively affect adaptive performance of *Picea abies* progenies. *New Phytologist*, 168(3): 589-596.
- Johnson, R. 1998. Breeding design considerations for coastal Douglas fir. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Johnson, G.R., Sorensen, F.C., St. Clair, J.B. & Cronn, R.C. 2004. Pacific Northwest forest tree seed zones. A template for native plants? *Native Plants Journal*, 5(2): 131-140.
- Jonard, M., Legout, A., Nicolas, M., Dambrine, E., Nys, C., Ulrich, E., van der Perre, R. & Ponette, Q. 2012. Deterioration of Norway spruce vitality despite a sharp decline in acid deposition: a long-term integrated perspective. *Global Change Biology*, 18(2): 711-725.

- Jump, A., Máttyás, C. & Penuelas, J. 2009. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution*, 24(12): 694-701.
- Jump, A.S., Hunt, J.M., Martinez-Izquierdo, J.A. & Penuelas, J. 2006. Natural selection and climate change: temperature-linked spatial and temporal trends in gene frequency in *Fagus sylvatica*. *Molecular Ecology*, 15(11): 3469-3480.
- Kapeller, S., Lexer, M.J., Geburek, T., Hiebl, J. & Schueler, S. 2012. Intraspecific variation in climate response of Norway spruce in the eastern Alpine range: Selecting appropriate provenances for future climate. *Forest Ecology and Management*, 271: 46-57.
- Kaya, Z. & Isik, F. 1997. The pattern of genetic variation in shoot growth of *Pinus brutia* Ten. populations sampled from the Toros mountains in Turkey. *Silvae Genetica*, 46(2-3): 73-81.
- King, R.L. 2000. A challenge for high spatial, spectral, and temporal resolution data fusion. pp. 2602-2604, in: T.I. Stein (ed.). IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing (IGARSS).
- Klein, T., Di Matteo, G., Rotenberg, E., Cohen, Sh. & Yakir, D. 2013. Differential ecophysiological response of a major Mediterranean pine species across a climatic gradient. *Tree Physiology*, 33(1): 26-36.
- Kleinschmit, J. & Bastien, J.-Ch. 1992. IUFRO's role in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) tree improvement. *Silvae Genetica*, 41(3): 161-173.
- Kleinschmit, J., Racz, J., Weisgerber, H., Dietze, W., Dieterich, H. & Dimpflmeier, R. 1974. Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. *Silvae Genetica*, 23: 167-226.
- Kleinschmit, J., Svolba, J., Weisgerber, H., Rau, H.M., Dimpflmeier R, Ruetz WF, et al, 1991. Results of the IUFRO Douglas fir provenance experiment in the Federal Republic of Germany at age 20. Veröffentlicht in den Tagungs-"Proceedings" IUFRO Working Parties S 2.02.05.06.12 and 14, 20. - 24.08.1990, Douglas fir. Contorta Weyerhaeuser Co., Olympia, Washington, USA.
- König, A. 2005. Provenance research: evaluation the spatial pattern of genetic variation. pp. 275-334, in: T. Geburek and J. Turok (eds.). *Conservation and Management of Forest Genetic Resources in Europe*. Arbora Publishers, Zvolen, Slovakia.
- Konnert, M. 1993. Untersuchungen über die genetische Variation der Weißtanne (*Abies alba* Mill.) in Bayern. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 9-10: 162-169.
- Konnert, M. & Behm, A. 2000. Genetische Strukturen einer Saatgutpartie-Einflußfaktoren und Einflußmöglichkeiten. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, 33: 152-156.
- Konnert, M. & Behm, A. 2006. Proof of identity reproductive material based on reference samples. *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg*, 221: 61-71.
- Konnert, M. & Bergmann, F. 1995. The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. *Plant Systematics and Evolution*, 196(1-2): 19-30.
- Konnert, M. & Hosius, B. 2008. Zur Kontrolle und Zertifizierung von forstlichem Vermehrungsgut unter Nutzung von Labormethoden. pp. 132-139, in: Tagungsband "Herkunftskontrolle an forstlichem Vermehrungsgut mit Stabilisotopen und genetischen Methoden". Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden.
- Konnert, M. & Hussendörfer, E. 2002. Herkunftssicherung bei forstlichem Vermehrungsgut durch Referenzproben. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 6: 97-104.
- Koskela, J., Vinceti, B., Dvorak, W., Bush, D., Dawson, I.K., Loo, J., Kjaer, E.D., Navarro, C., Padolina, C., Bordács, J., Jamnadass, R., Graudal, L. & Ramamonjisoa, L. 2014. Utilization and transfer of forest genetic resources: A global review. *Forest Ecology and Management*, 333: 22-34.
- Koskela, J., Buck, A. & Teissier du Cros, E. (editors). 2007. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Bioversity International, Rome, Italy.
- Körner, C., Sarris, D. & Christodoulakis, D. 2005. Long-term increase in climatic dryness in

- the East Mediterranean as evidenced for the island of Samos. *Regional Environmental Change*, 5(1): 27-36.
- Kozłowski, T.T. & Pallardy, S.G. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. *Botanical Review*, 68(2): 270-334.
- Kramer, D.M., Johnson, G., Kiirats, O. & Edwards, G.E. 2004. New fluorescence parameters for the determination of Q(A) redox state and excitation energy fluxes. *Photosynthesis Research*, 79(2): 209-218.
- Kullman, L. 1996. Recent cooling and recession of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) in the forest-alpine tundra ecotone of the Swedish Scandes. *Journal of Biogeography*, 23(6): 843-854.
- Kurm, M., Meikar, T. & Tamm, Ü. 2003. Kohalike okaspuude seemnete päritolust Eestis (About the origin of conifers reproductive material in Estonia). *Metsanduslikud Uurimused/Forest-ry Studies*, XXXVIII: 19-45.
- Langlet, O. 1938. Provenienschöök med olika trädslag. Översikt och diskussion av hittills erhållna resultat. *Svenska skogsvarfsföreningens tidskrift*, 36: 55-278.
- Larsen, J.B. 1981. Geographic variation in winter drought resistance of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco). *Silvae Genetica*, 30: 109-114.
- Ledig, F.T. & Kitzmiller, J.H. 1992. Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *Forest Ecology and Management*, 50(1-2): 153-169.
- Leinonen, I. & Hänninen, H. 2002. Adaptation of the timing of budburst of Norway spruce to temperate and boreal climates. *Silva Fennica*, 36(3): 695-701.
- Leinonen, I., Repo, T. & Hänninen, H. 1997. Changing environmental effects on frost hardiness of Scots pine during dehardening. *Annals of Botany*, 79(2): 133-138.
- Liepelt, S., Cheddadi, R., de Beaulieu, J.L., Fady, , Gomory, D., Hussendorfer, E., Konnert, M., Litt, T., Longauer, R., Terhurne-Berson, R. & Ziegenhagen, B. 2008. Postglacial range expansion and its genetic imprints in *Abies alba* (Mill.) - A synthesis from palaeobotanic and genetic data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153(1-2): 139-149.
- Lindgren, D., Gea, L. & Jefferson, P. 1996. Loss of genetic diversity monitored by status number. *Silvae Genetica*, 45(1): 52-59.
- Llomas, L. 1994. Untersuchungen über ökologisch-genetische Anpassungsvorgänge bei der Tanne in unterschiedlich emmissionbelasteten Regionen, unter besonderer Berücksichtigung des Erzgebirges. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben "Genökologie Tanne" des Umweltbundesamtes. pp. 82.
- Loarie, S.R., Duffy, P.B., Hamilton, H., Asner, G.P., Field, C.B. & Ackerly, D.D. 2009. The velocity of climate change. *Nature*, 462(7276): 1052- U111.
- Lüdemann, G.H. 1961. Die Forstpflanzenanzucht in Kämpfen und Forstbaumschulen Norddeutschlands. Doctoral dissertation, University of Göttingen, Germany.
- Lynch, M. & Walsh, B. 1998. *Genetics and Analysis of Quantitative Traits*. Sinauer Associates, Inc. 980 p.
- Magri, D., Vendramin, G.G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gomory, D., Latalowa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J.M., Tantau, I., van der Knaap, W.O., Petit, R.J. & de Beaulieu, J.L. 2006. A new scenario for the Quaternary history of European beech populations: palaeobotanical evidence and genetic consequences. *New Phytologist*, 171(1): 199-221.
- Mata, R., Voltas, J. & Zas, R. 2012. Phenotypic plasticity and climatic adaptation in an Atlantic maritime pine breeding population. *Annals of Forest Science*, 69(4): 477-487.
- Matyas, C. 1994. Modeling climate change effects with provenance test data. *Tree Physiology*, 14(7-9): 797-804.
- Matyas, C. 1996. Climatic adaptation of trees: Rediscovering provenance tests. *Euphytica*, 92(1-2): 45-54.
- Matyas, C. 2007. What do field trials tell about the future use of forest reproductive material? pp. 53-69, in: J. Koskela, A. Buck and E. Teissier du Cros (eds.). *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management*

- in Europe. Bioversity International, Rome, Italy.
- Matyas, C. & Yeatman, C.W. 1992. Effect of geographical transfer on growth and survival of jack pine (*Pinus banksiana* Lamb) populations. *Silvae Genetica*, 41(6): 370-376.
- Matyas, C., Ackzell, I. & Samuel, C.J.A. 2004. EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Scots pine (*Pinus sylvestris*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 p.
- Matyas, C., Bozi,c G., Gomory, D., Ivankovi,c M. & Rasztovits, E. 2011. Response of European beech (*Fagus sylvatica* L.) to sudden change of climatic environment in SE European provenance trials. *Monografias INIA, Seria Forestal*, 127-140.
- MCPFE [Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe]. 1993. Resolution H1: General Guidelines for the Sustainable Management of Forests in Europe. Second MCPFE, 16-17 June 1993, Helsinki, Finland.
- Merzeau, D., Comps, B., Thiebaut, B. & Letouzey, J. 1994. Estimation of *Fagus sylvatica* mating system parameters in natural populations. *Annales des Sciences Forestieres*, 51(2): 163-173.
- Morin, X., Lechowicz, M.J., Augspurger, C., O'Keefe, J., Viner, D. & Chuine, I. 2009. Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century. *Global Change Biology*, 15(4): 961-975.
- Nakaya, A. & Isobe, S.N. 2012. Will genomic selection be a practical method for plant breeding? *Annals of Botany*, 110(6): 1303-1316.
- Namkoong, G. 1984. Strategies for gene conservation in forest tree breeding. pp. 93-109, in: C.W. Yeatman, D. Krafon and G. Wilkes (eds.). *Plant Genetic Resources: A Conservation Imperative*. AAAS Selected Symposium 87. West view Press, Boulder, CO, USA.
- Neale, D.B. & Kremer A. 2011. Forest tree genomics: growing resources and applications. *Nature Reviews Genetics*, 12(2): 111-122.
- Newton, R.J., Funkhouser, E.A., Fong, F. & Tauer, G. 1991. Molecular and physiological genetics of drought tolerance in forest species. *Forest Ecology and Management*, 43(3-4): 225-250.
- Oleksyn, A. & Giertych, M. 1984. Results of 70 years old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenance experiment in Pulawy, Poland. *Silva Genetica*, 33(1): 22-27.
- Ossipov, V., Ossipova, S., Bykov, V., Oksanen, E., Koricheva, J. & Haukioja, E. 2008. Application of metabolomics to genotype and phenotype discrimination of birch trees grown in a long-term open-field experiment. *Metabolomics*, 4(1): 39-51.
- Panetsos, K.P. 1990. Species-provenances test of Mediterranean firs. Séminaire international "Sapins méditerranéens", Avignon, 11-15 juin 1990, INRA.
- Parducci, L., Szmidt, A.E., Madaghiele, A., Anzidei, M. & Vendramin, G.G. 2001. Genetic variation at chloroplast microsatellites (cpSSRs) in *Abies nebrodensis* (Lojac.) Mattei and three neighboring *Abies* species. *Theoretical and Applied Genetics*, 102(5): 733-740.
- Pavari, A. 1951. Esperienze e indagini su le prove- nienze e razze dell'Abete bianco (*Abies alba* Mill.). [*Experiences and research on provenances and races of Silver fir (Abies alba Mill.)*]. Pubblicazioni della Stazione Sperimentale di Selvicoltura, Firenze. *Nuovi Annali della Speri- mentazione Agraria*, Nuova Serie, No. 8. 96 p.
- Perdiguerro, P., Collada, C., Barbero, M.D., Casado, G.G., Cervera, M.T. & Soto, A. 2011. Identification of water stress genes in *Pinus pinaster* Ait. by controlled progressive stress and suppression-subtractive hybridization. *Plant Physiology and Biochemistry*, 50: 44-53.
- Pérez-Ramos, I.M., Ourcival, J.M., Limousin, J.M. & Rambal, S. 2010. Mast seeding under increasing drought: results from a long-term data set and from a rainfall exclusion experiment. *Ecology*, 91(10): 3057-3068.
- Petit, R.J. & Hampe A. 2006. Some evolutionary consequences of being a tree. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 37: 187-214.
- Petit, R.J., et al. 2002. Chloroplast DNA variation in European white oaks. Phylogeography and patterns of diversity based on data from over 2600 populations. *Forest Ecology*

- and Management, 156(1-3; Special issue): 5-26.
- Petit, R.J., et al. 2003. Glacial refugia: hotspots but not melting pots of genetic diversity. *Science*, 300(5625): 1563-1565.
- Pichot, C. & Vauthier, D. 2007. *Pinus halepensis* - *Pinus brutia*: French comparative provenance tests. FAO-Silva Mediterranea and IUFRO WG 2013 expert joint meeting: promotion and use of results from the international trials of Mediterranean Conifers. Arezzo and Rome, 21-23 June 2007.
- Pichot, C. 2007. The database Foradapt. <http://w3.avignon.inra.fr/ForSilvaMed/> Accessed 2015-09-14.
- Pigliucci, M. & Marlow, E.T. 2001. Differentiation for flowering time and phenotypic integration in *Arabidopsis thaliana* in response to season length and vernalization. *Oecologia*, 127(4): 501-508.
- Randall, W.K. 1996. Forest tree seed zones for western Oregon. Oregon Department of Forestry, Salem, OR, USA.
- Randall, W.K. & Berrang, P. 2002. Washington tree seed transfer zones. Washington Department of Natural Resources, Olympia, WA, USA.
- Rathgeber, C., Nicault, A., Guiot, J., Keller, T., Guibal, F. & Roche P. 2000. Simulated responses of *Pinus halepensis* forest productivity to climatic change and CO₂ increase using a statistical model. *Global and Planetary Change*, 26(4): 405-421.
- Rehfeldt, G.E. 1983. Seed transfer in the northern Rocky Mountains. pp. 1-26, in: Proceedings of the USDA Forest Service Forest Genetics Workshop, Charlottetown South Carolina.
- Rehfeldt, G.E., Wykoff, W.R. & Ying, C. 2001. Physiological plasticity, evolution, and impacts of a changing climate on *Pinus contorta*. *Climatic Change*, 50(3): 355-376.
- Rehfeldt, G.E., Ying, C.C., Spittlehouse, D.L. & Hamilton, D.A. 1999. Genetic responses to climate in *Pinus contorta*: niche breadth, climate change, and reforestation. *Ecological Monographs*, 69(3): 375-407.
- Rehfeldt, G.E., Tchebakova, N.M., Parfenova, Y.I., Wykoff, W.R., Kuzmina, N.A. & Milyutin, L.I. 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology*, 8(9): 912-929.
- Repo, T., Makela, A. & Hanninen, H. 1990. Modelling frost resistance of trees. *Silva Carelia*, 15: 61-74.
- Restoux, G., Silva, D.E., Sagnard, F., Torre, F., Klein, E., & Fady, B. 2008. Life at the margin: the mating system of Mediterranean conifers. *Web Ecology*, 8: 94-102.
- Rigault, P., Boyle, B., Lepage, P., Cooke, J.E.K., Bousquet, J. & MacKay, J.J. 2011. A white spruce gene catalog for conifer genome analyses. *Plant Physiology*, 57(1): 14-28.
- Robson, T.M., Alia, R., Bozic, G., Clark, J., Forstreuter, M., Gomory, D., Liesebach, M., Mertens, P., Rasztoivits, E., Zitova, M. & von Wuhlich, G. 2011. The timing of leaf flush in European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings. pp. 61-81, in: Genetic Resources of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) for Sustainable Forestry. Proceedings of the COST E52 Final Meeting. *Monografias INIA, Seria Forestal*, vol. 22.
- Roff, D.A. 2000. Trade-offs between growth and reproduction: an analysis of the quantitative genetic evidence. *Journal of Evolutionary Biology*, 13(3): 434-445.
- Rosenqvist, E. & van Kooten, O. 2003. Chlorophyll fluorescence: a general description and nomenclature. pp. 31-77, in: J.R. de Ell and P.M.A. Toivonen (eds.). *Practical applications of chlorophyll fluorescence in plant biology*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- Ruetz, W.F. 1987. Applying the results of Douglas fir provenance research to practical forestry - an example from Bavaria. pp. 251-263, in: W. Ruetz and J. Nather (eds.). Proceedings of the IUFRO Working Party on breeding for Douglas fir as an introduced species. Working party S.2.02.05, Vienna, Austria, June 1985. *FBVA-Berichte*, 21.
- Ruetz, W.F. 2002. Ergebnisse des IUFRO Weißtannen (*Abies alba*) - Provenienzversuches im Alter von 20 Jahren auf 5 Prüfflächen in Bayern. [Results of the IUFRO silver fir (*Abies alba*) provenance trial at age 20 on five test sites in Bavaria.] pp. 50-59, in: W. Maurer (ed.). *Ökologie und Waldbau der Weißtanne*.

- Proceedings of the 10th International IUFRO silver fir meeting. 16-20 September 2002, Trippstadt, Germany.
- Ruetz, W.F., Franke, A. & Stimm, B. 1998. Der Süddeutsche Weißtannen- (*Abies alba* Mill.) Provenienzversuch. Jugendentwicklung auf den Versuchsflächen. [The South-German European silver fir (*Abies alba* Mill.) provenance trial - development at the age of 11 years] *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, 169(6-7): 116-126.
- Rweyongeza, D.M., Yeh, F.C. & Dhir, N.K. 2010. Genetic parameters for bud flushing and growth characteristics of white spruce seedlings. *Silvae Genetica*, 59(4): 151-158.
- Sagnard, F., Barberot, C. & Fady, B. 2002. Structure of genetic diversity in *Abies alba* Mill. from southwestern Alps: multivariate analysis of adaptive and non-adaptive traits for conservation in France. *Forest Ecology and Management*, 157(1-3): 175-189.
- Sarris, D., Christodoulakis, D. & Koerner, C. 2007. Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biology*, 13(6): 1187-1200.
- Savolainen, O., Bokma, F., Garcia-Gil, R., Komulainen, P. & Repo, T. 2004. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *Forest Ecology and Management*, 197(1-3): 79-89.
- Saxe, H., Cannell, M.G.R., Johnsen, B., Ryan, M.G. & Vourlitis, G. 2001. Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist*, 149(3): 369-399.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P. & Radoglou, K. 2000. Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132(1): 97-109.
- Schiller, G. & Atzmon, N. 2009. Performance of Aleppo pine (*Pinus halepensis*) provenances grown at the edge of the Negev desert: a review. *Journal of Arid Environments*, 73(12): 1051-1057.
- Schlichting, C.D. & Smith, H. 2002. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes. *Evolutionary Ecology*, 16(3): 189-211.
- Schütt, P. 1994. *Tannenarten Europas und Kleinasiens*. Ecomed-Verlag, Landsberg a. Lech.
- Seibt, U., Rajabi, A., Griffith, H. & Berry, J.A. 2008. Carbon isotopes and water use efficiency: sense and sensitivity. *Oecologia*, 155(3): 441-454.
- Selig, M.J., Tucker, M.P., Law, C., Doeppke, C., Himmel, M.E. & Decker, S.R. 2011. High throughput determination of glucan and xylan fractions in lignocelluloses. *Biotechnology Letters*, 33(3): 961-967.
- Silva, D.E., Mazzella, P.R., Legay, M., Corcket, E. & Dupouey, J.L. 2012. Does natural regeneration determine the limit of European beech distribution under climatic stress? *Forest Ecology and Management*, 266: 263-272.
- Skroppa, T. 1994. Growth rhythm and hardiness of *Picea abies* progenies of high-altitude parents from seed produced at low elevations. *Silvae Genetica*, 43(2-3): 95-100.
- Skroppa, T. & Kohlmann, K. 1997. Adaptation to local conditions after one generation in Norway spruce. *Forest Genetics*, 4(3): 171-177.
- Skroppa, T., Tollefsrud, M.M., Sperisen, C. & Johnsen, O. 2009. Rapid change in adaptive performance from one generation to the next in *Picea abies* - Central European trees in a Nordic environment. *Tree Genetics & Genomes*, 6(1): 93-99.
- St. Clair, B.J. & Howe, G.T. 2007. Genetic maladaptation of coastal Douglas fir seedlings to future climates. *Global Change Biology*, 13(7): 1441-1454.
- St. Clair, B.J., Mandel, N.L. & Vance-Borland, K.W. 2005. Genecology of Douglas fir in western Oregon and Washington. *Annals of Botany*, 96(7): 1199-1214.
- Tabeaud, M. & Simon, L. 1993. Dommages et dégâts dans les forêts françaises: éléments pour un bilan (Damage and injuries to French forests: elements for an assessment). *Annales de Géographie*, 102: 339-358.
- Thomas, C.D., et al. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970): 145-148.
- Thuiller, W. 2003. BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under

- global change. *Global Change Biology*, 9(10): 1353-1362.
- Topak, M. 1997. Directory of Seed Sources of the Mediterranean Conifers. FAO, Rome, Italy. See <http://www.fao.org/docrep/006/ad112e/AD112E00.HTM>
- Tree Seed Zone Map. 1973. Available at http://www.nsl.fs.fed.us/Section6_Oregon_Washington_Tree_Seed_Zones.pdf
- Tulstrup, N.P 1959. International trade in forest tree seed. *Unasylva*, 13(4). FAO, Rome, Italy.
- Ukrainetz, N.K., O'Neill, G.A. & Jaquish, B. 2011. Comparison of fixed and focal point seed transfer systems for reforestation and assisted migration: a case study for interior spruce in British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de recherche forestiere*, 41(7): 1452-1464.
- Vendramin, G.G., Degen, B., Petit, R.J., Anzidei, M., Madaghiele, A. & Ziegenhagen, B. 1999. High level of variation at *Abies alba* chloroplast microsatellite loci in Europe. *Molecular Ecology*, 8(7): 1117-1126.
- Vendramin, G.G., Fady, B., Gonzalez-Martinez, S.C., Hu, F.S., Scotti, I., Sebastiani, F., Soto, A. & Petit, R.J. 2008. Genetically depauperate but widespread: The case of an emblematic Mediterranean pine. *Evolution*, 62(3): 680-688.
- Vicario, F., Vendramin, G.G., Rossi, P., Lio, P. & Giannini, R. 1995. Allozyme, chloroplast DNA and RAPD markers for determining genetic relationships between *Abies alba* and the relic population of *Abies nebrodensis*. *Theoretical and Applied Genetics*, 90(7-8): 1012-1018.
- Voltas, J., Chambel, M.R., Prada, M.A. & Ferrio, J.P. 2008. Climate-related variability in carbon and oxygen stable isotopes among populations of Aleppo pine grown in common-garden tests. *Trees-Structure and Function*, 22(6): 759-769.
- von Wuehlisch, G., Krusche, D. & Muhs, H.J. 1995. Variation in temperature sum requirement for flushing of beech provenances. *Silvae Genetica*, 44(5-6): 343-346.
- Wang, T., Hamann, A., Spittlehouse, D.L. & Aitken, S.N. 2006. Development of scale-free climate data for western Canada for use in resource management. *International Journal of Climatology*, 26(3): 383-397.
- Warren, C.R., Aranda, I. & Cano, J.F. 2012. Metabolomics demonstrates divergent responses of two *Eucalyptus* species to water stress. *Metabolomics*, 8(2): 186-200.
- Weiser, C.J. 1970. Cold resistance and injury in woody plants. *Science*, 169: 1269-1278.
- Wolf, H. (ed.). 1994. *Weifitannen-Herkunfte - Neue Resultate zur Provenienzforschung bei Abies alba Mill.* (Silver fir provenances - recent results related to provenance research of *Abies alba* Mill.). Ecomed-Verlag, Landsberg, Lech, Germany.
- Wu, H.X. & Ying, C.C. 2004. Geographic pattern of local optimality in natural populations of lodgepole pine. *Forest Ecology and Management*, 194(1-3): 177-198.
- Xu, F., Zhong, X.C., Sun, R.C. & Lu, Q. 2006. Anatomy, ultrastructure and lignin distribution in cell wall of *Caragana korshinskii*. *Industrial Crops and Products*, 24(2): 186-193.
- Ying, C.C. & Yanchuk, A.D. 2006. The development of British Columbia's tree seed transfer guidelines: Purpose, concept, methodology and implementation. *Forest Ecology and Management*, 227(1-2): 1-13.
- Zas, R., Merlo, E., Diaz, R. & Fernandez-Lopez, J. 2003. Stability across sites of Douglas fir provenances in northern Spain. *Forest Genetics*, 10(1): 71-82.
- Zhou, G.W., Taylor, G. & Polle, A. 2011. FTIR-ATR-based prediction and modelling of lignin and energy contents reveals independent intra-specific variation of these traits in bioenergy poplars. *Plant Methods* [Online], 7: Article 9.

Anexa 1

Lista proiectelor europene relevante pentru utilizarea și transferul materialului forestier de reproducere

Proiect	Cadru	Lider	Scurtă descriere
LINKTREE	BiodiverSa (2009-2012)	INIA Spania	LINKTREE utilizează o combinație de secvențiere și / sau de genotipare a unor gene relevante din punct de vedere ecologic și de experimente genetice cantitative pentru a evalua nivelurile variației genetice permanente și semnăturile selecției în pădurile naturale. (www.igv.fi.cnr.it/linktree)
Trees4future	FP7 - structura 2011-2014	INRA Franța	Trees4Future este un proiect de infrastructură europeană de cercetare integrată, care are ca scop integrarea, dezvoltarea și îmbunătățirea infrastructurilor majore de cercetare în domeniul geneticii forestiere și al silviculturii. (www.trees4future.eu)
EUFORINNO	FP7-Regpot	SFI Slovenia	EUFORINNO abordează strategia SFI de a deveni un centru de referință pentru Europa Centrală și de Sud-Est în spațiul european de cercetare și inovare forestieră (EuFoRIA). Printre domeniile-cheie ale cooperării se numără și controlul FRM și crearea unei bănci genetice forestiere.
Map/FGR	COST Action (2012-2015)	CREA SEL Italia	Consolidarea adaptării resurselor genetice forestiere (RGF) la schimbările climatice în populațiile marginale și / sau periferice ale arbori forestieri din Europa prin strategii adecvate de conservare și gestionare
NOVELTREE	FP7 (2008-2012)	INRA Franța	NOVELTREE va oferi o mai bună înțelegere a biologiei speciilor de arbori forestieri și va permite o ameliorare genetică semnificativă a compoziției și caracteristicilor produselor forestiere pentru a satisface nevoile (cum ar fi calitatea, cantitatea, durabilitatea, vulnerabilitatea) consumatorilor și a sectorului de plante forestiere. (www.noveltree.eu)
FORGER	FP7-KBBE 2011-2015	ALTERRA Olanda	Proiectul FORGER va pune la dispoziția managerilor de păduri și a factorilor de decizie informații solide și integrate privind resursele genetice prin îmbunătățirea inventarelor privind resursele genetice forestiere din Europa, elaborarea unui protocol comun pentru măsurarea și monitorizarea diversității genetice, analizarea utilizării istorice și actuale a schimbului de genetică forestieră Resursele din Europa și analiza modului în care resursele genetice forestiere sunt afectate de schimbările climatice și de practicile de gestionare a pădurilor. (www.fp7-forger.eu)
TREEBREEDDEX	FP6- Infrastructures 2006-2010	INRA Franța	Scopul proiectului TREEBREEDDEX a fost de a dezvolta o platformă europeană de cercetare și colaborare tehnică în domeniul creșterii arborilor. (http:// treebreedex.eu)
Evaluarea resurselor genetice de fag pentru o pădure durabilă	COST Action E52 2006-2010	VTI Germania	Această acțiune COST a participat la 22 de țări. Obiectivul principal a fost acela de a evalua împreună, pentru prima dată, 60 de studii internaționale de proveniență a fagului, situate în 19 țări europene, cu un total de 200 de proveniențe în total.
EVOLTREE	Rețeaua de excelență UE-PC6 din 2006-2010 și în curs de desfășurare ca program EFI	INRA Franța	Evoltree asociază patru discipline majore - genomică, genetică, ecologie și evoluție - pentru înțelegerea, monitorizarea și prezicerea diversității genetice, structurilor ecosistemice, dinamicii și proceselor din pădurile europene.

