

## VARIAȚIA GENETICĂ ȘI AMELIOAREA BRADULUI ÎN ROMÂNIA

GEORGETA MIHAI<sup>1</sup>, ELENA STUPARU<sup>2</sup>,  
VIRGIL SCĂRLĂTESCU<sup>2</sup>, HORIA VLAȘIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice București, România

<sup>2</sup> Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Mihăești, România

<sup>3</sup> Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice, Stațiunea Cluj, România

### Abstract

#### GENETIC VARIATION AND BREEDING OF SILVER FIR IN ROMANIA

This paper presents the results of the researche carried on in four Silver fir provenance trials and in one half – sib family trial, at the age of 25. The tested material includes 60 Silver fir provenances, 33 Romanian and 27 foreign, from 8 European countries: France (3), Germany (3), Austria (4), Italy (4), Poland (1), Czech Republic (3), Slovakia (4), Bulgaria (5). The experimental trials were settled on the following forest districts: Sacele (2), Domnesti, Moinești and Strambu Baiut.

The researche focused on assessment of genetic variation for the most important traits, the magnitude of variation and genetic variation pattern, the selection of best provenances and families with regard to productivity traits and adaptability. the investigated traits have been the total height, volume / tree, diameter at 1,30m, branches characters, stem straightness and survival rate. Correlations with the main geographical gradients, narrow – sense heritability and expected genetic gain have also been estimated.

In all comparative trials the variance analysis has showed a great interpopulational genetic variability for the majority of studied traits. Genetic variation is both clinal and ecotype and depends on the examined character. The most significant correlations have been found with longitude and latitude of the origin.

Generally, good performances for growth traits and great stability have been obtained for Romanian provenances and for foreign provenance as follows: 44 – Lepilat (France) and 23 – Rakitovo (Bulgaria). Provenances from Italy and Austria have achived the lowest growth performances.

Interpopulational genetic variability is much higher than the intrapopulational one. At - families level significant differences have been obtained only for growth characters, number of branches in verticil and survival rate. Heritability coefficient shows a high genetic control for these traits and the expected genetic gain suggests that selection at families level and individuals level would be rewarding.

**Keywords:** Silver fir provenances, genetic variability, phenotypic correlation, heritability, expected genetic gain

### Rezumat

În această lucrare sunt prezentate cercetările desfășurate în patru culturi comparative cu proveniențe de brad și o cultură de descendențe materne, la vârsta de 25 de ani. Materialul testat cuprinde 60 de proveniențe de brad; 33 românești și 27 străine; din 8 țări europene: Franța (3), Germania (3), Austria (4), Italia (4), Polonia (1), Republica Cehă (3), Slovacia (4), Bulgaria (5). Suprafețele experimentale sunt amplasate în următoarele ocoale silvice: Săcele (2), Domnești (1), Moinești (1) și Strâmbu Băiuț (1).

Cercetările au urmărit evaluarea variației genetice a principalelor caractere, magnitudinea variației și tipul de control genetic, selecția celor mai bune proveniențe și familii sub aspectul producției de masă lemnoasă și adaptabilității. Caracterele studiate au fost următoarele: înălțimea totală, diametrul la 1,30m, volumul mediu/arbore, caracterele ramurilor, forma trunchiului și supraviețuirea. De asemenea, au fost estimate corelațiile cu gradientii geografici de origine, eritabilitatea în sens restrâns și câștigul genetic așteptat.

În toate culturile comparative, analiza varianței evidențiază o variabilitate genetică interpopulațională mare pentru majoritatea caracterelor studiate. Variația genetică este atât clinală cât și ecotipică și depinde de caracterul studiat. Cele mai multe corelații asigurate statistic au fost obținute cu longitudinea și latitudinea de origine.

În general, performanțe bune de creștere și stabilitate ridicată au obținut proveniențele din România și proveniențele străine: 44 – Lepilat (Franța) și 23 – Rakitovo (Bulgaria). Cele mai slabe rezultate au obținut proveniențele din Italia și Austria.

Variabilitatea genetică interpopulațională este mult mai mare decât cea intrapopulațională. Diferențe semnificative la nivel de familie au fost obținute doar pentru caracterele de creștere, numărul de ramuri în verticil și supraviețuire. Coeficientul de eritabilitate evidențiază un control genetic ridicat pentru aceste caractere iar câștigul genetic așteptat sugerează că selecția la nivel de familie și individ va fi profitabilă.

**Cuvinte cheie:** proveniențe de brad, variabilitate genetică, corelații fenotipice, eritabilitate, câștig genetic așteptat

## 1. INTRODUCERE

Bradul (*Abies alba* Mill.) este una dintre cele mai importante specii forestiere din România, atât din punct de vedere economic cât și silvicultural. Bradul ocupă 5 % din suprafața fondului forestier național, situându-se pe locul al doilea printre speciile de conifere, după molid.

Arealul natural al bradului în România, ca și la nivel european, este discontinuu. Zonele de maximă răspândire se situează în Carpații Orientali și Carpații de Curbură, în timp ce în Carpații Meridionali vestici, Munții Apuseni și Munții Maramureșului arealul său este foarte fragmentat.

În perioada interglaciară genul *Abies* era bine reprezentat în România și ocupă un areal mult mai întins decât cel actual (Pop, 1932 citat de Enescu, 1975). În timpul ultimei glaciațiuni bradul s-a retras în refugiile din Peninsula Balcanică, iar revenirea în Carpații românești s-a făcut pe cel puțin două căi: prima, pornind din refugiile sudice și trecând spre nord prin Munții Banatului, iar a doua, mult mai lungă, pornind din refugiile din Munții Balcani, trecând prin Munții Alpi și Sudeți a pătruns în România prin Carpații Nordici. Având în vedere însă asemănarea morfologică mai mare a

bradului românesc cu *Abies nordmaniana* decât cu *Abies cephalonica*, se presupune o a treia cale de migrare din refugiile glaciare din Caucaz (Enescu, 1975).

Toate aceste considerații privind evoluția și arealul bradului în România, productivitatea ridicată a arboretelor (80 % din arboretele de brad sunt de productivitate superioară), precum și capacitatea remarcabilă de a substitui, în multe stațiuni, alte specii, conduc la concluzia că în spațiul geografic al României există o mare diversitate genetică intraspecifică și proveniențe cu potențial genetic silvoprodusiv foarte ridicat.

Studierea variabilității genetice intraspecifice a bradului a început în România în anii 1980-1982, prin instalarea a 11 culturi comparative cu proveniențe românești și străine de brad și 1 cultură de descendențe materne (half-sib). Dintre acestea au mai rămas doar 7 culturi până în prezent: 6 culturi comparative de proveniențe și 1 cultură half-sib, restul fiind distruse datorită tăierilor ilegale pentru pomi de Crăciun.

Rezultatele din aceste culturi comparative au fost publicate la vârsta de 5 și respectiv 15 ani de la plantare de Damian și Leandru (1984) și Deaconu (1994). Atât rezultatele cercetărilor din țara noastră cât și cele efectuate în Europa au arătat că bradul prezintă o variabilitate geografică mare, care se manifestă prin creșteri diferite, grad diferit de rezistență la secetă și îngheț, procent diferit de supraviețuire (Larsen și Mekic, 1991; Konert și Bergmann, 1995). De asemenea, proveniențele de brad din România testate în culturi internaționale s-au remarcat prin creșteri performante în înălțime, alături de alte proveniențe originare din estul (Polonia, Cehia, Slovacia) și sudul arealului (Calabria, Bulgaria și fosta Iugoslavie) (Jucan, 1998).

Această lucrare prezintă rezultatele cercetărilor realizate în 4 culturi comparative de proveniențe și 1 cultură de descendențe materne (half-sib) de brad, la vârsta de 25 de ani de la plantare. Scopul cercetărilor este evaluarea variabilității genetice inter și intrapopulaționale pentru principalele caractere de interes silvoprodusiv, a tipului de variație genetică și stabilirea celor mai valoroase și adaptate proveniențe românești pentru regiunile de proveniență în care se găsesc amplasate culturile comparative.

## 2. MATERIAL ȘI METODĂ

Materialul de studiu este constituit din 60 de proveniențe de brad, dintre care 33 românești și 27 străine, originare din următoarele țări: Franța (3), Germania (3), Austria (4), Italia (4), Polonia (1), Cehia (3), Slovacia (4) și Bulgaria (5) (tabelul 1). Populațiile românești testate provin din întregul areal al bradului în țara noastră, unele dintre ele remarcându-se prin performanțe superioare de creștere și adaptabilitate ridicată în majoritatea culturilor comparative internaționale de proveniențe: Strâmbu Băiuț, Târgu Lăpuș și Avrig.

Dispozitivele experimentale au fost astfel alese încât să permită aplicarea unui calcul statistic care să asigure eliminarea erorilor datorate neomogenității terenului și o precizie bună la interpretarea rezultatelor. În cazul culturilor de proveniențe, acestea

**Tabelul 1.** Lista proveniențelor de brad testate în culturi comparative  
List of Silver fir provenances tested in comparative trials

Nr. prov.	Proveniențe	Țara	Longitudine E	Latitudine N	Altitudine (m)
1	Cheia	Romania	25°55'	45°25'	950
2	Azuga I	Romania	25°35'	45°25'	1100
3	Ghelinta	Romania	26°20'	45°55'	880
4	Avrig	Romania	24°30'	45°40'	660
5	Valea Motilor	Romania	22°45'	46°30'	750
6	Bucium	Romania	23°10'	46°15'	910
7	Vadul Dobri	Romania	22°35'	45°40'	1150
8	Tismana	Romania	23°00'	45°05'	950
9	Polovragi	Romania	23°48'	45°15'	1100
10	Cozia	Romania	24°20'	45°20'	1300
11	Gura Teghii	Romania	26°20'	45°35'	1100
12	Naruja I	Romania	26°40'	45°40'	800
13	Soveja	Romania	26°40'	46°00'	750
14	Asau	Romania	26°25'	46°25'	1050
15	Tusnad	Romania	25°50'	46°10'	650
16	Toplita	Romania	25°25'	46°55'	930
17	Garcin	Romania	25°45'	45°35'	1000
18	Rasnov	Romania	25°32'	45°35'	700
19	Valiug	Romania	22°10'	45°12'	600
20	Rusca Montana	Romania	22°28'	45°35'	880
21	Azuga II	Romania	25°35'	45°25'	1125
22	Toplita II	Romania	23°25'	46°55'	900
23	Rakitovo	Bulgaria	24°05'	41°59'	1550
24	Devin	Bulgaria	24°24'	41°42'	1500
25	Kitilovo	Bulgaria	26°13'	42°54'	500
26	St. Dimitrov	Bulgaria	23°09'	42°15'	1450
27	Raslog	Bulgaria	23°40'	42°01'	1600
29	Vallombrosa	Italia	11°33'	43°45'	960
30	Paularo	Italia	13°30'	46°31'	950
32	San Bruno	Italia	16°20'	38°33'	1250
33	Abeti Soprani	Italia	14°20'	41°52'	800
34	Trieben	Austria	14°30'	47°28'	1125
36	Passail	Austria	15°32'	47°13'	800
37	Liezen	Austria	14°15'	47°31'	800
38	Hohe Wand	Austria	16°04'	47°49'	750
40	Todtmoos	Germania	8°05'	47°47'	
41	Enzklosterle	Germania	8°30'	48°16'	
42	Sulzburg	Germania	7°43'	47°51'	
43	Greseuss	Franța	6°09'	48°28'	400
44	Lepilat	Franța	4°00'	44°40'	
45	Le Joux	Franța	6°15'	46°40'	
46	Naruja II	Romania	26°40'	45°40'	750
47	Moinesti	Romania	26°25'	46°25'	940
48	Pangarati	Romania	26°10'	46°53'	860
49	Rasca	Romania	25°14'	47°20'	560
50	Malini	Romania	25°56'	47°24'	820
51	Gura Putnei	Romania	25°33'	47°47'	620
52	Solca	Romania	24°52'	47°40'	480
53	Botiza	Romania	23°05'	47°40'	970
54	Strambu Baiut	Romania	22°55'	47°35'	760
55	Valea Iadului	Romania	22°40'	46°50'	800
56	Ilisoara Mures	Romania	25°08'	46°55'	1050
58	Brezno Michalova	Slovenia	20°20'	48°40'	700
59	Banska Bistrica I	Slovenia	19°15'	48°40'	850
60	Banska Bistrica II	Slovenia	19°15'	48°40'	
61	Lidecko	Republica Cehă	18°02'	49°05'	
62	Vizovice	Republica Cehă	17°52'	49°12'	
63	Zarovice	Republica Cehă	17°01'	49°30'	
64	Deblin	Republica Cehă	16°32'	49°18'	
65	Skarzysko	Polonia	20°50'	51°07'	

**Tabelul 1** (continuare)

Nr. prov.	Proveniențe	Țara	Longitudine E	Latitudine N	Altitudine (m)
58	Brezno Michalova	Slovacia	20°20'	48°40'	700
59	Banska Bistrica I	Slovacia	19°15'	48°40'	850
60	Banska Bistrica II	Slovacia	19°15'	48°40'	
61	Lidecko	Republica Cehă	18°02'	49°05'	
62	Vizovice	Republica Cehă	17°52'	49°12'	
63	Zarovice	Republica Cehă	17°01'	49°30'	
64	Deblin	Republica Cehă	16°32'	49°18'	
65	Skarzysko	Polonia	20°50'	51°07'	

sunt grilaje pătrate de tipul 7 x 7 (Moinești, Domnești, Strâmbu Băiuț) și 8 x 8 (Săcele), cu 4 repetiții. În cazul culturii de descendențe materne, dispozitivul experimental este de tipul split – plot, cu 10 proveniențe x 10 familii / proveniență x 5 arbori/ parcela unitară și 4 repetiții.

Pentru investigarea variabilității genetice interpopulaționale a caracterelor studiate s-a folosit analiza simplă a varianței, cu două teste de semnificație (testul F și testul „t multiplu“). A fost posibilă astfel separarea varianței fenotipice totale în categorii de variații potrivit cauzelor care le determină: genetice și de mediu.

Pentru investigarea variabilității genetice intrapopulaționale, s-a utilizat modelul de analiză de varianță prezentat în tabelul 2 (după Nanson, 2004).

Corespunzător modelului de analiză de varianță, componentele varianței se calculează astfel:

$$\sigma_f^2 = (A - C) / mr$$

$$\sigma_{f \times r}^2 = (C - D) / m$$

$$\sigma_e^2 = D$$

unde: n = numărul de familii

r = numărul de repetiții

m = numărul de arbori în parcela unitară

$\sigma_f^2$  = varianța între familii

$\sigma_{f \times r}^2$  = varianța interacțiunii familii x repetiții

$\sigma_e^2$  = varianța între indivizii unei familii, varianța erorii

Eritabilitatea în sens restrâns a fost calculată la nivel de familie ( $h_r^2$ ) și indivizi ( $h_i^2$ ) cu următoarele formule (Nanson, 2004; Falconer și Mackay, 1995):

$$h^2_f = \sigma^2_f / \sigma^2_{Ph1} = \sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_e / r)$$

$$h^2_i = \sigma^2_A / \sigma^2_{Ph2} = 4\sigma^2_f / (\sigma^2_f + \sigma^2_{fxr} + \sigma^2_e / r)$$

$$\sigma^2_f = \sigma^2_A / 4$$

**Tabelul 2.** Modelul de analiză de varianță într-o cultură de descendențe materne (half-sib)  
Variance analysis model in a half – sib trial (according to Nanson, 2004 )

Sursa de variație	Grade de libertate GL	Varianța s <sup>2</sup>	F <sub>calc</sub>	Valoarea așteptată a medieipătrate Es
Familii	n - 1	A	A/C	$\sigma^2_e + m\sigma^2_{fxr} + mr\sigma^2_f$
Repetiții	r - 1	B	B/C	$\sigma^2_e + m\sigma^2_{fxr} + mn\sigma^2_f$
Interacțiunea (Fam x	(n - 1)(r - 1)	C	C/D	$\sigma^2_e + m\sigma^2_{fxr}$
Eroare (indiv./fam)	nr(m - 1)	D		$\sigma^2_e$
Total	nrm - 1			

Câștigul genetic așteptat a fost calculat corespunzător formulei lui Nanson (2004) pentru selecția la nivel de familii ( $\Delta G1$ ), la nivel de indivizi ( $\Delta G2$ ) și selecția celor mai buni indivizi din cele mai bune familii ( $\Delta G3$ ):

$$\Delta G1 = i h^2 \sigma_{Ph1}$$

$$\Delta G2 = i h^2 \sigma_{Ph2}$$

$$\Delta G3 = 2 i h^2 \sigma_{Ph2}$$

unde:  $\sigma^2_A$  = varianta aditivă

$\sigma^2_{Ph}$  = varianta fenotipică

$i$  = intensitatea selecției

$\sigma_{Ph1}$  = abaterea standard fenotipică la nivel de familii

$\sigma_{Ph2}$  = abaterea standard fenotipică la nivel de indivizi

Pentru evidențierea corelațiilor dintre caracterele studiate și dintre acestea și gradientii ecologici ai locului de origine au fost calculați coeficienții de corelație simplă (Pearson) în funcție de mediile proveniențelor pe experiment. Datele obținute în urma observațiilor și măsurătorilor de teren au fost prelucrate și interpretate statistic cu ajutorul următoarelor pachete de programe: EXCEL și SPSS.

### 3. REZULTATE

#### 3.1. Variabilitatea genetică interpopulațională

Rezultatele analizei de varianță în cele 4 culturi comparative sunt prezentate în tabelul 3. Pentru toate caracterele studiate diferențele dintre proveniențe sunt foarte semnificative evidențind existența unei variabilități genetice mari la nivelul

proveniențelor testate.

**Volumul mediu/arbore.** În funcție de valoarea mediei pe experiment, cele mai mari volume medii/arbore au fost înregistrate în cultura comparativă Domnești, situată în afara arealului natural al bradului în România (etajul montan și premontan al făgetelor). Cele mai slabe rezultate s-au înregistrat în cultura comparativă Săcele, situată la cea mai mare altitudine dintre toate suprafețele experimentale studiate (1300 m).

În toate culturile comparative cele mai bune performanțe de creștere au obținut proveniențele din România alături de proveniența 23 - Rakitovo (Munții Rodopi) și 44 – Lepilat (Munții Ceveni) (fig. 1). De asemenea, performanțe superioare mediei pe experiment au înregistrat și proveniențele: 62 – Vizovice (Munții Carpați, Cehia), 64 – Deblin (Cehia), 65 – Skarzysko (Polonia), 58 – Brezno – Michalova (Munții Carpați, Slovacia), 32 – San Bruno (Calabria, Italia), deși acestea au fost testate doar în cultura comparativă Săcele. În această cultură, rezultate bune au obținut și toate proveniențele germane, precum și majoritatea celor franceze și bulgare (67 % și respectiv 80 % se situează deasupra mediei pe experiment).

În celelalte culturi comparative, proveniențele străine au obținut performanțe, în general, sub media pe experiment. Deși foarte instabile, se remarcă următoarele proveniențe cu performanțe bune de creștere în unele localități: 45 – Le Joux (Munții Jura, Franța) la Săcele și Strâmbu Băiuț, 41 – Enzklosterle (Munții Pădurea Neagră, Germania) la Săcele, Strâmbu Băiuț și Moinești, 63 – Zarovice (Munții Carpați, Cehia) la Strâmbu Băiuț și Moinești.

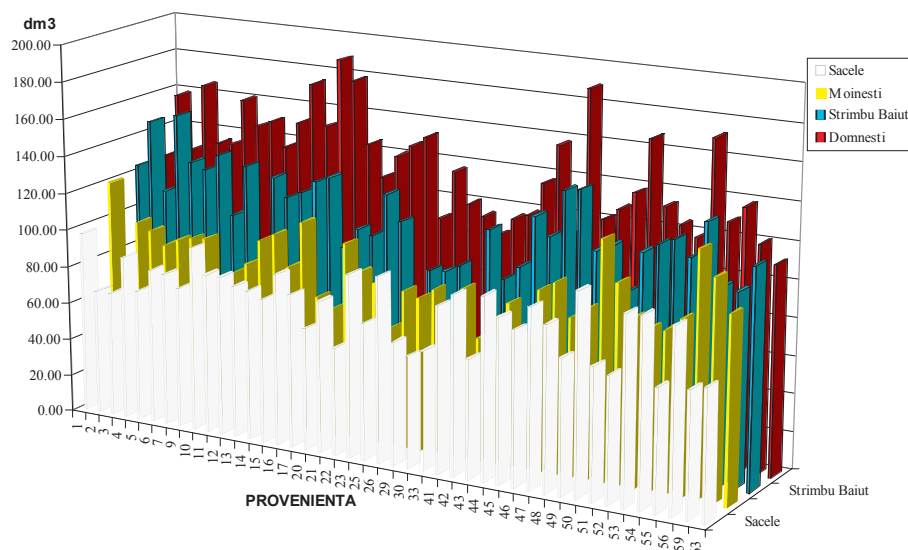
Cu excepția provenienței 32 – San Bruno (Calabria) la Săcele, cele mai slabe rezultate prezintă proveniențele din Italia, Austria și proveniența 25 – Kipilovo (Munții Balcani, Bulgaria). Proveniențele: 33 – Abeti Soprani, 30 – Paularo, 29 – Vallombrosa (Italia) și 25 – Kipilovo (Bulgaria) se situează constant în ultimele clase de variație.

Diferențele procentuale dintre cele mai performante proveniențe și valoarea mediei pe experiment reprezintă: 42 % la Moinești, 35 % la Domnești și Strâmbu Băiuț, 33 % la Săcele.

În toate locurile de testare, performanțe superioare sau în jurul valorii mediei pe experiment au obținut următoarele proveniențe: 4 – Avrig, 7 – Vadul Dobrii, 13 – Soveja, 14 – Asău, 16 – Toplița, 47 – Moinești, 10 – Cozia, 50 – Mălini, 54 – Strâmbu Băiuț, 56 – Ilișoara Mureș (România), precum și proveniențele 44 – Lepilat (Munții Ceveni) și 23 - Rakitovo (Munții Rodopi).

Proveniențele locale: 17 – Gârcin la Săcele, 47 – Moinești și 54 – Strâmbu Băiuț sunt situate deasupra mediilor pe experiment dar în același timp sunt depășite de unele proveniențe românești și străine, care sunt mult mai performante.

**Grosimea ramurilor.** O variație considerabilă de natură genetică a fost stabilită la nivelul proveniențelor testate și pentru grosimea ramurilor. Analizând comportamentul proveniențelor se observă o variație semnificativă între proveniențele aparținând aceluiași regiuni fito – geografice. De asemenea, există o variație de la o cultură comparativă la alta, ceea ce indică o mare influență a condițiilor staționale în exprimarea fenotipică a acestui caracter.



**Fig. 1.** Variația volumului/arbore a proveniențelor de brad în culturile comparative Domnești, Strâmbu Băiut, Moinești și Săcele  
 The volume/tree variation of silver fir provenances in comparative trials Domnești, Strâmbu Băiut, Moinești and Săcele

În ultima clasă de variație, cu cele mai subțiri ramuri, se găsesc în general proveniențele românești. Cele mai valoroase și cu cea mai ridicată stabilitate la schimbarea condițiilor de mediu sunt următoarele proveniențe: 1 – Cheia, 2 – Azuga, 6 – Bucium, 9 – Polovragi, 11 – Gura Teghii, 13 – Soveja, 17 – Gârcin, 48 – Pângărați, 55 – Valea Iadului.

În prima clasă de variație, cu cele mai groase ramuri, se situează în general proveniențele din Italia, Franța, Cehia și Slovacia. Dintre acestea, deși foarte instabile se remarcă totuși unele proveniențe valoroase: 26 – St. Dimitrov (Munții Rila, Bulgaria) la Moinești și Strâmbu Băiut, 29 – Vallombrosa (Italia) la Moinești și Săcele, 30 – Paularo (Italia) la Săcele și Strâmbu Băiut, 41 – Enzklosterle (Germania) la Săcele și Strâmbu Băiut.

**Forma trunchiului.** În toate culturile comparative, analiza varianței evidențiază existența unui control genetic puternic. Forma trunchiului a fost evaluată prin indici după cum urmează: 1 – trunchi drept, 2 – trunchi cu ușoare defecte de formă, 3 – trunchi sinuos. Cele mai multe defecte de formă au fost înregistrate la Săcele și Moinești. Se constată o tendință geografică de variație cu latitudinea și longitudinea de origine a proveniențelor. Proveniențele care înregistrează cele mai multe defecte de formă provin din vestul și centrul Europei: Franța (43 – Greseuss, 44 – Lepilat, 45 – Le Joux), Italia (33 – Abeti Soprani, 32 – San Bruno, 30 – Paularo), Germania (41 – Enzklosterle, 42 – Sulzburg), Slovacia (58 – Brezno Michalova, 59 – Banska Bistrica), Cehia (63 – Zarovice).



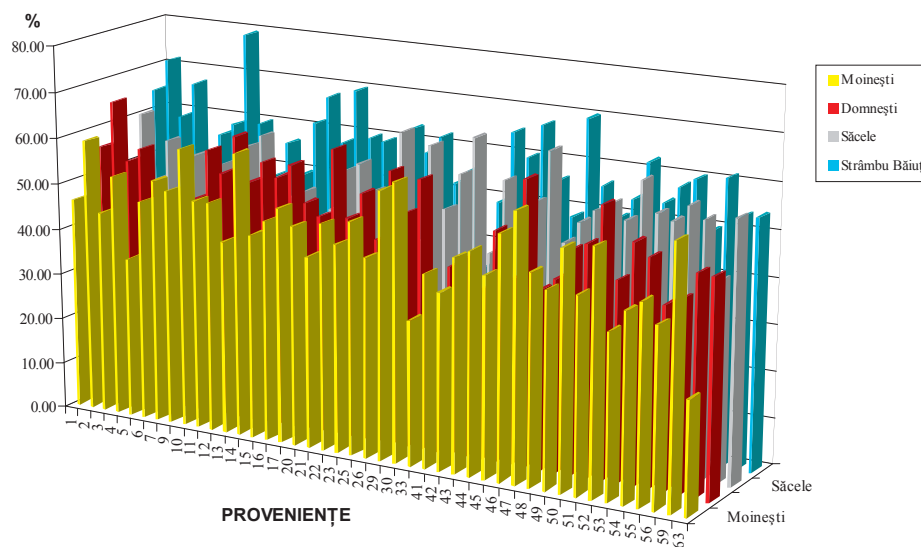
**Tabelul 3.** Analiza varianței pentru caracterele studiate în culturile comparative cu proveniențe de brad, la vârsta de 25 de ani  
 Variance analysis of studied characters in Silver fir comparative trials, at the age of 25

Sursa de variație Source of variation	Volumul/arbore Volume / tree		Grosimea ramurilor Diameter branches		Forma trunchiului Stem straightness		Supraviețuirea Survival					
	D.F.	s <sup>2</sup>	F	D.F.	s <sup>2</sup>	F	D.F.	s <sup>2</sup>	F			
Proveniența	59	4849.12	4.27***	59	1.516	3.77***	59	1.595	3.95***	59	158.378	1.53*
Repetiția	2	1134.95		2	5.814		2	18.180		2	341.906	
Eroare	1620			1620	0.440		1620	0.403		118		
<b>Cultura comparativă Sacele</b>												
Proveniența	42	18591.93	3.52***	42	1.147	3.90***	42	0.151	3.00***	42	302.593	2.71***
Repetiția	3	274268.70		3	0.381		3	0.164		3	968.255	
Eroare	1548			1548	0.294		1548	0.050		126	111.589	
<b>Cultura comparativă Moinești</b>												
Proveniența	42	10373.42	6.11***	42	0.462	4.63***	42	1.631	4.60***	42	251.964	1.35
Repetiția	3	72943.85		3	0.695		3	2.766		3	273.387	
Eroare	1548	1698.23		1548	0.099		1548	0.354		126	186.267	
<b>Cultura comparativă Strambu Batut</b>												
Proveniența	42	16777.70	3.89***	42	1.105	4.08***	42	1.446	6.93***	42	242.441	2.07**
Repetiția	3	119025.30		3	3.056		3	1.465		3	663.770	
Eroare	1548	4311.89		1548	0.271		1548	0.209		126	116.947	

Proveniențele care au o formă bună a trunchiului sunt, în general, cele din România: 4 – Avrig, 7 – Vadul Dobrii, 9 – Polovragi, 10 – Cozia, 13 – Soveja, 15 – Tușnad, 16 – Toplița, 20 – Rusca Montană, 47 – Moinești, 48 – Pângărați, 50 – Mălini, 54 – Strâmbu Băiuț, 56 – Ilișoara Mureș. Se remarcă, de asemenea, proveniența 25 – Kipilovo din Munții Balcani (Bulgaria) cu trunchiuri drepte, fără defecte de formă și stabilitate ridicată.

**Supraviețuirea.** Supraviețuirea se găsește sub un control genetic puternic. Aceasta este demonstrată prin diferențele distinct semnificative dintre proveniențe în toate culturile comparative (tabelul 3). Valorile mediilor pe experiment sunt destul de reduse, fiind cuprinse între 58,37 % la Strâmbu Băiuț și 46,91 % la Moinești.

Clasamentul proveniențelor se schimbă dramatic de la o cultură comparativă la alta, fiind foarte mult influențat de condițiile staționale specifice fiecărui loc de testare (fig. 2). De asemenea, este greu de stabilit o tendință geografică de variație a acestui caracter, deoarece există o variație semnificativă între proveniențele aparținând aceluiași regiuni fito-geografice. Cu toate acestea, proveniențele: 2 – Azuga, 4 – Avrig și 10 – Cozia au demonstrat a avea capacitate de adaptare ridicată și stabilă în toate locurile de testare. Dintre proveniențele străine situate în topul clasamentelor, se evidențiază: 30 – Paularo (Munții Alpi, Italia) la Moinești și Domnești, 29 – Vallombrosa (Italia) la Moinești, Domnești și Săcele, 44 – Lepilat (Munții Ceveni, Franța) la Moinești, Domnești și Strâmbu Băiuț, 23 – Rakitovo (Munții Rodopi, Bulgaria) și 26 – St. Dimitrov (Munții Rila, Bulgaria) la Domnești și Strâmbu Băiuț, 25 – Kipilovo (Munții Balcani, Bulgaria) la Moinești și Săcele.



**Fig. 2.** Variația procentului de supraviețuire a proveniențelor de brad la culturile comparative Moinești, Domnești, Săcele și Strâmbu Băiuț  
The survival rate variation of the Silver fir provenances in comparative trails Moinești, Domnești, Săcele and Strâmbu Băiuț

În timp ce în culturile comparative Strâmbu Băiuț și Moinești, proveniențele locale sunt situate în primele clase de variație, în cultura comparativă Săcele proveniența locală se găsește în ultima clasă de variație.

### 3.2. Corelații fenotipice între caracterele studiate și gradientii geografici de origine

Corelații asigurate statistic cu gradientii geografici de origine au fost obținute în toate culturile comparative (tabelul 4). Pentru caracterele de creștere tendința dominantă de variație este de-a lungul longitudinii, corelații asigurate statistic fiind stabilite în toate culturile comparative. De asemenea, a fost evidențiată o variație genetică, însă mai puțin stabilă, cu latitudinea nordică. Nu au fost obținute corelații semnificative cu altitudinea de origine.

Dintre caracterele care determină calitatea lemnului, o variație genetică puternică, de natură geografică, prezintă forma trunchiului. Corelații negative distinct semnificative au fost stabilite cu longitudinea și latitudinea de origine în toate locurile de testare.

Puține corelații au fost obținute pentru caracterele care determină habitusul coroanei și doar într-o singură cultură comparativă există corelații pozitive între supraviețuire și longitudinea și altitudinea locului de origine.

### 3.3. Variabilitatea genetică intrapopulațională

Rezultatele analizei de varianță evidențiază o variație genetică mult mai mare la nivelul celor 10 proveniențe testate decât la nivelul familiilor (tabelul 5). La nivel de familie au fost obținute diferențe semnificative doar pentru: înălțimea totală, diametrul la 1,30m, numărul ramurilor în verticil și supraviețuire. Contribuția varianței la nivel de familie la varianța totală este de: 12 % pentru înălțimea totală, 15 % pentru diametrul la 1,30 m, 14 % pentru numărul de ramuri și 30 % pentru supraviețuire. Variabilitatea la nivel individual, în interiorul familiilor, este mult mai mare fiind cuprinsă între 44 % în cazul înălțimii totale și 68 % în cazul supraviețuirii.

### 3.4. Estimarea parametrilor genetici și a componentelor varianței

Coefficienții de eritabilitate în sens restrâns atât la nivel de familie, cât și la nivel de indivizi sunt prezentați în tabelul 6. Cei mai mari coeficienți de eritabilitate au fost obținuți pentru diametrul la 1,30m ( $h^2_r = 0,447$  și  $h^2_i = 0,622$ ), nr. ramurilor ( $h^2_r = 0,399$  și  $h^2_i = 0,522$ ), și înălțimea totală ( $h^2_f = 0,354$  și  $h^2_i = 0,449$ ).

Atât la nivel de familie cât și la nivel de indivizi, eritabilitatea estimată indică un control genetic ridicat pentru diametrul la 1,30m, numărul de ramuri și înălțimea totală și un control genetic redus pentru caracterele ramurilor. Calculată doar la nivel de familie, supraviețuirea prezintă un control genetic moderat ( $h^2_f = 0,447$ ).

**Tabelul 4.** Corelații fenotipice între caracterele studiate și gradienții geografici de origine  
Phenotypic correlations among studied traits and geographical gradients of origin

Gradienții geografici Geographical gradients	Culturi comparative Comparative trial	Înălțimea totală Total height	Volumul /arbore Volume / tree	Diametrul ramurilor la 1,30m Diameter Branches at 1,30 m	Grosimea ramurilor Branches diameter	Lungimea ramurilor Branches length	Unghiul de inserție Branches angle	Numărul ramurilor Branches number	Forma trunchiului Stem straightness	Supraviețuirea Survival
<b>Latitudine N</b>	Sacele	0.023	-0.033	-0.104	-0.066	0.108	0.065	-0.086	-0.257*	0.189
	Domnesti	0.121	-0.040	-0.074	-0.038	0.133	0.118	-0.108	-0.104	-0.155
	Moinesti	0.201	0.382*	0.385*	0.286	0.456**	0.275	-0.218	-0.070	-0.151
	Strambu Baiut	0.430**	0.324*	0.327*	0.006	0.317*	-0.194	-0.253	-0.398**	-0.029
<b>Longitudine E</b>	Sacele	0.245	0.131	0.157	0.043	-0.153	-0.021	0.051	-0.301*	-0.105
	Domnesti	0.362*	0.395**	0.357*	-0.493**	-0.185	0.042	-0.030	-0.379*	0.373*
	Moinesti	0.364*	0.364*	0.295	-0.299	-0.246	-0.213	0.258	-0.459**	0.179
	Strambu Baiut	0.320*	0.259	0.176	-0.291	0.057	-0.102	0.467**	-0.319*	0.123
<b>Altitudine</b>	Sacele	0.247	0.335*	0.376**	0.033	-0.199	-0.101	0.002	0.156	-0.242
	Domnesti	0.145	0.053	0.064	-0.315	-0.244	-0.117	-0.129	-0.021	0.329*
	Moinesti	0.091	0.056	0.079	-0.341*	-0.314	-0.385*	0.415**	-0.290	0.171
	Strambu Baiut	-0.046	0.015	0.049	-0.065	-0.104	0.164	0.102	0.094	0.267

**Tabelul 5.** Analiza varianței pentru unele caractere studiate în cultura de descendențe mateme de brad, la 25 de ani de la plantare  
 Variance analysis of some studied characters in the Silver fir half - sib trial, at 25 years old

Sursa de variație Source of variation	Înălțimea totală Total height				Diametrul la 1,30m Diameter at 1,30m				Forma trunchiului Stem straightness						
	S.S	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	S.S	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	S.S	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	F		
Proveniențe	42,719	9	4,747	1	2,591**	236,646	9	26,294	1	2,329*	10,325	9	1,147	2	3,500***
Repetiții	887,087	3	295,696	19		1660,252	3	553,417	7		8,710	3	2,903	1	
Eroare	3639,566	1987	1,832	80		22430,276	1987	11,289	92		651,284	1987	0,328	97	
T O T A L	4569,371	1999		100		24327,174	1999	12,170	100		670,319	1999			
Familii	569,922	99	5,757	12	1,548***	3730,336	99	37,680	15	1,808***	72,447	99	0,732	11	1,032
Repetiții	887,087	3	295,696	19		1660,252	3	553,417	7		8,710	3	2,903	1	
Interacțiunea Fam. x Rep.	1104,572	297	3,719	24		6191,279	297	20,846	25		210,703	297	0,709	31	
Eroare (indiv./fam.)	2007,791	1600	1,255	45		12745,307	1600	7,966	53		378,459	1600	0,237	57	
T O T A L	4569,371	1999		100		24327,174	1999		100		670,319	1999		100	

Tabelul 5 (continuare)

Sursa de variație Source of variation	Grosimea ramurilor Branches diameter				Numărul ramurilor Branches number				Supraviețuirea Survival						
	S.S.	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	F	S.S.	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	F	S.S.	D.F.	s <sup>2</sup>	Particip. varianței %	
Proveniențe	3,550	9	0,394	2	4,420***	15,765	9	1,752	2	3,423***	8357,117	99	928,569	5	2,419*
Repetiții	7,589	3	2,530	4		12,232	3	4,077	1		2730,989	3	910,330	2	
Eroare	177,316	1987	0,089	94		1016,886	1987	0,512	97		148523,920	297	383,783	97	
T O T A L	188,456	1999		100		1044,883	1999		100		159612,000	399		100	
Familii	22,138	99	0,224	12	1,211	150,296	99	1,518	14	1,663***	48500,850	99	489,908	30	1,343*
Repetiții	7,589	3	2,530	4		12,232	3	4,077	1		2730,989	3	910,330	2	
Interacțiunea	55,087	297	0,185	29		271,259	297	0,913	26		-	-	-	-	
Fam. x Rep.															
Eroare	103,642	1600	0,065	55		611,098	1600	0,382	59		108380,200	297	364,917	68	
(indiv./fam.)															
T O T A L	188,456	1999		100		1044,883	1999		100		159612,000	399		100	

**Tabelul 6.** Componentele varianței, abaterea standard fenotipică ( $\sigma_{Ph}$ ) și eritabilitatea în sens restrâns la nivel de familie ( $h^2_f$ ) și indivizi ( $h^2_i$ ) în cultura half-sib Săcele, la 25 de ani de plantare

Variance components, phenotypic standard deviation ( $\sigma_{Ph}$ ) and narrow - sense heritability at family ( $h^2_f$ ) level and individual level ( $h^2_i$ ) in the Silver fir half - sib trial Săcele, at the age of 25

Caracterul Trait	$\sigma^2_f$	$\sigma^2_{fsr}$	$\sigma^2_e$	$\sigma^2_{Ph1}$	$\sigma^2_{Ph2}$	$\sigma_{Ph1}$	$\sigma_{Ph2}$	$h^2_f$	$h^2_i$
Înălțimea totală	0,102	0,493	1,255	0,288	0,908	0,537	0,953	0,354	0,449
Diametrul la 1,30m	0,842	2,576	7,966	1,884	5,409	1,373	2,326	0,447	0,622
Grosimea ramurilor	0,002	0,024	0,065	0,011	0,042	0,105	0,205	0,174	0,185
Numărul ramurilor	0,030	0,106	0,382	0,076	0,232	0,276	0,482	0,399	0,522
Forma trunchiului	0,001	0,094	0,237	0,037	0,155	0,192	0,394	0,031	0,030
Supraviețuirea	6,250	364,917	364,917	24,495	-	4,949	-	0,255	-

### 3.5. Estimarea câștigului genetic

Câștigul genetic care se poate obține prin selecția celor mai bune 5, 10 sau 15 familii dintre cele studiate și respectiv 10 % sau 20 % dintre cei mai buni arbori, din interiorul familiilor, este prezentat în tabelul 7. De asemenea, a fost calculat câștigul genetic așteptat atunci când se selecționează cei mai buni 3 arbori din cele mai bune 15 familii.

Valorile câștigului genetic sunt cuprinse între 1 – 9 % la nivel de familie și 1 – 18 % la nivel de indivizi. Cel mai mare câștig genetic a fost obținut pentru: diametrul la 1,30 m, numărul de ramuri, înălțimea totală și înălțimea elagată, caracterele cu cel mai ridicat control genetic și cea mai largă variabilitate genetică.

**Tabelul 7.** Câștigul genetic așteptat exprimat procentual prin selecția celor mai bune familii ( $\Delta G_1$ ), a celor mai buni indivizi în cadrul familiilor ( $\Delta G_2$ ) și a celor mai buni indivizi din cele mai bune familii ( $\Delta G_3$ )

Expected genetic gain expressed in percentages by means of selection of the best families ( $\Delta G_1$ ), best individuals within family ( $\Delta G_2$ ) and best individuals within the best families ( $\Delta G_3$ )

Caracterul Trait	$\Delta G_1$ (%)			$\Delta G_2$ (%)		$\Delta G_3$ (%)
	Selecția familiilor Selection of family			Selecția indivizilor Selection of individuals		Selecția părinților Selection of parents
	5	10	15	10 %	15 %	3 din 15
Înălțimea totală	4	3	3	7	7	11
Diametrul la 1,30m	9	8	7	18	16	28
Diametrul ramurilor	2	2	2	4	4	6
Numărul ramurilor	4	4	3	9	8	13
Forma trunchiului	1	1	1	1	1	2
Supraviețuirea	4	3	3	-	-	-

#### 4. DISCUȚII

Rezultatele demonstrează existența unei variabilități genetice mari la nivelul proveniențelor testate. Există o dependență mare a performanțelor proveniențelor de originea lor geografică. Astfel cea mai mare capacitate de creștere la vârsta de 25 de ani de la plantare, în toate culturile comparative, prezintă proveniențele din România. Cele mai valoroase și stabile proveniențe românești din acest punct de vedere sunt următoarele: 4 – Avrig, 7 – Vadul Dobrii, 13 – Soveja, 14 – Asău, 16 – Toplița, 47 – Moinești, 10 – Cozia, 50 – Mălini, 54 – Strâmbu Băiuț, 56 – Ilișoara Mureș.

Proveniențele românești se situează în topul clasamentelor și pentru celelalte caractere studiate, obținând cele mai mari procente de supraviețuire, trunchiuri drepte cu puține defecte de formă și ramuri subțiri în verticil.

Proveniențele străine au obținut cele mai bune rezultate în cultura comparativă Săcele, în timp ce în celelalte culturi ocupă, aproape constant, poziții sub media generală pe experiment. Dintre proveniențele străine, se remarcă: 23 – Rakitovo din sud-estul arealului și 44 – Lepilat din vestul arealului, cu performanțe superioare de creștere în toate locurile de testare, precum și unele proveniențe din Polonia (65 – Skarzysko), Cehia și Slovacia, acestea din urmă, din Munții Carpați. Procente de supraviețuire mai ridicate au obținut doar unele proveniențe din sudul și sud-estul arealului și din nou proveniența franceză 44-Lepilat.

Dacă pentru caracterele de creștere și forma trunchiului se constată o tendință de variație de-a lungul longitudinii și latitudinii, pentru caracterele ramurilor și capacitatea de adaptare există o variabilitate genetică însemnată în interiorul aceluiași regiuni fito-geografice. Proveniențele românești sunt mult mai stabile, variabilitatea în interiorul regiunilor de proveniență din țara noastră fiind mult mai redusă. Comportamentul stabil al proveniențelor românești poate fi consecința tratamentelor bazate în principal pe regenerarea naturală a arboretelor de brad în România, astfel că arealul de cultură se suprapune peste arealul său natural. De aceea, se consideră că în ceea ce privește capacitatea de adaptare, variația geografică este mai degrabă ecotipică decât clinală, având originea în arealul fragmentat al acestei specii. Tendința geografică de variație, născută sub influența condițiilor mediului de origine, a fost evidențiată și de corelațiile obținute cu gradientii ecologici (tabelul 4).

De asemenea, există o variație considerabilă de la o cultură comparativă la alta, ceea ce indică o mare influență a condițiilor staționale în exprimarea fenotipică a caracterelor studiate.

Diferențele procentuale dintre cele mai performante proveniențe și media pe experiment sunt cuprinse între 33 – 42% și sugerează că se pot obține câștiguri genetice însemnate, în ceea ce privește producția de masă lemnoasă, prin selecția celor mai productive proveniențe.

Există o variabilitate largă de la o cultură comparativă la alta, ceea ce corespunde cu influența mare a mediului în exteriorizarea genotipului în fenotip. Cele mai bune performanțe de creștere, la această vârstă, au fost obținute în suprafețele



experimentale situate în afara arealului natural al bradului la noi în țară, în etajul montan și premontan al făgetelor (Domnești). În același timp, cele mai ridicate procente de supraviețuire au fost înregistrate în culturile comparative situate în optimul de vegetație al speciei.

Rezultatele analizei de varianță evidențiază o variație genetică mult mai mare la nivelul celor 10 proveniențe testate decât la nivelul familiilor (tabelul 5). La nivel de familie au fost obținute diferențe semnificative doar pentru caracterele de creștere, numărul ramurilor în verticil și supraviețuire.

Coefficienții de eritabilitate în sens restrâns, calculați la nivel de familie și la nivel de indivizi, indică un control genetic considerabil pentru caracterele de creștere, numărul ramurilor și supraviețuire.

Un câștig genetic substanțial poate fi obținut, în ceea ce privește producția de masă lemnoasă și calitatea lemnului, prin selecția celor mai bune proveniențe, urmată de selecția celor mai buni arbori din cele mai bune familii.

Rezultatele obținute sunt în concordanță cu studiile de proveniențe din alte țări (Larsen și Mekic, 1991; Mayer și alții, 1982; Larsen, 1981 și 1986; Kranenborg, 1994; Mekic și alții, 1994) și au fost confirmate prin analiza markerilor izoenzimatici (Bergmann, 1991; Muller-Starck, Baradat și Bergmann, 1992 ; Konert și Bergmann, 1995).

## 5. CONCLUZII

Variabilitatea genetică mult mai mare la nivel interpopulațional, evidențiată în studiul de față, exprimă strategia adaptivă a speciei și este caracteristică speciilor endemice cu areal fragmentat.

Legea de aur a provenienței locale nu a fost verificată prin acest studiu. În toate culturile comparative există unele proveniențe nelocale superioare provenienței locale și care constituie surse de semințe testate valoroase pentru regiunea respectivă de proveniență.

Rezultatele cercetărilor evidențiază existența unor centre de gene valoroase ale bradului: Munții Carpați (România, Cehia, Slovacia), Munții Rodopi (Bulgaria), Calabria (Italia) și Munții Ceveni (Franța).

## BIBLIOGRAFIE

- BERGMANN, F., 1991. Causes and consequences of species – specific genetic variation patterns in European forest tree species: examples with Norway spruce and Silver fir. In: Genetic variation in European populations of forest trees, Muller-Starck and Zieche (eds). Sauerlander's Verlag, Frankfurt am Main, 1992-205 pp
- DAMIAN, M., LEANDRU, L., 1984. Culturi comparative de proveniențe de brad, Seria II-a, Redacția de

- propagandă tehnică agricolă, București, 35 pp.
- DEACONU, V., 1991. Culturi comparative de proveniențe și descendențe la brad. Seria II-a, Redactia de propaganda tehnica agricola, Bucuresti, 58 pp.
- ENESCU, V., 1975. Ameliorarea principalelor specii forestiere. Editura Ceres, 314 pp.
- JUCAN, A., 1998. Comportarea unor proveniențe de molid, brad și fag în culturi comparative internaționale din Europa și America de Nord. Teza de doctorat.
- KONERT, M și BERGMANN, F., 1995. The geographical distribution of genetic variation of silver fir in relation to its migration history. În: Plant Syst. And Evolution 196, 19-30p.
- KRANENBORG, K.G., 1994. *Abies alba* provenance research in the Netherlands. In: 7 IUFRO – Tannensymposium, Deutschland, 369 – 381 pp.
- LARSEN, J.B., MEKIC, F., 1991. The geographic variation in European Silver Fir. *Silvae Genetica* 40(5/6): 188-197.
- MADSEN, F.S., 1987. Changes in state of health of *Abies alba* Mill. During the last decade in provenance experiments in Denmark. Silver fir decline and stem cracks. In: Hochschule für Forstwirtschaft und Holztechnologie, Zvolen, 5 IUFRO – Tannensymposium, 143 – 147 pp.
- MEKIC, F., DOHRENBUSCH, A., 1994. Wachstum und struktur 12 jähriger weisstannen (*Abies alba* Mill.) verschiedener provenienzen. In: IUFRO – Tannensymposium, Deutschland, 339 – 368 pp.
- MULLER-STARCK, G., BARADAT, PH., BERGMANN, F., 1992. Genetic variation within european tree species. Kluwer Academic Publisher, 23 – 47 pp.
- NANSON, A., 2004: Genetique et amelioration des arbres forestieres. Les presses agronomique de Gembloux, 712 p.