

우리나라에 도입된 스트로브잣나무의 산지-시험지간 상호작용

최형순^{1*} · 유근옥² · 현정오³ · 김인식² · 조도현²

¹국립산림과학원 난대산림연구소, ²국립산림과학원 산림유전자원부,
³서울대학교 산림자원학과

(2011년 9월 22일 접수; 2011년 11월 28일 수정; 2011년 11월 28일 수락)

Interaction Between Provenance and Site of Eastern White Pine (*Pinus strobus*) Imported into Korea

Hyung-Soon Choi^{1*}, Keun-Ok Ryu², Jung-Oh Hyun³, In-Sik Kim² and Do-Hyun Cho²

¹Warm-Temperate Forest Research Center, Korea Forest Research Institute, Seogwipo 697-050, Korea

²Department Forest Genetics Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-350, Korea

³Department Forest Resources, Seoul National University, Seoul, 151-742, Korea

(Received September 22, 2011; Revised November 28, 2011; Accepted November 28, 2011)

ABSTRACT

This study was conducted to investigate growth performance and provenance by site interaction in *Pinus strobus* (Eastern White Pine) provenance tests for selecting superior provenances in Korea. *P. strobus* was planted in 1972 at four test sites in Korea and the growth was analyzed at age 39. The growth of *P. strobus* was positively correlated with relative humidity and precipitation and negatively correlated with temperature of the test sites. The portion of interaction term of the total variation explained 2.5% in height and 24.6% in diameter of the total variation according to the regression analysis. The method of combined stability and performance index (CSPi) ranked the North Carolina provenance as the best provenance with good adaptability.

Key words : Provenance by site interaction, Adaptability and stability, Regression analysis, CSPi, *Pinus strobus*

I. 서 론

스트로브잣나무(*Pinus strobus* L., Eastern white pine)는 캐나다 동남부와 미국 동북부 지역에 분포하는 침엽 상록교목으로, Georgia, South Carolina 지역부터 캐나다의 Ontario 및 Newfoundland 지역까지 널리 분포하는 수종이다(Wendel and Smith, 1990). 우리나라에 스트로브잣나무는 1924~1936년 사이에 북미로부터 도입되었다는 기록이 있으나, 식재 후 산지별 생육 현황은 알 수 없다(Yoon, 1959). Ryu(1982)는 스트로브잣나무 27개 산지에 관한 동위효소 분석으로 지리

적 거리에 의한 4개의 집단으로 구분하였으며, Han *et al.*(1982)은 스트로브잣나무 원산지인 북미 5개 산지의 종자를 도입하여 1964년에 경기도 화성군에 식재한 20년생 스트로브잣나무의 생장을 분석한 결과, New York 산지가 가장 우수하였으며, 비교수종으로 식재한 잣나무에 비해 재적생장이 3배 이상 우수하다고 보고하였다. 또한 지역별 입지별 생장시험을 위해 미국, 이태리, 뉴질랜드에서 6개 산지의 종자를 도입하여 1972년 강원 춘천 등 5개 시험지에 조립하여, 19년생의 생장을 분석한 결과, 모든 시험지에서 North Carolina 산지의 생장이 가장 우수한 것으로 나타났다



* Corresponding Author : Hyung-Soon Choi
(forgene@forest.go.kr)

(Han *et al.*, 1988; Choi *et al.*, 2008). 생장이 우수하고, 우리나라의 기후, 토양 등의 환경조건에 잘 적응하는 스트로브잣나무는 조림수종으로서 가치가 높을 것으로 판단된다.

두 가지 이상의 유전자형을 두 개 이상의 지역에서 생장이나 기타 특성을 비교할 경우, 한 지역에서의 좋은 성적을 거둔 유전자형이 다른 지역에서는 열등한 결과를 나타낼 수 있는데, 이를 유전자형과 환경인자간의 상호작용(Genotype-environment interaction, $G \times E$)이라고 한다(Allard and Bradshaw 1964; Barnes *et al.*, 1982). Shelbourne(1972)은 유전자형-환경인자간의 상호작용은 임목의 육종 프로그램을 개발할 때 매우 중요하다고 언급했으며, 집단에 있어서 생산성과 적응력이 우수하고 안정적인 산지를 구명하는 것이야말로 임목육종의 중요한 첫 번째 단계라고 강조하였다.

산지시험에 있어서 해당 시험조림지에서 생장이 우수한 산지를 구명하는 것이 가장 중요한 목적이라 할 수 있다. 동시에 그 생장이 여러 시험지역에서 편차가 크지 않는 안정적인 산지를 선발하는 것도 매우 중요하다. 즉, 생산성과 적응력이 우수하고 안정적인 산지를 구명하는 것이 산지시험의 가장 최종적인 목표라고 할 수 있다. Romagosa and Fox(1993)는 상호작용을 분석하는 것은 주어진 환경에 가장 적합한 유전자형을 찾음으로써 최적의 육종계획을 결정하게 되는 중요한 임무라고 하였다. 외래수종을 도입하고 보급함에 있어서 우수한 생장을 하는 산지를 선발하고, 조림 적지를 구명하는 것은 필수적인 작업이다. 그러나, 이와 함께 다양한 환경조건에서 안정적인 생장을 하는 산지를 선발하는 것도 매우 중요함에도 불구하고, 우리나라에서 우수 산지의 구명과 이를 병행하여 시험지와 산지간의 상호작용을 분석하여 파악하려는 연구는 미미한 실정이다.

본 연구에서는 우리나라에 도입된 스트로브잣나무의 생장결과를 이용하여 산지와 시험지간의 상호작용을 구명함으로써, 우리나라 환경에 잘 적응하고 생장과 조림적 가치가 우수한 산지를 선발할 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

2.1. 공시재료

스트로브잣나무는 1972년 강원 춘천, 경기 군포, 충북 청주, 전북 임실 등 전국 4개 시험지에 6개 산지(2개 원산지(provenances)와 4개 종자원(seed sources))를 식재한 시험림을 대상으로 하였다(Table 1). 자료의 분석은 Choi *et al.*(2008)의 성장자료를 이용하였다.

2.2. 산지와 시험지간의 상호작용 효과

각 시험지별 산지간 성장 자료를 이용하여, 산지의 효과는 유전적 요인으로, 시험지의 효과는 환경적인 요인으로 설정하여 회귀분석 방법(Regression analysis)을 이용하여 상호작용 효과를 분석하였다. 이것은 회귀분석을 이용하여 산지와 시험지간의 상호작용($G \times E$)을 회귀계수와 시험지 효과의 곱($b \times E$)으로 표현한 방식이며, 분석에 사용된 회귀식은 다음과 같다(Finlay and Wilkinson, 1963).

$$Y_{ij} = \mu + G_i + E_j + b_i E_j + e_{ij} \quad (1)$$

μ : 평균,

G_i : i 번째 산지 효과,

E_j : j 번째 시험지 효과,

b_i : i 번째 산지별 회귀 계수,

e_{ij} : 오차

회귀분석에서 산출되는 회귀계수(b) 값에 따라서 산지별 안정성을 평가하게 되는데, b 값이 1이면 평균적인 안정성(average stability)을 의미하게 되고, 1 이상이면 평균이하의 저조한 안정성, 그리고 1 이하이면 안정성이 높음, 즉 환경변화에 대한 저항이 큼을 의미한다. 안정성이 저조하다는 것은 환경의 변화에 따라 생장의 우수함과 불량함이 크게 좌우되는 것을 의미하고, 안정성이 높다는 것은 환경의 변화에 생장패턴이 잘 변화하지 않음을 의미한다. 회귀분석방법에 의한 상호작용 효과는 SAS(SAS Institute. ver. 9.1.2.) 프

Table 1. Average climatic conditions of *P. strobus* test sites from 1973 to 2008

	Chuncheon	Gunpo	Cheongju	Imsil
Average Temperature (°C)	11.0	11.8	12.1	10.9
Average Minimum Temperature (°C)	5.8	7.1	7.3	5.3
Average Maximum Temperature (°C)	17.1	17.1	18.0	17.6
Average Precipitation (mm)	1,293	1,262	1,230	1,333
Average Relative Humidity (%)	71.3	70.4	69.1	74.5

로그래프를 이용하여 분석하였다.

2.3. 순위검정

산지시험의 가장 중요한 목적은 적응력이 높고 생장이 우수한 산지를 구명하는 것이다. 다양한 환경 조건 하에서 생장의 편차가 크지 않는 안정적인 산지, 즉 생장과 안정성을 동시에 만족시키는 산지를 선발하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 비모수적 분석방법으로서 계산과정이 간단하고 그 결과도 순위로 산출되어 (rank-based measure) 직관적 판단을 할 수 있게 하는 Combined stability and performance index(CSP) 방법을 이용하여 순위검정을 실시하였다. 분석에 사용된 식은 아래와 같다(Isik and Kleinschmit, 2003).

$$CSP_{is} = \sum_j |r_{ij} - O| / N \tag{2}$$

r_{ij} : j 번째 환경에서 i 번째 산지의 순위
 O : 측정형질에서 최대값을 나타내는 시험지에서의 산지순위
 N : 시험지 수 ($j=1 \dots N$)

III. 결과 및 고찰

3.1. 스트로브잣나무의 생장

산지-시험지간 상호작용 분석에 이용될 20년생과 39년생 스트로브잣나무의 각 시험지별, 산지별 생장의 생장은 Table 2와 같다. 스트로브잣나무의 생장은 강

Table 2. Mean height growth of *P. strobus* provenances and seed sources by ages at the four test sites in Korea (edited from Choi et al., 2008)

Sites	Provenances	Height by ages (m)		DBH by ages (cm)	
		20	39	20	39
Age	New York	9.8	18.5	16.9	34.0
	North Carolina	11.0	18.9	19.2	35.9
	Rotorua	10.4	18.3	17.3	30.7
	Induno Olona	10.5	18.8	17.6	34.5
	Bagnolo	10.4	18.1	16.8	30.3
	Ternavasso	10.6	18.6	18.2	33.4
	Mean	10.5	18.6	17.7	33.1
	Gunpo	New York	6.6	15.7	14.7
North Carolina	6.9	15.9	15.5	28.3	
Rotorua	6.5	15.3	13.6	23.8	
Induno Olona	6.8	15.8	14.1	25.7	
Bagnolo	6.5	15.7	13.0	24.9	
Ternavasso	6.7	15.5	14.4	27.0	
Mean	6.7	15.7	14.2	26.3	
Cheongju	New York	5.7	16.2	11.0	26.7
	North Carolina	6.9	17.1	13.0	30.4
	Rotorua.	5.9	16.6	12.0	30.2
	Induno Olona	6.9	17.1	14.0	28.8
	Bagnolo	6.4	16.7	12.0	28.6
	Ternavasso	6.5	16.7	14.0	28.7
	Mean	6.4	16.9	12.7	29.2
	Imsil	New York	7.4	18.8	11.8
North Carolina		8.5	20.4	14.0	32.7
Rotorua.		7.6	18.9	12.0	26.8
Induno Olona		8.1	20.2	13.0	32.4
Bagnolo		7.5	19.2	12.0	25.5
Ternavasso		7.9	19.8	14.3	29.8
Mean		7.8	19.6	12.9	28.5

Table 3. Analysis of variance for Height and DBH of the *P. strobus* provenance tested over the four sites in Korea

Factor	D.F.	MS		F-value	
		Height	Height	DBH	/DBH
Site	3	765.3	640.2**		
Provenance	5	18.7	8.33**		
Site × Provenance	15	2.9	1.3 ^{ns}		
Error	1431	2.3			
Factor	D.F.	MS		F-value	
		DBH	/DBH		
Site	3	2639.5	86.3**		
Provenance	5	369.2	12.1**		
Site × Provenance	15	107.9	3.5**		
Error	1431	30.6			

수량과 상대습도와는 정의 상관관계를, 기온과는 부의 상관관계를 갖는 것으로 나타났다(Choi *et al.*, 2008, Table 1). 분산분석 결과 수고와 흉고직경의 생장이 시험지별 산지별로 서로 다른 양상을 나타냈으며, 흉고직경 생장에서는 상호작용이 존재하는 것으로 나타났다(Table 3).

3.2. 상호작용 분석

회귀분석방법을 이용하여 시험지-산지간의 상호작용을 파악하였으며, 각 요소별 회귀계수의 기울기, 절편, 분산값 등을 계산하였다(Table 4, 5).

수고 생장에서 산지와 시험지간의 상호작용은 전체 변이의 2.5%(=1.203/58.933)로서 매우 적은 부분을 차지하는 것으로 나타났으며, 회귀방정식의 이질성(heterogeneity)은 유의성이 없는 것으로 나타났다(F=2.28, not-significant). 즉, 6개 산지의 수고 생장 반응이 4개 시험지에서 비슷한 경향으로 나타남을 의미하였다. 수고 생장의 반응식의 기울기나 절편 값과

Table 4. Regression analysis for provenance by site interaction for height of *P. strobus* provenances tested at the four sites at age 39 in Korea

Source	DF	SS	MS	F
Site	3	55.357	18.452	230.01**
Provenance	5	2.373	0.475	5.92**
S-P interaction	15	1.203	0.080	
Heterogeneity of regression	5	0.641	0.128	2.28
Residual	10	0.562	0.056	
Total	23	58.933		

Table 5. Slopes, intercepts, and variances for each provenance estimated from the regression analysis for the height of *P. strobus* provenances tested at the four sites at age 39 in Korea

Provenances	Slope	Intercept	Variance
New York	0.8812	1.7316	0.1691
North Carolina	1.1302	-1.8927	0.0261
Rotorua	0.9300	0.8440	0.0574
Induno Olona	1.0994	-1.4494	0.0205
Bagnolo	0.8791	1.8927	0.0094
Ternavasso	1.0976	-1.7412	0.0007

Table 6. Regression analysis for provenance by site interaction for the DBH of *P. strobus* provenances tested at the four sites at age 39 in Korea

Source	DF	SS	MS	F
Site	3	142.971	47.657	15.5**
Provenance	5	55.459	11.092	3.61*
S-P interaction	15	46.116	3.074	
Heterogeneity of regression	5	2.736	0.547	0.13
Residual	10	43.38	4.338	
Total	23	244.546		

생장 간에는 연관성이 없었다. 즉, 생장 양상과 이 값들 간에는 상관관계가 성립하지 않았다.

흉고직경 생장에 있어서 산지와 시험지간의 상호작용은 전체변이의 24.6%(=46.116/244.546)를 차지하는 것으로 나타나 수고생장과 비교하였을 때, 시험지와 산지 간 상호작용의 효과가 매우 큰 것으로 나타났다(Table 6). 이는 직경생장이 시험지 내에서 산지간의 순위가 서로 일정하지 않으며, 그 값의 차이가 시험지별로 크며, 변동이 크기 때문인 것으로 판단된다(Fig. 1). 회귀방정식의 이질성은 수고생장과 마찬가지로 유의성이 없는 것으로 나타났다(F=0.13). 상호작용 효과가 크게 나왔음에도 불구하고 다변성이 기각되는 이유는 상호작용 효과 중에서도 잔차(오차)항이 차지하는 부분이 크기 때문에 유의하지 않게 나온 것으로 추정할 수 있다(Table 7).

3.3. 생장 순위 분석

회귀분석방법을 통해 분석한 결과, 수고생장에서는 산지와 시험지간 상호작용이 나타나지 않았고, 흉고직경 생장에서는 상호작용이 있는 것으로 나타났다. 그러나, 회귀계수의 안정성지수가 1에서 유의하게 벗어나지 않았기 때문에, 산지별 안정성에 대한 비교는 할

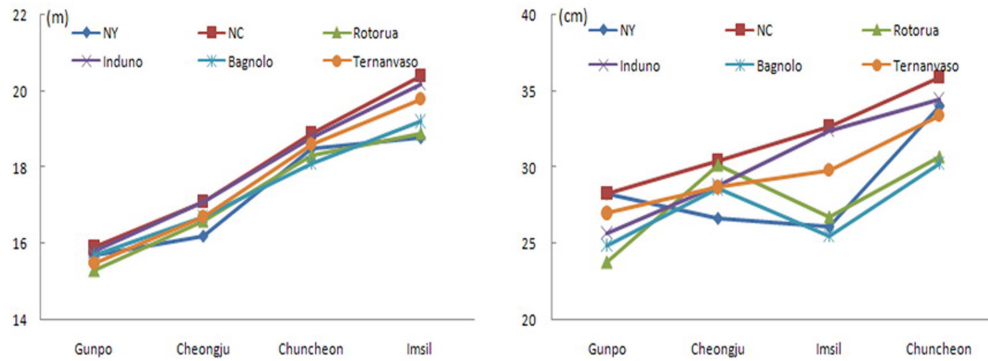


Fig. 1. The growth at age 39 of the six *P. strobus* provenances at the four test sites in Korea. (Left : height, Right : DBH)

Table 7. Slopes, intercepts, and variances for each provenance estimated from the regression analysis for the DBH of *P. strobus* provenances tested at the four sites at age 39 in Korea

Provenances	Slope	Intercept	Variance
New York	1.0178	-1.0798	7.0840
North Carolina	1.0965	-0.3369	1.5119
Rotorua	0.9140	1.0663	5.5672
Induno	1.2185	-5.3915	4.9389
Bagnolo	0.7843	4.3196	2.4750
Ternavasso	0.9450	2.0048	0.2951

Table 8. Stability ranking test with non-parametric statistics (CSP_i) of the *P. strobus* provenances and seed sources at the four test sites in Korea

Provenances	Height		DBH	
	CSP_i	Stability ranking	CSP_i	Stability ranking
New York	1.0	6	1.5	6
North Carolina	0.0	1	0.0	1
Rotorua	0.5	3	1.3	5
Induno Olona	0.0	1	0.8	4
Bagnolo	0.5	3	0.5	2
Ternavasso	0.5	3	0.5	2

수 없었다. 생장이 우수하면서도 시험지의 환경조건에 안정적인 산지를 선발하기 위하여 CSP_i 를 이용하여 분석한 결과, 수고생장에서는 North Carolina 산지와 Induno Olona 산지가 가장 안정적인 것으로 나타났으며 New York 산지는 가장 낮은 순위로 나타났다 (Table 8).

흉고직경 생장에서는 North Carolina 산지가 가장 안정적인 것으로 나타났으며, Bagnolo, Ternavasso 종 자원이 두 번째로 안정적인 것으로 나타났다. New

York 산지는 수고와 흉고직경 생장 에서 모두 안정성이 가장 낮은 것으로 판명되었다.

임목의 산지시험에서, 산지 혹은 가계와 시험지간의 상호작용은 많은 연구가 수행되었다(EI-Lakany, 1983; Lindgren, 1984; Van Wyk and Falkenhagen, 1984). 산지-시험지 간의 상호작용은 수종에 따라서, 어떠한 환경에 조립되었는가에 따라서, 또한 동일수종 내에서도 생장특성(수고생장과 건중량, Lambeth *et al.*, 1982; 수형, Mullin *et al.*, 1983)에 의해서도, 연령의 변화에 따라 상호작용이 존재하거나 존재하지 않을 수 있다.

Pinus caribaea(Liegel, 1984), *Eucalyptus grandis* (Sesbou, 1981), *P. sylvestris*(Hannrup *et al.*, 2008)에서는 수고와 직경 생장에서 상호작용이 나타나지 않았으며, *P. caribaea*(Gibson, 1982)와 *E. nitens*(Mullin *et al.*, 1983) 연구에서는 여러 가지 생장특성 중 수형(stem form)에서만 상호작용이 있다고 보고되었다.

Wright(1973)는 스토브잣나무의 경우 미국의 남부 및 중부에서 유전자형과 환경간의 상호작용이 존재하지 않으며, 예외적으로 남부 분포지역의 끝부분이나 오대호의 북부에 조립되었을 때 상호작용이 발견된다고 하였다. Joyce *et al.*(2002)은 캐나다의 Ontario 지역에 식재한 스트로브잣나무의 유령기에 기후나 토양 조건등이 다양하더라도 수고생장의 산지와 시험지간의 상호작용은 계속해서 존재하지 않는 것으로 나타났으며 산지별로 순위의 변동이 거의 없다고 보고하였다.

Pswarayi *et al.*(1997)은 짐바브웨의 세 지역에 식재한 *P. elliottii*의 5, 8, 15년생의 생장을 분석한 결과, 상호작용이 존재하지 않는다고 밝혔으며, Roth *et al.*(2007)은 미국 동남부지역에 식재한 *P. taeda*와 *P.*

*elliottii*의 단면적과 재적이 가계와 시험지간, 가계와 조림학적 처리강도, 조림학적 처리강도와 밀도간에 상호작용이 유의하게 나타났음을 보고하였으며, 이 수종들을 식재할 경우에 우수하고 개량된 가계를 선별하여 식재하는 것이 육종학적으로 중요함을 언급하였다. McDonald and Apiolaza(2009)는 뉴질랜드에 식재한 라디아타소나무(*P. radiata*)의 총강수량, 최저/최고 기온이 흉고직경 성장에 있어서 시험지와의 상호작용에 영향을 준다고 보고하였다. Hannrup *et al.*(2008)은 스웨덴 남쪽 지역에 식재한 구주적송(*P. sylvestris*)의 차대검정림의 성장특성에서 상호작용이 거의 존재하지 않는다고 하였다. Kim *et al.*(2008)은 한국에 식재된 6년생 소나무의 경우, 수고생장에서 상호작용이 존재하는 것으로 보고하였다. Isik and Kleinschmit(2003)는 40개 클론의 독일가문비나무를 7개 시험지에 식재한 후, 17년생의 수고생장자료를 이용하여 클론과 시험지간의 상호작용을 분석하였다 다양한 분석방법에 따라 차이는 있지만, 전체적으로 상호작용이 매우 작게 존재하였으며(1.9%), 향후에는 상호작용의 중요성이 점차 감소할 것으로 예측했으며, *CSP*와 같이 안정성과 성장을 동시에 판단하는 방법이 효과적이라고 평가하였다.

본 연구에서 스트로브잣나무의 생장의 산지-시험지간의 상호작용 분석결과는 수고 성장에서는 존재하지 않았으며, 흉고직경 성장에서는 존재하는 것으로 나타났다. 향후 조림적, 경영적인 측면에서 상호작용과 안정성의 검정결과는 매우 중요하다고 할 수 있다. North Carolina 산지는 모든 시험지에서 우수한 성장을 하며 안정도가 높아 우리나라의 입지조건에 잘 적응하는 최적의 산지라 판단되며, 남반구의 Rotorua 중 자원과 New York 산지는 생장이나 안정성 측면에서 도입을 지양해야 할 것으로 판단된다.

REFERENCES

- Allard, R. W., and A. D. Bradshaw, 1964: Implications of genotype-environment interactions in applied plant breeding. *Crop Science* **4**, 503-508.
- Barnes, R. D., J. Burley, G. L. Gibson, and P. Garcia de Leon, 1982: *Genotype-environment interactions in tropical pines and their structure of breeding population*. (Mimeo. Rept.). Oxford, England, 22pp.
- Choi, H. S., K. O. Ryu, H. Y. Kwon, D. S. Jeon, K. H. Kim, C. G. Ahn, and Y. H. Ahn, 2008: Growth performance of *Pinus strobus* at four plantations in Korea. *Korean Journal of Breeding Society* **40**, 377-386. (in Korean)
- El-Lakany, M. H., 1983: Provenance/site interaction in irrigated sites of *Eucalyptus camaldulensis*. *Fast Growing Trees. Silvicultura* **31**, 450-451.
- Finlay, K. W., and G. N. Wilkinson, 1963: The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* **14**, 742-754.
- Gibson, G. L., 1982: *Genotype-environment interactions in Pinus caribaea Commonw.* Forest Institute, Oxford University. U. K., 112p.
- Han, Y. C., K. Y. Lee, and S. K. Choi, 1982: Provenance test of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) in Korea. 1. Growth performance and some of needle characteristics of five provenances at age 0f 20. *The Research Reports of the Forest Genetics Korea* **18**, 40-46. (in Korean)
- Han, Y. C., K. O. Ryu, K. Y. Lee, and S. O. Chang, 1988: Growth comparison of 19-year-old provenance test of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) by volume per hectare and volume per tree. *The Research Reports of the Forest Genetics Korea* **24**, 87-93. (in Korean)
- Hannrup, B., G. Jansson, and O. Danell, 2008: Genotype by Environment Interaction in *Pinus sylvestris* L. in Southern Sweden. *Silvae Genetica* **57**, 306-311.
- Isik, K., and J. Kleinschmit, 2003: Stability-related parameters and their evaluation in a 17-year old Norway spruce clonal test series. *Silvae Genetica* **52**, 133-139.
- Joyce, D. G., P. R. Lu, and W. Sinclair, 2002: Genetic variation in height growth among populations of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) in Ontario. *Silvae Genetica* **51**, 136-142.
- Kim, I. S., H. Y. Kwon, K. O. Ryu, and W. Y. Choi, 2008: Provenance by Site Interaction of *Pinus densiflora* in Korea. *Silvae Genetica* **57**, 131-139.
- Lambeth, C. C., R. W. Stonecypher and B. J. Zobel, 1982: *Early testing on Douglas-fir in phytotron environments - The effect of selection trait and genotype x environment interaction*. N. Amer. For. Biol. Workshop, Univ. of Kentucky, Lexington, Kentucky pp. 137-148.
- Liegel, L. H., 1984: Ten-year growth results from *Pinus caribaea* and *P. oocarpa* provenance trials in Puerto Rico. *In IUFRO* pp. 326-327.
- Lindgren, L., 1984: Genotype-environment interaction of provenances of *Pinus contorta*. Conf. Geno. × Envir. Inter. *Studia Forestalia Suecia* **166**, 41-44.
- McDonald, T. M., and L. A. Apiolaza, 2009: Genotype by environment interaction of *Pinus radiata* in New Zealand. Perth, Australia: *Second Australasian Forest Genetics Conference*.
- Mullin, L. J., J. Gough, and D. T. Carter. 1983: Provenance trials of *Eucalyptus nitens* in Zimbabwe. *Fast Growing Trees. Silvicultura* **29**, 116-117.
- Pswaryi, I. Z., R. D. Barnes, J. S. Birks and P. J. Kanowski, 1997: Genotype-Environment Interaction in a Population

- of *Pinus elliottii* ENGELM. var. *elliottii*. *Silvae Genetica* **46**, 35-40.
- Romagosa, I., and P. N. Fox, 1993: *Genotype × environment interaction and adaptation*. In: M.D. Hayward, N.O. Bosemark & I. Romagosa (Eds.), *Plant Breeding: Principles and Prospects*, pp. 373-390. Chapman and Hall, London.
- Roth, B. E., E. J. Jokela, T. A. Martin, D. A. Huber, and T. L. White. 2007: Genotype × environment interactions in selected loblolly and slash pine sites in the Southeastern United States. *Forest Ecology and Management* **238**, 175-188.
- Ryu, J. B., 1982: Genetic structure of *Pinus strobus* L. based on foliar isozyme from 27 provenances. Ph. D. Thesis, New Hampshire State University, 133pp.
- SAS Institute 2004: SAS 9.1.2 *Qualification Tool User's Guide*. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Sesbou, A., 1981: A study of the genetic variability of the quality of the wood and collapse in *Eucalyptus emaldulensis*. Ph. D. thesis, University of Nancy, 145pp.
- Shelbourne, C. J., 1972: Genotype-environment interaction : Its study and its implications in forest tree improvement. *SABRAO Joint Symposia*, Tokyo, 27pp.
- Van Wyk, G., and E. R. Falkenhagen, 1984: Genotype × environment interaction in South African breeding material. *Site Prod. Fast Grow. Plant., Pretoria*, South Africa, pp. 215-231.
- Wendel, G. W., and H. C. Smith, 1990: *Pinus strobus* L.: eastern white pine. In *Silvics of North America. Volume 1. Conifers*. USDA, Forest Service, Agriculture Handbook No. 654.
- Wright, J. W., 1973: Genotype-environment interaction in north central united states. *Forest Science* **19**, 113-123.
- Yoon, K. B., 1959: A Study on Exotic Forest Trees Growing. *The Research Reports of the Forest Genetics, Korea*. pp. 102. (in Korean)