

4年生 우리나라 사시나무 클론의 樹高遺傳力 및 改良效果¹

盧義來² · 李成奎² · 具永本² · 邊光玉²

Heritability and Genetic Gain of Height in *Populus davidiana* in 4-year-old Clonal Test¹

Eui Rae Noh², Soung Kyu Lee², Yeong Bon Koo², and Kwang Ok Byun²

要 約

전국 4개소에 식재된 사시나무 25개 클론중 18개 클론의 평균치에 대하여 廣義의 樹高遺傳力(反復力)을 구한 결과 $H^2_{CM}=0.883$ 로 상당히 높은 것으로 추정되었다. 이에 따라 18클론중에서 최우수 1클론(5%), 즉 백담 15호를 선발하는 경우 35.3%의 개량효과(1.02m의 실질적 수고개량)가 있으며, 최우수클론 2클론, 즉 百潭 15號와 仙女 4號를 選拔하면(10%) 25.6%의 개량효과(0.74m의 실질적 수고개량)를 얻을 수 있을 것이다. 또한 최종 選拔樹齡에 가면 樹高遺傳力이 더욱 높아질 것으로 기대되며, 따라서 더욱 높은 개량효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

The broad sense heritability of height of clonal means was estimated from 18 clones out of 25 clones growing at four different sites, and it showed considerably high heritability of $H^2_{CM}=0.883$. Therefore if we select the best one clone(5% selection), the genetic gain of 35.3% which is equal to 1.02m in height is expected to attain. If we select the best two clones(10% selection), the genetic gain will be 25.6% which is equal to 0.74 m in height. Because the trees are only 4-year-old, it is expected to show higher genetic gain than the current gain when the trees reach to the age of final selection.

Key words : *Populus davidiana* Dode, aspen, broad sense heritability, genetic gain, clonal test.

緒 言

우리나라 사시나무는 태백산을 중심으로 분포하며 최남단 분포지는 대구의 팔공산이다. 팔공산의 경우에는 해발고가 400m 정도이나 나머지 태백산의 경우는 모두 해발 600m 이상의 고지에 자생하는 우리나라의 향토수종 포플러류이다.¹³⁾

우리나라 사시나무는 주로 북한과 중국에 분포하고 있는데 특히 중국에서의 분포범위는 北緯 20-55度, 東經 100-135度이며 해발고로는 200-3500m이다. 氣候帶別로는 寒溫帶의 針葉樹林區, 溫帶闊葉樹林區, 暖溫帶 및 亞熱帶까지로 보고되고 있다¹⁾.

우리나라는 포플러재 수입국이며 특히 사시나무를 많이 수입하는 것으로 알려져 있다.^{5,13)} 그

¹ 接受 1994年 2月 7日 Received on February 7, 1994.

² 임목육종연구소 육종과 Breeding Div. of the Forest Genetics Research Institute, Suwon Kyonggido 441-350 Republic of Korea.

만큼 국내의 포플러재 생산이 수요에 못미치고 있는 것이다. 그럼에도 불구하고 과거에 이태리 포플러류의 주산지인 하천부지는 하천법에 의하여 더 이상 포플러를 식재할 수 없는 지경에 이르러 부득이 포플러재의 생산을 山地에서 하지 않으면 안되는 실정이 된 것이다. 이것이 우리나라 산지에 자생하는 사시나무를 육종하게 된 배경이다. 따라서 林木育種研究所에서는 사시나무 우량개체를 선발하였으며,¹³⁾ 또한 無性繁殖法까지도 개발하여,¹²⁾ 최초로 사시나무 클론을 만들어 시험림을 조성, 즉 최초의 인공조림을 실시하였다. 이렇게 하기까지 사시나무에 대하여 가능한 많은 기초자료를 얻기 위하여 여러가지 조사를 실시한 결과 사시나무 집단간의 성장형태의 차이를 구명하였으며,¹³⁾ 특히 잠정적으로 生理的 伐期齡이 32년임을 구명하였다. 또한 樹齡對 樹齡相關을 분석하여¹⁴⁾ 6년생때의 생장이 伐期인 32년생때의 성장과 높은 상관이 있음을 구명하게 되어, 地域試驗林 혹은 次代檢定林中 클론에 대한 혹은 家系에 대한 최종적인 우수성을 판단할 수 있는 수령이 6년생, 즉 伐期齡까지 기다릴 것 없이 6년생에서 최종적인 관정을 내려도 좋다는 결론을 얻었다.^{14,20)} 사시나무는 좋은 野生鳥類의 棲息地가 되는 것 또한 바람직한 일이 아닐 수 없다.²¹⁾

우리나라 사시나무에 대한 연구는 수종의 분포 때문에 주로 중국에서 연구가 이루어졌으며, 중국에서는 사시나무 연구를 국가적인 연구과제로 삼고 방대한 연구를 수행하고 있는데 秀型木選拔, 遺傳子의 수집 보존 등에 역점을 두고 있으며, 특히 交雜育種에도 역점을 두고 있는 것이 특징이다.^{1,22)} 우리나라 사시나무에 대한 遺傳母數를 측정하는 일은 아직 없으므로 직접적인 관련은 없으나, 다른 수종에 대하여 遺傳母數를 측정하는 예는 많다.^{2,3,7,8,9,16,17,18,19)} 그러나 삼목묘에 대한 遺傳母數를 求한 예는 우리나라의 경우 盧等¹¹⁾이 현사시의 성장과 형태적 특성 등 9가지에 대하여 個體 反復力과 클론平均 反復力을 추정하는 바 있으며, 외국에서는 주로 독일가문비를 중심으로 구라파에서 이루어졌다. Shelbourne¹⁸⁾은 노르웨이에 식재된 독일가문비 挿木묘에 대한 반복력을 구하고 유전적 개량효과를 계산한 바 있다. St.Clair와 Kleinschmit¹⁹⁾도 10년생 독일가문비 삼목묘에 대하여 廣義의 遺傳力, 反復力, 특히

환경에 대한 安定性(stability) 등을 조사하였으며, 그외에 Lepistö⁸⁾도 독일가문비 삼목묘에 대한 광의의 유전력, 반복력 등을 계산하였다.

본 연구의 목적은 우리나라 사시나무를 유전적으로 개량하기 위하여 挿木造林된 지역시험림을 대상으로 사시나무의 수고에 대한 유전력을 구하므로써 사시나무 육종에 필요한 기초자료를 얻고 또한 앞으로 수시로 유전력을 구하여 수령에 따른 유전력의 변화추세와 개량효과를 예측하기 위한 것이다.

材料 및 方法

본 연구의 대상이 된 사시나무는 1988-1989 사이에 선발된 우량개체의 뿌리를 채취하여 온실에서 根萌芽를 유도하고 발생된 근맹아에 대하여 組織培養을 加味한 삼목으로¹²⁾ 증식한 것이다. 이와 같이 온실에서 삼목증식된 어린 풋트(pot) 묘를 1990년 5-6월 사이에 圃地에 移植하고 그해 가을까지의 活着率과(圃地 活着率) 耐病性 정도를 조사한 다음 내병성이 강한 클론을 선발하여, 이듬해 1991 춘기에 京畿, 忠北, 全北, 慶南 山林環境研究所의 관할지역에 각각 25클론 씩 870본(30본/클론)을 3反復 亂塊法으로 配置 列植하였다. 實驗誤差를 최소화하기 위하여 林緣木을 별도로 식재하였다. 식재 당년의 活着率은 그해 9월에 조사하였다.

조성된 지역시험림에 대한 수고는 막대자로 측정하였으며, 蟲害로 인하여 樹幹이 切斷된 경우에는 수고조사에서 제외하였다. 조사시기는 1993. 9월 상순이며 조사는 해당도 산림환경연구소에서 실시하였다. 시험림의 관리는 풀베기를 연 2회 실시하였으며, 施肥는 하지 않았다.

測定資料의 분석은 SAS 전산프로그램을 사용하였으며, 모든 분석은 개체목별 수고를 이용하였다. 모든 효과는 random으로 간주하였으며, 다음과 같은 線形모델을 사용하였다.⁸⁾

$$y = \mu + L_i + C_j + R_{k(i)} + CR_{jk(i)} + E_{ijkl}$$

Y = i번째 地域의 j번째 反復에서 k번째 클론의 l번째 ramet의 樹高

μ = 總平均

L_i = 地域效果

C_j = 클론效果

$R_{k(i)}$ = i번째 地域의 k번째 反復效果

Table 1. Analysis of variance for height of *Populus davidiana*

Source of variation	df	EMS
Location	$l-1$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{cr,t}^2 + nr\sigma_{ct}^2 + nc\sigma_{rt}^2 + nrc\sigma_t^2$
Clones	$c-1$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{cr,t}^2 + nr\sigma_{ct}^2 + nr/\sigma_c^2$
Clone × location	$(c-1)(l-1)$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{cr,t}^2 + nr\sigma_{ct}^2$
Replication/ location	$l(r-1)$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{cr,t}^2 + nc\sigma_{rt}^2$
Clone × rep./ location	$l(c-1)(r-1)$	$\sigma_e^2 + n\sigma_{cr,t}^2$
Error		σ_e^2

CL_{j_i} = 클론 × 地域效果

$CR_{jk(i)}$ = i 번째 地域에서 클론 × 反復效果

E_{ijk} = 誤差

시험지별 클론별 반복별 활착율의 차이로 인하여 클론별 個體 (ramet) 數가 차이가 많아 조사야장을 중심으로 첫번째 3본 (line plot로 10본씩 식재)에 대한 수고측정치를 사용하였다. 특히 3본이 안되는 경우가 있을 때는 해당 클론 전체를 분석에서 제외하였다.

클론 個體值에 의한 廣義의 遺傳力(H^2_i)은 Lepisto⁸⁾와 St.Clair 等¹⁹⁾의 방법에 따라 다음과 같이 구하였다.

$$H^2_i = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_p^2} \tag{1}$$

여기서

$$\sigma_p^2 = \sigma_c^2 + \sigma_{ct}^2 + \sigma_{cr,t}^2 + \sigma_t^2$$

즉

H^2_i = 廣義의 遺傳力 (個體值 基準)

σ_p^2 = 表現型分散

σ_c^2 = 클론間의 分散

σ_{ct}^2 = 클론 × 地域에 의한 分散

$\sigma_{cr,t}^2$ = 地域에서 클론 × 反復에 의한 分散

σ_e^2 = 誤差分散

클론평균치에 대한 廣義의 遺傳力 (反復力)은 다음과 같이 구하였다.

$$H^2_{CM} = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_p^2} \tag{2}$$

여기서

$$\sigma_p^2 = \sigma_c^2 + \frac{\sigma_{ct}^2}{l} + \frac{\sigma_{ct,r}^2}{rl} + \frac{\sigma_e^2}{nr}$$

그런데

H^2_{CM} = 클론平均에 대한 廣義의 遺傳力 (反復力)

σ_p^2 = 클론平均에 대한 表現型 分散

l = 地域數

r = 反復數

n = plot當 ramet數

遺傳的 改良效果는 다음과 같은 방법으로 계산하였다.

$$\Delta G = S \times H^2_{CM} \tag{3}$$

여기서

ΔG = 遺傳的 改良效果

S = 選拔差

結果 및 考察

4년생 사시나무의 클론별, 지역별, 수고 및 수고성장 순위는 표 2와 같다.

표 2에서 지역별 수고생장을 보면, 가장 성적이 좋은 곳은 평균 수고성장 3.22m를 보인 忠北 시험림이며, 다음이 全北, 京畿, 慶南의 순위이다. 클론별로는 백담 15호가 가장 좋은 수고생장으로 전지역 평균 4.05m를 보였으며, 두번째로는 선녀 4호로 전체 평균 3.41m를 보였다. 3번째는 백담 5호, 4번째는 봉현 4호로 나타났다. 백담은 설악산의 백담사 인근 계곡에서 선발된 것이며, 선녀 역시 설악산의 선녀탕 주변에서 선발된 것이고, 봉현은 경북 영풍군 봉현면 한천리에서 선발된 것이다. 백담 15호는 연간 평균 1m씩 자란 결과로 산지에서의 생장을 고려하면 대단히 빠른 생장을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 成績 (個體測定值)을 분석한 결과 표 3과 같다.

표 3의 분석결과를 보면 클론간에 고도의 有意差가 나타나, 클론간의 성장 차이가 큼을 나타내

Table 2. Mean height of different clones of *Populus davidiana* by test plantations at age of 5 and their ranks.

Clone	No.	Kyonggi		Chungbuk		Jeonbuk		Kyongnam		Mean	Rank
		Height (m)	Rank	Height (m)	Rank	Height (m)	Rank	Height (m)	Rank		
PK(百潭)	5	3.06	4	3.55	3	3.44	3	3.27	2	3.33	3
"	15	3.52	2	4.43	1	4.12	1	4.12	1	4.05	1
SN(仙女)	4	3.30	3	3.65	2	3.44	2	3.24	3	3.41	2
PT(北台)	3	2.60	13	2.68	17	2.52	16	2.14	15	2.49	15
"	6	2.63	12	3.24	10	2.98	6	3.01	6	2.97	7
"	7	2.90	7	2.85	14	2.94	7	2.36	11	2.76	10
"	9	2.56	14	3.15	12	2.82	12	2.34	12	2.72	13
"	11	2.67	11	3.38	6	3.31	5	2.70	7	3.02	6
HM(下麻)	2	2.37	15	3.37	7	2.88	9	3.03	5	2.91	8
JM(中麻)	4	3.65	1	3.20	11	2.91	8	2.58	9	3.09	5
SM(上麻)	1	2.78	10	2.54	18	2.54	15	1.87	16	2.43	17
KM(丘麻)	1	2.32	16	3.24	9	2.71	13	2.14	14	2.60	14
"	2	2.81	9	2.78	15	2.16	18	2.20	13	2.49	16
PH(鳳峴)	1	1.97	18	3.00	13	2.32	17	1.85	17	2.29	18
"	4	2.92	6	3.30	8	3.42	4	3.03	4	3.17	4
TH(大峴)	3	3.05	5	2.77	16	2.66	14	2.52	10	2.75	11
SA(宿岩)	1	2.88	8	3.48	4	2.82	11	1.82	18	2.75	12
"	2	2.28	17	3.43	5	2.84	10	2.58	8	2.78	9
Mean		2.79		3.22		2.94		2.60		2.89	

Table 3. Analysis of variance for height.

Source of Variation	df	MS	Variance component	
			Value	% of total
Locations	3	11.225**	0.032	5.4
Clones	17	6.380**	0.156	26.3
Clone×location	51	0.749*	0.033	5.6
Replication/location	8	5.679**	0.097	16.3
Clone×rep./loca.	136	0.452**	0.088	14.8
Error	432	0.188	0.188	31.6

며, 특히 클론에 의한 分散要因이 전체분산의 26.3%를 차지하여 오차의 분산요인 31.6% 다음으로 높았다. 분산요인을 살펴보면 지역은 5.4%, 특히 지역과 클론의 상호작용인 클론×지역의 요인이 지역과 비슷한 5.6%로 나타나 아직은 수령이 어리기 때문에 지역별 특성이 나타나지 않고 클론간의 유전적인 차이만 나타난 것으로 생각된다. 이러한 현상은 Lepistö⁸⁾ 독일가문비에 서도 7년생의 경우에는 오차의 要因分散이 가장 높았을 뿐만 아니라(32%), 지역의 분산요인도 비교적 작게 나타난(6%) 반면, 9년생의 경우에는 지역의 분산요인이 가장 커지면서(53%) 상대적으로 클론의 분산요인과 오차의 분산요인이 감소되는 것으로 나타났다. 본 연구의 경우 클론×지역, 즉 유전형과 환경과의 상호작용이 비교적 낮게 측정되므로써 지역별로 별도의 클론을 육성할

필요는 없을 것으로 생각된다.

式(1)에 의하여 個體값에 대한 廣義의 遺傳力을 구한 결과:

$$H^2_i = 0.336 \text{으로 推定되었으며,}$$

式(2)에 의하여 클론평균에 대한 廣義의 遺傳力을 구한 결과:

$$H^2_{CM} = 0.883 \text{으로 推定되었다.}$$

클론평균에 대한 광의의 유전력은 반복력으로 해석할 수 있으며,¹⁹⁾ 상당히 높은 반복력을 얻었다. 式(3)에 의하여 유전적 개량효과를 추정 한 결과 분석 대상이 된 18개의 사시나무 클론중에서 5%에 해당하는 최우수 클론 백담 15호 1본을 선발하는 경우 選拔差는 1.16m(4.05-2.89=1.16)이므로 여기에 클론반복력 0.883을 곱하면 1.02m의 유전적 개량효과를 얻을 수 있으며, 전체평균에 대한 개량율은 35.3%에 달한다. 최우

Table 4. Simple correlation coefficients between survival rate and height in *Populus davidiana*.

Characters	Survival rate of nursery transplanting X_1	Survival rate of field planting X_2	Age of ortet (plus tree) X_3
X_2	0.137		
X_3	0.049	0.291	
Height	0.364	0.275	0.131

* All values are nonsignificant.

수쿨론 2클론, 즉 10%를 선발하는 경우의 유전적 개량효과는 같은 방법으로 0.74m이며, 전체 평균에 대한 개량율은 25.6%로 나타났다. 이때 선발되는 클론은 백담 15호와 선녀 4호이다. 이러한 개량효과는 단순히 수고에 한 한 것이며 전체적인 재적개량효과를 분석한다면 더 높은 개량효과를 얻을 수 있을 것이며 특히 通直性, 가지특성의 개량으로 可用材積이 증가함으로써 발생되는 이익까지 합하는 경제적 이익을 생각하면³⁾ 우리가 생각하는 것보다 훨씬 높은 개량효과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 지금까지는 주로 생장에 중점을 두고 개량효과를 측정하고 있으나, 재질에 관한 개량도 早期選拔樹齡을 결정하여²⁰⁾ 실행하여야 할 것이며 이렇게 되면 경제적 개량효과는 더욱 높아질 것이다.

個體值에 대한 廣義의 유전력은 현사시의 0.2,¹¹⁾ 독일가문비의 0.10-0.23^{8,19)}보다는 비교적 높게 추정되었으나, 클론평균에 대한 광의의 유전력은 독일가문비의 경우 0.89와¹⁹⁾ 0.75⁸⁾의 범위에 포함되었다. Shelbourne¹⁸⁾은 또 다른 독일가문비에서 클론평균의 광의의 수고유전력(反復力)을 0.84까지 추정보고한 바 있다. 사시나무는 현사시의 경우보다는 클론평균에 대한 유전력에서도(0.579) 상당히 높게 추정되어 현사시보다는 사시나무의 수고 유전력이 현저히 높음을 알 수 있다. 이러한 점은 사시나무에 대한 선발 육종에 있어 개량효과를 단기간에 높일 수 있는 장점이다. 그 외에 일본삼나무의 경우에는 수고에 대한 광의의 유전력은 0.82로 보고된 바 있다.¹⁶⁾ 이러한 유전력은 사실 수령에 따라 증가하는 것으로서, 테다소나무의 경우 유전력은 대체적으로 어릴때는 낮고 수령이 증가함에 따라 증가하면서 수령이 10-16년일때 최고점에 달하는 것으로 알려져 있다.²⁾ 이와 비슷한 현상은 western hemlock (*Tsuga heterophylla*(RaF.) Sarg.)과 slash pine (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*)에서도

관찰되었다.^{7,17)} 따라서 본 연구의 사시나무도 수령이 증가하면 점차 증가할 것으로 기대되어 최종적으로 우수클론을 선발할 수령인 6-7년생¹⁴⁾이 되면 더 높은 개량효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 또한 활착율과 수고생장과의 상관도 분석하였다(표 4). 포지 移植活着率과 4년생의 수고생장간에는 상관관계가 있는 것처럼 나타났다으나, 통계적 有意性은 없었다. 이러한 현상은 western hemlock에서도 觀察된 바 있다. 생장은 오히려 삼수의 위치에 따라 달라지는 경향이 있으며, 특히 樹形도 달라 採穗木을 5등분 할 때 윗부분 2부분에서 채취한 삼수가 아랫부분에서 採取한 것보다 잎이 빨리 피고, 多幹이 아닌 單幹을 형성하는 것으로 報告되고 있다.⁴⁾ 또한 포플러류에 있어서 동일품종이라 하더라도 採穗圃의 위치에 따라, 클론에 따라 삼목발근율의 차이가 있다는 것은 周知의 사실이다.^{6,12)}

사시나무 육종은 無性繁殖方法이 개발된 이상 이제는 採種園을 조성하는 어느 수종보다도 빨리 그리고 높은 개량효과를 얻을 수 있을 것이다. 왜냐하면 무성번식에 의하여 非相加的 分散까지도 선발 클론에 포함시킬 수 있기 때문이다. 즉 선발된 우수한 遺傳型을 신속히 無性增殖하여 식재하는 것만 해도 상당한 실질적인 개량효과를 얻을 수 있기 때문이다.¹⁰⁾ 따라서 사시나무의 경우 유전력이 충분히 높기 때문에, 또한 조기검정수령인 식재 후 6년후, 즉 1997에 1차적으로 우수한 클론을 선발하여 보급할 수 있을 것이다. 그러나 우리가 잊지 말아야 할 사항은 有性을 기초로 한 육종기본계획위에서 이러한 무성증식에 의한 육종개량을 시도하여야 하며, 만약 有性育種에 기초를 두지 않은 경우 1회의 선발에 의한 개량효과만을 얻을 수 있을 뿐이며, 장기적으로 개량효과를 누적시켜 나아갈 수는 없을 것이다. 즉 有性育種에 의한 세대를 병행하여 前進시켜

나아가는 育種戰略이 필요할 것이다.¹⁵⁾

結 論

우리나라의 산지에 자생하는 사시나무를 선발, 육종하기 위하여, 삼목증식된 선발목의 클론을 전국 4개소에 植栽하고, 현재 4년생인 시험목에 대하여 廣義 유전력과 유전적 개량효과를 분석한 결과 클론평균에 대한 광의의 수고유전력 혹은 반복력이 높아($H^2_{CM}=0.883$), 클론검정용 시험림에서 1차 再選拔에 의하여 25.6%-35.3%의 높은 수고개량효과를 얻을 수 있을 것으로 나타났다. 특히 이러한 유전적 개량효과는 그 특성의 유전력과 직접 관련되는 것이므로, 앞으로 시험림의 수령이 점차 증가하여 最終判斷樹齡(植栽後 6년생)이 도래하면 지금보다도 유전력이 높아지므로써 우수클론 선발에 의하여 더 높은 改良效果를 얻을 수 있을 것으로 전망된다.

謝 辭

본 연구를 위하여 시험림 조성, 관리, 성적조사 등에 많은 협력을 아끼지 않은 京畿, 忠北, 全北, 慶南道 山林環境研究所의 관계관에게 심심한 사의를 표한다.

引用 文 獻

- Anonymous. 1989. 山楊基因資源的搜集與保存研究報告. 中國黑龍江省 林業科學研究所. 14pp.
- Balocchi, C.E., F.E. Bridgewater, B.J. Zobel, and S. Jahromi. 1993. Age trends in genetic parameters for tree height in a nonselected population of loblolly pine. *Forest Science* 39(2) : 231-251
- Butcher, T.B. and E.R. Hopkins. 1993. Realized gains from breeding *Pinus pinaster*. *Forest Ecology and management*, 58 : 211-231
- Dunlap, J.M., P.E. Heilman, and R.F. Stettler. 1992. Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrid. V. The influence of ramet position on 3-year growth variables. *Can. J. For. Res.* 22 : 849-857
- 韓國포플러委員會. 1993. 國內 및 國外的 포플러造林과 利用實態調查 研究. 山林廳. 102 pp.
- Henry, P.H., F.A. Blazich, and L.E. Hinesley. 1992. Vegetative propagation of eastern redcedar by stem cuttings. *HortScience* 27(12) : 1272-1274
- Hodge, G.R. and T.R. White. 1992. Genetic parameter estimates for growth traits at different ages in slash pine and some implications for breeding. *Silvae Genetica* 41 : 252-262
- Lepistö, M. 1993. Genetic variation, heritability and expected gain of height in *Picea abies* in 7 to 9-year-old clonal tests. *Scand. J. For. Res.* 8 : 480-488
- Magnussen, S. 1990. Alternative analysis of parent-offspring correlations for stem straightness in jack pine. *Silvae Genetica* 39 : 237-244
- Matheson, A.C. and D. Lindgren. 1985. Gains from the clonal and the clonal seed-orchard options compared for tree breeding programs. *Theor. Appl. Genet.* 71 : 242-249
- 盧義來·李成奎·具永本·邊光玉·金在俊. 1985. 현사시 主要特性的 反復力 및 改良效果. *林育研報* 21 : 27-36
- 盧義來·李成奎·具永本·鄭慶鎬. 1988. 組織培養 및 挿木에 의한 우리나라 사시나무의 大量增殖方法. *林育研報* 24 : 20-27
- 盧義來·李成奎·具永本·沈相榮·朴洪洛. 1989. 사시나무 選拔木의 生長形態 및 經濟的 特性的 變異. *林育研報* 25 : 11-29
- 盧義來·李成奎·具永本. 1990. 樹齡對 樹齡對 相關을 利用한 사시나무의 早期選拔 樹齡決定. *林育研報* 26 : 10-21
- Noh, E.R., Y.B. Koo, and C.S. Shim. 1992. Breeding of aspen (*Populus davidiana* Dode) in Korea. In Proc. of 19th Session of the International Poplar Commission, A. Padro ed. Zaragoza, Spain, 22-25, Sep. pp.403-410
- Ohba, K., L-Q, Hwang, H. Kawasaki, and M. Murai. 1989. Estimation of genetic parameters using three generation materials derived from Kumotooshi and Okinoyama sugi parents. *J. Jpn. For. Soc.* 71 : 405-409
- Paul, A.D., G.S. Foster, and D.T. Lester. 1993. Field performance, C effects, and their relationship to initial rooting ability for western

- hemlock clones. Can.J.For.Res. 23 : 1947-1952
18. Shelbourne, C.J.A. 1974. Clonal tests with *Picea abies* (L.) Karst. in Norway-10 to 17 year results. Norsk institut for skogforskning 1432 As-NLH, Norway. 30pp.
 19. St. Clair, J.B. and J. Kleinschmit. 1986. Genotype-environment interaction and stability in ten-year height growth of Norway spruce clones (*Picea abies* Karst.). *Silvae Genetica* 35 : 177-186
 20. Vargas-Hernandez, J. and W.T. Adams. 1992. Age-Age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas fir. *Forest Science* 38(2) : 467-478
 21. Westworth, D.A. and E.S. Telfer. 1993. Summer and winter bird populations associated with five age-classes of aspen forest in Alberta. *Can. J. For. Res.* 23 : 1830-1836
 22. 劉培林·越吉恭·朴順伊·李春秋·王俊學·王春初. 1985. 完達山區 山楊在森林恢復中的地位與作用. 中國黑龍江省林業科學研究所. 16pp.