

慶北地方 소나무 및 곰솔集團의 同位酵素에 의한 遺傳變異^{1*}

孫斗植² · 洪盛千² · 呂珍基² · 柳長發³

Genetic Variation of Isozymes in Populations of *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* Naturally Distributed in Kyungpook Province^{1*}

Doo-Sik Son², Sung-Chun Hong², Jin-Kie Yeo², and Jang-Bal Ryu³

要 約

慶北北部와 南部地方 소나무는 外部形態의 差異가 있으므로 소나무 16個集團과 곰솔 5個集團의 同位酵素 IDH, ME, PGI, ADH, GOT 및 LAP에 의한 種子의 megagametophyte tissue로 集團間의 變異를 調査하였다.

1. 6個의 同位酵素에서 소나무는 13個의 遺傳子座中 變異가 있는 8個 遺傳子座에서 24個의 對立遺傳子가 變異가 있었고, 곰솔은 13個 遺傳子座中 變異가 있는 6個 遺傳子座에서 18個의 對立遺傳子가 變異를 나타냈다.

2. 소나무의 遺傳子型 頻度는 同位酵素에 따라 다소 差異는 있으나 대체로 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있으며, 平衡法則을 따르지 않는 一部集團은 fixation index 값이 높고 同型接合體의 發生頻度가 期待值보다 높게 나타났다.

3. 소나무에서 尙州, 榮州 및 奉化集團을 除外하고 genetic distance에 의한 集團間의 差異는 큰 差異가 없었으나, 慶北의 北部地方과 太白山脈의 소나무가 같은 group에 속하고 內陸地方인 星州, 義城 및 金陵이 같은 group에 속하며, 慶州와 白巖은 各各 다른 group으로 區分되었다.

4. 外部形態의 差異가 있는 慶北 北部地方과 南部地方의 소나무는 同位酵素에 의한 變異로서는 뚜렷한 差異點을 찾아 볼 수가 없었다.

5. 소나무에서 한 個體當 異型接合體의 遺傳子座 頻度는 ME-A 및 ADH-B locus에서, 곰솔에서는 ADH-B, LAP-B 및 PGI-B에서 가장 높게 나타났으며, 此外 locus에서는 同型接合體의 頻度가 높게 나타났다.

ABSTRACT

This study was conducted to estimate genetic variation of *Pinus densiflora* in Kyungpook province which shows morphological variation between northern and southern types. Six isozymes such as IDH, ME, PGI, ADH, GOT and LAP was analyzed using megagametophyte tissue of seeds by electrophoresis and 16 populations of *Pinus densiflora* and 5 of *Pinus thunbergii* were tested. The results obtained were as follows :

1. In *P. densiflora*, 13 loci were found in 6 isozymes and 8 loci of them were polymorphic, having 24

¹ 接受 1989年 7月 26日 Received on July 26, 1989.

² 慶北大學校 林學科 Dept. of Forestry, Kyungpook Natl. Univ, Daegu, Korea.

³ 大邱大學校 林學科 Dept. of Forestry, Daegu Univ, Daegu, Korea.

* 이 研究는 韓國科學財團 研究費로 이루어진 것임.

- alleles, while in *Pinus thunbergii*, there were 18 alleles detected from 6 loci among the same number of loci as in *Pinus densiflora*.
- The genotypic frequency in *Pinus densiflora* vary slightly among populations for some isozymes, but most of them satisfied the law of Hardy-Weinberg equilibrium, while some populations such as Youngil for ADH and LAP, Youngyang for ADH and Bonghwa for LAP did not follow the law and showed high fixation index values and homozygosities higher than expected.
 - The variation among populations based on the genetic distance was small except populations of Youngju, Baegam, Gyungju and Sangju, however they could be clustered by three groups: northern Kyungpook group including Mt. Taebak, inland Kyungpook group represented by Sungju, Eusung and Kumleung population and coastal Kyungpook group represented by Baegam and Gyungju population.
 - No significant difference was found in 6 isozymes between northern and southern types of *Pinus densiflora* which was morphologically different.
 - The frequency of heterozygous loci per tree was higher in *Pinus densiflora* especially for ME-A and ADH-B, while that of homozygous loci was higher in *Pinus thunbergii* except for ADH-B, LAP-B and PGI-B locus.

Key words : allele ; locus ; heterozygosity ; homozygosity ; genetic distance.

緒 言

소나무는 우리나라의 主要經濟樹種으로 全國적으로 分布하고 예로부터 우리나라 氣候風土에 適應해온 樹種이지만 솔잎혹파리 및 솔나방의 被害가 極甚하여 受難을 겪고 있다.

Uyeki²⁵⁾는 우리나라 소나무를 여섯가지형으로 分類하고 其中 太白山脈을 中心으로 자라는 소나무를 金剛松(*Pinus densiflora* f. *erecta*)이라 하였다.

慶北北部地方의 소나무는 樹幹이 곧고 樹冠이 비교적 좁으며 枝下高가 높고 材質이 치밀하여 春陽木이라고 부르고 南部地方의 소나무는 樹幹이 굵고 樹冠이 넓게 퍼지는 소나무로서 安康型으로 區分하고 있다. 그러나 南部地方소나무라도 密生하여 자라는 소나무林에서는 樹幹이 곧고 樹皮가 붉은 春陽木과 같은 個體들이 八公山과 伽倻山 等地에서 볼 수 있다. 그러므로 慶北北部와 南部地方의 소나무 間에 形質의 差異가 있는지 調査할 必要가 있다.

任²⁹⁾ 등은 太白山脈과 小白山脈의 소나무는 樹幹, 가지, 氣孔, 樹脂溝, 種子의 特性에서 差異가 있다고 하였다. 소나무의 形質差異는 外部形態의 變異外에 同位酵素에 대한 差異를 調査할 수

있으며 Park¹⁴⁾은 우리나라의 소나무에 대한 peroxidase에 의한 集團間的 變異研究에서 peroxidase의 band 變異는 緯度에 따라서 變異가 있다고 하였다. 또한 Chung과 Lee^{2,3)} 등은 소나무 25個 集團 및 3個 島嶼地方 소나무집단간 差異가 있다고 하였고 또한, Sakai^{18,19)} 등은 日本곰솔 天然集團에 대하여 peroxidase에 의한 地域間에 差異가 있다고 하였다.

소나무外에 *Pinus sylvestris*에 대해서는 Rudin^{15,16,17)}은 GOT, LAP, EST의, Szmids²⁴⁾는 CAT의, Yazdani²⁸⁾ 등은 F-EST, β -GAL의 遺傳變異를 報告하였고 Adams¹⁾ 등은 *Pinus tueda*에 대하여 ACO, ACP, GOT, IDH, LAP, MDH, PDH, 6PGD, PGI, PGM의 變異를 調査하였다. O'Malley¹³⁾ 등은 *Pinus ponderosa*의 10個集團에 대하여 12個의 同位酵素로 集團間的 變異를 調査하였다. Conkle⁴⁾ *Pinus attenuata*에 대하여 ADH, LAP의 遺傳變異를 調査하였고 Nikolic⁹⁾ 등은 *Pinus nigra*에 대하여 LAP의 遺傳變異를, Guries⁵⁾ 등은 *Pinus rigida*에 대하여 8個 同位酵素變異를, 또한 *Pinus virginiana*에 대하여는 Witter²⁶⁾ 등이 GOT, EST, ACP의 遺傳變異를 調査하였다. 우리나라의 곰솔에 대해서는 Hwang⁶⁾ 등은 GOT, LAP, CAT, ACP, Peroxidase의 集團間 變異를 調査 報告하였다.

本研究는 春陽木이 자라는 慶北北部地方인 蔚珍, 奉化, 英陽, 榮州, 聞慶과 內陸地方인 尙州, 金陵, 義城, 青松, 星州, 南部地方인 大邱, 永川, 慶州, 東海岸地域인 迎日, 盈德, 白巖 等 16個 集團의 소나무와 곰솔 5個集團에 대하여 同位酵素인 IDH, ME, PGI, ADH, GOT, LAP의 集團間 變異를 調査하기 위하여 수행하였다.

材料 및 方法

1. 試料採取

試料는 Fig. 1과 같이 慶北全域에 16個集團을 選定하여 集團의 크기는 소나무林 3ha以上, 樹齡은 30-60年生으로 種子가 充分히 달린 나무를 택하고 나무와 나무사이는 50m 以上으로 하여 無作爲로 한 集團에서 50本을 選定하여 種子를 採取하였다.

2. 同位酵素에 의한 變異分析

同位酵素에 의한 集團間의 遺傳變異를 調査하기 위하여 한集團에서 平均 50本の 個體를 選拔하여 個體當 種子6粒의 megagametophyte tissue에 의하여 homozygote와 heterozygote를 判斷한 後에 集團間에 遺傳子型 頻度및 對立遺傳子 頻度와 Hardy-Weinberg의 平衡法則下에서 集團間의 異型接合體에 대한 觀察値와 期待値의 比 즉, fixation index를 Wright²⁷⁾方法에 의하여 調査 比較하였으며 計算은 다음 式으로 하였다.

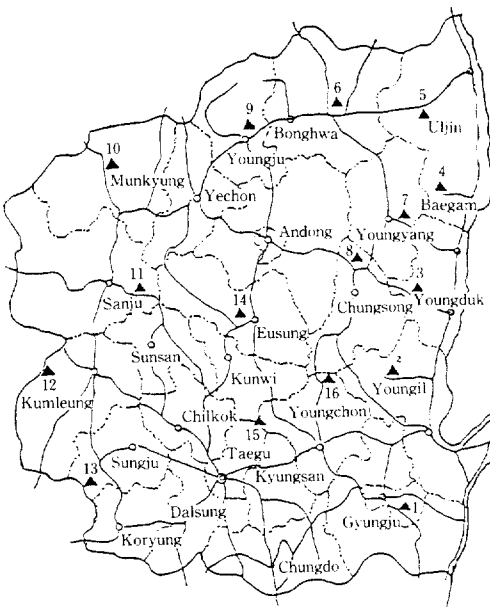


Fig. 1. Location map of investigated districts in Kyungpook province

$$F = 1 - \frac{H}{h}$$

F : fixation index

H : 異型接合體의 觀察値

h : 異型接合體의 期待値

Fixation index 값이 F<0이면 異型接合體의 頻度가 期待値보다 높고 F>0이면 同型接合體의 頻度가 期待値보다 높게 나타난다.

同位酵素는 starch gel에 의한 電氣泳動法으로

Table 1. Buffer systems used for electrophoresis.

Buffer Isozyme	Electrode buffer		Gel buffer	
G O T	Boric acid	0.268 M	Tris	0.100 M
M E	NaOH	0.050 M	Citric acid	0.012 M
	pH	8.0	pH	8.45
P G I	Tris	0.134 M	Same as electrode buffer	
I D H	Citric acid	0.052 M		
	pH	6.2		
	Mixed 250 ml of the buffer with 750 ml of distilled water		Mixed 9 ml of the buffer with 400 ml distilled water	
L A P	LiOH	0.029 M	Tris	0.051 M
A D H	Boric acid	0.192 M	Citric acid	0.008 M
	pH	8.1	pH	8.3
			Mixed a 1 : 9 dilution of gel : electrode buffer	

gel buffer와 electrode buffer는 表1과 같이 하여 電壓 100V에서 서서히 150V까지 올렸다. 分離된 物質은 一般染色法에 의하여 발색시켜

- IDH (Isocitric dehydrogenase)
- ME (Malic enzyme)
- PGI (Phosphoglucose isomerase)
- ADH (Alcohol dehydrogenase)
- GOT (Glutamate-oxaloacetate transaminase)
- LAP (Leucine aminopeptidase)

band의 變異를 調査, 遺傳變異를 分析하였다.

3. 集團間的 genetic distance

同位酵素의 對立遺傳子 頻度を Nei⁹⁾方法에 의하여 genetic distance를 구하여 complete linkage方法으로 cluster analysis하고 集團間的 類緣關係를 調査하였다.

結果 및 考察

1. 集團間的 變異

가. IDH의 集團間 差異

IDH는 소나무에서는 하나의 遺傳子座에 2個의 對立遺傳子가 있고 곰솔은 對立遺傳子 A₁ 하나만 나타나고 있다.²³⁾

表2에서와 같이 소나무 集團에서 IDH의 遺傳子型 A₁A₁ 頻도는 0.7-0.9로서 가장 높고 곰솔에서는 A₁A₁만 나타나고 있다. 이것에 대한 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定한 結果 金陵, 大邱, 永川集團을 除外하고는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있다. 對立遺傳子에서도 A₁의 頻도는 0.8-0.9로서 가장 높고 A₂는 0.1-0.2로서 頻도가 낮았다. 慶州, 盈德, 白巖, 蔚珍, 奉化, 星州 集團에서 異型接合體의 出現頻도는 다른 集團에 비해서 높게 나타나고 對立遺傳子의 頻도는 集團間에 差異가 있었다. Fixation index 값을 보면 尙州集團을 제외한 모든 소나무集團에서 同型接合體의 出現頻도가 期待値보다 높게 나타나고 특히 Hardy-Weinberg平衡法則을 따르지 않는 金陵, 大邱, 永川集團에서 더 많이 나타나고 있다.

나. ME의 集團間 變異

ME는 하나의 遺傳子座에 4個의 對立遺傳子가 나타나고²³⁾ 表3에서와 같이 ME의 遺傳子型은 다

Table 2. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at IDH-A locus for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	Genotypic frequency				N	χ^2	Allelic frequency		Fixation index
		A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁			A ₂		
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	0.640	0.080	0.280	50	1.696	0.780	0.220	0.184	
	Youngil	0.905	0.024	0.071	42	5.424	0.940	0.060	0.371	
	Youngduk	0.740	0.040	0.220	50	0.942	0.850	0.150	0.137	
	Baegam	0.760	0.040	0.200	50	1.435	0.860	0.140	0.169	
	Uljin	0.780	0.020	0.200	50	0.141	0.880	0.120	0.053	
	Bonghwa	0.740	0.060	0.200	50	3.276	0.840	0.160	0.256	
	Youngyang	0.851	0.021	0.128	47	1.530	0.915	0.085	0.177	
	Chungsong	0.780	0.040	0.180	50	2.086	0.870	0.130	0.294	
	Youngju	0.889	0.022	0.089	45	3.640	0.933	0.067	0.288	
	Munhyung	0.820	0.040	0.140	50	4.061	0.890	0.110	0.285	
	Sangju	0.851		0.149	47	0.308	0.926	0.074	0.087	
	Kumleung	0.740	0.080	0.180	50	6.558*	0.830	0.170	0.362	
	Sungju	0.750	0.042	0.208	48	1.285	0.854	0.146	0.166	
	Eusung	0.820	0.020	0.160	50	0.617	0.900	0.100	0.111	
Daegu	0.860	0.040	0.100	50	6.543*	0.910	0.090	0.389		
Youngchon	0.820	0.060	0.120	50	9.323**	0.880	0.120	0.432		
<i>Pinus thunbergii</i>	Gyungju	1.000			32	0	1.000		1.000	
	Chungha	1.000			29	0	1.000		1.000	
	Youngduk	1.000			30	0	1.000		1.000	
	Uljin	1.000			20	0	1.000		1.000	
	Youngchon	1.000			20	0	1.000		1.000	

N : Number of trees investigated * : Significant at 5% level ** : Significant at 1% level

Table 3. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at ME-A locus for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	Genotypic frequency												N	χ ²	Allelic frequency			Fixation index
		A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	A ₃ A ₃	A ₁ A ₂	A ₁ A ₃	A ₂ A ₃	A ₁ A ₄	A ₂ A ₄	A ₃ A ₄	A ₁ A ₁	A ₂	A ₃			A ₄			
		A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	A ₃ A ₃	A ₁ A ₂	A ₁ A ₃	A ₂ A ₃	A ₁ A ₄	A ₂ A ₄	A ₃ A ₄	A ₁	A ₂	A ₃			A ₄			
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	0.020	0.140	0.020	0.240	0.020	0.180	0.080	0.120	0.080	0.160	0.130	0.130	0.250	0.130	0.069			
	Youngil	0.060	0.020	0.040	0.240	0.060	0.080	0.180	0.040	0.180	0.220	0.160	0.160	0.200	0.480	0.057			
	Youngduk	0.041	0.041	0.020	0.327	0.020	0.102	0.163	0.061	0.163	0.205	0.112	0.163	0.163	0.562	0.077			
	Baegam	0.087	0.043	0.022	0.392	0.043	0.152	0.152	0.022	0.152	0.087	0.185	0.130	0.098	0.587	0.233			
	Ullin	0.020	0.020	0.020	0.265	0.041	0.204	0.204	0.082	0.204	0.164	0.133	0.153	0.163	0.551	0.137			
<i>Pinus densiflora</i>	Bonghwa	0.020	0.060	0.020	0.220	0.020	0.160	0.220	0.020	0.240	0.200	0.040	0.150	0.200	0.610	0.113			
	Youngyang	0.020	0.060	0.020	0.220	0.020	0.160	0.220	0.060	0.220	0.220	0.100	0.210	0.170	0.520	0.083			
	Chungsong	0.020	0.060	0.020	0.220	0.040	0.160	0.220	0.040	0.220	0.180	0.140	0.150	0.130	0.580	0.125			
	Youngju	0.200	0.044		0.200	0.044	0.067	0.089	0.289	0.267	0.267	0.056	0.256	0.178	0.510	0.182			
	Munhyung	0.020	0.020	0.020	0.160	0.040	0.180	0.280	0.040	0.280	0.260	0.120	0.190	0.170	0.520	0.261			
<i>Pinus densiflora</i>	Sangju	0.067	0.089	0.020	0.111	0.022	0.089	0.111	0.044	0.222	0.245	0.178	0.233	0.189	0.400	-0.020			
	Kumleung	0.020	0.040	0.020	0.300	0.020	0.140	0.140	0.080	0.140	0.240	0.100	0.160	0.180	0.560	-0.003			
	Sungju	0.021	0.021	0.021	0.276	0.043	0.234	0.234	0.043	0.149	0.213	0.138	0.177	0.170	0.575	0.122			
	Eusung		0.020	0.020	0.220	0.060	0.220	0.220	0.020	0.240	0.240	0.140	0.130	0.160	0.570	0.273			
	Daegu	0.020	0.020	0.020	0.360	0.020	0.140	0.260	0.040	0.260	0.120	0.110	0.180	0.090	0.620	0.066			
<i>Pinus densiflora</i>	Youngchon	0.020	0.020	0.020	0.184	0.020	0.143	0.062	0.062	0.204	0.327	0.112	0.163	0.204	0.521	0.198			
	Gyungju		0.818		0.122		0.030	0.030	0.030	0.030	0.061	0.909	0.015	0.015	0.073				
	Chungha	0.033	0.733		0.167		0.067	0.067	0.067	0.067	0.117	0.850	0.033	0.033	0.109				
	Youngduk	0.033	0.767		0.133		0.067	0.067	0.067	0.100	0.867	0.033	0.033	0.033	0.157				
	Ullin	0.600	0.600		0.350		0.050	0.050	0.050	0.175	0.800	0.025	0.025	0.025	0.217				
Youngchon	0.095	0.667		0.190		0.048	0.048	0.048	0.048	0.190	0.786	0.024	0.024	0.311					

N : Number of trees investigated * : Significant at 5% level

樣하고 集團間의 頻度에서 A_4A_4 만이 0.1-0.38로서 약간 높게 나타나고 그외의 遺傳子型은 그 頻度は 낮지만 고르게 分布하고 있다. 遺傳子型 頻度에 대한 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定한 結果 慶州, 奉化 集團을 除外하고는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 對立遺傳子에서는 A_4 의 頻도가 0.45-0.62로서 높고 A_1, A_2, A_3 는 各各 0.1-0.2로서 頻度は 낮으나 集團間에 差異가 있었다.

곰솔에서는 A_2 의 頻도가 0.8-0.9로서 가장 높고 A_1 은 0.1-0.2이며 A_3 와 A_4 는 出現되지 않거나 그 頻도가 아주 낮다. 곰솔에서는 對立遺傳子 A_2 의 頻도가 높고 소나무에서는 낮으므로 곰솔의 因子가 소나무에 移入되었는지는 앞으로 研究해 볼 必要가 있다고 생각한다.

Fixation index 값에 의하면 慶州, 迎日, 盈德, 白巖, 奉化 集團에서는 同型接合體의 出現頻도가 期待値보다 약간 높고 그외 集團에서는 異型接合體의 出現頻도가 期待値보다 높게 나타남을 보여 주고 있다.

다. PGI의 集團間 變異

PGI는 2個의 遺傳子座中 A-locus는 하나의 band만 出現하여 變異가 없고 B-locus는 5個의 對立遺傳子가 나타나며 multiple bands로 나타나고 있다.²³⁾

表2에서와 같이 PGI의 遺傳子型은 多樣하며 B_3 B_3 의 頻度は 0.6-0.8로 가장 높고 集團間에도 變異가 있었다. 遺傳子型 頻度에 대한 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定한 結果 有意差가 없으므로 集團內에서는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따른다고 할 수 있다. 對立遺傳子の 頻度에서 소나무의 B_3 는 0.07-0.93으로 가장 높고 集團間에도 差異가 있었고 그외 對立遺傳子の 頻度は 0.01-0.14로서 아주 낮거나 出現하지 않는 곳도 있다. 그러나 곰솔에서는 B_2 의 頻도가 0.67-0.88로 가장 높고 B_1 은 0.1-0.3으로 나타나고 소나무는 B_1 의 頻도가 0.01-0.03, B_2 는 0.01-0.14이므로 곰솔의 因子가 소나무로 移入되었는지는 앞으로 더 많은 研究가 있어야 할 것으로 생각된다.

Fixation index 값을 보면 소나무 集團에서는 대부분 異型接合體의 出現率이 期待値와 같거나 약간 높은 것으로 나타나고 곰솔에서는 盈德, 蔚

珍, 永川에서 同型接合體가 期待値보다 상당히 높게 나타나고 있다. 이것은 海邊沿岸이 地形的으로 複雜하고 制限된 地域에 곰솔이 자라므로 同型接合體의 比率이 높은것으로 생각된다. Ohba는^{11,12)} 소나무와 곰솔의 自然交配에서 自殖率이 소나무는 0-6%이고 곰솔은 40%로서 소나무에 比하여 상당히 높은 自殖率이 나타난다고 報告한 것으로 미루어 보아 우리나라 곰솔에서도 비슷한 현상이 나타난다고 볼 수 있다.

라. ADH의 集團間 變異

ADH는 金⁸⁾ 등이 調査한 소나무에 의한 遺傳樣相과 一致하여 이것에 준하여 band의 變異를 調査하였다.

ADH는 2個의 遺傳子座中 A-locus는 하나의 band만이 나타나므로 變異가 없었고 B-locus는 3個의 對立遺傳子가 나타나고 있다.

表5에서와 같이 소나무 16個 集團에 대한 遺傳子型 頻度에 있어 期待値와 觀察値의 χ^2 -檢定結果 迎日, 白巖, 英陽, 聞慶을 除外하고는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있었다.

平衡法則을 따르지 않는 集團은 대체로 地形的으로 높은 산으로 둘러 쌓여 外部와 花粉交流가 적었던 곳으로 추측된다.

對立遺傳子 B_3 의 頻度は 소나무에서는 0.6-0.78로 높고, 곰솔에서는 B_2 의 頻도가 0.45-0.65로 높게 나타난 반면 B_3 는 0.22-0.35로 낮게 나타나고 對立遺傳子の 頻度에서는 集團間에 差異가 있었다. 慶北 北部地方의 소나무는 대체로 B_1 의 頻도가 높고 B_3 의 頻度は 약간 낮은 傾向을 나타내고 있다.

Fixation index 값을 보면 慶州, 永川, 大邱, 義城, 榮州 집단은 異型接合體의 出現頻도가 期待値보다 높고 그외에 集團에서는 同型接合體의 出現頻도가 높다. 特히 迎日, 英陽은 fixation index 값이 높게 나타나고 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르지 않는 集團이다.

마. GOT의 集團間 變異

GOT에서는 金⁷⁾ 등이 調査한 遺傳樣相과 一致하므로 이것에 준하여 allele를 分類하였고 GOT는 4個의 遺傳子座中 A-locus는 하나의 band로 變異가 없고 B-locus는 4個, C-locus는 3個의 對立遺

Table 4. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at LAP-A and B loci for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	Genotypic frequency										Allelic frequency					Fixation index								
		B ₁ B ₁	B ₁ B ₂	B ₁ B ₃	B ₁ B ₄	B ₁ B ₅	B ₂ B ₂	B ₂ B ₃	B ₂ B ₄	B ₂ B ₅	B ₃ B ₃	B ₃ B ₄	B ₃ B ₅	B ₄ B ₄	B ₄ B ₅	B ₅ B ₅		N	χ ²	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
<i>Pinus densata</i>	Gyungju	0.040	0.620	0.620	0.020	0.020	0.100	0.136	0.023	0.023	0.160	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.100	0.100	0.770	0.010	0.010	0.100	0.172
	Youngil		0.659				0.021	0.021	0.021	0.159	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	-0.076
	Youngduk		0.687		0.042	0.021	0.021	0.021	0.021	0.143	0.143	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	-0.071
	Baegsao		0.694	0.021	0.020	0.020	0.068	0.068	0.023	0.143	0.143	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	-0.075
	Uijin		0.818		0.023	0.020	0.068	0.068	0.023	0.143	0.143	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	-0.076
<i>Pinus densata</i>	Bonghwa		0.694	0.020	0.020	0.020	0.102	0.102	0.020	0.143	0.143	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	-0.050
	Youngyang		0.787				0.043	0.043	0.043	0.122	0.122	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	-0.094
	Chungsong	0.021	0.694		0.021	0.021	0.163	0.163	0.021	0.122	0.122	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0
	Youngju		0.575	0.021	0.021	0.021	0.106	0.106	0.021	0.122	0.122	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	-0.037
	Munkytung		0.740	0.020	0.022	0.022	0.106	0.106	0.020	0.122	0.122	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.014
<i>Pinus densata</i>	Sangju		0.630		0.022	0.022	0.239	0.239	0.087	0.180	0.180	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	-0.049
	Kunleung	0.022	0.700	0.020	0.020	0.020	0.100	0.100	0.180	0.180	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0
	Sungju		0.771		0.021	0.021	0.042	0.042	0.167	0.167	0.167	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	-0.109
	Eusang		0.775		0.041	0.041	0.041	0.041	0.143	0.143	0.143	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	0.041	-0.095
	Daegu		0.857		0.020	0.020	0.041	0.041	0.062	0.062	0.062	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	-0.056
<i>Pinus densata</i>	Youngchon		0.817		0.020	0.020	0.020	0.020	0.082	0.082	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.061	0.015
	Gyungju	0.594		0.344	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	0.031	-0.010
	Chungha	0.767		0.200	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	-0.109
	Youngduk	0.107	0.500	0.321	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.072	0.112
	Uijin	0.100	0.700	0.200	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.375
<i>Pinus densata</i>	Youngchon	0.150	0.500	0.300	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.229

N : Number of trees investigated

Table 5. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at ADH-B locus for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	Genotypic frequency			N	Allelic frequency			Fixation index		
		B ₁ B ₁	B ₂ B ₂	B ₃ B ₃		B ₁ B ₂	B ₁ B ₃	B ₂ B ₃		B ₁	B ₂
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	0.104	0.083	0.420	0.020	0.340	0.220	0.180	0.120	0.700	-0.252
	Youngil	0.060	0.020	0.521	0.042	0.188	0.062	0.219	0.146	0.635	0.446
	Youngduk	0.100	0.020	0.480	0.020	0.300	0.120	0.220	0.090	0.690	0.059
	Baegam	0.120	0.040	0.500	0.020	0.120	0.260	0.170	0.140	0.690	0.159
	Ujin	0.060	0.060	0.340	0.020	0.380	0.100	0.320	0.100	0.580	0.093
	Bonghwa	0.180	0.060	0.400	0.040	0.300	0.140	0.230	0.150	0.620	0.111
	Youngyang	0.060	0.060	0.560	0.020	0.080	0.160	0.230	0.090	0.680	0.454
	Chungsong	0.064	0.060	0.600	0.020	0.220	0.120	0.170	0.060	0.770	0.092
	Youngju	0.080	0.040	0.277	0.489	0.170	0.400	0.309	0.085	0.606	-0.243
	Munkyung	0.188	0.020	0.460	0.041	0.250	0.020	0.280	0.050	0.670	0.107
	Sangju	0.040	0.020	0.292	0.020	0.260	0.080	0.156	0.313	0.531	0.127
	Kumleung	0.041	0.06	0.633	0.020	0.224	0.082	0.180	0.070	0.750	0.100
	Sungju	0.020	0.020	0.400	0.020	0.340	0.180	0.163	0.051	0.786	0.077
	Eusung	0.060	0.020	0.360	0.040	0.400	0.160	0.230	0.100	0.670	-0.106
	Daegu	0.080	0.020	0.320	0.020	0.480	0.100	0.240	0.120	0.640	-0.157
	Youngchon							0.330	0.060	0.610	-0.164
<i>Pinus thunbergii</i>	Gyungju	0.344	0.125	0.063	0.031	0.438	0.359	0.047	0.594	0.359	-0.031
	Chungha	0.033	0.400	0.067	0.033	0.467	0.300	0.050	0.650	0.300	-0.031
	Youngduk	0.033	0.100	0.033	0.200	0.134	0.500	0.200	0.450	0.350	-0.313
	Ujin	0.200	0.050	0.050	0.400	0.100	0.250	0.250	0.525	0.225	-0.227
	Youngchon	0.300	0.100	0.100	0.150	0.050	0.400	0.100	0.575	0.325	-0.084

N : Number of trees investigated * ; Significant at 5% level ** ; Significant at 1% level

傳자가 있고 D-locus는 C-locus와 같으므로 本調査에서는 D-locus의 變異는 생략하였다.

表6에서와 같이 B-locus의 遺傳子型의 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定한 結果 盈德을 除外하고 모든 集團에서는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있으며 對立遺傳子 頻度에서는 B₂ 因子는 本調査에서는 나타나지 않았고 B₃의 出現頻도가 소나무에서는 0.7-0.89, 곰솔에서는 0.97 程度로 가장 높았다. 그러나 B₁과 B₃의 出現頻도는 아주 낮았고 集團間에 큰 差異는 없었다.

Fixation index값은 盈德, 永川을 除外하고는 0에 가까운 數値를 나타내므로 異型接合體의 期待値와 觀察値가 거의 一致한다고 보겠다.

C-locus에서 遺傳子型 頻度에 대한 觀察値와 期待値에 대한 χ^2 -檢定한 結果 모든 集團은 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있었다. 對立遺傳子 C₁, C₂, C₃가 있으나 本調査에서는 C₂는 나타나지 않고 소나무에서 C₃의 頻도는 0.93-0.99이고 곰솔에서는 C₃ 因子만 나타나고 있다.

바. LAP의 集團間 變異

LAP는 2個의 遺傳子座中 A-locus는 2個, B-locus에는 3個의 對立遺傳子가 나타나고 있다. 이것은 金⁷⁾이 調査한 것과 一致함으로 그것에 준하였다.

表7에서와 같이 A-locus의 遺傳子型 頻度에 대한 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定은 迎日과 奉化를 除外하고는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있다.

소나무의 對立遺傳子 頻도는 A₁이 0.7-0.84이고 A₂는 0.14-0.29로서 集團間에 약간의 差異가 있었다.

Fixation index값에 의하면 迎日과 奉化를 除外하고는 異型接合體의 觀察値가 期待値와 거의 같거나 약간 높은 數値를 나타내고 있다.

B-locus의 遺傳子型 頻度の 觀察値와 期待値의 χ^2 -檢定 結果 慶州, 迎日, 尙州를 除外하고는 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있었다. 소나무의 對立遺傳子의 頻度에서 慶北의 北部集團에서는 B₁이 나타나지 않거나 아주 낮은 頻도를 나타내고 B₂는 0.72-0.96로서 集團間에 差異가 있다. 곰솔에서 B₃ 因子는 나타나지 않고 B₁이 0.64-0.76로 높게 나타나고 있다.

B-locus의 fixation index값을 보면 소나무에서는 白巖, 蔚珍, 靑松, 榮州, 開慶, 金陵 및 永川 集團은 異型接合體의 頻도가 기대치보다 높게 나타나고 그外 集團에서는 同型接合體의 頻도가 期待値보다 높다. 特히 迎日, 尙州集團은 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르지 않고 fixation index값도 높게 나타나고 있다. 곰솔에서는 永川 集團만이 異型接合體의 頻도가 期待値보다 높게 나타나고 있다.

2. 集團間的 genetic distance

慶北地方 소나무에 대한 同位酵素 IDH, ME, PGI, ADH, GOT 및 LAP에서 變異가 있는 8個의 loci중 24個의 allelic frequency를 이용하여 Nei⁹⁾方法에 의한 集團間的 genetic distance를 表8과 같이 구하여 complete linkage方法으로 cluster analysis하였다.

Fig. 2에서와 같이 榮州, 白巖, 慶州 및 尙州 集團을 除外하고는 集團間에 큰 變異가 없는 것으로 나타나고 있다.

소나무에서 尙州, 榮州 및 奉化集團을 除外하고 genetic distance가 적은 差異이지만 cluster analysis에 의하면 慶北의 北部地方과 太白山脈의 소나무인 蔚珍, 英陽, 開慶, 靑松, 盈德, 永川, 大邱集團이 같은 group에 속하고 內陸地方인 星州, 義城 및 金陵이 같은 group에 속하며 慶州와 白巖集團은 各各 다른 group에 속한다. 그러나 外部形態의 差異가 있는 慶北 北部地方에 自生하는 春陽木과 南部地方의 소나무는 同位酵素 IDH, ME, PGI, ADH, GOT 및 LAP의 變異로서는 그 變異點을 찾아 볼 수가 없었다.

尙州, 榮州, 奉化集團은 솔잎혹파리의 被害가 극심한 先端地로서 種子가 달린 個體가 더불어 種子採取에 어려움이 있었다. 위의 3個集團에서는 솔잎혹파리에 강한 個體에서만 種子가 採取되었는지는 알수 없으나 잎의 樹脂溝 指數인 RDI²²⁾가 尙州는 0.09, 榮州는 0.04, 奉化는 0.03이고 그外 集團은 0.02로 나타나고 있으므로 곰솔의 因子가 많이 移入된 集團이라고 생각되므로 앞으로 좀더 세밀한 調査가 필요하며 Schiller等²⁰⁾도 地中海沿岸의 *Pinus halensis*에 *Pinus brutia*의 因子가 移入된 集團을 同位酵素에 의한 遺傳子座의 數 및 對立遺傳子의 變異와 heterozygosity의 頻度에서

Table 6. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at GOT-B and C locus for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	G O T B locus												G O T C locus									
		Genotypic frequency						Allelic frequency						Fixation			Genotypic frequency			Allelic frequency			Fixation index
		B ₁ B ₁	B ₃ B ₃	B ₃ B ₄	B ₄ B ₄	B ₁ B ₃	B ₁ B ₄	B ₃ B ₄	B ₁	B ₃	B ₄	B ₁ B ₃	B ₁ B ₄	B ₃ B ₄	index	C ₁ C ₁	C ₂ C ₂	C ₃ C ₃	C ₁	C ₂	C ₃		
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	0.060	0.040	0.520	0.020	0.220	0.140	50	4.602	0.180	0.120	0.700	0	0	0.860	0.140	50	0.283	0.070	0.930	-0.075		
	Youngil	0.040		0.720	0.020	0.080	0.140	50	8.412	0.090	0.080	0.830	0.191	0	0.920	0.080	50	0.087	0.040	0.960	-0.042		
	Youngduk	0.100		0.660		0.140	0.100	50	13.205**	0.170	0.050	0.780	0.334	0	0.900	0.080	50	4.228	0.060	0.940	0.291		
	Baegam			0.680		0.220	0.100	50	1.814	0.110	0.050	0.840	-0.144	0	0.960	0.040	50	0.021	0.020	0.980	-0.020		
	Uijin	0.040		0.600		0.220	0.140	50	4.101	0.150	0.070	0.780	0.012	0	0.900	0.080	50	4.228	0.060	0.940	0.291		
	Bonghwa	0.020		0.760	0.020	0.120	0.080	50	2.112	0.090	0.050	0.860	0.119	0	0.940	0.060	50	0.048	0.030	0.970	-0.031		
	Youngyang	0.040	0.020	0.580		0.320	0.040	50	0.356	0.200	0.040	0.760	0.102	0	0.020	0.840	0.140	50	1.056	0.090	0.910	0.145	
	Chungsong	0.021		0.714		0.204	0.061	49	0.620	0.122	0.031	0.847	0.007	0	0.980	0.020	49	0.006	0.010	0.990	0		
	Youngju	0.020		0.740		0.200	0.040	50	0.424	0.120	0.020	0.860	0.023	0	0.980	0.020	50	0.010	0.010	0.990	0		
	Munkyang	0.040		0.640	0.020	0.160	0.140	50	0.945	0.130	0.080	0.790	0.092	0	0.840	0.160	50	0.378	0.080	0.920	-0.087		
	Sangju	0.021	0.021	0.708		0.188	0.062	48	6.960	0.115	0.052	0.833	0.138	0	0.980	0.020	48	0.007	0.010	0.990	0		
	Kumleung	0.020		0.820	0.020	0.140		50	9.950	0.100	0.010	0.890	0.191	0	0.960	0.040	50	0.021	0.020	0.980	0.020		
	Sungju			0.680	0.060	0.200	0.060	50	8.126	0.130	0.060	0.810	0.011	0	0.900	0.080	50	4.228	0.060	0.940	-0.291		
	Eusung	0.020		0.660		0.240	0.080	50	0.833	0.140	0.040	0.820	-0.044	0	0.960	0.040	50	0.021	0.020	0.980	-0.020		
	Daeju			0.600	0.060	0.240	0.100	50	4.385	0.150	0.080	0.770	-0.058	0	0.900	0.100	50	0.139	0.050	0.950	-0.053		
	Youngchon	0.060		0.740		0.160	0.040	50	5.811	0.140	0.020	0.840	0.271	0	0.920	0.080	50	0.087	0.040	0.960	-0.042		
<i>Pinus thunbergii</i>	Gyungju			0.935		0.065	31	0.035		0.032	0.988	0.049		1.000		31	0		1.000	1.000			
	Chungha			0.933		0.067	30	0.037		0.033	0.967	-0.050		1.000		30	0		1.000	1.000			
	Youngduk			0.933		0.067	30	0.037	0.033		0.967	-0.050		1.000		30	0		1.000	1.000			
	Uijin			0.950		0.050	20	0.013		0.025	0.975	-0.026		1.000		20	0		1.000	1.000			
Youngchon			0.937		0.063	20	0.017		0.031	0.969	-0.049		1.000		20	0		1.000	1.000				

N : Number of trees investigated

* : Significant at 5% level

** : Significant at 1% level

Table 7. Genotypic and allelic frequencies and fixation indices at LAP-A and B loci for 16 populations in Kyungpook province

Species	Population	L A P-A locus										L A P B locus											
		Genotypic frequency					Allelic frequency					Genotypic frequency					Allelic frequency						
		A ₁ A ₁	A ₂ A ₂	A ₁ A ₂	A ₁	A ₂	χ ²	index	B ₁ B ₁	B ₂ B ₂	B ₁ B ₂	B ₁	B ₂	χ ²	index	B ₁ B ₁	B ₂ B ₂	B ₁ B ₂	B ₁	B ₂	χ ²	index	
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	0.520	0.100	0.380	50	0.302	0.710	0.290	0.077	0.020	0.860	0.040	0.040	0.080	50	11.625*	0.040	0.920	0.040	0.040	0.920	0.040	0.202
	Youngil	0.660	0.120	0.220	50	7.177*	0.770	0.230	0.359	0.020	0.800	0.060	0.020	0.040	50	23.543**	0.060	0.850	0.090	0.060	0.850	0.090	0.549
	Youngduk	0.600	0.080	0.320	50	0.750	0.760	0.240	0.123	0.020	0.800	0.020	0.080	0.080	50	8.493	0.060	0.880	0.060	0.060	0.880	0.060	0.267
	Baegam	0.740	0.060	0.200	50	3.275	0.840	0.160	0.256	0.500	0.040	0.920	0.080	0.080	50	1.307	0.720	0.280	0.040	0.960	0.040	0.042	-0.141
	Uijin	0.640	0.080	0.300	50	0.562	0.800	0.200	0.063	0.880	0.040	0.920	0.080	0.080	50	0.086	0.960	0.040	0.042	0.960	0.040	0.042	-0.042
	Bonghwa	0.640	0.160	0.200	50	11.531**	0.740	0.260	0.480	0.780	0.060	0.020	0.020	0.140	50	8.326	0.010	0.860	0.130	0.010	0.860	0.130	0.343
	Youngyang	0.520	0.100	0.380	50	0.302	0.710	0.290	0.077	0.800	0.040	0.920	0.080	0.080	50	10.414	0.900	0.100	0.100	0.900	0.100	0.100	0.111
	Chungsong	0.640	0.060	0.300	50	0.459	0.790	0.210	0.096	0.880	0.040	0.920	0.020	0.220	50	0.929	0.010	0.880	0.110	0.010	0.880	0.110	-0.125
	Youngju	0.720	0.280	0.000	50	1.360	0.860	0.140	-0.163	0.840	0.020	0.920	0.020	0.140	50	0.378	0.010	0.920	0.070	0.010	0.920	0.070	-0.077
	Mumkyung	0.660	0.020	0.320	50	0.360	0.820	0.180	0.084	0.041	0.816	0.020	0.102	0.021	49	29.218**	0.092	0.878	0.030	0.092	0.878	0.030	0.440
	Saungju	0.592	0.061	0.347	49	0.076	0.765	0.235	0.035	0.934	0.022	0.922	0.022	0.044	45	0.055	0.011	0.967	0.022	0.011	0.967	0.022	-0.042
	Kumleung	0.667	0.333	0.000	45	1.799	0.833	0.167	-0.197	0.820	0.020	0.060	0.107	0.100	50	2.889	0.030	0.900	0.070	0.030	0.900	0.070	0.131
	Sungju	0.720	0.040	0.240	50	0.574	0.840	0.160	0.107	0.877	0.021	0.041	0.041	0.061	49	6.698	0.021	0.928	0.051	0.021	0.928	0.051	0.249
	Eusung	0.612	0.041	0.347	49	0.028	0.786	0.214	-0.031	0.780	0.020	0.020	-0.042	0.180	50	0.882	0.020	0.870	0.110	0.020	0.870	0.110	0.133
	Daegu	0.700	0.020	0.280	50	0.087	0.840	0.160	-0.042	0.820	0.020	0.060	0.060	0.120	50	0.490	0.030	0.910	0.060	0.030	0.910	0.060	0.075
	Youngchon	0.640	0.040	0.320	50	0	0.800	0.200	0	0.563	0.187	0.250	0.250	0.120	50	5.586	0.687	0.313	0.687	0.313	0.687	0.313	0.419
<i>Pinus thunbergii</i>	Gyungju	1.000			32	0	1.000		1.000	0.600	0.100	0.300	0.300	30	1.200	0.750	0.250	0.750	0.250	0.750	0.250	0.200	
	Chungha	0.967			30	0.501	0.983	0.017	1.000	0.600	0.067	0.333	0.333	30	0.140	0.767	0.233	0.767	0.233	0.767	0.233	0.068	
	Youngduk	0.967			30	0.501	0.983	0.017	1.000	0.550	0.100	0.350	0.350	20	0.301	0.725	0.275	0.725	0.275	0.725	0.275	0.122	
	Uijin	1.000			20	0	1.000		1.000	0.333	0.048	0.619	0.619	21	2.546	0.643	0.357	0.643	0.357	0.643	0.357	-0.348	

N ; Number of trees investigated

* ; Significant at 5% level

** ; Significant at 1% level

Table 8. Genetic distance among 16 populations based on allelic frequency at 8 isozyme loci

	Gyungju	Youngil	Youngduk	Baegam	Ulljin	Bonghwa	Youngyang	Chungsong	Youngju	Munkkyung	Sangju	Kumleung	Sungju	Euung	Daegu
Gyungju	0.0643														
Youngil	0.0381	0.0297													
Youngduk	0.1094	0.0531	0.0581												
Baegam	0.0791	0.0493	0.0308	0.1003											
Ulljin	0.0556	0.0369	0.0257	0.0886	0.0366										
Bonghwa	0.0593	0.0424	0.0190	0.0808	0.0368	0.0410									
Youngyang	0.0502	0.0319	0.0252	0.0541	0.0439	0.0350	0.0438								
Chungsong	0.0928	0.0525	0.0534	0.1021	0.0574	0.0566	0.0652	0.0571							
Youngju	0.0680	0.0401	0.0202	0.0802	0.0125	0.0384	0.0295	0.0360	0.0374						
Munkkyung	0.0882	0.0461	0.0943	0.1112	0.1265	0.0873	0.1086	0.0919	0.1156	0.1321					
Sangju	0.0636	0.0504	0.0288	0.0856	0.0386	0.0260	0.0589	0.0162	0.0538	0.0302	0.1112				
Kumleung	0.0731	0.0417	0.0203	0.0537	0.0366	0.0423	0.0452	0.0188	0.0767	0.0239	0.1230	0.0175			
Sungju	0.0702	0.0277	0.0161	0.0627	0.0142	0.0266	0.0276	0.0189	0.0566	0.0171	0.0955	0.0211	0.0157		
Eusung	0.0819	0.0436	0.0299	0.0505	0.0252	0.0494	0.0326	0.0375	0.0583	0.0231	0.1066	0.0480	0.0289	0.0197	
Daegu	0.0966	0.0496	0.0282	0.0947	0.0119	0.0394	0.0342	0.0486	0.0439	0.0134	0.1426	0.0394	0.0384	0.0179	0.0349

變異가 있었다고 보고하였다.

慶州와 白巖은 海岸에서 가까운 集團이고 그 周邊에 金송이 섞여 있었다. 表9에서와 같이 變異가 있는 8個의 遺傳子座中 한個體當 heterozygous loci의 頻度는 소나무의 경우 ME-A가 43.8-82.2%, ADH-B는 25.0-63.9%로 가장 높고 PGI-B가 16.1-40.9%, GOT-B는 11.8-38.9%, LAP-A는 8.8-45.7%, LAP-B는 0-58.8%로서 그다음으로 높다.

이중 ME-A, ADH-B, PGI-B, LAP-B의 遺傳子座에서 異型接合體의 頻度가 集團間에 變異가 심하고 다른 遺傳子座에 比하여 그 頻度가 높은 것은 金송因子的 移入現象때문인지는 앞으로 좀더 研究할 필요가 있다.

金송의 경우 ADH-B가 50-83.3%로 가장 높고 LAP-B가 24.2-57.1%, PGI가 20-40.7%, ME-A가 18.2-40%로서 그다음으로 높으며 그外 遺傳子座는 異型接合體의 發生頻度가 아주 낮거나 거의 同型接合體의 遺傳子座로 나타나고 있으므로 集團間的 交配가 잘 이루어지지 않고 集團內 交配만 이루어지는 것이 아닌가 생각된다.

Hwang 等⁶⁾은 金송에서 異型接合體의 發生頻度가 낮은 것은 海岸邊의 地形이 복잡하여 金송集團이 孤立되어 있기 때문이라고 推測하고 Ohba는¹¹⁾ 日本金송에서 40%의 自殖率이 나타난다고 보고하였으며 Shen等은²¹⁾ *Pinus sylvestris*의 採種園에서 바로 이웃에 있는 clone으로부터 交配되는 率이 30%나 되고 한 나무에서 自殖率도 6%나 된다고 하였다.

結 論

慶北地方 소나무 16個集團과 金송 5個集團에 대한 同位酵素 IDH, ME, PGI, ADH, GOT 및 LAP의 集團間的 變異를 調査한 結果

1. 6個의 同位酵素에서 소나무는 13個의 遺傳子座中 變異가 있는 8個 遺傳子座에서 24個의 對立 遺傳子가 變異가 있었고 金송은 13個의 遺傳子座中 變異가 있는 6個의 遺傳子座에서 18個의 對立 遺傳子가 變異가 있었다.

2. 소나무의 遺傳子型 頻度는 同位酵素에 따라 다소 차이가 있으나 대체로 Hardy-Weinberg의 平衡法則을 따르고 있으며 平衡法則을 따르지 않

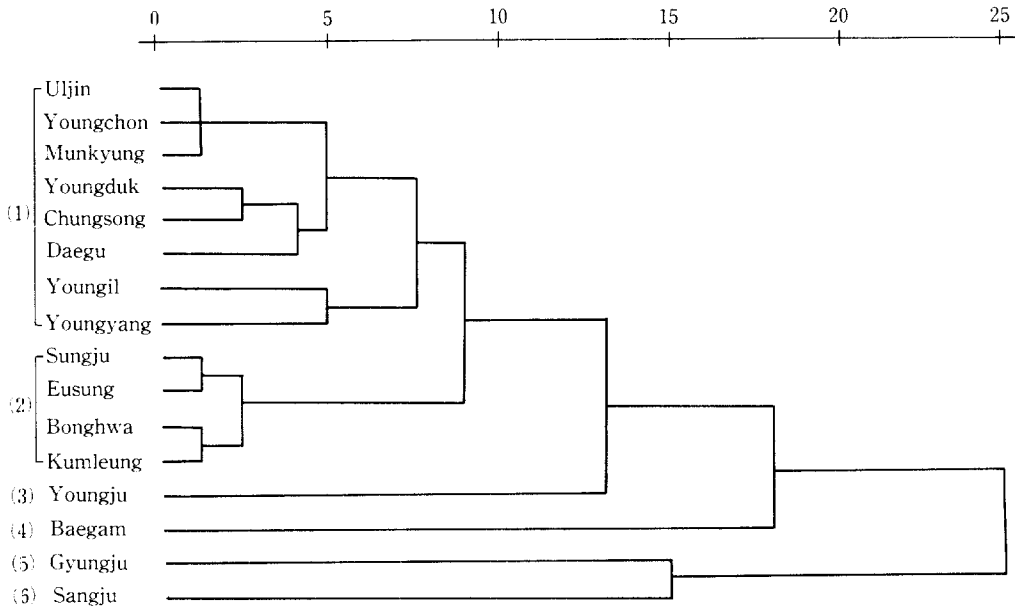


Fig. 2. Dendrogram for cluster analysis of allelic frequency at 8 isozyme loci for 16 populations in Kyungpook province.

Table 9. Percentage of heterozygous loci per individual at 8 polymorphic loci for 16 populations

Species	Population	ADH-B	GOT-B	GOT-C	IDH-A	LAP-A	LAP-B	ME-A	PGI-B	MEAN ± S.E.
<i>Pinus densiflora</i>	Gyungju	56.4	38.5	7.7	18.4	35.9	12.8	69.7	25.0	32.16 ± 2.68
	Younggil	28.2	23.1	10.3	5.4	23.1	10.3	62.2	26.5	23.58 ± 1.90
	Youngduk	45.8	20.8	6.3	23.4	31.3	0.0	56.3	31.9	26.88 ± 2.52
	Baegam	41.2	29.4	5.9	14.7	8.8	58.8	43.8	30.3	29.10 ± 2.80
	Uljin	58.3	38.9	11.1	19.4	30.6	31.4	45.5	20.0	32.36 ± 2.69
	Bonghwa	42.4	18.2	3.0	12.9	18.2	6.1	45.5	28.6	21.83 ± 2.26
	Youngyang	25.0	41.4	6.9	6.7	45.7	71.1	63.6	30.3	30.58 ± 3.07
	Chungsong	31.3	25.0	0.0	15.6	34.4	25.0	81.3	31.3	30.08 ± 2.44
	Youngju	66.0	20.9	0.0	4.7	27.7	21.3	75.6	40.9	33.22 ± 2.09
	Munkyoung	39.0	34.0	12.8	12.8	34.0	17.0	82.2	23.4	31.39 ± 1.98
	Sangju	50.0	26.1	2.2	15.2	34.8	13.0	69.6	26.1	29.62 ± 2.28
	Kumleung	35.3	11.8	5.9	8.8	41.2	5.9	61.8	20.6	23.89 ± 2.66
	Sungju	34.8	29.5	9.3	15.6	24.4	17.4	69.6	23.9	28.18 ± 2.75
	Eusung	53.2	31.3	4.2	14.6	33.3	8.3	75.6	22.9	29.84 ± 1.94
	Daegu	63.9	30.6	13.9	5.6	22.2	27.8	54.8	16.1	29.70 ± 2.26
	Youngchon	55.0	23.5	5.9	5.0	27.5	20.0	78.9	26.7	31.52 ± 2.44
<i>Pinus thunbergii</i>	Gyungju	51.5	6.1	0.0	0.0	0.0	24.2	18.2	40.7	17.42 ± 2.30
	Chunggha	50.0	3.3	0.0	0.0	3.3	30.0	23.3	23.3	16.67 ± 2.19
	Youngduk	83.3	6.7	0.0	0.0	3.3	33.3	20.0	37.9	23.04 ± 2.33
	Uljin	75.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	40.0	20.0	21.25 ± 2.42
	Youngchon	60.0	6.3	0.0	0.0	0.0	57.1	23.80	33.3	23.00 ± 2.07

는 一部集團은 fixation index 값이 높고 대체로 同型接合體의 發生頻도가 期待値보다 높게 나타나고 있다.

3. 對立遺傳子の 頻度에서 소나무의 IDH-A₁,

ME-A₄, PGI-B₃, ADH-B₃, GOT-B₄, GOT-C₃, LAP-A₁, LAP-B₂의 頻도가 各集團別로 60% 이상을 차지하고 있으며 나머지 對立遺傳子是 낮은 頻度分布를 하고 있다. 對立遺傳子和 遺傳子

型 頻度는 集團間에 다소 差異가 있고 곰솔에서도 소나무와 비슷한 傾向을 나타내고 있으나 소나무 보다는 變異가 적었다.

4. 소나무 16個集團은 genetic distance에 의한 集團間의 類緣關係는 尙州, 榮州 및 奉化集團을 除外하고 集團間에 큰 差異는 없으나 慶北의 北部地方과 太白山脈의 소나무인 蔚珍, 英陽, 開慶, 靑松, 盈德, 永川, 大邱集團이 같은 group에 속하고 內陸地方인 星州, 義城, 金陵이 같은 group에 속하며 慶州와 白巖集團은 各各 다른 group에 속한다.

5. 慶北 北部地方에 自生하는 春陽木과 南部地方의 소나무는 外部形態의 差異는 있으나 同位酵素 IDH, ME, PGI, ADH, GOT 및 LAP의 變異로서는 뚜렷한 差異點을 찾아 볼수가 없었다.

6. 한 個體當 異型接合體의 遺傳子座 頻度는 소나무는 ME-A 및 ADH-B가 가장 높고 PGI-B, GOT-B, LAP-A, LAP-B가 그다음으로 높게 나타나며 곰솔에서도 ADH-B가 가장 높고 LAP-B, PGI-B, 및 ME-A가 그다음으로 높고 그外 遺傳子座에서는 同型接合體의 頻도가 높게 나타나고 있다.

引 用 文 獻

1. Adams, W.T. and R.J. Joly. 1980. Genetics of allozyme variants in loblolly pine. *Journal of Hered.* 71 : 33-40.
2. Chung, H.G. and S.K. Lee. 1982. The isoperoxidase variation and the morphological variation of needles of 25 natural populations of *Pinus densiflora*. *Res. Rep. of Inst. For. Gen.* 18 : 60-73.
3. Chung, H.G., S.K. Lee and K.J. Lee. 1982. Isoperoxidase variation of natural populations of *Pinus densiflora*. *Korean J. Breeding.* 14(1) : 40-46.
4. Conkle, M.T. 1971. Inheritance of alcohol dehydrogenase and leucine aminopeptidase isozymes in Knobcone Pine. *For. Sci.* 17 : 190-194.
5. Guries, R.P. and F.T. Ledig. 1978. Inheritance of some polymorphic isoenzymes in pitch pine (*Pinus rigida* Mill.). *Heredity* 40 : 27-32.
6. Hwang, J.W. and D.S. Son. 1987. The variation in natural population of *Pinus thunbergii*. Submitted the Report of Korea Science and Engineering Foundation : 52p.
7. Kim, Z.S. and Y.P. Hong. 1982. Genetic analysis of some polymorphic isozymes in *Pinus densiflora* (I). Inheritance of glutamate-oxalate transaminase and leucine aminopeptidase and linkage relationship among allozyme loci. *J. Korean For. Soc.* 58 : 1-7.
8. Kim, Z.S. and Y.P. Hong. 1985. Genetic analysis of some polymorphic isozymes in *Pinus densiflora* (II). Inheritance of acid phosphatase, alcohol dehydrogenase and catalase isozymes. *J. Korean For. Soc.* 68 : 32-36.
9. Nei, M. 1972. Genetic distance between population. *The American Naturalist.* 106(949) : 283-292.
10. Nikolic, D.J. and F. Bergmann. 1974. Genetic variation of leucine aminopeptidase (LAP) isoenzymes in seeds of *Pinus nigra* Arn., *Genetika.* 6 : 361-365.
11. Ohba, K. 1972. A recessive gene producing yellow seedling and estimation of natural self-fertilization in a Japanese black pine. *Pinus thunbergii* parl. *J. Jap. For. Soc.* 54 : 28-29.
12. Ohba, K., M. Iwakawa, Y. Okada and M. Murai. 1971. Estimation of the degree of the natural self-fertilization by the frequencies of chlorophyllous variants in Japanese red pines. *Pinus densiflora* Sieb. et Zucc., and the inheritance of the variants. *J. Japan. For. Soc.* 53 : 327-333.
13. O'Malley, D.M., F.W. Allendorf and G.M. Blake. 1979. Inheritance of isozyme variation and heterozygosity in *Pinus ponderosa*. *Biochem. Genet.* 17 : 233-250.
14. Park, Y.G. 1977. Genetic studies in natural population of *Pinus densiflora*. *Res. Rep. of Inst. For. Gen.* 13 : 9-80.
15. Rudin, D. and B. Rasmuson. 1973. Genetic variation in esterases from needles of *Pinus silvestris* L. *Hereditas* 73 : 89-98.

16. Rudin, D. 1975. Inheritance of glutamate-oxalate-transaminases(GOT) from needles and endosperms of *Pinus sylvestris*. *Hereditas* 80 : 296-300.
17. Rudin, D. 1977. Leucine amino-Peptidase (LAP) from needles and macrogametophytes of *Pinus sylvestris* L. Inheritance of Allozyme *Hereditas* 85 : 219-226.
18. Sakai, K.I., S. Hayashi and S. Iyama. 1974. Genetic studies in natural populations for *Pinus*(1). Genetic variability in local populations from several prefectures. *Mem. Fac. Agr., Kagoshima Univ.* 10 : 37-49.
19. Sakai, K.I., S. Hayashi and M. Murai. 1976. Genetic studies in natural populations of *Pinus*(II). Geographical variation in relation to natural selection. *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.* 12 : 37-101.
20. Schiller, G., M.T. Conkle and C. Grunwald. 1986. Local differentiation among Mediterranean populations of Aleppo pine in their isoenzymes. *Silvae Genetica* 33(1) : 11-19.
21. Shen, H.H., D. Rudin and D. Lindgren. 1981. Study of the pollination pattern in a Scots pine seed orchard by means of isozyme analysis. *Silvae Genetica*. 30 : 7-15.
22. Son, D.S., S.C. Hong and J.B. Ryu. 1988. A study on genetic variation of a red pine variety naturally distributed in Kyungpook province. Submitted the Report of Korean Science and Engineering Foundation : 1-44.
23. Son, D.S., S.C. Hong, J.K. Yeo and J.B. Ryu. 1989. Inheritance of isozymes IDH, ME and PGI on *Pinus densiflora* and *Pinus thunbergii* in Kyungpook province. *Jour. Korean For. Soc.* 78(2) : 242-247.
24. Szmidt, A.E. 1979. Inheritance of catalase multiple forms in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Arbor. Kornickie.* 24 : 105-110.
25. Uyeki, H. 1928. On the physiognomy of *Pinus densiflora* growing in Korea and silvicultural treatment for its improvement. *Bull. of the Agr. and For. Coll. Suwon, Korea.* 3 : 263p.
26. Witter, M.S. and P.P. Foret. 1979. Inheritance of esterase and acid phosphatase isozymes in Virginia pine and the application of the isozyme technique to a seed orchard population. *Silvae Genet.* 28 : 213-220.
27. Wright, S. 1951. The genetic structure of populations. *Ann. Eugen.* 15 : 324-345.
28. Yazdani, R. and D. Rudin. 1982. Inheritance of fluorescence esterase and β -galactosidase in haploid and diploid tissue of *Pinus sylvestris* L. *Hereditas.* 96 : 191-194.
29. Yim, K.B., Y.S. Kim and K.J. Lee. 1981. The variation of natural population of *Pinus densiflora* S. et Z. in Korea. *Proc. of XIII International Botanical Congress, Sydney* : 1-6.