

## 설악산 눈잣나무 천연집단의 침엽특성과 유전변이

송정호\*, 임효인, 장경환

국립산림과학원 산림유전자원부

### Needle Characteristics and Genetic Variation of *Pinus pumila* Natural Population in Mt. Seorak

Jeong-Ho Song\*, Hyo-In Lim and Kyung-Hwan Jang

Department of Forest Genetic Resources, Korea Forest Research Institute, Suwon 441-847, Korea

**Abstract** - This study was conducted to investigate the morphological and anatomical characteristics of needle and the genetic diversity of *Pinus pumila* Regel which is a unique and the southern peripheral population in South Korea. ANOVA test showed that there were significant differences among individuals within population in all 8 needle characteristics. Average characteristics of 66 individuals were 53.59 mm in needle length, 0.78 mm in needle width, 68.98 in needle index, 0.65 mm in needle thickness, 4.56 ea. in maximum stomata row, 3.80 ea. in minimum stomata row, 8.36 ea. in total stomata row and 1.71 ea. in resin canals, respectively. Resin canal per needle of this species ranged from one to three, depending on external type. Especially, arrangement types were 69.47% in two resin canals and 30.45% in a single resin canal. A total of 78 bands was generated from 9 selected I-SSR primers. The estimates of genetic variation were 61.5% in proportion of polymorphic bands ( $P$ ), 1.698 in effective number of alleles ( $A_e$ ), 0.388 in expected heterozygosity ( $H_e$ ) and 0.567 in Shannon's information index ( $S.I.$ ), respectively.

**Key words** - *Pinus pumila*, Genetic variation, Needle, Resin canal, I-SSR markers

## 서 언

눈잣나무(*Pinus pumila* Regel)는 *Pinus* 속의 *Cembrae* subsection에 속하며 한국, 일본, 만주의 고산지대를 포함한 시베리아 동부 및 극동지역의 북쪽에 주로 분포하는 수종이다(IUCN, 2011). 우리나라 눈잣나무는 유라시아대륙 분포의 남한계선으로 플라이스토세 빙하기에 한반도로 유입되었으며 기온변화에 따른 식물의 이동 노선을 보여주는 지표식물로 높은 학술적 가치를 인정받고 있다(Kong, 2006). 지표면에 퍼지는 누운 형태(creeping shape)로 자라며 종자에 날개가 없으며 열개되지 않는 구과형질을 가지고 있어 다른 잣나무류와 분류되고 있으며, 종자에 의한 유성번식과 취목(layering)에 의한 무성번식을 겸하고 있는 수종으로 알려져 있다(Lee, 1990, 2006; Watano *et al.*, 1995).

설악산 눈잣나무 집단은 남한에 존재하는 유일한 집단으로 중청봉과 대청봉 능선의 양쪽 사면에 가장 대규모의 집단을 이루며 소규모의 군락 또는 아집단의 형태로 불규칙하게 분포하고 있다(Song and Nakanishi, 1985; Kwon *et al.*, 2010). 설악산 잔존 격리 눈잣나무 집단의 유전적 성상을 보면 상대적으로 낮은 유전다양성과 근친교배에 의한 집단내 열세 유전자형의 증가로 인한 환경적응력 감소 등으로 소멸될 가능성이 매우 높은 것으로 보고되고 있다(Hong *et al.*, 2004). 또한 설악산 눈잣나무 군락지가 겨울에도 강풍과 낮은 기온으로 건조한데다 표토와 낙엽 등 유기물의 침식으로 토양도 척박하고 수십년 동안의 지속적인 집중적인 등산객의 답압 피해로 인해 멸종위기종으로 평가받고 있다(KNA, 2009). 구과성숙기인 7~8월에 다람쥐, 들쥐, 잣까마귀 등의 먹이원으로 모두 피해를 받기 때문에 자연 상태에서는 실생 차대림 형성이 어려우며, 종자 확보가 불가능해 유전다양성을 보존하기 위한 특별한 현지

\*교신저자(E-mail) : sjh8312@forest.go.kr

내·외 보존 대책이 마련되어야 한다(Song *et al.*, in press). 일본 눈잣나무 집단의 경우도 대부분의 종자가 잣까마귀(nutcracker)에 의해 75% 정도 먹히거나 기계적 손상을 받으며, 25% 정도는 발아가 되지만 동상과 가뭄 등 환경적인 스트레스에 의해 단 1%만이 생존하며, 이 1%도 4년 생 정도에 대부분 고사되는 것으로 보고되고 있다(Okitsu and Ito, 1984; Kajimoto, 2002).

지금까지 러시아와 일본의 눈잣나무 집단에 대해서는 산림 유전자원보존을 위한 유전학적 연구가 꾸준히 수행되어 왔다(Goncharenko *et al.*, 1993; Tani *et al.*, 1996; Anderson *et al.*, 2010; Gebauer *et al.*, 2010). 일본에서는 DNA 연구를 통한 집단의 유전구조 분석을 통해 고산지역의 눈잣나무 집단이 가지에서 뿌리를 내리는 무성번식과 조류에 의한 종자산포를 통한 유성번식을 겸하고 있음을 밝혔으며(Tani *et al.*, 1998), 이 외에도 눈잣나무와 섬잣나무의 변종(*P. parviflora* var. *pentaphylla*(Mayr) Henry)간의 잡종 현상을 밝혀내는 등 눈잣나무에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다(Watano *et al.*, 1995; Senjo *et al.*, 1999). 그러나 우리나라의 설악산 눈잣나무 유전자원에 대한 연구는 침엽의 핵형분석 및 체세포염색체 특성(Lim, 1986), 생화학적 적응성(Kim *et al.*, 2005), 동위효소를 이용한 유전학적 연구(Hong *et al.*, 2004), 생물지리적 특성(Kong, 2006; Kwon *et al.*, 2010) 등에 대한 일부 연구만이 진행되었다.

따라서 본 연구는 국내 분포하는 설악산 눈잣나무 집단의 유전자원보존을 위한 전략 수립을 위해 침엽의 형태적·해부학적 특성은 물론 I-SSR 표지자 분석을 이용한 유전적 특성을 밝히는데 있다.

## 재료 및 방법

### 침엽 특성과 유전변이 분석

공시재료는 설악산 대청봉과 중청대피소 해발고 약 1,684 m의 능선지역 남서사면에 분포하는 눈잣나무 천연집단을 대상으로 하였으며, 2011년 5월 침엽특성 조사와 유전변이

분석을 위한 시료를 채취하였다.

침엽조사는 개체목별로 전년도에 형성된 역지의 1년생 주지의 중간부위에서 4속씩(bundle, 1속 5엽) 임의로 채취하여 각 속별 5개의 침엽 전체 66개체 1,320개 침엽을 대상으로 조사하였다. 침엽의 형태적 특성은 침엽의 길이, 폭, 지수(길이/폭) 및 두께를, 해부학적 특성은 현미경 120 배율 하에서 침엽의 중앙부위의 기공열수에 대한 최소, 최대 및 전체수를 각각 조사하였다. 또한 수지구의 수와 Isii (1938)의 방법에 의한 수지구 유형을 각각 조사하였다.

채취된 눈잣나무 침엽은 유전변이 분석을 위해 DNeasy Plant Mini Kit(Qiagen)를 이용하여 DNA를 분리 ND-1000 Spectrophotometer(Nano-Drop Technologies, Wilmington, DE, USA)를 이용하여 정량하였다. I-SSR Polymerase chain reaction(PCR)은 주형 DNA 6 ng, 10×buffer, 1 mM dNTP, 0.025% BSA 각각 1.5  $\mu$ l, 2 mM MgCl<sub>2</sub> 1.2  $\mu$ l, 1.5  $\mu$ M I-SSR primer 3.75  $\mu$ l, Promega Flexi GoTaq (Promega Corp., Madison, WI) 0.6 U 및 증류수가 포함된 총 15  $\mu$ l의 반응액을 95°C에서 5분 동안 1차 해리한 후, 해리 95°C 1분, annealing 50~54°C 1분, extension 72°C 2분으로 구성된 반응을 30회 반복한 후 최종적으로 72°C에서 10분간 extension하여 수행하였다(Applied Biosystems Gene Amp. PCR system 9700). I-SSR primer는 UBC primer Set #9(University of British Columbia, Canada) 46개를 사용하였으며, 이 가운데 재현성이 우수하고 다형성을 보이는 9개의 primer를 사용하였다(Table 1). PCR 증폭산물은 1×TBE buffer를 사용하여 2% agarose gel에서 2시간 30분 전기영동 하였고, ethidium bromide로 정색하여 UV trans-illuminator상에서 증폭산물의 존재 유무를 판정하였다. DNA size marker를 기준으로 특정 크기(bp)를 지니는 증폭산물의 유무에 따라 '1'과 '0'으로 코딩하여 자료행렬로 전환하였다.

### 자료분석

자료분석은 I-SSR PCR에 의해 생성된 다형성 증폭산물을 바탕으로 POPGENE ver. 3.2 program(Yeh *et al.*,

Table 1. Average value and coefficient variation for 4 morphological characters of needles in *P. pumila*

Needle Length (mm)	Needle Width (mm)	Needle Index (Length/Width)	Needle Thickness (mm)
53.59 (17.2)*	0.78 (12.1)	68.98 (18.2)	0.65 (11.4)

(\*) : Coefficient variation (%)

1997)을 이용하여 유효대립유전자의 수(Kimura and Cow, 1964), 다형적 유전좌의 비율, Shannon의 다양성지수 (Lewontin, 1972) 등 유전적 다양성을 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 침엽의 형태적 특성

설악산 눈잣나무 집단에 대한 침엽의 형태적 특성은 Table 1에 나타났다. 침엽의 평균특성을 살펴보면 침엽길이 53.59 mm, 침엽폭 0.78 mm, 침엽지수 68.98 및 침엽두께 0.65 mm로 나타났으며, 변이계수 값은 11~19% 범위의 비교적 낮은 경향을 나타냈다. 특히, 침엽의 형태적 특성에 대한 모든 형질들은 개체간 및 개체내 속(bundle) 간에 모두 통계적으로 유의적인 차이가 인정되었다(Table 2).

박정동과 김진수(1985)는 설악산 대청봉 눈잣나무의 침엽장 57.54 mm, 침엽폭 1.02 mm, 침엽두께 0.81 mm로 나타났으며 이들 형질은 모두 개체간의 유의성이 인정되었다고 보고한 바 있는데 본 연구결과와 비교해 침엽의 길이와 두께에서 큰 특성을 보였다. Ahn(1971)에 의하면 잣나무류인 울릉도 섬잣나무의 침엽길이는 63.00~71.71 mm, 잣나무의 침엽길이는 80.97 mm로 보고한 바 있는데 본 연구

결과는 상대적으로 작은 수종간 차이를 나타냈다. Gebauer *et al.*(2010)은 해발고에 따른 러시아 눈잣나무 침엽의 형태적인 변이를 조사한 결과 침엽폭과 침엽두께는 고위도(1,815 m)에서 각각 0.72 mm와 0.79 mm, 중위도(1,110 m)에서 각각 0.62 mm와 0.71 mm로 해발고에 따른 차이를 보고한 바 있는데 본 연구결과에 비해 침엽폭은 짧은 반면 두께는 두꺼운 특성을 나타냈다.

### 침엽의 해부학적 특성

설악산 눈잣나무 집단에 대한 침엽의 해부학적 특성은 Table 3에 나타났다. 침엽의 기공열수는 곡선면을 제외한 다른 두면에서만 조사되었으며, 평균특성을 살펴보면 최대 기공열수는 4.56개, 최소기공열수는 3.80개, 전체기공열수는 8.36개, 수지구수는 1.71개로 나타났다. 변이계수 값은 19~29% 범위로 침엽의 형태적 특성에 비해 비교적 높은 값을 나타냈다. 특히, 침엽의 해부학적 특성에 대한 ANOVA 분석결과 개체간에는 모든 형질들에서 통계적인 유의성이 인정되었으나 개체내 속(bundle)간에는 최소와 전체 기공열수에서만 통계적으로 유의적인 차이가 인정되었다(Table 4). 또한 침엽의 연령에 따른 기공열수의 차이는 전년(1년)지와 2년지에서는 유의적인 차이가 없었으나 이들과 3년지

Table 2. ANOVA analysis of variance for 4 morphological characters of needles in *P. pumila*

Source of Variance	Needle Length	Needle Width	Needle Index	Needle Thickness
Among Individuals	1514.3**	0.093**	2122.2**	0.064**
Among Bundles within Individual	63.4**	0.008**	169.9**	0.005**

\*\* : Significant at  $p < 0.001$ .

Table 3. Average value and coefficient variation for 4 anatomical characters of needle in *P. pumila*

Maximum (ea.)	Numbers of Stomata Row		Total (ea.)	Numbers of Resin Canal (ea.)
	Minimum (ea.)			
4.56 (20.7)*	3.80 (22.6)		8.36 (19.8)	1.71 (28.4)

(\*) : Coefficient variation (%).

Table 4. ANOVA analysis of variance for 4 anatomical characters of needle in *P. pumila*

Source of Variance	Numbers of Stomata Row			Numbers of Resin Canal
	Maximum	Minimum	Total	
Among Individuals	6.57**	4.74**	21.8**	2.04**
Among Bundles within Individuals	0.69	0.63*	0.21*	0.14

\*\* and \* : Significant at  $p < 0.01$  and  $p < 0.05$ , respectively.

간에는 통계적으로 유의적인 차이가 인정되었으며 3년지의 기공열수가 1~2개 정도 작은 특성을 나타냈다(데이터 미제시).

특히, 설악산 눈잣나무 수지구는 1~3개로 모두 바깥쪽에 위치하는 외위 형태였으며 Isii(1938)이 보고한 수지구 유형 중 1번(수지구 3개), 8번(2개), 9번(1개) 등 총 3가지 유형으로 나타났다(Fig. 1). 조사된 66개체 중 3개의 수지구를 가지는 1번 유형은 1개체로 빈도 1.52%를 보였으며, 전체 1,320개 침엽 중 1개 침엽으로 0.08%의 비율을 나타냈다. 2개의 수지구를 가지는 8번 유형은 65개체로 빈도 98.5%를 보였으며, 전체 침엽 중 917개 침엽으로 69.47%를 나타냈다. 또한 1개의 수지구를 가지는 9번 유형은 57개체로 빈도 86.4%를 보였으며 전체 침엽 중 402개 침엽으로 30.45%를 나타냈다.

Isii(1938)와 Watano *et al.*(1995)에 의하면 눈잣나무 수지구 유형은 8번과 9번에 해당되며, 1번은 섬잣나무나 교잡종에서 나타나는 유형으로 본 연구에서는 1개체의 침

엽 1개에서만 나타나, 이는 눈잣나무 교잡육종 연구에 학술적인 자료로 이용될 수 있을 것으로 보인다. Ahn(1971)에 의하면 잣나무 수지구는 내위 형태로 3개이며, 울릉도 섬잣나무 수지구는 외위이나 조사목 중 50~70%가 수지구가 전혀 없었으며, 침엽당 0.4~0.9개의 수지구가 관찰되어 본 연구결과와는 수종간 많은 차이를 보였다.

**침엽의 유전변이 특성**

눈잣나무 유전변이 분석에 사용된 9개의 I-SSR primer (#811, 812, 820, 840, 841, 842, 847, 850, 851)에서 총 78개의 증폭산물이 관찰되었으며, 다형적 증폭산물은 48개를 얻을 수 있었다(Fig. 2). 증폭된 다형적 유전자좌를 토대로 계산된 유전변이량은 유효대립유전자의 수( $A_e$ )가 1.698개, 다형적 유전자좌의 비율( $P$ )이 61.5%, 이형접합도의 기대치( $H_e$ )는 0.388, Shannon의 다양성지수( $S.I.$ )는 0.567로 나타났다(Table 5).

Tani *et al.*(1996)과 Nakonechnaya *et al.*(2010)에 의

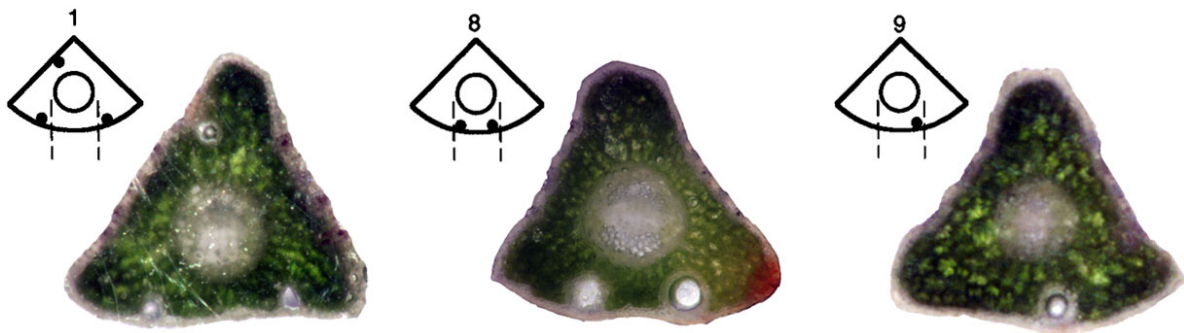


Fig. 1. Resin canal arrangements of *P. pumila* in Mt. Seorak. Numbers represent “type” according to Isii (1938).

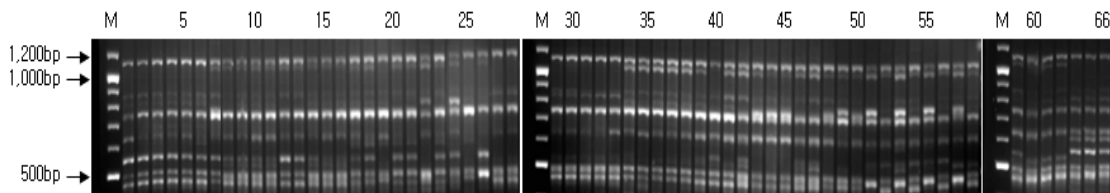


Fig. 2. Example of I-SSR profiles, amplified by UBC primer #840. “M” denotes DNA size marker of 100 bp ladder.

Table 5. Genetic diversity estimates of *P. pumila* based on 37 I-SSR polymorphic amplicons

$A_e$	$P$ (%)	$H_e$	$S.I.$
1.698 (0.307)*	61.5	0.388 (0.131)	0.567 (0.154)

$A_e$  = effective number of alleles;  $P$  = the percentage of polymorphic loci;  $H_e$  = expected heterozygosity;  $S.I.$  = Shannon’s Information index; \* = standard deviation.

하면 러시아와 일본에 분포하는 눈잣나무 집단의 경우도 높은 유전다양성을 나타내는 것으로 보고되고 있어 본 연구결과와 동일한 경향을 나타냈다.

일반적으로 식물종이 가지는 유전다양성은 지리적 분포특성과 교배양식 및 번식방법의 영향을 많이 받는데(Hamrick *et al.*, 1992), 설악산 눈잣나무 집단이 고산지역이라는 제한된 분포와 적은 개체수에도 불구하고 높은 유전다양성을 보유하고 있는 것은 종자 및 무성번식을 겸하는 수종 특성으로 이러한 결과는 제한적으로 분포하는 시로미의 경우에서도 보고된바 있다(Hamrick *et al.*, 1992, Choi *et al.*, 2004). 그러나 설악산 눈잣나무 집단의 유전다양성은 동위효소 분석에서 낮은 것으로 보고되어 있는데(Hong *et al.*, 2004), 이는 조사할 수 있는 유전자좌의 수가 제한되어 있는 동위효소 표지자에 비해 더 많은 유전자에서의 변이를 추정할 수 있는 DNA 표지자의 장점 때문으로 사료된다.

설악산 눈잣나무 집단은 유전다양성이 비교적 높은 수종으로 분석되었으나 국내에서는 제한적으로 소규모로 분포하고 있고 산림식생대의 변화로 쇠퇴현상을 보이고 있어 유전적 부동의 영향을 받을 가능성이 매우 크므로 소실 위험 및 자원전쟁 등에 대비한 유전자원보존을 위한 육종전략이 체계적으로 마련되어야 할 것이다.

## 적 요

설악산 눈잣나무 천연집단은 국내 유일하게 분포하는 남방한계 분포지 수종으로 유전자원보존을 위하여 침엽의 형태적·해부학적 특성과 I-SSR 표지자를 이용한 유전변이를 조사하였다. 8가지 침엽특성에 대한 ANOVA 분석결과 모든 특성에서 개체 간에 통계적인 유의성이 인정되었다. 조사된 66개체의 평균특성은 침엽길이 53.59 mm, 침엽폭 0.78 mm, 침엽지수 68.98 및 침엽두께 0.65 mm, 최대기공열수 4.56개, 최소기공열수 3.80개, 전체기공열수 8.36개 및 수지구수 1.71개로 각각 나타났다. 특히, 수 지구는 모두 바깥쪽에 위치하는 외위 형태의 1~3개 범위로 수 지구 2개 유형이 69.47%를 나타낸 반면 1개 유형은 30.45%를 나타냈다. 선발된 9개 I-SSR Primer에서 총 78개의 증폭산물을 얻었으며, 다형적 유전자좌의 비율은 61.5%, 유효대립유전자의 수 1.698개, 이형접합도의 기대치 0.388 및 Shannon의 다양성지수 0.567로 각각 나타났다.

## 인용문헌

- Ahn, K.Y. 1971. Principal characteristics of *Pinus parviflora* S. et Z. native to the Dagelet Island. Jour. Korean For. Soc. 12:31-43 (in Korean).
- Anderson, P.M., A.V. Lozhkin, T.B. Solomatkina and T.A. Brown. 2010. Paleoclimatic implications of glacial and postglacial refugia for *Pinus pumila* in western Beringia. Quaternary Res. 73(2):269-276.
- Choi, H.S., K.N. Hong, J.M. Chung, B.Y. Kang, and W.W. Kim. 2004. Genetic diversity and spatial genetic structure of *Empetrum nigrum* var. *japonicum* in Mt. Halla, South Korea. Jour. Korean For. Soc. 93(3):175-180 (in Korean).
- Gebauer, R., D. Volařík, T. Funda, I. Fundová, A. Kohutka, V. Klapetek, M. Martinková, O.A. Anenkhonov and A. Razuvaev. 2010. *Pinus pumila* growth at different altitudes in the Svyatoi Nos Peninsula (Russia). J. For. Sci. 56(3): 101-111.
- Goncharenko, G.G., V.E. Padutov and A.E. Silin. 1993. Allozyme variation in natural populations of Eurasian pines. I. Population structure, genetic variation, and differentiation in *Pinus pumila* (Pall.) Regel from Chukotsk and Sakhalin. Silvae Genet. 42(4-5):237-246.
- Hamrick, J.L. M.J.W. Godt and S.L. Sherman-Broyles. 1992. Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species. New Forest 6(1):95-124.
- Hong, Y.P., H.Y. Kwon, B.H. Yang, S.W. Lee, C.S. Kim and S.D. Han. 2004. Genetic states of an isolated relict population of dwarf stone pine in Mt. Seorak. Jour. Korean For. Soc. 93(5):393-400 (in Korean).
- Isii, S. 1938. On the various forms of *Pinus pumila* distinguished by the structure of leaves with special reference to their distribution. J. Japanese For. Soc. 20:1-16.
- IUCN. 2011. IUCN Red list of threatened species. Version 2011.2. <www.iucnredlist.org> (2012. 1. 16.).
- Kajimoto, T. 2002. Factors affecting seedling recruitment and survivorship of the Japanese subalpine stone pine, *Pinus pumila*, after seed dispersal by nutcrackers. Ecol. Res. 17(4):481-491.
- Kim, C.S., S.H. Han, W.Y. Lee, J.C. Lee, Y.K. Park and C.Y. Oh. 2005. Biochemical adaptation of *Pinus pumila* on low temperature in Mt. Seorak, Korea. Korean J. Plant Res. 8(3):217-224.
- Kimura, M. and J.F. Crow. 1964. The number of alleles that can be maintained in a finite population. Genetics 49(4):725-738.

- Kong, W.S. 2006. Biogeography of native Korean pinaceae. Jour. Korean Geogr. Soc. 41(1):73-93 (in Korean).
- Korea National Arboretum (KNA). 2009. Rare Plants Data Book in Korea. GEOBOOK Pub. Co. Seoul. p. 83 (in Korean).
- Kwon, H.J., J.H. Gwon, K.S. Han, M.Y. Kim and H.K. Song. 2010. Subalpine forest vegetation of Daecheongbong area, Mt. Seoraksan. Kor. J. Env. Eco. 24(2):194-201 (in Korean).
- Lee, T.B. 1990. Dendrology. Hyangmoon Pub. Co., Seoul, Korea. pp. 75-77 (in Korean).
- Lee, T.B. 2006. Coloured Flora of Korea. Hyangmoon Pub. Co., Seoul, Korea. p. 136 (in Korean).
- Lewontin, R.C. 1972. The apportionment of human diversity. Evol. Biol. 6:381-398.
- Lim, H.J. 1986. Taxonomical relationship of the five *Pinus* species in the Subgenus haploxylon. Korean J. of Breed. Sci. 18(4):358-373 (in Korean).
- Nakonechnaya, O.V., A.B. Kholina, O.G. Koren, V. Janecek, A. Kohutka, R. Gebauer and N. Zhuravlev. 2010. Characterization of gene pools of three *Pinus pumila* (Pall.) Regel populations at the range margins. Russ. J. Genet. 46(12):1417-1425.
- Okitsu, S. and Ito, K. 1984. Vegetation dynamics of the Siberian dwarf pine (*Pinus pumila* Regel) in the Taisetsu mountain range, Hokkaido, Japan. Vegetation 58:105-113.
- Senjo, M., K. Kimura, Y. Watano, K. Ueda and T. Shimizu. 1999. Extensive mitochondrial introgression from *Pinus pumila* to *P. parviflora* var. *pentaphylla* (Pinaceae). J. Plant Res. 112(1):97-106.
- Song, J.H., H.I. Lim, K.H. Jang, D.H. Kim and J.I. Son. 2012. The effect of cone protective net and the morphological variation of cone and seed of Korea rare endemic *Pinus pumila* Regel in Mt. Seorak. Korean J. Plant Res. (in press).
- Song, J.S. and S. Nakanishi. 1985. The *Pinus pumila* shrub of Mt. Sulak, Korea. Japanese J. Ecol. 35:537-541.
- Tani, N., N. Tomaru, M. Araki and K. Ohba. 1996. Genetic diversity and differentiation in populations of Japanese stone pine (*Pinus pumila*) in Japan. Can. J. Forest Res. 26(8): 1454-1462.
- Tani, N., N. Tomaru, Y. Tsumura, M. Araki and K. Ohba. 1998. Genetic structure within a Japanese stone pine (*Pinus pumila* Regel) population on Mt. Aino-Dake in central Honshu, Japanese J. Plant Res. 111(1):7-15.
- Watano, Y., M. Imazu and T. Shimizu. 1995. Chloroplast DNA typing by PCR-SSCP in the *Pinus pumila* - *P. parviflora* var. *pentaphylla* complex (Pinaceae). J. Plant Res. 108(4):493-499.
- Yeh, F.C., R.C. Yang, T.B.J. Boyle, Z.H. Ye and J.X. Mao. 1997. POPGENE, the user-friendly shareware for population genetic analysis. Molecular Biology and Biotechnology Centre, University of Alberta. Edmonton, Canada.
- 박정동, 김진수. 1985. 눈잣나무 침엽의 형태적 해부학적 특성에 관한 연구. 한국임학회 학술발표회 pp. 13-14.

(Received 30 January 2012 ; Revised 26 March 2012 ; Accepted 18 July 2012)