

희귀수종 향나무 자연집단의 분포와 성간 동태 및 보존

신재권¹, 정재민^{1*}, 김진석², 윤충원³, 신창호¹
¹국립수목원, ²국립생물자원관, ³공주대학교 산림자원학과

The Distribution and Dynamics between Sexes, Conservation of Natural Populations of a Rare Woody Plant, *Juniperus chinensis* L. (Cupressaceae), Korea

Jae-Kwon Shin¹, Jae-Min Chung^{1*}, Jin-Seok Kim², Chung-Won Yoon³ and Chang-Ho Shin¹

¹Division of Forest Biodiversity and Herbarium, Korea National Arboretum, Pocheon 487-829, Korea

²Plant Resources Division, National Institute of Biological Resources, Incheon 404-708, Korea

³Department of Forest Resource, Kongju National University, Yesan 340-702, Korea

Abstract - *Juniperus chinensis* (Cupressaceae) is a valuable woody plant resource, but this rare plant is only distributed in restricted regions in Korea. In this study, we surveyed the geographic distribution regions, variation of sex ratio and the dynamics of natural populations of *J. chinensis*. in order to establish conservation strategies for the sustainable conservation of this important resource tree. The 17 natural populations of *J. chinensis* are restrictively distributed in the shore cliffs of (1) Ulleungdo island, (2) Gyeongju-si to Gangneung-si of the eastern coast, the riverside cliff along (3) Donggang-river of Jungsun-gun and Pyeongchang-gun and (4) branch of Nakdonggang-river in Uiseong-gun. The populations in Ulleungdo island showed continuous population distribution of over 200 individuals, but populations in other regions had discontinuous population distribution of under 200. The population of *J. chinensis* surveyed in Korea was estimated in ca. 3,200 individuals. The sex ratio (male/female) among populations of *J. chinensis* was diverse with variation from 0.46~1.67 range, but showed no significance. The sex ratio of the total individuals by species level was 0.74, and the percentage of female tree was significantly higher than the male. The results of dynamics analysis within population among regions showed that seedlings and saplings of *J. chinensis* in three regions surveyed were continuously regenerating. The distribution of DBH class showed a stable population structure of inverse J shape graph, but fragmentation and decrease in populations because of invading broad-leaved shrubs and trees from the surroundings were concerned. Further studies, and *in situ* and *ex situ* conservation strategies for the sustainable conservation on natural populations of this rare resources woody plant, *J. chinensis* in Korea are recommended.

Key words - *Juniperus chinensis*, Dioecy, Sex ratio, Distribution, Dynamics, Conservation

서 언

절벽에서 자라는 식물은 독특한 형질을 가지고 있고(Matthes-Sears, 1995), 형태적으로 기형에 가깝고 성장이 늦으며, 오랫동안 성장을 한다(Beasley and Klemmedson, 1973; Swetnam and Brown, 1992). 이런 종들은 수분스트레스로 인한 자연선택 결과 특별한 생태형을 가지게 되는데, 수분 스트레스에 대한 내

성을 생리적 영향보다는 유전적 영향으로 보는 견해가 있다(Booth and Larson, 2000; Matthes and Larson, 2006). 또한 절벽에 분포하는 식물 종들은 자연적 및 인위적 교란으로 인하여 식생이 특이하고 단순한 우점군락이 불규칙적으로 조각형태로 분포한다고 하였으며(Ursic *et al.*, 1997.), 절벽에만 분포하는 식물 종의 생태적인 특징에 관한 많은 연구들이 수행되고 있다(Kelly and Larson, 1991; Ursic *et al.*, 1997; Matthes and Larson, 2006).

측백나무과(Cupressaceae)의 향나무속(*Juniperus*)은 전 세

*교신저자: rhuso@korea.kr

Tel. +82-31-540-1073

계적으로 67종 37변종이 분포하고 있는데, 그중 아프리카에 자라는 *J. procera*를 제외한 모든 분류군은 북반구에 분포한다(Adams, 2011). 그리고 향나무속은 잎과 열매의 형태에 따라 3개의 절(Section, *Caryocedrus*, *Juniperus* (= *Oxycedrus*), *Sabina*)로 분류되며, *Caryocedrus* 1종과 *Juniperus* 11종, *Sabina* 55종으로 구성된다(Adams, 2011).

한반도에는 향나무속의 향나무를 비롯하여 3종 6변종이 자생분포하고 있으며(Korea National Arboretum and The Plant Taxonomic Society of Korea, 2007), 그 외 다수의 외래종 또는 원예품종이 도입되어 식재되고 있다.

향나무속의 수종은 해안의 사구에서부터 해안절벽과 사막, 고산지대 수목한계선까지 분포하고, 특히 석회암지대를 선호하는 수종이 많으며(Adams, 2011), 한반도에도 해안 절벽에서부터 석회암지대, 아고산지대까지 분포하고 있다(Song *et al.*, 2010).

향나무(*J. chinensis* L.)는 우리나라와 일본 동해안지역 해안 절벽과 중국 중·남부지역 암석지에 분포하고 있으며(Adams, 2011), 또한 많은 지역에 재배되고 있다. 한반도내 향나무의 자생지는 울릉도를 비롯하여 일부 내륙과 해안지역에 분포하는 것으로 알려져 있으며(Kim, 1988), 재질과 보존성이 좋아 목재뿐만 아니라 조각재와 향료, 약용, 조경용 등 가치가 높기 때문에 마을과 서원, 사찰주변에 풍치 및 이용을 목적으로 널리 식재되고 있다(鄭, 1943; Lee, 2005).

전 세계적으로 분포하는 향나무속 67개 기본종 중 *Caryocedrus* 절 1종과 *Juniperus* 절 11종은 모두 자웅이주(dioecy)이지만, *Sabina* 절 55종은 자웅이주 또는 자웅동주(monoecy)의 성 표현을 보이며, 동아시아 지역에만 고유하게 분포하는 향나무는 자웅이주이나 드물게 자웅동주의 특성을 갖는다고 한다(Adams, 2011).

자웅이주성 수종의 비율은 전 세계적으로 열대우림을 중심으로 약 4~6%로 보고되고 있으며(Yampolsky and Cecil, 1922; Renner and Ricklefs, 1955), 우리나라의 자웅이주성 수종은 향나무속과 율나무속, 감탕나무속, 버드나무속 등 200여종으로 목본식물 961분류군(Korea National Arboretum and The Plant Taxonomic Society of Korea, 2007)의 20.8%를 차지한다(Jang, 2005).

한반도에서 향나무속은 신생대 제3기 마이오세부터 화석이 단절되지 않고 지속적 출현하고 있는 분류군으로서, *Pinus*과 *Picea*, *Larix*, *Taxus*, *Thuja* 등과 함께 제4기 홍적세에 여러번 반복된 빙기와 간빙기를 통해 한반도에 넓게 분포하거나 또한

종의 분화가 이루어져 왔지만(Kong, 1995; Yoon and Hwang, 2009), 층적세 최후빙기 이후 기후온난화에 따른 식생변화와 인간 활동의 증가에 따라 자생지가 점차 사라져 왔으며, 현재에는 울릉도를 비롯한 일부 해안절벽과 내륙의 석회암지대에만 잔존하는 것으로 판단된다.

그리고 향나무는 환경부 “한국의 멸종위기 야생동식물 적색자료집”에 취약(VU: vulnerable)종으로서 지정되어 있으며(NIBR, 2012), IUCN Red List에 관심대상종(LC: least concern)으로 등록되어 있다(IUCN, 1998).

따라서 본 연구는 한반도 회귀수종 향나무의 자생 집단에 대한 지속가능한 보존을 위한 보존계획을 수립을 목적으로 지리적 분포 역에 대한 실체 파악과 자생 집단간 성비의 변이와 집단 동태 조사를 수행하였다.

재료 및 방법

자생 집단 분포조사

본 연구의 공시수종인 향나무의 자생 분포 지역을 파악하기 위하여 도감과 식물지 등 문헌자료와 국립수목원 국가생물종지식정보시스템(Nature)을 이용하여 기존의 수집된 표본자료를 확인하였다. 현지조사는 기존에 조사된 자생지와 문헌자료를 중심으로 동해안 울산광역시에서부터 경북 경주시, 포항시, 영덕군, 울진군, 강원도 삼척시, 동해시, 강릉시, 양양군, 속초시, 고성군까지 해안선을 따라 이동하면서 해안의 산록부와 바위절벽 지역에 분포하는 향나무의 유무와 개체 수를 조사하였다. 동해안의 지질은 수직적인 해식애가 발달해 있었으며, 화강암질 호상편마암이 넓게 분포하는 지역이다(Oh and Lee, 1997; Ban and Nam, 1997; You, 2006; Ban, 2005). 그리고 울릉도는 울릉읍 사동리에서부터 북면 천부리 섬까지 해안을 따라 높은 수직 해식애에 분포하는 개체들을 조사하였다. 울릉도 해안지역의 토양은 화산암질의 현무암을 기반암으로 조면암, 화산력층, 화산쇄설물 등의 암석이 분포하고 있는 지역이다(Ulleung-gun, 2007; Kim and Lee, 2008; Ban and Nam, 1998).

또한 내륙지역인 강원도 정선군과 평창군은 동강과 평창강 일대의 강변을 따라 이동하면서 강변 산록부와 높은 단애지역을 조사하였고, 토양은 사질암석이 우세하였고, 부분적으로 세일층이 구성되어 있는 지역이다(Kim, 2000). 그리고 경북 안동시 낙동강 주변과 의성군 낙동강 지류 주변 단애 지역도 조사하였다. 조사지역에서 출현하는 향나무의 위치를 Garmin GPS로 입력하였고, 개체 수를 기록하여 자생 집단의 분포도(Fig. 1)를

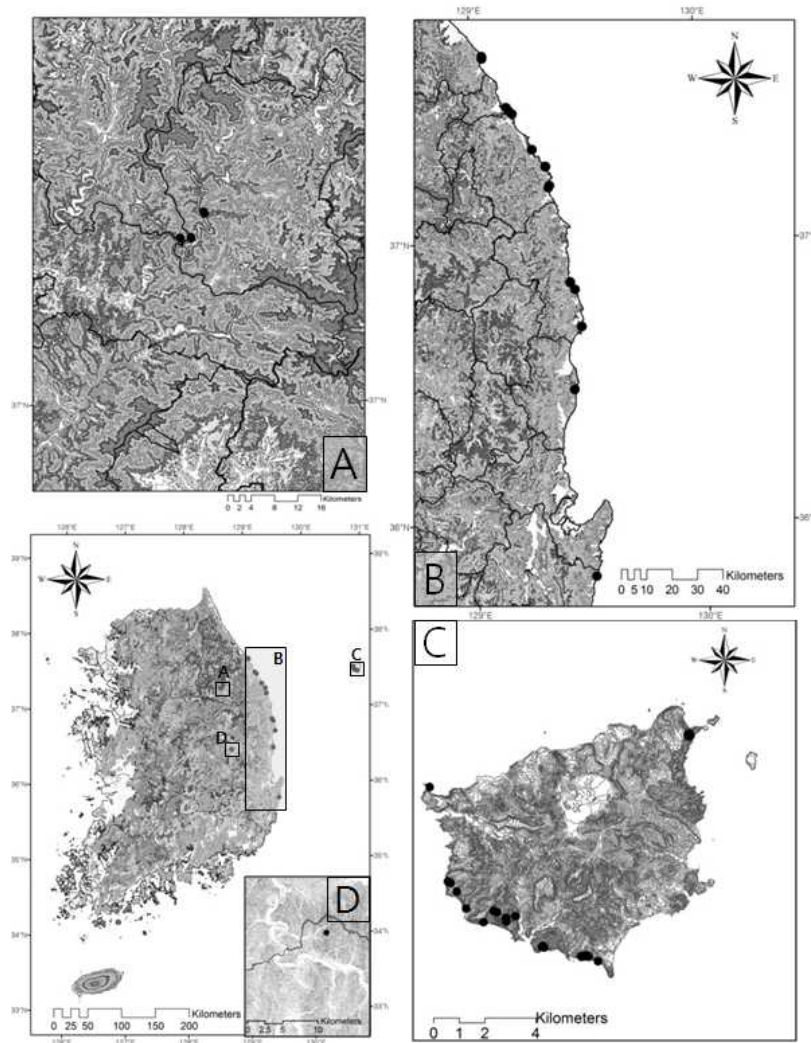


Fig. 1. Distribution map of natural populations of *J. chinensis* in Korea (A: Donggang-river, B: Eastern-coast, C: Ulleungdo-island, D: branch of Nakdonggang-river).

작성하였으며, 출현하는 개체들 중 식재된 개체는 조사 대상에서 제외 하였다.

집단 간 성비 변이 및 동태 조사

조사 지역별로 출현하는 향나무 집단에서 개체들의 위치를 Garmin GPS로 추적하였고, 전체 개체수를 기록하였으며, 또한 자생지의 방위와 해발, 사면의 경사, 주변 식생 등 환경 인자를 조사하였다. 또한 접근이 가능한 개체들을 대상으로 개체별 수고와 근원경, 수관폭을 측정하였으며, 열매의 유무와 꽃눈의 형태를 관찰하여 암·수 개체를 확인하였고, 열매가 없거나 꽃눈이 형성되지 않은 어린 개체들은 미성숙 개체로 판단하였다. 동해안과 동강 지역에서는 직접 또는 4~6 m 높이의 사다리를 이

용하여 조사하였으며, 울릉도 지역에서는 대개 100 m 이상의 높은 절벽에 까지 분포하기 때문에 근접조사를 위해 20 m 높이의 고소작업차를 이용하여 접근 후 조사하였다.

조사된 개체들을 대상으로 집단별로 암·수 개체와 어린 개체의 수를 산출한 후 집단 내 암·수개체의 성비 균형을 파악하기 위하여 집단별 성비를 추정하였다. 집단별 성비를 추정하기 위하여 자연적 균형상태의 성비가 1:1이라는 가정 하에 χ^2 test 를 수행하였다.

또한 각 집단별 조사된 전 개체들 중에서 성숙한 암·수 개체들을 대상으로 교배 개체 수에 대한 유효집단 크기(N_e)를 추정하기 위하여 다음 수식(Kimura and Crow, 1963)을 사용하였다.

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f}$$

(N : 총개체수, N_m : 숫나무 개체 수, N_f : 암나무 개체 수)

그리고 동해안(7개 집단)과 울릉도, 동강(2집단) 3개 지역으로 구분하여 집단의 성비 동태를 파악하기 위하여 성비에 따른 직경급 분포를 작성하였다.

결과 및 고찰

자생 집단 분포조사

우리나라에 자생하는 향나무의 자연집단에 대한 지리적 분포역 및 분포현황을 파악하기 위하여 문헌과 표본자료 검토 및 탐문조사를 하고, 그 자료를 토대로 동해안과 울릉도의 해안 해식에 및 강원도 정선과 평창의 동강 주변, 그리고 경북 의성의 단애지역에 대한 현지조사를 수행한 결과(Table 1), 향나무의 자생지는 동해와 울릉도의 해안과 내륙의 정선군과 평창군의 동강하안, 그리고 의성군 낙동강 지류 하안단에 분포하고 있

었으며, 대부분의 자생지가 해안과 하안의 높은 절벽에 위치하고 있어서 분포여부는 확인할 수 있지만, 실제로 접근이 불가능하기 때문에 정확한 개체수를 조사하기는 어려운 곳이 많았다.

분포지역 중에서 동해안에는 경북 경주시 감포읍부터 강원도 강릉시 강동면 정동진리까지 해안선을 따라 산록부와 해식애를 중심으로 분포하였고, 경주시 감포읍 이남지역과 정동진리 이북의 해안 지역에서는 확인되지 않았다.

향나무의 동해안 최북단 집단으로 판단되는 강원도 강릉시 강동면 심곡리의 높은 해안 수직 절벽에는 약 50개체가 관찰되었으며, 인접한 옥계면 금진리 해안 절벽에는 약 200개체 이상의 많은 개체들이 분포하였고, 높이 1 m 이하의 어린 개체들도 약 50개체가 확인되었다. 그리고 삼척시 갈천동과 성내동 해안과 동해시 추암동 해안절벽과 촛대바위 주변에는 약 117개체의 많은 개체들이 분포하였고, 25그루의 어린개체들도 확인되었다. 삼척시 근덕면 궁촌항 주변 암석해안의 절벽에도 43개체가 산재하고 있었다. 또한 삼척시 원덕면 노곡리 암석해안에는 35개체가 관찰되었고, 마을 앞에는 직경 약 40 cm 크기의 당산목도 확인 되었다. 원덕면 해안의 해신당 공원과 주변 절벽에는 직경

Table 1. Locations, habitats and size of natural populations of *J. chinensis* in Korea

No.	Populations	GPS	Altitude (m)	Physiography	Population size
1	Gangeung-si, Gangdong-myeon A	N37°39', E129°04'	10~40	Sea cliff	35~50
2	Gangeung-si, Gangdong-myeon B	N37°39', E129°03'	10~40	"	190~220
3	Donghae-si, Chuam-dong	N37°28', E129°09'	6~20	Sea-stack and cliff	117
4	Samcheok-si, Geundeok-myeon	N37°19', E129°16'	10~20	Sea cliff	43
5	Samcheok-si, Wondeok-myeon A	N37°16', E129°19'	10~20	Sea-stack and cliff	35
6	Samcheok-si, Wondeok-myeon B	N37°11', E129°20'	8~15	Foot of mountain and Sea-stack	31
7	Uljin-gun, Giseong-myeon	N36°51', E129°25'	15~50	Sea cliff	42
8	Uljin-gun, Pyeonghae-myeon	N36°51', E129°25'	15~20	"	8
9	Yeongdeok-gun, Chuksan-myeon	N36°28', E129°26'	8~30	Foot of mountain	25
10	Gyeongju-si, Gampo-eup	N35°48', E129°30'	18	Sea cliff	2
11	Pyeongchang-gun, Mitan-myeon	N37°19', E128°37'	300~380	River cliff	80~90
12	Jeongseon-gun, Jeongseon-eup	N37°19', E128°37'	260~290	"	200~250
13	Jeongseon-gun, Imgye-myeon	N37°27', E128°50'	510~550	"	90~110
14	Uisung-gun, Danchon-myeon	N37°16', E128°35'	500~550	"	3
15	Ulleung-gun, Ulleung-eup	N37°28', E130°52'	20~170	Sea cliff	180~200
16	Ulleung-gun, Seo-myeon	N37°27', E130°52'	10~250	Sea cliff	>1,000
17	Ulleung-gun, Buk-myeon	N37°27', E130°52'	20~150	Sea cliff and Sea-stack	700~800

12~48 cm 크기의 대경목 31개체가 분포하고 있었으며, 그중 일부 개체들은 당산림 조성을 목적으로 식재되었을 것으로 판단되었다.

그리고 경북 울진군 기성면 해안의 마을 뒤 절벽을 따라 42개체가 확인되었고, 평해면 인가 주변 절벽에서도 8개체의 작은 집단이 확인되었다. 또한 영덕군 축산면 집단은 해안의 과식대와 마을 주변에 25개체가 관찰되었는데, 그중 1개체는 경상북도 보호수(11-9호)로 지정되어 있다. 동해안의 향나무 최남단 집단으로 판단되는 경주시 감포읍의 해안 절벽에서는 근원경 10 cm 미만의 암그루 두 개체만이 관찰되었다.

동해안의 향나무 자생 집단은 훼손되지 않은 해안 절벽을 따라 불연속적으로 군생하는 분포 경향을 보이고 있는데, 이러한 결과는 해안 절벽을 따라 현재보다 훨씬 많은 집단들이 분포하고 있었으나, 해안 도로와 취락 및 항만시설의 건설로 인해 많은 부분의 해안절벽이 소실되면서 향나무 집단들도 사라졌을 것으로 추정된다. 그리고 동해안에서 향나무 주로 분포하는 지역인 영덕군 축산면에서 강릉시 강동면까지의 해안은 주로 해식애가 잘 발달되어 있는 암석해안으로서 향나무의 피난처 역할을 하는 지형이지만, 강릉시 이북과 영덕군 이남의 해안은 대부분이 해안사구와 석호가 발달되어 있는 사빈해안 지형이기 때문에 (Oh and Lee, 1997; Ban and Nam, 1997), 향나무가 잔존하기 어려운 생태적 환경으로 판단되었다.

그리고 울릉도에서는 울릉읍 동동리와 사동리의 높은 산지 능선부와 해식애 절벽에 약 200여개체가 불연속적으로 분포하고 있으며, 서면 남양리와 남서리, 태하리의 높은 해식애에도 약 1,000개체 이상이 확인되었고, 특히 남양리 통구미와 사태감, 태하리 학포와, 대풍감의 수직 절벽에는 높은 밀도로 군생하고 있었다. 또한 북면 현포리와 나리, 천부리의 바위산과 해식애와 sea-stack에서도 약 800여 개체가 관찰되었으며, 특히 송곳봉에는 100여 개체 이상의 많은 작은 개체들이 바위 표면에 착생하고 있었다.

내륙 지역인 동강 주변 강원도 평창군 미탄면 마하리 백운산과 하식애에 약 80~90개체, 그리고 정선군 신동읍 덕천리와 운치리, 정선읍 가수리의 강변에서도 약 200개체가 불연속적으로 분포하였고, 동강의 상류지역인 정선군 임계면 골지천의 하식애에 약 100개체가 확인되었으며, 그 외에 정선읍 덕우리와 동면 석곡리 강변 석회암 절벽에서도 소수의 개체들이 확인되었다.

그러나 동강과 지형적으로 유사한 지역인 평창읍에서 영월읍에 이르는 평창강 주변지역에 대한 현지조사 결과 향나무의 자생지가 확인되지 않았는데, 그 원인의 구체적인 근거를 찾기

위하여 최후빙기 이후 식생의 변화에 따른 자생지 소멸과 온난기 동안의 종자산포 방식과 산포 매개체와의 상호작용, 이 지역의 고식생 환경 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 사료된다.

또한 경북 의성군 단촌면 구계리의 낙동강 지류의 낮은 단애에서도 3개체만 확인되었는데, 이 지역 주민들의 증언에 의하면, 주변 단애에 많은 개체들이 분포하였으나 조경용으로 불법 채취가 만연하면서 자생 집단이 거의 훼손되어 사라졌다고 하였다. 그러나 낙동강 본류 지역인 안동시 주변에 대한 조사 결과 향나무의 자생지가 관찰되지 않았으며, 지사학적 및 고식생 환경에 대한 지속적 연구가 요구된다.

화석자료에 의한 한반도 송백류의 시·공간적 분포역 복원 연구결과 신생대 제3기 마이오세부터 제4기 충적세까지 동해안 남부지역인 포항과 연일, 감포 주변지역에서는 향나무속의 화석이 지속적으로 출현하였지만(Chang *et al.*, 1988; Kong, 1995), 강원도 고성군 현내면 이북의 동해안 북부지역에서는 화석화분의 출현기록이 거의 없었고, 눈향나무와 곱향나무의 잔존군락은 보고된 바 있다(Park and Ryu, 1988). 그리고 Nakai (1918)는 금강산 식물상 조사에서 향나무가 분포하지 않다고 보고하였으나, 차종환(1999, 2000)은 현지답사 여행을 통해 묘향산과 금강산에 향나무가 분포한다고 보고하여 추가적으로 실질적인 연구 및 확인이 필요한 실정이다.

Adams (2011)는 한반도에 향나무의 분포가 울릉도와 동해안의 해안 절벽과 동강변의 석회암 절벽에 국한되어 있으며, 일본에서도 혼슈와 시코쿠, 큐슈의 해안 절벽에만 분포하고 있다고 보고하였는데, 해안 및 하안의 바위 절벽지역은 일정한 기후환경 하에서 다른 수종들이 침입하여 우점하기 어려운 국소적 생태환경이기 때문에 향나무가 집단을 형성하고 유지하기 위한 훌륭한 피난처로서의 역할을 해왔을 것으로 판단된다.

그리고 Adams (2011)는 향나무속(*Juniperus*)의 종자는 수종에 따라서 황여새와 직박구리류, 딱새, 지빠귀류 등 다양한 종류의 새와 포유류, 개미에 의해 산포된다고 보고하였으며, Holthuijzen *et al.* (1987)은 *J. virginiana*의 경우 전체 종자 중 65.5%가 새에 의해 산포되며, 그중 4.2%는 모수로부터 12 m 이내에, 그리고 61.3%는 12 m 이상의 먼 거리로 산포되는데, 그중 단 2.3%만이 실생묘로 출현할 수 있다고 보고하였다.

그러나 향나무가 해안과 하안의 바위절벽에 분포하고 집단을 형성할 수 있는 것은 조류에 의한 향나무의 종 특이적 종자산포방식에 기인한 것으로 판단된다. 울릉도와 동해안 지역에서 향나무의 종자는 주로 바다직박구리(*Monticola solitarius*)가 섭식하고 산포하는 것이 관찰되었는데(Chung J.M. and J.K.

Shin, Pers. obs.), 특히, 바다직박구리는 우리나라 해안에 분포하는 텃새로서 절벽의 틈에 둥지를 만들어 번식하고 해안의 식생이 없는 암벽을 선호하며, 세력권의 크기는 7.7~9.2 km² 및 1.73~4.54 ha의 범위로 보고되었다(Choi *et al.*, 2011). 따라서 향나무의 종자는 바다직박구리의 섭식에 의해 세력권인 바위절벽의 약 4.5 ha의 범위로 산포될 수 있으며, 산포 매개체의 배설로 우연히 바위절벽의 틈새에서 발아하여 생존하여 집단을 형성해 왔을 것으로 추정된다.

집단 간 성비 변이 및 동태

성 표현과 집단간 성비 변이

우리나라에 분포하고 있는 향나무의 자생 집단에 대해서 집단내·간 유전적 다양성과 종자 결실량에 영향을 미치는 주요 인자인 성 표현(sex expression)의 양식과 집단 간 성비(sex ratio)의 변이를 구명하기 위하여, 분포조사를 통해 확인된 자생 집단 중에서 근접조사가 가능한 10개 집단에 대해 집단 내 각 개체별

열매의 유무와 꽃눈의 형태를 관찰하여 암·수 개체를 확인하였으며, 각 집단별 집단 크기와 암·수 개체의 비율을 통해 집단 간 성비의 변이와 유효집단 크기를 산출 하였다(Table 2).

향나무는 드물게 높이 1 m 이하의 작은 개체도 개화하는 경우가 있지만, 대부분은 높이 1 m 이상, 근원경 1.5 cm 이상의 큰 개체들이 개화를 하였다.

향나무의 자생 집단 전체에 대한 성 표현의 양식을 조사한 결과 모두 암·수 개체가 분리된 자웅이주(dioecious)의 성 표현을 보였으며, 자웅동주(monoecious)의 성 표현 개체는 확인되지 않았다. Adams (2011)는 향나무(*J. chinensis*)가 자웅이주이나 드물게 자웅동주의 성 표현을 한다고 보고한 바 있다. 그리고 Vasek (1966)은 미국에 분포하는 향나무속 *Sabina*절에 속하는 4종(*J. occidentalis* subsp. *occidentalis*와 subsp. *australis*, *J. osteosperma*, *J. californica*)은 모두 자웅동주(monoecy 또는 male 또는 female)의 성 표현을 보이지만, 환경에 따라서 여러 형태(♀→♂, ♂→♀, ♀→monoecy, ♂→monoecy, monoecy

Table 2. Variation of the sex ratio among natural populations of *J. chinensis* in Korea

Populations	Female	Male	Non-flowering	Ratio	Total (n)	χ^2 test	N_e	N_e/N
				Male/Female				
Gangeung-si, Gangdong-myeon B	97	46	46	0.47	189	18.18***	124.8	0.87
Donghae-si, Chuam-dong	26	15	25	0.58	66	2.95	38.0	0.93
Samcheok-gun, Geundeok-myeon	22	16	5	0.73	43	0.95	37.1	0.98
Samcheok-gun, Wondeok-myeon A	6	10	-	1.67	16	1	15.0	0.94
Samcheok-gun, Wondeok-myeon B	11	13	-	1.18	24	0.17	23.8	0.99
Uljin-gun, Giseong-myeon	10	9	5	0.90	24	0.05	18.9	1.00
Yeongdeok-gun, Chuksan-myeon	1	1	23	1.00	25	-	2.0	1.00
Pyeongchang-gun, Mitan-myeon	4	6	3	1.50	13	0.4	9.6	0.96
Jeongseon-gun, Jeongseon-eup,	7	8	4	1.14	19	0.06	14.9	1.00
Ulleung-gun, Seo-myeon	17	25	1	1.47	43	1.52	40.5	0.96
Total	184	124	111	0.74	462	7.72**	342.3	0.98

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$, $\chi^2 = 17.96$, $df = 9$, p -value = 0.035, $N = \text{Female} + \text{Male}$.

→♂)로 성 전환(gender transition)을 한다고 보고한 바 있는데, 향나무도 자용동주의 성 표현 뿐만 아니라 환경에 따라서 이러한 성 전환을 하는지에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

그리고 향나무의 10개 자생 집단에 대한 성비(male/female)를 조사한 결과 전체 집단에서 성비는 0.47~1.67의 변이를 보였는데, 최북단에 위치하며 가장 큰 집단인 강릉시 강동면 옥계리 집단이 0.47로서 암그루의 비율이 고도로 유의($P < 0.05$)하게 높은 결과를 보였다. 그 외 동해시 추암과, 삼척시 근덕면, 울진군 기성면 집단은 암그루가 수적으로 많았고, 또한 삼척시 원덕읍 A와 원덕읍 B, 평창군 미탄면, 정선군 동강, 울릉군 서면 집단은 숫그루가 많았으나 통계적으로는 유의하게 1.0의 비율을 보였다. 그리고 종내 전 개체에 대한 성비는 0.74로서 암그루의 비율이 고도로 유의하게 높은 결과를 보였다.

미국에 분포하는 자용이주 수종인 *J. virginiana*의 자연집단에 대한 성비(male/female)는 0.83~1.38의 변이를 보였으며 (Vasiliauskas and Aarssen, 1992), 캐나다의 자용이주 수종인 *J. communis* var. *depressa*는 0.63~2.80 (Marion and Houle, 1996), 스페인의 고산에 분포하는 *J. communis* var. *alpina*는 해발이 높아짐에 따라 1.02~2.25의 변이를 보였다고 보고되었는데 (Ortiz et al., 2002), 자용이주 식물의 성비는 대상 종에 대한 집단의 역사와 연령, 동태 및 환경에 따라서 높은 변이를 보이는 것으로 판단된다.

그리고 각 집단 내에서 어린 개체들을 포함한 전 개체를 대상으로 실제로 생식에 참여하는 유효집단크기(effective population size)를 추정할 결과 전체 집단들 모두 유효집단은 실제집단에서 성숙개체 집단의 크기보다 작은 경향을 보였다 (Table 2). 이러한 유효집단 크기의 감소는 향나무의 자용이주성 교배양식에 따른 집단 내 성비의 불균형의 결과로 판단되며, 잠재적으로 유효집단의 감소에 의한 높은 비율의 근친교배를 야기할 수 있으며, 유전자 부동에 의한 장기적으로 집단의 지속가능성을 위협할지도 모른다 (Billington, 1991; Ellsrtand and Elam 1993).

자용이주 식물 중에서 성비의 불균형은 유전적 부동(genetic drift)의 증가로 인해 유전적 다양성이 낮아지고 또한 유효집단의 크기가 작아지기 때문에 결실율이 낮아진다고 알려져 있다 (Hilfiker et al., 2004; Vandepitte et al., 2010).

이상의 결과에서 강릉시 강동면 옥계리 집단은 개체 수는 다소 많지만 성비가 암그루에 크게 편중되어 있었고, 그 외 대부분의 집단들은 성비는 균형을 이룬다고 하지만 개체수가 매우 적고 또한 유효집단도 실제집단 보다 작은 경향을 보여서 집단 내 이형접합도의 감소에 의한 유전적 부동뿐만 아니라 결실량의

감소에 의한 유전적 다양성의 급격한 감소로 멸절의 위험이 증가될 것으로 판단된다.

동태

향나무의 자생 집단 중에서 근접조사가 가능한 개체들을 대상으로 동해안과 울릉도, 동강의 3개 지역으로 구분하여 각 지역별 성비에 따른 집단 구조를 분석 하였다 (Fig. 2).

동해안 지역의 향나무 자생지는 해안의 산록부 사면에서부터 25m 높이 해안절벽으로서 집단 내 일부 개체들에 대한 근접

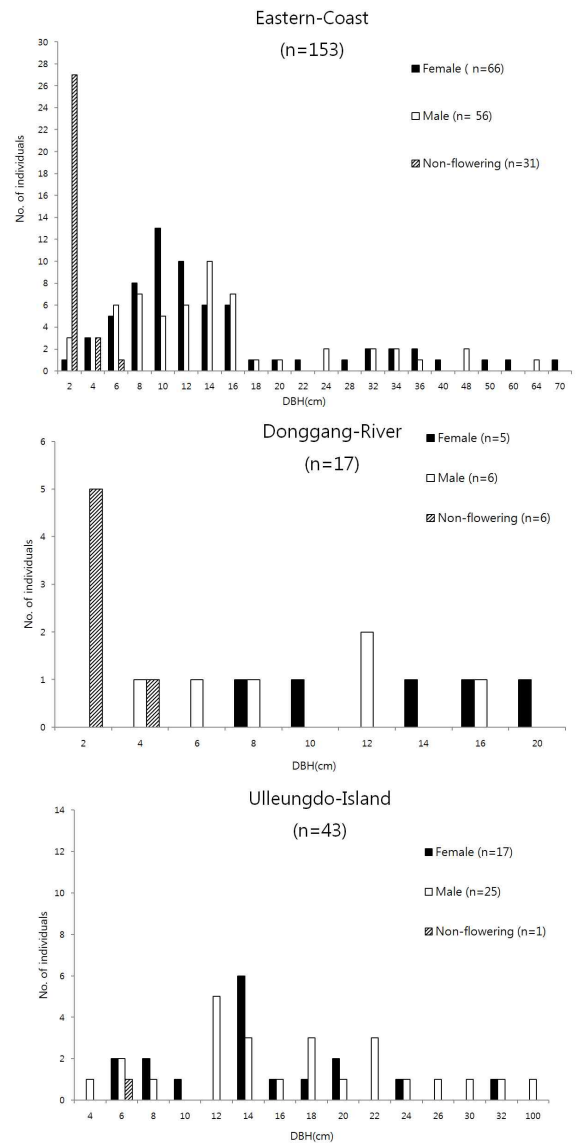


Fig. 2. Distribution of DBH (cm) class between sexes in three regions (Eastern-coast, Donggang-river and Ulleungdo-island) of natural populations of *J. chinensis*.

조사가 가능하였으며, 7개 집단에서 153개체가 조사되었는데 그중 어린 개체가 31개체, 성숙개체가 122개체로 전체적인 성비는 암그루가 다소 높은 비율(66:56)을 보였다. 성비에 따른 직경급 분포의 분석 결과, 동해안 지역에서는 직경은 최고 70 cm에 달했으나 16 cm 이하인 개체들이 대부분이었으며, 암그루가 상대적으로 다소 높은 비율을 결과를 보였다. 직경 18 cm 이상의 개체들은 대체로 균일한 크기 분포를 보였으며, 성비도 균형을 이루고 있었다.

울릉도 지역은 높이 100 m 이상의 절벽에까지 분포하기 때문에, 20 m 높이의 고소작업차를 이용하여 낮은 절벽에 분포하는 개체들을 대상으로 조사하였으며, 총 43개체가 조사되었는데 어린 1개체를 제외하고, 숫 그루의 비율(17:25)이 높은 결과를 보였다. 그리고 최고 근원직경 100 cm의 대경목이 자라고 있었으며, 12~22 cm 직경급에서 대체로 높은 빈도로 분포하였고, 10 cm 이하의 어린개체들은 균등한 성비를 보였으나 24 cm 이상의 큰 개체들은 숫 그루가 많은 결과를 보였다.

동강지역은 강 양쪽의 넓은 절벽에 비해 분포하는 개체의 밀도가 매우 낮았으며, 접근이 어려워 조사된 개체는 17개체에 불과하였다. 그중 수고 1 m 이하의 개화하지 않은 어린 개체는 6개체였으며, 성숙 개체 중 암수 그루의 비율(5:6)은 유사한 경향을 보였다. 직경은 2~20 cm까지 다소 고르게 분포하였으나, 대부분의 개체가 직경 20 cm 이하의 소경목으로 구성되어 있으며 집단의 연령이 낮은 것으로 판단되었다.

향나무의 집단 내에서 치수와 유묘들은 조류의 의한 종자 산포방식에 기인한 주변의 모수의 분포와 상관없이 해안의 낮은 사면과 바위절벽의 암벽 틈에 임의 분포하는 경향을 보였는데, Auken *et al.* (2004)은 *J. ashei*의 자생지내 치수와 유묘는 모수의 수관 하에서 높게 발생한다고 하였으며, Ahmed *et al.* (1990)과 Atta *et al.* (2012)은 *J. excelsa*의 자생 집단에서 치수와 유묘의 밀도는 성모수의 밀도와 유의적인 상관성을 보였다고 보고하였다. 그리고 향나무의 집단내 직경급의 분포는 지역 및 자생지 환경에 따라서 매우 편향된 분포 특성을 보였다. 이상의 동해안과 울릉도, 동강의 3지역에 대한 집단 구조분석 결과 동해안과 울릉도 지역에서는 직경 30 cm 이상의 대경목이 분포하고 있으며, 두 지역 모두 치수도 지속적으로 발생하고 있고 역 J자형의 안정적인 집단 구조를 이루고 있으며, 교란과 환경적인 재해만 없다면 지속적인 집단의 성장이 유지될 것으로 판단된다. 그리고 동강지역은 직경 20 cm 이하의 다소 어린개체들로 구성되어 있고, 어린개체들이 높은 비율로 발생하기 때문에 교란 및 재해 위협이 없다면 집단의 빠른 성장이 예상되었다(Hong *et al.*,

1988).

그러나 향나무의 훌륭한 피난처 역할을 해 왔을 것으로 판단되는 해안과 하안 및 석회암절벽지대에 기후변화로 인해 점차 싸리류와 조팝나무류, 생강나무, 쥐똥나무 같은 관목과 물푸레나무와 참나무류, 느릅나무 등의 교목류가 침입하여 잠식하고 있기 때문에(Shin *et al.*, 2013), 이들 활엽수류와의 국소적 경쟁에서 밀려 어린 개체들 뿐만 아니라 성숙목들도 점차 도태되어 개체수가 크게 감소되거나 집단의 분화화(fragmentation)가 우려되었다.

보존 대책

향나무는 우리나라에서 최적의 정원수이며, 가구재와 조각재, 향료, 약용 등 중요한 자원 수종으로서 이용되어 왔다(鄭, 1943). 그러나 자원수종인 향나무의 효율적인 이용과 자생 집단의 지속가능한 보존을 위한 분포와 생태적 특성 등에 관한 연구는 매우 미진한 상태이다.

본 연구를 통해 우리나라에서 향나무의 자생 집단에 대한 분포 역을 조사한 결과, 울릉도 전 지역과 동해안 경주에서 강릉까지의 일부 해식에 절벽, 정선군과 평창군 동강주변 및 의성군 낙동강 상류지역 하식에 절벽 등 해안과 하안의 바위절벽에만 국소적으로 고립되어 분포하는 것으로 밝혀졌다. 그리고 향나무는 지역별로 울릉도에 약 2,000개체, 동해안 약 600개체, 동강지역 약 400개체만 분포하는 매우 희귀한 수종으로 확인되었지만, 울릉도를 제외하고는 대부분의 집단은 250개체 미만의 소집단들이며, 지리적 환경에 따라 불연속적으로 분포하고 있었다.

그리고 이러한 해안과 하안의 바위 절벽들은 활엽수류의 침입이 어려워 향나무의 피난처로서 중요한 역할을 해 왔을 것으로 판단되지만, 이러한 피난처가 기후변화로 인해 점차 햇볕을 좋아하는 관목류 및 교목류의 침입으로 잠식되고 있기 때문에(Shin *et al.*, 2013), 장기적으로 향나무의 자생 집단은 점차 쇠퇴될 가능성이 높은 것으로 판단된다. 그 외 삼척시 원덕면 B 집단처럼 바위절벽이 아닌 햇볕이 잘 드는 산록부 사면에 분포하는 집단들은 접근이 용이하여 남채와 벌채 등 인위적 훼손 및 교란을 받기 쉬울 뿐만 아니라 주변에 해송과 참나무류 등 교목층이 발달하게 되면 수광량의 부족으로 멸절이 우려된다.

또한 향나무의 자생 집단의 성비는 전체적으로 0.47~1.67의 변이로서 기대치 1.0에서 다소 벗어난 결과를 보였는데, 이러한 성비의 불균형은 집단내 유효집단크기(λ)의 감소로 유전적 부동에 의한 단기적으로는 유전적 다양성이 감소하게 되며, 장기적으로는 진화 적응성이 낮아지며 환경변화나 병충해 대한 잠

재적응성이 떨어져 절멸위기에 처하게 된다(Matthies *et al.*, 2004; Oostermeijer *et al.*, 1994)

따라서 향나무 자생 집단의 지속가능한 보전을 위해서는 우선적으로 *in situ* 보전전략에 따라 접근이 가능한 집단을 대상으로 주변의 피압 식생과 같은 위협요인들의 제거가 필요하며, 또한 *ex situ* 보전을 위하여 표본추출전략에 의한 종자와 삽수 같은 germplasm의 수집 및 gene-bank에 저장과 보존원 조성이 필수적으로 수행되어야 할 것이다. 또한 유용한 자원식물이며 희귀수종인 향나무의 중요성과 보전에 대한 교육과 홍보, 정책적 지원도 함께 수행되어야 한다. 그 외에 향나무에 대한 종합적인 보전전략 수립을 위해서는 자연집단의 지리적 분포역과 생태적 특성 구명뿐만 아니라 표본추출을 위한 집단 내·간 유전적 다양성 및 구조의 분석과 종자 발아특성 구명, 증식법 개발 등에 대한 기초연구가 필수적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

적 요

향나무는 우리나라의 유용한 자원 수종이나 국소지역에 제한적으로 분포하는 희귀수종이다. 본 연구는 중요한 자원수종인 향나무의 지속가능한 보존을 위한 보존계획 수립을 위해 지리적 분포 역에 대한 실제 파악과 자생 집단간 성비의 변이 및 집단 동태를 조사하였다. 그 결과 향나무는 강원도 정선군과 평창군의 동강변과 낙동강 지류의 의성군에서 국소적으로 분포하고 있고, 동해안에서는 울릉도, 경주에서 강릉까지 해안선을 따라 sea-stack과 해식에 등의 국소지역에 제한적으로 분포하고 있었다. 향나무의 자생 집단은 울릉도에서는 약 200개체 이상의 집단들이 연속적으로 분포하고 있는 반면, 동해와 남해 및 동강지역은 250개체 미만의 소집단들이 불연속적으로 분포하고 있었다. 우리나라에서 조사된 향나무 집단은 전체적으로 약 3,200 개체로 추정되었다. 그리고 향나무의 지역별 집단간 성비 (male/female)는 0.46~1.67의 범위로 집단간 다양한 변이를 보였으나, 통계적으로는 유의하게 1.0의 비율을 보였으며, 종내 전 개체에 대한 성비는 0.74로서 암그루의 비율이 고도로 유의하게 높은 결과를 보였다. 지역간 집단내 동태분석 결과 세 지역에서 모두 치수가 지속적으로 발생되고 있었으며, 역 J자형의 안정적인 집단 구조를 이루고 있었으나, 기후변화에 의해 주변의 관목 및 교목의 활엽수류가 침입하고 있기 때문에 집단의 분획화 및 개체 수 감소가 우려되고 있다. 우리나라 희귀 자원수종인 향나무의 자생 집단에 대한 지속가능한 보존을 위한 추가 연구 계획 및 *in situ*와 *ex situ* 보존전략이 논의되었다.

사 사

본 연구는 산림청 국립수목원 '울릉도와 점봉산 시험림 생물종다양성 및 생태계 보전 연구(KNA1-2-5, 08-5)' 연구과제로 수행되었습니다.

References

Adams, R.P. 2011. Junipers of the World: The genus *Juniperus*: 3rd Edition, Trafford Publishin, Bloomington, USA. pp. 1-436.

Ahmed, M., S.S., Shaukat and A.H., Buzdar. 1990. Population structure and dynamics of *Juniperus excelsa* in Balouchistan. *Journal of Vegetation Science* 1(2):271-276.

Atta, M.S., M. Ahmed, A. Ahmed, L. Tareen and S.U. Jan. 2012. The ecology and dynamics of *Juniperus excelsa* forest in Balochistan-Pakistan. *Pakistan Journal of Botany* 44(5): 1617-1625.

Auken, O.W.V., J.T. Jackson and P.N. Jurena. 2004. Survival and growth of *Juniperus* seedlings in *Juniperus* woodlands. *Plant Ecology* 175:245-257.

Ban, Y.B. 2005. Geography of Korea-Gyeongsang-do-, National Geographic Information Institute. pp. 1-633 (in Korean).

Ban, Y.B. and J.H. Nam. 1997. 2nd natural environment survey in Korea, Ministry of Environment. pp. 1-416 (in Korean).

Beasley, R.S. and J.O. Klemmedson. 1973. Recognizing site adversity and drought-sensitive trees in stands of bristle cone pine (*Pinus longaeva*). *Econ. Bot.* 27:141-146.

Billington, H.L. 1991. Effect of population size on genetic variation in a dioecious conifer. *Conservation Biology* 5(1):115-119.

Booth, B.D. and D.W. Larson. 2000. Constraints on the assembly of cliff communities at the seedling stage. *Ecoscience* 7:336-344.

Chang, N.K., Y.P. Kim, I.H. Oh and Y.H. Son. 1997. Past vegetation of moor in Mt. Daeam in terms of the pollen analysis. *Journal of Ecology and Environment* 10(4):195-205 (in Korean).

Choi, C.Y., H.Y. Nam, I.J. Won, G.C. Bing, S.Y. Cho, G.P. Hong and H.Y. Chae. 2011. Migration and habitat use of breeding blue rock thrushes on Hongdo Island, Korea. *The Ornithological Society of Korea* 18(1):17-33.

Ellstrand, N.C. and D.R. Elam. 1993. Population genetic consequences of small population size: implications for

- plant conservation. Annual Review of Ecology & Systematics 24:217-242.
- Hilfiker, K., F. Gugerli, J.P. Schütz, P. Rotach and R. Holderegger. 2004. Low RAPD variation and female-biased sex ratio indicate genetic drift in small populations of the dioecious conifer *Taxus baccata* in Switzerland. Conservation Genetics 5(3):357-365.
- Holthuijzen, A.M.A., T.L. Sharik and J.D. Fraser. 1987. Dispersal of eastern red cedar (*Juniperus virginiana*) into pastures: An overview. Canadian Journal of Botany 65:1092-1095.
- Hong, S.C., H.J. Cho, K.H. Bae, S.H. Suh and B.C. Lee. 1988. Vegetation ecological studies of Songjin - bong virgin natural and tongkumi *Juniperus chinensis* native land in Ulreung Island. Proceedings of Korean For. Soc. pp. 42-43 (in Korean).
- IUCN. 1998. The IUCN Red List of Threatened Species, Conifer Specialist Group, Ver 2.3.
- Jang, S.O. 2005. Ecology and evolution of dioecy in Korea angiosperm. Sungshin Womens University Press, Seoul, Korea. pp. 1-61 (in Korean).
- Kelly, P.E. and D.W. Larson. 1991. Dendroecological analysis of the population dynamics of an old-growth forest on cliff-faces of the Niagara Escarpment. Canada. Journal of Ecology 85:467-478.
- Kim, B.H. 2000. The scientific survey of Donggang, Gwangwon-do. pp. 1-267 (in Korean).
- Kim, K.B. and G.D. Lee. 2008. A study on volcanic stratigraphy and fault of Ulleung-do, Korea. The Journal of Engineering Geology 18(3):321-330 (in Korean).
- Kim, S.I. 1988. Taxonomic studies of genus *Juniperus*. J. Korean For. Soc. 77(3):338-350.
- Kimura, M. and J.F. Crow. 1963. The measurement of effective population number. Evolution 17(3):279-288.
- Kong, W.S. 1995. The distribution of conifers and taxads in time and space in the Korean peninsula. Journal of the Korean Geographical Society 30(1):1-13 (in Korean).
- Korea National Arboretum and The Plant Taxonomic Society of Korea. 2007. A Synonymic List of Vascular plants in Korea. Korea National Arboretum. pp. 1-534 (in Korean).
- Lee, J.H. 2005. An ecological approach for the effective conservation and management of forest vegetation in Ulleung island, Korea. Kyungpook National University Press, Daegu, Korea. pp. 1-166 (in Korean).
- Marion, C. and G. Houle. 1996. No differential consequences of reproduction according to sex in *Juniperus communis* var. *depressa* (Cupressaceae). American Journal of Botany 83:480-488.
- Matthes-Sears, U. and D.W. Larson. 1995. Rooting characteristics of trees in rock: A study of *Thuja occidentalis* on cliff faces. International Journal of Plant Sciences 156(5):679-686.
- Matthes U. and D.W. Larson. 2006. Microsite and climatic controls of tree population dynamics: an 18-year study on cliffs. Journal of Ecology 94:402-414.
- Matthies, D., I. Bräuer., W. Maibom. and T. Tschardtke. 2004. Population size and the risk of local extinction: empirical evidence from rare plants. Oikos 105(3):481-488.
- Nakai, T. 1918. Report on the vegetation of diamond mountains, Korea. The Government of Chosen. Seoul, Korea.
- NIBR. 2012. Red data book of endangered vascular plants in Korea. NIBR. pp. 1-391 (in Korean).
- Oh, G.W. and H.K. Lee. 1997. 2nd natural environment survey in Korea, Ministry of Environment. pp. 1-99 (in Korean).
- Oostermeijer, J.G.B., M.W. Eijck. and J.C.M. Nijs. 1994. Offspring fitness in relation to population size and genetic variation in the rare perennial plant species *Gentiana pneumonanthe* (Gentianaceae). Oecologia 97(3):289-296.
- Ortiz, P.L., M. Arista, and S. Talavera. 2002. Sex ratio and reproductive effort in the dioecious *Juniperus communis* subsp. *alpina* (Suter) Celak. (Cupressaceae) along an altitudinal gradient. Annals of Botany 89:205-211.
- Park, J.U. and S.K. Ryu. 1988. A study on the historical transformation of the east coastal forest since the last glacial period. Forest Science 5:8-13.
- Renner, S.S. and R.E. Ricklefs. 1995. Dioecy and its correlates in the flowering plants. American Journal of Botany 82(5): 596-606.
- Shin, J.K., H.J. Kim, H.S. Shin, J.M. Chung and C.W. Yun. 2013. Community ecological characteristics of *Juniperus chinensis* L. forest in South Korea. J. of Korean Forest Society 102(4):587-600 (in Korean).
- Song, J.H., K.H. Jang, S. D. Hur. 2010. Propagation of cutting method of a rare endemic *Juniperus chinensis* var. *sargentii* Henry in Korea. Korean J. Plant Res. 23(4):368-373.
- Swetnam, T.W. and P.M. Brown. 1992. Oldest known conifers in the southwestern United States: temporal and spatial pat-terns of maximum age. pages 24-48 in old-growth forests in the southwest and Rocky mountain regions: proceedings of a workshop. USDA Forest Service General Technical Report RM-213.
- Ulleung-gun. 2007. Paper of Ulleung-gun, Ulleung-gun. pp.

- 1-1390 (in Korean).
- Ursic, K.A., N.C. Kenkel and D.W. Larson. 1997. Revegetation dynamics of cliff faces in abandoned limestone quarries. *Journal of Applied Ecology* 34:289-303.
- Vasek, F. 1966. The distribution and taxonomy of three western Junipers. *Brittonia* 18(4):350-372.
- Vandepitte, K., H. Jacquemyn, I. Roldán-Ruiz and O. Honnay. 2010. Extremely low genotypic diversity and sexual reproduction in isolated populations of the self incompatible lily of the valley (*Convallaria majalis*) and the role of the local forest environment. *Annals of Botany* 105(5):769-776.
- Vasiliauskas, S.A. and L.W. Aarssen. 1992. Sex ratio and neighbor effects in monospecific stands of *Juniperus virginiana*. *Ecology* 73(2):622-632.
- Yampolsky, H. and A. Cecil. 1922. Distribution of sex forms in the phanerogamic flora. *Bibliotheca Genetica* 3:1-62.
- Yoon, S.O. and S.I. Hwang. 2009. The reconstruction of natural environment for the last glacial maximum around Korea and adjacent areas. *Journal of the Korean Geomorphological Association* 16(3):101-112 (in Korean).
- You, H.S. 2004. Geography of Korea-Gwangwon-do-, National Geographic Information Institute. pp. 1-641 (in Korean).
- 鄭台鉉. 1943. 朝鮮森林植物圖說. 朝鮮博物研究會. 株式會社 近澤印刷所. pp. 12~13.
- 차종환. 1999. 묘향산 식물생태. 예문당. 서울. p. 197.
- 차종환. 2000. 금강산 식물생태. 예문당. 서울. p. 370.

(Received 6 January 2015 ; Revised 21 April 2015 ; Accepted 11 May 2015)