

극지·고산식물 월굴의 격리 분포와 기온요인*

공우석** · 임종환***

Disjunctive Distribution of *Vaccinium vitis-idaea* and Thermal Condition*

Woo-seok, Kong** · Jong-Hwan, Lim***

요약 : 월굴은 극지·고산식물로 북극권과 고산대에 주로 자라며, 한반도에서는 북한의 고산대와 아고산대, 남한의 설악산 대청봉과 중청봉 사이 압석지, 귀뚜기청봉 등 아고산대 그리고 홍천의 산록에 자란다. 월굴이 격리 분포하는 강원도 홍천군 해발고도 350m 부근 애추 말단은 풍혈이다. 플라이스토세 빙하기에 널리 분포했던 월굴은 홀로세에 기후가 온난해지면서 한반도 북부와 중부의 고산대 및 아고산대와 함께 여름이 서늘한 홍천 풍혈 주위를 후빙기 피난처로 삼아 빙하기 유존종으로 격리 분포하게 되었다.

월굴의 남한계선이며 하한계선인 홍천에 자라는 군락은 가장 가까운 거리에 있는 설악산 아고산대와 1,200m의 해발고도 차이가 있으므로 빙하기의 기온은 현재보다 6.6°C 내외로 낮았던 것으로 추정된다. 극지와 고산에 격리 분포하는 월굴은 여름 고온에 민감한 식물이다. 홍천의 산록에 자라는 월굴은 지구온난화에 따라 생리적으로 영향을 받거나 높은 온도를 좋아하는 식물과의 경쟁에 밀려 사라질 수도 있다. 한반도의 생물다양성 보전 차원에서 홍천의 월굴 군락지에 대한 보호 관리가 필요하다.

주요어 : 월굴, 극지·고산식물, 설악산, 홍천, 격리 분포, 풍혈, 빙하기 유존종, 지구온난화

Abstract : *Vaccinium vitis-idaea* or lingonberry, a typical arctic-alpine plant, is common on the circumpolar regions and alpine belts of the Northern Hemisphere, and also occurs on the alpine and subalpine belts of the Korean Peninsula, including Mt. Sorak and Hongchon. *Vaccinium vitis-idaea* at the elevation of c. 350m a.s.l. of Hongchon is found on the wind hole area with cool summer, and mild winter. *Vaccinium vitis-idaea* at Hongchon is regarded as the glacial relict of the Pleistocene period, and shows a disjunctive distribution, along with the alpine and subalpine belts of the northern and central Korea since the Holocene period.

Present vertical range of *Vaccinium vitis-idaea* between Mt. Sorak and Hongchon might indicates that the temperatures during the glacial epoch was colder than today, down to -6 to -7°C *Vaccinium vitis-idaea* at this fragile wind hole site could be endanger if current global warming trends continues, and anthropogenic activities become serious.

Key Words : *Vaccinium vitis-idaea*, arctic-alpine plant, Mt. Sorak, Hongchon, disjunctive distribution, wind hole, glacial relict, global warming

* 이 연구는 2007년도 경희대학교 학술연구지원사업의 연구비에 의하여 연구되었음(This work was supported by the research grant of the Kyunghee University in 2007).

** 경희대학교 이과대학 지리학과 및 기초과학연구소 교수(Professor, Department of Geography and Institute of Basic Sciences, Kyunghee University), wskong@khu.ac.kr

*** 국립산림과학원 산림환경부 연구관(Senior Researcher, Department of Forest Environment, Korea Forest Research Institute), limjh@forest.go.kr

1. 서론

한반도는 4,500여종의 관속식물이 자라는 자연생태계와 유전자 자원의 보고이며, 지질시대에 살았던 유존종(遺存種 relict species)과 고유종(固有種 endemic species) 또는 특산종이 많다. 특히 우리나라 고산대와 아고산대에는 세계적인 남방한계선인 극지·고산식물이 많아 생물지리학적으로 관심이 높다. 그러나 한반도 고산대와 아고산대에 분포하는 극지·고산식물과 고산식물은 개체수가 드물고, 크기도 작고, 분포 면적도 넓지 않아 우리의 관심과 보호 밖에 있다. 이들은 신생대 제4기 플라이스토세(Pleistocene) 빙하기에 북방에서 한랭한 기후를 피해 피난처(refugia)를 찾아온 빙하기 유존종으로 자연사 복원에 귀중한 자연유산이다.

북극권과 중위도의 고산대에 자라며, 한반도에서는 북한의 고산대, 아고산대에 흔하지만 남한에서는 설악산 정상 일대에서만 알려진 월굴(*Vaccinium vitis-idaea* L.)을 산림청 국립산림과학원 이수원 박사팀이 강원도 홍천군 내면 방내리 해발고도 350m 산록에서 최근에 발견하였다(한겨레, 2005; ; <http://www.ecojournal.co.kr>).

이 연구는 극지·고산식물인 월굴이 어떤 환경에서 이동과 정착과정을 거쳐 북한의 고산대와 아고산대, 설악산 아고산대뿐만 아니라 홍천군 산록 애추(崖鉤,

talus)의 풍혈(風穴, wind hole)이라는 독특한 환경에 격리 분포하는지를 월굴의 자연사(natural history)를 복원하는 측면에서 여러 환경요인 중 기온조건에 국한하여 분석하였다.

월굴이 약 200m²의 규모로 자라는 홍천 자생지의 기온을 측정하기 위하여 풍혈 출구(지점 1), 월굴이 자라는 약 10~15cm 높이(지점 2), 지상 1.2m 높이(지점 3) 등 3곳에 간이온도센서(SP-2000, Veriteq Co., Canada)를 설치하였다. 관측기간은 2005년 8월 21일~2007년 12월 20일로 매 30분 간격으로 측정된 자료로부터 풍혈과 월굴 자생지의 기온을 파악하였다. 2006년 8월 5일~2007년 5월 11일의 지점 3 자료는 결측되었다.

월굴에 대한 식물학적 정보는 문헌과 함께 미국 농무성 산림청의 웹페이지 (US FS, 2008a; <http://plants.usda.gov>)와 관련 전문 웹페이지(USDA ARS, 2008; ZipcodeZoo, 2008)를 참조하였다.

2. 본론

1) 월굴의 식물학적 특성

(1) 월굴의 계통분류

월굴(越橘 *Vaccinium vitis-idaea* L.)은 식물계, 유

표 1. 월굴의 계통분류

식물계(Kingdom Plantae)
유관속식물아계(Subkingdom Tracheobionta)
속씨식물군(Superdivision Spermatophyta)
현화식물문(Division Magnoliophyta)
쌍떡잎식물강(Class Magnoliopsida)
Dilleniidae아강(Subclass Dilleniidae)
진달래목(Order Ericales)
진달래과(Family Ericaceae)
Vaccinioideae아과(Subfamily Vaccinioideae)
산앵두나무속(Genus <i>Vaccinium</i> L.)
Vitis-Idaea아속(Section <i>Vitis-Idaea</i>)
월굴(越橘 <i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)

관속식물아계, 속씨식물군, 현화식물문, 쌍떡잎식물강, Dilleniidae아강, 진달래목, 진달래과, 산앵두나무속에 속한다(표 1). 산앵두나무속(*Vaccinium*)의 식물 858여종 가운데 북반구 한랭지역에는 450여종이 자라며, 몇 종은 마다가스카르, 하와이에도 분포한다. 중국에는 51종의 고유종을 포함 92종이 자란다. 월굴은 진달래과(Ericaceae)에 속하며 원산지는 유라시아 북부와 북아메리카이고, 온대에서 북극권까지 자란다(<http://ko.pandapedia.com/wiki>). 월굴의 영자명은 lingonberry, cowberry, foxberry, mountain cranberry, red whortleberry, lowbush cranberry, partridgeberry, redberry 등 지역에 따라 다르며, 한자명은 월길(越桔), 향명은 맛들쭉, 맛즐죽, 땅들쭉(북한), 월굴나무이다.

월굴이 속하는 산앵두나무속의 분류체계는 복잡하며, 아직도 연구가 진행 중이다. 산앵두나무속은

*Oxycoccus*와 *Vaccinium* 두 아속(subgenera)과 20개의 섹션(sections)으로 나뉜다(표 2). 월굴은 *Vitis-idaea* 섹션에 속하며 한반도 북부에서 한라산의 고산대와 아고산대에 자라는 들쭉나무(*Vaccinium uliginosum*)는 *Vaccinium* 섹션에 포함된다.

국가생물종지식정보시스템(<http://www.nature.go.kr>)에 제시된 우리나라 산앵두나무속 나무는 모새나무, 산앵도나무, 산매자나무, 털매자, 정금나무, 지포나무, 넉출월굴, 애기월굴, 들쭉나무, 굽은들쭉나무, 긴들쭉나무, 산들쭉나무, 월굴 등 13종이다. 생육형은 월굴, 모새나무, 넉출월굴, 애기월굴 등 4종이 상록활엽성이고 나머지는 낙엽활엽성 목본류이다(표 3).

현재까지 우리나라 산앵두나무속 식물에 대한 분류체계와 종수는 통일되지 않았다. 이춘녕·안학수(1963)는 산앵두나무속으로 모새나무, 산앵두나무, 정금나무, 지포나무, 들쭉나무, 멧들쭉나무(*Vaccinium*

표 2. 산앵두나무속 아속과 섹션

아속	섹션
<i>Oxycoccus</i>	<i>Oxycoccus</i> , <i>Oxycoccoides</i>
<i>Vaccinium</i>	<i>Batodendron</i> , <i>Brachyceratum</i> , <i>Bracteata</i> , <i>Ciliata</i> , <i>Cinctosandra</i> , <i>Concbophyllum</i> , <i>Cyanococcus</i> , <i>Eococcus</i> , <i>Epigynium</i> , <i>Galeopetalum</i> , <i>Hemimyrtillus</i> , <i>Myrtillus</i> , <i>Neurodesia</i> , <i>Oariantbe</i> , <i>Oreades</i> , <i>Pachyantum</i> , <i>Polycodium</i> , <i>Pyxotbannus</i> , <i>Vaccinium</i> , <i>Vitis-idaea</i>

표 3. 한반도 산앵두나무속 식물

국명	학명	생육형
모새나무	<i>Vaccinium bracteatum</i>	상록활엽관목
산앵도나무	<i>Vaccinium birtum</i> var. <i>koreanum</i>	낙엽활엽관목
산매자나무	<i>Vaccinium japonicum</i>	낙엽활엽소관목
털매자	<i>Vaccinium japonicum</i> var. <i>ciliaris</i>	낙엽활엽소관목
정금나무	<i>Vaccinium oldhamii</i>	낙엽활엽관목
지포나무	<i>Vaccinium oldhamii</i> for. <i>glaucinum</i>	낙엽활엽관목
넉출월굴	<i>Vaccinium oxycoccus</i>	상록활엽관목
애기월굴	<i>Vaccinium oxycoccus</i> subsp. <i>microcarpus</i>	상록활엽반관목
들쭉나무	<i>Vaccinium uliginosum</i>	낙엽활엽소관목
굽은들쭉나무	<i>Vaccinium uliginosum</i> for. <i>depressum</i>	낙엽활엽소관목
긴들쭉나무	<i>Vaccinium uliginosum</i> for. <i>ellipticum</i>	낙엽활엽소관목
산들쭉나무	<i>Vaccinium uliginosum</i> var. <i>alpinum</i>	낙엽활엽소관목
월굴	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	상록활엽소관목

uliginosum var. *alpinum*), 월굴, 큰잎월굴나무 (*Vaccinium vitis-idaea* var. *genuinum*) 등 8종으로 보고했고, 산매자나무(*Hugeria japonica*), 애기월굴 (*Oxycoccus microcarpus*), 년출월굴(*Oxycoccus quadripetalus*)을 다른 속으로 취급했다. 이창복(1979)과 이상태(1997)는 산앵두나무속으로 모새나무, 산앵도나무, 정금나무, 들쭉나무, 월굴 등 5종을 소개하고, 산매자나무, 애기월굴, 년출월굴을 다른 속으로 분류했다. 이우철(1996)은 산앵두나무속을 모새나무, 산앵도나무, 산매자나무, 애기월굴 (*Vaccinium microcarpum*), 정금나무, 지포나무, 년출월굴, 들쭉나무, 산들쭉나무, 월굴 등 10종으로 보았다.

오수영 · 박재홍(2001)은 산앵두나무속의 모새나무, 산매자나무(*Vaccinium japonicum* var. *japonicum*), 털산매자나무(*Vaccinium japonicum* var. *ciliare*), 산앵도나무 (*Vaccinium koreanum*), 정금나무 (*Vaccinium oldhamii* var. *oldhamii*), 지포나무, 들쭉나무, 땃들죽(월굴) 등 8종의 분포도를 제시하였다. Flora of Korea Editorial Committee(2007)는 산매자나무, 애기월굴, 모새나무, 월굴, 들쭉나무, 정금나무, 산앵도나무 등 7종을 산앵두나무속으로 분류하였다. 북한의 임록재(2001)는 들쭉나무속(*Vaccinium*)에 모새나무, 월굴나무, 정금나무(종가리나무), 지포나무, 들쭉나무, 두메들쭉나무(*Vaccinium uliginosum* var. *alpinum*), 물앵두나무(*Vaccinium koreanum*) 등 7종을 수록하고, 산매자나무, 애기월굴, 년출월굴을 다른 속으로 취급했다.

(2) 월굴의 특징

월굴은 상록활엽성관목 또는 늘푸른작은떨기나무로, 키는 20cm를 넘지 않고 땅속뿌리가 길게 뻗는다. 잎은 어긋나고 딱딱하며 가죽질이고, 길이 1~3cm, 폭 5~13mm이고, 가죽처럼 뻗뻗하며 윤이 나고 달걀모양이며, 가을에 보라색으로 변한다(그림 1). 꽃은 6~7월에 지난해의 가지 끝에 2~3개씩 밑을 향하여 달리며 종 모양이고 흰색 또는 붉은 빛이 약간 띄는 흰색이다. 꽃의 길이 6~7mm이고 끝이 4개로 갈라지며 수술은 10개이며 수술대에 털이 있다. 열매는 과육과 액즙이 많고, 속에 씨가 들어 있는 과실인 장과(漿果)는 지름



그림 1. 강원도 홍천의 월굴

8~10mm로 둥글고 8~9월에 붉게 익으며 신맛이 강하다. 북한에서는 월굴로 과실주를 담그기도 한다(현진오 · 김사홍, 2002; 이영로, 2006; 이유미, 2008; <http://www.encyber.com>).

월굴에 대한 개체생태학적인 연구가 여의치 않아서 기존의 연구를 참조하여 특징을 알아보았다. 월굴은 암수 한 몸의 양성화(hermaphrodite)로 자가 수정(self-fertile)하며, 벌들이 꽃가루받이를 한다(<http://www.pfaf.org>). 꽃가루받이 호박벌은 광량보다는 온도에 영향을 받는다(Davis *et al*, 2003). 스웨덴에서 월굴의 씨앗은 최저기는 7~10°C에서 싹이 나지 않고, 10°C 이상에서 발아하였다(Baskin *et al*, 2000). 월굴, 들쭉나무의 씨앗은 땅속에서 14~17년 동안 생존했다(Hill & Vander Kloet, 2005). 산매자나무속 식물의 씨앗은 동물에 의해 퍼지는데(Eriksson & Froborg 1996), 월굴은 5~10년이 지나야 꽃을 피우며 씨앗은 새와 포유류가 퍼트리지만(Hall & Shay, 1981), 수평으로 뻗어가는 땅속뿌리로 흔히 번식한다(BWCA, 2008).

월굴은 극지나 고산, 바람이 강한 울퉁불퉁한 험한 바위, 돌출된 곳, 바위 옆면, 바위 부스러기 사면, 해안 절벽, 바위로 된 불모지, 산정에 자라지만, 바위로 된 능선, 산비탈의 돌 더미, 애추 등에 흔하며(US FS, 2008b), 방위와는 특별한 관련성이 없다(Ritchie, 1955). 근래에는 빙하기 유존종들이 살고 있는 풍혈의 보전에 대한 필요성도 제기되고 있다(Nekola, 1999;

Henry, 2003).

월굴은 토심이 얇고, 토양이 발달하지 않은 광물질이 많은 흙, 배수가 좋은 토탄층에 잘 자란다(Ritchie, 1955; Kardell, 1986; Rook, 2002). 또한 산성의 사질 식양토나 점토질 식양토에서 번성하며 땅속뿌리는 사질토양에서 빈약하다(Holloway, 1981, 1982; Kuchko, 1988). 월굴이 자라는 모암은 사암, 편마암, 화강암 등이고, 산도 범위는 2.7~8.2이지만, 4.0~4.9를 좋아한다(Jeglum, 1971; Hall & Shay, 1981; Holloway, 1981; US FS, 2008b). 월굴은 모래로 된 산성토양(pH 5~6)으로 2% 이상의 유기물이 포함된 땅에서 뿌리를 내리며 어릴 때 가장 잘 자란다(Fernquist 1977). 월굴 등 진달래과 식물은 염기성 토양을 싫어하고 산성 토양을 좋아한다(Launert, 1981; PFAF, 2008).

월굴의 열매에는 유기산, 비타민 C, 프로비타민 A, B(B1, B2, B3), 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 인 등과 광화학물질(phytochemical)이 있다(BWCA, 2008). 열매는 시지만 달아서, 주스, 소스, 잼, 사탕, 젤리, 시럽, 아이스크림, 피클, 과일주, 술, 위장약 등으로 이용한다

(Stang *et al*, 1990). 잎은 글리옥시드인, 아르부틴, 메틸아르부틴, 타닌 등을 함유하여 방광염, 구토증, 위장병 등에 효과가 있다(<http://www.eln.co.kr>). 미국 Tufts대학 인간영양학연구센터 신경과학연구소(연합뉴스, 2002)에 따르면 월굴 열매는 항산화제를 많이 함유하고 있어 알츠하이머병 예방에 도움이 된다. 1997년에 산림청은 월굴을 희귀 및 멸종위기 식물로 선정하였다(<http://www.kna.go.kr>).

2) 월굴의 지리적 분포

(1) 세계적 분포

월굴은 주극(周極 circumpolar)지역과 북방침엽수림대(circumboreal) 주변에 자라는 종으로 유럽, 아메리카, 아시아에 걸쳐 매우 넓게 분포한다(그림 2). 유럽에서는 덴마크, 페로스섬, 스웨덴, 핀란드, 아이슬란드, 그린란드, 노르웨이, 스웨덴, 독일, 프랑스, 에이레, 영국, 오스트리아, 벨기에, 헝가리, 불가리아, 네덜란드, 체코, 폴란드, 루마니아, 이탈리아, 스위스, 코르

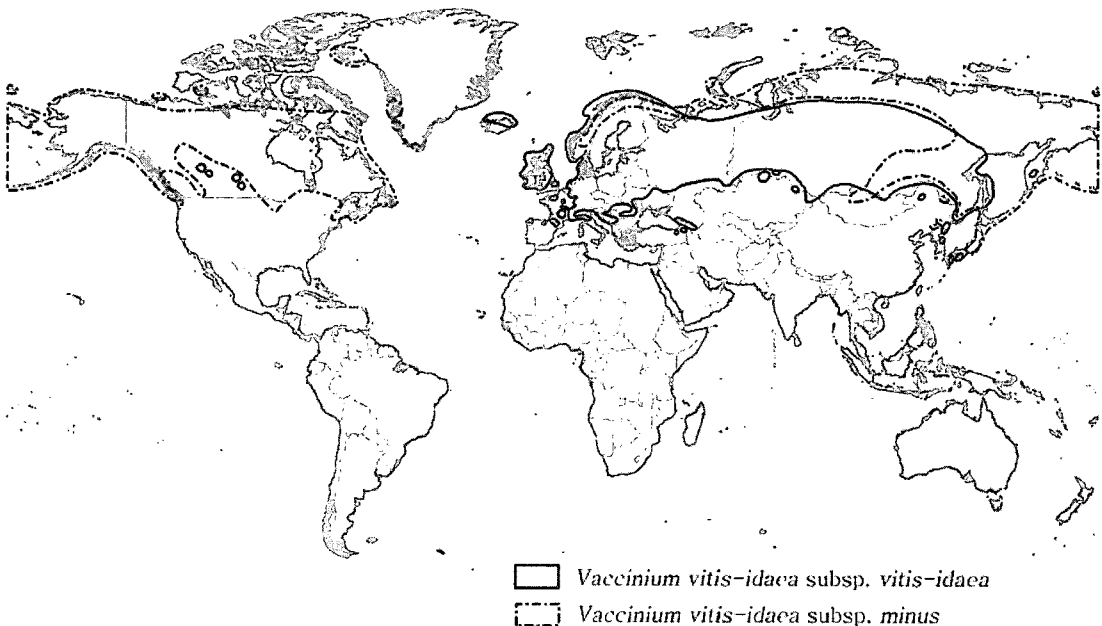


그림 2. 월굴의 분포도
(Hulten, 1970을 기초로 재작성)

시카, 그리스, 스페인, 벨로루시, 에스토니아, 라트비아, 리투아니아, 러시아, 우크라이나, 알바니아, 불가리아, 이탈리아, 루마니아, 유고, 세르비아, 몬테네그로 등에 자란다. 북아메리카에서는 캐나다, 미국 등에 분포한다. 아시아에서는 터키, 아르메니아, 그루지야, 마케도니아, 러시아, 다게스탄, 알타이, 동시베리아, 서시베리아, 연해주, 쿠릴열도, 몽골, 중국, 한국, 일본 등에 생육한다. 동북아시아에서는 일본 홋카이도, 혼슈에 흔하지만, 시코쿠, 큐슈에서는 드물고, 한국, 러시아 쿠릴열도, 사할린 등지에 자란다(Ritchie, 1955; Hultén, 1958, 1962; Ohwi, 1965; Holloway, 1981; USDA ARS, 2008; ZipcodeZoo, 2008).

Hultén(1970)에 따르면 월굴 가운데 유라시아 아종(*Vaccinium vitis-idaea* subsp. *vitis-idaea*)은 키가 크고 잎의 길이가 10~25mm로 유라시아 침엽수림대 저지와 알프스 2,000m 이상에 자란다. 북아메리카의 극지와 산악 아종(*Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*)은 키가 작고 잎의 길이가 7~20mm로 약간 짧으며, 주극지역, 극지방 산지, 알프스 2,000~2,400m에 자란다(Fernald, 1970; Hultén, 1970). 두 종은 스칸디나비아반도와 동아시아에서 분포지역이 겹친다. 러시아 캅차카에서 아종 subsp. *vitis-idaea*는 중부 계곡 저지에 격리되어 분포하지만, 아종 subsp. *minus*는 흔하다. 월굴의 화석은 불가리아 소피아 근처 쿠릴로(Kurilo)지역 신생대 제3기 플라이오세(Pliocene)층에서 출토되었다. 한반도는 월굴의 세계적 분포상 남한계선의 하나(그림 2)이다. 이는 한반도가 빙하기에 기후가 한랭해짐에 따라 주극지역이나 동북아시아에서 추위를 피해 식물들이 이동하고 서식하던 피난처의 역할을 했음을 나타낸다.

월굴은 빙하의 한계선 남쪽에 분포하며(Tirmenstein, 1991), 자작나무와 이깔나무림, 목초지, 고산초원이 발달하는 고도 900~3,200m에 자란다(eFlorás, 2008). 월굴의 수직적 분포역은 스코틀랜드에서 1,100m, 카프카즈에서 2,700m, 이탈리아에서 2,500m, 북극권 알래스카에서 1,200m까지이다(Hultén, 1970). 2,000m 이상의 고도에서 월굴은 겨울에 눈에 덮인 따뜻한 곳을 좋아한다(Landolt, 1996).

(2) 한반도 분포

① 수평적 및 수직적 분포

월굴은 눈향나무, 담자리꽃나무, 천도딸기, 돌매화나무, 시로미, 진퍼리꽃나무, 산백산차, 애기백산차, 애기월굴, 년출월굴, 가솔송, 황산차, 들쭉나무, 린네풀 등과 함께 한반도에 자라는 전형적인 목본류 극지·고산식물이다.

한반도 내 월굴의 분포지에 대하여 中井猛之進(1925)은 금강산 비로봉 정상, 백두산, 장백연산, 함북과 함남의 높은 봉우리, 로봉, 이승령, 산양, 강구(江口)간 풍혈 부근 등 한랭한 곳을 제시하였다. 정태현(1933)에 따르면 월굴은 수직적으로 100~2,540m에 자라며, 지리적으로 강원도, 평북, 함북의 고산과 산정 부근에 자란다. 박만규(1942)는 월굴의 분포지로 백두산, 관모봉, 두류산, 북수백산, 로봉, 묘향산, 금강산, 설악산, 한라산을 제시했으나, 한라산에는 월굴이 확인되지 않고 있다. 오수영·박재홍(2001)은 월굴의 분포지로 백두산, 노봉, 금강산, 설악산으로 보고하였다.

도봉섭·임록재(1988)는 북한 내 월굴의 분포지로 한반도 북부, 중부(금강산), 산정 부근으로 보았다. 임록재(1998)는 월굴이 한반도 북부, 중부의 비교적 높은 산지 바늘잎나무숲보다 높은 산지에 자란다고 하였다. Kolbek and Kucera(1989)는 백두산 현지조사를 바탕으로 월굴이 백두산(900~2,025m)에 자란다고 발표했다. 백두산에서 월굴은 고도에 따라 다른 식생형을 이루는데, 아한대성 상록침엽수림대 분비나무 군계에서는 분비나무~월굴군총, 아한대성 낙엽침엽수림대 이깔나무계에서는 이깔나무~월굴군총, 비탈면 완만지역에서는 수림지의 지피식물을 이루며, 고산 습지대 가장자리, 백두산 툰드라지대와 동결대에서도 자란다. 백두산에서 월굴은 해발 800~2,000m에 자란다(<http://ipcp.edunet4u.net>).

이우철·정태현(1965)은 월굴의 분포역을 발표했으나 당시에 알고 있던 산의 높이에 오차가 있었다. 여기에서는 새로운 산지별 고도값을 바탕으로 분포역을 보정하고 새로운 분포지를 추가하였다. 월굴의 수평적 및 수직적 분포역은 흥천 응봉산(1,103m)과 맹현봉(1,214m) 사이 350m 높이의 풍혈, 설악산(1,550~1,650m), 금강산(958~1,638m), 사수산(1,686

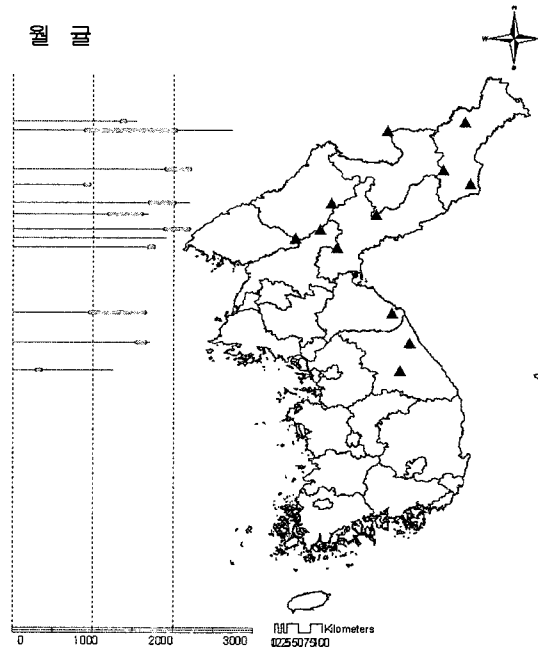


그림 3. 한반도 월굴의 수평적 및 수직적 분포 (필자 작성)

~1,746m), 묘향산, 금패령(1,200~1,600m), 낭림산(1,886~2,186m), 후치령(1,000~1,300m), 노봉(1,700~2,000m), 칠보산(894m), 만담산(1,900~2,200m), 백두산(900~2,025m), 차유산(1,400m), 관모봉, 두류산, 북수백산 등이다(그림 3). 수직적 분포의 하한계선(下限界線)과 상한계선(上限界線)이 알려진 9곳의 월굴의 수직적 평균 분포범위는 고도 1,420~1,816m이다.

월굴은 돌매화나무, 담자리꽃나무, 시로미, 가는잎애기백산차 등과 함께 한반도 극지·고산식물 가운데 수직적 분포 하한계선이 1,500~1,800m 사이이거나 그보다 높은 곳에는 나타나는 종이다(공우석, 2005). 월굴의 수직적 평균 분포범위(1,420~1,816m)는 설악산에 아고산대에 자라는 수종인 눈잣나무(1,485~1,805m), 짙방나무(1,077~1,573m), 노랑만병초(1,586~1,893m) 등의 전국적 수직적 평균 분포범위와 비슷하다.

최근까지 남한에서 월굴은 설악산 정상 부근 중청봉 해발고도 1,600m 이상에서만 자라는 것으로 알려졌다(이창복, 1980). 설악산 월굴은 분포상 남한계로 중청봉 북사면 해발 1,600m 일대에 아주 적은 면적에 적은

개체수가 분포하는 것으로 알려졌다(이창복·유종덕, 1984; 김용식 외, 1998). 월굴 분포도(그림 3)는 기존의 식물조사 보고서(박만규, 1942; 이우철·정태현, 1965; 정영호, 1989a, b; 현진오, 1989a, b, c)와 현지 조사에 기초하여 작성하였다.

② 설악산의 월굴

설악산은 한반도를 남북으로 잇는 태백산맥 또는 백두대간 상에 위치하는 산이며, 정상인 대청봉(1,708m)은 남한에서 한라산(1,950m), 지리산(1,915m)에 이어 세 번째로 높다. 고도 증가에 따른 기온감을 때문에 산록과 정상의 기온 차이는 10℃ 정도이다. 고도에 따른 환경의 다양성 때문에 설악산은 극지·고산식물, 고산식물, 북방계식물, 온대성 상록침엽수와 낙엽활엽수, 난온대성 식물 등 다양한 식물들이 어우러진 생태계가 있다.

설악산의 아고산대에는 눈잣나무(*Pinus pumila*), 설악눈주목(*Taxus caespitosa*), 눈향나무(*Juniperus chinensis* var. *sargentii*), 짙방나무(*Thuja koraiensis*), 털개불알꽃(*Cypripedium guttatum* var. *koreanum*), 홍월굴(*Arctous ruber*), 월굴, 들쭉나무, 흰장구채



그림 4. 설악산 귀때기청봉 일대 아고산대 경관

(*Silene oliganthella*), 바람꽃(*Anemone narcissiflora*), 만주송이풀(*Pedicularis mansburica*), 등대시호(*Bupleurum euphorbioides*), 바람꽃(*Anemone narcissiflora*), 흰인가목(*Rosa koreana*), 붉은인가목(*Rosa marretii*), 기생꽃(*Trientalis europaea*), 솔나리(*Lilium cernuum*), 난장이붓꽃(*Iris uniflora* var. *carina*) 등 80여종의 북방계 식물이 산 정상부를 중심으로 분포한다(그림 4).

현진오 · 김사홍(2002)에 따르면 우리나라의 고산식물대는 위도와 지형의 영향을 받아서 백두산, 관모봉, 북수백산, 두류산, 묘향산 등 북쪽에 많으며, 남쪽으로 내려오면서 고산식물의 종수와 분포 면적이 줄어든다.

설악산이 분포의 남한계선인 북방계식물은 눈잣나무, 두메오리나무, 숲개별꽃, 바람꽃, 흰장구채, 흰인가목, 큰잎쓴풀, 홍월굴, 노랑만병초, 금강봄맞이, 봉래꼬리풀, 만주송이풀, 구름송이풀, 산송다리 등이다. 설악산과 남쪽의 고산대와 아고산대에도 자라는 식물은 짙방나무, 눈향나무, 구실바위취, 한계령풀, 등대시호, 들쭉나무, 기생꽃, 솜다리, 산마늘, 난장이붓꽃 등이다. 반면 남방계식물로 설악산이 분포의 북한계선인 종류는 설설고사리, 모데미풀, 변산바람꽃, 때죽나무, 지리대사초 등이다. 설악산은 높은 지대에는 북방계식물이 자라고, 낮은 지대에는 남방계식물이 자라는 식물지리적으로 남·북한 식물의 분포상 접이지대이다.

설악산은 백두산에서 지리산까지 이어지는 한반도의 중심 산줄기인 백두대간 중앙부에 위치하며

1,708m의 대청봉을 비롯하여 높은 산봉우리가 많다. 따라서 설악산은 기후가 한랭했던 빙하기에 북쪽의 식물이 추위를 피해 남쪽으로 이동하는 통로였고, 기후가 온난해진 후빙기에는 빙하기 때 남하했던 식물들이 다시 북쪽으로 되돌아가는 이동통로(corridor)이며 후빙기의 피난처였고, 식물을 남·북으로 연결하는 중심축이었음을 나타낸다.

월굴은 멸종위기 고산식물로 설악산 대청봉 일대와 귀때기청봉에 몇몇 개체가 자라는 희귀식물이다. 설악산에 자라는 산앵도나무속 식물에는 월굴 외에도 한반도 특산식물인 산앵도나무(*Vaccinium koreana*)와 설악산과 한라산 꼭대기에 자라는 들쭉나무가 있다. 이들은 낙엽관목으로 개체수가 매우 적어 보호가 필요하다(문순화 외, 1997; 현진오, 2002). 설악산에서 월굴은 대청봉(1,705m)과 중청봉(1,676m) 사이 암석지, 귀때기청봉(1,578m) 일대 등 해발고도 1,550~1,650m에 분포한다.

③ 홍천의 풍혈과 월굴

강원도 홍천군 내면 방내리에서 월굴이 자라는 곳은 응봉산(1,103m)과 맹현봉(1,214m) 사이 350m 산록애추의 말단이다. 애추(崖錐, talus)는 경사가 가파른 암석 산지에서 주빙하성 기후에서 기온 차이로 암석이 얼고 녹는 물리적인 풍화과정을 거듭하면서 산 아래로 흘러내려 만들어진 것이다. 크기가 다른 날카로운 돌무더기가 산의 사면에 쌓인 애추는 과거 빙하기에 만들어진 한랭했던 기후를 나타내는 증거이다.

홍천 애추의 말단면에는 여름에 시원한 바람이 불어나오고 겨울에는 온난한 바람이 땅속으로부터 나오는 풍혈이 발달하기도 한다. 풍혈(風穴, wind hole)은 애추의 암괴류 틈에서 차가운 공기가 스며 나오며, 결빙 현상이 나타나기도 하는 국소적으로 저온환경이 유지되는 곳이다. 변희룡(2003, 2004)에 의하면 풍혈의 일종인 얼음골의 비밀은 지하에 유입된 차가운 공기와 지하수 때문이다. 애추에 풍혈이 나타나는 곳은 강원도 정선군 신동읍 운치리, 홍천군 내면 방내리, 충북 제천시 금수산, 경남 밀양시 어름골, 경북 의성군 빙혈, 청송군 어름골, 전북 진안군 풍혈 등 10여 곳이다.

애추는 특유의 식물이 분포하고 식생의 천이가 나타나는 곳이다(Lee & Kim, 1994). 여름철에 암괴류 사이

의 바위틈에서 차가운 공기가 스며 나오거나 결빙현상을 보이는 풍혈에는 한들고사리(*Cystopteris fragalis*), 두메고사리(*Athyrium crenatum*), 좀미역고사리(*Polypodium virginianum*), 월굴, 뚝지치(*Hackelia deflexa*) 등 북방계식물이 자란다(김진석 외, 2006). 이들은 빙하기에 한반도로 남하한 식물로 후빙기에 들어 기온이 온난해짐에 따라 기온이 서늘한 풍혈을 극지적인 피난처로 삼아 격리 분포하는 것으로 보인다.

홍천군 내면 방내리 응봉산과 맹현봉 사이 산록의 북북서사면, 해발고도 350m 일대에 전체 길이 70m, 폭 30m 정도의 애추가 발달한다. 그 가운데 길이 25m, 폭 7m 정도의 애추에는 식생이 드물고, 애추의 아래쪽 가장자리로 냉기류가 흘러나오는 풍혈 출구로 토양층이 발달하는 곳에 약 200m² 정도의 월굴이 자란다(그림 5). 월굴 주변의 암괴류와 주변 나뭇가지에는 이끼류, 지의류가 많아 저온다습한 환경임을 알 수 있다. 월굴이 자라는 곳의 정확한 위치 정보는 종의 보전을 위해 제시하지 않았다.

홍천의 월굴은 다른 균락지와 달리 낮은 산등성이에 위치하는데, 이는 풍혈의 바위틈에서 찬바람이 나와 여름에도 낮은 기온이 유지되고 토양층이 발달하기 때문이다. 월굴은 애추 주변과 안정된 애추 위에 토양이 얇게 덮여 있는 곳으로 여름철에 냉기류가 나오고 겨울에는 난기류가 나와 기온 측면에서 온대성식물과의 경쟁에서 유리한 곳에 분포한다.

홍천 풍혈 주위의 안정된 사면에는 쉬땅나무



그림 5. 홍천군 풍혈의 월굴

(*Sorbaria sorbifolia* var. *stellipila*), 박달나무(*Betula schmidtii*), 귀룽나무(*Prunus padus*), 진달래(*Rhododendron mucronulatum*), 두메고사리(*Diplazium sibiricum*), 민둥인가목(*Rosa suavis*), 각시우드풀 또는 산우드풀(*Woodsia subcordata*), 요강나물(*Clematis fusca* var. *coreana*), 산새풀(*Calamagrostis langsdorfii*), 집사초(*Carex vaginata* var. *petersii*), 주저리고사리(*Dryopteris fragrans*) 등 아고산대에 자라는 식물들이 나타난다. 바위 위와 토양이 있는 곳에 솔이끼(*Polytrichum commune*), 지의류, 고사리류가 섞여 자란다. 이 가운데 두메고사리와 인동민가목은 일본에서도 풍혈에서 자주 나타나는 종이다(Iokawa & Ishizawa, 2003). Nekola(1999)와 Iokawa & Ishizawa(2003)는 풍혈의 한대성식물이 격리 분포하는 것이 빙하기 이후 오래된 피난처(palaeo-refugia)에 국소적인 기후지대에 살아남은 잔존식생으로 보았다.

월굴의 수직적 분포범위는 홍천에서 해발고도 350m 이고, 설악산에서 1,550~1,650m로 두 지역 사이에는 1,200m의 해발고도 차이가 있다. 이들 지역 사이에 -0.55℃/100m의 수직적 기온감율(adiabatic lapse rate)을 적용하면 빙하기 동안 홍천과 설악산의 월굴의 분포역이 서로 연결되었던 빙하기의 기온은 현재보다 6.6℃ 내외로 낮았던 것으로 추정된다.

산림청은 월굴을 희귀식물 209호로 지정하였고(<http://www.nature.go.kr>), 홍천군 내면 방내리 산록 애추사면 말단의 월굴의 자생지를 보존하기 위해 2005년 11월 28일자로 '산림유전자원보호림'으로 지정, 고시하였다.

④ 홍천 풍혈의 기온과 월굴

기상청(<http://www.kma.go.kr>)에서 제공하는 홍천 기상관측소의 1971~2000년 기후요소의 평년값은 연평균기온 10.1℃, 최고기온 17.5℃, 최저기온 4.4℃, 강수량 1,291.3mm, 평균습도 71.4%이다. 홍천의 여름 평균최고기온은 6월 27.8℃, 7월 29.7℃, 8월 30.1℃를 나타내고, 겨울 최저기온은 1월 -11.6℃, 2월 -8.9℃, 12월 -8.2℃이다. 월평균 강수량은 1월 19.7mm, 2월 23.8mm, 3월 42.3mm, 12월 22.9mm로 적설량은 겨울동안 평균 적설량은 27mm 정도이다.

홍천군 내면 방내리 풍혈에서 2005년 9월~2007년 8월까지 간이온도센서를 설치해 기온을 측정한 결과 월굴이 자라는 약 10~15cm 높이(지점 2)의 연평균기온은 5.65℃이었다. 2006년 1월 1일~12월 31일까지의 지상 1.2m 높이(지점 3)에서 연평균기온은 6.52℃, 최난월인 7월의 평균기온은 22.16℃, 최한월인 2월의 평균기온은 -11.61℃였다.

월굴이 자라는 약 10~15cm 높이(지점 2)에서의 2년간의 극한 기온을 살펴보면, 일평균 최고기온은 24.39℃, 일평균 최저기온은 -21.78℃이었다. 이는 Kong & Watts(1993)가 제시한 월굴의 기온적 범위인 여름 최고기온 19.8~23.7℃보다 약간 높은 수치이고, 겨울 최저기온 -30.5 ~-27.2℃보다 높은 수치로 월굴이 겨울 저온보다는 여름 고온에 영향을 받음을 나타내는 것으로 보인다. 조사지에서 관측된 최고기온은 2006년 8월 4일 12시에 35.42℃, 최저기온은 2006년 2월 4일 9시 30분에 -26.58℃였다. 풍혈 출구(지점 1)의 최한월이 1월이고, 지상 1.2m 높이(지점 3)의 최한월이 12월이었으나 월굴이 자라는 약 10~15cm 높이(지점 2)의 최한월이 2월에 나타난 것은 지표면이 눈으로 덮여있기 때문으로 보인다.

관측기간 동안 3지점 모두에서 월별 기온 자료가 완전한 것을 모아 1년분 기온자료로 만들고, 이를 홍천군 내면에 있는 기상청의 자동기상관측시스템(AWS) 자료와 비교하였다(표 4). 그 결과 월굴이 자라는 풍혈 1.2m 높이(지점 3)의 연평균기온은 홍천군 내면의 관측 값에 비하여 1℃ 정도 낮았다. 홍천군 내면에서도 풍혈의 기온이 다른 곳에 비해 1℃ 정도 낮기 때문에

여름 기온이 서늘한 곳을 선호하는 월굴이 자라는데 유리한 것으로 보인다.

홍천 풍혈지 내에서도 위치에 따라 연평균기온은 달라서 풍혈 출구(지점 1)에서 -3.28℃로 가장 낮았고, 지상 1.2m 높이(지점 3)에서 7.15℃로 가장 높았으며, 월굴이 자라는 약 10~15cm 높이(지점 2)에서는 5.65℃이었다. 풍혈 출구의 최난월은 9월로 평균기온이 5.06℃에 불과하였는데, 이는 7월과 8월에 따뜻해진 지면에서 풍혈로 열이 전달되는 과정에서 지연된 효과로 보인다. 풍혈 출구는 연평균기온과 최난월 기온이 너무 낮아 월굴을 비롯한 식물들이 자라는데 요구되는 기온이 유지되지 못하는 것으로 보인다.

풍혈 주변의 기온이 낮은 것은 풍혈에서 나오는 차가운 바람이 직사광선에 노출된 지표면을 식혀주고 있는 것으로 판단되며, 여름에 그 효과가 클 것으로 보인다. 지상 1.2m 높이(지점 3)와 풍혈 출구(지점 1)에서의 기온차가 가장 큰 계절은 8월로 무려 18.3℃에 이르렀다. 따라서 풍혈 가장자리에 나타나는 낮은 여름 기온은 고온에서 생리적 스트레스를 받는 월굴이 생육하는데 맞는 미기후 조건을 만들어 이곳에 월굴이 격리 분포한 것으로 보인다. 그러나 월굴이 서식하는 구체적인 기온적 범위는 보다 장기간의 기온 관측 자료와 월굴이 서식하는 지표 부근에서 관측한 다른 산지에서의 결과를 비교하여 얻을 수 있을 것이다.

2006년 8월 4일 12시에 월굴이 자라는 10~15cm 높이에서의 기온은 35.42℃까지 상승하였는데, 같은 시각 1.2m 높이에서의 기온은 24.93℃, 높이 1.2m 지점에서 최고기온은 28.93℃로 월굴이 자라는 높이보다

표 4. 홍천 월굴 자생지 및 인근 무인기상관측소의 월평균기온 (°C)

구분	2005년				2006년								2007년	평균
	9월	10월	11월	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월		
지점 1	5.06	4.04	-2.06	-14.28	-15.45	-14.11	-8.86	-2.62	1.08	1.81	3.25	2.78	-3.28	
지점 2	16.43	8.54	0.80	-11.54	-11.51	-11.61	-2.02	6.93	13.36	19.01	22.16	17.28	5.65	
지점 3	16.05	8.82	2.07	-10.10	-6.66	-5.01	0.62	7.06	13.65	18.20	20.00	21.11	7.15	
내면	17.46	9.69	2.82	-9.64	-5.50	-4.89	0.88	7.67	15.03	19.48	21.14	23.74	8.16	

지점 1: 풍혈 출구, 지점 2: 월굴 높이 지상 10~15cm 부근, 지점 3: 지상 1.2m 나무 그늘, 내면: 기상청 홍천군 내면 자동기상관측(AWS) 자료

훨씬 낮았다. 일반적으로 백엽상 높이에서 관측한 기온에 비하여 태양 복사에너지가 직접 닿는 지표면 부근의 기온은 편차가 크다. 특히 맑고 바람이 적은 여름 낮에는 강한 태양복사열이 지면을 가열하여 기온이 상승하게 되므로 지표면에 가까운 아래쪽의 기온이 위쪽보다 높다. 서울 홍릉에서 2008년 8월 8일 12시에 관측한 바에 따르면 높이 1.2m의 기온이 34.58℃일 때 잔디 위 10~15cm 높이는 42.81℃까지 상승하였다. 따라서 돌이나 맨땅 위에서는 온도가 이보다 훨씬 높을 것으로 생각된다.

월굴이 생육하는 곳은 경사가 비교적 급한 북북서사면의 애추 가장자리 풍혈에 위치하고 있어 특히 겨울철에는 햇빛이 비치는 시간이 매우 짧으며, 주변에 다른 수목이 자라지 않기 때문에 직사광선에 노출되게 된다. 이곳에는 애추 가장자리 풍혈에서 냉기류가 흘러 나와 쉬땅나무 등 일부 나무를 제외하고는 낮은 기온 때문에 자라지 못하고 한랭한 기후에 경쟁력이 있는 월굴이 우점하는 것으로 보인다. 즉 여름 최고기온에 민감한 월굴은 홍천 내에서도 여름 최고기온이 낮은 홍천 풍혈 일대에 국한하여 격리 분포하는 것으로 보인다.

일반적으로 기온이 따뜻해지면 식물의 개화 시기가 빨라지고, 난대성 식생의 분포대는 확장되지만 한대성 식생은 활기를 잃고 쇠퇴하는 등 생태적 부작용이 나타난다. 특히 고산대와 아고산대에 고립되어 분포하는 종, 분포 범위가 좁거나 분포의 한계선에 자라는 종, 섬에 자라는 종, 기후변화에 민감한 종, 이동 속도가 느린 종 등이 기온이 상승하면서 어려움을 겪게 된다(공우석, 1998, 2002). 월굴은 고산대와 아고산대에 고립되어 분포하는 종이고, 분포 범위가 좁거나 분포의 한계선에 자라는 종이며, 기후변화에 민감한 종이어서 특별한 관심이 필요하다. 공우석(2005), 서민환 등(2006)은 월굴 등 고산식물이 기후변화 진단지표식물로 가치가 높음을 밝혔다.

월굴은 겨울에는 쌓인 눈에 덮여 추위로부터 보호되며 땅속뿌리로 퍼져 나가며, 눈으로 덮이지 않으면 추위 때문에 얼어 죽을 수 있다(Raatikainen & Vanninen, 1988). 월굴의 광합성은 쌓인 눈 아래서도 꾸준히 계속되며 덮인 눈이 녹으면 급격히 감소하는

데, 이는 저온에서 강한 햇빛 반사되면서 햇빛에 의한 방해를 받기 때문으로 본다(PECC, 2008). 홍천 일대의 겨울 강수량은 30mm 내외를 유지하기 때문에 -15℃ 내외의 낮은 기온에도 눈에 덮인 월굴의 생육에는 큰 부담이 되지는 않는 것으로 본다. 특히 풍혈 주변의 지표면 가까운 곳은 같은 지역 내 1.2m 높이보다 10℃ 가까이 높아서 겨울을 나기에 유리한 것으로 판단된다.

3. 토의 및 고찰

한반도의 극지·고산식물과 고산식물은 주로 북한의 북부지방, 남한의 설악산, 지리산, 한라산 등의 산정 일대 아고산대와 고산대에 격리되어 불연속적으로 나타난다. 이들은 신생대 제4기 플라이스토세 빙하기에 주극지역의 혹독한 추위를 피해 북방에서 도래했던 빙하기 유존군락으로 1만 년 전부터 시작된 홀로세의 기온 상승에 따라 다른 식물들과의 경쟁에 밀려 북쪽이나 산정 쪽으로 밀려나 살아남은 유존종으로 이 땅의 자연환경 변천사를 복원하는 필요한 귀중한 자연유산이다.

월굴은 전형적인 극지·고산식물로 빙하기의 유존종으로 북극권에 주로 자라는데, 한반도에서는 북한의 고산대와 아고산대, 남한의 설악산 대청봉과 증청봉 사이, 귀태기청봉 등 설악산의 해발고도 1,550~1,650m 암석지에 자란다. 최근에 강원도 홍천군 내면 방내리 애추 말단에 발달하는 풍혈 주위의 해발고도 350m 일대에서 발견된 월굴은 세계적인 분포의 남한계선의 하나이며, 중위도 지방의 하한계선으로 식물지리적인 가치가 매우 크다.

월굴은 한랭한 기후에 적응할 수 있는 외관형과 생리생태적 조건을 가져 빙하기에 남쪽으로 분포역을 넓혔으나 후빙기에 들어 기후가 온난해지면서 생리적 스트레스와 다른 식물과의 경쟁에 밀려 지금은 한반도의 고산대와 아고산대에 격리되어 분포한다. 월굴의 수직적 분포범위는 홍천에서 해발고도 350m이고, 설악산에서 1,550~1,650m로 두 지역 사이에는 1,200m의 해발고도 차이가 있어, 두 지역 사이에 -0.55℃/100m의

수직적 기온감을 적용한다면 빙하기 동안 홍천과 설악산의 분포역이 서로 연결되었을 빙하기의 기온은 현재보다 6.6℃ 내외로 낮았던 것으로 추정된다. 이는 설악산에 분포하는 눈잣나무 분포역이 금강산과 서로 연결되기 위해서는 빙하기의 기온이 현재보다 9℃ 정도 낮았다고 추정한 것(공우석, 2000)보다는 약간 낮은 수치이다.

홍천의 풍혈에서 풍혈 출구는 여름에 기온이 낮고 겨울에 따뜻하였으며, 풍혈 주변의 월굴이 자라는 높이인 15~20cm가 기온이 중간을 유지했고, 1.2m 높이는 상대적으로 기온이 높았다. 애추 말단 풍혈에 월굴이 격리 분포하는 것은 여름에는 찬바람이 나와 온도가 높지 않아 여름 고온에 민감한 월굴이 생육하기에 적절한 온도가 유지되기 때문이다. 월굴은 상록활엽성 관목으로 한랭한 기후에서 쌓인 눈으로 보호되어 추위와 건조 피해를 입지 않고 겨울을 넘길 수 있었다.

홍천군 내면에서도 방내리 풍혈 일대의 기온은 내면보다도 1℃ 정도 낮아 한랭한 기온을 선호하는 월굴이 생육하는데 유리한 것으로 본다. 월굴이 자라는 풍혈 주변의 약 10~15cm 높이(지점 2)의 연평균기온은 5.65℃, 일평균 최고기온은 24.39℃, 일평균 최저기온은 -21.78℃로 낮은 편이다. 풍혈 가장자리에 나타나는 낮은 여름 기온은 고온에서 생리적 스트레스를 받는 월굴이 생육하는데 적당한 미기후를 형성하여 월굴이 격리 분포하도록 한 것으로 보인다. 즉 여름 최고기온에 민감한 월굴은 홍천 내에서도 여름 최고기온이 낮은 방내리 풍혈 일대에 국한하여 격리 분포하는 것으로 본다.

유럽에서도 월굴의 남한계선은 여름최고기온에 의해 결정되는 것으로 알려졌다(Ritchie, 1955). 월굴은 기후에 대한 적응성은 높아 -40℃ 또는 더 낮은 기온을 견디지만 여름 기온이 높은 곳에서는 견디지 못한다(Wikipedia, 2008). 캐나다에서 월굴은 여름이 짧고 서늘하며 겨울은 길고 추운 곳에서 흔하다(Hall & Shay, 1981; US FS, 2008a). 추운 핀란드에서의 실험 연구 결과(Shevtsova *et al.*, 1997)에 따르면 월굴은 기온과 강수량을 증가시키면 가지의 생장이 두드러졌다. 기온이 갑자기 내려가면 월굴은 -2.5℃ 이하에서 얼어 죽지만, 기온이 서서히 내려가면 -22℃에서도 살아 있

었다(Holloway, 1981).

그러나 외국의 연구 결과를 국내에 직접 적용하는 데에는 한계가 있으므로 앞으로 국내에서도 월굴에 대한 생물지리학과 식물생리생태학의 공동 실험 연구가 필요하다. 아울러 월굴과 함께 산앵두나무속의 유사한 특징을 가지는 들쭉나무와 산앵두나무 등에 대한 비교 연구가 요청된다. 동시에 기온 외 다른 환경요인을 종합적으로 고려한 연구도 필요하다.

월굴을 포함한 극지·고산식물과 고산식물은 앞으로 지구온난화 경향이 뚜렷해지면 기온 상승에 따라 발생하는 생리생태적인 스트레스를 받아 쇠퇴하거나 온난한 기후에서 경쟁력을 갖는 온대성 식물과의 경쟁에 의하여 밀려 쇠퇴하거나, 멸종될 수 있는 취약종이다. 지구온난화가 빠르게 진행될 때 빙하기의 추위를 피해 찾아들었던 월굴과 같은 극지·고산식물이 당면하게 될 상황을 추정하고 월굴 군락지를 현지 내(*in situ*)에서 효과적으로 보전할 수 있는 대책이 필요하다.

홍천의 월굴에 가장 가까운 군락지는 몇몇 개체군이 유지될 정도인 설악산 정상 일대로 거리가 멀어 정상적으로는 두 지역 사이에 유전자가 서로 교류될 가능성이 매우 낮다. 따라서 근친교배와 유전적 부동에 의한 자체적인 유전적 다양성의 감소와 다른 종과의 경쟁에 밀려 사라질 수 있으므로 보전 대책이 필요하다.

홍천의 월굴 군락의 규모는 상대적으로 크지만 애추에 점차 유기물들이 쌓이면서 인근에 있는 관목류가 점차 영역을 확장하면서 다른 식물에 밀려 사라질 가능성도 있다. 주변에 자라는 관목이나 낙엽송과 같은 조림수종과의 경쟁에 밀려 사라질 가능성이 높다. 아울러 주변 채소밭이 확장되고 가옥이 증가하고 있어 앞으로 인위적인 간섭에 따라 훼손될 수 있다.

홍천 월굴의 서식지를 보전하려면 우선 풍혈이 지속적으로 냉기를 공급할 수 있도록 풍혈 출구에서 능선 부까지의 지형과 애추의 형상을 온전히 보존하여야 한다. 월굴이 자라는 주변의 다른 관목류나 인근 낙엽송과의 관계는 지속적인 관찰과 함께 제거작업과 같은 관리가 필요할 것이다. 월굴 자생지 주변의 토지이용은 기존의 채소 재배 등 최소한으로 제한하여 국지적인 기후변화가 나타나지 않도록 해야 한다. 현재 월굴이 자라는 풍혈 일대가 산림청에 의해 보호구역으로

설정되어 철망이 설치되어 있지만 인근 주민들에게 월굴과 풍혈지의 중요성을 교육하여 스스로 보전하도록 유도해야 한다. 동시에 월굴을 보전하기 위해서는 제초제 등 농약살포에도 주의가 필요하다.

월굴을 보전하기 위해서는 풍혈지역 일대를 보전을 위한 핵심지역(core zone)으로 정하고, 주변지역을 매입한 뒤 완충지역(buffer zone)으로 정하여 주변 환경과 경관을 입체적으로 관리해야 한다. 앞으로 설악산과 홍천에 분포하는 월굴에 대한 현지 내 조사와 실험실 내 실험을 병행한 개체생태학적 측면에서 학제적 연구가 요구된다.

4. 결론

극지·고산식물인 월굴이 어떤 환경에서 이동과 정착과정을 거쳐 북한의 고산대와 아고산대, 설악산 아고산대뿐만 아니라 홍천군 산록 애추의 풍혈 주위에 격리 분포하는지를 주로 기온조건과 관련하여 자연사적 측면에서 분석하였다.

월굴은 상록활엽성 관목으로 주극지역과 북방침엽수림대 주변에 자라는 극지·고산식물이며, 홍천은 월굴 분포의 세계적인 남한계선이며 하한계선의 하나이다. 강원도 홍천군 내면 방내리 사면의 애추 가장자리 풍혈에 자라는 월굴은 이곳이 플라이스토세 빙하기에 기후가 한랭해짐에 따라 북방의 추위를 피해 월굴 등 극지·고산식물들이 남하하여 살아남은 빙하기 피난처의 하나였음을 뜻한다. 홍천의 월굴은 빙하기에 남하하여 현재보다는 기온이 6.6℃ 정도 낮았던 기후환경에서 널리 분포하던 것으로 보인다.

후빙기에 들어 기온이 온난해짐에 따라 월굴은 다른 곳에서는 도태되고 여름 기온이 높지 않고 다른 식물과의 경쟁이 심하지 않은 풍혈의 국지적 환경을 피난처로 삼아 격리 분포하는 빙하기의 유존종이다. 즉 홍천의 풍혈이라는 국지적인 환경이 만든 서늘한 여름과 상대적으로 춥지 않은 겨울 기온조건을 활용하여 월굴은 이곳을 후빙기에도 피난처로 이용하고 있다.

월굴의 한반도 내 수직적 평균 분포범위는 하한계선

1,420m, 상한계선 1,816m 사이이고 설악산에서는 1,550~1,650m 사이 여름기온이 높지 않은 아고산대에 국한하여 격리 분포한다. 여름 최고기온에 민감한 월굴은 한반도 내에서는 북부와 중부의 고산대와 아고산대에 분포하며, 분포상 남한계선이자 하한계선으로 풍혈이 발달하여 여름 최고기온이 낮은 홍천군 내면 방내리 풍혈 일대에 국한하여 격리 분포하는 것으로 보인다. 월굴이 자라는 풍혈 일대는 홍천군 내면의 다른 곳과 비교하여도 기온이 1℃ 정도 낮고 여름 기온이 높지 않은 곳으로 좋아하는 월굴이 자라는데 유리하다.

홍천의 월굴은 풍혈이 만드는 높지 않은 여름 기온과 춥지 않은 겨울 기온 등 독특한 기후환경에 적응하여 살아남은 빙하기 유존종이다. 그러나 지구온난화에 따른 기온 상승에 따라 자생지에서 자체적으로 생리적인 스트레스로 인해 피해가 나타나거나, 다른 수종과의 경쟁에 밀려 사라질 운명을 맞을 수 있으므로 지속적인 모니터링과 다각적인 연구가 필요하다. 아울러 주변 식생의 천이 그리고 지역의 토지이용 변화에 따라 국지적인 환경변화가 발생하면 생육에 부정적인 영향을 줄 수 있으므로 이에 대한 대비가 필요하다.

謝辭

이 연구를 위한 현지조사와 자료 처리에 도움을 준 경희대학교 생물지리학과교실 이슬기, 임수경, 임원재, 박희나 제군에게 감사한다.

참고문헌

- 공우석, 1998, "한라산 고산식물의 분포 특성," 대한지리학회지, 33(2), 1~18.
- 공우석, 2000, "설악산 아고산대 식생과 경관의 지생태," 대한지리학회지, 35(2), 77~87.
- 공우석, 2002, "한반도 고산식물의 구성과 분포," 대한지리학회지, 37, 357~370.
- 공우석, 2005, "지구온난화에 취약한 지표식물 선정," 한국

- 기상학회지, 41(2~1), 263~273.
- 김용식 · 강기호 · 배준규 · 김중근, 1998, “설악산 국립공원 내설악지역의 희귀 및 멸종위기 식물,” 한국환경생태학회, 11(4), 407~414.
- 김진석 · 정재민 · 이병천 · 박재홍, 2006, “한반도 풍혈지의 종조성과 식물지리학적 중요성,” 한국식물분류학회지, 36(1), 61~89.
- 도봉섭 · 임록재, 1988, 식물도감, 과학출판사.
- 문순화 · 송기엽 · 이경서 · 현진오, 1997, 설악산의 꽃, 교학사.
- 박만규, 1942, “조선고산식물목록,” 조선박물학회잡지, 9권 33호, 1~12.
- 변희룡, 2003, “얼음골의 동계온풍과 하계결빙에 연관된 지하대류,” 대기, 13(1), 230~233.
- 변희룡 · 최기선 · 김기훈 · 田中博, 2004, “재약산 얼음골에 나타나는 온혈의 특징과 열적기구,” 한국기상학회지, 40(4), 29~40.
- 서민환 · 신영규 · 김정현 · 최태봉 · 노환춘 · 김태규 · 최광희 · 길현중 · 연명훈 · 이재호 · 김기대, 2006, 한반도 기후변화 진단지표 생물종 조사, 국립환경과학원.
- 연합뉴스, 2002, 2. 20.
- 오수영 · 박재홍, 2001, 한국 유관속 식물분포도, 아카데미서적.
- 이상태, 1997, 한국식물검색집, 아카데미서적.
- 이우철, 1996, 한국식물명고(I), 아카데미서적.
- 이유미, 2008, “월굴,” 주간한국, 2236호, 08. 18.
- 이영로, 2006, 새로운 한국식물도감 II, 교학사.
- 이창복, 1979, 대한식물도감, 향문사.
- 이창복, 1980, “설악산 지역의 희귀종 및 멸종위기식물,” 서울대학교 연승림보고서, 3, 197~201.
- 이창복 · 유종덕, 1984, 설악산의 특산식물 및 희귀식물, 설악산 학술조사보고서, 강원도, 169~191.
- 이춘녕 · 안학수, 1963, 한국식물명감, 법학사.
- 임록재, 1998, 조선식물지 제5권, 과학기술출판사.
- 정영호, 1989a, “한국의 고산식물,” 과학동아 12월호, 84~89.
- 정영호, 1989b, “우리나라 고산식물의 분포 특성,” 자연보존, 66, 29~38.
- 정태현, 1933, 조선삼림식물도설, 조선박물연구회.
- 이우철 · 정태현, 1965, “한국삼림식물대 및 적지적수론,” 성대논문집, 10, 329~435.
- 한겨레, 2005. 1. 27.
- 현진오, 1989a, “한국의 고산식물(1),” 월간 산, 236, 44~47.
- 현진오, 1989b, “한국의 고산식물(2),” 월간 산, 237, 12~15.
- 현진오, 1989c, “한국의 고산식물(4),” 월간 산, 239, 76~80.
- 현진오 · 김사홍, 2002, 설악산 생태여행, 따남.
- 中井猛之進, 1925, 朝鮮森林植物編, 3卷.
- Baskin, C. C., Milberg, P., Andersson, L., and Baskin, J. M., 2000, Germination studies of three dwarf shrubs(*Vaccinium*, Ericaceae) of Northern Hemisphere coniferous forests, *Canadian Journal of Botany*, 78(12), 1552-1560.
- Davis, A. N., Holloway, P., and Kruse, J., 2003, Insect visitors and potential pollinators of lingonberries, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus* in sub-arctic Alaska, *Acta Horticulturae*, 626, 441~446.
- Eriksson, O. and Froberg, H., 1996, “Windows of opportunity” for recruitment in long-lived clonal plants: experimental studies of seedling establishment in *Vaccinium* shrubs, *Canadian Journal of Botany*, 74, 1369-1374.
- Fernald, M. L., 1970, *Gray's Manual of Botany*, 8th ed., D. Van Nostrand Co., New York.
- Fernquist, I., 1977, Results of experiments with cowberries and blueberries in Sweden, *Acta Horticulturae*, 61, 295~300.
- Flora of Korea Editorial Committee, 2007, *The Genera of Vascular Plants of Korea*, Academy Publ. Co.
- Hall, I. V. and J. M. Shay, 1981, The biological flora of Canada, *Vaccinium vitis-idaea* L. var. *minus* Lodd., Supplementary Account, *Canadian Field-Naturalist*, 95(4), 434~464.
- Henry, C., 2003, Refuge for the Ice Age survivor, *Endangered Species Bulletin*, 28, 24~26.
- Hill, N. M. & Vander Kloet, S. P., 2005, Longevity of experimentally buried seed in *Vaccinium*: relationship to climate, reproductive factors and natural seed banks, *Journal of Ecology*, 93, 1167-1176.
- Holloway, P. S., 1981, Studies on vegetative and reproductive growth of lingonberry, *Vaccinium vitis-idaea* L., (Ph. D. Thesis.) Saint Paul, MN:

- University of Minnesota.
- Holloway, P. S., Van Veldhuizen, R. M., Stushnoff, C., and Wildung, D. W., 1982, Vegetative growth and nutrient levels of lingonberries grown in four Alaskan substrates, *Canadian Journal of Plant Science*, 62(4), 969-977.
- Hultén, E., 1958, The Amphi-Atlantic Plants and Their Phytogeographical Connections, Almqvist and Wiksell, Stockholm.
- Hultén, E., 1962, The Circumpolar Plants. I, Almqvist and Wiksell, Stockholm.
- Hultén, E., 1970, The Circumpolar Plants. II, Almqvist and Wiksell, Stockholm.
- Iokawa, Y. and Ishizawa, S., 2003, Vascular plants of wind-hole areas in Japan (1), *J. Journal of Phytogeography and Taxon*, 51, 13-26.
- Jeglum, J. K., 1971, Plant indicators of pH and water level in peatlands at Candle Lake, Saskatchewan, *Canadian Journal of Botany*, 49, 1661-1676.
- Kardell, L., 1986, Occurrence and berry production of *Rubus chamaemorus* L., *Vaccinium oxycoccus* L., *V. microcarpum* Turcz. & *V. vitis-idaea* on Swedish peatlands, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1(1), 125-140.
- Kolbek, J. and Kucera, M., 1989, *A Brief Survey of Selected Woody Species on North Korea (D.P.R.K)*, Botanical Institute, Czechoslovak Academy of Sciences, Czechoslovakia.
- Kong, W. S. and Watts, D., 1993, *The Plant Geography of Korea*, Kluwer Publ., The Netherlands.
- Kuchko, A. A., 1988, Bilberry and cowberry yields and the factors controlling them in the forests of Karelia, U.S.S.R., *Acta Botanica, Fennica*, 136, 23-25.
- Landolt, E., 1996, *Vaccinium vitis-idaea* subsp. *minus*, An overlooked circumpolar-arctic taxa of the Alps, *Anales Jardine de Botanique, Madrid*, 54, 277-284.
- Launert, E., 1981, *Edible and Medicinal Plants*, Hamlyn.
- Lee, K. S. and Kim, J. H., 1994, Primary succession on talus area at Mt. Kariwangsan, Korea, *Korea Journal of Ecology*, 21, 383-387.
- Nekola, J. C., 1999, Palaerefugia and neorefugia: the influence of colonization history on community pattern and process, *Ecology*, 80, 2459-2473.
- Ohwi, J., 1965, *Flora of Japan*, Washington, DC: Smithsonian Institution.
- Raatikainen, M. and Vanninen, I., 1988, The effects of the 1984-1985 cold winter on the bilberry and ligonberry yield in Finland, *Acta Botanica Fennica*, 136, 43-47.
- Ritchie, J. C., 1955, *Vaccinium vitis-idaea*, *Journal of Ecology*, 43(2), 701-708.
- Rook, E., 2002, Plants of the North, <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/flora.html>.
- Shevtsova, A., Haukioja, E., and Ojala, A., 1997, Growth response of subarctic dwarf shrubs, *Empetrum nigrum* and *Vaccinium vitis-idaea*, to manipulated environmental conditions and species removal, *Oikos*, 78(3), 440-458.
- Stang, E. J., Weis, G. G., and Klueh, J., 1990, Lingonberry: Potential new fruit for the northern United States, pp. 321-323. In: J. Janick and J. E. Simon (eds.), *Advances in New Crops*, Timber Press, Portland, OR.
- Tirmenstein, D., 1991, *Vaccinium vitis-idaea*, In: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fire Sciences Laboratory (2003, April). Fire Effects Information System.
- BWCA (Boundary Water Canoe Area), 2008, The natural history of the northwoods, <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/shrubs/vacciniumvit.html> (accessed Aug. 2008).
- eFloras. 2008, Flora of China, http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=2&taxon_id=200016732 (accessed Aug. 2008).
- PECC, 2008, Plant Ecophysiology and Climate Change Group, University of Helsinki, <http://www.helsinki.fi/bioscience/pecc> (accessed Aug. 2008).
- PFAF (Plants For A Future), 2008, <http://www.pfaf.org> (accessed Aug. 2008).

US FS (United States Forest Service), 2008a, Fire Effects Information System, <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/vacvit/all.html> (accessed Aug. 2008).

US FS(United States Forest Service), 2008b, Fire Effects Information System(FIES), <http://www.fs.fed.us/database/feis/plants/shrub/vacvit/all.html#DISTRIBUTION%20AND%20OCCURRENCE> (accessed Aug. 2008).

USDA ARS(United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service), 2008, Germplasm Resources Information Network(GRIN), <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41069> (accessed Aug. 2008).

Wikipedia, 2008, <http://en.wikipedia.org/wiki/Ericaceae> (accessed Aug. 2008).

ZipcodeZoo, 2008, http://zipcodezoo.com/Plants/V/Vaccinium_vitis-idaea.asp (accessed Aug. 2008).

<http://ipcp.edunet4u.net/~baikdoo/adventure>

<http://ko.pandapedia.com/wiki>

<http://plants.usda.gov>

<http://www.ecojournal.co.kr>

<http://www.eln.co.kr>

<http://www.encyber.com>

<http://www.fs.fed.us/database/feis>

<http://www.kma.go.kr>

<http://www.kna.go.kr>

<http://www.nature.go.kr>

교신: 공우석, 130-701, 서울특별시 동대문구 회기동 1 경희대학교 이과대학 지리학과(전화: 02-961-0548, 이메일: wskong@khu.ac.kr)

Correspondence: Woo-seok, Kong, Department of Geography, Kyunghee University, Hoegi-dong, Dongdaemun-gu, 130-701, Seoul, Korea(Phone: 82-2-961-0548, e-mail: wskong@khu.ac.kr)

최초투고일 08. 09. 08

최종접수일 08. 09. 27