

# 한반도 아고산지대내 기후변화 취약식물종의 식물계절성 변화 연구 - 덕유산 정상 지역을 중심으로 -

김혁진, 홍정기, 김상철, 오승환<sup>1</sup>, 김주환\*

경원대학교 생명과학과, <sup>1</sup>국립수목원

## Plant Phenology of Threatened species for Climate change in Sub-alpine zone of Korea - Especially on the Summit Area of Mt. Deogyusan -

Hyuk-Jin Kim, Jeong-Ki Hong, Sang Chul Kim, Seung Hwan Oh<sup>1</sup> and Joo-Hwan Kim\*

Department of Life Science, Kyungwon University, Seongnam 461-701, Korea

<sup>1</sup>Korea National Arboretum, Pocheon 487-821, Korea

**Abstract** - We investigated the plant phenology on the threatened species for climate change in the summit area of Mt. Deogyusan which is a representative sub-alpine zone in Korea. We had performed the monitoring survey of plant phenology on 38 species including 20 trees and 18 herbs from May 2009 to November 2010. The investigated phenological characteristics were five dates for leafing, flowering, floral abscission, autumn leaf colors and leaf abscission on each plant species in sub-alpine region. The climate data were measured from November 2009 to December 2010. The range of temperature was from 30.4 to -20.3 °C at Hyangjeokbong to Jungbong region, and the relative humidity was 100% to 3.4%. The leafing dates in 2010 were similar to 2009 or were 6-20 days delayed in most of the investigated species except *Veratrum oxysepalum* and *Sanguisorba hakusanensis* which showed 8 days earlier leafing dates in 2010. The biggest difference among phenological characters was found in flowering dates. The flowering dates of early Spring blooming species such as *Heloniopsis koreana*, *Rhododendron yedoense* for. *poukhanense* and *Viola orientalis* showed 13-20 days earlier in 2010, and the several summer flowering species as *Viburnum opulus* var. *calvescens*, *Smilacina japonica* and *Bupleurum longeradiatum* showed 6-10 days delay in 2010. The dates for floral abscission and autumn leaf colors in 2010 were delayed about 10-18 days, and leaf abscission dates were similar to 2009. The effects of climate change on the phenology for the threatened species in sub-alpine zones of Korea are occurring especially on flowering, floral abscission and autumn leaf colors.

**Key words** - Plant Phenology, Threatened plant, Climate change, Sub-alpine zone, Mt. Deogyusan

### 서 언

지구온난화로 인한 기후변화 현상은 우리 일상에 영향을 미치고 있는 당면한 문제이다. 전 세계적으로 일어나고 있는 지구온난화의 가장 큰 원인은 인위적으로 발생하는 CO<sub>2</sub> 농도의 증가에 있다(Kobayashi, 2006; Kim and You, 2010). 대부분 기후변화모델에서는 CO<sub>2</sub> 농도가 2배가 되면 지구의 평균 표면온도가 2~3°C 증가한다고 예측하고

있다(Enoch and Hurd, 1977). CO<sub>2</sub> 농도와 온도의 증가에 따른 지구온난화는 자연 생태계에 영향을 미쳐, 곤충의 서식지가 위도상 북상하고, 새의 산란시기 및 철새의 이동시기의 변화가 일어나고, 식물의 성장과 발달에 영향을 미쳐 꽃이나 잎의 발아 및 개화시기가 앞당겨지고 있다(Crick et al., 1997; Menzel, 2000; Ahas and Aasa, 2006). 최근 우리나라와 중국, 유럽, 북아메리카 등의 중위도 지역은 기온상승으로 봄철의 개화시기는 앞당겨지는 경향이 뚜렷한 반면에 가을철 단풍시기는 점차적으로 늦어지는 경향을 보이고 있다(Menzel and Fabian, 1999; Schwartz and

\*교신저자(E-mail) : kimjh2009@kyungwon.ac.kr

Chen, 2002; Walther *et al.*, 2002; Lee *et al.*, 2009).

기후변화에 따른 생물계절 변화 연구는 장기간의 모니터링을 통해 이루어지며, 계절변화연구는 최근 기후변화와 기온상승의 잠재적인 영향을 평가하는데 중요한 지표로 인식되고 있다(Sagarin and Micheli, 2001; Whitfield, 2001). 식물계절 조사는 기후변화가 식물에게 어떠한 영향을 미치는지를 평가하는 것으로 대중적이고 쉽게 인식될 수 있기 때문에 가장 효율적인 방법이며(Schwartz, 1999; Donnelly *et al.*, 2004), 식물의 개엽, 개화, 낙엽 등의 식물계절 시기는 매년 반복되기 때문에 지구온난화의 지표가 된다(He *et al.*, 2005; Sherry *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2009; Kim and You, 2010).

식물계절(phenology) 연구로는 봄 식물의 계절시기와 기온 사이의 상관관계에 관한 연구(Fitter *et al.*, 1995; Walkovszky, 1998; Sparks *et al.*, 2000)와 기후변화에 따른 벚꽃 등의 식물을 대상으로 한 개화시기 연구(Schwartz and Reiter, 2000; Ho *et al.*, 2006), CO<sub>2</sub> 농도와 온도 증가에 따른 개화시기 변화(Carter *et al.*, 1997) 등 다양한 연구가 이루어졌으나, 대부분의 연구가 봄철의 일부 시기 조사와 일부 종에 국한되어 있다. 한편, 온난화에 취약한 고산지대의 식물 중 다양성 변화에 대한 연구는 유럽의 알프스 산맥과 북아메리카의 록키산맥 일대에서 활발히 진행되고 있다(Grabherr *et al.*, 1994, 1997; Pauli *et al.*, 1996, 1999; Gottfried *et al.*, 1998, 2002; Körner, 1999).

본 연구의 조사지역인 덕유산 정상부의 아고산대(subalpine belt)는 삼림이 자라는 한계인 삼림한계선(forest line) 혹은 용재한계선(timber line)에서 키가 큰 나무가 나타나지 않는 교목한계선까지로 향적봉과 중봉 사이의 능선을 따라 분포한다. 구상나무, 가문비나무, 분비나무, 주목 등은 빙하기에 주극지역(Circumpolar)에서 피난해온 한대성 식물로 기온이 상승하면서 다른 식물들과의 경쟁에 밀려 북쪽이나 산정 쪽으로 쫓겨나 살아남은 종들이 기후환경에 적응 격리되어 분포하고 있다(Kong, 2005). 고산과 아고산 지역은 지형, 기후, 토양 등 비생물적인 조건이 열악하고 생태환경이 취약하여 외부 환경변화에 쉽게 영향을 받는다. 따라서 본 연구는 기후변화의 영향이 가장 잘 나타나는 덕유산 향적봉과 중봉 지역에 분포하는 기후변화에 취약한 식물종을 대상으로 식물계절 변화를 분석하고자 하고, 이에 따른 기후변화 취약식물종의 보전에 필요한 기본자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 재료 및 방법

### 조사지 개황

본 조사지역인 덕유산(1,614 m)은 소백산맥 줄기의 소백산과 지리산의 중간에 위치하며, 향적봉(1,614 m)을 주봉으로 하여 북서쪽으로 적상산(1,029 m), 남서쪽으로 중봉(1,595 m), 동엽령(1,320 m), 남덕유산(1,507 m)으로 길게 이어져 있다. 덕유산은 식물분포학상 중부아구와 남부아구에 속하며(Lee and Yim, 1978), 식생군계수준으로 보면 냉온대 중부와 냉온대 남부에 걸쳐있다(Yim, 1977). 남방계식물의 북방한계선 또는 북방계식물의 남방한계선이 되는 특이한 지역으로, 고도 1,300 m에서부터 한대성 침엽수인 구상나무(*Abies koreana*)와 주목(*Taxus cuspidata*)이 나타나기 시작하고 산정부근에서는 관목대가 형성되어 있다(Park *et al.*, 2005).

### 기상변화

기상측정은 기후변화 취약 산림식물종(Korea Forest Service, 2010)이 분포하는 장소에 기상장비(HOBO Pro v2)를 설치하여 기온변화추이를 조사하였으며, 기상장비는 향적봉·중봉과 동엽령 지역에 각각 설치하여 2009년 11월 말부터 2010년 12월 초까지 측정하였다.

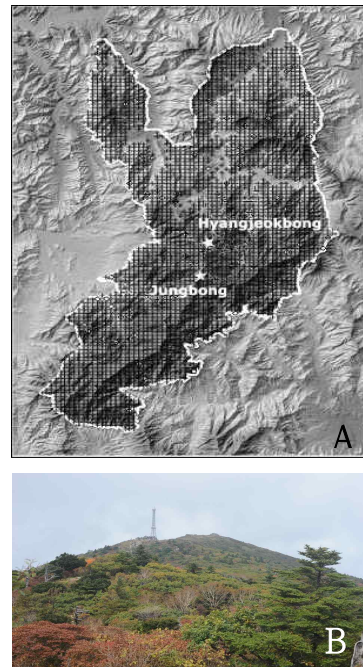


Fig. 1. The surveyed summit area and map of Mt. Deogyusan. A: Mt. Deogyusan B: Hyangjeokbong region.

식물계절 변화

덕유산 정상지역 일대를 2009년 5월부터 2010년 11월까지 조사하였다(Fig. 1). 식물계절 조사 식물은 각 조사구 내에서 정상적인 생육을 보이는 식물을 대상으로 지속적인 관찰을 위해 인식용 표찰을 부착하였으며, 선정된 조사목의 계절 변화와 조사지 접근성을 고려하여 개엽, 개화, 결실, 단풍, 낙엽시기조사를 실시하였다. 매 현장조사시 선행 연구 검토결과를 토대로 조사 기준에 따라 꽃과 잎에 대한 변화현상을 관찰하고 그 변화현상이 나타나는 비율을 기록

하였다.

조사 대상 종은 기후변화 취약 산림식물종(Korea Forest Service, 2010)을 우선으로 조사하였으며, 목본식물 20종(신갈나무, 사스레나무, 철쭉, 산철쭉, 오갈피나무, 개벚나무, 청괴불나무, 함박꽃나무, 물푸레나무, 고로쇠나무, 매발톱나무, 당단풍나무, 시달나무, 호랑버들, 층층나무, 백당나무, 산앵도나무, 오미자, 마가목, 부계꽃나무)과 초본식물 18종(처녀치마, 골잎원추리, 박새, 산오이풀, 나도옥잠화, 산꼬리풀, 노랑제비꽃, 범꼬리, 속단, 꽃쥐손이, 눈

Table 1. The list of the plant species in the investigated area

No	Family Name	Scientific Name	Korean Name
1	Fagaceae	<i>Quercus mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	신갈나무
2	Betulaceae	<i>Betula ermanii</i> Cham.	사스레나무
3	Liliaceae	<i>Heloniopsis koreana</i> Fuse, N.S.Lee & M.N.Tamura	처녀치마
4	Ericaceae	<i>Rhododendron schlippenbachii</i> Maxim.	철쭉
5	Liliaceae	<i>Hemerocallis coreana</i> Nakai	골잎원추리
6	Ericaceae	<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i> (H.Lév.) Sugim.	산철쭉
7	Araliaceae	<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i> (Rupr.&Maxim.) S.Y.Hu	오갈피나무
8	Rosaceae	<i>Prunus verecunda</i> (Koidz.) Koehne	개벚나무
9	Caprifoliaceae	<i>Lonicera subsessilis</i> Rehder	청괴불나무
10	Magnoliaceae	<i>Magnolia sieboldii</i> K.Koch	함박꽃나무
11	Liliaceae	<i>Veratrum oxysepalum</i> Turcz.	박새
12	Oleaceae	<i>Fraxinus rhyrachophylla</i> Hance	물푸레나무
13	Aceraceae	<i>Acer pseudosieboldianum</i> (Pax) Kom.	당단풍나무
14	Berberidaceae	<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	매발톱나무
15	Aceraceae	<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i> (Maxim.) Ohashi	고로쇠나무
16	Aceraceae	<i>Acer komarovii</i> Pojark.	시달나무
17	Rosaceae	<i>Sanguisorba hakusanensis</i> Makino	산오이풀
18	Liliaceae	<i>Clintonia udensis</i> Trautv. & C.A.Mey.	나도옥잠화
19	Scrophulariaceae	<i>Veronica rotunda</i> var. <i>subintegra</i> (Nakai) T.Yamaz.	산꼬리풀
20	Violaceae	<i>Viola orientalis</i> (Maxim.) W.Becker	노랑제비꽃
21	Salicaceae	<i>Salix caprea</i> L.	호랑버들
22	Cornaceae	<i>Cornus controversa</i> Hemsl. ex Prain	층층나무
23	Caprifoliaceae	<i>Viburnum opulus</i> var. <i>calvescens</i> (Rehder) Hara	백당나무
24	Ericaceae	<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i> (Nakai) Kitam.	산앵도나무
25	Polygonaceae	<i>Bistorta manshuriensis</i> (Petrov ex Kom.) Kom.	범꼬리
26	Labiatae	<i>Phlomis umbrosa</i> Turcz.	속단
27	Geraniaceae	<i>Geranium eriostemon</i> Fisher ex DC.	꽃쥐손이
28	Rosaceae	<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i> (Maxim.) H.Hara	눈개승마
29	Schisandraceae	<i>Schisandra chinensis</i> (Turcz.) Baill.	오미자
30	Liliaceae	<i>Smilacina japonica</i> A.Gray	풀솜대
31	Rosaceae	<i>Sorbus commixta</i> Hedlund	마가목
32	Compositae	<i>Parasenecio auriculatus</i> var. <i>kamtschaticus</i> (Maxim.) H.Koyama	나래박쥐나물
33	Umbelliferae	<i>Bupleurum longeradiatum</i> Turcz.	개시호
34	Scrophulariaceae	<i>Pedicularis resupinata</i> L.	송이풀
35	Aceraceae	<i>Acer ukurunduense</i> Trautv. & C.A.Mey.	부계꽃나무
36	Compositae	<i>Symurus deltoides</i> (Aiton) Nakai	수리취
37	Scrophulariaceae	<i>Scrophularia koraiensis</i> Nakai	토현삼
38	Compositae	<i>Saussurea neoserrata</i> Nakai	산골취

개승마, 풀솜대, 개시호, 나래박쥐나물, 송이풀, 수리취, 토현삼, 산골취)을 포함하여 총 38종을 선정하였다(Table 1).

### 결 과

#### 조사지점별 환경특성

조사지점은 덕유산의 향적봉-중봉 구간의 아고산대 지역으로 해발고도는 1,538~1,606 m 사이에 위치하며, 경사도는 5~20°, 노암율은 0~20% 사이의 범위에 속하며, 지형은 산등성이와 산정, 토양은 갈색산림토로 나타났다(Table 2).

#### 기상자료

기상 자료는 2009년 10월 말부터 2010년 11월 초까지 측정되었으며 조사 결과, 기온은 향적봉-중봉 지역에서 최대가 30.4°C, 최소가 -20.3°C로 조사되었으며, 상대습도는 최고 100%, 최소 3.4%로 조사되었다. 월평균기온이 가장 높을 때는 2010년 8월 19.1°C로 조사되었으며, 가장 낮을 때는 2010년 1월 -7.8°C로 나타났다(Fig. 2). 월평균 상대습도는 최고는 2010년 8월 99.8%로 조사되었으며, 최저는 2010년 5월 71.2%로 가장 낮았다(Fig. 3).

#### 식물계절 변화

본 연구는 기후변화 취약 산림식물종(Korea Forest

Service, 2010)을 중심으로 기후변화에 취약한 식물종을 대상으로 식물계절 변화 모니터링을 실시하였으며, 식물계절은 개화, 낙화, 개엽, 단풍, 낙엽 등 5개의 특성으로 구분

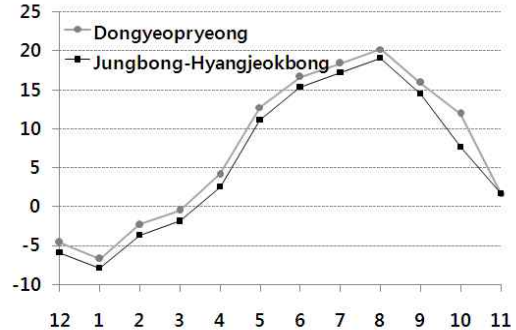


Fig. 2. Changes of monthly mean temperature in Mt. Deogyusan.

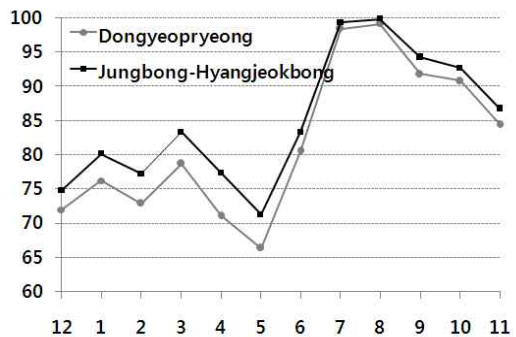


Fig. 3. Changes of monthly mean relative humidity in Mt. Deogyusan.

Table 2. Environmental indices of investigated area in Mt. Deogyusan

Site number	1	2	3	4	5	6
GPS point	N 35°51'48" E 127°44'41"	N 35°51'33" E 127°44'45"	N 35°51'46" E 127°44'39"	N 35°51'42" E 127°44'41"	N 35°51'15" E 127°44'48"	N 35°51'07" E 127°44'49"
Major species	QUM*	RHS, ACP	FRR, RHY	ABK, TAC	ABK, TAC, ACU	FRR, RHY
Altitude (m)	1538	1606	1556	1557	1573	1590
Slope (°)	5	20	10	5	5	15
Area (m×m)	20×15	10×10	15×15	20×15	20×20	10×10
Tree height (m)	6	1.5	6	6.5	10	1.5
Tree cover (%)	90%	60%	95%	90%	95%	70%
Bare rock (%)	5	10	0	0	20	5
Topography	ridge	summit	ridge	ridge	ridge	summit
Number of species	33	16	28	26	28	16

\*QUM: *Quercus mongolica*, RHS: *Rhododendron schlippenbachii*, ACP: *Acer pseudosieboldianum*, FRR: *Fraxinus rhynchophylla*, RHY: *Rhododendron yedoense* for. *poukhanense*, ACU: *Acer ukurunduense*, ABK: *Abies koreana*, TAC: *Taxus cuspidata*.

Table 3. Data of plant phenology for investigated species in Mt. Deogyusan

Taxa	leafing		flowering		floral abscission		red coloring of leaves		leaf abscission	
	*2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
<i>Quercus mongolica</i>	<sup>+</sup> 5/23	5/29(+6)	5/23	-	6/18	-	9/23	10/2(+9)	10/14	10/16(+2)
<i>Betula ermanii</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	-	-	-	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Heloniopsis koreana</i>	-	5/15	5/23	5/1(-22)	6/2	5/29(-4)	9/17	10/16(+29)	-	-
<i>Rhododendron schlippenbachii</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(+10)	7/4	7/2(-2)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Hemerocallis coreana</i>	5/23	5/15(-8)	7/4	7/2(-2)	7/20	7/22(+2)	9/17	9/18(+1)	9/29	10/2(+3)
<i>Rhododendron yedoense</i> for. <i>poukhanense</i>	5/23	5/29(+6)	5/23	5/15(-8)	6/18	5/29(-20)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i>	5/23	6/12(+20)	7/20	7/22(+2)	8/17	8/13(-4)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Prunus verecunda</i>	-	5/29	-	5/29	-	6/12	-	10/2	-	10/16
<i>Lonicera subsessilis</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(+10)	6/18	7/2(+14)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Magnolia sieboldii</i>	-	5/29	-	7/2	-	7/22	-	10/2	-	10/16
<i>Veratrum oxysepalum</i>	5/23	5/15(-8)	7/4	7/2(-2)	7/20	7/22(+2)	7/20	7/22(+2)	8/17	8/13(-4)
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(-10)	-	-	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	5/23	5/15(-8)	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(+10)	9/17	9/18(+1)	9/29	10/2(+3)
<i>Berberis amurensis</i>	5/23	5/29(+6)	5/23	6/12(+20)	6/2	7/2(+30)	9/17	10/2(+15)	10/14	10/16(+2)
<i>Acer pictum</i> subsp. <i>mono</i>	5/23	5/29(+6)	-	-	-	-	9/17	10/2(+15)	10/14	10/16(+2)
<i>Acer komarovii</i>	5/23	5/29(+6)	5/23	6/12(+20)	6/2	7/2(+30)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Sanguisorba hakusanensis</i>	5/23	5/15(-8)	8/20	8/7(-13)	9/17	9/4(-13)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Clintonia udensis</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(+10)	6/18	7/2(+14)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Veronica rotunda</i> var. <i>subintegra</i>	5/23	5/29(+6)	8/17	8/7(-10)	9/17	8/13(-34)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Viola orientalis</i>	-	5/15	5/23	5/15(-8)	6/18	6/12(-6)	7/4	7/2(-2)	8/17	9/4(+18)
<i>Salix caprea</i>	-	5/29	-	5/15	-	5/29	-	10/2	-	10/16
<i>Cornus controversa</i>	-	5/29	-	7/2	-	7/22	-	10/2	-	10/16
<i>Viburnum opulus</i> var. <i>calvescens</i>	5/23	5/29(+6)	6/18	7/2(+14)	7/4	7/22(+18)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Vaccinium hirtum</i> var. <i>koreanum</i>	5/23	5/29(+6)	6/18	6/12(-6)	7/4	7/2(-2)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Bistorta manshuriensis</i>	5/23	6/12(+20)	7/4	7/2(-2)	-	-	8/17	8/13(-4)	9/17	8/13(-35)
<i>Phlomis umbrosa</i>	6/2	5/29(-4)	7/20	8/7(+18)	8/17	9/4(+18)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/2(-12)
<i>Geranium eriostemon</i>	6/2	5/29(-4)	6/18	7/2(+14)	7/4	7/22(+18)	8/17	8/7(-10)	9/17	10/2(+15)
<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i>	6/2	5/29(-4)	6/18	6/12(-6)	7/4	7/2(-2)	8/17	7/22(-26)	9/17	9/18(+1)
<i>Schisandra chinensis</i>	6/2	5/29(-4)	6/18	6/12(-6)	-	7/2	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Smilacina japonica</i>	5/23	5/29(+6)	6/2	6/12(+10)	6/18	7/2(+14)	9/29	9/18(-11)	10/14	9/18(-26)
<i>Sorbus commixta</i>	6/2	5/29(-4)	6/2	6/12(+10)	6/18	7/2(+14)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/16(+2)
<i>Parasenecio auriculatus</i> var. <i>kamtschaticus</i>	-	5/29	7/4	-	7/20	-	8/17	10/2(+46)	9/17	10/16(+29)
<i>Bupleurum longeradiatum</i>	-	5/15	7/20	8/7(+18)	8/17	9/4(+18)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/2(-12)
<i>Pedicularis resupinata</i>	-	5/29	7/20	8/13(+24)	9/17	9/18(-1)	9/29	10/2(+3)	10/14	10/2(-12)
<i>Acer ukurunduense</i>	-	5/29	6/18	6/12(-6)	7/4	7/2(-2)	9/17	10/2(+15)	10/14	10/16(+2)
<i>Synurus deltoides</i>	7/4	7/2(-2)	7/20	8/13(+24)	8/17	9/4(+18)	9/17	10/2(+15)	10/14	10/16(+2)
<i>Scrophularia koraiensis</i>	7/4	7/2(-2)	7/4	8/7(+34)	7/20	9/4(+46)	9/17	10/2(+15)	9/29	10/16(+17)
<i>Saussurea neoserrata</i>	-	7/2	8/17	9/4(+18)	9/17	9/18(+1)	9/29	10/16(+17)	10/14	10/16(+2)

\* year, <sup>+</sup>X/Y : X-month Y-day.

하여 변화를 기록하였으며, 각 특성은 2009년과 2010년도로 구분하여 분석하였다(Table 3).

덕유산 향적봉과 중봉지역의 개엽시기를 조사한 결과 박새, 산오이풀 등을 제외한 대부분의 종들은 전년도에 비해 비슷하거나 6일~20일 정도 늦게 나타났다. 개화시기는 식물계절 변화 중 가장 큰 차이를 보였으며, 이른 봄에 개화하는 처녀치마, 산철쭉, 노랑제비꽃은 13일~20일 빠른 것으로 관찰되었으며, 늦은 봄과 여름에 개화하는 백당나무, 풀솜대, 개시호 등은 6일~10일 늦은 것으로 나타났다. 낙화시기와 단풍시기는 10일~18일 늦은 것으로 나타났고, 낙엽시기는 전년도와 유사한 경향성을 보였다.

### 개엽

분석 결과 전체 지표식물 중 골잎원추리, 박새, 당단풍나무, 산오이풀 등은 2009년에 비하여 2010년의 개엽시기가 8일 정도 빠른 것으로 조사되었으며, 속단, 꽃쥐손이, 눈개승마, 오미자, 마가목, 수리취, 토현삼은 전년도와 비슷하게 나타났고, 신갈나무, 사스래나무, 산철쭉, 철쭉, 물푸레나무, 매발톱나무, 고로쇠나무, 시닥나무, 나도옥잠화, 산꼬리풀, 백당나무, 산앵도나무, 풀솜대는 6일 늦게, 오갈피나무, 범꼬리 등은 20일 정도 개엽시기가 늦어진 것으로 조사되었다(Table 3).

### 개화

개화시기는 2009년과 2010년의 식물계절 변화 중 가장 큰 차이를 보였으며, 전체 지표식물 중 처녀치마, 산오이풀은 개화시기가 전년도에 비해 13일~20일 정도 빠른 것으로 조사되었으며, 산철쭉, 산꼬리풀, 노랑제비꽃, 산앵도나무, 눈개승마, 오미자, 부계꽃나무는 6일~8일 정도 빠른 것으로, 골잎원추리, 오갈피나무, 박새, 범꼬리는 전년도와 비슷하게 나타났고, 철쭉, 청피불나무, 물푸레나무, 당단풍나무, 나도옥잠화, 백당나무, 속단, 꽃쥐손이, 풀솜대, 마가목은 6일~10일 늦게, 매발톱나무, 시닥나무, 개시호, 송이풀, 수리취, 토현삼은 14일~34일 정도 개화시기가 늦어진 것으로 조사되었다(Table 3).

### 낙화

낙화시기는 산꼬리풀, 산철쭉, 산오이풀을 제외한 대부분의 개체는 비슷하거나 2일~18일 정도 늦게 낙화되었다. 처녀치마, 철쭉, 골잎원추리, 오갈피나무, 박새, 산앵도나

무, 눈개승마, 송이풀, 부계꽃나무는 전년도와 비슷하게 나타났고, 청피불나무, 단당풍나무, 나도옥잠화, 속단, 꽃쥐손이, 풀솜대, 마가목, 개시호, 수리취는 10일~18일 늦게, 매발톱나무, 시닥나무, 백당나무, 토현삼은 30일~46일 정도 낙화시기가 늦어진 것으로 조사되었다(Table 3).

### 단풍

단풍시기는 꽃쥐손이, 풀솜대를 제외한 대부분의 개체는 2010년도의 단풍시기가 비슷하거나 3일~15일 정도 늦은 것으로 조사되었으며, 골잎원추리, 산철쭉, 오갈피나무, 박새, 물푸레나무, 산앵도나무 등은 전년도와 비슷하게 나타났고, 물푸레나무, 단당풍나무는 3일~9일 늦게, 나도옥잠화, 속단, 꽃쥐손이, 풀솜대, 마가목, 개시호, 수리취, 시닥나무, 백당나무, 토현삼은 15일~17일 정도 늦어진 것으로 조사되었다(Table 3).

### 낙엽

분석 결과 범꼬리, 속단, 풀솜대, 송이풀, 개시호를 제외한 대부분은 낙엽시기가 전년도와 비슷한 것으로 나타났으며, 철쭉, 시닥나무, 산오이풀, 토현삼은 15일~17일 정도 낙엽시기가 늦어진 것으로 조사되었다(Table 3).

## 고 찰

식물의 개엽 및 개화에 영향을 주는 환경인자는 토양, 온도, 수분, 유전 등 다양한 것으로 알려져 있다. 봄 식물의 계절변화는 겨울과 봄철의 온도가 가장 민감한 요인이며, 겨울철의 휴면 기간이 끝난 이후의 기온에 영향을 받는다(Lechowicz, 1995; Chmielewski and Rotzer, 2001). 고산대와 아고산대에 고립되어 분포하는 종, 분포 범위가 좁거나 분포의 한계선에 자라는 종, 섬에 자라는 종, 기후 변화에 민감한 종 등 이른바 기후변화 취약종들은 기온이 상승하면서 생육에 어려움을 겪게 된다(Kong, 1998). 특히, 고산·아고산대 지역의 봄 식물 계절변화는 기온의 영향을 많이 받는다고 알려져 있다(Lee and Kim, 2007).

개엽시기 조사결과 전체적으로 2009년 봄철에 비하여 2010년도에 잦은 기상변화와 5월 초까지 정상부에 눈이 남아 있어 식물계절 변화에 영향을 미친 것으로 보인다. 구등(2001)의 연구에서 구상나무는 4월에 생장이 시작하지만 기온이 낮을 경우에는 지면이 얼어 있어 땅속의 수분을

제대로 흡수하지 못하여 생장이 나빠지는 것으로 나타났다. 이 처럼 생육지에서 5월초까지 녹지 않은 눈은 철쭉, 청괴불나무 등의 생장을 억제하여 개화시기가 늦어진 것으로 생각되며, 반대로 5월말~6월초에 생장이 시작되는 부계꽃나무, 눈개승마 등은 얼어있던 눈이 녹으면서 생장에 필요한 수분 공급량이 많아져 개화시기를 촉진시킨 것으로 생각된다. 이른 봄에 개화하는 식물일수록 늦겨울에서 이른 봄의 기온 변화에 영향을 많이 받으며, 오갈피나무, 박새, 범꼬리와 같이 여름에 개화하는 식물은 봄철 기온변화의 영향을 상대적으로 적게 받는 것으로 판단된다. 단풍시기와 낙엽시기는 2009년과 2010년의 짧은 조사기간으로 인해 정확한 경향성은 파악하기 힘들지만, 단풍은 8월~10월초 까지 기온변화 폭이 작아 시기가 전년도에 비해 1~2주 늦어진 것으로 생각되며, 낙엽은 10월말~11월초에 기온이 급격하게 낮아지면서 전년도와 유사한 변화 시기를 보인 것으로 판단된다.

향후 본 조사지역과 같은 아고산지대에서 기후변화에 따른 식물계절 변화 모니터링을 장기간 지속적으로 수행된다면, 기후변화와 식물계절 변화 차이를 보다 명확하게 밝힐 수 있을 것으로 생각된다. 또한, 기후변화 취약종들을 모델로 한 기후변화에 대응하는 식물 종 보전전략 등을 수립하는데, 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 적 요

본 연구는 한반도내 아고산지대인 덕유산 정상지역 일대에 분포하는 기후변화 취약식물종인 목본식물 20종, 초본식물 18종 총 38종을 대상으로 2009년 5월부터 2010년 11월까지 식물계절 변화 모니터링을 실시하였다. 조사식물은 개엽, 개화, 낙화, 단풍, 낙엽 등 5개의 특성으로 구분하여 기후변화에 따른 아고산지대내 기후변화 취약종의 식물계절 변화를 분석하였다.

기상 자료는 2009년 11월 말부터 2010년 12월 초까지 측정되었으며 조사 결과, 기온은 향적봉-중봉 지역에서 최대가 30.4℃, 최소가 -20.3℃로 조사되었으며, 상대습도는 최고 100%, 최소 3.4%로 조사되었다.

덕유산 향적봉과 중봉지역의 개엽시기를 조사한 결과 박새, 산오풀 등을 제외한 대부분의 종들은 비슷하거나 전년도에 비해 6~20일 정도 늦게 나타났다. 개화시기는 식물계절 변화 중 가장 큰 차이를 보였으며, 이른 봄에 개화하

는 처녀치마, 산철쭉, 노랑제비꽃은 2차년도에 13일~20일 빠른 것으로 관찰되었으며, 늦은 봄과 여름에 개화하는 백당나무, 풀썩대, 개시호 등은 2차년도에 6일~10일 늦은 것으로 나타났다. 낙화시기와 단풍시기는 전년도에 비해 10일~18일 늦은 것으로 나타났고, 낙엽시기는 전년도와 유사한 경향성을 보였다. 본 연구결과 기후변화의 영향이 한반도 아고산지대에 분포하는 기후변화 취약종들에게 상당히 미치고 있는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 논문은 기후변화 취약산림식물종 보전·적응사업의 연구비(국립수목원, 산림청)에 의해 수행되었습니다.

## 인용문헌

- Ahas, R. and A. Aasa. 2006. The effects of climate change on the phenology selected Estonian plant, bird and fish populations. *Int. J. Biometeorol.* 51:17-26.
- Carter, E.B., M.K. Theodorou and P. Morris. 1997. Responses of *Lotus corniculatus* and drought on growth and plant development. *New Phytol.* 126:245-253.
- Chmielewski, F.M. and T. Rotzer. 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agr. Forest Meteorol.* 108:101-112.
- Crick, H.Q.P., C. Dudley, D.E. Glue and D.L. Thomson. 1997. UK birds are laying eggs earlier. *Nature* 388:526.
- Donnelly, A., M.B. Jones and J. Sweeney. 2004. A review of indicators of climate change for use in Ireland. *Int. J. Biometeorol.* 49:1-12.
- Enoch, H.Z. and R.G. Hurd. 1977. Effect of light intensity carbon dioxide concentration and leaf temperature on gas exchange of spray caenation plants. *J. Exp. Bot.* 28:84-95.
- Fitter A.h., R.S.R. Fitter, I.T.B. Harris and M.H. Williamson. 1995. Relationship between first flowering data and temperature in the flora of a locality in central England. *Funct. Ecol.* 9:55-60.
- Gottfried, M., H. Pauli and G. Grabherr. 1998. Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: A new view of the alpine-nival ecotone. *Arctic Alpine Res.* 30:207-221.
- Gottfried, M., H. Pauli, K. Reiter and G. Grabherr. 2002. Potential effects of climate change on alpine and nival plants in the Alps. *In* Körner, C. and E. M. Spehn, (eds.).

- Mountain Biodiversity-A Global Assessment-. Parthenon Publishing, London. pp. 213-223.
- Grabherr, G., M. Gottfried and H. Pauli. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369:448.
- \_\_\_\_\_. 1997. The high mountain ecosystems of the Alps. *In* Wielgolaski, F. E. (ed.). *Polar and Alpine Tundra, Ecosystems of the World 3*. Elsevier. Amsterdam. pp. 97-121.
- He, J.S., K.S. Wolfe-Bellin and F.A. Bazzaz. 2005. Leaf-level physiology, biomass, and reproduction of *Phytolacca americana* under conditions of elevated CO<sub>2</sub> and altered temperature regimes. *Int. J. Plant Sci.* 166(4):615-622.
- Ho, C.H., E.J. Lee, I. Le and S.J. Jeong. 2006. Earlier spring in seoul, Korea. *Int. J. Climatol.* 26:2117-2127.
- Kim, H.R and Y.H. You. 2010. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on the response of seed germination, phenology and leaf morphology of *Phytolacca insularis* (Endemic species) and *Phytolacca americana* (Alien species). *Korean J. Env. Eco.* 24(1):62-68.
- Kobayashi, N. 2006. Global Warming and Forest Business. Bomundang. pp. 21-27.
- Kong, Woo-Seok. 1998. Specoes composition and distribution of Korean alpine plant. *Korean J. Geogr.* 37(4):357-370.
- \_\_\_\_\_. 2005. Selection of vulnerable indicator plants by global warming. *Asia-Pac. J. Atmos. Sciences* 41(2-1): 263-273.
- Korea Forest Service. 2010. Manual of Conservation Project of Threatened Plants for Climate Change. Korea. pp. 3-45 (in Korean).
- Körner, C. 1999. *Alpine Plant Life: Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems*. Springer-Verlag, Berlin. p. 343.
- Lechowicz, M.J. 1995. Seasonality of flowering and fruiting in temperature forest trees. *Canadian J. Bot.* 73:175-182.
- Lee, D.K. and J.U. Kim. 2007. Vulnerability assessment of sub-alpine vegetations by climate change in Korea. *J. Korean Env. Res. Tech.* 10(6):110-119 (in Korean).
- Lee, K.M., K.W. Tae and S.H. Lee. 2009. A study on plant phenological trends in South Korea. *Korean J. Reg. Geo.* 15(3):337-350 (in Korean).
- Lee, W.C. and Y.J. Yim. 1978. Studies on the distribution of vascular plants in the Korean Peninsula. *Korean J. Plant Taxon.* 8:1-33 (in Korean).
- Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *Int. J. Biometeorol.* 44:76-81.
- Menzel, A. and P. Fabian. 1999. Growing season extended in Europe. *Nature* 397:659-663.
- Park, K.W., Y.H. Kwon, K. Choi, S.H. Oh, D.K. Kim, J.H. Tho, K.H. Tae and J.H. Kim. 2005. A floristic study on the economic plants of Deogyusan National Park Area. *Korean J. Plant Res.* 18(1):32-56 (in Korean).
- Pauli, H., M. Gottfried and G. Grabherr. 1996. Effects of climate change on mountain ecosystems - upward shifting of alpine plants -. *Glob. Warm. Int. Crt. M.* 8:382-390.
- \_\_\_\_\_. 1999. Vascular plant-distribution patterns at the low-temperature limits of plant life - the alpine-nival ecotone of Mount Schrankogel (Tyrol, Austria). *Phytocoenologia* 29:297-325.
- Sagarin, R. and F. Micheli. 2001. Climate change in non-traditional data sets. *Science* 294:811.
- Schwartz, M.D. 1999. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *Int. J. Biometeorol* 42:113-118.
- Schwartz, M.D. and B.E. Reiter. 2000. Changes in North American spring. *Int. J. Climatol.* 20:929-932.
- Schwartz, M.D. and X. Chen. 2002. Examining the onset of spring in China. *Clim. Res.* 21:157-164.
- Sherry, R.A., X. Zhou, S. Gu, J.A. Arnone III, D.S. Schimel, P.S. Verburg, L.L. Wallace and Y. Luo. 2007. Divergence of reproductive phenology under climate warming. *PNAS* 104(1):198-202.
- Sparks, T.H., Jeffree, E.P. and C.E. Jeffree. 2000. An examination of the relationship between flowering time and temperature at the national scale using long-term phenological records from the UK. *Int. J. Biometeorol.* 44:82-87.
- Walkovszky, A. 1998. Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *Int. J. Biometeorol.* 41:155-160.
- Walther, G.R., E. Poset, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T.J.C. Beebee, J.M. Fromentin, O. Hoegh-Guldberg and F. Bairlein. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 461:389-395.
- Whitfield, J. 2001. Climate change data: the budding amateurs. *Nature* 414:578-579.
- Yim, Y.J. 1977. Distribution of forest vegetation and climate in Korean Peninsula. IV Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Japanese J. Ecol.* 27:269-278.
- Koo, K.A., W.K. Park and W.S. Kong. 2001. Dendrochronological analysis of *Abies koreana* at Mt. Halla, Korea: Effects of climate change on the growths. *J. Ecol. Field Biol.* 23(5):281-288 (in Korean).

(접수일 2011.7.11; 수정일 2011.8.8; 채택일 2011.9.6)