

ORIGINAL ARTICLE

버드나무류 (*Salix* spp.)의 계절학적 특성과 주요 기상요인 상관분석

김성보¹⁾ · 김지윤¹⁾ · 임란영¹⁾ · 도윤호¹⁾ · 박희순^{1),2)} · 주기재¹⁾ · 김구연^{1)*}

¹⁾부산대학교 생명과학과, ²⁾부산광역시 낙동강하구에코센터

Correlation Analysis between Phenology of *Salix* spp. and Meteorological Factors

Seong-Bo Kim¹⁾, Ji Yoon Kim¹⁾, Ran-Young Im¹⁾, Yuno Do¹⁾, Hee-Sun Park^{1),2)}, Gea-Jae Joo¹⁾, Gu-Yeon Kim^{1)*}

¹⁾Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²⁾Nakdong Estuary Eco Center, Busan 604-020, Republic of Korea

Abstract

The objective of this study was to analyze correlation between phenological characteristics of *Salix* spp. and meteorological factors in the Upo wetlands. Phenology of *Salix subfragilis* Andersson and *Salix chaenomeloides* Kimura was monitored from 2007 to 2012. Meteorological variables were monitored by Korea Meteorological Administration (Hap-chon). Average date of flowering, fruiting, seed dispersion was 86, 113, 136 days for *S. subfragilis* and 112, 140, 164 days for *S. chaenomeloides* as Julian days. Flowering of *S. subfragilis* and *S. chaenomeloides* were correlated with daily mean air temp. in March ($r=-0.92$, $r=-0.85$, $p<0.05$). Fruiting of *S. subfragilis* was correlated with total precipitation between Jan and March of previous year ($r=-0.90$, $p<0.01$), however, the fruiting of *S. chaenomeloides* was highly correlated with max. temp. in Jan of previous year ($r=0.99$, $p<0.01$). Seed dispersion of both species is correlated with min. temp. in Feb. Phenology monitoring will contribute to understanding *Salix* spp. response against climate change.

Key words : Phenology, *Salix* spp., Upo wetlands

1. 서 론

생물계절학 (Phenology)은 생물이 서식 환경에 반응하여 나타나는 생활사의 반복되는 현상으로 계절의 변화는 그 지역에 서식하고 있는 생물의 분포와 생육 특성 등에 영향을 미친다 (Badeck 등, 2004). 생물계절학은 생물발달현상과 기후요소 사이의 상관관계를 이용하여 기후변화를 인지하고, 환경 변화에 대한 대

상종의 반응을 관찰하며 평가하는데 적용 되고 있다 (Sparks 등, 2000). 스페인과 영국의 경우 16세기부터 장기적인 모니터링 방법으로 생물계절학에 대한 연구가 진행되어 왔고 최근에는 장기 연구 자료를 기후변화와 연계하여 취약성 평가 및 적응대책수립에 이용하고 있다 (Sparks 등, 2000; Gordo와 Sanz, 2009; Mawdsley 등, 2009; Heller와 Zavaleta, 2009). 우리나라의 경우 기후변화 취약식물종을 분류하고 아고산

Received 25 April, 2013; Revised 14 June, 2013;

Accepted 19 June, 2013

*Corresponding author : Gu-Yeon Kim, Department of Biological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Korea
Phone: +82-51-510-2258
E-mail: kimguyeon@pusan.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

지대를 비롯한 산림생태계에서 식물계절변화를 연구하고 있다 (Kim 등, 2011; Korea Forest Service, 2011).

일반적으로 봄철 계절학적 시기의 시작은 계절현상이 나타나기 전 월의 기온과 가장 상관성이 높은 것으로 알려져 있다(Menzel, 2002). 높은 기온은 식물의 발달을 앞당기는 것으로 보고되었고 일조량도 식물계절현상에 영향을 미치는 것으로 나타났으며 (Saxe 등, 2001), 강수와 영양소 그리고 토양의 물리적 특성이 봄철계절현상에 상대적으로 영향을 미치는 정도가 낮은 것으로 나타난 연구결과도 있다(Badeck 등, 2004). 반면 북유럽의 장미과의 클라우드베리 (*Rubus chamaemorus* L.)를 포함한 도서지역 또는 고산지대에 서식하는 종은 강수량의 변동에 민감하게 반응하는 것으로 보고된 바 있다(Kozlov와 Berlin, 2002). 다만, 강수량과 유의성을 보인 종의 수가 기온과 유의성을 보인 종의 수에 비해 현저히 적었기 때문에 계절현상을 관찰할 때는 조사지역의 환경변화가 충분히 고려되어야 한다. 이처럼 기후변화로 인한 종의 생활사 변화는 종마다 그 변화 정도가 다르며, 서식 환경에 따라 계절학적 요소가 기후변화에 동일하게 반응하지 않기 때문에 조사지역에 따라 고려해야 할 기상요소를 달리해야 한다(Post 등, 2008).

현재까지 축적된 식물계절현상에 대한 관측 자료는 주로 육상생태계에 집중되어 있고 기온상승과의 상관성을 보이고 있어 다양한 생태계의 반응을 파악하는데 어려움이 있다. 특히, 온도변화와 더불어 강우, 지표수, 지하수를 포함하는 물 순환 체계의 변동에 민감한 영향을 받고 물의 공급량과 질적인 변화에 취약한 습지생태계 (Erwin, 2009; Winter, 2000)에 서식하는 생물종의 계절학적 조사는 축적된 연구결과가 제한적이다. 우리나라에서의 식물계절학 연구는 국가장기생태연구 등을 통해 기후변화와 식물의 계절학적 현상을 장기적으로 연구하고 있으나 (Kim 등, 2011), 육상생태계에서 조사가 많이 이루어지고 있다. 담수생태계에서 습지식물은 습지의 미기상 (강우, 온도, 증발 등)에 따라 미세한 생리적 균형을 유지하고 있기 때문에 특히 기후변화에 취약하다고 알려져 있으며 (Kwon과 Choi, 2009), 습지의 대표적 관목인 베드나무류에 대해서는 서식처 토성과 공간분포에 관한 연

구사례가 있을 뿐 계절학적 특성에 대한 분석은 제한되어있다(Lee 등, 2001; Lee, 2009; Ahn, 2009).

베드나무 (*Salix spp.*)는 주기적인 범람을 경험하는 습지에 분포하는 대표적인 하천수변 (riparian) 연목림으로 유수역 (lotic zone)을 특징짓는 수목이자 습지와 육상의 전이대에 분포하는 선구식물 (pioneer plant)로 (Kim 등, 2009; Han 등, 2010; Kuzovkina와 Quigley, 2005) 우리나라 습지 주변부 및 하천변에 넓게 분포하여 습지에서의 계절학 모니터링에 적합한 종이라 할 수 있다. 본 연구에서는 습지생태계의 (1) 수변부 우점종인 선버들 (*Salix subfragilis* Andersson)과 왕버들 (*Salix chaenomeloides* Kimura)의 계절학 특성을 파악하고, (2) 기상요소와의 상관성을 분석하여 주요 기후요소 변화로 인한 식물계절현상에 대한 영향을 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지 및 대상종의 특성

본 연구의 조사지는 낙동강 중·하류에 위치한 우포늪 (N 35° 33' 0"N, E 128° 25'E)으로 면적은 약 2.3 km²이며 우포, 목포, 사지포, 쪽지벌을 포함하는 배후습지이다 (Fig. 1). 우포늪에는 베드나무 10여종이 분포하고 있는 것으로 보고되었으며 (Lee, 2009), 그 중 우포늪

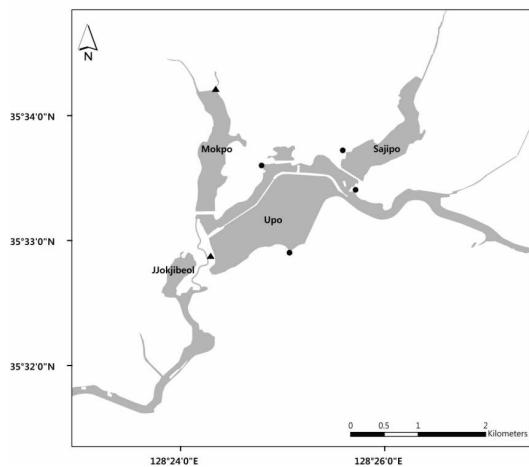


Fig. 1. Study area and observation point (● *S. subfragilis* observation plots; ▲ *S. chaenomeloides* observation plot).

Table 1. Criteria of phenological phases

Phenological phases		
Flowering	Fruiting	Seed dispersion
		
Anthesis reaches 50% of inflorescences. Stamens with bright pollen and receptive stigmas become visible	Capsule fruits fully ripe and capsules dehisce and cottony masses of seeds are visible.	Female inflorescence drop soon after seed ripening and cottony masses of seeds are detaching from a plant.

에 우점하는 선버들과 왕버들을 조사대상으로 선정하였다. 선버들 (*S. subfragilis*)은 다른 버드나무류보다 침수에 강한내성을 가지며 유속에 대한 내성도 가지는 수종으로 알려져 있고, 그에 비해 왕버들 (*S. chaenomeloides*)은 비교적 교란이 적은 곳과 고수부지 또는 제방과 같은 곳에 분포하는 것으로 알려져 있다 (Lee, 2009).

2.2. 버드나무 계절학 조사

버드나무 계절학적 요인의 시기는 2007년부터 2012년 까지 방형구를 설치한 우포, 사지포, 목포일대의 선버들 군락 4개 지점 및 왕버들 군락 2개 지점에서 매년 2월부터 7월까지 관찰하였다 (Fig. 1), 관찰 대상수종은 알루미늄 태그로 구분하였으며 총 23 개 개체의 계절학 시기를 관찰하였다. 계절학적 시기의 구분은 Table 1과 같이 3 기간을 구분하여 조사하였다 (Saska와 Kuzovkina, 2010). 대상수종의 개화일 (Flowering), 결실일 (Fruiting), 종자산포일 (Seed dispersion)을 주 1회 이상 조사하였으며 2007년부터 2009년까지의 계절학 자료는 National Institute of Environmental Research (2009)의 영구방형구에서 조사한 자료를 참고하였다. 계절학 시기는 연일 (Julian day)로 계산하였고, 기상자료는 조사지역에서 22 km

거리에 위치하고 있는 합천기상대 (N 35° 33', E 128° 10')의 일평균 기온 (°C), 월평균 최고기온 (°C), 월평균 최저기온 (°C), 영상 일 수, 영하 일 수와 일조시간, 상대습도 (%), 강수량 (mm) 그리고 적설량 (mm)을 이용하였다 (Korea Meteorological Administration, 2012).

2.3. 통계분석

버드나무 종간의 계절학적 요소 간 차이와 계절학적 시기의 차이 검증은 One-way ANOVA를 이용하였으며, 계절학적 인자와 기상요인과의 상관관계를 파악하기 위해서 Pearson correlation을 이용하여 상관성을 파악하였다. 계절학적 시기는 평균±표준오차로 표기하였고, 통계분석에는 SPSS Statistics 20.0 (IBM, Chicago, IL)을 사용하였다.

3. 결과

3.1. 연도별 기상 및 계절학적 특성

우포늪은 6월에서 7월 동안의 집중된 강우로 인해 주기적으로 침수되는 특징이 관찰되었으며 2007년에서 2012년 동안 평균 강수량은 110.79 mm, 평균기온은 13.4°C 였다 (Fig. 2). 2007년부터 2012년까지 최

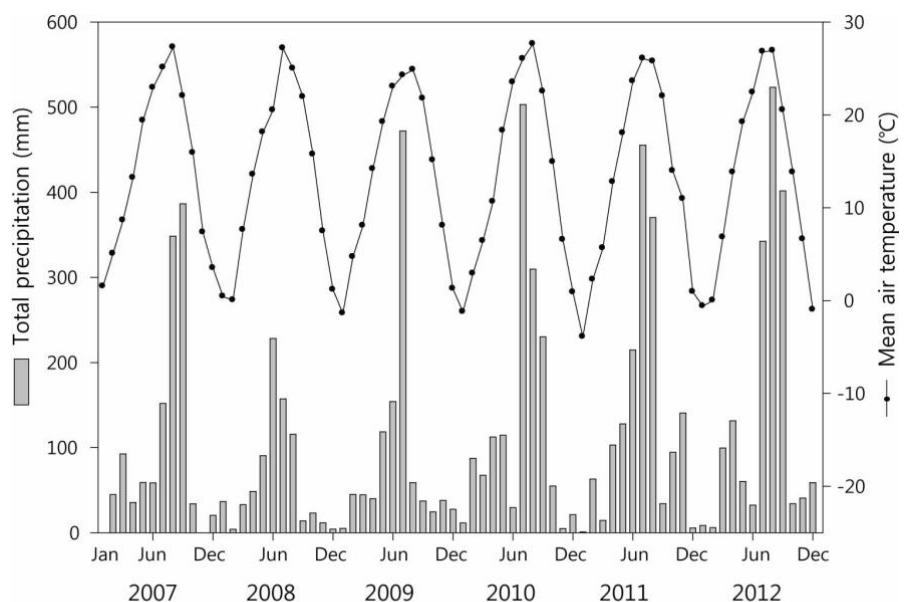


Fig. 2. Monthly average air temperature and total precipitation from 2007 to 2012 (Korea Meteorological Administration, 2012).

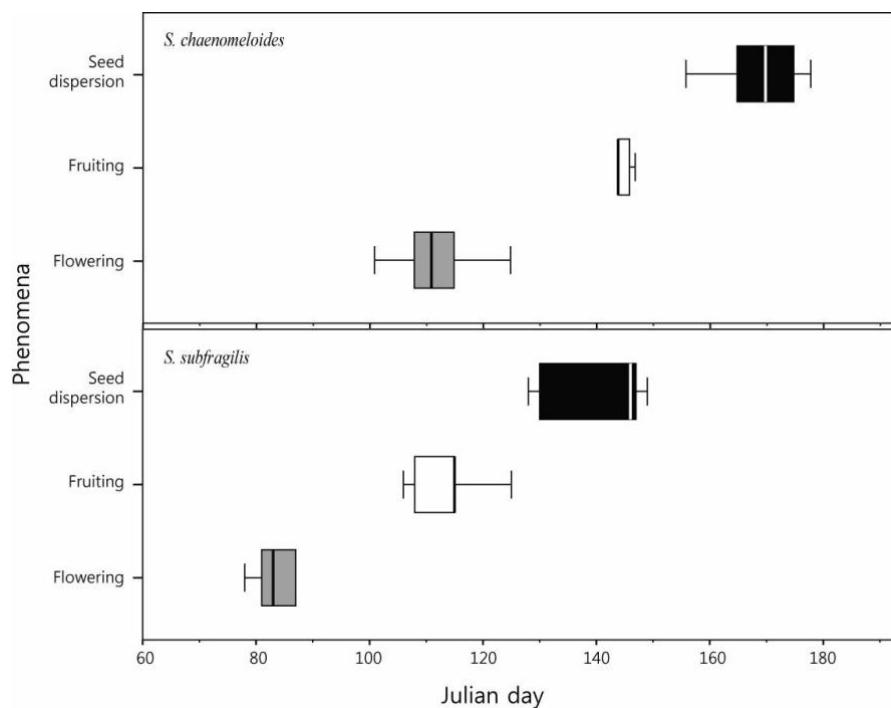


Fig. 3. Box-plots representing each phenological phases of *S. subfragilis* and *S. chaenomeloides* with Julian day. The whisker of box plot represents the minimum and maximum of phenological date.

저 기온은 2011년 1월 -8.7°C 로 가장 낮은 기온을 나타내었고 최고기온은 2007년 8월과 2012년 7월 30.3°C로 가장 높은 기온을 나타내었다.

Table 2. Growth characteristics of *S. subfragilis* and *S. chaenomeloides*

Species	Sex	Height (m)	DBH (cm)
<i>S. subfragilis</i> (n=5)	M	$6.3 \pm 0.4^*$	18.5 ± 7.5
	F	4.1 ± 0.9	19.0 ± 8.2
<i>S. chaenomeloides</i> (n=14)	M	12.8 ± 1.1	39.1 ± 5.3
	F	12.9 ± 0.9	30.2 ± 4.0

* Mean \pm SE

조사 대상 수종인 선버들의 수그루는 평균 수고 6.3 m, 흥고직경 18.5 cm였고, 암그루는 평균 수고 4.1 m, 흥고직경 19 cm였다. 왕버들의 수그루는 평균 수고 12.8 m, 흥고직경 39.1 cm였고 암그루는 평균 수고

12.9 m, 흥고직경 30.2 cm였다 (Table 2).

2007년부터 2012년 까지 선버들의 개화일은 평균 86.6 ± 3.1 일, 결실은 113.8 ± 2.8 일, 종자산포는 136.8 ± 4.9 일이었다. 왕버들의 개화일은 평균 112 ± 3.2 일 이었고, 결실은 140.6 ± 3.1 일, 종자산포는 164.3 ± 5.5 일 이었다 (Fig. 3). 선버들이 왕버들보다 개화일은 평균 25.3일, 결실일은 평균 26.8일, 종자산포일은 평균 27.5일 빠른 것으로 조사되었으며 버드나무 종류에 따른 생장의 시기적 차이가 유의하였다 ($F=70.1$, $p<0.001$). 또한 조사지역 내 두 종의 개화일, 결실일, 종자산포일 사이에도 유의한 차이를 보였다 ($F=87.3$, $p<0.001$).

3.2. 기상 요소와의 상관

선버들과 왕버들의 계절학적 요소와 상관성을 나타낸 기상요소는 기온요소와 강수요소였다 (Table 3). 당해 연도 3월 평균기온은 선버들의 결실일 ($r=-0.92$, $p<0.01$)과 왕버들 ($r=-0.85$, $p<0.05$)의 개화일에 음의

Table 3. Correlation matrix between the phenological phases and meteorological factors

	<i>S. subfragilis</i>			<i>S. chaenomeloides</i>			
	Fl	Fr	Sd	Fl	Fr	Sd	
Current Year	Mean temp. in Mar.	-.80	-.92**	-.46	-.85*	-.20	-16
	Max. temp. in Jan.	-.92**	-.67	.18	-.74	.14	.47
	Min. temp. in Feb.	-.12	-.52	-.94**	-.49	-.73	-.89*
	Min. temp. in Mar.	.35	-.09	-.67	-.10	-.80	-.81*
	Mean humidity between Jan. and Mar.	-.91*	-.71	.06	-.80	-.01	.35
	Accumulated day of temp. above zero centigrade between Jan. and Mar.	-.81*	-.72	-.14	-.76	-.07	.20
	Accumulated day of temp. below zero centigrade between Jan. and Mar.	.83*	.73	.15	.77	.06	-.19
	Total precipitation in Mar.	-.32	-.61	-.65	-.72	-.88*	-.51
	Total precipitation between Jun. and Aug.	.72	.71	.06	.63	-.09	-.18
	Total precipitation in Jun.	.30	.44	.43	.60	.71	.34
Previous Year	Total precipitation in Jul.	.24	.37	.13	.36	.24	-.03
	Total precipitation in Aug.	.49	.28	-.27	.11	-.72	-.37
	Total precipitation between Jan. and Mar.	.69	.90*	.71	.94**	.63	.47
	Max. temp. in Jan.	-.11	.33	.79	.40	.99**	.80
	Max. temp. in Feb.	.24	.65	.87*	.69	.92**	.72
	Total precipitation between Jun. and Aug.	.72	.71	.06	.63	-.09	-.18
	Total precipitation in Jun.	-.79	-.77	-.67	-.72	-.35	-.59
	Total precipitation in Jul.	.00	.09	.02	-.12	-.64	.20
	Total precipitation in Aug.	.73	.60	.42	.69	.53	.25

Fl : Flowering, Fr: Fruiting, Sd : Seed dispersion, * $p<0.05$, ** $p<0.01$

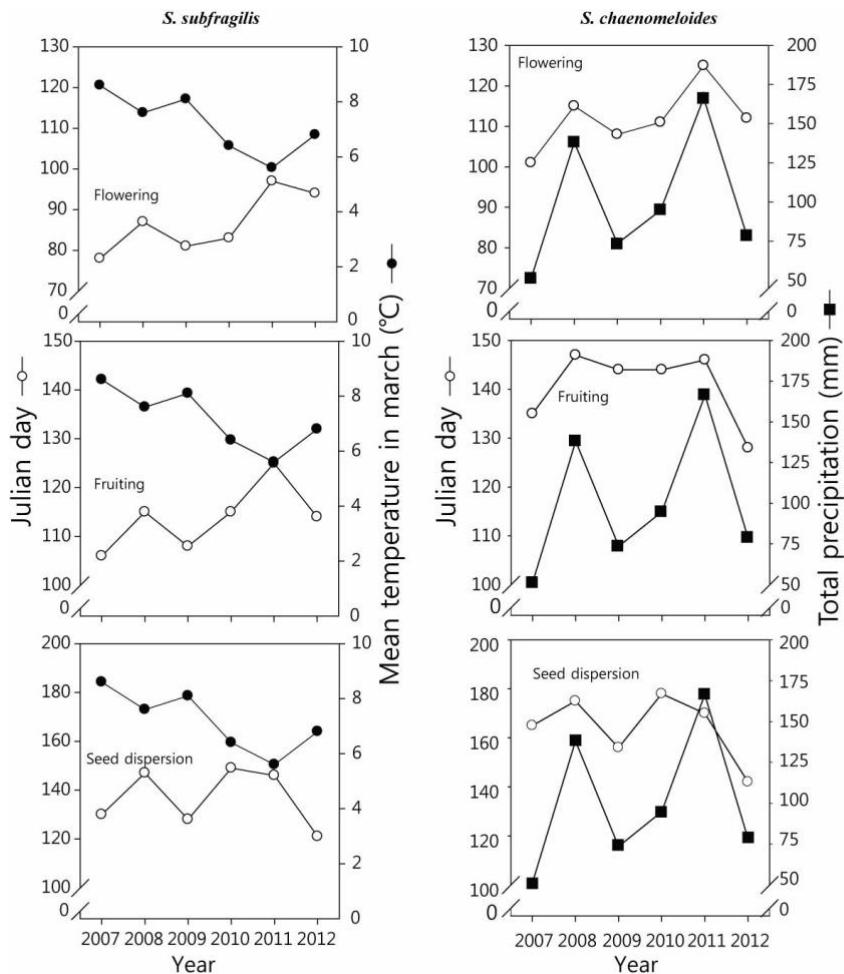


Fig. 4. Relationship between phenological phases and monthly air temperature with phenological Julian day of *Salix* spp.

상관성을 보였다. 왕버들의 개화일은 3월 평균기온 외에 직전년도의 1~3월의 강수량의 합과도 높은 상관성 ($r=0.94$, $p<0.01$)을 보였다 (Fig. 4).

선버들은 왕버들과는 달리 개화시기와 1~3월 영상 일수의 합 ($r=-0.81$, $p<0.05$) 및 영하일수의 합 ($r=0.83$, $p<0.05$)과 상관성을 보였다. 두 종의 결실시기와 상관성을 나타낸 요소는 서로 상이하였는데 선버들은 직전년도 1~3월의 강수량의 합과 상관성을 보인 반면 왕버들은 직전년도 1월의 최고기온 및 2월의 최고기온과 상관성을 보였다 (Table 3).

종자산포의 시기와의 상관성을 두 종 모두 당해 연도 2월의 최저기온과 음의 상관성을 나타내었다. 그러

나 선버들은 직전년도 2월의 최고기온과 상관성을 나타내었고 왕버들은 당해 연도의 3월의 최저기온과 상관성을 나타내었다.

강수요소의 경우 직전년도 1월~3월 강수합과 선버들의 결실일 ($r=0.90$, $p<0.05$), 왕버들의 개화일이 상관을 보였다 ($r=0.94$, $p<0.01$). 따라서 직전년도 1월~3월의 강수량이 많으면 선버들의 결실일과 왕버들의 개화일이 늦춰지는 것으로 보인다. 당해연도 기상요소 중 강수요소로는 유일하게 3월의 총 강수량이 왕버들의 결실일과 상관을 나타내었다 ($r=-0.88$, $p<0.05$). 반면, 당해연도 및 직전년도의 여름철 강수량과 선버들의 개화 ($r=0.72$, $p>0.05$), 결실 ($r=0.71$, $p>0.05$), 총

자산포 ($r=0.06$, $p>0.05$) 시기는 유의한 상관을 보이지 않았다. 왕버들의 개화 ($r=0.63$, $p>0.05$), 결실 ($r=-0.09$, $p>0.05$), 종자산포 ($r=-0.18$, $p>0.05$) 시기도 당해연도 및 직전년도 여름철 강수량과 유의한 상관성이 나타나지 않았다.

4. 고찰

본 연구에서는 습지에 분포하는 선버들과 왕버들의 계절학적 변화시기와 온도를 비롯한 기상요소와의 상관관계를 분석하였다. 버드나무류는 변동하는 기상 요인에 민감하게 반응하여 생물학적 생장시기를 조절하고 있었으며, 이는 연간 변동을 보임으로써 기후변화로 인한 습지생태계의 반응을 직·간접적으로 모니터링 할 수 있는 지표로 활용될 수 있는 가능성을 보여 주었다. 기상요소 중에서는 온도요소와 강수요소가 선버들과 왕버들의 개화일과 높은 상관성을 보여 두 요소가 습지 생물의 계절적 시기 변화에도 주요 요인으로 작용하고 있는 것으로 보였다. 식물의 개화시작 일에 대한 다른 연구에서도 개화가 시작되기 1~2달 전의 기온에 영향을 많이 받고 상관성이 높다고 보고되었는데, 특히 개화 전 월의 평균기온이 개화일을 결정짓는 주요인으로 제안되었다(Fitter 등, 1995). 국내 산림생태계와 육상생태계에서 역시 기상용 지표식물(개나리, 벚나무, 복숭아나무, 배나무, 진달래)의 개화 시기는 2월, 3월의 평균기온과 높은 상관관계를 가지는 것으로 조사되어 (Choi와 Moon, 2009), 육상식물과 습지에 서식하는 종에 공통적으로 계절학 예측을 위한 기상 보조 자료로 개화 전의 온도가 직접적인 영향이 가장 높은 것으로 생각된다.

우포늪의 버드나무 계절학적 특성은 직전년도 1월에서 3월의 총 강수량과 선버들의 결실일 그리고 왕버들의 개화일과 높은 상관성을 나타내었으나 범람이 이루어지는 6~7월의 강수요소와는 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 강수량은 습지의 수위에 직접적인 영향을 끼쳐 범람을 유발하는 원인이고, 우포늪에서도 홍수로 인한 범람은 우포늪을 서식지로 하는 습지 생물들에게 교란으로 작용하는 것으로 연구된 바 있다(Do 등, 2007). 일본에서는 강우로 인한 범람과 버드나무의 서식처 특성에서부터 버드나무의 계절학을 관

찰하여 경향성을 파악한 연구사례가 있었다(Niiyama, 1987; Niiyama, 1990). 본 연구결과에서는 종자산포 시기와 하절기 강수와의 상관성이 매우 낮게 나타났으나, 범람 및 서식처 특성과 버드나무류의 종자산포 시기와의 상관성에 주목한 연구가 있었다. Niyama (1990)는 같은 지역에 분포하고 있는 버드나무 수종이라도 종자산포 시기, 종자의 크기 등에 차이를 두어 공존한다 하였으며 종자산포 시기가 가장 늦은 종도 개방된 하빈이 범람되기 전에 종자산포를 완료하는 특성을 나타내어 강우로 인한 범람과 계절학 시기의 관계를 설명하였다. Seiwa 등 (2008)에서도 강변에서 서식하고 있는 버드나무류 수종은 범람을 피해 공존한다는 점과 종자의 기능적 적응을 통해 계절학적으로 생태적 지위를 달리하여 공존하면서도 환경적 요인에는 번식이 피해를 받지 않도록 범람이 일어나기 전 일정 기간 내에 종자산포를 완료하는 것으로 보고하였다. 반면, 육상수종에서는 계절학적 요소(leaf budburst)와 그 해의 강수량이 상관성을 나타내지 않는 것으로 보고되었다(Doi와 Katano, 2008). 따라서 습지의 서식처 특성상 발생하는 하절기 홍수에 의한 범람, 침수기간, 강도 등을 고려한 장기적인 계절학적 특성 관찰이 필요할 것으로 생각된다.

습지에서 버드나무류를 대상으로 한 식물계절학 모니터링은 기온과 강우 요인을 고려하여 진행될 경우 기후변화와 생물계절학적 현상에 대한 습지생태계의 반응을 이해하는데 기여할 수 있을 것이다. 향후 조사 대상 수종의 각 군락 내에서 기상 및 환경요인을 측정한다면 기후변화와 버드나무류 수종의 계절현상을 상세히 파악 할 수 있을 것이다. 또한, 내륙습지에 우점하고 있는 수생식물은 초본의 비율이 높아 고정적인 관찰지점의 확보가 어려우나 버드나무류는 목본으로 일정한 장소에서 장기적으로 관찰이 가능하고 계절학적 구분이 되는 특징도 뚜렷하여 연구자뿐만 아니라 일반인의 생태계 모니터링 참여에도 더 적합하여 습지생태계의 인식도 증진과 해당 지역의 보전에도 긍정적인 순환구조를 형성할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 국가장기생태연구사업 (2007-

2013)의 지원으로 수행되었습니다. 베드나무 표지 수목 관리에 도움을 주신 우포늪 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Ahn, K. H., 2009, Syntaxonomy and synecology of the Upo wetland, Ph.D. Dissertation, Keimyung University, Daegu.
- Badeck, F. W., Bondeau, A., Bottcher, K., Doktor, D., Lucht, W., Schaber, J., Sitch, S., 2004, Responses of spring phenology to climate change, *New Phytol.*, 162, 295-309.
- Choi, C. M., Moon, S. G., 2009, Changes of flowering time in the weather flora in Busan using the time series analysis, *J. Enviro. Sci.*, 18(4), 369-374.
- Do, Y., Jang, M. H., Kim, D. K., Joo, G. J., 2007, Change of Carabid Beetle (Coleoptera, Carabidae) diversity and species composition after flooding events in Woopo wetlands, *Korean J. Limnol.*, 40(2), 346-351.
- Doi, H., Katano, I., 2008, Phenological timings of leaf budburst with climate change in Japan, *Agr. Forest Meteorol.*, 148(3), 512-516.
- Erwin, K. L., 2009, Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world, *Wetl. Ecol. Manag.*, 17, 71-84.
- Fitter, A. H., Fitter, R. S. R., Harris, I. T. B., Williamson, M. H., 1995, Relationships between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England, *Funct. Ecol.*, 9(1), 55-60.
- Gordo, O., Sanz, J., 2009, Long-term temporal changes of plant phenology in the Western Mediterranean, *Glob. Change Biol.*, 15, 1930-1948.
- Han, S. J., Kim, H. W., Kim, H. R., Kim, H. J., Han, D. U., Park, S. K., You, Y. H., 2010, Net primary production, annual accumulation of organic carbon and leaf decomposition in *Salix* plant community, *J. Wetlands Res.*, 12(1), 15-22.
- Heller, N. E., Zavaleta, E. S., 2009, Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations, *Biol. Conserv.*, 142, 14-32.
- Kim, H. J., Hong, J. K., Kim, S. C., Oh, S. H., Kim, J. H., 2011, Plant Phenology of Threatened species for Climate change in Sub-alpine zone of Korea, *Korean J. Plant Res.*, 24(5), 549-556.
- Kim, J. W., Ryu, S. W., Lee, J. K., Park, J. W., Lee, Y. K., Shim, J. H., Kang, Y. H., Kim, S. K., Joo, G. J., Kim, G. Y., Do, Y. H., Lee, C. W., Yoon, J. D., 2009, Stream Ecology and The Nakdong River, Keimyung University Press, Daegu.
- Kim, J. Y., Joo, G. J., Do, Y., Kim, G. Y., Yang, B. G., Kim, M. J., Lee, C. S., 2011, Special Feature: Korea National Long-Term Ecological Research: provision against climate change and environmental pollution (Review), *J. Ecol. Field Biol.*, 34(1), 3-10.
- Korea Forest Service, 2011, Report of Conservation Project of Threatened Plants for Climate Change, 2011, Report No. 11-1400119-000146-01, Daejeon.
- Korea Meteorological Administration, 2012, <http://www.kma.go.kr>
- Kozlov, M. V., Berlina, G., 2002, Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, RUSSIA, *Climatic Change*, 54, 387-398.
- Kuzovkina, Y. A., Quigley, M. F., 2005, Willows beyond wetlands: uses of *Salix* L. species for environmental projects, *Water Air Soil Poll.*, 162, 183-204.
- Kwon, Y. H., Choi, H. K., 2009, The impact of climate change on the ecosystem: the case of wetland plants, *Korea Environment Institute*, 2009(07), 1-131.
- Lee, C. W., 2009, Spatial distribution patterns of major willow species (Salicaceae) in Upo wetland, MA Dissertation, Keimyung University, Daegu.
- Lee, I. S., Lee, P. H., Son, S. G., Kim, C. S., Oh, K. H., 2001, Distribution and community structure of *Salix* species along the environmental gradients in the Nam-River watershed, *Korean J. Ecol.*, 24(5), 289-296.
- Mawdsley, J. R., O'malley, R., Ohima, D. S., 2009, A Review of Climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation, *Conserv. Biol.*, 23(5), 1080-1089.
- Menzel, A., 2002, Phenology: Its importance to the global change community, *Climatic Change*, 54, 379-385.
- National Institute of Environmental Research, 2009, National Long-Term Ecological Research project (II) 2(1-2), Ministry of Environment, Incheon.
- Niiyama, K., 1987, Distribution of Salicaceous species

- and soil texture of habitats along the Ishikari River, Jap. J. Ecol., 37, 163-174.
- Niiyama, K., 1990, The role of seed dispersal and seedling traits in colonization and coexistence of *Salix* species in a seasonally flooded habitat, Ecol. Res., 5, 317-331.
- Post, E. S., Pedersen, C., Wilmers, C. C., Forchhammer, M. C., 2008, Phenological sequences reveal aggregate life history response to climatic warming, Ecology, 89(2), 363 - 370.
- Saska, M. M., Kuzovkina, Y. A., 2010, Phenological stages of willow (*Salix*), Ann. Appl. Biol., 156, 431-437.
- Saxe, H., Cannell, M. G. R., Johnsen, Ø., Ryan, M. G., Vourlitis, G., 2001, Tree and forest functioning in response to global warming, New Phytol., 149, 369-400.
- Seiwa, K., Tozawa, M., Ueno, N., Kimura, M., Yamasaki, M., Maruyama, K., 2008, Roles of cottony hairs in directed seed dispersal in riparian willows, Plant Ecol., 198, 27-35.
- Sparks, T. H., Jeffree, E. P., Jeffree, C. E., 2000, An examination of the relationship between flowering times and temperature at the national scale using long-term phonological records from the UK, Int. J. Biometeorol., 44, 82-87.
- Winter, T. C., 2000, The vulnerability of wetlands to climate change: a hydrologic landscape perspective, J. Am. Water Resour. As., 36(2), 305-311.