KJEE 46(3) : 380~387 (2013)
http://dx.doi.org/10.11614/KSL.2013.46.3.380
ISSN: 2288-1115 (Print), 2288-1123 (Online)

Original article

CO_2 농도와 온도 증가가 멸종위기식물 섬시호의 번식생태학적 특성에 미치는 영향

이승혁 · 정중규 · 조규태 · 장래하 · 한영섭 · 유영한*

(공주대학교 생물학과)

Effect of Elevated CO_2 Concentration and Temperature on the Phenology and Reproductive Ecological Characteristics of *Bupleurum latissimum* (Endangered plant)

Lee, Seung-Hyuk, Jung-Kyu Jeong, Kyu-Tae Cho, Rae-Ha Jang, Young-Sub Han and Young-Han You*

(Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea)

The objective of this study is to investigate the effect of elevated CO_2 and temperature on the phenology and reproductive ecological characteristics of *Bupleurum latissimum*. We measured characteristics of 4-year-old *B. latissimum* grown under control (ambient CO_2+ambient temperature, 340～370 ppm) and treatment (elevated CO_2+elevated temperature, 690～770 ppm) conditions in a glass house. The period of flowering, fruit appearance and fruit maturing was earlier by 4, 1, 2 days, respectively, under elevated CO_2 and temperature. The comparative weight of a single ripe fruit, all ripe fruits and total ripe and unripe fruits was higher per control than treated plants. However the other characteristics, such as no. of peduncle, matured fruits, total fruits per plant and fruit setting rate per plant of *B. latissimum* were not significantly affected by elevated CO_2 and temperature. The germination rate of *B. latissimum* was higher in control than in treatment plants. These results showed that the phenology of *B. latissimuin* might be well suited to an earlier growing season, and the response of reproductive characteristics of *B. latissimuin* is negatively influenced by global warming.

Key words : apiaceae, endangered species, seed production, global warming

서 론

CO_2의 전 지구 대기 농도는 2009년(385 ppm)에 산업화 이전(280 ppm)보다 38% 증가했다(IPCC, 2007; Hönisch *et al.*, 2009). 이와 같은 경향으로 CO_2 배출이 증가 할 경우, 지구의 평균기온은 2100년에 최대 약 6.4°C까지 상승할 것으로 예측되고 있다(Korea Meteorological Administration, 2010). 우리나라의 2010년 평균 CO_2 농도는 394.5 ppm으로 1999년의 평균 CO_2 농도 370.7 ppm보다 23.8 ppm (6.4%) 상승하였다(Korea Meteorological Administration, 2010). 그리고 우리나라 주요 6개 도시의 평균

* Corresponding author: Tel: +82-41-850-8508, Fax: +82-41-850-0957, E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

ⓒ The Korean Society of Limnology. 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, provide the original work is properly cited.

기온은 지난 97년간(1912～2009) 약 1.7°C 상승하였다. 이는 전 지구의 평균 기온상승인 0.74°C의 2배 이상인 것으로 전 지구적인 온난화 추세를 상회하고 있다(IPCC, 2007; Korea Meteorological Administration, 2009).

이러한 지구온난화로 지구상의 생물 종 15～37%가 2050년까지 멸종할 위험성이 있고(Thomas *et al.*, 2004), 종들의 상호작용과 생태계의 구조와 기능에 큰 변화를 일으키고 있으며(Chapin *et al.*, 2000; IPCC, 2007), 특히 꽃이나 잎의 발아 및 개화시기의 변화 등 식물계절에 대한 영향이 뚜렷하게 나타나고 있다(Nordli *et al.*, 2008; Kim and You, 2010c; Jeong *et al.*, 2011). 최근 우리나라의 봄철 식물계절은 기후변화로 인해 빨리지는 경향이 뚜렷하고, 가을철 식물계절은 늦어지고 있다(Lee, 2011). CO_2 농도와 온도의 증가는 목본부터 초본 식물에 이르기까지 모든 식물의 생장과 생식에 영향을 미치고 있고(Idso *et al.*, 1987; Kimball *et al.*, 1993), 그 중에서도 현재 멸종위기에 처해있거나 개체수가 적은 희귀종들의 피해가 심각할 것으로 예상된다(Maschinski *et al.*, 2006).

한편, 전 세계적으로 산형과(Apiaceae)는 약 300속에 속하는 2,500～3,000 분류군이 주로 온대 지방을 중심으로 분포한다(Mabberley, 1990). 그 중 시호속의 180～190 분류군이 북온대 지역에 분포하고, 이 중 150여 종이 대부분 유라시아에 분포한다(Liu *et al.*, 2003; Neves and Watson, 2004). 한국에는 시호(*Bupleurum falcatum* Linne)를 비롯하여, 개시호(*B. longiradiatum* Turcz), 등대시호(*B. euphorbioides* Nakai), 섬시호(*B. latissimum* Nakai), 참시호(*B. scorzonerifolium* Willd) 등의 5분류군이 자생한다(Lee, 2003). 이 중 섬시호는 대형 식물체로 높이가 70～130 cm이고 광난형인 근생엽과 이저인 경생엽을 가진 상록성 2년생이고, 생육지는 북향에서 북동향이며 경사도는 30～58°이고 유기물 함량이 높고 약한 산성의 토양환경에 서식한다(Kim, 2004; Kim *et al.*, 2006). 이러한 섬시호는 세계적으로 울릉도에 한정 분포하는 한국특산식물이며(Kim, 2004), 멸종위기식물 2급이다(Ministry of Environment, 2012).

멸종되어 가고 있는 식물을 제대로 보전하고, 복원하기 위해서는 그 종의 현재와 과거의 분포 및 개체군의 상황, 자생지에 대한 생태학적 환경적 조사, 구체적인 생활사, 멸종위기에 처하게 된 구체적 원인과 이에 대한 실험적 증거 그리고 현재의 상태 등에 대하여 정확히 파악하는 것이 필수적이다(Given, 1994). 지금까지 섬시호에 대해 형태학적(Kim and Yoon, 1990), 해부학적(Choi, 2006), 조직배양을 통한 기내번식(Kim, 2007), 자생지 식물상(Ahn, 2007), 수분기작(So, 2008a) 그리고 분류학적(So, 2008b) 연구가 이루어졌다.

이에, 본 연구에서는 지구온난화에 따른 멸종위기식물 섬시호의 식물계절과 번식생태학적 반응을 알아보기 위하여, 온실 내의 대조구(일반대기조건)와 이산화탄소농도·온도를 상승시킨 처리구에서 섬시호의 개엽, 개화 및 결실의 시기, 발아와 종자생산 등의 특성을 측정하고 비교 분석하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료 재배

실험에 사용한 섬시호(*B. latissimum* Nakai)는 종자를 분양 받아 공주대학교 온실 내 플라스틱 사각화분(가로 51 cm × 세로 15.3 cm × 높이 12 cm)에 발아 시켰다. 그 후, 9월 6일에 1 m × 1 m 화단에 4개체씩 이식하여 재배하였다. 유리 온실에 입사되는 광은 자연광이고, 토양은 모래부피(100%) 대비 비료의 비율 20%로 하였다. 비료의 영양소는 NH_4^+ 80～100 (mg L^{-1}), NO_3 150～200 (mg L^{-1}), P_2O_5 230～330 (mg L^{-1})와 K_2O 80～120 (mg L^{-1})인 홍농바이오 상토(주, 몬산토 코리아)였다. 모래는 세척하여 유기물이 제거된 것을 사용하였다. 수분은 여름에는 2～3일 간격으로 그 외에는 4～5일 간격으로 공급하였다. 본 실험은 2010년 3월부터 2011년 7월까지 진행되었다.

2. 이산화탄소 농도와 온도 처리

유리온실 내부를 대조구와 처리구로 나누어 실험하였다. 대조구는 일반대기의 온도와 이산화탄소농도(340～370 ppm)로 하였다. 처리구는 CO_2 농도를 대조구의 약 2배(690～770 ppm)로 상승시키고, 온도도 대조구보다 연평균 2°C 상승시켰다(Figs. 1, 2). 이는 IPCC (2007)의 B1 지구온난화 시나리오에 근거하였다. 실험이 수행된 온실의 온도는 각각 식물체 높이에 디지털 데이터 온도계(TR-71U, T&D Co., Japan)를 설치하여 측정하였다. 처리구의 온도는 환풍 장치와 해 가리개를 이용하여 조절하였고, CO_2 농도 조절은 CO_2 가스통(용량 4 kg) 2개를 설치하고 지름 0.2 mm인 호스를 연결하여 처리구 전체에 분사하였다. CO_2 농도는 이산화탄소 농도 측정 로거(TEI7001, Onset computer, USA)로 측정한 후 Gas regulator로 조절하여 유지하였다.

3. 식물계절학

식물계절학 측정 항목은 처리구와 대조구에서 개화, 열

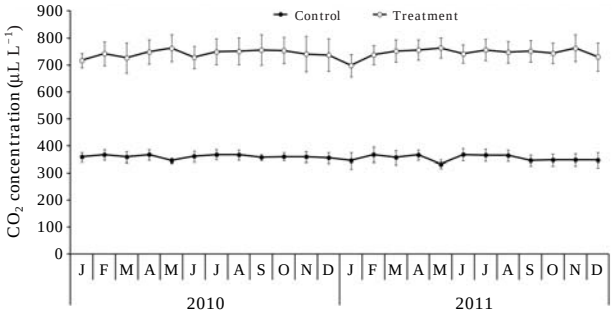

Fig. 1. Average monthly CO_2 concentration in control (ambient CO_2-ambient air temperature) and treatment (elevated CO_2-elevated air temperature) from January 2010 to December 2011. Values are mean±SD.

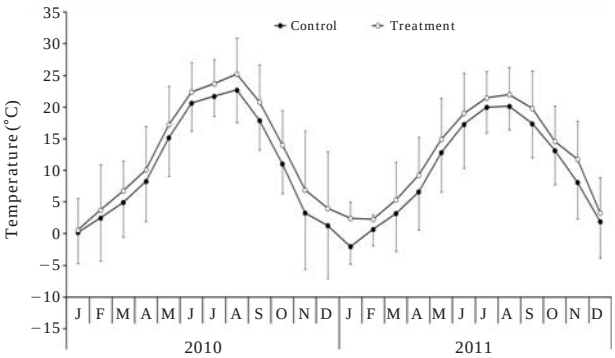

Fig. 2. Average monthly temperature in control (ambient CO_2-ambient air temperature) and treatment (elevated CO_2-elevated air temperature) from January 2010 to December 2011. Values are mean±SD.

매 개시일 그리고 열매 성숙시기이다. 개화는 황색의 꽃잎이 벌어져 수술이 보이는 시기를 처음으로 정하여 기록하였다. 열매 개시일은 꽃이 완전히 떨어진 후, 열매가 보이는 시기로 하였다. 열매 성숙시기는 열매 색깔이 녹색에서 갈색 또는 흰색이나 황색으로 변하여 완전한 열매가 되었을 때로 하였다(Korea national long-term ecological research, 2005).

4. 생식기관

섬시호 생식기관의 특성은 종자가 완전히 익은 7월에 수확하여 화경 수(ea), 성숙한 열매 수(ea), 총 열매 수(ea), 성숙한 열매 한 개 무게(g), 성숙한 열매무게(g), 총 열매 무게와 결실율(%)을 측정하였다. 쭉정이는 종피 속이 비어있는 것으로 하였고, 결실율은 총 열매 개수에서 성숙한 열매의 수를 백분율로 표기하였다.

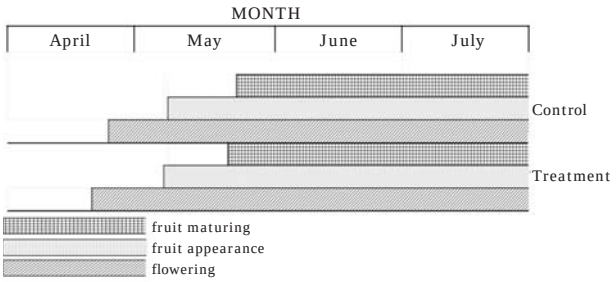

Fig. 3. Reproductive phenological spectrum for *Bupleurum latissimum* under control (ambient CO_2-ambient air temperature) and treatment (elevated CO_2-elevated air temperature).

5. 발아

2010년 3월 5일에 섬시호 종자를 대조구와 처리구의 사각 플라스틱화분(가로 51 cm × 세로 15.3 cm × 높이 12 cm)에 각각 100립씩 파종하였다. 발아 개시일은 파종한 일로부터 첫 발아를 확인한 때로 하였고, 발아는 자엽이 지면 밖으로 나온 것을 발아로 간주하여 1주일 간격으로 5월 28일까지 육안으로 확인하였다.

6. 통계분석

측정 항목의 대조구와 처리구간 차이는 Statistica 통계패키지(Statsoft Co. 2006, Tulsa, USA)를 사용하여 독립표본 T-test를 하였다(Nho and Jeong, 2002).

결 과

1. 식물계절학

4년생 섬시호의 식물계절을 관찰한 결과, 섬시호의 개화는 처리구에서 4월 21일, 대조구에서는 이보다 4일 늦은 4월 25일에 시작하였다. 섬시호의 열매 개시일은 개화를 한 뒤 2주일 정도가 지난 5월 6일에 처리구에서 시작하였고, 대조구에서는 이보다 1일 늦은 5월 7일에 시작하였다. 섬시호의 열매 성숙시기는 열매 개시일에서 4주가 더 지난 6월 7일에 처리구에서 나타났고, 대조구에서는 이보다 2일 늦은 6월 9일에 나타났다(Fig. 3). 결론적으로 섬시호의 식물계절현상은 CO_2 농도와 온도의 증가에 의해 개화, 열매 개시일과 열매 성숙시기가 빨라졌다.

2. 번식생태학적 반응

섬시호의 화경 수, 성숙한 열매 수, 총 열매 수와 결실율

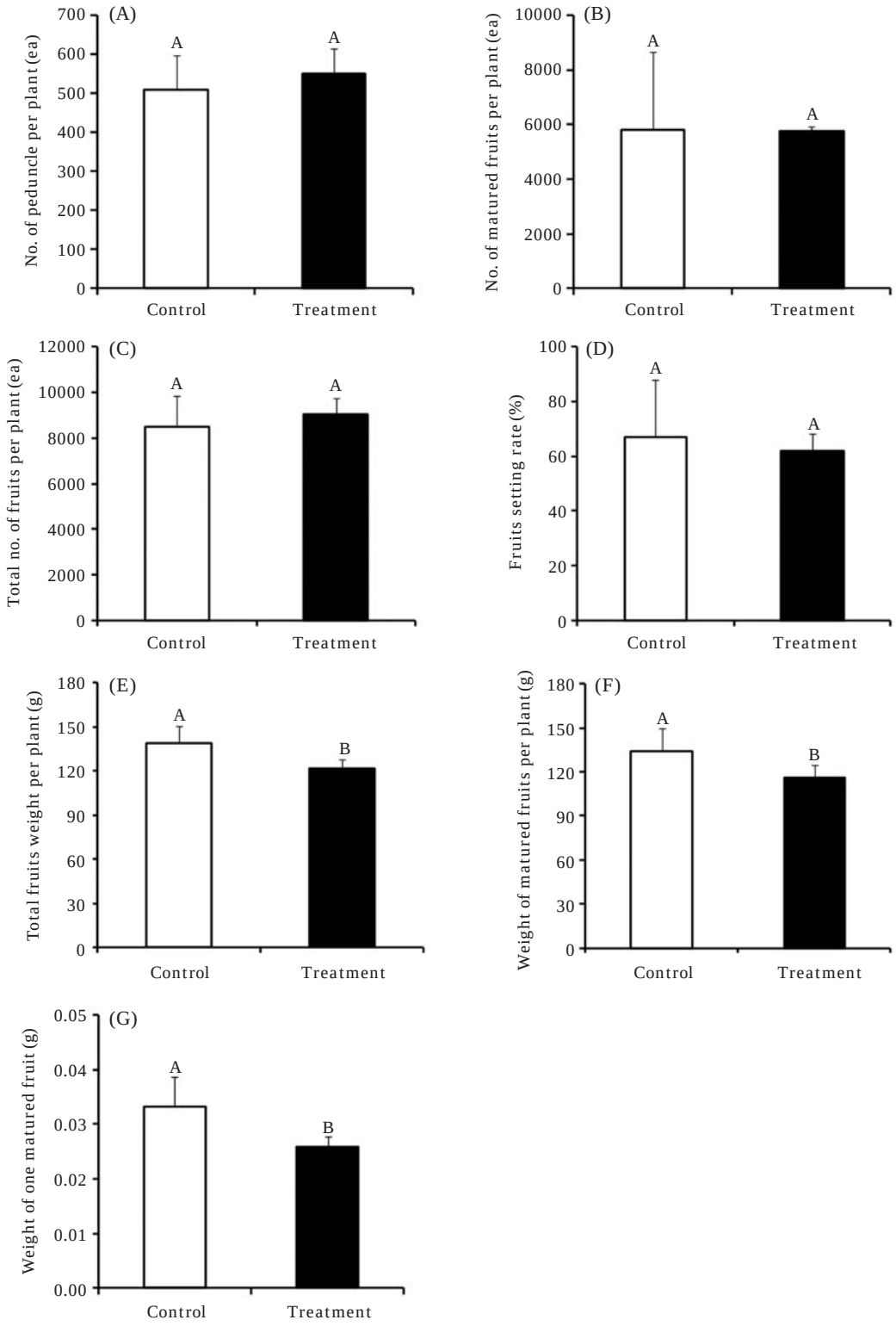

Fig. 4. No. of peduncles per plant (A), no. of matured fruits per plant (B), total no. of fruits per plant (C), fruit setting rate per plant (D), total fruits weight per plant (E), Weight of matured fruits per plant (F) and weight of one matured fruit per plant (G) of *Bupleurum latissimum* (4-year-old) under control (ambient CO_2-ambient temperature) and treatment (elevated CO_2-elevated temperature) conditions in 2010. Values are mean±SD (n=4). The different alphabets on the bars indicate a significant difference between control and treatment groups ($p < 0.05$).

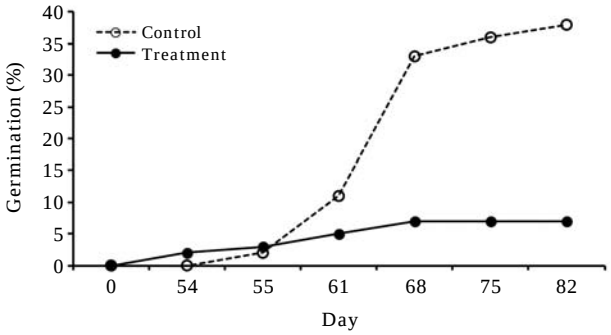

Fig. 5. Germination rate of *Bupleurum latissimum* under control (ambient CO_2-ambient temperature) and treatment (elevated CO_2-elevated temperature) conditions.

은 모두 통계간 차이가 없었다(Fig. 4). 그러나 이와는 다르게 섬시호의 성숙한 열매 한 개 무게, 성숙한 열매 무게 그리고 총 열매 무게는 대조구가 처리구보다 더 무거웠다. 그리고 이들 모두 통계적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 4). 이러한 결과는 섬시호의 종자 수에는 차이가 없지만, 종자 무게는 대조구가 처리구보다 높게 나타난 결과이다.

3. 발아

섬시호의 발아 개시일은 처리구에서 4월 28일, 대조구는 이보다 1일 늦은 4월 29일에 개시를 하였다. 발아율(%)은 처리구가 7%이고 대조구는 38%이였다. 대조구는 파종 후 55일째부터 더 이상 발아가 되지 않는 시점까지 처리구와의 발아율 차이가 계속 증가하였다(Fig. 5).

고 찰

본 연구에서 섬시호의 개화기는 4~5월이였고, 결실기는 5~6월이다. 이러한 식물계절은 다양한 환경요인에 의해 그 시기가 결정되는데, 본 실험에서 섬시호의 개화시기, 열매 개시일 그리고 열매의 성숙 시기는 처리구가 대조구보다 4일, 1일 그리고 2일 빨랐다. 식물의 개화 및 개엽에는 겨울과 봄철의 온도가 가장 민감한 요인으로 알려져 있다(Chmielewski *et al.*, 2004; Ho *et al.*, 2006). 또한, 우리나라 봄철 식물계절은 평균기온이 1°C 상승함에 따라 2.6~5.0일 앞당겨지는 경향을 보이는데(Lee, 2011), 온실의 처리구 실험 조건은 CO_2 농도의 증가로 평균 약 2°C의 온도 상승을 보여 섬시호의 식물계절이 앞당겨진 것으로 보인다. 우리와 유사한 연구로는 단기간에 끈끈이대나물(*Silene armeria*)에 CO_2 농도를 증가시켰더니 개화의 시기가 빨라진 연구(Purohit and Tregunna, 1974)와 CO_2 농도와 온도 증가에 따라 멸종위기 수생식물 독미나리(*Cicuta virosa*) 2년생과 4년생의 꽃대형성, 개화 그리고 종자형성의 시기가 빨라진 연구 결과가 있다(Hong, 2012). 또한 한국특산식물인 섬자리공과 귀화식물 미국자리공의 식물계절 연구도 CO_2 농도와 온도가 증가할수록 개엽, 꽃대형성, 개화, 열매발달과 성숙시기가 빨라졌다(Kim and You, 2010a). 이러한 식물계절이 앞당겨지는 변화는 기후변화와 온도상승으로 인해 현재보다 더욱 촉진 될 수 있다고 하였다(Jo, 2008).

하지만, CO_2 농도를 증가시켜 주었을 때 개화가 빨리진 우리 연구와 달리 나팔꽃(*Pharbitis nil*)과 도꼬마리(*Xanthium pennsylvanicum*)는 단기간 동안 CO_2 농도를 증가시켜주었을 때 개화가 억제되었고(Purohit and Tregunna, 1974), 애기달맞이꽃(*Oenothera laciniata*)은 CO_2 농도를 증가시켜 주었을 때 식물계절에 영향을 받지 않았으며, 왕포아풀은 높은 CO_2 농도에서 오히려 개화시기가 대조구보다 늦게 일어나(Carter and Peterson, 1983) 본 연구와 다르게 보고된 바 있다. 이렇게 식물에 따라서는 CO_2 농도와 온도의 증가가 영향을 미치지 않는 경우도 있고(Garbutt and Bazzaz, 1984; Usuda and Shimogawara, 1998), 오히려 활력을 감소시키기도 하는데, CO_2 농도와 온도 증가에 따라 종들의 생태적 반응이 다양한 것은 식물마다 종 특이성을 가지기 때문이다(Kim and Kang, 2003).

이처럼 식물계절시기의 변화는 식물의 생장과 발달에 영향을 미친다. 그 이유는 식물뿌리가 토양 수분과 영양분을 흡수하고 광합성을 하는 잎의 발달 시기와 기간의 변화에 영향을 주기 때문이다(Nord and Lynch, 2009). 또한 잎과 뿌리 등의 개시 시기와 지속시간을 바꿈으로서 간접적으로는 식물의 생장과 생식에 영향을 준다(Aizen, 2003).

섬시호의 생식기관 측정 결과는 개체 당 화경 수, 성숙한 열매 수, 쭉정이 수, 총 열매 수, 쭉정이 무게 그리고 결실율에서 모두 차이가 없었지만, 개체 당 성숙한 열매 한 개 무게, 성숙한 열매무게 그리고 총 열매무게는 처리구보다 대조구에서 더 무거웠다. 전체적으로 볼 때, CO_2 농도와 온도 상승에 따라 섬시호의 종자무게가 줄어 종자의 질이 감소하였다.

종자의 등숙 정도는 온도, 강우량, 토양의 수분조건 등의 환경영향을 받는데(Fenner, 1992; Hong *et al.*, 2006), 본 연구에서는 섬시호 종자 등숙 시기에 CO_2 농도 증가로 인해 자생지의 평균기온(15.4)보다(Korea Meteorological Administration, 2010) 높은 것이 섬시호 열매무게를 감

소시켜 종자 생산에 부정적인 영향을 받은 것으로 보인다. 이와 유사한 연구로는 콩과의 *Medicago lupulina*와 *Trifolium medium*에서 CO_2 농도가 증가하면 종자 생산량이 감소 하였고(Thürig *et al.*, 2003), 옥수수와 콩의 수확시기에 CO_2 농도와 온도의 증가가 종자 생산량을 감소시킨다고 보고된 바 있다(Lobell and Asner, 2003). 그리고 본 연구와 같은 조건에서 미국자리공은 CO_2 농도와 온도가 증가하였을 때, 꽃대 당 열매 수와 무게가 대조구보다 적고 낮았지만, 열매 한 개 무게는 높았다(Kim and You, 2010b). 단양쑥부쟁이는 개체 당 꽃대 수와 무게, 꽃대 당 종자 개수, 종자 무게 그리고 종자 한 개 무게가 모두 처리구(750～800 ppm+2˚C 상승)보다 대조구(360～370 ppm)에서 더 많고 무거웠으며(Han, 2012), 섬자리공도 모든 항목이 처리구(700～800 ppm+2˚C 상승)보다 대조구(360～370 ppm)에서 더 잘 자라(Shin, 2012) 본 연구와 동일한 경향성을 보였다.

번식생태학적 항목 중 종자 수는 식물의 서식지 확장에 크게 기여하며(Baker, 1974), 식물이 종자를 많이 생산할수록 개개의 종자 크기는 작아진다고 한다(Werner and Platt, 1976; Harper, 1977). 하지만 우리 연구에서 종자 수는 차이가 없고, 쭉정이를 제외한 열매 무게 항목만이 처리구에서 대조구보다 더 낮았으며 통계적으로도 유의성이 있었다. 이러한 종자 무게의 감소는 유식물의 정착이나 초기생장에 영향을 주고(Shin and You, 2011), 종자의 발아 정도는 종자의 무게에 비례한다(Hendrix, 1984; Dornbos and Mullen, 1990). 섬시호의 발아 실험 결과를 보면, 발아 개시일은 처리구가 대조구보다 1일 빨랐지만, 파종 후 처리구는 68일에 더 이상 발아가 일어나지 않았고 대조구는 82일 이후부터 발아가 일어나지 않았다. 발아율은 처리구가 대조구보다 31% 낮았다. 이는, CO_2 농도가 350 ppm보다 750 ppm에서 낮은 발아율을 보인 애기장대(Andalo *et al.*, 1996)와 대조구(360～370 ppm)보다 처리구(750～800 ppm+2˚C 상승)에서 낮은 발아율을 보인 단양쑥부쟁이(Han, 2012) 연구와 같았다. 따라서 CO_2 농도와 온도 상승은 장기적으로 섬시호의 생식기관 특성과 발아에 영향을 미칠 것이며, 이상의 결과로 볼 때, CO_2 농도와 온도 상승에 따른 섬시호의 식물계절은 빨라질 것이고, 번식생태학적 반응은 부정적인 영향을 받을 것으로 사료된다.

적 요

지구온난화에 따른 멸종위기식물 섬시호의 식물계절과 번식생태학적 반응을 알아보기 위하여, 4년생 섬시호를 일반대기 조건인 대조구와 이산화탄소와 온도를 상승시킨 처리구로 나누어 유리온실에서 생육시켜 관찰・비교하였다. 개엽 시기는 처리구가 대조구보다 4일 빨랐고, 열매 개시일은 처리구가 대조구보다 1일 빨리 시작되었으며, 열매성숙 시기는 처리구가 대조구보다 2일 빨랐다. 그리고 개체 당 화경 수, 성숙한 열매 수, 쭉정이 수, 쭉정이 무게, 총 열매수와 결실율은 처리구와 대조구간의 차이가 없었다. 그러나 성숙한 열매 한 개 무게, 성숙한 열매무게와 총 열매무게는 대조구에서 처리구보다 높았다. 발아율은 대조구가 처리구보다 현저히 높았다. 이러한 결과는 지구온난화 조건이 되면 섬시호의 식물계절은 빨라지고, 번식생태학적 반응은 부정적인 영향을 받을 것이다.

사 사

본 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 지원으로 수행되었습니다.

인 용 문 헌

Ahn, Y.H. and S.J. Lee. 2007. Ecological characteristics and distribution of *Bupleurum latissimum* in Ulleung island. *Journal of Environmental Science* **16**(6): 751-761.

Aizen, M.A. 2003. Influences of animal pollination and seed dispersal on winter flowering in a temperature mistletoe. *Ecology* **84**: 2613-2627.

Andalo, C., B. Godelle, M. Lefranc, M. Mousseau and I. Till-Bottraud. 1996. Elevated CO_2 decreases seed germination in *Arabidopsis thaliana*. *Global Change Biology* **2**: 129-135.

Baker, H.G. 1974. The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* **5**: 1-24.

Carter, D.R. and K.M. Peterson. 1983. Effects of a CO_2-enriched atmosphere on the growth and competitive interaction of a C_3 and a C_4 grass. *Oecologia* **58**: 188-193.

Chapin, F.S., E.S. Zavleta, V.T. Eviner, R.S. Naylor, P.M. Vitousek, H.L. Reynolds, D.U. Hooper, S. Lavorel, O.E. Sala, S.E. Hobbie, M.C. Mack and S. Díaz. 2000. Consequences of Changing Biodiversity. *Nature* **405**: 234-242.

Chmielewski, F.M., A. Müller and E. Bruns. 2004. Climatechanges and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000. *Agricultural and Forest Meteorology* **121**: 69-78.

Choi, H.J., M.Y. Kim and K. Heo. 2006. Anatomy of *Bupleurum latissimum* Nakai (Apiaceae), an endemic species of Korea. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* **14**(6): 342-346.

Dornbos, D.L. and R.E. Mullen. 1990. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. *Canadian Journal of Plant Science* **71**: 373-383

Fenner, M. 1992. Environmental influences on seed size and composition. *In:* Horticultural Reviews 13 (Janick, J. eds.). John wiley & Sons Inc., Canada.

Garbutt, K. and F.A. Bazzaz. 1984. The effects of elevated CO_2 on plants III Flower, fruit and seed production and abortion. *New Phytologist* **98**: 433-446.

Given, D.R. 1994. Principles and practice of plant conservation. Champman & Hall Book, London.

Han, Y.S., H.R. Kim and Y.H. You. 2012. Effect of elevated CO_2 concentration and temperature on the ecological responses of *Aster altaicus* var. *uchiyamae*, an endangered hydrophyte. *Korean Wetlands Society* **14**(2): 169-180.

Harper, J.L. 1977. Population biology of plant. Academic Press, London.

Hendrix, S.D. 1984. Variation in seed weight and its effects on germination in *Pastinaca sativa* L. (Umbelliferae). *America Journal of Botany* **71**(6): 795-802.

Ho, C.H., E.J. Lee, I. Lee and S.J. Jeong. 2006. Earlier spring in Seoul, Korea. *International Journal of Climatology* **26**(14): 2117-2127.

Hönisch, B., N.G. Hemming, D. Archer, M. Siddall and J.F. McManus. 2009. Atmospheric carbon dioxide concentration across the mid-pleistocene transition. *Science* **324**(5934): 1551.

Hong, B.H., B.H. Choi, K.H. Kang, J.K. Kim, S.H. Kim and T.K. Min. 2006. Spermology. Hyangmunsa Press, Seoul.

Hong, Y.S. 2012. Effects of elevated CO_2 concentration and temperature on the phenology, growth response and reproductive ecology of *Cicuta virosa*, endangered plant in Korea. MS Thesis. Kongju National University. Korea.

Idso, S.B., B.A. Kimball, M.G. Anderson and J.R. Mauney. 1987. Effects of atmospheric CO_2 enrichment on plant growth: the interactive role of air temperature. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **20**: 1-10.

IPCC. 2007. Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution working group III contribution to the fourth assessment report of the lntergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, New York.

Jeong, J.H., C.H. Ho, H.W. Linderholm, S.J. Jeong, D. Chen and Y.S. Choi. 2011. Impact of urban warming on earlier spring flowering in Korea. *International Journal of Climatology* **31**(10): 1488-1497.

Jo, H.K. and T.W. Ahn. 2008. Differences in phenological phases of plants subsequent to microclimate change. *Korea Journal of Environment and Ecology* **22**(3): 221-229.

Kim, H.J. 2007. In vitro propagation of *Bupleurum latissimum* Nakai. MS Thesis. Chonbuk National University. Korea.

Kim, H.R. and Y.H. You. 2010a. Effects of Elevated CO_2 Concentration and Temperature on the Response of Seed Germination, Phenology and Leaf Morphology of *Phytolacca insularis* (Endemic species) and *Phytolacca americana* (Alien species). *Korea Journal of Environment and Ecology* **24**(1): 62-68.

Kim, H.R. 2010b. Effects of elevated CO_2 concentration and temperature on ecological responses of *Phytolacca insularis* and *Phytolacca americana*. MS Thesis. Kongju national university. Korea.

Kim, H.R. and Y.H. You. 2010c. The effects of the elevated CO_2 concentration and increased temperature on growth, yield and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L. cv. Junam). *Advances in Bioresearch* **1**(2): 1-5.

Kim, M.Y. 2004. Korean endemic plants. Solkwahak Press, Seoul.

Kim, M.Y., S.K. So, H.R. Park, E.K. Seo, H.J. Kwon and H.K. Song. 2006. Ecology of *Bupleurum latissimum* population. *Journal of Korean Environmental Restoration and Revegetation Technology* **9**(6): 78-85.

Kim, S.Y. and H.J. Kang. 2003. Effects of elevated atmospheric CO_2 on wetland plants: a review. *Korean Journal of Limnological Society* **36**(4): 391-402.

Kim, Y.S. and C.Y. Yoon. 1990. A taxonomic study on the genus *Bupleurum* in Korea. *Korean Journal Plant Taxonomy* **20**: 209-242.

Kimball, B.A., J.R. Mauney, F.S. Nakayama and S.B. Idso. 1993. Effects of increasing atmospheric CO_2 on vegetation. *Vegetatio* **104**(105): 65-75.

Korea Meteorological Administration. 2009. Climatological Phenomenon of Korea. Seoul, Korea.

Korea Meteorological Administration. 2010. Report of Global Atmosphere Watch 2010. Seoul, Korea.

Korea national long-term ecological research. 2005. Korea national long-term ecological research protocol. Korea National Long-Term Ecological Research press, Kongju.

Lee, K.M. 2011. Comprehensive study on plant phenology and climate in South Korea. PhD thesis, Konkuk University. Korea.

Lee, T.B. 2003. Coloured flora of Korea. Hyangmunsa Press, Seoul.

Liu, L.H., L. Shi, B.V. Wyk and P.M. Tilney. 2003. Fruit anatomy of the genus *Bupleurum* (Apiaceae) in north-eastern China and anotes on systematic implications. *South African Journal of Botany* **69**: 151-157.

Lobell, D.B. and G.P. Asner. 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. *Science* **299**: 1032.

Mabberley, D.J. 1990. The plant-book. Cambridge University Press. Great Britain, London.

Maschinski, J., J.E. Baggs, P.E. Quintana-Ascencio and E.S. Menges. 2006. Using population viability analysis to predict the effects of climate change on the extinction risk of an endangered limestone endemic shrub, Arizona cliffrose. *Conservation Biology* **20**: 218-228

Ministry of environment. 2012. 2012 White paper of environment. Ministry of Environment Press, Inchon.

Neves, S.S. and M.F. Watson. 2004. Phylogenetic relationships in *Bupleurum* (Apiaceae) based on nuclear ribosomal DNA ITS sequence data. *Annals of Botany* **93**: 379-398.

Nho, H.J. and H.Y. Jeong. 2002. Understanding of statical analysis by STATISTICA. Hyungseul Press, Seoul.

Nord, E.A. and J.P. Lynch. 2009. Plant phenology : a critical controller of soil resource acquisition. *Journal of Experimental Botany* **60**(7): 1927-1937.

Nordli, Ø., F.E. wielgolaski, A.K. Bakken, S.H. Hjeltnes, F. Måge, A. Sivle and O. Skre. 2008. Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change. *International Journal of Biometeorology* **52**: 625-639.

Purohit, A.N. and E.B. Tregunna. 1974. Effects of carbon dioxide on *Pharbitis*, *Xanthium*, and *Silene* in short days. *Canadian Journal of Botany* **52**: 1283-1291.

Shin, D.H., H.R. Kim and Y.H. You. 2012. Effects of elevated CO_2 concentration and increased temperature on the change of the phenological and reproductive characteristics of *Phytolocca insularis*, a Korea endemic plant. *Korean Wetlands Society* **14**(1): 1-9.

Shin, J.H. and Y.H. You. 2011. Effects of seed size on the rate of germination, early growth and winter survival in four oaks species. *Korean Journal of Environmental Biology* **29**(4): 274-279.

So, S.K., H.R. Park, E.K. Seo, K.S. Han, M.Y. Kim and K.R. Park. 2008b. Numerical taxonomic analyses of *Bupleurum latissimum* (Apiaceae). *Korean Journal of Plant Taxonomy* **38**(1): 31-42.

So, S.K., K.S. Han, M.Y. Kim, H.R. Park, E.K. Seo, Y.P. Kim and T.H. Kim. 2008a. Pollination mechanism of *Bupleurum latissimum* (Apiaceae). *Korean Journal of Plant Taxonomy* **38**(1): 43-50.

Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. Jaarsveld, G.F. Midgley, L. Miles, M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson, O.L. Phillips and S.E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* **427**: 145-148.

Thürig, B., C. Körner and J. Stöcklin. 2003. Seed production and seed quality in a calcareous grassland in elevated CO_2. *Global Change Biology* **9**: 873-884.

Usuda, H. and K. Shimogawara. 1998. The effects of increased atmospheric carbon dioxide on growth, carbohydrates, and photosynthesis in radish, *Raphanus sativus*. *Plant and Cell Physiology* **39**: 1-7.

Werner, P.A. and W.J. Platt. 1976. Ecological relationship of co-occurring goldenrods (*Solidago* : Compositae). *American Naturalist* **110**: 959-971.

(Manuscript received 10 May 2013,
Revised 19 May 2013
Revision accepted 5 September 2013)