

# 기후변화환경 하에서 멸종위기식물 섬시호(산형과)의 보전방안 마련을 위한 광, 수분, 영양소에 대한 반응 연구<sup>1a</sup>

안경호<sup>2</sup> · 유영한<sup>2</sup> · 조규태<sup>2\*</sup>

## Growth response to Light, Moisture and Nutrients for the Conservation Measures of *Bupleurum latissimum*(Apiaceae, endangered species) under Future Climate Environment(Elevated CO<sub>2</sub> Concentration and Temperature)<sup>1a</sup>

Kyeong-Ho Ahn<sup>2</sup>, Young-Han You<sup>2</sup>, Kyu-Tae Cho<sup>2\*</sup>

### 요 약

본 연구는 멸종위기식물인 섬시호를 대상으로 기후변화의 원인인 CO<sub>2</sub>+온도상승과 식물의 생육 및 분포에 중요한 광, 수분, 영양소를 조합 처리하여 지구온난화에 대해 어떻게 반응하는지 알아보고, 기후변화환경 하에서의 보전방안을 마련하고자 하였다. 실험은 야외의 CO<sub>2</sub> 농도와 온도를 반영한 대조구와 유리온실에서 대조구보다 CO<sub>2</sub> 농도가 약 2배, 온도가 약 2℃ 높게 유지한 CO<sub>2</sub>+온도상승구로 구분하여 2010년부터 2011년까지 생육시켜 관찰하고 비교하였다. 섬시호의 생육반응은 광, 수분, 영양소보다 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 더 많이 받았고, CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 영양소가 많은 조건일 때 잘 자랐다. 잎 수는 대조구에 비해 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 광이 낮은 구배와 영양소가 높은 구배에서 많았고, 잎 폭은 대조구에 비해 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 광과 영양소가 중간 구배에서 좁았다. 그러나 지상부 길이, 잎몸 길이 그리고 잎자루 길이는 대조구와 CO<sub>2</sub>+온도상승구 간에 차이가 없었다. 본 연구결과를 토대로 미래기후환경 하에서 섬시호의 보전을 위해서는 섬시호 자생지에 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 등이 포함된 영양소를 공급하고, 섬시호 자생지가 파괴되지 않도록 하여야 한다. 또한 섬시호의 자생지와 유사한 환경조건을 가진 곳을 발굴하여 복원함으로써 서식지를 확대하여야 한다.

주요어: 생육 반응, 자생지, 지구온난화, CO<sub>2</sub>+온도상승구

### ABSTRACT

In order to elucidate the ecological responses of *B. latissimum* under global warming situation and prepare the conservation measures, we cultivated the plant within control(ambient CO<sub>2</sub>+ambient temperature) and treatment(elevated CO<sub>2</sub>+elevated temperature) from 2010 to 2011. Rising CO<sub>2</sub> concentration was treated with 2 times and temperature increased with 2.0℃ above than control. As a result, Growth response has received more the effect of CO<sub>2</sub>+Temperature rising than light, moisture, nutrients, and it was grow well in CO<sub>2</sub>+temperature rise sphere when many nutrients, and it was grow well in CO<sub>2</sub>+temperature rise sphere when many nutrients. No. of leaves were many number in the treated group compared to the control at a low light

1 접수 2016년 9월 7일, 수정 (1차: 2016년 10월 6일), 게재확정 2016년 10월 7일

Received 7 September 2016; Revised (1st: 6 October 2016); Accepted 7 October 2016

2 공주대학교 생명과학과 Department of Life Science, Kongju National University, Gongju 32588, Korea

a 본 연구는 2016년도 중견연구지원사업(NRF-2016R1A2B1010709)에 의하여 지원되었음.

\* 교신저자 Corresponding author: Tel: +82-41-850-8508, Fax: +82-41-850-0957, E-mail: rbxo38@kongju.ac.kr

gradient and high nutrient gradient, leaf width was narrow in the treatment compared to the control in the middle gradient of light and nutrients. Shoot length, petiole length, lamina length was no difference between control and CO<sub>2</sub>+temperature rise sphere. Based on the results of this study, in order to preserve the *B. latissimum* in future climate, we should be supply of nutrients(containing NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, etc.) in the habitat of the *B. latissimum*, and must ensure that the habitat of *B. latissimum* is not destroyed. Also, We should be find similar area with habitat of the *B. latissimum*, restoring, expanding.

**KEY WORDS: ELEVATED CO<sub>2</sub>+ELEVATED TEMPERATURE, ENDANGERED SPECIES, GLOBAL WARMING, GROWTH RESPONSE**

## 서론

온실가스 농도의 상승은 지구 기온의 상승에 있어 주원인이다. CO<sub>2</sub>는 인위적 요인들에 의해 발생하는 온실가스 중 가장 큰 비중을 차지하고, CO<sub>2</sub>의 전 지구 대기 농도는 산업화 이전(280ppm)보다 2009년(385ppm)에 38%가 증가했다(IPCC, 2007; Hönisch *et al.*, 2009). 이와 같이 CO<sub>2</sub>를 배출할 경우 2100년에는 최대 약 6.4℃까지 온도가 상승할 것으로 예측된다(Korea Meteorological administration, 2010). 지구 기온상승으로 인한 환경의 변화는 인류의 위협, 생태계의 구조와 기능, 종들의 생태계 상호작용에 큰 변화를 일으키고 있으며, 많은 생물종의 멸절을 초래하고 있다(Chapin *et al.*, 2000; IPCC, 2007). 군집이 작고 고립된 개체군은 널리 퍼진 개체군 보다 환경 변화에 매우 약하며 멸절의 위기에 놓여있다(Fischer and Matthies, 1998). 지구온난화로 지구상의 생물종 중에서 15~37%가 2050년까지 멸종할 위험성이 있다(Thomas *et al.*, 2004). 우리나라의 경우, 2010년 평균 CO<sub>2</sub> 농도는 394.5ppm으로 1999년의 370.7ppm보다 23.8ppm(6.4%)가 증가하였다(Korea Meteorological administration, 2010). 그리고 지난 97년간(1912~2009) 우리나라 주요 6개 도시의 평균기온은 약 1.7℃가 상승하였다. 이것은 전 지구의 평균 기온상승(0.74℃)의 2배 이상으로 우리나라의 온난화 추세는 전 지구적인 온난화 추세를 상회하고 있다(Korea Meteorological administration, 2009; IPCC, 2007).

CO<sub>2</sub> 농도와 온도는 식물의 특성에 많은 영향을 준다. CO<sub>2</sub> 농도가 증가하면 식물은 CO<sub>2</sub> 분압을 높여 광합성기관에서 CO<sub>2</sub> 확산과 rubisco의 탄소고정반응이 촉진되고, 광호흡을 억제시킨다. 그 결과 광합성 속도가 상승하여 생산량이 증가한다(Kimball *et al.*, 1993; Poorter and Pérez-soba, 2002; Park, 2003). 그리고 광포화점을 상승시켜 광합성량을 증가시키고(Bowes, 1996; Onoda *et al.*, 2009), 잎의 기공을 폐쇄시켜 증산작용을 감소시키며(Pinter *et al.*, 1996;

Morison, 2001), 식물의 수분이용효율(Water Use Efficiency, WUE)을 향상시킨다(Zhu *et al.*, 1999).

식물들은 각자 최적의 환경조건을 갖춘 지역에서 생육을 한다. 따라서 적지환경 진단에 많이 사용되는 방법으로는 광, 온도, 수분, 토성 등의 환경요인을 변화시켜 식물의 잎, 줄기, 뿌리 형태 등의 생태적 변화에 미치는 영향을 상세히 규명하는 것이다. 이는 그 수종의 다양한 특성을 진단할 수 있는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다(Larcher, 2003). 식물에 따라서는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도의 변화가 식물에 영향을 미치지 않는 경우도 있으며(Garbutt and Bazzaz, 1984; Usuda and Simogawara, 1998), 오히려 감소시키는 영향을 주기도 한다. CO<sub>2</sub> 농도와 온도에 장기간 노출되면 광합성으로 인해 식물 잎의 탄수화물량이 축적되어 엽록체의 물리적 손상을 가져오고, 엽록소 농도를 감소시키며, CO<sub>2</sub> 분압상승으로 광합성의 피드백억제를 발생시켜 광합성률을 감소시킨다(Campbell *et al.*, 1988; Idso and Kimball, 1997). 이와 같이 CO<sub>2</sub> 농도와 온도 상승에 의한 식물의 생장특성 변화가 다양하고 복합적으로 나타나는 결과는 식물마다 종 특이성을 가지기 때문이다(Kim and Kang, 2003).

국내에서 섬시호는 멸종위기식물로 지정된 식물임에도 불구하고 이에 대한 연구는 찾기 힘들다. 더불어 지구온난화에 대해 어떻게 반응하는지에 대한 연구는 전무하다. 이에 본 연구에서는 멸종위기식물인 섬시호를 대상으로 최근 가장 큰 기후변화의 원인인 CO<sub>2</sub>+온도상승과 식물의 생육 및 분포에 결정적으로 중요한 광, 수분, 토양영양소 환경요인을 통제된 실내에서 구배별로 조합 처리하여 이에 대한 섬시호의 생육반응이 어떻게 일어나는지 알아보고, 기후변화환경 하에서의 보전방안을 마련하고자 시도하였다.

## 연구방법

섬시호(*Bupleurum latissimum* Nakai)는 세계적으로 울릉도에만 한정분포하는 한국특산식물이며(Kim, 2004), 한

경부가 지정한 멸종위기 야생 동·식물 II에 속하는 식물이다. 섬시호는 유기물함량이 높고, 약산성의 토양 환경에서 서식한다(Kim *et al.*, 2006). 본 실험은 2007년 국립환경과학원에서 분양받은 섬시호를 대상으로 2010년 3월초부터 2011년 7월까지 충남 공주시에 위치한 유리온실에서 진행되었다.

### 1. 환경요인의 구배

본 연구에서 환경요인의 구배는 기후변화의 원인인 CO<sub>2</sub>+온도상승과 모든 식물의 분포와 생육에 결정적으로 중요하다고 알려진 광, 수분, 토양영양소의 4가지 환경요인을 조합하여 처리하였다.

CO<sub>2</sub>+온도상승 요인에 따라 대조구(ambient CO<sub>2</sub>+ambient temperature)와 CO<sub>2</sub>+온도상승구(elevated CO<sub>2</sub>+elevated temperature)로 구분하였는데, 대조구는 야외 온도와 CO<sub>2</sub> 농도(340~370ppm)로 하고, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 지구온난화 시나리오(SRES B1)로 대조구보다 CO<sub>2</sub> 농도는 약 2배(690~770ppm), 온도는 약 2°C 높게 유지시켰다(Figure 1). 대조구와 CO<sub>2</sub>+온도상승구의 실험이 수행된 온실의 온도는 각각 같은 높이에 디지털 데이터 온도계(TR-71U, T&D Co., Japan)를 설치하여 측정하였고, 통풍의 조절로 2°C 차이가 나도록 하였다. CO<sub>2</sub>는 CO<sub>2</sub>+온도상승구 밖에 CO<sub>2</sub> 가스통 2개를 설치한 뒤, 각각의 CO<sub>2</sub> 가스통에 지름 0.2mm인 호스를 연결하여 주입하였고, CO<sub>2</sub> 농도는 이산화탄소 농도 측정로거(TE17001, Onset computer, USA)로 측정한 후 Gas regulator로 조절하여 유지하였다.

유리 온실에 입사되는 전 일광 100%(L3, 787.75±77.76 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)를 기준으로, 30%(L1, 236.42±32.15 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)와 70%(L2, 539.21±54.66 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)의 3구배로 하였다. 광량은 차광막의 두께로 조절하였고, 이 때 광 구배는 태양의 이동을 고려하여 맑은 날 계절별로 하루 동안

조도계를 이용해 측정 후 그 평균값으로 결정하였다.

수분 구배는 3구배로 나누었다. 포장용수량이 700mL인 것을 고려하여 이보다 적은 300mL(M1)와 500mL(M2)를 6~7일 간격으로 그리고 건조한 때에는 4~5일 간격으로 각각 공급하였다.

토양의 영양소 구배는 화분에 들어가는 모래의 부피를 기준(100%)으로 하고, 그 모래에 대한 영양소의 비율은 0%(N1), 20%(N2)와 40%(N3)가 되게 배합하였다. 영양소는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 80~100mg/L, NO<sub>3</sub> 150~200mg/L, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 230~330mg/L와 K<sub>2</sub>O 80~120mg/L인 흥농 바이오 상토(주, 몬산토 코리아)를 사용하였다. 모래는 세척하여 유기물이 제거된 것을 사용하였다. 야외에서 일반적인 유기물 함량 5%이지만 섬시호의 최적 환경조건을 찾기 위하여 이와 같이 설계하였다.

### 2. 재배 및 측정

2009년 6월에 수확하여 4°C 냉장고에 보관한 섬시호 종자를 2010년 3월 5일 플라스틱 사각화분(길이 51cm, 폭 15.3cm, 높이 12cm)에 파종하여 발아시켰다. 그 후, 환경구배 당 각각의 화분(지름 24cm, 높이 23.5cm)에 세 개체씩 이식하여 2011년 7월까지 처리하였다. 측정 항목은 지상부 길이(cm), 잎 수(ea), 잎 폭(cm), 잎몸 길이(cm) 그리고 잎자루 길이(cm)이다.

### 3. 통계처리

환경요인 구배에 따른 섬시호의 생육적 반응의 경향성을 밝히기 위하여 환경요인의 각 구배에 따른 반응의 평균치를 이용하여 일원분산분석(One-way ANOVA)을 실시하였다. 구배별 차이 유의성은 일원분산분석을 이용하였다. Fisher 최소유의차 법으로 5% 유의수준에서 차이를 검정하였다

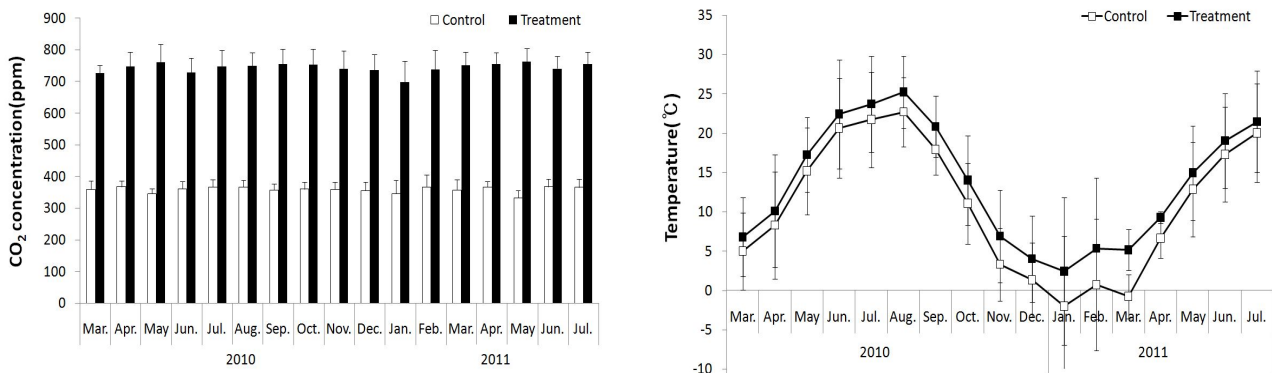


Figure 1. Average CO<sub>2</sub> concentration and monthly temperature in control(ambient CO<sub>2</sub> and ambient temperature) and treatment(elevated CO<sub>2</sub> and elevated temperature) during 2010 and 2011

(No and Jung, 2002).

또한, 섬시호의 생육반응에 대한 CO<sub>2</sub>+온도상승, 광, 수분 및 영양소 그리고 그들의 상호작용의 영향을 알아보기 위해 다변량 분산분석(MANOVA)을 실시하였다.

## 결 과

식물의 생장은 빛, 물, 온도와 토양의 특성 등 여러 환경요인에 반응하고, 두 개 이상의 자원이 동시에 식물의 발달을 제한한다(Chapin *et al.*, 1987). 그렇기 때문에 본 연구에서는 어떤 환경요인의 영향을 받았는지 알아보기 위해 다변량 분산분석을 실시하였다. 그 결과, 섬시호는 대부분 지상부의 생육과 기관의 발달에 환경요인 중에서 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 받았다.

CO<sub>2</sub>+온도상승과 광 조건에서는 잎 폭이 CO<sub>2</sub>+온도상승과 광의 영향을 받았고, 잎자루 길이가 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 받았다. CO<sub>2</sub>+온도상승과 수분 조건에서는 지상부 길이, 잎 수, 잎 폭, 잎몸 길이, 잎자루 길이 모두가 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 받았다. 그리고 CO<sub>2</sub>+온도상승과 영양소 조건에서는 지상부 길이, 잎 수, 잎 폭, 잎몸 길이, 잎자루 길이 모두가 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 받았고, 잎 수와 잎 폭이 영양소의 영향을 받았으며, 잎자루 길이가 CO<sub>2</sub>+온도상승과 영양소의 상호작용에 의해 영향을 받았다(Table 1).

지구온난화로 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가함으로써 멸종위기식물인 섬시호가 어떻게 변화 될지를 알아보기 위해 환경구배에 따른 섬시호의 생육변화에 대해 비교하였다(Figure 2).

지상부의 길이는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하더라도 대조구와 생육의 차이는 없었다. 광 구배의 경우, 대조구는 낮은 구배(L1)에서 43.41cm로 가장 길었고, 높은 구배(L3)에서

32.08cm로 가장 짧았다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 낮은 구배(L1)에서 45.75cm로 가장 길었고, 높은 구배(L3)에서 30.75cm로 짧았다. 수분 구배의 경우, 대조구는 구배에 따라 차이가 없었지만, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(M3)에서 17.5cm로 가장 짧았다. 토양영양소 구배의 경우, 대조구는 높은 구배(N3)에서 31.83cm로 가장 길었으며, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(N3)에서 38.16cm로 가장 길었고, 낮은 구배(N1)에서 3cm로 가장 짧았다(Figure 2(a)).

잎 수는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가할 때 광이 낮고 영양소가 높은 구배에서 많았다. 광 구배의 경우, 대조구는 중간 구배(L2)에서 5.33개로 가장 많았고, 낮은 구배(L1)에서 4개로 가장 적었다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 구배에 따라 차이가 없었다. 수분 구배의 경우, 대조구는 구배에 따라 차이가 없었지만, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 낮은 구배(M1)에서 5개로 가장 많았다. 토양영양소 구배의 경우, 대조구는 낮은 구배(N1)에서 2.66개로 가장 적었다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(N3)에서 6.33개로 가장 많았고, 낮은 구배(N1)에서 3개로 가장 적었다(Figure 2(b)).

잎 폭은 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가할 때 광과 영양소가 중간 구배에서 좁았다. 광 구배의 경우, 대조구는 중간 구배(L2)에서 12.5cm로 가장 길었고, 낮은 구배(L1)에서 9cm로 가장 짧았다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(L3)에서 10.16cm로 가장 길었고, 낮은 구배(L1)에서 7.33cm로 가장 짧았다. 수분 구배의 경우, 대조구는 구배에 따라 차이가 없었지만, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(M3)에서 5cm로 가장 짧았다. 토양영양소 구배의 경우, 대조구와 CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(N3)에서 가장 길었고, 낮은 구배(N1)에서 가장 짧았다(Figure 2(c)).

잎몸 길이는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하더라도 대조구와

Table 1. Effects of environmental factors and their interactions on aboveground growth of *Bupleurum latissimum*

Factors	Shoot length		No. of leaves		Leaf width		Lamina length		Petiole length	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
CO <sub>2</sub> +Tem.(C)	3.7215	ns	1.6000	ns	10.1350	0.0026	1.3382	ns	6.6132	0.0116
Light(L)	1.0654	ns	1.6000	ns	12.0420	0.0046	0.5294	ns	0.4956	ns
C × L	1.2842	ns	0.4000	ns	1.5730	ns	0.9265	ns	1.9036	ns
CO <sub>2</sub> +Tem.(C)	4.8740	0.0282	6.3330	0.0133	6.9273	0.0100	4.8933	0.0280	11.3619	0.0017
Moisture(M)	1.0810	ns	1.3330	ns	0.2909	ns	0.0533	ns	0.7983	ns
C × M	0.7570	ns	0.3330	ns	0.6727	ns	2.1733	ns	0.2514	ns
CO <sub>2</sub> +Tem.(C)	70.2927	0.0000	54.2500	0.0000	119.6912	0.0000	194.8370	0.0000	88.0731	0.0000
Nutrient(N)	1.6425	ns	6.2500	0.0280	4.7647	0.0496	0.3270	ns	0.0468	ns
C × N	1.5583	ns	3.2500	ns	2.1618	ns	2.8370	ns	4.1433	0.0428

ns, non-significant ( $P > 0.05$ ). F and P values for the repeated measures ANOVA with light, moisture, nutrient, CO<sub>2</sub> concentration, temperature and their interactions as aboveground growth characteristics as response variables.

생육의 차이는 없었다. 광 구배의 경우, 대조구와 CO<sub>2</sub>+온도 상승구 모두 구배에 따라 차이가 없었다. 수분 구배의 경우, 대조구는 구배에 따라 차이가 없었지만, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 낮은 구배(M1)에서 8.5cm로 가장 길었고, 높은 구배(M3)에서 5.5cm로 가장 짧았다. 토양영양소 구배의 경우, 대조구는 높은 구배(N3)에서 12.33cm로 가장 길었고, 낮은 구배(N1)에서 3.33cm로 가장 짧았다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(N3)에서 13cm로 가장 길었고, 중간 구배(N2)와 적은 구배(N1)에서는 차이가 없었다(Figure 2④).

잎자루 길이는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하더라도 대조구와 생육의 차이는 없었다. 광 구배의 경우, 대조구는 구배에 따라 차이가 없었지만, CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(L3)에서 27.66cm로 가장 짧았고, 낮은 구배(L1)와 중간 구배

(L2)에서는 차이가 없었다. 수분 구배의 경우, 대조구는 낮은 구배(M1)와 중간 구배(M2)에서 차이가 없었고, 높은 구배(M3)에서 12cm로 가장 짧았다. CO<sub>2</sub>+온도상승구는 낮은 구배(M1)에서 17cm로 가장 길었고, 높은 구배(M3)에서 11cm로 가장 짧았다. 토양영양소 구배의 경우, 대조구와 CO<sub>2</sub>+온도상승구는 높은 구배(N3)에서 가장 길었고, 낮은 구배(N1)에서 가장 짧았다(Figure 2⑤).

## 고찰

본 연구에서 섬시호는 수분함량이 높지 않고 유기물함량이 높은 곳에서 잘 자라며, 지상부의 생육과 기관의 발달에 대부분 CO<sub>2</sub>+온도상승의 영향을 받았다. 그러나, 생육에 차

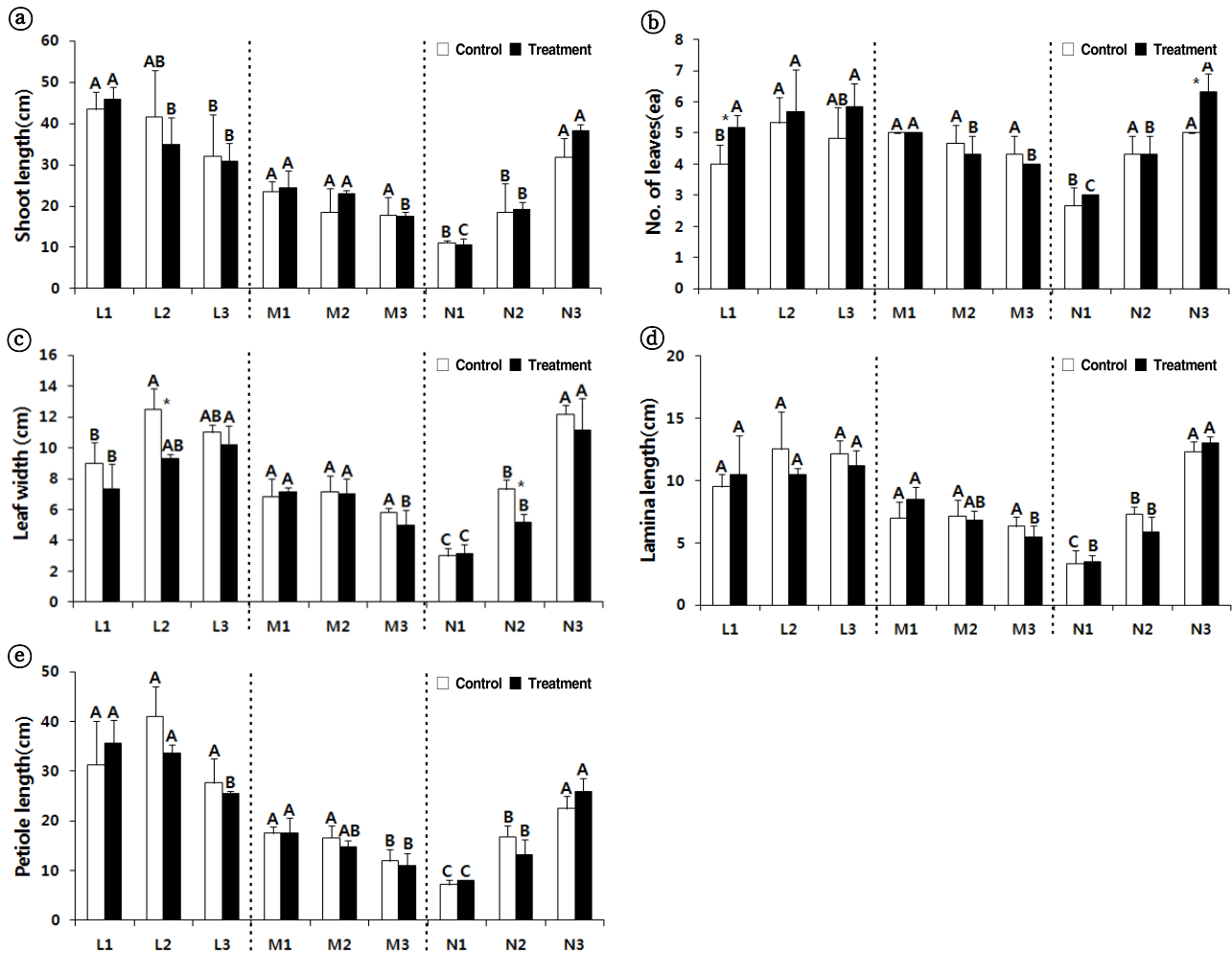


Figure 2. Shoot length(a), No. of leaves(b), leaf width(c), lamina length(d), petiole length(e) of *Bupleurum latissimum* under control(ambient CO<sub>2</sub>-ambient temperature) and treatment(elevated CO<sub>2</sub>-elevated temperature) by light(L), moisture(M), nutrient(N) gradients. Alphabets on bars mean significant difference among gradients level within each conditions(L, M, N)(Fisher's least significant difference, p<0.05)

이가 있는 것은 잎 수와 잎 폭 뿐이었다. 잎 수는 광이 낮은 구배와 영양소가 높은 구배에서 대조구에 비해 CO<sub>2</sub>+온도 상승구에서 많았고, 잎 폭은 광과 영양소가 중간 구배에서 대조구에 비해 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 좁았다.

섬시호와 같은 멸종위기식물인 독미나리는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하여도 지상부 길이는 대조구와 차이가 없었는데(Hong, 2012), 본 연구결과에서도 일치하였다. 또한, CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하였을 때 섬자리공(*P. insularis*)의 지상부 길이는 차이가 없었고, 십자화과(Brassicaceae)의 *Cardamine hirsuta*는 증가된 CO<sub>2</sub> 농도에서 광에 따라 잎 수에 차이가 없었으며(Leishman *et al.*, 1999), Billes *et al.*(1993)의 연구에서 밀은 대기중과 증가된 CO<sub>2</sub> 농도 하에서 영양소가 낮은 곳보다 높은 곳의 지상부 생산량이 높게 나타나 본 연구와 일치하였다.

한편, Lee *et al.*(2013)는 지구온난화 조건이 되면 섬시호는 식물계절은 빨라지고, 번식생태학적 반응은 부정적인 영향을 받는 것으로 발표하였다. Kim and You(2010)의 연구 결과에서는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가한 조건에서 여러해살이 초본인 섬자리공(*Phytolacca insularis*)과 미국자리공(*Phytolacca americana*)의 잎 폭, 잎몸 길이, 잎자루 길이가 대조구보다 못 자랐으며, 미국자리공(*P. americana*)의 지상부 길이는 더 잘 자랐고, 잎 수는 더 적었다. 그리고 별노랑이(*Lotus corniculatus*)는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하면 수분이 적을 때 보다 많을 때 더 잘 자랐다는 연구결과도 있다(Cater *et al.*, 1997). 초본식물인 개쑥갓(*Senecio vulgaris*)은 CO<sub>2</sub> 농도가 증가되면 광 100%보다 광 70%일 때 줄기 길이가 증가하였고, 잎 수가 늘어났으며(Leishman, 1999), 목화(*Gossypium hirsutum*)는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 상승하면 잎 수가 증가하는 것으로 나타났다(Yoon *et al.*, 2009). 또한 밀(*Triticum aestivum* L.)은 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하면 수분이 적은 곳에서 보다 많은 곳에서 지상부 생산량이 증가한다(Schütz and Fangmeier, 2001). 그리고 장미(*Rosa hybrida*)는 빛이 적은 곳 보다 많은 곳에서 지상부 길이가 증가하였다(Mor and Halevy, 1980).

이상으로 볼 때, CO<sub>2</sub> 농도와 온도의 증가에 의한 식물들의 생육반응은 연구 대상종에 따라 다른 결과를 나타낸다. 이러한 이유는 모든 종마다 CO<sub>2</sub> 농도와 온도에 반응하는 특이성을 가지고 있고, 여러 복합적인 요인에 의해 식물의 생장이 이루어지기 때문으로 판단된다. 또한, 식물의 생육 반응은 환경요인에 대한 내성에 따라 다르게 나타나기 때문에 멸종위기종의 생태적 지위폭 연구를 병행한 결과를 토대로 보전방안을 마련해야 할 것이다.

본 연구결과를 토대로 미래기후환경 하에서 섬시호의 보전을 위해서는 섬시호 자생지에 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O 등이 포함된 상토를 공급하고, 섬시호 자생지가 파괴되지 않

도록 보호책 설치와 불법 채취 경고판 설치 등의 보전대책을 실시하여야 한다. 또한 섬시호의 자생지와 유사한 환경 조건을 가진 곳을 선정하여 복원함으로써 서식지를 확대하여야 한다.

## REFERENCES

- Billes, G., H. Rouhier and P. Bottner(1993) Modifications of the carbon and nitrogen allocation in the plant(*Triticum aestivum* L.) soil system in response to increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Plant and Soil*. 157: 215-225.
- Bowes, G.(1996) Photosynthetic responses to changing atmospheric carbon dioxide concentration. *Photosynthesis and the Environment* 5: 387-407.
- Campbell, W.J., L.H. Allen Jr and G. Bowes(1988) Effects of CO<sub>2</sub> concentration on rubisco activity, amount, and photosynthesis in soybean leaves. *Plant Physiol*. 88: 1310-1316.
- Carter, E.B., M.K. Theodorou and P. Morris(1997) Responses of *Lotus corniculatus* to environmental change I. effects of elevated CO<sub>2</sub>, temperature and drought on growth and plant development. *New Phytologist* 136: 245-253.
- Chapin, F.S., A.J. Bloom, C.B. Field and R.H. Waring(1987) Plant responses to multiple environmental factors. *Bioscience* 37: 49-57.
- Chapin, F.S., E.S. Zavleta, V.T. Eviner, R.L. 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.
- Fischer, M. and D. Matthies(1998) Experimental demography of the rare gentianella germanica: seed bank formation and micro-site effects on seedling establishment. *Ecography* 21: 269-278.
- Garbutt, K. and F.A. Bazzaz(1984) The effects of elevated CO<sub>2</sub> on plants. III. Flower, fruit and seed production and abortion. *New Phytologist* 98: 433-446.
- 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): 1551-1554.
- Hong, Y.S.(2012) Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on the phenology, growth response and reproductive ecology of *Cicuta virosa*, endangered plant in Korea. Master's Thesis, Kongju National University, Gongju, Korea. (in Korean)
- Idso, S. and B. Kimball(1997) Effects of long-term atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment on the growth and fruit production of sour orange trees. *Global Change Biology* 3: 89-96.
- IPCC(2007) Climate change 2007: Mitigation of climate change. Contribution working group III contribution to the fourth as-

- essment report of the Intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge, New york, U.S.A., 176pp.
- 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). Kor. J. Env. Eco. 24(1): 62-68. (in Korean with English abstract)
- Kim, M.Y.(2004) Korean endemic plants. Sol Publisher. Korea. 136pp. (in Korean)
- Kim, M.Y., S.K. So, H.R. Park, E.K. Seo, H.J. Kwon and H.K. Song(2006) Articles: Ecology of *Bupleurum latissimum* Population. J. Korean Env. Res. & Reveg. Tech. 9(6): 78-85. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.Y. and H.J. Kang(2003) Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on wetland plants: a review. Korean J. Limnol. 36(4): 391-402. (in Korean with English abstract)
- Kimball, B.A., J.R. Mauney, F.S. Nakayama and S.B. Idso(1993) Effects of increasing atmospheric CO<sub>2</sub> on vegetation. Vegetatio 104/105: 65-75.
- Korea Meteorological administration(2009) Climatological Phenomenon of Korea. Seoul, Korea, 15pp. (in Korean)
- Korea Meteorological administration(2010) Report of Global Atmosphere Watch 2010. Seoul, Korea, 239pp. (in Korean)
- Larcher, W.(2003) Physiological plant ecology. 4th ed. Springer. 488pp.
- Lee, S.H., J.K. Jeong, K.T. Cho, R.H. Jang, Y.S. Han and Y.H.You(2013) Effect of Elevated CO<sub>2</sub> Concentration and Temperature on the Phenology and Reproductive Ecological Characteristics of *Bupleurum Latissimum* (Endangered plant). Kor. J. Ecol. Environ. 46(3): 380-387. (in Korean with English abstract)
- Leishman, M.R., K.J. Sanbrooke and R.M. Woodfin(1999) The effects of elevated CO<sub>2</sub> and light environment on growth and reproductive performance of four annual species. New Phytologist 144: 455-462.
- Mor Y. and A. H. Halevy(1980) Promotion of sink activity of developing rose shoots by light. Plant Physiol. 66: 990-995.
- Morison, J.I.L.(2001) Increasing atmospheric CO<sub>2</sub> and stomata. New Phytologist 149: 154-158.
- No H.J. and H.Y. Jung(2002) Well-defined statistical analysis according to statistica. Hyeong-seok Publisher. Korea. 336pp. (in Korean)
- Onoda, Y., T. Hirose and K. Hikosaka(2009) Does leaf photosynthesis adapt to CO<sub>2</sub>-enriched environments? An experiment on plants originating from three natural CO<sub>2</sub> springs. New Phytologist 182: 698-709.
- Park, H.R.(2003) Grobal warming, these effect and prevention. Wooyoung Publisher. Korea. 285pp. (in Korean)
- Pinter, P.J., B.A. Kimball, G.W. Wall, D.J. Hunsaker and R.L. Lamorte(1996) Free-air CO<sub>2</sub> enrichment: responses of cotton and wheat crops. In Carbon Dioxide and Terrestrial Ecosystems(eds G. W. Koch and H. A. Mooney). Academic Press, San Diego, CA. pp. 215-250.
- Poorter, H. and M. Pérez-Soba(2002) Plant growth at elevated CO<sub>2</sub>. Encyclopedia of Global Environmental Change. pp. 489-496.
- Schütz, M. and A. Fangmeier(2001) Growth and yield responses of spring wheat(*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) to elevated CO<sub>2</sub> and water limitation. Environmental Pollution 114: 187-194.
- Thomas, C.D., A. Cameron, R.E. Green, M. Bakkenes, L.J. Beaumont, Y.C. Collingham, B.F.N. Erasmus, M.F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A.S. van 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.
- Usuda, H. and K. Simogawara(1998) The effects of increased atmospheric carbon dioxide on growth, carbohydrates, and photosynthesis in radish, *Raphanus sativus*. Plant and Cell Physiology 39: 1-7.
- Yoon, S.T., G. Hoogenboom, I. Flitcroft and M. Bannayan(2009) Growth and development of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in response to CO<sub>2</sub> enrichment under two different temperature regimes. Environmental and Experimental Botany 67: 178-187.
- Zhu, J., G. Goldstein and D.P. Bartholomew(1999) Gas exchange and carbon isotope composition of *Ananas comosus* in response to elevated CO<sub>2</sub> and temperature. Plant, Cell & Environment 22: 999-1007.