

CO₂농도와 온도 상승에 따른 백태와 서목태(*Glycine max* (L.) Merrill)의 식물계절학 및 번식생태학적 반응^{1a}

박재훈² · 조규태² · 김상범² · 장래하² · 유영한^{2*}

Effects of elevated-CO₂ concentration and -temperature on the phenological and reproductive responses of Baktae and Seomoktae, *Glycine max* (L.) Merrill^{1a}

Jae-Hoon Park², Kyu-Tae Cho², Sang-Bum Kim², Rae-Ha Jang², Young-Han You^{2*}

요 약

본 연구에서는 지구온난화 조건에서 한국의 주요 작물인 백태와 서목태의 식물계절, 잎 수, 원줄기의 마디 수, 가지 수, 식물개체당 총 종자 수와 총 꼬투리 수, 식물개체당 총 종자 무게, 꼬투리당 종자 수 그리고 종자 하나의 무게에 대한 반응을 알아보았다. 이를 위해 CO₂농도가 일반 대기조건과 같은 대조구와, CO₂농도와 온도를 상승시킨 처리구에서 두 종의 콩을 생육시켜 관찰하였다. CO₂농도는 540 ppm으로, 온도는 처리구가 대조구보다 2.2°C 상승하도록 설계하였다. 그 결과 백태의 최초 개엽시기, 서목태의 최초 개화시기와 열매성숙시기는 대조구보다 처리구에서 늦어졌다. 백태와 서목태의 잎, 가지 그리고 원줄기의 마디의 수는 대조구와 처리구간에 차이가 없었으나 서목태의 가지 수는 처리구에서 6월에만 적었다. 백태의 종자 하나당 무게와 꼬투리당 종자 수는 대조구와 처리구 간 차이가 없었으나, 식물개체당 총 꼬투리 수와 식물개체당 총 종자 수는 대조구보다 처리구에서 적었다. 그러나 식물개체당 총 종자무게는 대조구와 처리구 간에 차이가 없었다. 서목태의 종자 하나당 무게와 꼬투리당 종자 수는 대조구와 처리구 간 차이가 없었으나, 식물개체당 총 꼬투리 수는 대조구보다 처리구에서 적었다. 또, 식물개체당 총 종자 수는 대조구와 처리구 간 차이가 없었으나, 식물개체당 총 종자 무게는 대조구보다 처리구에서 더 가벼웠다. 이상으로 볼 때, 지구온난화로 백태는 종자 수가 감소하고 서목태는 최초 개엽, 개화, 성숙시기, 그리고 가지 형성시기가 늦어지며, 그 결과 꼬투리 수와 종자 무게가 감소되어 생산량이 줄어들 것이다. 이러한 개체군의 생장을 연구하는 것은 지구온난화에 대한 육상식물의 생태적 반응 연구에 중요한 자료로 활용될 것이다.

주요어: 지구온난화, 콩, 종자생산성

ABSTRACT

In order to elucidate the ecological and phenological responses of bean under global warming situation, we investigated leafing and flowering phenomena and growth traits of Baktae and Seomoktae in control plot (ambient CO₂ concentration and temperature) and warmed plot (elevated CO₂ concentration and increased temperature than control) in green house. Average CO₂ concentration and temperature were set 540 ppm in treatment and higher 2.2°C in treatment than control. The appearance of leaf unfolding and the initiation of

1 접수 2014년 11월 7일, 수정(1차: 2014년 12월 3일), 게재확정 2014년 11월 4일

Received 7 November 2014; Revised (1st: 3 December 2014); Accepted 4 December 2014

2 공주대학교 생물학과 Dept. of Biology, Kongju Univ., Gongju 314-701, Korea (kn5314@Kongju.ac.kr)

a 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC)육성사업의 연구결과임

* 교신저자 Corresponding author: Tel: 041) 850-8508, Fax: 041) 850-0957, E-mail: youeco21@kongju.ac.kr

blooming and fruit maturing in Seomoktae were late in treatment than control. In case of Baktae, the number of total pods and seeds per plant in treatment was fewer than that in control. For Seomoktae, the number of total pods per plant and weight of total seeds per plant were decreased in treatment than in control. Thus, the number of pods and seeds of Baktae declined and the production of Seomoktae was decreased under global warming condition. This result indicates that site selection and crop yield for cultivating of the bean may be changed into new area due to global warming condition.

KEY WORDS: GLOBAL WARMING, BEAN, SEED PRODUCTIVITY

서론

지구온난화는 온도상승에 따른 범지구적 기후변화이며 그 원인은 대기 중 CO₂농도의 증가이다(Kobayashi, 2006). 산업화 초기의 대기 중 평균 CO₂농도는 280ppm였으나(Houghton, 2004) 화석연료 이용으로 인하여 2005년에는 379ppm으로 급격히 증가하였다(IPCC, 2007b). 한국의 평균기온은 지난 100년간 1.8°C 증가했는데 이 수치는 같은 기간의 세계평균 기온상승(0.8°C)보다 높았다(Ministry of environment, 2013). 이렇게 온도가 지속적으로 상승하여 지구의 평균 기온이 현재보다 1.5~2.5°C 이상 증가한다면 생물종의 20~30%가 멸종할 것이다(IPCC, 2007a).

지구온난화는 식물계절현상에도 영향을 준다(Sherry *et al.*, 2007). 환경조건이 변화하면 식물계절적 단계의 시작과 지속기간, 종결도 달라지는데, 이것은 기후변화와 전 지구적 기온상승 간의 잠재적 영향을 평가할 때 중요한 지표로서 사용된다(Nordli *et al.*, 2008).

또한, 대기 중 CO₂농도의 증가는 목본부터 초본까지 모든 식물의 생장에 영향을 준다(Kimball *et al.*, 1993). 높은 CO₂농도에서, 어린 흰가시나무(*Quercus alba*)의 엽면적이 넓어졌으며(Norby *et al.*, 1999), 미국풍나무(*Liquidambar styraciflua*)의 잔뿌리는 2.2배 증가하였다(shortis *et al.*, 2004). 그리고 미국자리공(*Phytolacca americana*)의 잎몸 길이와 잎 폭, 섬자리공(*Phytolacca insularis*)의 잎 폭도 증가했다(Kim, 2010). 그러나 이와 대조적으로 단양쑥부쟁이(*Aster altaicus* var. *uchiyamae*)의 지상부와 지하부 무게는 감소했다(Han *et al.*, 2012).

이 뿐만 아니라 인간이 주로 재배하는 작물(벼, 밀, 옥수수 등)들도 CO₂농도상승의 영향을 받아서 꽃 수, 열매 수, 종자 수가 늘어났다는(Jablonski *et al.*, 2002) 보고도 있다.

콩과 식물은 전세계적으로 630속 18,000종이 분포하고 있으며, 특히 벼과 다음으로 경제적 가치가 있다. 몇몇 종들은 토양 속에 깊이 뿌리를 내려 토양 내 질소함량을 높이는 것으로 알려져 있다(Walter *et al.*, 2005).

한국의 콩과 식물 중 백태와 서목태는 같은 *G. max* 종으로서 열매 색이 하얀색인지 검은색인지로 구분하며, 시중에서 흔히 종자를 구할 수 있기 때문에 콩과 식물의 생장 반응을 연구하기에 편리한 장점이 있다. 특히 콩은 현재까지 콩류 식품의 성분과 관련 연구(Choi *et al.*, 2014; Ku *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014)가 많이 이루어져 왔지만, 기후변화에 따른 생태학적 반응에 관한 연구는 거의 없다. 따라서 본 실험에서는 한국에서 주로 식용으로 이용되는 작물이며 콩과 육상 식물인 백태와 서목태를 대상으로 최초개엽, 개화, 열매 형성 및 성숙시기를 관찰하여 지구온난화로 인한 식물계절적인 변화를 관찰하고자 하였으며, 두 콩 종의 잎과 가지 그리고 마디의 수를 측정하여 생육적인 반응을 알아보고자 하였다. 또한 콩과 식물의 특징인 꼬투리의 수와 꼬투리 안에 들어 있는 종자의 수, 한 식물개체당 종자의 수와 무게 그리고 종자 하나의 무게를 파악하여 지구온난화가 되었을 때 나타나는 두 콩의 번식생태적 반응을 연구하였다.

연구방법

1. 실험 재료 및 재배

실험에 사용된 식물은 백태(Baktae)와 서목태(Seomoktae)이며, 시중에서 종자를 구입하여 2013년 3월에 공주대학교 온실에서 파종하였다. 발아한 유식물은 Cho *et al.*(2013)의 방법에 따라 3개의 화분에 화분당 3개체씩 이식하였다. 실험에 사용한 화분은 하얀색 라운드형 화분(지름 22.5cm, 높이 27cm)으로, 빛을 반사하여 토양의 온도가 너무 높아지지 않게 하고 3개체의 유식물을 화분의 각 모서리에 심음으로써 개체간 경쟁을 최소화시키고자 하였다. 그리고 대조구(n=9)와 처리구(n=9)에 각 종당 세 화분씩 배치하여 4월부터 8월까지 재배한 후 수확하였다.

광은 유리 온실에 입사되는 자연광을 사용하였다. 광도는 광합성 측정기(LCI Ultra compact Photosynthesis. ADC 2005)를 사용하여 7월에 측정되었으며, 대조구와 처리구 각

각 $517.72 \pm 351.36 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, $529.39 \pm 402.86 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다. 토양은 모래와 상토(한아름 원예용 상토, 신성미네랄)를 각각 1:1 비율로 섞어 사용하였다.

수분은 증발이 빠른 여름철에 1일 간격으로, 그 외 기간에는 2일 간격으로 공급하였으며 토양이 채워진 화분에 물을 주어 화분 아래로 물이 새어나가기 직전까지 주었다.

영양소는 수분 40~60%, 보수력 60~80%, 용적밀도 $0.2 \sim 0.4 \text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$, pH 5.5~7.5, $\text{EC} \leq 1.2 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{-N} \leq 600 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{NO}_3\text{-N} \leq 300 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 유효인산 $\leq 500 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, CEC $10 \sim 30 \text{cmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 이었다.

2. CO₂농도와 온도 처리

CO₂농도와 온도 상승에 따른 백태와 서목태의 생태적 반응을 알아보기 위해, 온실을 두 구역으로 나누어 CO₂농도를 야외환경과 동일하게 처리한 구역을 대조구(control)로, CO₂농도와 온도를 상승시킨 구역을 처리구(treatment)로 설정하였다.

CO₂농도와 온도는 IPCC(2007a) 보고서의 B1 시나리오에서 예측하는 2100년의 대기환경을 기준으로 하였으며 각각 540 ppm, 일반 대기보다 2.2°C 상승시킨 조건으로 설계하였다. CO₂는 처리구 내에 설치된 2개의 CO₂가스통에서 이와 연결된 지름 0.2 mm인 호스를 통하여 Gas regulator에서 분사되었으며, 온도는 환풍기로 조절되었다(Shin *et al.*, 2012). CO₂농도와 온도는 데이터 로거(LCSEMS, Parus Co.)를 설치한 후 10분 간격으로 측정하여 그 데이터를 수집하였다.

CO₂농도는 종자를 파종한 3월부터 수확시기인 8월까지의 데이터 중 광합성이 활발한 주간의 농도를 사용하여 재배기간 동안 평균과 표준편차를 구하였고, 온도는 재배기간 동안의 평균 및 표준편차를 구해 그 변화를 측정하였으며, mean±SD로 표시하였다.

그 결과 실험기간인 2013년 3월부터 8월까지 측정된 CO₂농도는 대조구에서 평균 410.26 ± 36.87 ppm, 처리구는 대조구의 약 1.3배인 523.96 ± 16.08 ppm으로, 이는 처음에 설계한 농도보다 약 16 ppm 낮았다. 온도는 대조구에서 평균 19.93 ± 7.27 °C, 처리구는 대조구보다 약 2°C 높은 22.19 ± 6.44 °C로 처음 설정한 온도보다 약 0.2°C 낮았다.

3. 식물계절적 반응

온도와 CO₂농도가 상승된 환경에 대한 식물계절적 변화를 파악하기 위해, 2013년 4월부터 8월까지 최초 개엽, 개화, 열매발달 그리고 열매성숙시기를 관찰하여 기록하였다. 개엽은 잎이 보이는 때로, 개화는 수술이 보이는 시기로,

열매발달은 초록색 꼬투리가 맺히는 시기로, 열매성숙은 꼬투리가 갈색으로 완전히 변한 시기로 하였다(Min, 1994).

4. 생육반응

환경처리에 따른 생육반응을 알아보기 위해, 백태와 서목태의 잎, 가지 그리고 원줄기의 마디 수(ea)를 2013년 5월부터 7월까지 4주 간격으로 기록하였다.

5. 생식기관 반응

환경처리에 따른 생식기관 반응을 알아보기 위해 2013년 8월 중순에 두 종의 꼬투리를 개체별로 채집하여 음건한 후, 식물개체당 총 종자 수, 식물개체당 총 꼬투리 수(ea), 식물개체당 총 종자의 무게(g)를 측정하였으며, 이를 이용하여 한 꼬투리당 종자의 수와 종자 하나의 무게를 계산하였다. 한 꼬투리당 종자의 수는 각 식물개체당 총 종자 수를 식물개체당 총 꼬투리 수로 나누어, 종자 하나의 무게는 각 식물개체당 총 종자 무게를 식물개체당 총 종자 수로 나누어 계산하였다.

6. 통계분석

조사결과로 추출된 모든 측정 데이터는 mean±SD로 제시하였다. 또, 각 집단간의 통계적인 유의성을 검정하기 위해 대조구와 처리구 내의 CO₂농도와 온도는 일원분산분석(one-way ANOVA; analysis of variation)을 시행하여 피서의 최소유의차 검정을 통해 5% 유의수준에서, 백태와 서목태의 생육반응과 생식기관 반응에 관한 데이터는 대응표본 t검정(Paired t-test)을 이용하여 5% 유의수준에서 분석하였다(No and Jeong, 2002). 이러한 분석은 Statistica 통계패키지(Statsoft Inc. 2006, Tulsa, USA)로 시행되었다.

결과 및 고찰

1. 식물계절적 반응

백태의 개엽은 5월 6일에 대조구에서 먼저, 처리구는 대조구보다 하루 늦은 5월 7일에 시작되었다. 개화와 열매발달 및 성숙시기는 대조구와 처리구 모두 6월 16일, 6월 22일, 8월 16일 순으로 나타났다. 서목태의 개엽은 대조구와 처리구 모두 5월 6일에 시작되었으며, 개화는 각각 6월 16일, 6월 17일에, 열매 발달은 모두 6월 22일에, 열매성숙은 8월 13일, 8월 16일 순으로 형성되었다(Figure 2).

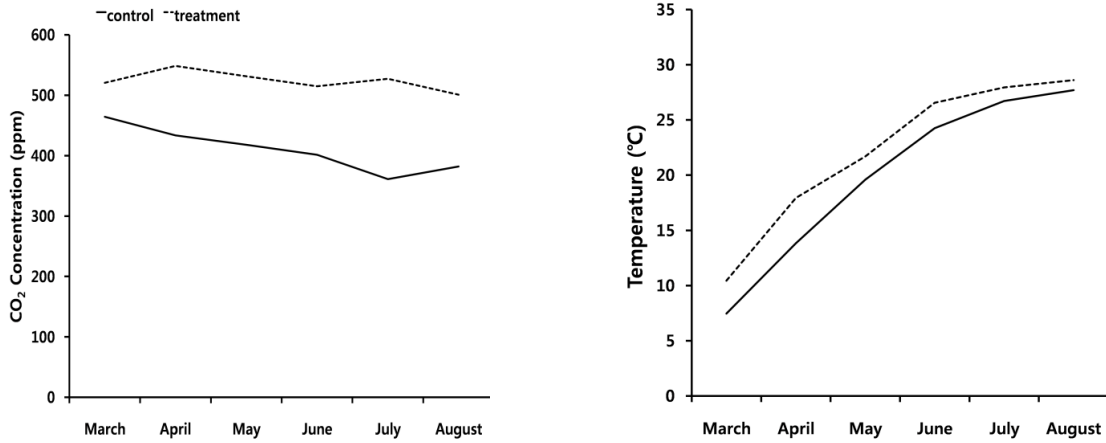


Figure 1. Average of CO₂ concentration at interval of 5 days in the control(ambient CO₂ concentration and elevated temperature) and treatment(elevated CO₂ concentration and elevated temperature) from March to August

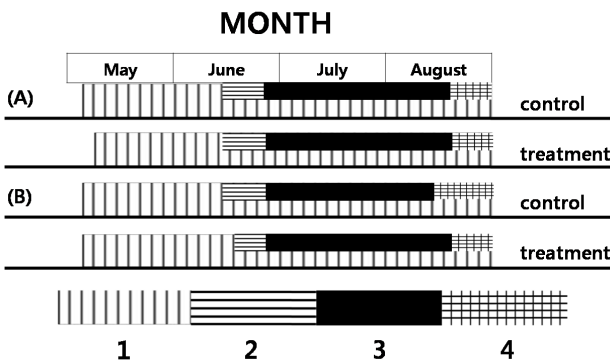


Figure 2. Phenological spectrum for Baktae(A) and Seomoktae(B) in control(ambient CO₂ concentration and elevated temperature) and treatment(elevated CO₂ concentration and elevated temperature) of green house(1; leaf unfolding, 2; blooming, 3; pod development, 4; pod maturing)

결과적으로 백태의 개엽시기, 서목태의 개화시기와 열매 성숙시기가 처리구에서 늦게 나타났다. 이와 유사하게, 단양쑥부쟁이(*A. altaicus* var. *uchiyamae*)는 CO₂농도와 온도가 증가되었을 때 개화시기, 꽃의 지속시기, 종자 성숙시기가 늦어진다(Han *et al.*, 2012). 그러나 이와 반대로, 독미나리(*Cicuta virosa*), 섬시호(*Bupleurum laissimum*), 섬자리공(*P. insularis*) 그리고 미국자리공(*P. americana*)의 식물계절은 CO₂농도와 온도가 증가할수록 빨라지는 것으로 보고되었다(Kim and You, 2010; Lee *et al.*, 2013; Park *et al.*, 2014). CO₂농도와 온도가 동시에 상승한 환경에서 종에 따라 식물계절현상이 다르게 나타나는 것은 식물계절에

대한 유전적 조절이 종마다 다르기 때문(El-Kassaby and Park, 1993)이라는 보고도 있다. 그러나 그 외에 식물계절적 반응은 생육기간 동안의 광 영향을 받기 때문에(Briggs and Olney, 2001), 본 실험에서 나타난 종 간 식물계절적 반응의 차이는 생육기간 동안 광의 영향을 받았을 가능성이 있다.

2. 생육 반응

온도와 CO₂농도가 증가했을 때 백태와 서목태의 생육적 반응을 알아보기 위해 잎, 가지 그리고 원줄기의 마디 수를 2013년 5월부터 7월까지 4주 간격으로 측정하였다. 그 결과 백태의 잎 수, 가지 수 그리고 원줄기의 마디 수는 매월 대조구와 처리구 간 차이가 없었다. 서목태의 잎 수와 원줄기의 마디 수도 매월 대조구와 처리구 간 차이가 없었지만 가지 수는 5월에는 차이가 없었으나 6월에 대조구보다 처리구에서 감소하였고($p < 0.05$) 7월에 접어들어 다시 차이가 없었다(Figure 3). 이렇게 온도와 CO₂농도가 증가한 환경에서 6월에 서목태 원줄기의 각 마디에서 가지의 형성이 억제된 것은 가지 형성시기가 늦어진 결과로 보인다. 특히 6월은 꽃이 원줄기와 가지의 마디에서 형성되는 시기인데(Figure 2), 이 기간의 가지 미형성은 개화에도 영향을 주었다고 판단된다.

CO₂의 농도가 증가하면 왕질경이(*Plantago major*)의 총 잎 수가 많아진다고 알려져 있다(Poorter *et al.*, 1988). 그 이유는 일반적으로 CO₂농도가 증가하면 잎을 구성하는 세포 내의 CO₂분압이 높아져 광합성률이 증가하고, 광합성의 최종 생산물도 많아지기 때문이다(Taiz and Zeiger, 2006). 왕질경이는 식물체의 에너지 공급을 유지하기 위해서 이렇

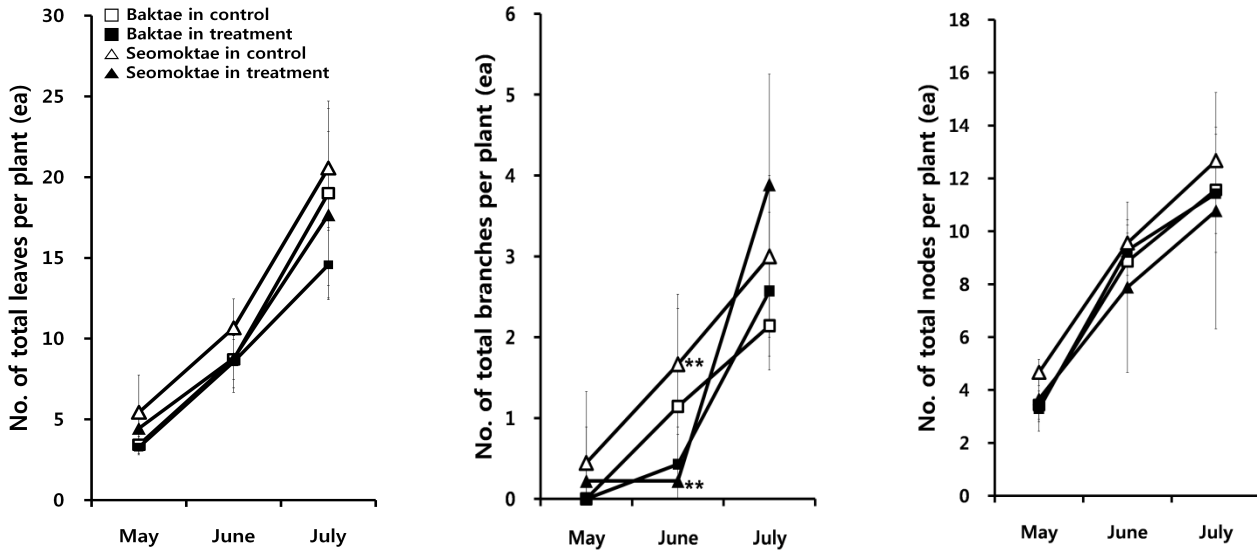


Figure 3. The change of the number of total leaves, branches and nodes per plant of two beans in control (ambient CO₂ concentration and elevated temperature) and treatment (elevated CO₂ concentration and elevated temperature) from May to July (□; Baktae in control, ■; Baktae in treatment, △; Seomoktae in control, ▲; Seomoktae in treatment). ** on the graph mean significance at 0.05 level between control and treatment groups. The leaf areas of Baktae and Seomoktae are 66.91±12.51cm², 64.33±10.65cm² respectively

게 더 많이 생산된 물질을 지상부에 투자하므로 지상부 대 지하부 비도 증가한다(Poorter *et al.*, 1988). 그러나 백태와 서목태의 잎 수는 CO₂농도와 온도가 상승한 환경에서는 대조구와 차이가 없었다. 이는 아마도 CO₂농도 상승 보다는 온도증가 때문으로 판단된다. Taiz and Zeiger(2006)에 따르면, 고온환경에서 잎 세포 내 CO₂농도는 O₂농도보다

낮아지며, CO₂를 고정시키는 효소인 Rubisco는 카복시화 보다 산소화 속도가 증가하기 때문에 결과적으로 광합성이 제한된다. 이렇게 CO₂농도와 온도 상승은 광합성에 대조적으로 영향을 주기 때문에, 이러한 조건에서 온도 상승에 대한 광합성의 반응은 완화된다(Taiz and Zeiger, 2006). 그러나 이를 정확히 파악하기 위해서는 식물생리학적인 연구가

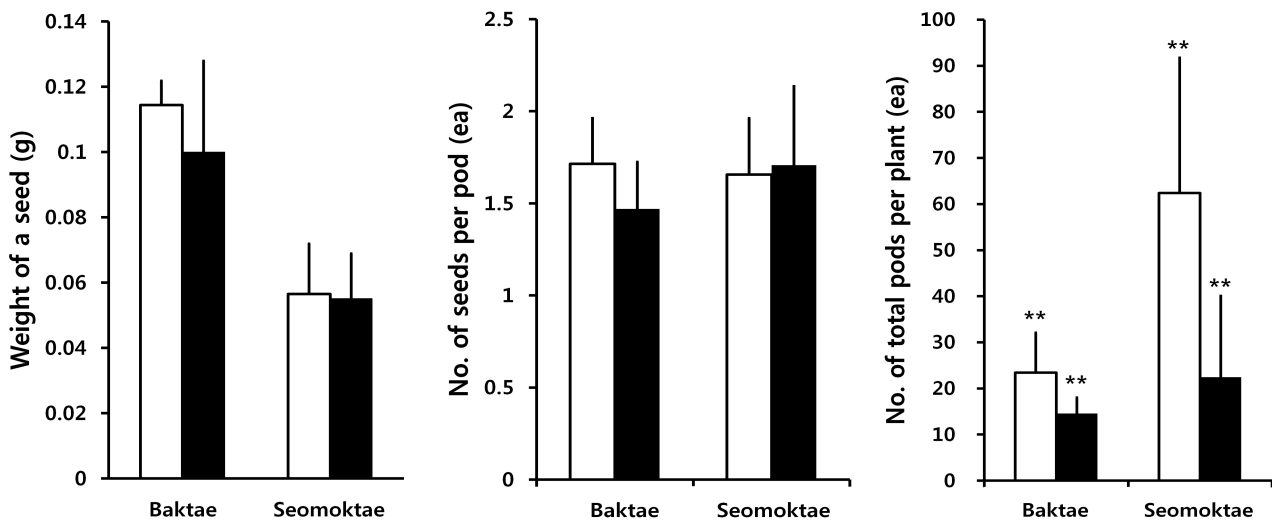


Figure 4. The weight of a seed, the number of seeds per pod and total pods per plant of Baktae and Seomoktae (□; control, ■; treatment). ** on the bar mean significance at 0.05 level between control and treatment groups

추가적으로 시행되어야 한다. 이를 종합하면, 백태와 서목태의 잎 수는 지구온난화의 영향을 받지 않을 것으로 해석된다.

3. 생식기관 반응

백태의 종자 하나당 무게, 꼬투리당 종자의 수는 대조구와 처리구 간 차이가 없었다. 그러나 식물개체당 총 꼬투리 수는 대조구보다 처리구에서 더 적었다($p<0.05$). 서목태는 종자 하나당 무게와 꼬투리당 종자 수가 대조구와 처리구 간에 차이가 나타나지 않았으나 식물개체당 총 꼬투리 수가 대조구보다 처리구에서 더 적었다($p<0.05$; Figure 4). 식물개체당 총 종자 수는 대조구보다 처리구에서 더 적었지만($p<0.05$), 식물개체당 총 종자무게는 대조구와 처리구 간 차이는 없었다. 서목태의 식물개체당 총 종자 수는 백태와 달리 대조구와 처리구 간 차이는 없었다. 그러나 식물개체당 총 종자 무게는 대조구보다 처리구에서 가벼웠다($p<0.05$; Figure 5).

따라서 백태는 지구온난화 조건에서 식물개체당 총 꼬투리 수가 줄어들고, 식물개체당 총 종자 수도 적어지며, 서목태는 식물개체당 총 꼬투리 수가 적어지고 식물개체당 총 종자무게가 감소한다.

이와 유사하게, 백태와 서목태처럼 초본성 식물인 섬시호(*B. latissimum*)는 CO₂농도와 온도가 상승된 환경에서 종자 수는 차이가 없었으나 종자 무게가 감소하였으며(Lee *et al.*, 2013), 단양쭉부쟁이(*A. altaicus* var. *uchiyamae*)도 꽃대당 종자 개수(Han *et al.*, 2012), 섬자리공은 결실율, 줄기당 열매 수, 열매 무게, 종자 수, 종자 무게가 감소하였

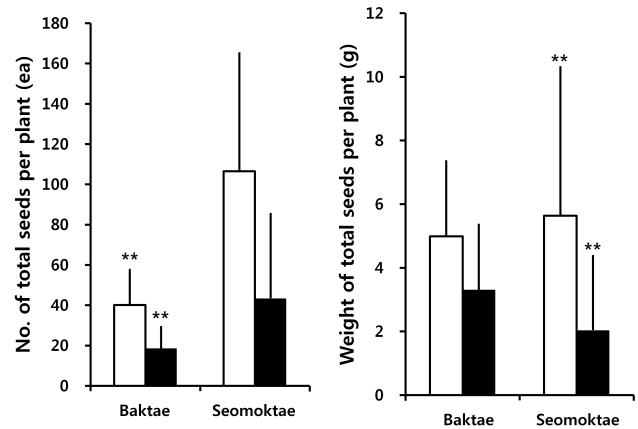


Figure 5. The number of total seeds per plant and weight of total seeds per plant of Baktae and Seomoktae (□; control (ambient CO₂ concentration and elevated temperature), ■; treatment (elevated CO₂ concentration and temperature)). ** on the bar mean significance at 0.05 level between control and treatment groups

다(Shin and You, 2012).

식물계절이 변화하면 식물의 생장도 큰 영향을 받을 수 있다(Nord and Lynch, 2009). 단양쭉부쟁이(*A. altaicus* var. *uchiyamae*)는 높은 CO₂농도와 온도에서 개화시기가 늦어져 종자가 성숙하기 전에 서리를 맞아 피해를 받을 수 있다(Han *et al.*, 2012). 본 연구에서는 CO₂농도와 온도가 증가했을 때 서목태의 가지 형성시기와 열매의 성숙시기가 늦어져 식물개체당 총 꼬투리 수와 총 종자무게가 감소하였다. 이에 반해, 백태의 총 종자 수의 감소는 식물계절 변화로

Table 1. The measured items and results of phenology, growth responses and reproductive responses of Baktae and Seomoktae

Measured items		Baktae	Seomoktae
Phenology	The appearance of leaf unfolding	control is earlier than treatment	control=treatment
	the initiation of blooming	control=treatment	control is earlier than treatment
	the initiation of pod development	control=treatment	control=treatment
	the initiation of pod maturing	control=treatment	control is earlier than treatment
Growth responses	The number of total leaves per plant	control=treatment	control=treatment
	The number of total branches per plant	control=treatment	control>treatment in June
	The number of total nodes per plant	control=treatment	control=treatment
Reproductive responses	The weight of a seed	control=treatment	control=treatment
	The number of seeds per pod	control=treatment	control=treatment
	The number of total pods per plant	control>treatment	control>treatment
	The number of total seeds per plant	control>treatment	control=treatment
	The weight of total seeds per plant	control=treatment	control>treatment

설명할 수 없다. 이에 대해 고온 환경으로 인한 대원콩 (*Glycine max* cv. *daewonkong*)의 총 꼬투리 수의 감소에 대한 연구가 보고된 바 있어(Jung *et al.*, 2012), 백태도 CO₂ 농도보다 온도 상승의 영향을 받았을 가능성이 있다. 그러나 본 연구에서는 CO₂농도 증가와 온도 상승을 각각 처리하지 않았기 때문에, 이를 좀 더 세밀히 파악하기 위해서는 두 환경 요소를 각각 처리하여 실험할 필요가 있다고 판단된다.

이러한 결과를 종합해 보면(Table 1), 지구온난화가 더 가속화되면 백태와 서목태의 꼬투리의 수가 감소하고, 백태의 종자 수도 적어지며, 서목태는 종자 무게가 가벼워져 생산량이 감소한다.

REFERENCES

- Choi, M.H., K.M. Cho and S.H. Nam(2014) Antioxidant activities and changes in trans-Resveratrol and indigestible oligosaccharides according to fermentation periods in *Cheonggukjang*. Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition 43(2): 243-249. (in Korean with English abstract)
- Cho, K.T., R.H. Jang, S.H. Lee, Y.S. Han and Y.H. You(2013) Effects of global warming and environmental factors of light, soil moisture, and nutrient level on ecological niche of *Quercus acutissima* and *Quercus variabilis*. Korean Journal of Ecology and Environment. 46(3): 429-439. (in Korean with English abstract)
- El-Kassaby, Y.A. and Y.S. Park(1993) Genetic variation and correlation in growth, biomass and phenology of Douglas-fir diallel progeny at different spacings. *Silvae Genetica* 42(6): 289-297.
- Briggs, W.R. and M.A. Olney(2001) Photoreceptors in plant photomorphogenesis to date: Five phytochromes, two cryptochromes, one phototropin, and one superchrome. *Plant Physiology*. 125(1): 85-88.
- Han, Y.S., H.R. Kim and Y.H. You(2012) Effect of elevated CO₂ concentration and temperature on the ecological responses of *Aster altaicus* var. *uchiyamae*, endangered hydrophyte. *Journal of Wetlands Research* 14(2): 169-180. (in Korean with English abstract)
- Houghton, J.(2004) *Global warming: the complete briefing*, Cambridge university press, New York, pp. 69-130.
- IPCC(2007a) *Climate change 2007: Impact, adaptation and vulnerability*. Working group II contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof P.J. van der Linden and C.E. Hanson eds.) Cambridge university press, Cambridge, New York. pp. 11-37.
- IPCC(2007b) *Climate change 2007: Mitigation of climate change*. Working group III contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (Metz, B., O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave and L.A. Meyer eds.) Cambridge university press, Cambridge, New York. pp. 27-30.
- Jablonski, L.M., X. Wang and P.S. Curtis(2002) Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta-analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist* 156: 9-26.
- Jung, G.H., J.E. Lee, Y.H. Kim, D.W. Kim, T.Y. Hwang, K.S. Lee, B.M. Lee, H.S. Kim, Y.U. Kwon and S.L. Kim(2012) Effect of planting date, temperature on plant growth, Isoflavone content, and fatty acid composition of soybean. *The Korean Society of Crop Science*. 57(4): 373-383. (in Korean with English abstract)
- Kim, H.R. and Y.H. You(2010) Effects of elevated CO₂ concentration and temperature on the response of seed germination, phenology and leaf morphology of *Phytolacca insularis*(Endemic species) and *Phytolacca americana*(Alien species). *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(1): 62-68. (in Korean with English abstract)
- Kimball, B.A., J.R. Mauney, F.S. Nakayama and S.B. Idso(1993) Effects of increasing atmospheric CO₂ on vegetation. *Vegetatio*. 104-105(1): 65-75.
- Kobayashi, N(2006) *Global warming and forest business*. Bomundang, Seoul. pp. 21-27. (in Korean)
- Ku, K.H., K.M. Park, H.J. Kim, Y.S. Kim and M.S. Koo(2014) Quality characteristics of *Doenjang* by aging period. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 43(2): 720-728. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.Y., J.S. Eom and H.S. Choi(2014) Quality characteristics of fermented soybean products by *Bacillus* spp. isolated from traditional soybean paste. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*. 43(5): 756-767. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., J.K. Jeong, K.T. Cho, R.H. Jang, Y.S. Han and Y.H. You(2013) Effect of elevated CO₂ concentration and temperature on the phenology and reproductive ecological characteristics of *Bupleurum latissimum*(Endangered plant). *Korean Journal of Ecology and Environment* 46(3): 380-387. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Environment(2013) *2013 White paper of environment*. Ministry of Environment, Sejong. pp. 376-377 (in Korean)
- Min, B.M.(1994) Studies on the leafing characteristics of several woody plants. *Korean Journal of Ecology and Environment* 17(1): 37-47. (in Korean with English abstract)
- No, H.J. and H.Y. Jeong(2002) *Well-defined statistical analysis according to statistica*. Hyeongsol Publisher, Seoul. pp. 316-344 (in Korean)
- Nord, E.A. and J.P. Lynch(2009) Plant phenology : a critical controller of soil resource acquisition. *Journal of Experimental Botany*. 60(10): 1927-1937.

- Nordli, Ø., F.E. Wielgolaski, A.K. Bakken, S.H. Hjeltmes, F. Mage, 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(7): 625-639.
- Norby, R.J., S.D. Wullschleger, C.A. Gunderson, D.W. Johnson and R. Ceulemans(1999) Tree responses to rising CO₂ in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell and Environment* 22(6): 683-714.
- Park, J.H., Y.S. Hong, H.R. Kim, J.K. Jeong, H.M. Joeng, and Y.H. You(2014) effects of elevated CO₂ and temperate on the growth of endangered species, *Cicuta virosa* L. in Korea. *Korean Journal of Wetlands Research* 16(1): 11-18. (in Korean with English abstract)
- Poorter, H., S. Pot and H. Lambers(1988) The effect of an elevated atmospheric CO₂ concentration on growth, photosynthesis and respiration of *Plantago major*. *Physiologia Plantaru.* 73: 553-559.
- Shortis, J.D., C.A. Gunderson, R.J. Norby and D.T. Tissue(2004) Persistent stimulation of photosynthesis by elevated CO₂ in a sweetgum(*Liquidambar styraciflua*) forest stand. *New Phytologist.* 162(2): 343-354.
- 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. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104(1): 198-202.
- Shin, D.H., H.R. Kim, and Y.H. You(2012) Effects of elevated CO₂ concentration and increased temperature on the change of the phenological and reproductive characteristics of *Phytolacca insularis*, a Korea endemic plant. *Korean Journal of Wetlands Research* 14(1): 1-9. (in Korean with English abstract)
- Taiz, L. and E. Zeiger(2006) *Plant physiology*(4th ed.). Sinauer associates Inc. Sunderland, pp. 214-215.
- Walter, S.J., S.C. Christopher, A.K. Elizabeth, F.S. Peter and J.D. Michael(2002) *Plant systematics*(2nd ed.). Sinauer associates Inc. Sunderland, pp. 356-361.