

CO₂농도와 온도 상승이 한국멸종위기식물 독미나리의 생장에 주는 영향

박재훈* · 홍용식** · 김해란*** · 정중규* · 정현모**** · 유영한*+

* 공주대학교 생물학과

** 국립생태원 자연환경조사팀

*** 난대아열대산림연구소

**** 국립생태원 생태적응연구팀

Effects of Elevated CO₂ and Temperate on the Growth of Endangered Species, *Cicuta virosa* L. in Korea

Jae Hoon Park* · Yong Sik Hong** · Hae Ran Kim*** · Jung Kyu Jeong*

Heon Mo Jeong**** · Young Han You*+

* Department of Biology, University of Kongju, Kongjusi, Chungcheongnamdo, Korea

** Natural Environment Research Team, National Institute of Ecology, Seocheongun, Chungcheongnamdo, Korea

*** Warm-Temperate and Subtropical Forest Research Center, Seogwiposi, Jeju, Korea

**** Ecological Adaptation Research Team, National Institute of Ecology, Seocheongun, Chungcheongnamdo, Korea

요 약

증가된 이산화탄소 농도와 온도상승에 따른 멸종위기 수생식물 독미나리의 생태학적 반응을 알아보기 위해 대조구, 온도 상승구, 그리고 CO₂+온도상승구에서 생육시킨 결과를 비교하였다. 독미나리의 지상부 길이는 대조구, 온도상승구 그리고 CO₂+온도상승구간에 차이가 없었지만, 분얼 수는 대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구 순으로 증가했다. 복산형화서의 수는 대조구와 온도상승구에서 같았고, CO₂+온도상승구에서 감소했다. 소산형화서의 수는 대조구와 온도상승구, CO₂+온도상승구간에 차이가 없었다. 종자형성률은 온도상승구와 CO₂+온도상승구가 대조구보다 감소했고, 온도상승구와 CO₂+온도상승구간에 차이가 없었다. 이상으로 보면, CO₂농도와 온도상승은 길이생장에 영향을 주지 않은 반면, 분얼 수는 증가시키고 종자생산은 감소시킨다. 그러므로 독미나리는 지구 온난화 조건이 되면 종자생산보다 분얼을 늘려 무성번식 경향이 증가될 것이며, 이러한 개체군 생장을 연구하는 것은 멸종위기종 연구에 중요한 자료로 활용될 것이다.

핵심용어 : 지구온난화, 종자생산, 습지, 분얼, 무성번식

Abstract

The effect of elevated CO₂ and temperature on ecological characteristics of *Cicuta virosa* L., the endangered plant were examined under ambient CO₂+ambient temperature(AC-AT), ambient CO₂+elevated temperature(AC-ET) and elevated CO₂+elevated temperature for two years. Shoot length and the number of umbels were not different in three environmental gradients. The number of tillers was high in the order of EC-ET, AC-ET and AC-AT. The number of compound umbel was the lowest in the EC-ET. Fruit set rate was the highest in the AC-AT. These results mean that unsexual propagation of *C. virosa* may increase by promoting growth of tillers, rather than seed production under future global warming. This population growth study will be used as the important data for the research of Korean endangered species.

Keywords : Global warming, seed production, wetland, tiller, unsexual propagation

1. 서론

CO₂ 농도와 기온 상승으로 나타나는 지구온난화는 온실가스의 과도한 대기 방출로 인해 지구 내부에 유입되는 복사열 형태의 에너지가 재흡수 되어,

지구 표면의 기온이 상승하는 것을 말한다. 과거의 약 20세기 이전 1000년간의 기온을 추정된 결과, 지구의 연평균 기온은 약 0.3℃~0.4℃ 증가했다(Kim, 2012). 그러나 IPCC (2007)의 4차 보고서에 따르면, 지구의 평균기온 증가율은 1906년부터 2005년까지

+ Corresponding author : youeco21@kongju.ac.kr

평균 0.74°C로, 3차 보고서에서 발표된 평균온도 증가율인 0.6°C보다 높았으며, 이것으로 기온이 과거보다 더 빠르게 증가하고 있음을 알 수 있다. 지구온난화를 일으키는 주요 온실가스인 CO₂는 산업 혁명 이후 인간의 활동에 의해 지속적으로 증가하고 있다. 인위적으로 방출되는 온실가스는 1970년과 2004년 사이에 70% 정도 증가했으며, 그 중 CO₂는 80%나 증가했다. 지구온난화가 지속되면 지구의 생태계를 구성하는 많은 식물들도 생장과 생산성에 영향을 받게 된다 (Morison et al., 2002; Cho et al., 2013). 초본식물들은 중에 따라 CO₂ 농도가 증가했을 때 생산성이 증가하거나 감소했다(Kim, 2012; Cho et al., 2012). 또, C4식물은 C3식물보다 높은 CO₂농도에서 순 광합성 속도가 감소하여 물질생산력이 저하되므로 야생의 서식처에서 쇠퇴될 것이다(Kim, 2012).

또 기후가 바뀌게 되면, 환경변화에 민감한 생물들의 국지적인 멸종을 야기할 수 있는데, 이미 멸종되었거나 멸종위기 종들은 형태학적, 생리학적으로 널리 퍼져 있는 종에 비해 스트레스에 매우 약하다 (Lavergne et al., 2004). 기후의 안정성이 유실되거나 서식처 파괴가 발생하면, 그 지역에서 서식하는 많은 생물들의 멸종 위험성이 증가한다(Thomas and Williamson, 2012). 그러므로 멸종위기종이나 개체수가 적은 야생종들은 크게 영향을 받을 것으로 예상된다. IPCC 보고서(2007)에서는 자연적, 인위적 교란에 의해 발생하는 기후변화들 간 상호작용이 생태계의 복원력을 초과할 것이라고 전망하였다. 게다가 지구의 평균 기온이 1.5~2.5°C 이상 증가한다면 현재까지 알려진 동식물 중 20~30%의 생물종이, 3.5°C 이상 증가하면 40~70%의 생물종이 멸종할 가능성이 있으며, CO₂ 농도가 함께 증가하면 생태계 구조 및 기능과 생태계에서의 종 간 상호작용, 서식범위 이동에 커다란 변화가 생기고, 생물다양성 및 생태계 서비스에 매우 부정적인 결과가 생길 것이라고 예측하였다.

독미나리(*Cicuta virosa* L.)는 환경부에서 멸종위기 II급으로 지정된 산형과의 다년생 유독식물이다 (2012 White paper of environment, 2012; Lee 1985). 현재까지 독성을 띤 대사산물에 대한 연구가 많이 이루어져 있고, 최근에는 서식지의 특성과 생태형의 차이에 대해 연구된 바 있지만(Shin, 2013) CO₂ 농도와 온도 상승에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 독미나리가 지구온난화 조건이 되면 어떤 영향을 받는지 알아보기 위해 일반 대기조건보다 CO₂와 온도가 증가된 환경에서 그 생태적 반응을 측정하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험 재료 재배

실험에 사용한 독미나리(*C. virosa* L.)는 환경부 지정 멸종위기 II급 식물이며, 2010년 3월 7일과 4월 17일에 이식하여 사용하였다. 3월 7일에 이식한 것은 4년생으로, 각 환경구배(대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구)마다 가로 150cm, 세로 70cm, 높이 50cm인 수조에 3개체씩 이식하였고, 4월 17일에 이식한 것은 2년생으로, 각 환경구배마다 가로 50cm, 세로 35cm, 높이 30cm인 수조에 4개체씩 이식하여 재배하였다.

광, 수분, 유기물은 세 가지 환경구배에 동일하게 처리되었다. 빛은 자연광을 사용하였고, 수분은 수돗물을 받아 안정화시킨 후 사용하였다. 또한, 독미나리가 수생식물이기 때문에 항상 물이 뿌리 위까지 잠기도록 유지하였다. 토양은 동일 입자크기의 모래를 사용하였고, 유기물은 토양 무게의 0.5%로 처리하였다. 본 실험은 2010년 4월부터 2011년 8월까지 진행되었다.

2.2 이산화탄소 농도와 온도 처리

환경구배는 온실 밖의 일반적인 대기 환경인 대조구(AC-AT, ambient CO₂ and ambient temperature)와 온실을 두 구역으로 나누어 대조구보다 온도를 실험기 간동안 평균 2°C 상승시킨 온도상승구(AC-ET, ambient CO₂ and elevated temperature), 대조구보다 CO₂농도는 2배, 온도는 약 4°C 상승시킨 CO₂+온도상승구(EC-ET, elevated CO₂ and elevated temperature)로 처리되었다 (Fig. 1). 대조구와 온도상승구에서의 CO₂ 농도는 평균 370ppm~400ppm이었고 CO₂+온도상승구에서의 CO₂ 농도는 대조구와 온도상승구의 약 2배인 평균 750ppm~800ppm이었다(Fig. 2). CO₂ 농도는 CO₂ Concentrate Analyzer(TEL 7001, Onset computer)을 설치하여 30분 간격으로 기록되었고, Gas regulator로 조절되었다. 구배별 온도는 온도 데이터로거(TR-71U, T&D corporation)를 이용하여 30분 간격으로 기록되었다.

2.3 식물계절학

독미나리의 식물계절 변화는 2011년 5월부터 8월까지 각 환경구배마다 꽃대형성, 개화기, 결실기를 관찰하여 기록하였다. 꽃대형성은 복산형화서의 화경이 처음으로 관찰되는 시기로, 개화는 꽃잎이 벌어지기 시작하는 시기로, 결실기는 꽃잎의 낙화가 완료되어 초록색 열매가 맺힐 때로 정하였다. 개화기간은 최초 개화시기와 최초 낙화 시기의 사이로 하였다.

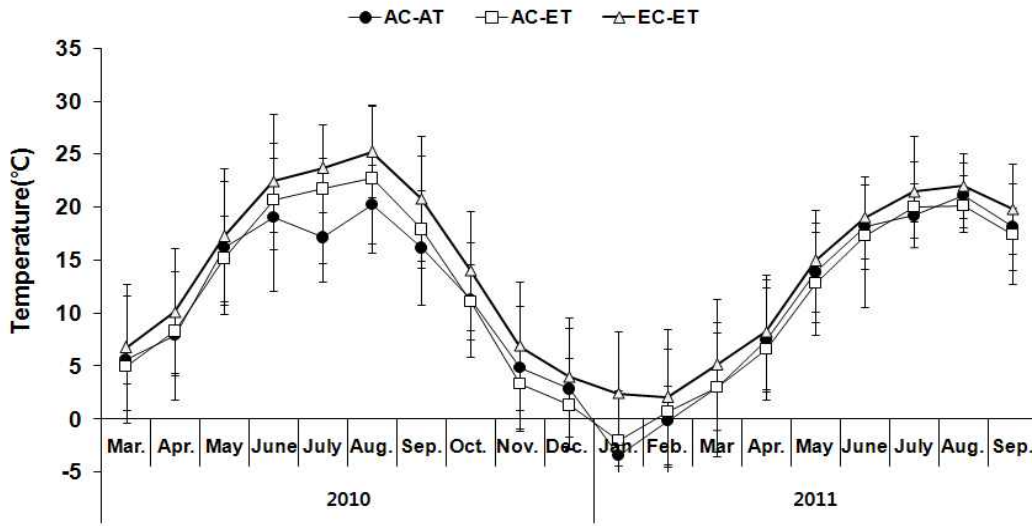


Fig. 1. Average monthly temperature in the three environmental gradients, AC-AT(ambient CO₂ and ambient temperature), AC-ET(ambient CO₂ and elevated temperature) and EC-ET(elevated CO₂ and elevated temperature) from 2010 to 2011.

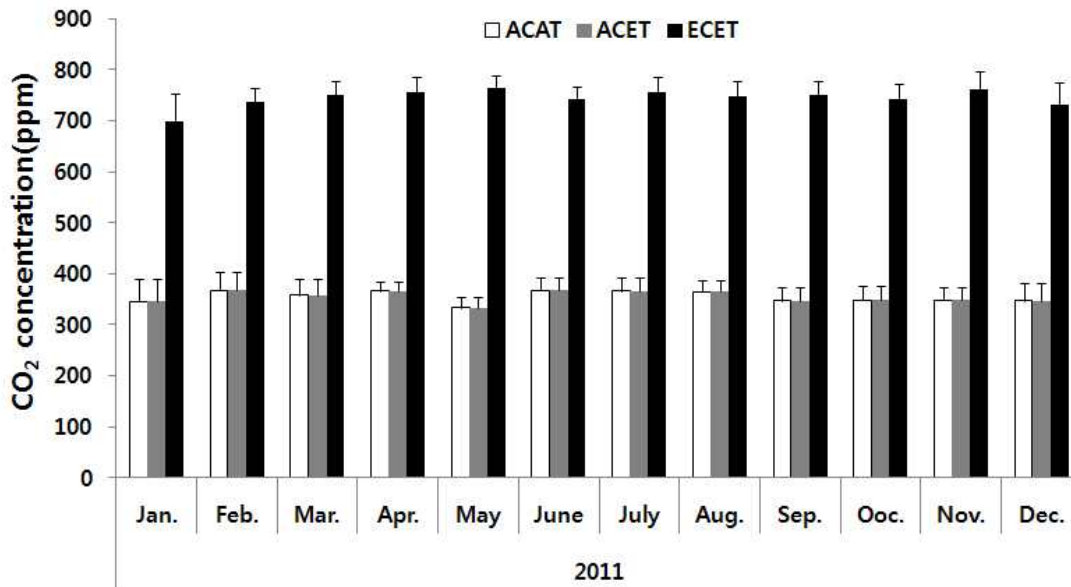


Fig. 2. Average CO₂ concentration in the three environmental gradients, AC-AT(ambient CO₂ and ambient temperature), AC-ET(ambient CO₂ and elevated temperature) and EC-ET(elevated CO₂ and elevated temperature) in 2011.

2.4 생육반응

환경 구배에 따른 생육특성을 알아보기 위해, 4년 생 독미나리의 지상부 길이(cm)와 분얼 수(ea)를 기록하였으며, 2주 간격으로 2010년 4월 12일부터 2011년 8월 15일까지 관찰하였다.

2.5 생식기관

환경 구배에 따른 생식기관 반응을 알기 위해, 2년 생 독미나리의 복산형화서의 수, 소산형화서의 수, 종자형성률을 조사하였다. 복산형화서의 수는 결실기가 거의 끝나는 2010년 8월 15일과 2011년 8월 15일에, 소산형화서의 수는 복산형화서를 무작위로 15개씩 채

집하여 세었다. 독미나리는 꽃 하나당 두 개의 종자가 달리기 때문에, 전체 꽃 수를 바탕으로 열릴 종자의 수를 예측할 수 있다. 따라서 종자형성률은 꽃이 지고 나서 성숙한 종자를 채집하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\frac{\text{형성된 종자의 수}}{\text{예측된 전체 종자의 수}} \times 100(\%)$$

2.6 통계분석

측정된 변수들은 분산분석(analysis of variance, ANOVA)을 시행하여 각 집단간 평균차의 통계적 유의성을 검정하였다. 환경구배별 차이의 유의성은 포스트-후 검정에 의해 평균치의 피셔 최소유의차범위(Fisher LSD)를 계산하였다(Noh and Jeong, 2002)

3. 결과 및 고찰

독미나리의 식물계절 변화를 알아보기 위해 2011년 5월 초순부터 8월 중순까지 일반적인 대기 환경인 대조구, 온도가 증가된 온도상승구, 온도와 CO₂ 농도가 증가된 CO₂+온도상승구에서 각각 꽃대형성, 개화기, 종자형성 시기를 관찰하였다. 꽃대형성은 CO₂+온도상승구에서 5월 20일에 가장 먼저 형성하였으며, 온도상승구와 대조구는 그보다 10일, 13일 늦은 5월 30일과 6월 2일에 각각 형성되었다. 그리고 개화는 CO₂+온도상승구에서 5월 28일에 가장 먼저 시작되었고, 온도상승구와 대조구는 그보다 4일, 18일 늦은 6월 1일과 6월 15일에 각각 시작되었으며, 종자형성 또한 CO₂+온도상승구에서 6월 13일에 가장 먼저 형성되었고, 온도상승구와 대조구는 그보다 12일, 17일 늦은 6월 25일과 6월 30일에 각각 형성되었다(Fig. 3). 결과적으로 식물계절은 CO₂ 농도와 온도가 증가할수록 꽃대형성, 개화, 종자형성시기가 빨라졌다. 김(2010)의 연구에서는 한국 특산식물인 섬자리공이 온도가 높아짐에 따라 개화와 종자형성이 더 빨라졌으며, 드림볼꽃과 독말풀은 대조구보다 높은 CO₂+온도상승구에서 개화시기가 더 빨라졌다(Garbutt and Bazzaz 1984). 그러나 가을강아지풀(*Setaria faberii*)은 CO₂와 온도가 증가되었을 때, 오히려 종자를 파종한 후 56일 만에 개화한 대조구보다 15일 늦은 71일 후 개화했다(Garbutt *et al.* 1990).

지상부 길이는 2010년 4월 초순부터 2011년 8월 중순까지의 변화량을 모니터링한 결과, 2010년에 온

도상승구에서 가장 길었으며, 2011년에는 CO₂+온도상승구에서 가장 길었다. 그러나 대조구와 온도상승구, CO₂+온도상승구간 유의적 차이는 발생하지 않았다. 날짜별로는 4월부터 5월까지 빠르게 길어졌으며, 6월부터 성장속도가 감소하여 8월까지 길이생장을 하였다(Fig. 4). 분얼 수는 2010년과 2011년 모두 대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구순으로 많았으며, 유의적으로 차이가 있었다. 날짜별로는 온도상승구와 CO₂+온도상승구에서 4-5월에 빠르게 수가 늘었으며, 6월부터 속도가 감소하여 8월까지 수가 늘어났다. 그러나 대조구는 온도상승구와 CO₂+온도상승구보다 4-5월에 비교적 완만하게 수가 늘어났으며 마찬가지로 8월까지 늘어났다(Fig. 5). 독미나리는 CO₂ 농도와 온도가 증가하면 지상부 길이보다 분얼 수를 늘림으로써 무성번식을 증가시킨다. 섬시호도 대기 중 CO₂ 농도가 증가했을 때 지상부 길이 생장에 차이가 없었다(Jeong 2012). 반면에 미국자리공은 온도와 CO₂ 농도가 증가되었을 때, 섬자리공은 온도가 증가되었을 때 지상부 길이가 가장 길었다(Kim 2010).

복산형화서의 수는 대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구가 각각 평균 78.8±13.3개, 64.7±5.1개, 56.8±9.9개로 대조구에서 가장 많았지만 온도상승구와 유의적 차이는 나타나지 않았으며, CO₂+온도상승구에서 유의적으로 감소했다(Fig. 6). 소산형화서의 수는 대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구가 각각 평균 10.5±1.9개, 11.3±2.5개, 10.9±2.4개로 온도상승구에서 가장 많았지만 모든 환경 구배에서 유의적인 차이는 나타나지 않았다(Fig. 7). 그러므로 CO₂ 농도가 증가하면 하나의 복산형화서에 피는 소산형화서의 수는 변하지 않지만, 복산형화서의 수가 감소하여 개체당 꽃 수는 감소하는 것으로 보인다. 이와 유사하게, 단양쑥부쟁이는 높은 CO₂ 농도와 온도 하에서 개체 당 꽃대 수가 감소했고(Han *et al.*, 2012), 섬시호의 총화서 수와 길이는 변화가 없거나 줄어들었다(Jeong 2012).

종자형성률은 대조구, 온도상승구, CO₂+온도상승구가 각각 평균 92.3±8.2%, 63.8±23.0%, 62.1±16.9%로 대조구에서 유의적으로 가장 높았으며, 온도상승구가 CO₂+온도상승구보다 더 높았지만 유의적인 차이는 없었다. 따라서 대조구보다 온도상승구, CO₂+온도상승구에서 감소했다(Fig. 8). 섬자리공의 종자형성률은 CO₂ 농도와 온도가 증가했을 때 감소했으며(Shin and You 2012), 개엽, 꽃대형성, 개화, 열매 발달 및 열매의 성숙시기가 빨라졌다(Kim 2010). 하지만 Jablonski *et al.*(2002)은 1983년부터 2002년까지 출판된, CO₂ 증가에 대한 식물의 생식기관의 반응을 기

제한 학술지들의 자료를 통계적으로 분석하여 79종의 작물과 야생종들이 높은 CO₂ 농도 하에서 더 많은 꽃, 열매, 씨를 생산했다는 결과를 얻었다. Way *et al.*(2010)은 CO₂ 농도가 증가하면 초본성 식물의 종자 생산은 많아지지만 종자의 크기와 질은 감소하며, Joy and Boyd(1999)는 많은 연구에서 꽃 수, 열매 수, 종자의 생산량이 증가되었다고 하였다.

복산화수 수와 소산화수 수의 대조구와 온도 상승구에서 차이가 없었지만, 종자형성률은 온도상승

구에서 감소했다. 따라서 온도의 상승은 독미나리의 종자생산량을 감소시킨다.

Abou-Hussein *et al.*(2012)은 토마토, 후추, 콩, 사탕 옥수수과 같은 작물들의 생식생장은 고온 스트레스에 극도의 영향을 받았음을 밝혔다. 이 결과를 종합해 보면, 독미나리는 지구온난화가 진행될수록 식물계절이 빨라지고, 분얼 수는 늘어나며, 종자 생산을 억제하여 무성번식 경향을 증가시킨다.

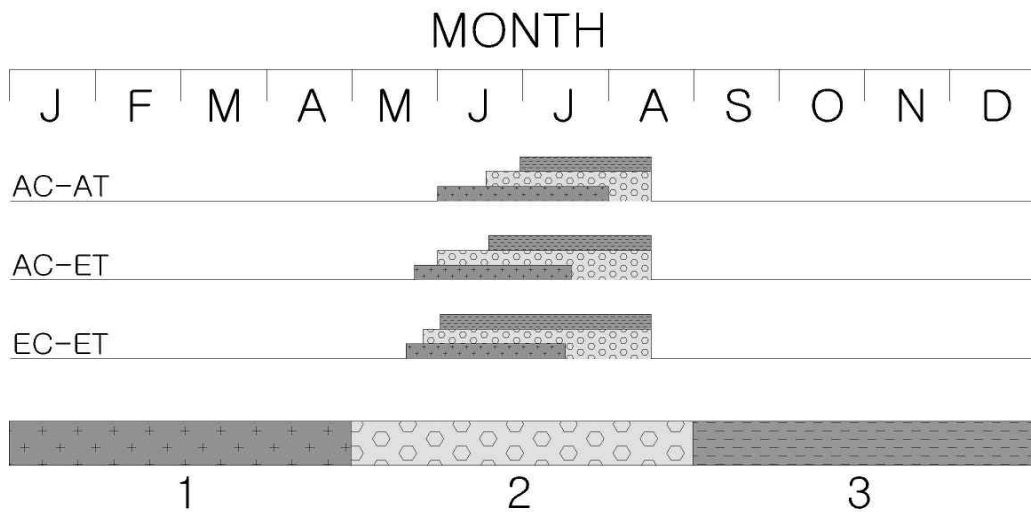


Fig. 3. Phenological spectrum of *C. virosa* (1: peduncle 2: flowering, 3: seed maturing) in the three environmental gradients, AC-AT (ambient CO₂ and ambient temperature), AC-ET (ambient CO₂ and elevated temperature) and EC-ET (elevated CO₂ and elevated temperature).

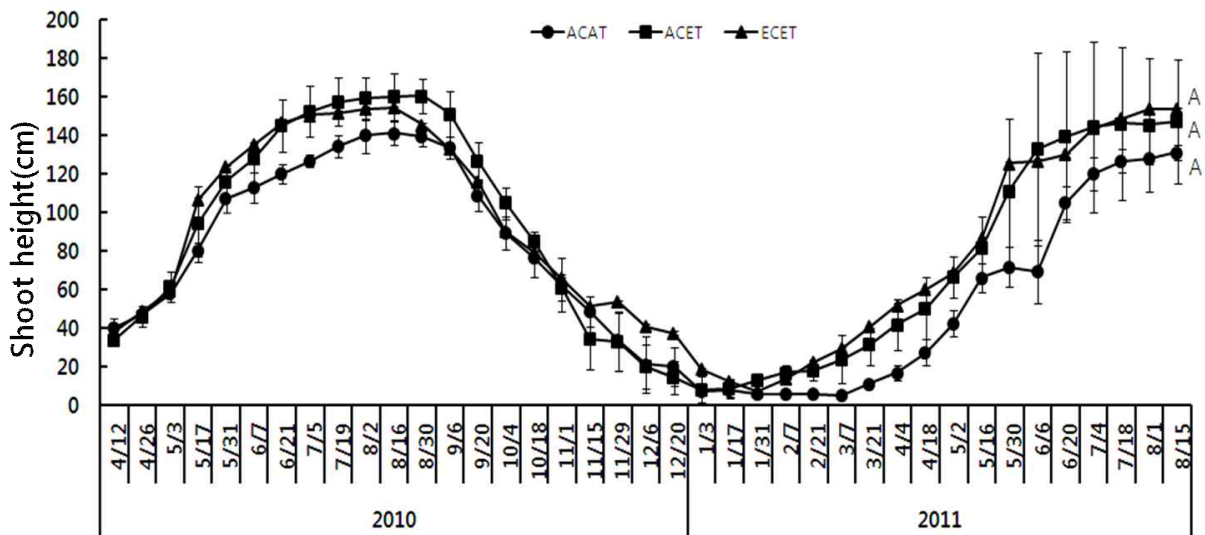


Fig. 4. Shoot height of *C. virosa* grown under three environmental gradients(● : ambient CO₂ and ambient temperature, ACAT. ■ : ambient CO₂ and elevated temperature, ACET. ▲ : elevated CO₂ and elevated temperature, ECET). Alphabets on the bars mean significant difference among gradients(Fisher's least significant difference, p<0.05).

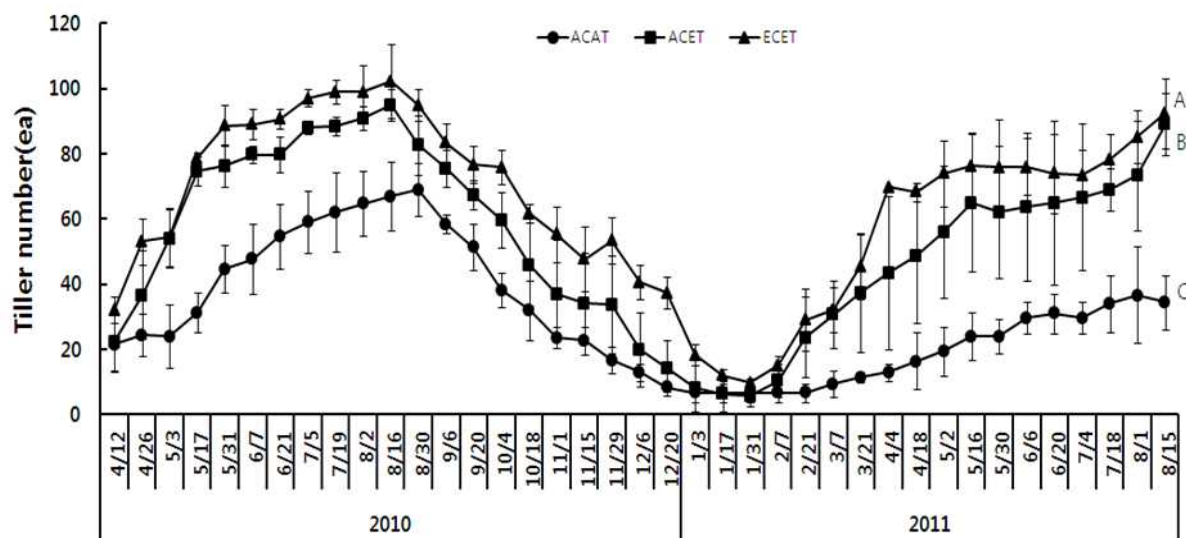


Fig. 5. Tiller number of *C. virosa* grown under the three environmental gradients (● : ambient CO₂ and ambient temperature, ACAT. ■ : ambient CO₂ and elevated temperature, ACET. ▲ : elevated CO₂ and elevated temperature, ECET). Alphabets on the bars mean significant difference among the gradients (Fisher's least significant difference, $p < 0.05$).

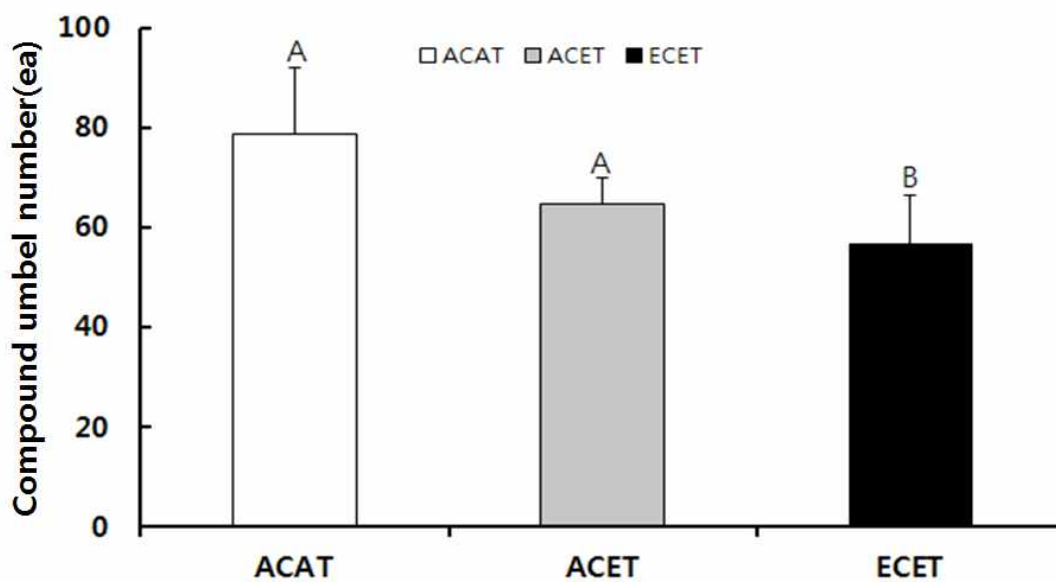


Fig. 6. Compound umbel number of *C. virosa* grown under the three environmental gradients (ACAT: ambient CO₂ and ambient temperature, ACET: ambient CO₂ and elevated temperature, ECET: elevated CO₂ and elevated temperature). Alphabets on the bars mean significant difference among the gradients (Fisher's least significant difference, $p < 0.05$).

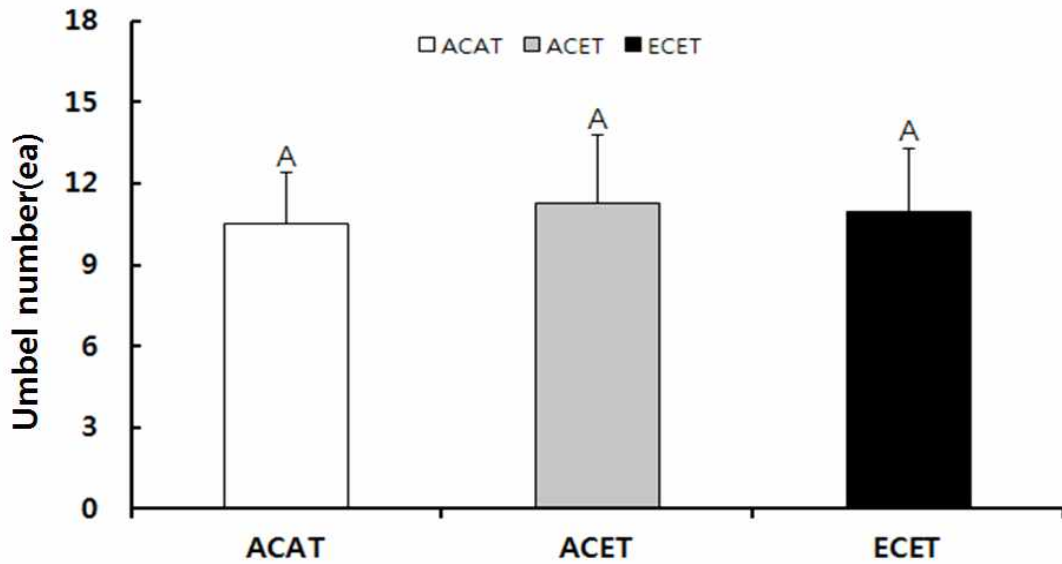


Fig. 7. Umbel number of *C. virosa* grown under the three environmental gradients(ACAT: ambient CO₂ and ambient temperature, ACET: ambient CO₂ and elevated temperature, ECET: elevated CO₂ and elevated temperature). Alphabets on the bars mean significant difference among the gradients(Fisher's least significant difference, p<0.05).

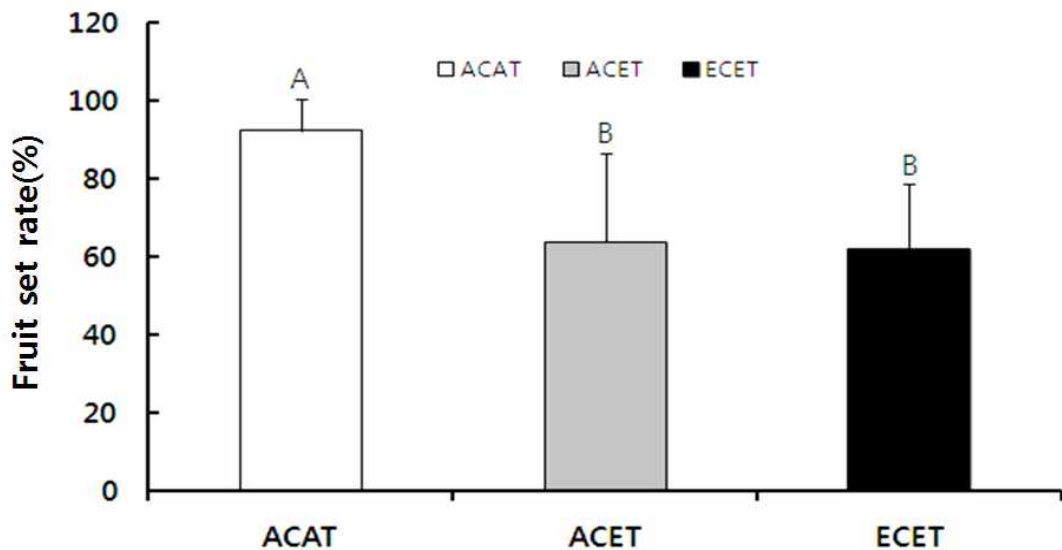


Fig. 8. Fruit set rate of *C. virosa* under the three environmental gradients(ACAT: ambient CO₂ and ambient temperature, ACET: ambient CO₂ and elevated temperature, ECET: elevated CO₂ and elevated temperature). Alphabets on the bars mean significantly different between the control and the treatments(Fisher's least significant difference, p<0.05).

References

- Abou-Hussein, SD (2012). Climate change and its impact on the productivity and quality of vegetable crops. *J. of Applied Sciences Research*, 8(8), pp. 4359-4383.
- Cho, KT, Kim, HR, Jeong, HM, Lee, KM, Kim, TK, Kang, TG and You, YH (2012). Effect of light on the growth responses of *Quercus serrata* and *Q. aliena* to elevated CO₂ and temperature. *J. of Wetlands Research*, 14(4), pp. 597-605. [Korean Literature]
- Cho, KT, Kim, HR, Jeong, HM and You, YH (2013). Effects of elevated CO₂ and temperature on the

- leaf morphological responses of *Quercus serrata* and *Quercus aliena*, potential natural vegetation of riverine. *J. of Wetlands Research*, 15(2), pp. 171-177. [Korean Literature]
- Garbutt, K and Bazzaz, FA (1984). The effects of elevated CO₂ on plants. *New Phytologist*, 98(3), pp. 433-446.
- Garbutt, K, Williams, WE, and Bazzaz, FA (1990). Analysis of the differential response of five annuals to elevated CO₂ during growth. *Ecology*, 71(3), pp. 1185-1194.
- Han, YS, Kim, HR and You, YH (2012). Effect of elevated CO₂ concentration and temperature on the ecological responses of *Aster altaicus* var. *uchiyamae*, endangered hydrophyte. *J. of Wetlands Research*. 14(2), pp. 169-180. [Korean Literature]
- IPCC (2007). *Climate change 2007: Mitigation of Climate change. Contribution Working Group III Contribution to The Fourth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University press, Cambridge, New York, U.S.A. pp. 11.
- Jeong, JG (2012). Ecological response of *Bupleurum latissimum*(Apiaceae, endangered species) to the environmental gradient treatments. Master's Thesis, Kongju University, Kongju, Korea, pp. 13-51. [Korean Literature]
- Joy, KW, Boyd, RS, (1999). Elevated CO₂ studies: past, present and future. *Tree Physiology*, 19(4-5), pp. 211-220.
- Jablonski, LM, Wang, X and Curtis, PS (2002). Plant reproduction under elevated CO₂ conditions: a meta analysis of reports on 79 crop and wild species. *New Phytologist*, 156(1), pp. 9-26.
- Kim, HR, (2012). Effects of elevated CO₂ concentration and temperature on ecological responses of *Phytolacca insularis* and *Phytolacca americana*. Master's Thesis, Kongju University, Kongju, Korea, pp. 20-35. [Korean Literature]
- Kim, JH, (2012). *Global warming through the eyes of a biologist*. Seoul University Press, Seoul, Korea, pp. 226-236. [Korean Literature]
- Lee, TB, (1985). *Illustrated Flora of Korea*. Hyangmoon Publisher. Seoul, Korea, pp. 584. [Korean Literature]
- Lavergne, S, Thompson, JD, Garnier, E and Debussche, M (2004). The biology and ecology of narrow endemic and widespread plants: a comparative study of trait variation in 20 congeneric pairs. *Oikos*, 107(3), pp. 505-518.
- Ministry of Environment (2012). *2012 White Paper of Environment*, Ministry of Environment, Seoul, Korea, pp. 388. [Korean Literature]
- Morison, JIL, Lawlor, DW (2002). Interactions between increasing CO₂ concentration and temperature on plant growth. *Plant, Cell & Environment*, 22(6), pp. 659-682.
- No, HJ and Jeong HY (2002). *Well-defined Statistical Analysis According to Statistica*. Hyeonseok Publisher, Seoul, Korea, pp. 336. [Korean Literature]
- Shin, JH (2012). Habitat characteristics and population ecology of *Mankyua chejuense*(Ophioglossaceae) and its ecological response to environment treatment. Master's Thesis, Kongju University, Kongju, Korea, pp. 23-35. [Korean Literature]
- Shin, CJ (2013). Habitat characteristics and ecotypic differentiation in *Cicuta virosa*, an endangered species in Korea. Master's Thesis, Seoul University, Seoul, Korea, pp. 15-18. [Korean Literature]
- Shin, DH, Kim, HR and You, YH (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. *J. of Wetlands Research*, 14(1), pp. 1-9. [Korean Literature]
- Thomas, CD and Williamson, M (2012). Extinction and climate change. *Nature*, 482(7386), pp. E4-E5.
- Way, DA, Ladeau, SL, Mccarthy, HR, Clark, JS, Oren, R, Finzi, AC and Jackson, RB (2010). Greater seed production in elevated CO₂ is not accompanied by reduced seed quality in *Pinus taeda* L. *Global Change Biology*, 16(3), pp. 1046-1056.

- 논문접수일 : 2013년 09월 10일
- 심사의뢰일 : 2013년 09월 16일
- 심사완료일 : 2013년 11월 02일