

## CO<sub>2</sub> 농도와 온도증가가 목본성 수종 3종과 멸종위기 2종의 생육반응에 미치는 영향

장 래 하<sup>1</sup> · 김 해 란 · 유 영 한\*

(공주대학교 생물학과)

Effect of Elevated CO<sub>2</sub> Concentration and Temperature on the Growth Response of Several Woody Plants, Including Two Endangered Species. Jang, Rae-Ha<sup>1</sup>, Hae-Ran Kim and Young-Han You\* (Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea)

Increasing global CO<sub>2</sub> concentration and temperature is leading to the phenomenon of global warming and impacting the growth of plants. In order to determine the effects of global warming on the woody plants of Korea, five woody species, *Pinus densiflora* (Korea's dominant species), *Ginkgo biloba* (a commonly used street tree), *Quercus glauca* (dominant species in sub-tropical forests), *Quercus gilva* and *Abelio-phylum distichum* (both endangered species), were grown at control (ambient CO<sub>2</sub>+ ambient temperature) and treatment (elevated CO<sub>2</sub>+elevated temperature) conditions in a glasshouse, and were monitored for their ecological response. Shoot lengths and number of leaves were measured once a month from April to October in 2010, and were again measured in November 2011. Shoot lengths of *P. densiflora*, *G. biloba* and *Q. glauca* were not significantly affected by elevated CO<sub>2</sub> and temperature conditions. However, those of *Q. gilva* and *A. distichum* were both higher for plants grown under treatment than for those grown under control. The number of leaves of five woody species was not significantly affected by elevated CO<sub>2</sub> and temperature. These results indicate that *P. densiflora*, *G. biloba* and *Q. glauca* react more favorably than *Q. gilva* and *A. distichum* (each of which are designated as endangered plants) under global warming situations.

**Key words :** global warming, dominant vegetation, shoot growth

### 서 론

지구온난화의 주원인은 대기 중 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 농도의 증가이다(Kobayashi, 2006). 최근 CO<sub>2</sub> 농도(385 ppm)는 화석연료의 사용이 주원인으로 산업화 이전(약 280

ppm)보다 약 35% 증가하였고 100년에 0.74°C씩 온도가 증가하고 있다. 산업체의 연간 CO<sub>2</sub> 배출량은 1970년에서 2004년까지 34년 동안 80% 증가하였다. 자원의 이용 효율이 향상되는, 배출량이 적은 사회에서 2100년의 평균 기온은 1990년보다 1.8°C 상승할 것이다(IPCC, 2007). 2011년 한반도의 대기 중 이산화탄소 농도는 꾸준히 증

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

가하고 있으며 지구 평균 이산화탄소 농도보다 높다(기상청, 2011). 이는 우리나라의 환경조건을 빠르게 변화시킬 것이다.

CO<sub>2</sub> 농도와 온도증가는 식물의 성장과 발달에 영향을 미친다(He *et al.*, 2005). CO<sub>2</sub>는 온실기체임과 동시에 광합성의 원료이다. 공기 중의 CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 광합성 속도가 증대되고(Park, 2003), 식물의 성장을 증진시킨다(Curtis and Wang, 1998; Poorter and Perez-Soba, 2002). 또한 어린 흰가시나무(*Quercus alba*)의 엽면적은 CO<sub>2</sub> 농도가 높을수록 넓어졌다(Kim, 2012). 이처럼 CO<sub>2</sub>의 농도 증가로 식물생장이 증진된다는 것은 여러 온실 실험에서 밝혀졌다(Carson and Bazzaz, 1982). 그리고 CO<sub>2</sub> 농도가 증가하면 성장량과 성장 물질의 각 식물기관으로 배당 형태, 환경 스트레스에 대한 저항성 등도 영향을 받는다(Strain, 1985).

하지만 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하여도 변화가 없거나 감소하는 반응을 보이는 경우도 있다(Idso and Kimball, 1997). 이는 각 식물들은 종 특이성을 가지며 CO<sub>2</sub> 농도와 온도에 따른 식물의 생장은 다른 조건과 복합적으로 이루어지기 때문이다(Kim, 2010). 그래서 최근 세계의 선진국들은 지구온난화에 관한 많은 연구를 하고 있고 수집과 보존 그리고 관리에 많은 경비를 투자하고 있다.

각 식물 종들은 환경조건이 가장 적합한 지역에서 생육을 한다. 지구온난화로 인한 급격한 온도상승으로 한반도의 산림 식생은 남에서 북으로, 저지대에서 고지대로 이동하여 한반도의 식물 종들의 분포가 변할 것이다(Lim, 2002; Jeong *et al.*, 2010). 또한 식물생장과 생리적 특성에 변화를 일으킬 것이다(Idso *et al.*, 1987). 이에 지구온난화로 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하면 이동능력이 없는 식물이나 한정된 지역에서 사는 특산 식물들은 더욱 큰 피해를 받을 것이다.

우리나라에는 다양한 목본식물이 살고 있고 고유 특산 식물도 있다. 그러나 아직까지 우리나라에서 목본식물을 대상으로 CO<sub>2</sub> 농도와 온도를 조합한 지구온난화 조건에서 실험한 연구는 매우 적다. CO<sub>2</sub> 농도와 온도 증가가 우리나라 식물에게 영향을 끼친다는 예로, 한국 특산 식물 섬자리공(*Pytolacca insularis*)과 귀화식물 미국자리공(*Pytolacca americana*)은 같은 과지만 지구온난화 조건에서 미국자리공이 더욱 잘 자랐다(Kim, 2010). 또한 멸종위기 식물인 독미나리(*Cicuta virosa*)의 종자형성율도 지구온난화 조건에서 더 높았다(Hong, 2012).

본 연구에서는 한반도의 우점 상록침엽수종이며 저지대에 많이 식재하는 소나무, 가로수와 정원수로 많이 심는 은행나무, 난대림의 우점종인 증가시나무와 난대성 멸

종위기종인 개가시나무, 관목성 멸종위기식물인 미선나무가 지구온난화가 되면 어떻게 반응하는지를 알아보기 위하여 일반 대기조건(대조구)과 대조구보다 CO<sub>2</sub> 농도와 온도를 증가시킨 조건에서 이들 5종의 유식물을 키워 생육을 측정하고 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

실험에 사용한 유식물은 소나무(*Pinus densiflora*), 은행나무(*Ginkgo biloba*)와 증가시나무(*Quercus glauca*) 그리고 환경부 지정 멸종위기 II급 식물인 개가시나무(*Quercus gilva*)와 미선나무(*Abeliophyllum distichum*)를 사용하였다(환경부, 2011). 소나무, 은행나무, 증가시나무와 개가시나무는 지름 24 cm, 높이 23.5 cm 화분에서 발아시켜 키운 1년생 유식물을 사용하였고, 미선나무는 삼목으로 번식한 것을 같은 화분에서 키워 사용하였다.

### 2. 실험 방법

#### 1) 환경조건

실험은 조건통제가 가능한 유리온실에서 지구온난화의 핵심요인인 CO<sub>2</sub> 농도와 온도상승을 동시에 증가시킨 처리구와 야외의 대기조건(CO<sub>2</sub> 농도, 360~370 ppm)과 같은 대조구에서 진행하였다. 처리구의 CO<sub>2</sub> 농도는 최근 IPCC에서 지구온난화 시나리오에 일반적으로 사용되는 B1 시나리오(IPCC, 2007)를 근거로 CO<sub>2</sub> 농도를 대조구보다 약 2배(690~770 ppm) 높게 처리하였다. CO<sub>2</sub> 가스

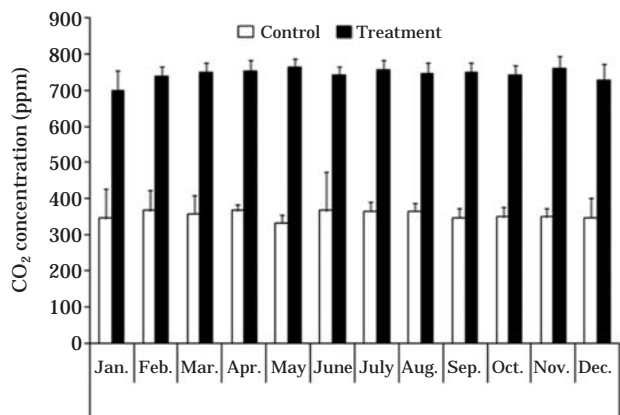
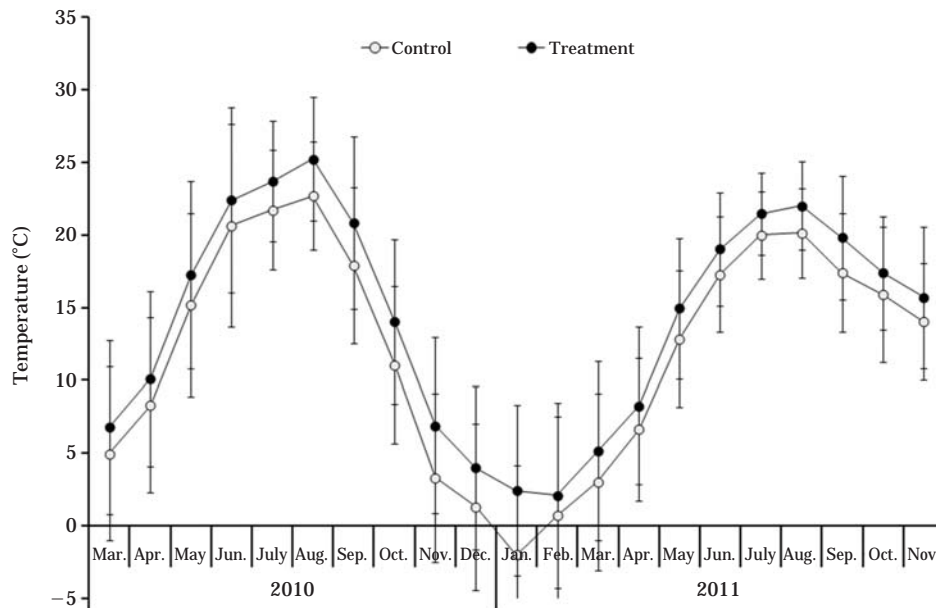


Fig. 1. Average monthly CO<sub>2</sub> concentration in control (ambient CO<sub>2</sub>-ambient air temperature) and treatment (elevated CO<sub>2</sub>-elevated air temperature).



**Fig. 2.** Average monthly temperature in control (ambient CO<sub>2</sub>-ambient air temperature) and treatment (elevated CO<sub>2</sub>-elevated air temperature).

는 처리구 안에 액화 탄산가스(용량 4 kg) 2개를 설치하여 호스를 이용해 분사하였으며, Gas regulator를 이용해 처리구의 CO<sub>2</sub> 농도를 조절하였다. 이렇게 조절한 이산화탄소 농도는 이산화탄소 농도 모니터링 장치(Telair 7001, on set computer, USA)를 이용해 30분 단위로 모니터링 하였다(Fig. 1).

온도처리는, 우리나라의 경우 지난 97년간(1912~2009) 주요 6개 도시의 평균기온이 약 1.7°C 상승하여 전 지구의 평균기온상승(0.74°C)보다 2배 이상 높았고, B1 시나리오에 따르면 2100년대에 평균 기온이 2.2도 상승할 것(IPCC, 2007; 기상청, 2009)을 고려하여 대조구보다 평균 약 2°C 높게 처리하였다. 온도는 환풍기와 해가림막를 통해 조절하였으며, 각 유식물이 위치한 지상 30 cm 높이에 온도 데이터 로거(Thermo recorder TR-710, T&D)를 설치하여 30분 단위로 모니터링 하였다(Fig. 2).

생육조건을 동일하게 하기 위하여 광은 자연광을 사용하였고, 토양은 100% 모래를 사용하였다. 수분처리는 나무가 자라는 자연분포지의 특성-난대성인 종가시나무와 개가시나무는 다른 수종보다 많을 것을 고려하지 않고, 모두 일정하게 여름에는 2~3일, 겨울에는 4~5일 간격으로 각 화분당 700 mL의 수분을 공급하였다.

## 2) 측정기간 및 방법

지상부 길이는 2010년 4월부터 10월까지 한 달에 1회 측정하였다. 그리고 2011년 11월에 1년간 성장량을 비교

하기 위해 측정하였다. 2010년 10월 측정 자료에서 4월 측정한 자료의 차를 이용하여 1년의 지상부 길이 성장을 구했고 2011년 11월 측정 자료에서 2010년 4월 측정한 자료의 차를 이용하여 2년의 지상부 길이 성장을 구했다.

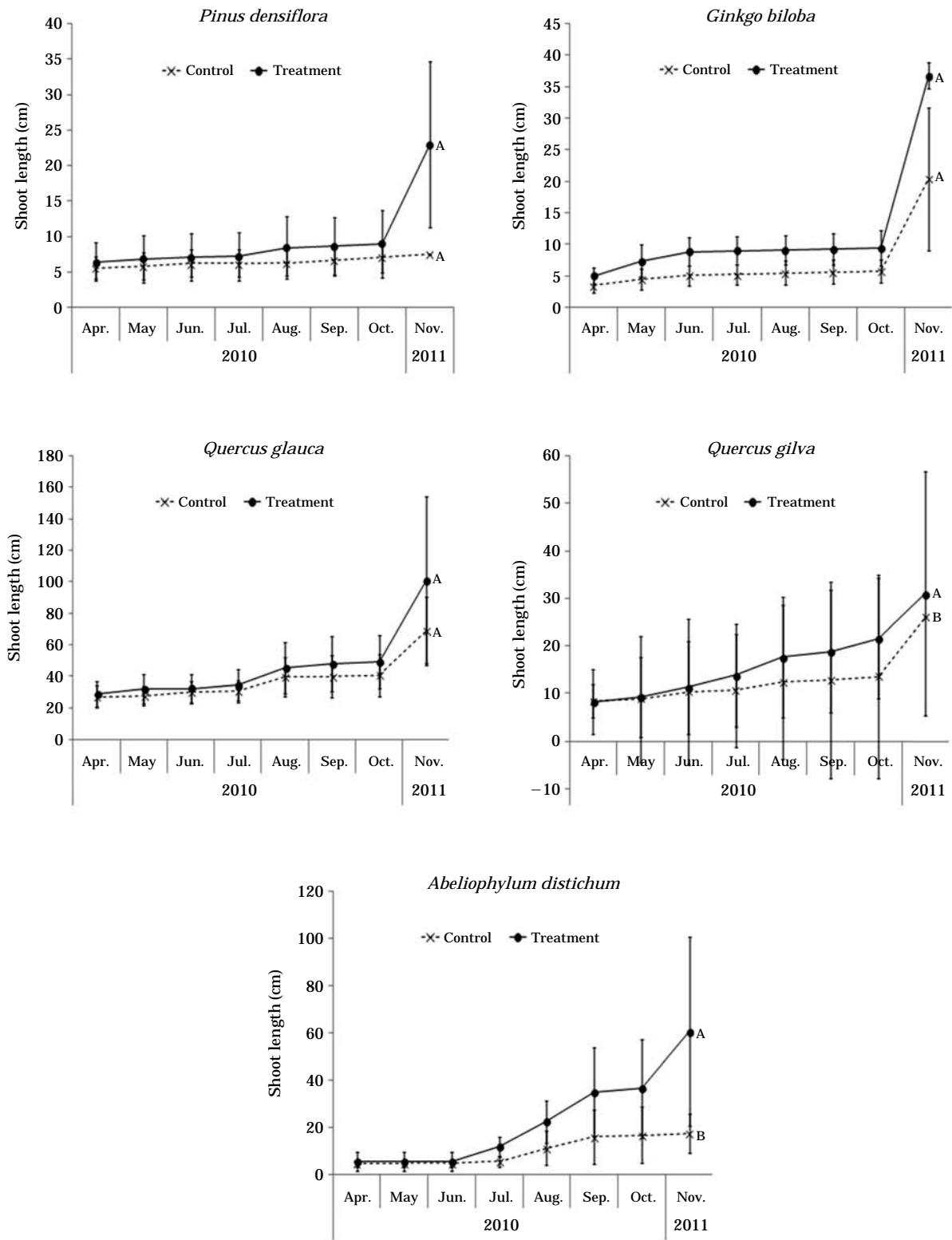
잎 수는 2010년 10월과 2011년 10월에 측정하였다. 2010년 측정 자료와 2011년 측정 자료의 차를 이용하여 잎의 성장량의 차이를 구했다.

## 3) 통계 처리

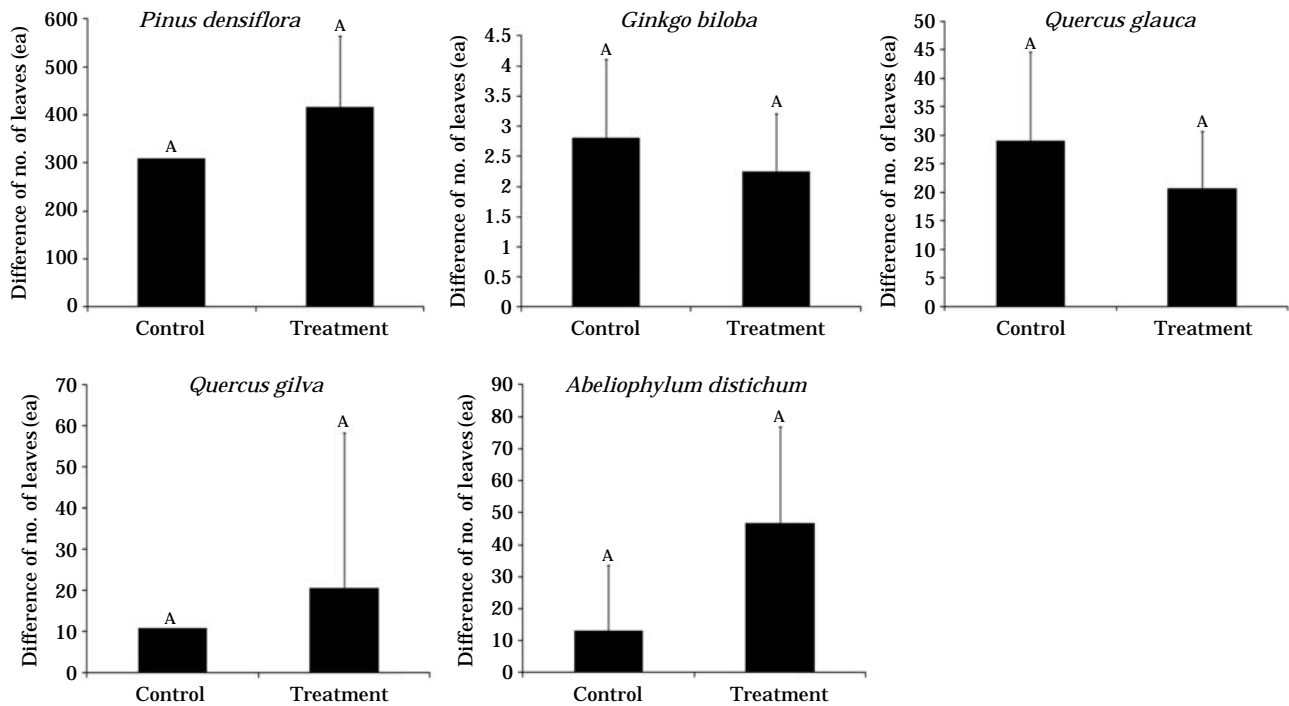
대조구와 처리구간 환경요인에 따른 생육적 반응을 밝히기 위하여 지상부 길이와 잎 수의 차이를 Statistica 통계 패키지(Statsoft Co. 2006)의 일원분산분석(One-way ANOVA)으로 분석하였다. 일원분산분석의 대조구와 처리구간 차이 유의성은 Fisher 최소유의차 법으로 유의수준 5%에서 차이를 검정(No and Jung, 2002)하였다.

## 결과 및 고찰

처리구와 대조구 간 소나무(*P. densiflora*), 은행나무(*G. biloba*), 종가시나무(*Q. glauca*)의 지상부 길이는 차이가 없었다. 하지만 멸종위기 식물인 개가시나무(*Q. gilva*)와 미선나무(*A. distichum*)의 지상부 길이는 대조구보다 처리구에서 더 길었다( $p < 0.05$ ). 잎 수는 대조구와 처리구



**Fig. 3.** Shoot length of *Pinus densiflora*, *Ginkgo biloba*, *Quercus glauca*, *Q. gilva* and *Abeliophyllum distichum* grown under control (ambient CO<sub>2</sub>-ambient air temperature) and treatment (elevated CO<sub>2</sub>-elevated air temperature). n=10, mean±SD.



**Fig. 4.** Difference of no. of leaves of *Pinus densiflora*, *Ginkgo biloba*, *Quercus glauca*, *Q. gilva* and *Abeliophyllum distichum* grown under control (ambient CO<sub>2</sub>-ambient air temperature) and treatment (elevated CO<sub>2</sub>-elevated air temperature). n=10, mean±SD.

에서 5종 모두 차이가 없었다.

소나무의 월 증가 지상부 길이는 처리구에서 7월에 1.2 cm가 성장하여 다른 달보다 많이 자랐고, 대조구에서는 매달 조금씩 성장하였다. 지상부 길이는 대조구와 처리구간 차이가 없었다. 본 연구 결과는 소나무의 지상부 길이가 대조구와 처리구에서 차이가 없었다는 Kim *et al.* (2010)의 연구 결과와 같다. 하지만 같은 과인 *P. sylvestris*의 *P. taeda*는 본 연구 결과와 다르게 CO<sub>2</sub> 농도를 증가시킨 조건에서 더 잘 자랐다 (Crookshanks, 1998; Delucia *et al.*, 1999). 이러한 결과는 지구온난화 조건에서 같은 과일지라도 다른 반응이 일어날 수 있음을 나타낸다.

은행나무의 월 증가 지상부 길이는 처리구에서 4~5월에 3.85 cm가 성장하여 다른 달보다 많이 자랐고, 대조구에도 4~5월에 1.65 cm가 성장하여 가장 많이 자랐다. 지상부 길이는 대조구와 처리구간 차이가 없었다.

자료제시는 안 했지만 은행나무의 낙엽은 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 높은 처리구 (11월)에서 대조구 (12월)보다 한달 일찍 끝났다. 이는 CO<sub>2</sub> 농도가 높으면 은행나무는 잘 자라지 못하며 성장기간도 짧아지고 (Beerling, 1998), 식물 계절현상이 빨라진다는 연구결과와 일치했다 (Shin *et al.*, 2012). 이렇게 낙엽시기가 빨라지는 이유는 CO<sub>2</sub> 농도가

높으면 은행나무의 내한성이 약해지기 때문이다 (Terry *et al.*, 2000).

증가시나무의 월 증가 지상부 길이는 처리구에서 7월에 10.81 cm가 성장하여 가장 잘 자랐고, 대조구에서도 7월에 9 cm가 성장하여 다른 달보다 잘 자랐다. 지상부 길이는 대조구와 처리구간 통계적 차이가 없었다. 이는 Lee (2010)의 연구 결과와 같았다. 증가시나무와 같은 과인 *Q. petraea*는 대조구와 처리구 사이에 차이가 없었다 (Crookshanks, 1998). 또한 증가시나무는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가된 조건에서 성장하더라도 광합성률에 차이가 없었다는 연구 결과가 있다 (Kim and You, 2012). 이 같은 결과로 볼 때 증가시나무는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도증가에 영향을 받지 않는다.

개가시나무의 지상부 길이는 대조구에서 7월까지 성장 후 약 13 cm 정도로 유지되었지만 처리구에서는 10월까지 꾸준히 자랐다. 지상부 길이는 대조구보다 처리구에서 더욱 잘 자랐다. 잎 수의 차이는 없었다. 본 연구 결과와 같이 같은 과인 가시나무의 지상부 길이는 처리구에서 더 잘 자랐고 잎 수는 차이가 없었다 (Usami *et al.*, 2001). 개가시나무의 유식물은 발아 후 2년 동안 처리구에서 광합성량 및 수분이용 효율이 증가하여 유리한 반응을 보

인 연구 결과도 있다(Kim and You, 2012). 이 결과로 볼 때 개가시나무의 유식물은 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하면 유리하다.

다른 연구 결과에서 낙엽수인 상수리나무와 굴참나무는 처리구에서 지상부 길이와 잎 무게의 차이가 없었고, 상수리나무의 줄기길이는 처리구에서 감소하여 상수리나무의 생육에 불리하게 반응한다(Jung et al., 2010). 반대로 외국의 참나무를 대상으로 한 연구를 보면 처리구에서 미국참나무(*Q. alba*), 리브참나무(*Q. agrifolia*), 루브라참나무(*Q. rubra*) 등의 낙엽성 참나무를 포함하여 73종의 성장량이 32% 증가하였다(Wullschlerger et al., 1995). 이상으로 보았을 때 상록성 참나무와 낙엽성 참나무를 포함한 각 참나무 종은 지구온난화에 대하여 서로 다르게 반응하였다. 추후 상록성 참나무와 낙엽성 참나무를 별개로 하여 각 종 특이성에 대한 연구가 필요할 것이다.

미선나무의 월 증가 지상부 길이는 처리구에서 6~8월에 16.84 cm가 성장하여 가장 잘 자랐고 대조구에서는 7~8월에 11.27 cm가 성장하여 가장 잘 자랐다. 지상부 길이는 대조구보다 처리구에서 더욱 잘 자랐다. 본 실험에서 사용한 미선나무와 같은 과인 *Gmelina arborea*, *Fraxinus excelsior*의 지상부 길이도 지구온난화 조건에서 더 잘 자란다는 연구 결과가 있다(Crookshanks, 1998; Attipalli et al., 2010).

지상부 길이가 길다는 것은 광 확보에서 다른 목본식물보다 유리하다는 것이다. 본 실험 결과 현재 우리나라에서 넓게 분포하고 있는 소나무와 은행나무 그리고 난대림에서 우점하고 있는 종가시나무 유식물의 지상부 길이는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하였을 때 영향을 받지 않았지만 멸종위기 식물인 개가시나무와 미선나무 유식물은 긍정적인 영향을 받았다. 이는 곧 CO<sub>2</sub> 농도와 온도가 증가하면 현재는 멸종위기에 처해있는 미선나무와 개가시나무 유식물의 지상부 길이가 잘 자라서 지금보다 다른 식물과의 초기 경쟁에 유리할 것이다.

## 적 요

CO<sub>2</sub> 농도 증가에 의한 지구온난화는 식물의 성장과 발달에 영향을 미친다. 이에 우리나라의 우점종인 소나무, 가로수로 많이 쓰이는 은행나무 그리고 난대림의 우점종인 종가시나무와 멸종위기 식물로 지정된 개가시나무, 미선나무의 유식물을 대상으로 CO<sub>2</sub> 농도와 온도증가를 증가시킨 지구온난화 처리구와 대조구로 나누어 실험을 하였다. 2010년 4월부터 2011년 11월까지 지상부 길이와

잎 수를 측정하였다. 그 결과 소나무, 은행나무 그리고 종가시나무의 지상부 성장량은 대조구와 지구온난화 처리구에서 차이가 없었다. 개가시나무와 미선나무의 지상부 성장량은 대조구보다 처리구에서 높았으나, 잎 수는 CO<sub>2</sub> 농도와 온도증가에 의해 영향을 받지 않았다. 이상으로 볼 때, 지구온난화 조건이 되면 우점하고 있는 소나무, 은행나무, 종가시나무보다 멸종위기식물인 미선나무와 개가시나무의 지상부 생장에 유리할 것이다.

## 사 사

본 논문은 2011년 국가장기생태 연구사업(과제번호 2011-0234)에 지원을 받아 수행되었음에 감사를 드립니다.

## 인 용 문 헌

- Attipalli, R.R., K.R. Girish and S.R. Agepati. 2010. The impact of global elevated CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis and plant productivity. *Current Science* **99**(1): 1-10.
- Beerling, D.J., J.C. McElwain and C.P. Osborne. 1998. Stomatal responses of the 'living fossil' *Ginkgo biloba* L. to changes in atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Journal of Experimental Botany* **49**(326): 1603-1607.
- Carson, R.W. and E.A. Bazzaz. 1982. Photosynthetic and growth response to fumigation with SO<sub>2</sub> at elevated CO<sub>2</sub> for C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. *Oecologia* **59**: 50-54.
- Copyrights Ministry of Environment. 2011. White paper. Copyrights Ministry of Environment. 360pp.
- Crookshanks, M., G. Taylor and M. Broadmeadow. 1998. Elevated CO<sub>2</sub> and tree root growth contrasting responses in *Fraxinus excelsior*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*. *New Phytologist* **138**: 241-250.
- Delucia, E.H., J.G. Hamilton, S.L. Naidu, R.B. Thomas, J.A. Andrews, A. Finzi, M. Labine, R. Matamala, J.E. Mohan, G.R. Hendrey and W.H. Schlesinger. 1999. Net primary production of a forest ecosystem with experimental CO<sub>2</sub> enrichment. *Science* **284**: 1177-1179.
- Han, S.S. and H.S. Choi. 1986. Ecophysiological interpretations on the *Quercus grosserrata* and *Quercus acutissima* leaves. *Journal of Korean Forestry Society* **72**: 37-44.
- He, J.S., K.S. Wolfe-Bellin and F.A. Bazzaz. 2005. Leaf-level physiology, biomass, and reproduction of *Phytolacca americana* under conditions of elevated CO<sub>2</sub> and alter-

- ed temperature regimes. *International Journal of Plant Sciences* **166**(4): 615-622.
- 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. PhMD Dissertation. Kongju National University, Kongju, Korea.
- Idso, S.B. and B.A. 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.
- Idso, S.B., B.A. Kimball, M.G. Anderson and J.R. Mauney. 1987. Effect of Atmospheric CO<sub>2</sub> Enrichment on Plant Growth: the Interactive role of Air Temperature. *Agriculture, Ecosystems and 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 Intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge, New York, U.S.A., 176pp.
- Jeong, H.M., H.R. Kim and Y.H. You. 2009. Growth difference among saplings of *Quercus acutissima*, *Q. variabilis* and *Q. mongolica* under the environmental gradients treatment. *Korean Journal of Environmental Biology* **27**(1): 82-87.
- Jeong, J.K., H.R. Kim and Y.H. You. 2010. Effect of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on growth response of *Quercus acutissima* and *Q. variabilis*. *Korean Journal of Limnology* **24**(6): 648-656.
- Kim, H.R. 2010. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature on ecological responses of *Phytolacca insularis* and *Phytolacca Americana*. PhMD Dissertation. Kongju National University, Kongju, Korea.
- Kim, J.H. 2012. The global warming as seen by biologist. Seoul National University Press. 225-227pp.
- Kim, S.H., S.H. Jung, H.J. Kang and I.S. Lee. 2010. Effects of elevated CO<sub>2</sub> on growth of *Pinus densiflora* seedling and enzyme activities in soil. *Journal of Ecology and Field Biology* **33**(2):133-139.
- Kim, S.Y. and H.J. Kang. 2003. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on wetland plants: a review. *Korean Journal of Limnological Society* **36**(4): 391-402.
- Kobayashi, N. 2006. Global Warming and Forest Business (3th ed.). Bomoondang, Seoul, 268p.
- Lee, C.B. 2006. Coloured flora of Korea. *Hang Moon publisher*. 127-141pp.
- Lee, H.J. 2010. Ecological studies on *Quercus gilva* and *Q. glauca* by elevated CO<sub>2</sub> concentration and temperature. PhMD Dissertation. Kongju National University, Kongju, Korea.
- Lee, J.S. and O.S. Kim. 1995. The investigation on natural growth region of *Abeliophyllum distichum* Nakai. *Korean Journal of Plant Taxonomy* **21**(1): 1-8.
- Lim, J.K. 2002. A draft of the second national communication of the Republic of Korea. Korea Energy Economics Institute. Rep. Gyeonggi-do., Korea, 211pp.
- Lim, K.B., Y.T. Min, Y.M. Kim, S.D. Han and H.M. Kwon. 1995. Oaks. Forest Tree Breeding Research. 187-226pp.
- No, H.J. and H.Y. Jung. 2002. Well-defined statistical analysis according to statistica. Hyeong-seok Publisher. 336pp.
- Park, H.R. 2003. Global warming and its effects and preventive. Uyoung, Seoul, 285.
- Poorter, H. and M. Perez-Soba. 2002. Plant growth by elevated CO<sub>2</sub>, p. 489-496. *In: Encyclopedia of Global Environmental Change* (Munn, T., H.A. Mooney and J.G. Canadell, eds.). John Willey & Sons, Ltd, Chichester.
- Shin, D.H., H.R. Kim and Y.H. You. 2012. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration and increased temperature on the change of the phenological and reproductive characteristics of *Phytolacca insularis*, a Korea endemic plant. *Journal of Wetlands Research* **14**(1): 6-7.
- Strain, B.R. 1985. Physiological and ecological controls on carbon sequestering in terrestrial ecosystem. *Biogeochemistry* **1**: 219-232.
- Terry, A.C., W.P. Quick and D.J. Beerling. 2000. Long-term growth of ginkgo with CO<sub>2</sub> enrichment increases leaf ice nucleation temperatures and limits recovery of the photosynthetic system from freezing. *Plant Physiology* **124**(1): 183-190.
- The meteorological administration. 2011. Climate Change report. The Meteorological Administration. 45pp.
- Usami, T., J. Lee and T. Oikawa. 2001. Interactive effects of increased temperature and CO<sub>2</sub> on the growth of *Quercus myrsinaefolia* saplings. *Plant, Cell and Environment* **24**: 1007-1019.
- Wullschlegel, S.D., W.M. Post and A.W. King. 1995. On the potential for a CO<sub>2</sub> fertilization effect in forest trees-an assessment of 58 controlled-exposure studies and estimates of the biotic growth factor, p.85-107. *In: Biotic Feedbacks on the Global Climatic System: Will the Warming Feed the Warming?* (Woodwell, G.M. and F.R. MacKenzie, eds.). Oxford Univ. Press, New York.

(Manuscript received 15 April 2013,  
Revised 2 May 2013  
Revision accepted 20 June 2013)