

# CO<sub>2</sub>농도와 온도증가에 따른 한국특산식물 섬자리공과 귀화식물 미국자리공의 발아, 식물계절 및 잎의 형태학적 반응연구<sup>1a</sup>

김해란<sup>2</sup> · 유영한<sup>3\*</sup>

## 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)<sup>1a</sup>

Hae-Ran Kim<sup>2</sup>, Young-Han You<sup>3\*</sup>

### 요 약

지구온난화 조건 하에 한국특산식물 섬자리공과 귀화식물 미국자리공의 발아, 식물계절 그리고 잎의 형태학적 변화를 알아보기 위해 CO<sub>2</sub>농도(+380~420ppm)와 온도(+3.0°C)를 증가시킨 CO<sub>2</sub>+온도상승구(EC-ET)와 대조구(AC-AT)에서 실험하였다. 두 종의 발아율은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았으며 발아개시일 역시 빨랐다. 그리고 섬자리공은 미국자리공에 비해 낮은 발아율을 보였다. 섬자리공은 2년 동안 영양생장만 일어난 반면 미국자리공은 2008년과 2009년 한 해에 영양생장과 생식생장을 모두 하였다. 두 종의 식물계절은 CO<sub>2</sub>농도와 온도가 증가할수록 개엽, 꽃대형성, 개화, 열매발달과 성숙시기가 빨라졌으며 잎의 노화 시기는 늦춰졌다. 섬자리공의 잎몸 길이는 CO<sub>2</sub>농도와 온도에 대한 영향을 받지 않았다. 반면 미국자리공은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다. 잎몸 폭 길이는 두 종 모두 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다. 두 종의 총 잎 수는 구배별 차이가 없었다. 그리고 비엽면적은 섬자리공이 대조구에서 높은 반면 미국자리공은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다. 이상으로 볼 때, 지구온난화가 되면 미국자리공이 섬자리공보다 CO<sub>2</sub>농도와 온도 증가에 대하여 더 민감하게 반응을 할 것으로 판단된다.

주요어: 기후변화, CO<sub>2</sub>증가, 온도, 자생종, 외래종, 발아, 개화시기, 비엽면적

### ABSTRACT

This study was conducted to find out how the germination, phenology and leaf morphology of *Phytolacca insularis*(endemic species of Korea) and *P. americana*(alien species) react to the global warming situation. Seed and seedlings of two species were sampled and placed under two separate conditions for the experiment. One of the seed and seedlings was treated in the glass house with control(ambient CO<sub>2</sub> + ambient temperature, AC-AT), and the other with control(elevated CO<sub>2</sub> + elevated temperature, EC-ET), over the period of one year,

1 접수 2009년 12월 31일, 수정(1차: 2010년 2월 8일), 게재확정 2010년 2월 11일

Received 31 December 2009; Revised(1st: 8 February 2010); Accepted 11 February 2010

2 공주대학교 대학원 생물학과 Graduate School Dept. of Biology, Kongju National University, Gongju(314-701), Korea

3 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Kongju National University, Gongju(314-701), Korea

a 본 연구는 국토해양부의 자연과 함께하는 eco-river사업(2009)과 환경부의 장기생태연구(LTER 2009)에 의하여 수행되었음.

\* 교신저자 Corresponding author(youeco21@kongju.ac.kr)

2008-2009. The germination rate of two species was fast, and the time of their germination started early, when they were treated at EC-ET than at AC-AT. Furthermore, the germination rate of *Phytolacca insularis*(endemic species of Korea) was found to be comparatively lower than that of *P. americana*(alien species). The former showed only vegetative growth whereas the latter showed both vegetative growth and reproductive growth in one year period. The more CO<sub>2</sub> degree and temperature increased, phenological responses of two species, including leaf growth, the formation of flower stems, flowering, and fruit maturing, became much faster, and the time of their leaf-yellowing was delayed. The lamina length of *P. insularis* was not significantly affected by elevated CO<sub>2</sub> and temperature. The lamina length of *P. americana*, on the other hand, became longer at EC-ET than at AC-AT, but the leaf width of both species increased at EC-ET. As for the number of leaves, both species showed no difference. Finally, the ratio of the leaf area of *P. insularis* was high at AC-AT, but *P. americana* was high at EC-ET. These results indicate that *P. americana*, aliens species, reacts more sensitively to global warming than *P. insularis*, endemic species, does.

**KEY WORDS : CLIMATE CHANGE, ELEVATED CO<sub>2</sub>, TEMPERATURE, NATIVE SPECIES, INVASIVE SPECIES, FLOWERING TIME, SPECIFIC LEAF AREA**

## 서 론

전 세계적으로 일어나고 있는 지구온난화(Global warming)의 가장 큰 원인은 인위적으로 발생하는 CO<sub>2</sub>농도의 증가에 있다(Kobayashi 2006).

대기 중 CO<sub>2</sub>농도는 산업화 이전에 약 280ppm이었으나(IPCC, 2007), 현재는 약 385ppm으로 증가하였다(Marquis and Tans, 2008). 현 증가추세를 유지한다면 2100년에는 대기 중 CO<sub>2</sub>농도가 800ppm에 육박할 것이다(Houghton *et al.*, 1990). 대부분 기후변화모델에서는 CO<sub>2</sub>농도가 2배가 되면 지구의 평균 표면온도가 2~3℃ 증가한다고 예측하고 있다(Enoch and Hurd, 1977). 그러나 최근 연구 결과, 지구 온도는 대기 CO<sub>2</sub>농도에 의해 현재 예측하고 있는 것보다 30~50% 더 크게 영향을 받을 것으로 예상하고 있다(Lunt, 2009).

이러한 CO<sub>2</sub>농도와 온도의 증가는 식물의 성장과 발달에 영향을 미친다(He *et al.*, 2005). 그 중 가장 눈에 띄는 것은 식물계절(phenology)의 변화이다. 이는 식물의 발아, 개엽, 개화 그리고 낙엽 등의 식물계절 시기는 매년 반복되는 계절변화를 곧바로 반영하기 때문에 지구온난화의 지표가 된다(Sherry *et al.*, 2007). 30년 이상 동안 유럽지역의 식물계절을 관찰한 자료를 분석한 결과, 개엽 시기는 6일이 앞당겨졌고, 낙엽 시기는 4.8일 늦춰졌다(Menzel and Fabian, 1999). 그리고 우리나라에서 관측된 식물계절 자료를 분석한 결과, 발아와 개화 시기는 0.7~2.7일 앞당겨지고 단풍 시기는 3.7~4.2일로 늦어지는 추세이다(Lee *et al.*, 2009).

Garbutt and Bazzaz(1984)의 연구에 따르면, 드림볼꽃

(*Phlox drummondii*)과 독말풀(*Datura stramonium*)은 대조구보다 CO<sub>2</sub>농도가 2배 높은 처리구에서 2~4일 먼저 개화하였다. 그리고 벌노랑이속(*Lotus corniculata*)은 높은 온도 처리구에서 대조구보다 개화시기가 7일 더 빨랐으며, CO<sub>2</sub>농도와 온도가 모두 증가한 처리구에서는 16일 더 빨리 개화되었다(Carter *et al.*, 1997).

이러한 식물계절시기의 변화는 자원을 획득 할 수 있는 잎과 뿌리 등의 개시와 지속기간을 바꿈으로써(Nord and Lynch, 2009) 간접적으로 식물의 성장과 생식에 영향을 준다(Aizen, 2003).

CO<sub>2</sub>농도와 온도증가에 의해 가장 뚜렷하게 나타나는 형태적 변화로는 잎과 관련된 변수들이다(Garbutt *et al.*, 1990). 잎의 형태적 특성은 광합성과 호흡 등 식물의 생리활동에 큰 영향을 미치며 이는 곧 성장반응과 직결된다(Chim and Han, 2003). 일반적으로 CO<sub>2</sub>농도가 높아지면 전체 잎수가 증가하며(Poorter *et al.*, 1988) 비엽면적(Specific Leaf Area, SLA)이 감소한다(Norby and O'Neill, 1991).

현재 멸종위기에 처해있거나 개체수가 적은 자생종들의 피해는 더욱 심각해질 것으로 예상된다. 반면에 외래식물은 표현형가소성(phenotypic plasticity)이 높고(Feng *et al.*, 2007) 환경적 스트레스에 내성이 강하여(Alpert *et al.*, 2000) 자생식물보다 지구온난화에 따른 기후변화에 잘 적응 할 것으로 예측된다.

섬자리공(*Phytolacca insularis*)은 전 세계적으로 울릉도에만 자생하며(Lee and Im, 1978) 개체수가 매우 드문 희귀식물로 자생지 주변의 생태적 환경압이 높음에도 불구하고 산림청의 멸종위기식물 55호로 지정되어 있으나(Forest

research, 1996), 환경부의 자연환경보전법의 멸종위기식물로는 목록에서 누락되어 금후 개체수 유지가 매우 우려되는 식물이다(An and Lee, 2007). 반면 미국자리공(*Phytolacca americana*)은 외래종이며 호산성식물로 매우 왕성하게 번식하여 최근 들어 그 분포가 확대되어 가고 있다(Park, 1994; Park *et al.*, 1998).

본 연구는 지구온난화에 따른 자생종과 외래종간의 발아율, 식물계절 그리고 잎의 형태적 변화를 알아보기 위해 한국 특산식물인 섬자리공과 외래종인 미국자리공을 대상으로 지구온난화의 핵심인 CO<sub>2</sub>농도와 온도를 처리하여 이에 대한 반응을 측정하고 비교, 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 환경요인 구배

환경요인 구배는 유리 온실 밖을 대조구(AC-AT)로 정하여 대기 중의 CO<sub>2</sub>농도(370~380ppm)와 온도를 그대로 반영하였다. 그리고 CO<sub>2</sub>+온도상승구(EC-ET)는 유리 온실 안에 CO<sub>2</sub>가스를 주입하여 LCi Ultra Compact Photosynthesis System(ADC 2005)으로 측정된 후 Gas regulator로 조절하여 대기 중 CO<sub>2</sub>농도의 약 2배인 750~800ppm으로 유지시켰다.

온도측정은 모든 구배에 알콜 온도계를 같은 높이에 설치하여 실험기간 동안 오전 8시~9시, 오후 3시~4시 그리고 오후 10시~11시 사이에 측정된 결과 CO<sub>2</sub>+온도상승구는 대조구에 비해 평균 3°C도 높았다.

나머지 환경요인인 광, 수분과 유기물은 모두 동일하게 처리하였다. 대조구는 CO<sub>2</sub>+온도상승구의 광 조건과 똑같이 하기위해 유리지붕을 설치하였으며, 수분공급은 3~4일 간격으로 처리하였다. 이때 사용할 물은 수도물을 받아서 안정화 시킨 후 사용하였다. 토양은 동일 입자크기의 모래를 사용하였고, 유기물은 토양무게의 0.5%로 처리하였다.

유리 온실은 챔버와는 달리 공간적으로 제약을 받지 않으며 자연광과 광주기 그리고 토양환경을 그대로 활용하여 자연에서 실제로 식물이 살아가는 환경을 조성해 CO<sub>2</sub>농도와 온도증가에 대한 식물의 실제적 반응을 알 수 있다는 장점을 가지고 있다.

### 2. 실험재료 이식 및 재배

섬자리공은 2004년 7월에 울릉도에서 채집하여 공주대학교 온실에서 이식한 후 그 개체로부터 종자를 얻었으며 미국자리공은 2006년에 공주대학교 온실에서 키워 2007년 11월 5일에 종자를 채집하였다. 위 두 종의 종자를 4°C 냉장

보관 한 뒤 2008년 5월 14일에 플라스틱 화분(가로 51cm × 세로 15.3cm × 높이 12cm)에 파종하여 발아시켰다. 그 뒤, 잎이 2~3장 나온 6월 9일에 지름 22.5cm, 높이 27cm인 3개 화분에 각각 두 개체씩 이식하였다. 실험은 2008년 5월 초부터 2009년 10월 말까지 실시하였다.

### 3. 측정항목

#### 1) 발아율

발아실험은 2009년 3월 10일에서 5월 14일까지 실시하였으며, 발아율은 2주 간격으로 측정하였다. 환경구배마다 사각 플라스틱화분(가로51cm × 세로15.3cm × 높이12cm)에 동일한 입자크기의 모래를 채워 종 당 100립씩 파종하였으며 자엽이 지면 밖으로 나온 것을 발아로 간주하여 육안으로 확인하였다. 그리고 수분공급은 모든 구배에서 동일하게 5일 간격으로 처리하였다.

#### 2) 식물계절

식물의 개시와 신장은 주로 온도의 높고 낮음에 따라 결정되기 때문에 식물계절(phenology)은 지구온난화에 중요한 지표가 된다(Matsumoto *et al.*, 2003). 각 환경구배별 두 종의 식물계절변화는 2009년을 기준으로 1월부터 수확하기 전 10월 달까지 개엽, 꽃대형성, 개화, 열매발달, 열매성숙 그리고 낙엽시기를 관찰하여 기록하였다. 개엽은 잎이 지상으로부터 나와 만개 하였을 때, 그리고 개화는 꽃대에서 꽃이 처음으로 피기 시작 하였을 때를 기록하였다. 열매 발달은 꽃이 지고 초록색 열매가 맺힐 때 그리고 열매성숙은 초록색 열매가 붉은 색으로 변화하기 시작한 때를 기록하였다.

#### 3) 잎 형태적 변화

2009년 9월에 각 개체에서 임의로 3장의 성엽을 선정하여 잎몸 길이(cm)와 잎몸 폭 길이(cm)를 측정하였다. 비엽면적(specific leaf area, SLA)은 완전한 성엽을 각 개체 당 5개씩 채집하여 잎의 면적(cm<sup>2</sup>)을 측정하고 65°C에 48시간 건조시켜 건중량을 구했다. 그 후 엽면적(cm<sup>2</sup>)을 잎건중량(g)으로 나눠 계산하였다.

잎몸과 잎몸 폭 길이 그리고 잎의 면적은 엽면적계(SI700, Skye)를 사용하여 Leaf area v1.11(Skye, 2007)로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 발아율

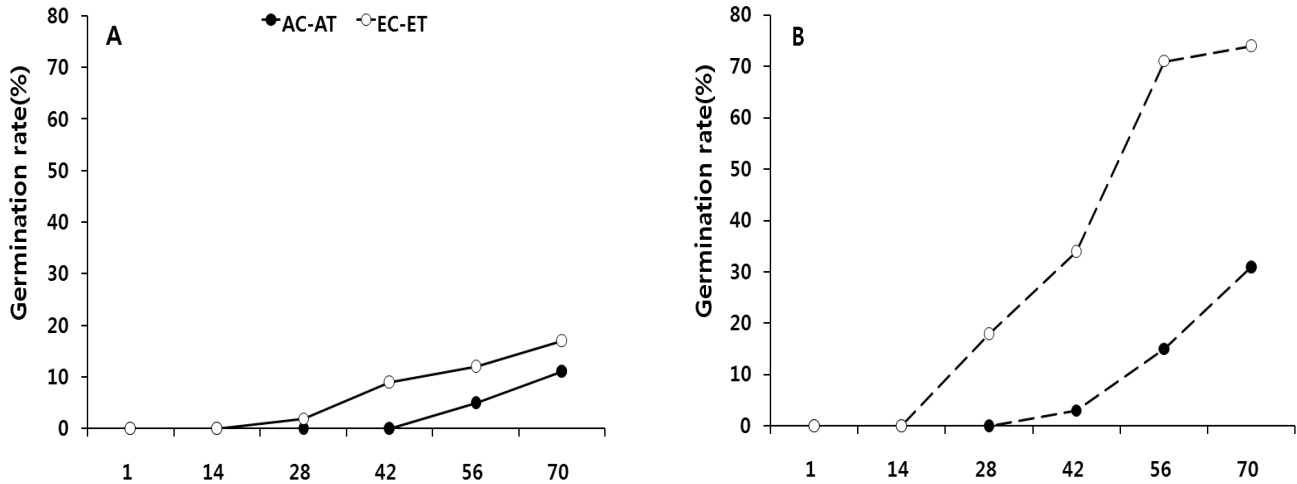


Figure 1. Germination rate of *P. insularis*(A) and *P. americana*(B) under two environmental gradients (●: ambient CO<sub>2</sub>-ambient temperature, ○: elevated CO<sub>2</sub>-elevated temperature)

섬자리공과 미국자리공의 발아율은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 각각 17%, 74%로 높았으며 대조구에서 각각 11%, 31%로 낮았다. 그리고 발아개시일 역시 두 종 모두 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 빨랐으며 대조구에서 늦었다(Figure 1).

말냉이장구채는 CO<sub>2</sub>농도를 대조구보다 370ppm 증가시킨 처리구에서 발아율이 증가하였다(Qaderil and Reid, 2008). 뿐만 아니라 토끼풀(Edwards *et al.*, 2001), 창질경이(Wulff and Alexander, 1985), 자주개자리, 긴털비름 그리고 개맨드라미(Ziska and Bunce, 1993)등은 CO<sub>2</sub>농도와 온도가 높을수록 발아율이 증가하여 본 연구결과와 일치하였다. 반면 애기장대는 대조구(350ppm)에 비해 CO<sub>2</sub>농도처리구(700ppm)에서 낮은 발아율과 늦은 발아시기를 보여(Andalo *et al.*, 1996) 본 연구결과와 달랐다.

외래식물은 자생식물에 비해 풍부한 종자생산능력과 높은 발아율을 갖는 것이 특징이다(Goergen and Daehler, 2001). 본 연구 결과 섬자리공은 미국자리공에 비해 낮은 발아율을 보였다. 또한 섬자리공은 대조구에 비해 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서의 발아율이 1.5배 증가한 반면 미국자리공은 2.4배 증가하여 섬자리공에 비해 발아율의 증가 폭이 컸다.

사바나에 서식하는 벼과식물 중 자생종과 외래종 2종을 대상으로 발아율을 관찰한 결과, CO<sub>2</sub>농도가 높은 환경에서 외래종이 자생종에 비해 높은 발아율을 보여(Baruch and Jackson, 2005) 본 연구결과와 일치하였다. 반면 미국의 자생종인 페튜니아와 외래종인 멕시코인 페튜니아는 온도가 높을수록 자생종인 페튜니아의 발아율이 증가하였다(Wilson and Wilson, 2004).

이를 종합하여 볼 때 지구온난화가 진행됨에 따라 외래종인 미국자리공이 자생종인 섬자리공에 비해 높은 발아율을

보여 분포범위가 더 넓어질 것으로 판단된다.

## 2. 식물계절

두 종은 모두 다년생식물임에도 불구하고 섬자리공은 2년 동안 영양생장만 일어난 반면 미국자리공은 한 해에 영양생장과 생식생장을 모두 하였다(Figure 2).

섬자리공은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 3월 20일에 개엽을 하

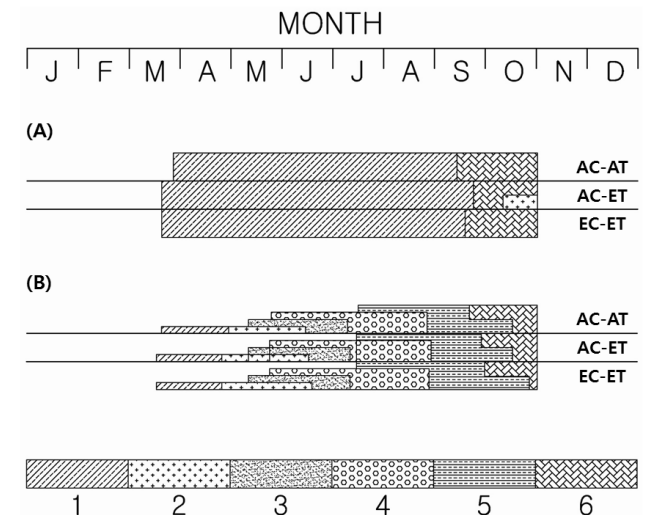


Figure 2. Phenological spectrum for *P. insularis*(A) and *P. americana*(B)

(1: foliation and vegetation growth, 2: inflorescence developing, 3: flowering, 4: fruit developing, 5: fruit maturing, 6: leaf yellowing).

였고, 대조구는 일주일 늦은 3월 27일에 개엽을 하였다. 낙엽 시기는 대조구(9월 15일)에서 빨랐고 CO<sub>2</sub>+온도상승구(9월 25일)에서 늦었다(Figure 2-A).

미국자리공의 개엽 시기는 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 3월 17일로 대조구보다 3일 빨랐다. 그리고 꽃대형성시기 또한 CO<sub>2</sub>+온도상승구가 대조구보다 4일 빨리 꽃대가 형성되었다. 개화는 CO<sub>2</sub>+온도상승구가 대조구에 비해 1일 빨리 일어났다. 열매 형성시기는 CO<sub>2</sub>+온도상승구가 대조구보다 4일 빨리 형성되었다. 열매의 색이 초록색에서 붉은색으로 변하는 열매 성숙시기는 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 빨랐고 대조구에서 늦었다. 반면 낙엽 시기는 9월 30일로 대조구에서 가장 빨랐으며 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서는 9일 늦게 나타났다(Figure 2-B).

두 종의 식물계절을 관찰한 결과 CO<sub>2</sub>농도와 온도가 증가할수록 개엽, 꽃대형성, 개화, 열매발달과 성숙시기가 빨라졌으며 잎의 노화 시기는 늦춰졌다.

털비름(Garbutt *et al.*, 1990)과 돼지풀(Rogers *et al.*, 2006) 등은 CO<sub>2</sub>농도가 높아질수록 대조구보다 개화시기가 빨라져 본 연구 결과와 일치하였다. Garbutt and Bazzaz(1984)에 따르면 드람불꽃은 CO<sub>2</sub>농도와 온도가 높을수록 개화시기가 앞당겨진 반면, 어저귀는 CO<sub>2</sub>농도와 온도에 상관없이 개화시기에 변화가 없었다. 왕포아풀은 높은 CO<sub>2</sub>농도에서 오히려 개화시기가 대조구보다 늦게 일어나 본 연구결과와 달랐다(Carter and Peterson, 1983). 이처럼 CO<sub>2</sub>농도와 온도에 따른 개화시기의 다양한 반응은 종 특이적임을 나타낸다(Aschhoff *et al.*, 2006).

식물계절시기의 변화는 식물의 생장과 발달에 영향을 미칠 수 있다. 그 이유는 토양의 수분과 영양분을 흡수하는 뿌리와 광합성을 하는 잎의 발달 시기와 기간에 변화가 일어나기 때문이다(Nord and Lynch, 2009).

이는 지구온난화가 진행됨에 따라 미국자리공은 섬자리공 보다 식물계절시기의 변화가 크게 일어나 생장과 발달에 큰 영향을 받을 것으로 사료된다.

### 3. 잎 형태적 변화

섬자리공의 잎몸 길이는 CO<sub>2</sub>농도와 온도에 대한 영향을 받지 않은 반면, 미국자리공은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다(Figure 3-A). 그리고 잎몸 폭 길이는 두 종 모두 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다(Figure 3-B). 서양민들레는 CO<sub>2</sub>농도가 높은 조건(700ppm)에서 잎의 결각이 더 깊게 갈라지고 잎몸 길이가 감소하여(Tomas and Bazzaz, 1996) 본 연구결과와 차이를 보였다.

두 종의 비엽면적은 섬자리공이 대조구에서 높은 반면 미국자리공은 CO<sub>2</sub>+온도상승구에서 높았다(Figure 3-C).

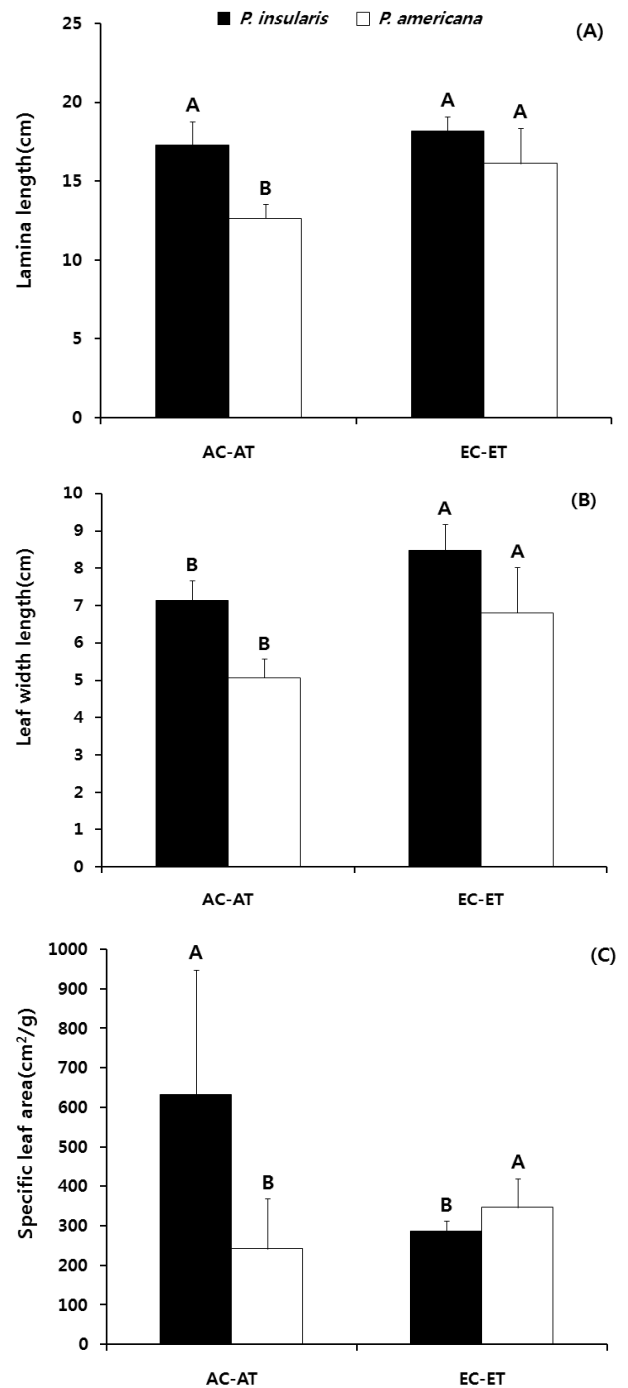


Figure 3. Lamina length(A), leaf width length(B) and specific leaf area(C) of *P. insularis*(closed bars) and *P. americana*(opened bars) under three environmental gradients. Alphabets on the bars mean significantly different among gradients level within each species (Fisher's least significant difference,  $p < 0.05$ ).

이는 CO<sub>2</sub>농도와 온도가 높을수록 섬자리공의 비엽면적은 감소하고 미국자리공은 증가한다는 것을 의미한다.

CO<sub>2</sub>농도증가에 따른 자생종 3종과 외래종 3종의 초본식물의 생태적 반응을 비교한 연구에 따르면 CO<sub>2</sub>농도가 증가할수록 자생종의 비엽면적은 감소하는 반면 외래종 1종을 제외한 나머지 종들은 증가하는 경향을 보여(Song *et al.*, 2009) 본 연구결과와 일치하였다.

비엽면적은 잎의 두께와 관련이 있다(Gunn *et al.*, 1999). 일반적으로 CO<sub>2</sub>농도가 증가하면 잎의 두께가 두꺼워진다(Tomas and Bazzaz, 1996). 그 원인으로는 두가지의 가설이 제기 되고 있다.

하나는 높은 CO<sub>2</sub>농도에 의한 광합성의 증가로 인해 비구조적 탄수화물의 축적량이 증가한다는 것이다.(Norby and O'Neill, 1991). 그 결과 잎의 건중량이 증가하여 비엽면적이 감소한다.

두 번째, 잎의 형태적 특징은 엽육세포의 모양과 크기에 의해 결정이 되며 엽육세포의 생산과 크기 확장은 CO<sub>2</sub>농도에 민감하게 반응한다(Taylor *et al.*, 2003). 따라서 높은 CO<sub>2</sub>농도와 온도는 엽육세포의 수와 크기를 증가시켜 엽면적이 넓고 두꺼운 잎을 생산한다(Ranasinghe and Taylor, 1996).

Radoglou and Jarvis(1989)는 높은 CO<sub>2</sub>농도에 의해 엽육세포의 크기가 커지고 기공 내 공간이 더 넓어져 잎이 두꺼워진다고 하였다. 그리고 Ferris and Taylor(1993)는 높은 CO<sub>2</sub>농도 환경에서 서양별노랑이(*Lotus corniculatus*)의 증가된 비엽면적의 원인을 엽육세포의 생산량 감소로 들고 있다.

본 연구 결과 섬자리공은 잎몸 폭 길이만 증가한 반면 미국자리공은 잎몸과 잎몸 폭 길이가 모두 증가하였다. 이는 섬자리공 잎의 모양과 크기는 미국자리공보다 CO<sub>2</sub>농도와 온도 증가에 의해 영향을 적게 받을 것으로 예상되며 섬자리공의 감소된 비엽면적은 엽면적의 감소보다는 잎 건중량의 증가가 더 큰 기여를 했을 것으로 예측된다.

이를 종합해볼 때 지구온난화가 되면 미국자리공은 섬자리공 보다 잎의 형태학적인 변화가 크게 일어날 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 자연과 함께하는 eco-river사업(2009)과 환경부의 장기생태연구(LTER 2009)에 대하여 수행되었음에 감사를 드립니다.

## 인용문헌

- Aizen, M.A.(2003) Influences of animal pollination and seed dispersal on winter flowering in a temperature mistletoe. *Ecology* 84: 2613-2627.
- Alpert, P., E. Bone and C. Holzappel(2000) Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of nonnative plants. *Perspect Plant Ecol. Evol. Syst.* 3: 52-66.
- An, Y.H. and S.H. Lee(2007) Ecological characteristics and distribution of native *Phytolacca insularis* in Ulleung Island. *Kor. J. Pharmacogn.* 38(1): 1-9.
- Baruch, Z. and R.B. Jackson(2005) Responses of tropical native and invader C4 grasses to water stress, clipping and increased atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. *Oecologia* 145: 522-532.
- Carter, D.R. and K.M. Peterson(1983) Effects of a CO<sub>2</sub>-enriched atmosphere on the growth and competitive interaction of a C3 and a C4 grass. *Oecologia(Berlin)* 58: 188-193.
- Carter, E.B., M.K. Theodorou and P. Morris(1997) Responses of *Lotus corniculatus* and drought on growth and plant development. *New Phytol.* 126: 245-253.
- Chim, J.S. and S.S. Han(2003) Ecophysiological characteristics of deciduous oak species(III)- Photosynthetic responses of leaves to change of light intensity. *Jour. of Korean For. Soc.* 92(3): 208-214.
- Edwards, G.R., P.C.D. Newton, J.C. Tilbrook and H. Clark(2001) Seedling performance of pasture species under elevated CO<sub>2</sub>. *New Phytol.* 150: 359-369.
- Enoch, H.Z. and R.G. Hurd(1977) Effect of light intensity carbon dioxide concentration and leaf temperature on gas exchange of spray caenation plants. *Journal of Experimental Botany* 28: 84-95.
- Ferris, R. and G. Taylor(1993) Contrasting effects of elevated CO<sub>2</sub> on the root and shoot growth of four native herbs commonly found in chalk grassland. *New Phytol.* 125: 855-866.
- Feng, Y., J. Wang and W. Sang(2007) Biomass allocation, morphology and photosynthesis of invasive and noninvasive exotic species grown at four irradiance levels. *Acta Oecol.* 31: 40-47.
- Forest Researcher(1996) Rare and Endangered plants- Conservation guide and target plant. Korea Forest service, 140pp.
- 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 Phytol.* 98: 433-446.
- Garbutt, K., W.E. Williams and F.A. Bazzaz(1990) Analysis of the differential response of five annuals to elevated CO<sub>2</sub> during growth. *Ecology* 7(3): 1185-1194.
- Goergen, E. and C.C. Daehler(2001) Reproductive ecology of a native Hawaiian grass(*Heteropogon contortus*; Poaceae) versus Its Invasive Alien competitor (*Pennisetum setaceum*; Poaceae). *Int. J. Plant Sci.* 162(2): 317-326.

- Gunn, S., J.F. Farrar, B.E. Collis and M. Nason(1999) Specific leaf area in barley: individual leaves versus whole plants. *New Phytol.* 143: 45-51.
- He J.S., Kelly 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 altered temperature regimes. *Int. J. Plant Sci.* 166(4): 615-622.
- Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums(1990) *Climate change: the IPCC Scientific Assessment.* Cambridge University Press, Great Britain, 364pp.
- 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, USA, 851pp.
- Kobayashi, N.(2006) *Global warming and Forest business.* Bomundang, pp.21-27.
- Lee, W.C. and Y.J. Im(1978) Studies on the distribution of Vascular plants in the Korean Peninsula. *Journal of Korean plant taxonomy* 8: 1-33.
- Lunt, D.J., A.M. Haywood, G.A. Schmidt, U. Salzmann, P.J. Valdes and H.J. Dowsett(2009) Earth system sensitivity inferred from Pliocene modelling and data. *Nature Geoscience* 3: 60-64.
- Marquis, M. and P. Tans(2008) Carbon Crucible. *Nature* 320: 460-461.
- Matsumoto, K., T. Ohta, M. Irasawa and T. Nakamura(2003) Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Global Change Biology* 9(11): 1634-1642.
- Menzel, A. and P. Fabian(1999) Growing season extended in Europe. *Nature* 397: 659.
- Norby, R.J. and E.G. O'Neill(1991) Leaf area compensation and nutrient interactions in CO<sub>2</sub>-enriched seedlings of yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). *New Phytol.* 117: 515-528.
- 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.
- Poorter, H., S. Pot and H. Lambers(1988) The effect of an elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on growth, photosynthesis and respiration of *Plantago major*. *Physiologia plantarum* 73: 553-559.
- Park, B.J., K.R. Choi and Y.M. Park(1998) Effects of light and nitrogen on the growth of Pokeberry. *Korean J. Ecol.* 21(4): 329-335.
- Park, S.H.(1994) The study of naturalized plants in Korea. *Nature Conservation* 85: 39-50.
- Qaderil, M.M. and D.M. Reid(2008) Combined effects of temperature and carbon dioxide on plant growth and subsequent seed germinability of *Silene noctiflora*. *Int. J. Plant Sci.* 169(9): 1200-1209.
- Radoglou, K.M. and P.G. Jarvis(1990) Effects of CO<sub>2</sub> enrichment on four Poplar clones. I. Growth and leaf anatomy. *Annals of Botany* 65: 617-626.
- Ranasinghe, S. and G. Taylor(1996) Mechanism for increased leaf growth in elevated CO<sub>2</sub>. *Journal of Experimental Botany* 47(296): 349-358.
- Rogers, C.A., P.M. Wayne, E.A. Macklin, M.L. Muilenberg, C.J. Wagner, P.R. Epstein and F.A. Bazzaz(2006) Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on Ragweed(*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production. *Environ. Health Perspect* 114(6): 865-869.
- 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. *PNAS* 104(1): 198-202.
- Song, L., J. Wu, C. Li, F. Li, S. Peng and B. Chen(2009) Different responses of invasive and native species to elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Acta Oecologia* 35: 128-135.
- Tomas, S.C. and F.A. Bazzaz(1996) Elevated CO<sub>2</sub> and leaf shape: Are dandelions getting toothier? *American Journal of Botany* 83(1): 106-111.
- Wilson, S.B. and P.C. Wilson(2004) Growth and development of the native *Ruellia caroliniensis* and Invasive *Ruellia tweediana*. *Hortscience* 39(5): 1015-1019.
- Wulff, R.D. and H.M. Alexander(1985) Intraspecific variation in the response to CO<sub>2</sub> enrichment in seeds and seedlings of *plantago lanceolata* L. *Oecologia* 66(3): 458-460.
- Ziska, L.H. and J.A. Bunce(1993) The influence of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on seed germination and emergence from soil. *Field Crops Research* 34(2): 147-157.