

CO₂농도 및 온도 증가가 한국특산식물 섬자리공의 식물계절학 및 번식생태학적 특성 변화에 미치는 영향

Effects of Elevated CO₂ Concentration and Increased Temperature on the
Change of the Phenological and Reproductive characteristics of
Phytolacca insularis, a Korea endemic plant

신 동 훈* / 김 해 란** / 유 영 한***

Dong-Hun Shin* / Hae-Ran Kim** / Young-Han You***

요약 : 지구온난화에 따른 온도상승은 식물의 생식생장 시기 및 생식기관 생산량에 영향을 미친다. 본 실험은 한국특산식물인 섬자리공을 대상으로 대조구(야외조건)와 처리구(700~800ppm CO₂, 온도 2℃상승)를 구분하여 2010년 3월부터 2011년 4월까지 14개월 동안 생식생장단계에서의 식물계절학을 관찰하고, 생식기관 생산량을 측정하였다. 개엽시기, 꽃대 형성시기, 개화시기, 열매형성시기 그리고 열매성숙시기는 처리구가 대조구보다 6~20일 빨랐다. 결실율, 줄기당 열매수, 줄기당 열매무게, 줄기당 종자무게, 줄기당 종자수는 대조구가 처리구 보다 모두 높았다. 줄기당 꽃대수, 영양기관은 차이가 없었다. 이러한 결과는 지구온난화가 되면 섬자리공은 영양기관이 영향을 받지 않지만, 개엽, 개화, 성숙이 일찍 되고, 번식에 결정적인 요인인 열매 생산등은 감소하게 되어 결과적으로 식물번식에 부정적임을 의미한다.

핵심용어 : 한국특산식물, CO₂, 생태학적 반응, 지구온난화, 식물번식, 섬자리공

Abstract : The effects of elevated CO₂ and temperature on the phenological and reproductive characteristics of *Phytolacca insularis* were examined in ambient condition (control) and green house situation (treatment), 700 ~ 800 ppm CO₂ and 2℃ elevated temperature, from March 2010 to April 2011. Phenological responses such as foliation, inflorescence formation, flowering, fruit appearance, fruit maturing of *P. insularis* grown in the treatment were 6 ~ 20 day faster than in the control. The percent of fruit set, number of fruit and seed per shoots, weight of fruit and seed per shoots of *P. insularis* were higher in control than in the treatment. The number of inflorescence per shoots showed no difference between in the control and in the treatment. These results demonstrated that the reproductive response of *P. insularis* might be negatively influenced by increased CO₂ concentration and elevated temperature.

Keywords : Korea endemic plant, CO₂, Reproductive response, Global warming Plant propagation, *Phytolacca insularis*

1. 서 론

이산화탄소(CO₂)는 인위적으로 발생하는 가장

중요한 온실가스이다. CO₂의 전 지구적 대기 농도는 2009년 385ppm으로 산업화 이전 280ppm에 비해 38%증가 하였다(Hönlisch et al. 2009).

+ Corresponding author : youeco21@kongju.ac.kr

* 공주대학교 생물학과 Graduate School Dept. of Biology, Kongju National University, kongju, South Korea

** 공주대학교 생물학과 Graduate School Dept. of Biology, Kongju National University, kongju, South Korea

*** 공주대학교 생물학과 Graduate School Dept. of Biology, Kongju National University, kongju, South Korea

산업체의 연간 CO₂ 배출량은 1970년부터 2004년 동안 80% 증가하였다(IPCC 2007). 지구온난화는 동·식물 중 약 20~30%를 멸종시킬 가능성이 있어 생물다양성에 심각한 결과를 가져 오고, 생물이 적응할 수 없을 정도로 빠르게 진행되기 때문에 이동능력이나 적응력이 약한 생물과 생태계는 멸종하거나 크게 쇠퇴할 가능성이 높다(IPCC 2007, 이충호 2007).

2005년 발표된 기상연구소 자료에 의하면 한반도 기온과 강수량은 100년 뒤 서울이 현재의 서귀포 기온처럼 상승하고, 한반도의 2005년 CO₂ 평균농도인 389 ppm는 세계 평균 379 ppm보다도 10 ppm 더 높고 기온은 지난 100년간 1.5℃ 올랐다(환경부 2009). 이러한 상승률은 지구평균의 2배에 이른다. 이 같은 결과는 우리나라에서 지구온난화로 인해 한반도 자생식물에 크게 영향을 줄 것으로 판단된다.

일반적으로 CO₂농도와 온도의 증가는 식물계절의 변화를 촉진시킨다(김해란 2010). 30년 이상 유럽지역의 식물계절을 관찰한 자료를 분석한 결과, 개엽시기는 6일 앞당겨졌고, 낙엽시기는 4.8일 늦춰졌으며(Menzel and Fabian 1999), 우리나라의 경우 평균적으로 식물의 개화시기가 과거 60년 전보다 4~12일 빠르게 시작되고 있다(이승법 등 2003). 식물계절학이란 지구온난화의 중요한 지표가 되며, 생물계절학의 한 분야로서 발아, 개화, 만개, 낙엽 등의 기일을 관측해서 기상이나 기후 등과의 관계를 연구하는 학문으로 영향을 미치는 주요 인자는 온도와 수분이며, 지역적 규모 차원에서 주로 기온의 영향을 크게 받아 그 시기가 앞당겨지게 된다. 그러므로 식물계절은 기후변화와 전 지구적인 기온상승의 잠재적인 영향을 평가하는 데 중요한 지표로 인식되고 있다(Nordli et al. 2008).

본 연구에 사용한 섬자리공(*P. insularis*)은 자리공과에 속하는 다년초로 전 세계적으로 울릉도 일부지역에 제한적으로 자생하며, 개체수가 많지 않아 산림청에서 멸종위기 식물 55호로 지정함바 있다(백광수와 임양재 1982, Forestry

Researcher 1996).

섬자리공은 한국특산식물로 거담, 진해 작용이 뛰어나고, 인삼에서 볼 수 있는 saponin 성분인 뿌리에, 또한 그 잎에는 담배모자이크 바이러스에 항균작용을 하는 물질인 insularin이 다량으로 함유되어 있으며, 단량체 항바이러스 단백질이 바이러스성 병원체의 증식을 억제하는 작용을 한다고 보고되었다(Chrispeels and Raikhel 1991). 한방에서는 항균성 및 항바이러스성이 있다고 알려져 있으며, 이노제 및 각기, 악성 종창 등의 치료제로 사용된다(정보섭 1990). 일반적으로 약용작물, 천문동(*Asparagus cochinchinensis* L.)에서 영양 번식을 위해 번식방법, 재식밀도 및 질소소비량을 연구한 바 있으나(김대향 등 2010) CO₂농도와 온도 상승의 영향에 대한 연구결과를 찾아보기 어렵다.

따라서 본 연구는 지구온난화가 진행되면 한반도 특산식물인 섬자리공의 생태학적 변화가 어떻게 일어나는지 알아보기 위하여 개엽, 개화 및 결실의 시기적 변화와 꽃과 열매생산 등의 번식생태학적 변화를 관찰하였다.

2. 연구방법

2.1. 실험재료 및 기간

실험에 사용한 섬자리공(*Phytolacca insularis*)은 국내 울릉도 특산식물로 종자를 2007년 9월에 채집하여 4℃ 냉장 보관하다가 2008년 3월에 유리온실에서 사각화분(높이 10cm × 가로 40cm × 세로 10cm)에서 발아시킨 다음 1개월 후 대조구와 처리구에 각각 3개체씩 나누어 이식하였다. 이 때 각 개체는 잎이 2~3장 달린 것을 사용하였으며, 2009년에는 이식된 곳에서 1년간 재배하여 환경적응을 유도하였다. 그 후 3년째 되는 2010년에 3개체를 이용하여 본 실험을 실시하였다. 실험기간은 2010년 3월부터 2011년 4월까지 14개월 동안 유리온실에서 진행되었다. 섬자리공

을 선택한 이유는 한반도 특산식물로 앞으로 다가올 지구온난화로 인한 변화를 예측하여 멸종위기를 막아보고자 하는데 의미가 있다.

2.2. 실험방법

1) 환경요인구배

본 실험은 지구온난화의 핵심 요소인 CO₂농도와 온도상승에 따른 섬자리공의 식물계절 변화와 번식생태학적 반응을 알아보기 위하여 진행되었다. 실험은 CO₂농도와 온도를 조합하여 처리구와 대조구로 나누었다.

생육기(3~9월)와 비생육기(9월 이후)를 나누어 처리구(지구온난화조건)를 대조구 보다 CO₂농도(360ppm~370ppm)가 2배 정도 높은 700~800ppm로 유지하였고(Fig. 1), 온도는 연 평균 2℃ 높게(Fig. 2) 유지되도록 환풍장치를 사용하여 처리하였다. 우리나라의 경우 지난 97년간(1912~2009) 주요 6개 도시의 평균기온이 약 1.7℃상승하여 전지구의 평균기온상승(0.74℃)의

2배 이상으로 전 지구적인 추세를 상회하고 있다(기상청, 2009; IPCC, 2007) 따라서 본 연구에서는 2℃를 상승시켜 우리나라 특산식물인 섬자리공의 변화를 알아보고자 하였다.

대조구는 CO₂농도와 온도를 처리하지 않은 야외대기(ambient condition)와 같은 조건으로 하였다. 실험에 사용한 토양은 동일입자(1mm)의 모래이며, 광은 자연광, 수분은 3~4일 간격으로 같은 양을 공급하였다. CO₂농도는 LCI Ultra Compact Photosynthesis System(ADC, 2005, Hertfordshire, UK)으로 측정하였고, 온도는 데이터로거(TR-71U, 2007, T&D, Nagano, Japan)를 사용하여 1시간 간격으로 자동 측정하였다. CO₂농도의 유지는 Gas regulator로 조절하여 유지하였다.

유리온실은 외부와는 달리 공간의 제약을 받지 않으며 광주기와 토양환경을 그대로 활용하여 실제적인 반응보다 더 자세히 관찰할 수 있다는 장점이 있다.

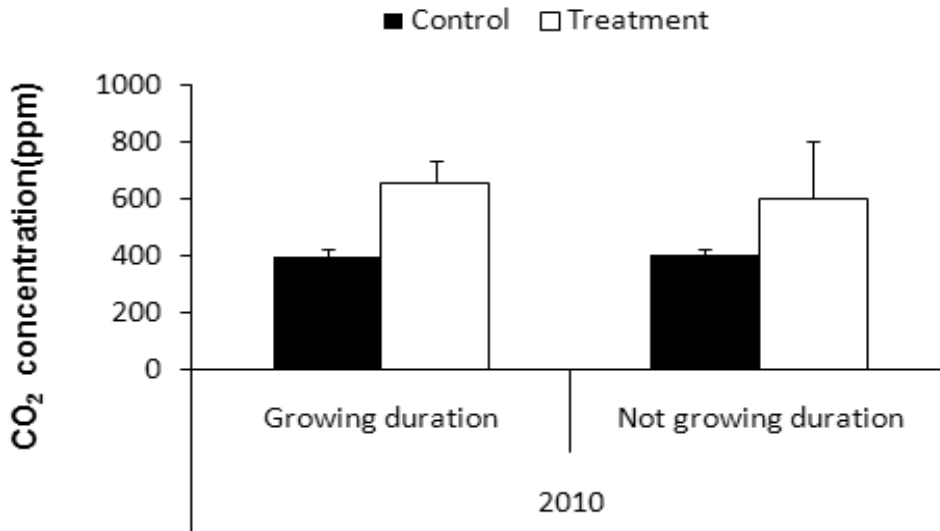


Fig. 1. Average CO₂ concentration(ppm) in environmental gradients(control and green houses treatment).

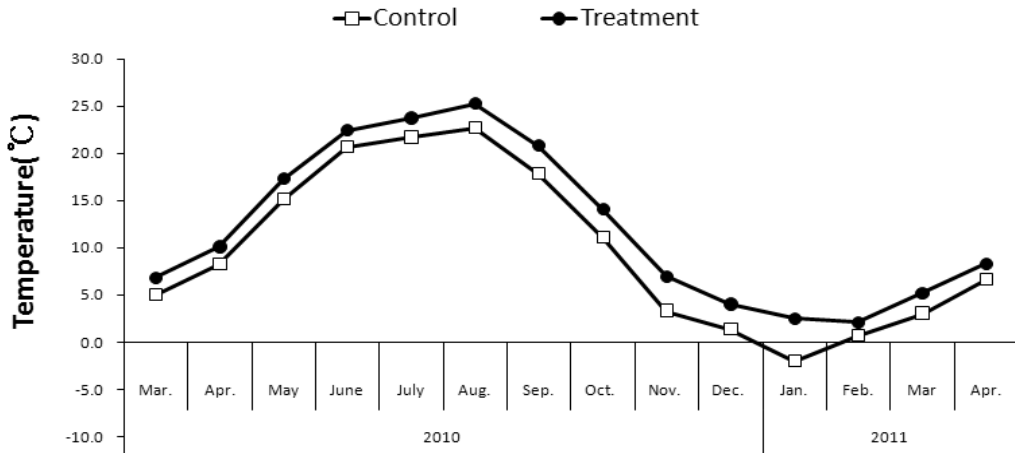


Fig. 2. Average temperature(°C) in environmental gradients (control ; ambient CO₂+ ambient temperature and green houses treatment ; elevated CO₂+ elevated temperature).

2) 수확 및 측정

식물계절은 1주일 간격으로 개엽시기(day), 꽃대형성(day), 개화시기(day), 열매 형성시기(day) 그리고 열매 성숙시기(day)를 관찰하였다. 그리고 잎, 줄기와 가지를 9월에 채취하여 자연 건조시켜 그 건조중량을 측정하였으며, 모든 열매가 붉은색으로 변하는 생육기 말인 9월에 결실율(%), 줄기당 꽃대수(ea), 줄기당 열매수(ea), 줄기당 종자수(ea), 줄기당 열매무게(g), 줄기당 종자무게(g)를 수확하여 측정하였다.

개엽시기는 잎이 보이는 때, 꽃대 형성시기는 꽃대가 보일 때, 개화시기는 꽃대에서 수술이 보이는 때, 열매 발달시기는 꽃이 지고 초록색 열매가 맺힐 때, 그리고 열매 성숙시기는 초록색 열매가 붉은색으로 변화하기 시작한 때로 각각 정하였다(Min, 1994).

결실율(%)은 열매 하나에서 과육을 벗겨 종자를 물에 담가 수면위로 올라오는 종자를 쪽정리로 간주하였으며(유영한 2008), 줄기당 꽃대수(ea), 줄기당 열매수(ea), 줄기당 종자수(ea), 줄기당 열매무게(g), 줄기당 종자무게(g)는 꽃대를 수확하여 생체무게를 측정하였다.

이러한 생태학적 측정은 건조중량을 제외하고 10반복하였으며, 무게는 전자저울(UX420H, 1987,

SHIMADZU, Suzhou, Japan)을 이용하여 측정하였다.

3) 통계처리

지구온난화 처리구와 대조구간의 생태학적 반응의 차이는 Statistica 통계패키지(Statsoft Co. 2006, Tulsa, USA)의 일원분산분석(One-way ANOVA)으로 분석하였다(노형진과 정한열 2002).

3. 결 과

3.1. 식물계절학적 반응

식물계절학은 모든 측정항목에서 처리구가 대조구보다 빠르게 진행되었다(Fig. 3). 개엽시기는 처리구(2월 21일)가 대조구(3월 7일)보다 16일 빨랐고, 꽃대 형성시기는 처리구(4월 1일)가, 대조구(4월 20일)보다 19일 빨랐다. 개화시기는 처리구(4월 26일)가 대조구(5월 11일)보다 16일 빨랐고, 열매형성시기는 처리구(5월 11일)가 대조구(5월 31일)보다 20일 빨랐다. 열매성숙시기는 처리구(6월 21일)가 대조구(6월 27일)보다 6일 빨랐다. 측정항목들의 평균값을 종합해 보면 처리구가 대조구에 비해 15.4일이 빨랐다. 결과(Figure 3)를 보면 기온상승과 더불어 식물계절현상이 빨라졌다.

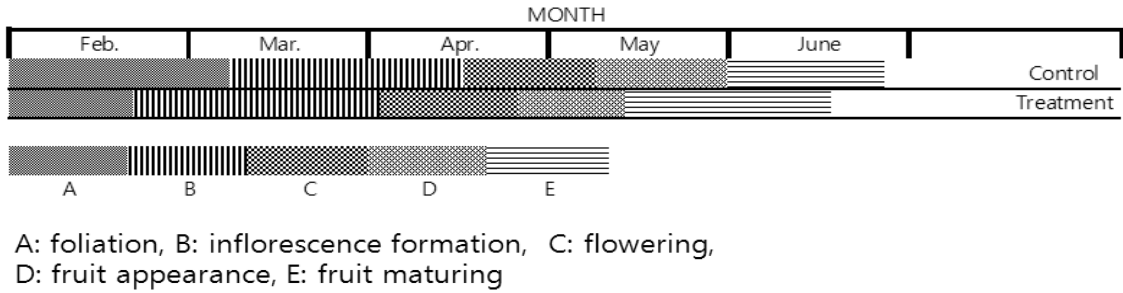


Fig. 3. Phenological spectrum of *P. insularis* under two environmental gradients(Control : ambient CO₂-ambient temperature, Treatment : elevated CO₂-elevated temperature).

3.2. 번식생태학적 반응

섬자리공의 줄기당 꽃대수에서는 대조구와 처리구간의 차이가 없었으나 결실율, 줄기당 열매수, 줄기당 열매무게, 줄기당 종자수, 줄기당 종자무게는 대조구가 처리구에 비해 높았다(Fig. 4).

생육반응에서 결실율은 대조구가 98.78 ± 0.87 인데 비해 처리구가 89.27 ± 1.24 로 9.5% 낮았다(Fig. 4-A). 줄기당 열매수는 대조구가 613개 로 처리구의 275.66개 보다 338개 적었다(Fig.

4-B). 줄기당 꽃대수는 대조구가 6.66 ± 3.51 개에 비해 처리구가 5.66 ± 3.21 개 보다 1개 적었지만, 통계적으로 차이는 없었다(Fig. 4-C). 줄기당 종자수는 대조구가 4904 ± 1940.60 개로 처리구의 2205.33 ± 1545.66 개 보다 2699개 적었다(Fig. 4-D). 줄기당 열매무게는 대조구가 260.37 ± 101.48 g에 비해 처리구가 91.39 ± 53.46 g으로 169g낮았다(Fig. 4-E). 줄기당 종자무게는 대조구가 32.41 ± 26.89 g에 비해 처리구가 13.82 ± 11.49 g으로 19g 적었다(Fig. 4-F).

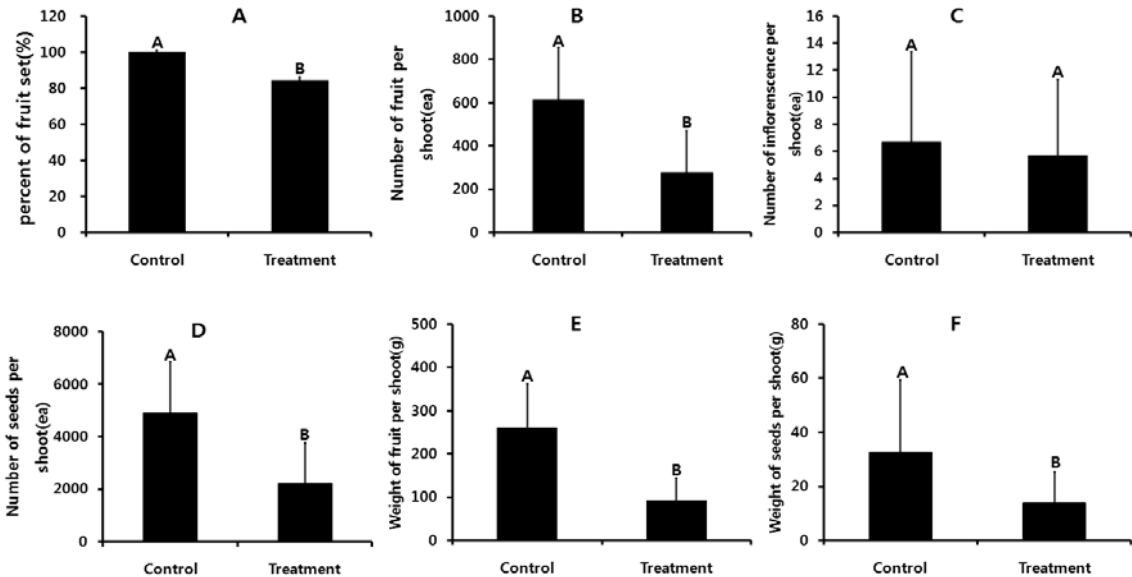


Fig. 4. Reproductive response of *P. insularis* between in the ambient condition(control) and elevated CO₂ and temperature condition (treatment). Alphabets on the bars mean significantly different between control and treatments(Fisher's least significant difference, $p<0.05$).

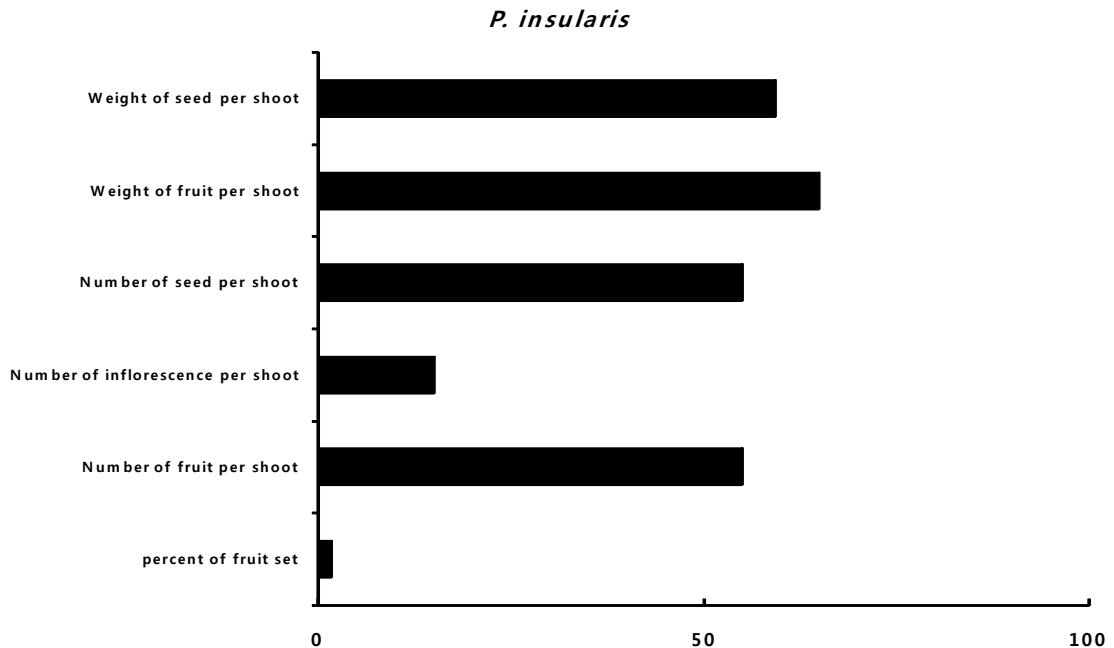


Fig. 5. Variable percentage of measured ecological characteristics of *P. insularis* under elevated CO₂ and temperature condition (treatment) compared with ambient condition(control).

4. 논 의

결과(Fig. 3)를 보면 기온상승과 더불어 식물 계절현상이 빨라진다는 다른 연구 결과와 일치하였는데, 드림불꽃(*Phlox drummondii*)과 독말풀(*Datura stramonium*)이 대조구보다 높은 온도처리구에서 개화시기가 더 빨라진 결과와 일치하였으며(Garbutt and Bazzaz 1984), 김준호와 류병태(1985)와 이승호와 이경미(2003)도 온도의 상승으로 기온이 높아지면 개엽 및 개화가 빨라진다는 결과를 보고하였다. 또한 온도의 상승으로 2007년 대비 2008년의 개벚나무의 개화가 2주 빨랐으며, 기온상승이 식물계절에 민감한 반응을 보여준다는 내용과 일치하였다(우효진 2009). 다른 결과로는 현재 한반도의 기온이 약 2℃만 올라가도 현재 재배하고 있는 사과 및 기타 작물들의 주산지가 변화될 것이라는 결과도 있다(곽태식 등 2008). 그러나 단기간 동안 CO₂ 농도를 증가시켜

준 나팔꽃(*Pharbitis nil*)과 도꼬마리(*Xanthium pennsylvanicum*)는 개화가 억제되었다는 결과와는 반대였다(Purohit and Tregunna 1974).

이와 같이 온도가 상승하면 식물계절현상이 빨라지며, 위와 같은 식물계절의 변화는 식물의 생장에 큰 영향을 미칠 수 있는데, 그 이유는 토양의 수분과 영양분을 흡수하는 뿌리와 광합성을 하는 잎의 발달 시기와 기간에 변화가 일어나 식물의 균형 감각이 깨지기 때문이다(Nord and Lynch 2009). 이러한 온도에 따른 식물계절 현상의 다양한 반응은 종 특이적이며, 결론적으로 섬자리공은 온도가 상승되면 생식생장시기가 빨라진다고 할 수 있다.

섬자리공의 번식생태학적 반응의 결과는(Fig. 4) 어저귀(*Abutilon theophrasti*)의 CO₂ 농도가 증가할수록 종자의 생산량이 감소 한다는 결과(Garbutt and Bazzaz 1984)와 미국자리공(*Phytolacca americana*)의 열매 생산에 부정적인 영향을 끼친다는 결과와 일치하였다(김해란

2010). 또한 주남벼(*Oryza sativa* L.cv. Junam)가 CO₂농도와 온도의 증가로 열매수 및 이삭수에 부정적인 영향을 보였다는 결과와도 일치하였다(Kim and You 2010). 이는 CO₂ 농도와 온도가 상승하면 생식생장보다는 영양생장에 투자하는 것으로 판단된다. 현재 CO₂ 농도와 온도에 대한 단일 종을 대상으로 식물계절과 번식생태학적 반응에 대한 논문은 찾기 힘들다. 따라서 다양한 종을 가지고 실험을 할 필요가 있을 것으로 판단된다.

모든 항목이 대조구가 처리구보다 더 잘자랐으며, 50%이상 크게 증가한 특성은 줄기당 열매무게, 줄기당 종자무게, 줄기당 종자수 그리고 줄기당 열매수이다. 그에 비해 줄기당 꽃대수는 15%, 결실율은 1.7%로 증가율이 상대적으로 적었다(Fig. 5). 이와 같이 지구온난화 조건이 되면 식물 번식에 부정적인 영향이 있으며, 이강수와 최선영(2002)는 헛개나무(*Hovenia dulcis*)에서 이강수와 최선영(2001)는 야콘(*Polymnia sonchifolia*)에서 그 결과를 보고하였다.

본 실험의 설계는 지구온난화의 주요한 원인이 온실가스(CO₂농도)이고, 온도는 CO₂농도에 의존하여 필수적으로 상승한다는 가정(IPCC, 2007)한다는 시나리오 하에 진행된 실험이며, 이를 고려해 볼 때 CO₂농도와 온도의 반응을 명확히 알기 위해서는 보다 다양한 환경구배의 실험이 필요할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 볼 때 CO₂농도와 온도가 증가되면 섬자리공은 번식생태학적으로 부정적인 반응이 예상된다.

감사의 글

본 논문은 2010년 교육과학기술부의 지역거점사업/에너지자립형 그린빌리지 핵심기술 사업단(과제번호 2010-50300)과 2011년 국가장기생태연구사업(과제번호 2011-0234)에 지원을 받아 수행되었음에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 기상청. 2009. 기후변화 보고서. 기상청. 45p.
- 곽태식, 기정훈, 김영은, 전해민, 김시진. 2008. 지구 온난화에 따른 국내 과수작물 재배지의 변화에 대한 GIS 예측 모형 연구. 한국공간정보시스템학회. 10(1):93-106.
- 김대향, 박춘봉, 김종엽. 2010. 번식방법, 재식밀도, 질소시비량 및 재배년수가 천문동의 생육과 수량에 미치는 영향. 한국약용작물학회. 18(1):93-97.
- 김준호, 류병태. 1985. 관악산의 고도에 따른 진달래와 철쭉꽃의 개화와 개엽시기. 한국생태학회지. 8:53-59.
- 김해란. 2010. 지구온난화에 따른 희귀식물 섬자리공과 귀화식물 미국자리공의 생태학적 반응. 공주대학교 석사학위논문. 23-30p.
- 노형진. 정한열. 2002. STATISTICA에 의한 알기 쉬운 통계분석. 형설출판사. 628p.
- 민병미. 1994. 수종 목본식물의 개엽 특성에 관한 연구. 한국생태학회지. 17:37-47.
- 백광수, 임양재. 1982. 한반도 주변도서의 관속식물 분포에 관한 연구. 한국생태학회. 5(4):1-5.
- 안영희, 이상현. 2003. 울릉도의 섬자리공 분포와 자생지의 생태적 특성. 한국생약학회지. 38(1):1-9.
- 우원식, 지형준, 강삼식. 1976. 상륙성분에 관한 연구(자리공, 양자리공, 섬자리공 성분비교). 한국생약학회. 7(1):51-54.
- 우효진. 2009. 수 종의 온대낙엽수의 식물계절학. 청주대학교 석사학위논문. 23-41p.
- 유영한. 2008. 한강하구 습지보호지역에서 새섬마자기 개체군의 쇠퇴 원인과 복원 방안. 한국습지학회. 10(2):165-172.
- 이강수, 최선영. 2001. 광도, 온도 및 CO₂의 농도가 야콘의 광합성에 미치는 영향. 한국약용작물학회. 9(2):232-237.
- 이강수, 최선영. 2002. 광도, 온도 및 CO₂의 농도가 헛개나무의 광합성에 미치는 영향. 한국약용작물학회. 10(1):1-4.

- 이승범, 신경섭, 조영순, 손승희. 2003. 식물계절에 나타난 한반도 기후변화 영향. 한국기상학회. 13(4):468-471.
- 이승호, 이경미. 2003. 기온변화에 따른 벚꽃 개화 시기의 변화 경향. 환경영향평가. 12(1):85-99.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사. 990p.ea)
- 이철호. 1992. 섬자리공 잎에서 분리한 항바이러스 단백질의 분자생물학적 특성 규명. 서울대학교 석사학위논문. 23-28p.
- 이충호. 2007. 지구온난화 이야기. 지식의풍경. 286p.
- 임양재, 임문교, 심재국. 1983. 한국의 온도기후와 생물의 계절변화. 한국식물학회지. 26:101-117.
- 정보섭. 1990. 향약대사전. 영림사. 351-352p.
- 정중규, 김해란, 유영한. 2010. 지구온난화에 따른 상수리나무와 굴참나무의 생육반응에 관한 연구. 한국환경생태학회지. 24(6):648-656.
- 조원길, 안태원. 2008. 미기후 변화에 따른 식물계절 차이. 한국환경생태학회. 22(3):221-229.
- 채승희, 소순구, 한경숙, 김무열, 박상홍, 이중구. 2007. 섬자리공의 분류학적 재검토. 한국식물분류학회. 37(4):431-446
- 환경부. 2009. 환경백서. 환경부. 65p.
- Ahn Y.H, Chung K.H, Park D.A. 2001. Ecological characteristics and distribution of plant resources of *Pyrus* and *Malus* sp. in Jindong vally, Gangwon province. Journal of Plant Resources 4(1):130-139.
- Purohit AN, Tregunna EB. 1974. Effects of carbon dioxide on Pharbitis, Xanthium, and Silene in short days. Canadian Journal of Botany. 52(6): 1283-1291.
- Bernacchi CJ, Coleman JS, Bazzaz FA, McConnaughay KD. 2000. Biomass allocation in old-field annual species grown in elevated CO₂ environments no evidence for optimal partitioning. Global Change Biology. 6(8):855-863.
- Cave G, Tolley LC, Strain BR. 1981. Effect of carbon dioxide enrichment on chlorophyll content, starch content and starch grain structure in trifolium subterraneum leaves. Physiologia Plantarum. 51(2):171-174.
- Chrispeels MJ, Raikheland NV. 1991. Lectins, lectin genes and their role in plant defense. Plant Cell 3(1):1-9.
- Forestry Researcher. 1996. Rare and endangered plants - conservation guidelines and the plants. Korea Forest Service. 71pp.
- Garbutt K, and Bazzaz FA. 1984. The effect of elevated CO₂ on plants. III. Flower, fruit and seed production and abortion. New Phytologist. 98(4):433-446.
- Hönisch B, Hemming NG, Archer D, Siddall M, McManus J.F. 2009. Atmospheric carbon dioxide concentration across the Mid Pleistocene transition. Science. 324(5934): 1551.
- 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. Univ. of Cambridge, New york, USA., 815pp.
- Kim HR, You YH. 2010. The effects of the elevated CO₂ concentration and increased temperature on growth, yield and physiological responses of rice(*Oryza sativa* L. cv. Junam). Advances in Bioresearch. 1(2):46-50.
- Menzel A, Fabian P. 1999. Growing season extended in Europe. Nature 39: 659.
- Nord EA, Lynch JP. 2009. Plant phenology : a critical controller of soil resource acquisition. Journal of Experimental Botany. 60(10): 1927-1937.
- Nordli Ø, Wielgolaski FE, Bakken AK, Hjeltnes SH, Mage F, Sivle A, Skre O.

2008. Regional trends for bud burst and flowering of woody plants in Norway as related to climate change, *International Journal of Biometeorology*, 52(6):625-639.
- Onoda Y, Hirose T, Hikosaka K. 2009. Does leaf photosynthesis adapt to CO₂-enriched environments? An experiment on plants originating from three natural CO₂ springs. *New Phytologist*. 182(6):698-709.
- Rogers HH, Runion GB. 1994. Plant response to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere. *Environmental Pollution*. 83(1):155-189.
- 논문접수일 : 2011년 10월 12일
○ 심사의뢰일 : 2011년 10월 13일
○ 심사완료일 : 2012년 01월 20일