

지구온난화와 초본식물의 성장과 분포변화

이재석(건국대학교 생명과학과, jaeseok@konkuk.ac.kr)

1. 서론

대기의 CO₂와 온도증가는 광합성과 증산이라는 식물의 기본적인 생리기작을 통해 식물의 성장에 크게 영향을 미치는 것으로 예측되고 있고, 그러한 영향의 정도는 종에 따라 다르고, 그 과정에서 많은 종이나 생태계가 멸종되거나 소멸될 것으로 예측하고 있다. 이러한 이유에서 온난화가 현존식생에 어떤 영향을 미칠 것인가를 예측하기 위해 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 그중, 서로 다른 광합성경로에 의해 CO₂와 온도에 대한 반응에 의해 특이한 지리적 분포를 나타내고 있는 C3식물과 C4식물의 장래에 대한 움직임에 크게 주목되고 있다. C3식물과 C4식물의 지리적 분포에 관한 지금까지의 연구를 요약하면 "온난화에 의한 기온상승은 C4식물에 유리하고, C3식물에 불리하다는 온도 의존설과, 반대로 CO₂농도 증가는 C3식물에 유리하지만 C4식물에 불리하므로 C3식물이 우점할 것이라는 CO₂농도 의존설로 나누어 진다. 하지만, 현재, 지구온난화는 C3식물에 유리한 CO₂농도증가와 C4식물에 유리한 온도상승이 동시에 진행되고 있기 때문에, 두 종류의 지리적 분포의 변화가 어떻게 될지에 대한 예측이 어려운 상황이다.

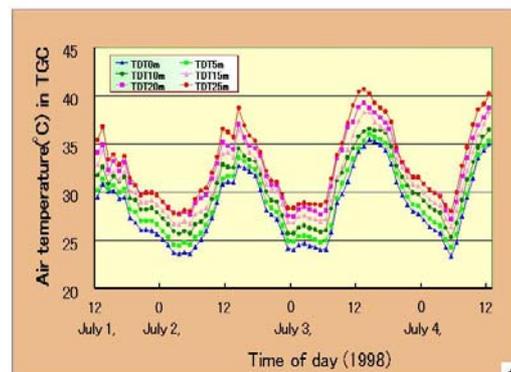
본 연구는 지금까지의 온난화시설보다 보다 자연적인 기상리듬하의 현실적인 온난화 환경이 조성 가능한 새로운 온난화시설을 개발하고, 그를 이용하여 온난화가 C3식물과 C4식물의 지리적 분포에 어떠한 영향을 미칠 것인가에 대한 예측을 위해 개체군 수준의 성장실험을 실시하였다.

2. 연구방법

본 연구를 위해 개발된 두 온실은, 현재의 기온부터 100년 후의 온난화된 기후로 예상되는 기온까지 연속적인 온난화 환경이 조성 가능한 온도 구배형(TGC; temperature gradient chamber) 온실과, 온도증가에 함께 현재의 CO₂농도보다 2배의 농도까지 구배가 가능한 CO₂-온도 구배형 온실(CTGC; CO₂-temperature gradient chamber)로, 두 온실 모두 폭 3m, 길이 30m, 높이 2.5m의 일반 농가에서 사용하는 비닐하우스를 이용한 것이다.

먼저, 온도상승환경을 조성하기 위해, 온실의 한쪽 면에는 컴퓨터제어가 가능한 환풍기가 설치되어 있고, 이 환풍기로 입구에서 출구

Diurnal change of air temperature (TGC)



로의 공기흐름을 만든다. 일사가 있는 주간, 온실내를 흘러가는 공기는 일사에 의해 가열되어 출구 쪽에 이를수록 고온이 된다. 이때 입구에서 5m 간격으로 1℃씩 상승하여 25m지점에서 출구와의 온도차가 항상 5℃를 유지하도록 환기량을 자동 조정한다. 한편, CTGC는 CO2농도제어 시스템을 빼고는TGC와 동일한 형태이며, CO2제어시스템은 온실내의 CO2농도를 측정하는 CO2농도 측정부, 측정치를 비교하여 공급량을 계산하는 비교 제어부, 제어치에 따라 온실 내에 실제로CO2가스를 분사하는 조작부로 구성되어 있고, 이러한 시스템은 10초 간격으로 새로운 계산제어가 이루어진다.

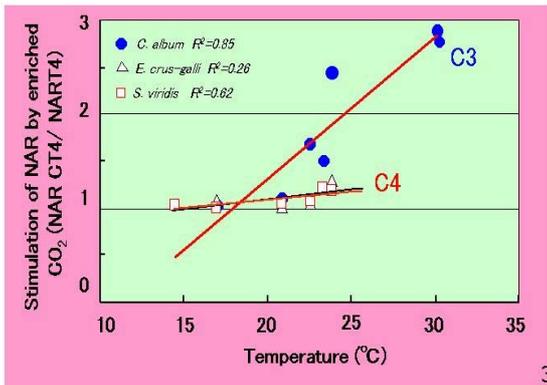
이러한 제어에 의해, 두 시설은 시스템은 오전부터 정오까지의 온도증가와, 오후부터 저녁까지의 온도저하라고 하는 기온의 자연 일주기변화가 잘 반영된 온난화조건 조성과 현재부터 100년 후까지의 연속적인 CO2농도구배 환경이 조성되었다. 이러한 시설을 이용하여 외기 온도와 외기CO2농도의 Cont구, 온도만 2℃ 높은 T2구, 4℃높은 T4구, 온도가 2℃, CO2농도가 1.4배 높은 CT2구, 4℃높고 CO2가 1.8배 높은 CT4구의 5개실험구를 설정하였다. 실험재료는 종조성표를 참고하여, C3식물로서 명아주, C4식물로서 개피와 강아지풀로 3종을 선택하였으며, 이러한 종들은 한국 및 일본 등에서 2차천이 초기에 우점하는 1년생 잡초로, 생육지 및 생육시기가 거의 동일하기 때문에 자원과 공간확보를 위한 경쟁이 치열한 종이다. 가로 44cm, 세로 66cm, 높이 25cm로 약 60L의 화분을 한 종에 대해 6개, 처리구당 18개, 총 90개를 각 처리구에 배치한 후 실험 당년 1월초 종자를 파종한 후, 전 생육기간에 걸쳐 식물계절, 성장속도, 종자생산량, 건물생산량 등을 조사였다.

3. 결과

식물계절

기온상승은 식물의 출아기와 개화기의 식물계절에 크게 영향을 미쳤지만, CO2 농도 증가의 영향은 없었다. 또한 종에 따라 그 정도도 다르게 나타났다. C3식물인 명아주의 출아기는 2℃ 상승에 의해 18일, 4℃ 상승에 의해 25일, 개피와 강아지풀은 2℃상승에 의해 34일과 26일, 4℃ 상승에 의해 47일과 35일 빨라졌다. 개화기 또한 비슷한 경향을 보였다. 명아주는 Cont구에 비해 2℃ 상승구에서 약 32일, 4℃ 상승구에서 약50일 빠르게 개화하였지만, 개피와 강아지풀은 Cont구에 비해 2℃ 상승구에서 약 27일과 16일, 4℃ 상승구에서 약 40일과 31일 빠르게 개화하였다.

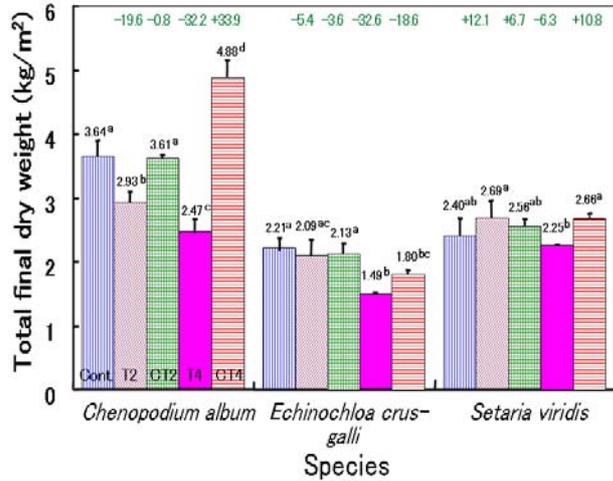
Stimulation of NAR by enriched CO₂ (NAR_{CT4}/NAR_{T4})



성장형태

C3식물의 명아주의 경우, 성장초기는 온도만의 증가구와 CO2가 동시에 증가한 처리구 사이에서 성장속도의 차는 보이지 않았지만, 하계로 접어들어 고온기에 접어들 수록 T2와

T4현저한 차이를 나타냈다. 그에 비해 CO2증가구인 CT2와 CT4에서는 고온기의 급격한 감소는 크게 완화된 형태를 보였다. 이와 같은 성장에 대해 기온과 CO2농도 증가가 어느정도 성장에 영향을 미쳤는가를 알아보기 위해 순동화 속도를 계산하였다. C3식물의 경우, 온도가 높아질수록 CO2의 시비효과는 촉진되는 경향을 보였다. 즉, 기온이 낮은 성장 초기보다는 기온이 높은 성장후기에 CO2시비효과가 크다는 것을 나타내고 있다. 한편, C4식물의 경우 높은 온도에서 약간 증가하는 경향을 보이지만, C3식물에 비하면 그 정도는 아주 적은 것을 알 수 있다.



건물생산량

명아주의 단위면적당 건물 생산량은 Cont구와 비교하여 T2구에서 20%, T4구에서 32% 감소하였는데 반해, CO2를 공급한 CT2구에서는 유의차가 없었지만, CT4구에서는 34% 증가하였다. 동일한 온도상승구의 CT2구는 T2구보다 23%, CT4구는 T4구보다 98% 높았다. 한편, 강아지풀의 경우, 전 처리구에서 유의차가 없었고, 개피의 경우, T4구에서 33% 감소, CT4구에서도 19% 감소하여, CO2시비효과 낮은 것을 보여주었다. C4식물에 유리한 온도 증가 조건임에도 불구하고 건물 생산량이 감소한 것은, 온도증가에 의해 빨라진 식물계절에 의해 영양성장 기간에 경험한 온도가 실제로는 더 낮았던 것이 원인으로 사료된다.

종자생산량: 명아주의 종자 생산량은 Cont구에 비해 T2구에서 30%、T4구에서 15% 감소하였지만, CT2구에서는 16%、CT4구에서는 114%나 증가하였다. C4식물인 개피와 강아지풀의 종자 생산량의 경우도 온도만의 증가는 감소를 유발하였지만, CO2시비구에서는 증가하는 결과를 보였다. 하지만 C3식물에 비해서는 낮은 것이었다.

연구결과의 정리

1. 본 연구에서 개발된 TGC와 CTGC는 자연기상리듬에 맞춘 현실적인 온난화 실험에 적합함이 입증되었고,
2. C3식물과 C4식물 개체군의 성장실험결과 기온상승은 식물계절에 크게 영향을 주며, 2℃상승으로 약 25일, 4℃ 상승으로 50일 정도 생육개시 시기가 빨라질 것으로 예상된다. 또한, CO2농도증가의 영향은 미미한 것으로 나타났다.
3. 건물생산량 및 종자생산량에 대한 CO2시비효과의 경우, C3식물이 C4식물에 월등히 크게 나타났고, C3식물의 CO2시비효과는 지금까지 성장에 불리한 고온기에 보다 높았다.
4. 이상의 결과로 부터, CO2농도 증가를 동반한 현실적인 온난화는, 현재 분포중심이 중고위도 및 저온기에 한정되어 있는 C3식물이 저위도 및 고온기에 대해서도 서서히 우점도가 증가할 것으로 예측된다.