

3온도 수준에서의 CO₂ 농도 증가에 따른 피망의 생육 반응*

윤 성 탁**

Growth and Development Response of Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) to CO₂ Enrichment under Three Different Temperature Regimes

Yoon, Seong-Tak

Predicting plant responses to changing atmospheric CO₂ and to the possibility of global warming are important concerns. The CO₂ concentration of the global atmosphere has increased during the last decades. This increase is expected to result in changes of global temperatures and this will also affect the growth and development of bell pepper (*Capsicum annum* L.) and other crops. The objective of this study was to evaluate the effects of atmospheric CO₂ enrichment and high temperature on the growth and development of bell pepper under three temperature regimes. There was no statistical difference in the days required from seeding to flowering between CO₂ treatments, whereas among three temperature regimes, high temperature plots of 35/25°C showed the shortest days (52.5 days) required from seeding to flowering. The plant height of bell peppers 15 weeks after emergence showed no statistical significance, while plots of 30/20°C showed the highest plant height among the three temperature regimes. Time-course response of plant height to CO₂ enrichment was restrained in high CO₂ concentration (800ppm), at the same time higher temperature promoted plant height. Average leaf area per plant of 400ppm was 6,008.8cm² and it was 5,225.1cm² in the plots of 800ppm, showing 15% more leaf area compared to 400ppm CO₂ concentration. Leaf dry weight between CO₂ concentration and among temperature regimes showed a statistical significance. The average leaf dry weight in the plot of 800ppm showed the highest (44.1g), which was 18.5% higher compared to that of 400ppm (37.2g) and among temperature regimes, it was the highest (49.8g) in the plot of 35/25°C. Above-ground dry weight showed statistical significance between CO₂ concentra-

* 이 연구는 2005학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

** 대표저자, 단국대학교 생명자원과학대학

tion and among temperature regimes. The average above-ground dry weight of 800ppm CO₂ concentration was 141.4g, 17.9% higher compared to 400ppm CO₂ concentration (119.9g). Among three temperature regimes, plots of 30/20°C showed the highest average above-ground dry weight (168.9g), while plots of 35/25°C were the lowest (102.3g). In the average bell pepper dry weight, 800ppm of CO₂ concentration showed higher bell pepper dry weight (59.5g) than that (44.3g) of 400ppm of CO₂ concentration. It was judged that high CO₂ concentration was profitable for bell pepper yield and there was a tendency that when there was high CO₂ concentration (800ppm), low temperature (25/15°C) was profitable for bell pepper dry weight, whereas it was the reverse (30/20°C), in the case of ambient CO₂ concentration (400ppm). In the specific leaf area according to CO₂ concentration, 800ppm showed 117.4, which was 35.5% higher compared to that (159.1) of 400ppm, showing that leaf becomes thicker as CO₂ concentration increases. Regarding correlation coefficients among crop characteristics, leaf area was negatively correlated with the number of bell peppers per plant and bell pepper dry weight, showing that the higher the leaf area, the lower the bell pepper yield. Bell pepper dry weight per plant showed positively significant correlation with the number of bell peppers per plant and total above dry weight, which showed that the higher the number of bell peppers and the total above dry weight, the higher the bell pepper yield.

Key words : *growth chamber, global climate change, growth analysis, Gossypium hirsutum L. CO₂ enrichment, global warming*

I. 서 론

대기 중 CO₂ 농도는 특히 화석연료 에너지 소비의 증가로 인하여 지난 수십 년 사이에 증가하였다. 산업혁명 이후 오늘날까지 대기 중 CO₂ 농도는 280ppm에서 약 365ppm까지 증가해 왔으며, 현재에도 매년 약 1.8ppm씩 계속해서 증가하고 있다(Keeling과 Whorf, 2000; Etheridge 등, 1996; Mendelsohn과 Rosenberg, 1994). 또한 21세기 말에는 대기 중 CO₂ 농도는 600ppm에서 1000ppm까지 증가할 것으로 예측되고 있다(Cox 등, 2000). 몇몇 학자들은 20세기의 기후기록 하나를 기준으로 21세기 말의 기후변화를 설명하는 것은 어려운 일이며, 이에 더하여 태양흑점의 변화, 화산폭발, 엘니뇨현상과 함께 설명해야 한다고 주장하고 있다. 그러나 인간 활동에 의한 온실가스의 다량 배출은 20세기의 지구온도 상승의 주요 원인이며(USGRP, 2000), 대기 중 CO₂ 농도의 증가와 관련된 기후변화는 세계적으로 농학자들에게 있어서 주요 관심사가 아닐 수 없다.

Houghton 등(1996)은 21세기말 경에는 작물은 현재보다 대기 중 CO₂ 농도는 2배, 기온은 2~5°C 높은 환경에서 생육할 것으로 예측하고 있다. 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)는 2100년이 되면 GISS, UKMO, OSU 및 GFDL-R30과 같은 일반순환모델(GCM, General

Circulation Models)에 기초한 지표면의 기온상승을 추정하면 1~3.5°C 상승할 것으로 예측하고 있다(IPCC, 2001). 이와 같이 대기 중 CO₂ 농도의 증가와 기온의 상승은 작물의 생육에는 물론 궁극적으로는 작물의 수량과 인류의 식량생산에 중대한 영향을 줄 것으로 예측하고 있다(Cox 등, 2000; Hansen 등, 2000). 고광도 하에서 작물은 대기로부터 기공으로의 CO₂ 확산률은 CO₂ 동화에 주요 제한요인이 된다. 확산률이 대기 중 CO₂ 농도와 정비례적인 관계에 있다면 대기 중 CO₂ 농도의 증가는 순광합성률을 일반적으로 촉진시키게 될 것이며 (Amthor, 1995; Allen 등, 1987; Cure와 Acock, 1986), 또한 식물체의 증산량을 감소시키게 된다(Allen과 Amthor, 1995; Allen, 1990). Long(1991)은 대기 중 CO₂ 농도 증가는 부분적으로 카르복시화 증가와 광호흡을 감소시킴으로써 순광합성률을 촉진시키며, 탄수화물과 물이용 효율을 증대시키게 된다고 하였다(Pritchard 등, 1999). 그러나 이러한 긍정적인 연구결과에도 불구하고 식물 생육에 대한 온도 및 CO₂ 농도 증가의 상호작용에는 많은 의문점이 제기되고 있다. 왜냐하면 Newman 등(2001)과 Baker 등(1989)은 온도가 높을수록 식물생육에 대한 CO₂ 농도 증가효과가 컸다고 보고한 반면, 다른 연구결과는 CO₂ 농도의 영향은 고온 조건보다는 정상적인 온도조건하에서 그 효과가 컸다는 보고도 있다(Tremmel과 Patterson, 1993; Coleman과 Bazzaz, 1992).

따라서 본 연구는 CO₂ 농도 증대와 고온조건이 피망의 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하여 향후 지구온난화에 따른 작물분야에서의 대응방안 마련을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 공시품종 및 생육환경

본 실험은 미국 조지아 주립대학의 농업환경과학대학의 그리핀(Griffin) 캠퍼스의 인공기상실에서 수행하였다. 인공기상실의 성장상은 면적 8.64m², 높이 2.2m의 크기이며, 6개의 대형 성장상(model CG72)에서 실시하였다. 각각의 성장상은 CMP4030 touch screen과 컴퓨터시스템에 의하여 내부 환경조건을 조절하였다. 조명은 20개의 고압 나트륨램프와 20개의 할로젠램프를 이용하여 조사하였으며, 최대 광도는 850 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이었다. 온도는 4.0 \pm 0.5 ~ 40 \pm 0.5°C 범위로 조절 가능하였으며, CO₂는 공급시스템을 통하여 자동적으로 설정된 농도가 유지되도록 공급하였다. 각 성장상의 CO₂ 농도는 LICOR 적외선 가스분석기(LI-800 GasHound CO₂ Analyzer, LI-COR, NE, USA)를 이용하여 모니터링하였다.

본 시험에 이용된 피망 품종은 STPIC2 Hybrid pepper BATCH# 711715 CAMELOT (Seminis Vegetable Seeds)로 2003년 3월 6일 파종하였다. 처리는 CO₂ 농도 2 수준(400ppm과

800ppm), 온도 주/야 3 수준(35/25°C, 30/20°C, 25/15°C)으로 조합처리 하였으며, 광주기는 13/11(주/야)시간으로 고정하였다. CO₂ 및 온도에 대한 반응 분석을 위한 표본채취는 전 생육기간에 걸쳐 8회 수행하였다. 피망 식물체는 플라스틱 포트에 3개 종자를 파종하여 발아 후 한주만 남기고 나머지는 솎아서 제거하였다. 시험구 배치는 완전임의 배치 4반복으로 하였다. 성장상의 광도는 전 생육기간 동안 작물 캐노피 수준에서 753.7 mol m⁻² s⁻¹로 하였으며, 각 성장상에 32개의 포트를 정치하였다. 각 성장상의 포트는 주연효과를 최소화하기 위하여 2주에 한번 씩 위치를 돌려놓았다. 각 포트당 생육조건을 동일하게 하기 위하여 배지는 잘 씻은 고운 모래를 채워 이용하였으며, 포트당 무게는 24kg으로 하였다. 피망의 전 생육기간동안 매일 또는 이틀에 한번 씩 수분조건에 따라 Hoagland 용액(Downs와 Hellmers, 1975)을 2배로 희석하여 관수해 주어 물 부족을 겪지 않도록 하였다.

2. 식물체 조사

성장분석을 위한 식물체 표본채취는 2주마다 4개 포트를 무작위로 선정하여 초장, 엽수, 지상부 및 지하부 건물중을 측정하였다. 식물체 분리는 각 포트당 식물체를 지표면에서 절단하여 측정하였으며, 엽면적은 엽면적 측정기(LI 3000, LI-COR, NE, USA)를 이용하여 측정하였다. 건물중은 65°C의 건조기에 72시간 건조하여 측정하였으며, 지상부 건물중은 지상부 전체 무게의 총합으로 하였다. 생육 및 수량특성 조사는 출현 후 15주에 표본을 채취하여 측정하였다.

비엽면적, 엽면적 비율, 엽중률은 각각 엽면적/엽건물중(cm² g⁻¹), 엽면적/지상부건물중(cm² g⁻¹), 그리고 엽건물중/총지상부건물중(g g⁻¹)으로 계산하였다. 뿌리 건물중은 포트로부터 꺼내어 잘 씻은 다음 상기와 같이 건조기를 통하여 건조시켜 무게를 측정하였다. 지하부/지상부율은 지하부/지상부 건물중으로 계산하였다. 기타 통계분석 및 그림은 SAS(버전 6.12)와 시그마플롯 9.0을 이용하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 출현 및 개화소요일

피망의 파종 후 출현 및 개화소요일은 <Table 1>에서 보는 바와 같다. 파종 후 출현소요일은 400ppm 처리구에서는 고온구인 35/25°C와 30/20°C 구에서 8일로 출현일수가 빨랐고, 저온 처리구인 25/15°C 구에서 2일 늦게 출현하였으나, 800ppm 처리구에서는 30/20°C 처리구에서 8일로 가장 빨랐다. 파종 후 개화소요일은 CO₂ 농도처리 간에는 400ppm 처리구에

서 56.3일, CO₂ 농도를 배증시킨 800ppm에서는 55.7일로 큰 차이가 없었다. 온도처리간에는 35/25°C와 30/20°C 처리구에서는 각각 52.5일, 53.0일로 큰 차이가 없었으나, 25/15°C 처리구는 62.5일로 약 10일 정도 개화가 늦어져 파종 후 개화소요일은 온도의 영향을 많이 받는 것으로 판단되었다.

마찬가지로 출현 후 개화일까지의 소요시간도 CO₂ 농도처리 간에는 큰 차이가 없었으며, 온도처리 간에는 고온 처리구일수록 소요기간이 짧아 35/25°C 처리구는 44.0일, 25/15°C 처리구는 53.0일이 소요되어 저온 처리구가 고온 처리구에 비해 소요일수가 9일 길었다.

Table 1. Days required from seeding to emergence, from seeding to flowering and from emergence to flowering under CO₂ enrichment with three different temperature regimes in *Capsicum annum* L.

CO ₂ level	Temperature(°C) (day/night)	Emergence (DAS) ^{a)}	Flowering (DAS)	Days from emergence to flowering
400ppm	35/25	8	52	44
	30/20	8	53	45
	25/15	10	64	54
800ppm	35/25	9	53	44
	30/20	8	53	45
	25/15	9	61	52

^{a)} DAS : days after seeding

2. 생육특성 및 수량

<Table 2>는 3 수준 온도 하에서 출현 후 15주에 CO₂ 농도 증가에 대한 피망의 생육 및 수량 반응을 조사하여 나타낸 것이다(출현 후 15주의 결과를 나타낸 것은 15주가 지나면 엽의 고사가 커지고 따라서 그 이후에는 지상부중 측정 등 정확한 생육반응을 조사하기 위해서는 이때가 유리하다고 판단되었기 때문이다.). 8개의 생육 및 수량특성을 나타내었는데, 이들 특성 중 4개 특성이 CO₂ 농도 간에 유의성을 나타내었으며, 온도처리 간에는 8개 특성 모두가 통계적으로 유의성을 나타내었다. 이는 피망의 생육 및 수량이 CO₂ 농도 및 온도에 크게 영향을 받는다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

피망의 초장은 CO₂ 농도 간에는 유의성이 없었으며, 온도 간에는 유의성이 인정되어 30/20°C 처리구에서 초장이 54.5cm로 가장 컸으며, 25/15°C의 저온구에서 36.3cm로 가장 짧았다. Reddy 등(1995)도 온도 및 CO₂ 농도가 증가하면 식물체 초장이 신장한다고 보고하였

는데, 이와 일치하는 경향이였다.

주당 엽수는 CO₂ 농도간에는 유의성이 없었으며, 온도간에는 유의성이 인정되어 35/25°C 처리구에서 15.9엽, 30/20°C 처리구에서 16.4엽 그리고 25/15°C 처리구에서 16.8엽으로 엽수가 가장 많아 고온 조건일수록 주당 엽수가 작아지는 것을 알 수 있었다.

Table 2. Response of growth characteristics per plant to CO₂ enrichment under three temperature regimes in *Capsicum annum* L. at 15 weeks after emergence.

CO ₂ concentration	Temp. (day/night)	Plant height (cm)	No. of leaves	Leaf area (cm ²)	No. of fruits	Leaf dry weight (g)	Root dry weight (g)	Total shoot dry weight(g)	Fruit dry weight (g)
400 ppm	35/25°C	53.5	16.0	7705.7	4.8	46.8	21.0	101.2	2.5
	30/20°C	53.1	15.3	6591.0	24.8	36.1	30.5	161.8	81.7
	25/15°C	35.0	17.0	3729.8	19.3	28.6	24.7	96.7	48.7
800 ppm	35/25°C	47.0	15.8	6718.4	9.3	52.8	19.9	103.4	6.9
	30/20°C	55.9	17.5	5580.4	25.8	47.7	31.0	175.9	83.1
	25/15°C	37.6	16.5	3376.5	24.5	31.8	27.0	145.0	88.4
LSD(5%) between CO ₂ concentration		-	-	559.67	-	4.21	-	7.03	7.52
LSD(5%) between temperature		3.13	0.83	734.44	4.58	5.15	6.01	8.61	9.21

또한 CO₂ 농도 증가에 따른 피망의 초장 및 엽수의 경시적 증가 양상은 <Fig. 1>에서 보는 바와 같다. CO₂ 농도 증가에 따른 초장의 신장은 출현 후 78일 400ppm 처리구의 평균 초장은 50.9cm인데, 이에 비해 800ppm은 43.3cm로 400ppm 처리구가 800ppm 처리구에 비해 무려 7.6cm나 컸다. 그러나 처리온도별 초장을 비교해 보면 30/20°C 처리구가 47.0cm로 가장 컸으며, 25/15°C 처리구가 24.5cm로 가장 작았다. 따라서 피망의 초장 신장은 CO₂ 농도가 증대될수록 초장 신장이 억제됨을 알 수 있었으며, 온도가 높을수록 초장 신장이 커짐을 알 수 있었다.

생육기간중 시간경과에 따른 엽수의 증가는 출현 후 24일에 약 16엽으로 최대가 되었으며, 그 후부터는 신엽의 출엽속도와 늙은 잎의 고사속도가 같아지는 경향이였다. 엽수의 증가경향은 대체로 큰 차이가 없었으나, 400ppm, 25/15°C 처리구에서는 초기에는 엽수의 증가가 가장 느렸으나, 출현 후 48일에는 17.5엽으로 엽수가 가장 많았다<Fig. 1>.

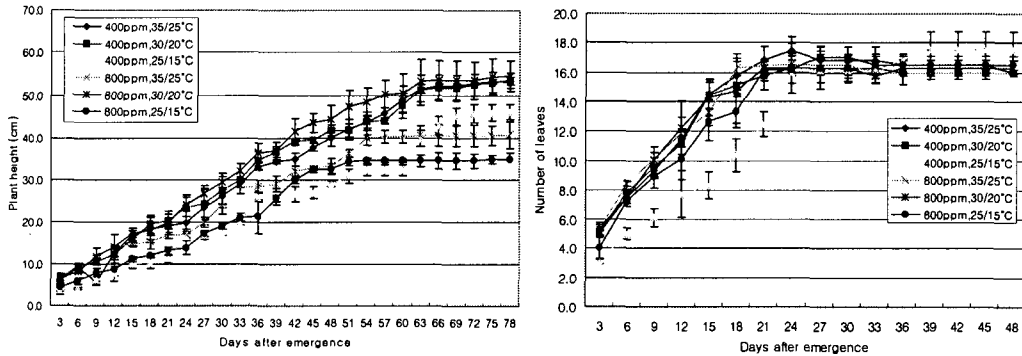


Fig. 1. Time-course response of plant height and number of leaves to CO₂ enrichment under three different temperature regimes in *Capsicum annum* L.

주당 엽면적은 CO₂ 농도간, 온도처리간에 통계적으로 유의성을 나타내었다. 400ppm 처리구가 6,008.8cm², 800ppm 처리구가 5,225.1cm²로 400ppm 처리구가 약 15% 엽면적이 많아, 지구온난화에 의한 대기 중 CO₂ 농도 증가는 피망의 엽면적을 감소시킬 것으로 예상된다. 온도간에는 가장 고온구인 35/25°C 처리구에서 7,212.1cm²로 가장 컸으며, 다음으로는 30/20°C > 25/15°C 처리순으로 각각 6,085.7cm², 3,553.2cm²를 나타내었다.

출현 후 15주에 주당 결실된 피망의 수는 CO₂ 농도간에는 유의성이 없었으며, 온도처리간에 유의성이 인정되었다. 온도별 결실된 피망의 수는 30/20°C 처리구에서 평균 25.3개로 가장 많았으며, 고온구인 35/25°C 처리구에서 7.1개로 가장 적어 피망의 생육에는 30/20°C가 적절한 온도라고 판단되었다. 그러나 Reddy 등(1999)은 CO₂ 농도 증대에 따른 목화 생육시험에서 목화다래 수는 400ppm 처리구(35/25°C 및 25/15°C 처리)에서 두 처리구 평균 1.5개 이었으나, 800ppm 처리구에서는 다래수가 8.25개로 400ppm 처리구에 비해 월등히 많았다고 하였다. 또한 Reddy 등(1999)은 800ppm의 고농도 처리구가 목화에서 다래 수정을 증대시켰다고 하였고, 360ppm 처리구에서 보다 720ppm 처리구에서 40% 더 많은 화기(square) 및 다래(boll) 수를 나타내었다고 하였다. 또한 그는 35/25°C의 고온구에서 화기 및 다래 수가 많았다고 하였으며, 700ppm의 고농도 CO₂ 처리구에서 증대 정도가 컸다고 하였다(Reddy 등, 1995).

엽건물중은 CO₂ 농도간 및 온도처리간에 유의성을 나타내었다. 800ppm 처리구의 평균 엽건물중은 44.1g으로 400ppm 처리구의 37.2g에 비해 18.5% 높아 CO₂ 농도 증대가 엽의 성장을 촉진시킨 것으로 판단되었다. 온도처리 간에는 고온구인 35/25°C 구가 49.8g으로 가장 높았으며, 25/15°C 처리구가 25.9g으로 낮고 고온도 마찬가지로 엽의 성장을 촉진시켰음을 알 수 있다. 지하부 건물중은 CO₂ 농도간에는 차이가 없었으며, 온도처리간에 30/20°C 구가 400ppm 및 800ppm 처리 모두에서 가장 높았다. Chaudhuri 등(1990)은 추파밀 시험에서 정상적인 CO₂ 농도에 비해 3 수준의 CO₂ 농도 증대(485, 660 및 825ppm) 구 모두에서 뿌리

의 신장이 컸다고 하였으며, 또한 그는 정상적 CO₂ 농도에 비해 825ppm의 고농도 CO₂ 조건하에서 뿌리 건물중이 가장 높았다고 하였다. 또한 목화 시험에 있어서도 800ppm의 고농도 CO₂ 조건하에서 뿌리, 엽병 및 다래 건물중이 400ppm 처리구에 비해 높았다고 하였다 (Chaudhuri 등, 1990).

총 지상부 건물중도 CO₂ 농도간 및 온도처리간에 유의성을 나타내었으며, 800ppm 처리구가 141.4g으로 400ppm 처리구의 119.9g보다 17.9%나 높아, CO₂ 농도증대가 광합성 속도를 촉진시켜 지상부 건물중을 증대시킨 것으로 판단된다. 온도처리별 지상부 건물중은 30/20℃ 처리구가 168.9g으로 가장 높았으며, 고온구인 35/25℃ 구가 102.3g으로 가장 낮았다. 이로서 식물체 각 부위별 온도에 대한 생장반응은 서로 다를 수 있었다. 또한 처리별 지상부 건물중은 사진 1을 보면 800ppm의 30/20℃ 처리구가 175.9g으로 가장 높았으며, 400ppm의 25/20℃ 처리구가 97.7g으로 가장 낮았다. Ziska 등(1997)은 벼 시험에서 정상적인 CO₂ 농도에 비해 200ppm 및 300ppm을 증대시킨 처리구에서 총 건물중이 31%~40% 증대되었다고 하였으며, 수량은 15%~27% 증대되었다고 하였다. 또한 그는 지구온난화와 관련하여 CO₂ 농도증가 및 기온상승은 쌀의 질(단백질 함량 등)을 감소시킨다고 하였다 (Ziska 등, 1997).

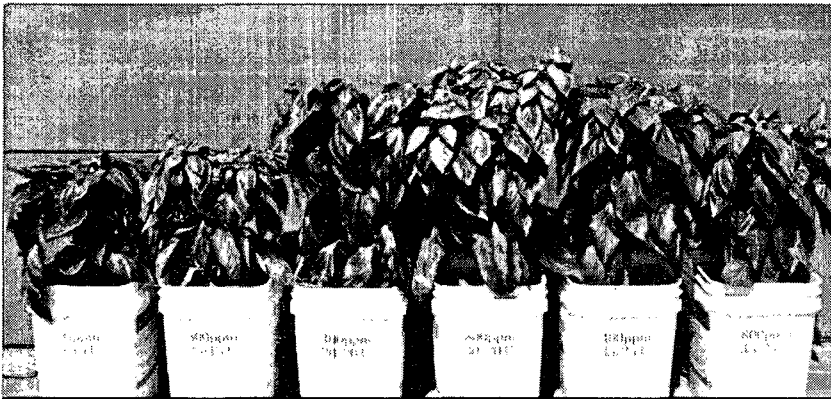


Photo 1. Growth of bell peppers (*Capsicum annuum* L.) at the same temperature with different CO₂ concentrations.

출현 후 15주에 수확한 피망의 수량은 <Table 2>에서 보는 바와 같이 CO₂ 농도간 및 온도처리 간에 유의성을 나타내었다. CO₂ 농도처리 간 수량을 보면 800ppm 처리구가 59.5g으로 400ppm 처리구의 44.3g에 비해 약 34.3% 많아 피망의 경우 CO₂ 농도 증대가 수량에 유리할 것으로 판단된다. 그러나 온도 처리별 수량을 보면 800ppm 처리구에서는 25/15℃ 처리구가 88.4g으로 가장 높았으며, 400ppm 처리구에서는 30/20℃ 처리구가 81.7g으로 가장 높았다. 이러한 결과를 보면 피망의 수량은 CO₂ 농도가 높을 때 (800 ppm)에는 저온 (25/1

5°C)에서, 정상적인 CO₂ 농도에서는 고온 (30/20°C) 조건에서 수량이 높아진다는 것을 알 수 있었다.

3. 비엽면적, 엽면적비율, 엽중비율 및 지하부/지상부비율

CO₂ 농도에 따른 비엽면적은 800ppm의 117.4보다는 400ppm의 159.1에서 35.5% 컸다. 온도에 따른 차이는 30/20°C 처리구에서 150.45로 가장 높았으며, 25/15°C 처리구에서 118.4로 가장 적었다. 이는 CO₂ 농도가 높은 800ppm에서 온도가 낮은 25/15°C 처리구에서 잎이 두꺼웠음을 의미하는데, Poorter(1993)도 콩 시험에서 CO₂ 농도가 높아지면 잎의 두께가 두꺼워진다고 하였는데, 이 결과와 일치하는 경향이였다.

엽중비율은 비엽면적과 마찬가지로 CO₂ 농도가 낮은 400ppm에서 평균 51.1로, 800ppm 처리구의 40.1에 비해 27.4% 정도 높았다. 따라서 CO₂ 농도가 증가하면 잎의 두께가 마찬가지로 두꺼워진다는 것을 알 수 있었다. 온도에 따른 차이는 30/25°C > 30/20°C > 25/15°C 순으로 각각 70.6 > 35.2 > 31.0을 나타내어 온도가 낮을수록 잎의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있었다.

CO₂ 농도에 따른 엽중비율은 400ppm, 800ppm 처리구 모두 0.33으로 동일하여, CO₂ 농도가 피망의 엽과 지상부 생장에 차이를 주지는 않는 것으로 생각되었다. 그러나 온도에 따른 반응을 보면 30/25°C > 30/20°C > 25/15°C 순으로 각각 0.49 > 0.25 > 0.26을 나타내어 온도가 높을수록 지상부 생장보다는 상대적으로 잎의 생장이 왕성하였음을 알 수 있었다.

CO₂ 농도에 따른 지하부/지상부비율은 400ppm 처리구에서 0.22, 800ppm 처리구에서 0.19로 CO₂ 농도가 증가하면 지하부보다는 지상부 생장이 더 왕성해 짐을 알 수 있었다. 온도 차이에 따른 지하부/지상부비율은 25/15°C 처리구에서 0.23으로 가장 높았으며, 30/20°C 처리구에서 0.19로 가장 낮아 비교적 온도가 낮을수록 지상부보다는 지하부 생장이 더 커지는 것으로 판단된다.

Table 3. Response of specific leaf area, leaf area ratio, leaf mass ratio and root/shoot ratio per plant to CO₂ enrichment under three temperature regimes in *Capsicum annum* L. at 15 weeks after emergence.

CO ₂ concentration	Temperature (°C)	Specific leaf area	Leaf area ratio	Leaf mass ratio	Root/shoot ratio
400ppm	35/25	164.5	76.1	0.46	0.21
	30/20	182.2	38.6	0.23	0.19
	25/15	130.7	38.6	0.30	0.26

CO ₂ concentration	Temperature (°C)	Specific leaf area	Leaf area ratio	Leaf mass ratio	Root/shoot ratio
800ppm	35/25	127.4	65.21	0.51	0.19
	30/20	118.7	31.8	0.27	0.18
	25/15	106.1	23.3	0.22	0.19
LSD(5%) between CO ₂ concentration		9.33	5.98	-	-
LSD(5%) between temperature		11.43	7.32	0.04	-

또한 <Table 3>은 피망의 생육특성 및 수량관련요소들의 상관관계를 나타낸 것이다. 초장은 엽면적, 엽건중 및 총지상부 건물중과 유의한 정의 상관관계를 보여 초장이 크면 이들 3개의 작물학적 특성이 커짐을 알 수 있었다. 엽면적은 주당 착과수 및 피망 과실 건물중과 유의한 부의 상관관계를 나타내어 엽면적이 클수록 수량은 낮아지는 것으로 판단되었다. 그러나 엽면적은 비엽면적, 엽면적 비율 및 엽건중 비율과 유의한 정의 상관관계를 보여 엽면적이 증가할수록 잎의 두께가 얇아지고, 지상부 건물중에 비하여 상대적으로 잎이 차지하는 건물중 비율이 높아지는 것을 알 수 있었다. 주당 착과수는 뿌리 건물중 및 총지상부 건물중과 정의 상관관계를 보여, 뿌리 및 지상부 생장이 왕성할수록 주당 착과수는 증대하는 것으로 나타났다. 그러나 주당 착과수는 엽면적 비율 및 엽건중 비율과 부의 상관관계를 나타내어 엽면적 및 엽건중 비율이 클수록 주당 착과수는 감소하는 것을 알 수 있었다.

총 지상부 건물중은 비엽면적 및 엽건물중 비율과 부의 상관관계를 나타내어 지상부 건물중이 높아질수록 잎의 두께가 얇아지고, 엽의 건물중이 차지하는 무게가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 비엽면적은 엽면적 비율과 부의 상관관계를 나타내었으며, 엽면적 비율은 엽건물중 비율과 유의한 정의 상관관계를 나타내었다. 또한 주당 과실 건물중과 주당착과수, 지상부 총건물중과는 유의한 정의 상관관계를 보여 착과수가 많을수록 지상부 건물중이 클수록 수량이 증대함을 알 수 있었으며, 엽면적, 엽건물중, 엽면적비율 및 엽중비율과는 부의 상관관계를 보여 이들 특성이 증가함에 따라 수량은 감소함을 알 수 있었다<Table 3>.

Table 3. Correlation coefficients among several growth and yield characteristics.

	NL	LA	NP	LW	RW	PW	TW	SLA	LAR	LMR	RR
Plant height(PH)	-0.088	0.775**	-0.119	0.669**	0.149	-0.109	0.415*	0.455*	0.354	0.215	-0.263
No. of leaves(NL)		-0.332	0.195	-0.033	0.102	0.218	0.126	-0.481*	-0.276	-0.163	-0.004

	NL	LA	NP	LW	RW	PW	TW	SLA	LAR	LMR	RR
Leaf area(LA)			-0.539**	0.732**	-0.089	-0.575**	-0.094	0.661**	0.809**	0.628**	-0.051
No. of pepper(NP)				-0.366	0.444*	0.843**	0.738**	-0.287	-0.856**	-0.797**	-0.191
Leaf dry wt.(LW)					-0.080	-0.539**	-0.001	-0.001	0.609**	0.725**	-0.133
Root dry wt.(RW)						0.504*	0.553**	-0.015	-0.402	-0.474*	0.568**
Fruit dry wt.(PW)							0.813**	-0.192	-0.919**	-0.952**	-0.197
Total shoot dry wt.(TW)								-0.052	-0.635**	-0.678**	-0.348
Specific leaf area (SLA).									-0.459*	0.078	0.023
Leaf area ratio (LAR)										0.900**	0.136
Leaf mass ratio (LMR)											0.102
Root/shoot ratio (RR)											

IV. 적 요

CO₂ 농도증대와 고온조건이 피망의 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하여 향후 지구 온난화에 따른 작물분야에서의 대응방안 마련을 위한 기초자료를 얻고자 시험한 결과를 요약하면 다음과 같다. 파종 후 개화소요일은 CO₂ 농도처리 간에는 400ppm 처리구에서 56.3일, CO₂ 농도를 배증시킨 800 ppm에서는 55.7일로 대차 없었으나, 온도 처리간에는 35/25℃의 고온구가 52.5일로 가장 짧게 소요되었다. 출현 후 15주의 피망의 생육 및 수량을 보면 초장은 CO₂ 농도간에는 유의성이 없었으며, 온도간에는 유의성이 인정되어 30/20℃ 처리구에서 초장이 54.5cm로 가장 컸다. 생육기간중 경시적인 초장신장은 CO₂ 농도가 높은 구에서 초장신장이 억제되었으며, 온도가 높을수록 초장신장이 커졌다. 주당 엽면적은 400ppm 처리구가 평균 6,008.8cm², 800ppm 처리구가 5,225.1cm²로 400ppm 처리구가 약 15% 엽면적이 높았다. 엽건물중은 CO₂ 농도간 및 온도처리간에 유의성을 나타내었다. 800ppm 처리구의 평균 엽건물중은 44.1g으로 400ppm 처리구의 37.2g에 비해 18.5% 높았으며, 온도처리간에는 고온구인 35/25℃구가 49.8g으로 가장 높았다. 총 지상부 건물중도 CO₂ 농도간 및 온도처리간에 유의성을 나타내었으며, 800ppm 처리구가 141.4g으로 400ppm 처리구의 119.9g보다 17.9%나 높았다. 온도처리별 지상부 건물중은 30/20℃ 처리구가 168.9g으로 가장 높았으며, 고온구인 35/25℃구가 102.3g으로 가장 낮았다. 과실의 건물중(수량)은

800ppm 처리구가 59.5g으로, 400ppm 처리구의 44.3g에 비해 약 34.3% 많아 피망의 경우 CO₂ 농도 증대가 수량증대에 유리할 것으로 판단되었으며, CO₂ 농도가 높을 때(800ppm)에는 저온(25/15°C)에서, 정상적인 CO₂ 농도에서는 고온(30/20°C) 조건에서 수량이 높아지는 경향이였다. CO₂ 농도에 따른 비엽면적은 800ppm의 117.4보다는 400ppm의 159.1에서 35.5% 커, CO₂ 농도가 증대하면 잎의 두께가 두꺼워짐을 알 수 있었다. 또한 작물학적 특성들 간 상관관계를 보면 엽면적은 주당 착과수 및 과실 건물중과 유의한 부의 상관관계를 나타내어 엽면적이 클수록 수량은 낮아졌다. 주당 과실 건물중과 주당 착과수, 지상부 총건물중과는 유의한 정의 상관관계를 보여 착과수가 많을수록 지상부 건물중이 클수록 수량이 증대함을 알 수 있었다.

[논문접수일 : 2007. 2. 23. 최종논문접수일 : 2007. 3. 12.]

참 고 문 헌

1. Allen, L. H. Jr., Boote, K. J., Jones, J. W., Jones, P. H., Valle, R. R., Acock, B., Rogers, H. H., and R. C. Dahlman. 1987. Response of vegetation to rising carbon dioxide: Photosynthesis, biomass, and seed yield of soybean. *Global Biogeochemical Cycles* 1 : 1-14.
2. Allen, L. H., Jr. 1990. Plant responses to rising carbon dioxide and potential interactions with air pollutants. *J. Environ. Qual.* 19 : 15-34.
3. Allen, L. H., Jr. and J. S. Amthor. 1995. Plant physiological responses to elevated CO₂, temperature, air pollution, and UV-B radiation. In : Woodwell G. M. and Mackenzie F. T. (eds.). *Biotic Feedbacks in the Global Climate System: Will the Warning Feed the Warning?* Oxford University Press, New York. pp. 51-84.
4. Amthor, J. S. 1995. Terrestrial higher-plant response to increasing atmospheric [CO₂] in relation to the global carbon cycle. *Global Change Biology* 1 : 243-274.
5. Baker, J. T., Allen, L. H. Jr., Boote, K. J., Jones, P., and J. W. Jones. 1989. Response of soybean to air temperature and carbon dioxide concentration. *Crop Science* 29 : 98-105.
6. Chaudhuri, U. N., Kirkham, M. B. and E. T. Kanemasu. 1990. Root growth of winter wheat under elevated carbon dioxide and drought. *Crop Sci.* 30 : 853-857.
7. Coleman, J. S., and F. A. Bazzaz. 1992. Effects of CO₂ and temperature on growth and resource use of co-occurring C₃ and C₄ annuals. *Ecology.* 73 : 1244-1259.
8. Cox, P. M., Betts, R. A., Jones, C. D., Spall, S. A., and I. J. Totterdell. 2000. Acceleration

- of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature* 408 : 184-187.
9. Cure, J. D. and B. Acock, 1986. Crop responses to carbon dioxide doubling : A literature survey. *Agriculture and Forest Meteorology* 38 : 127-145.
 10. Downs, R. J. and H. Hellmers. 1975. *Environment and the experimental control of plant growth*. Academic Press, Inc., New York, N.Y.
 11. Etheridge, D. M., Steele, L. P., Langenfelds, R. L., Francey, R. J., Barnola, J. M., and V. A. Morgan. 1996. Natural and anthropogenic changes in atmospheric CO₂ over the last 1000 years from air in Antarctic ice and firn. *J. Geophys. Res.* 101 : 4115-4128.
 12. Hansen, W. J., Sato, M., Ruedy, R., Lacis, A., and V. Oinas. 2000. Global warming in the twenty-first century: an alternative scenario. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 97 : 9875-9880.
 13. Houghton, J. T., Meira Fo., L. G., Callander, B. A., Harriss, N., Katzenberg, A., and K. Maskell. 1996. *Climate change 1995. The science of climate change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
 14. IPCC. 2001. *Climate Change 2001 : Impact, adaptation, and vulnerability. A report of working Group II of the Intergovernmental panel on climate change*. 18p.
 15. Keeling, C. D. and T. P. Whorf. 2000. Atmospheric CO₂ records from the SiO air sampling network. In : *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN.
 16. Long, S. P. 1991. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant Cell Environ.* 14 : 729-739.
 17. Mendelsohn, R. and N. J. Rosenberg. 1994 Framework for integrated assessments of global warming impacts. *Climatic Change*, 28 : 15-44.
 18. Newman, Y. C., Sollenberger, L. E., Boote, K. J., Allen, L. H. Jr., and R. C. Littell. 2001. Carbon dioxide and temperature effects on forage dry matter production. *Crop Science*, 41 : 399-406.
 19. Poorter, H. 1993. Interspecific variation in the growth response of plants to an elevated ambient CO₂ concentration. *Vegetatio* 104/105 : 77-97.
 20. Pritchard, S. G., Rogers, H. H., Prior, S. A., and C. M. Peterson. 1999. Elevated CO₂ and plant structure: a review. *Global Change Biology* 5 : 807-837.
 21. Reddy, K. R., Harry, H. F., and J. M. McKinion. 1995. Carbon dioxide and temperature effects on Pima cotton development. *Agron. J.* 87 : 820-826.
 22. Reddy, K. R., Davidonis, G. H., Johnson, A. S., and B. T. Vinyard. 1999. Temperature

- regimes and carbon dioxide enrichment alter cotton boll development and fiber properties. *Agron. J.* 91 : 851-858.
23. SAS Institute Inc. 1989. User's Guide, Version 6, 4th Edition. SAS Institute Inc., Cary, NC. 846p.
24. Tremmel, D. C. and D. T. Patterson. 1993. Responses of soybean and five weeds to CO₂ enrichment under two temperature regime. *Canadian Journal Plant Science*, 73 : 1249-1260.
25. USGCRP. 2000. Our changing planet. The FY 2001 U.S. Global Change Research Program. USGCRP, Washington, DC. 74p.
26. Ziska, L. H., Namuco, O., Moya, T., and J. Quilang. 1997. Growth and yield response of field grown tropical rice to increasing carbon dioxide and air temperature. *Agron. J.* 89 : 45-53.