Journal of Bio-Environment Control, 10(4):225-231, (2001)

Effect of Cultivation Type in Different Greenhouses on Growth and Yield of Green Pepper (*Capsicum annuum*)

Hee Chun* · Kyung Je Kim[1] · Young Hoe Woo

Div. of Protected Cultivation, Natl. Hort. Res. Inst., R.D.A. Suwon 441-440, Korea
[1]Dept. of Plant Resources, Dongguk Univ., Seoul 100-715, Korea

Abstract

This study was conducted to examine effect of different environment conditions in glass, PC, PET and PE greenhouses controlled by different environment control systems on the growth of green pepper. Light transmittance of 64.7% in the glass greenhouse was the highest among different greenhouses. Air temperature was the highest in the glass greenhouse when ventilators were closed, and was the highest in the PE greenhouse when ventilators were open. Air relative humidity was the highest in the PE greenhouse during 24 hours. The amount of solar energy accumulated in soil was the greatest in the glass greenhouse and this energy released during the night escaped through covering materials. Latent heat and solar energy affected air temperature increase in greenhouses. The air temperature of glass greenhouse was 27.5°C at 11 O'clock, which was the highest air temperature among the all greenhouse types. Clear differences were observed in leaf area and plant height at 30 days after transplanting. Days to first flowering was the shortest in the glass greenhouse with 72.7 days. Flower shedding was the greatest in the PE greenhouse with 12.6%. Days to fruit harvesting was the shortest in the glass greenhouse with 14.3 days. Fruit quality, such as fruit length, fruit diameter, fruit flesh thickness, and vitamin C content, was the best in the glass greenhouse. Percent marketable fruits was the highest with 95.3% when the pepper was grown hydroponically in the glass greenhouse.

Key words: greenhouse, green pepper, optimum LAI

*Corresponding author

서 언

외부 환경 가운데 원예시설에 가장 큰 영향을 미치는 것은 광과 온도일 것이다. 태양의 방사에너지는 시설의 기온이나 지온과 같은 온도에도 밀접한 관계가 있다. 원예시설은 크게 골조, 피복 그리고 부대장치로 구분되며, 온실의 熱收支에 큰 영향을 미치는 것은 피복자재이다. 피복자재는 용도에 따라 단층과 복층 또는 그 이상의 층으로 설치되며, 광에너지의 효율적인 이용을 위해서는 透光率이 높아야 한다. 그리고 경제성과 작업의 편리성을 높이려면 사용기간이 길어야 하고, 保溫力도 커서 난방에너지의 소모가 적어야 할 뿐만 아니라 가격이 저렴하고 시공이 편해야 한다. Godbey et al.(1979)은 피복자재에 따른 長波放射率은 유리의 경우 3%로 매우 낮지만 폴리에틸렌은 80%로 비교적 높으며, 피복자재를 투과한 광의 散亂率은 섬유유리(fiberglass)에서 89%, 유리에서 24%, 폴리에스터나 폴리카보네이트에서 23% 정도를 각각 나타내었다고 하였다. 또한 McNaughton et al.(1981)에 의하면 피복자재의 광합성유효방사(photosynthetically active radiation)의 투과율은 PE, EVA 및 PVC 등에서 88%-90%, 유색필름은 65-75%, 경질 아크릴(Acrylflute) 및 유리강화섬유(Durolite)는 76-82%, 경질 PVC(Novaroof)는 종류에 따라 63-73%를 각각 보였다고 한다. 뿐만 아니라 장파방사 투과율은 경질 FRP, 경질 PVC 및 복층 아크릴이 5% 미만이고, PVC 필름이 10-12%, PE와 EVE 필름은 40-69% 정도이며, 유리에서는 장파방사 투과가 거의 나타나지 않았다고 하였다.

따라서 본 실험은 피복자재를 기준으로 몇 가지 원예시설에서 재배방식별로 환경 특성을 분석하고, 풋고추의 생육 및 수량의 차이를 비교 분석하고자 수행되었다.

재료 및 방법

시설 환경조절 및 재배방법은 유리온실에서 1중지붕, 알루미늄재질 수평커튼, 강제환기, 온수난방, 지중가온 시설에서 펄라이트재배를 하였고, PC와 PET 온실에서 1중지붕, 알루미늄재질수평커튼, 강제환기, 온풍난방, 지중가온 시설에서 토양재배를 하였고, PE하우스에서는 2중지붕, 폴리프로필렌재질 수평커튼, 강제환기, 온풍난방 시설에서 토양재배를 하였다. 피복자재의 광환경은 지상 1.2 m 지점에서 全天日射計(NP42, Eko)로 시설내외 일사량을 측정하여 투광율을 구하였고, 정오를 기준으로 태양 방향으로 冠型日射計(NS44, Eko)를 직각으로 뉘어 散亂光率과 거꾸로 놓아 反射率을 조사였다. 기온과 지온은 열전도선을 지상 1.2 m 지점과 재배상 지하 10 cm 지점에 각각 설치하였고, 地中傳熱量은 지중 5 cm와 10 cm 지점에 열전도계(MF-81, Eko)를 설치하여 傳導量을 거리의 역수로 곱하여 계산하였다. '녹광고추'를 1996년 7월 15일 플러그 트레이(72공)에 피트모스배지에 파종하였다. 파종후 15일부터 원시개발 고추전용양액(1/2수준)을 7일 간격으로 3회 주었다. 정식은 1996년 8월 26일에, 유리는 PE흑백 필름을 PC, PET 및 PE 시설에서는 PE 흑색 필름을 멀칭한 후 실시하였다. 고추 식물체의 최적엽면적지수는 星野 등(1977)과 Woo(1995)가 사용한 생장해석방법을 참고로 개체군생장속도(CGR)를 Y축으로 하고, 엽면적지수(LAI)를 X축으로 하였을 때 CGR과 LAI의 2차상관식 즉 $y = ax^2 + bx + c$를 미분한 식 $y' = 2ax + b = 0$이 되는 $x = |-2a/b|$로 하였다. 고추 생육은 초장, 엽면적, 경경, 분지수 등을 10일 간격으로 조사하였고, 과실 특성 및 수량은 과장이 10 cm 이상을 수확하여 조사하였다.

결과 및 고찰

시설유형별 광환경을 살펴보면 유리온실에서의 透光率은 64.7%, PC와 PET 온실에서는 각각 61.3%와 60.7%를 나타내었으나, 이중지붕인 PE 하우스는 56.4%로 가장 낮았다(Table 1). Pierce(1982)는 금속피막유리가 90%의 투광율을 보이고 장파의 반사율은 85%나 된다고 하였으며, White(1984)는 유리의 표면에서 철의 함량을 줄임으로서 투광율을 97%까지 올릴 수 있다고 하였는데, 시설내 투광율이 60% 내외로 낮았던 원인은 시설의 골조 및 커튼 등의 설비가 광을 차단한 것으로 여겨진다. 시설내 광투과율은 골조 이외에도 보온커튼과 피복방법에 따라서도 다르게 나타나 투명도가 우수하고 곡부의 차광율이 적은 유리온실에서 가장 높았다. 또한 정오에 노지와 비교한 光散亂率은 광투과율이 높은 순서대로 나타났으며, 유리에서 가장 높은 광산란율을 보인 것은 유리의 두께가 굵어 굴절각이 플라스틱인 다른 피복자재에 비하여 크기 때문인 것으로 판단된다. 두 번 째로 PC온실에서 높게 나타난 것은 피복자재의 형태가 파상형이기 때문에 광의 굴절율이 큰 것으로 판단되었다(Table 1).

Table 1. Comparison of light transmittance, diffusion and reflection of greenhouses from Nov. 5, 1996 to Nov. 6, 1996.

Greenhouses	Light transmittance (%)	Light diffusion rate (%)	Light reflection rate (%)
Glasshouse	64.7	69.7	10.4
PC house	61.3	68.9	17.2
PET huose	60.7	58.6	18.3
PE house	56.4	54.4	19.8

Light transmittance was recorded accumulated for 24 hours. Light diffusion was recorded with pyranometer maintained 90° to the east at 12:00. Light reflection was recorded with pyranometer maintained reversely at 12:00.

시설내 하루중 광투과율의 변화는 일사량이 많을수록 노지와의 차이는 크게 나타났다. 시설유형별로는 유리, PC, PET 그리고 PE 시설의 순서로 높았다(Fig. 1, A). 시설내 오전 8시 이전의 온도상승은 유리, PC, PET 온실 및 PE 하우스 순으로 높았다. 그러나 환기가 시작되는 오전 9시 이후부터는 시설별로 일정한 경향을 보이지 않았으나 換氣效率이 떨어지는 PE 하우스에서 가장 높은 경향을 보였다. 그리고 밀폐가 이루어지는 오후 5시 이후부터는 밀폐시 환기율이 높은 PC와 PET 온실에서 온도가 급격히 떨어졌고, 오후 9시 이후에는 유리온실에서 두드러지게 높아졌고 전 시설에서 비교적 안정된 온도수준을 보였다(Fig. 1, B). 유리온실에서 밀폐시 기온이 다른 시설에 비하여 높았던 이유는 Godbey et al.(1979)이 보고하였듯이 유리는 광투과율이 높고, 장파방사 투과율이 낮아 溫室效果에 의한 열집적이 많기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 환기 시에 PE 하우스의 온도가 높았던 것은 시설구조상 동고환기가 불가능하여 측창과 곡부환기에 의

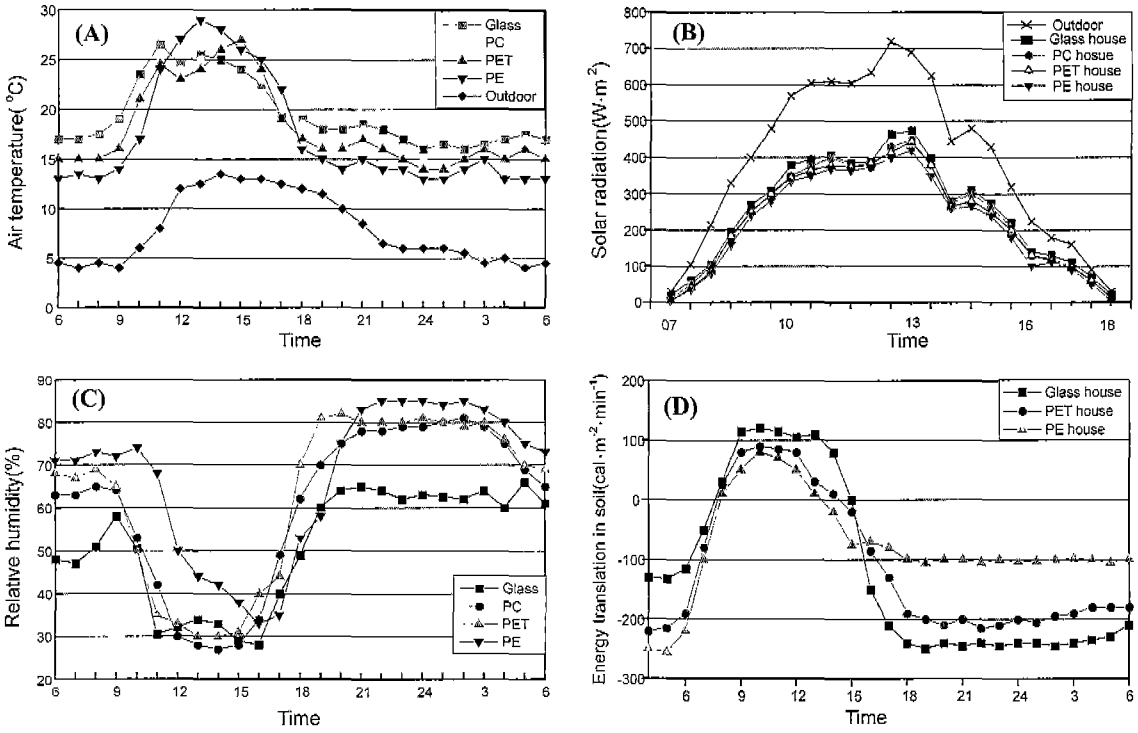

Fig. 1. A day's change of solar radiation transmittance(A), air temperature(B), relative humidity(C) and soil heat translation(D) in greenhouse ventilated from 09:00 to 17:00 (Nov. 1 - Nov. 2, 1996).
※ Solarimeters and heat conduction wires were set 1.5 m height in greenhouses and outdoor. Relative humidity by spring were set in green pepper community. Heat conduction metal for sensing heat flux were set 5 and 10 cm depth of soil.

존하므로 더운 공기가 정압에 의해 상승되었을 경우 빠져나갈 수 있는 환기효율이 떨어지기 때문인 것으로 여겨진다. 환기가 이루어지는 동안에 PC, PET 온실에서 습도가 급격히 떨어지고 다시 오후 3시부터 PET 온실에서 급상승한 것은 온도조절을 위하여 환기면적을 조절하였기 때문인 것으로 여겨진다. 原薗(1997)에 의하면 외기풍속이 2.5 m · s^{-1}일 때 필름의 종류에 따라 하우스의 환기율은 0.028~0.34 $m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ 정도라고 하였는데 이것은 유리, PC 및 PET 온실 보다는 낮은 수준이기 때문에 PE 하우스에서 환기율이 떨어져 습도가 높았던 것으로 생각된다(Fig. 1, C). 日照가 시작되는 오전 7시부터 오후 5시까지 일사에너지가 지중으로 유입되어 축적현상을 보였으며 반대로 나머지 시간에는 지중으로부터 시설내부로 열에너지가 방출되었다. 시설유형별로는 주간에는 유리, PC, PET 온실 및 PE하우스 순으로 지중으로 들어가는 에너지가 많았고 야간에는 같은 순서로 방출되는 에너지가 많은 경향이었다(Fig. 1, D). 태양에너지가 시설내에서 열에너지로 바뀐 후 지중으로의 유입은 유리, PET, PE 시설 순으로 오전 7경부터 시작되어 오후 3시경까지 이루어졌으며 나머지 시간에서는 지중에서 축열된 에너지가 시설내부로 방사되었다(Fig. 1, D). 지중으로 유입된 에너지보다 방사된 에너지가 큰 것은 가온에너지의 일부가 지중으로 유입되어 잠열로 있다가 방사되었기 때문인 것으로 여겨진다. 시설간에 온도가 차이나는 것은 McNaughton et al.(1981)이 보고한데로 광투과율이 높은 유리온실에서 주간에 지중으로 유입되는 에너지가 많고, 야간에 방출되는 에너지가 많은 것은 열선인 장파방사의 투과가 억제되었기 때문인 것으로 여겨진다.

엽면적지수(LAI)와 개체군생장속도(CGR)와의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 최적 LAI는 유리온실에서 6.35(r^2 = 0.9823**), PC 온실에서 4.32(r^2 = 0.9709**), PET 온실에서 3.62(r^2 = 0.9709**) 그리고 PE 하우스

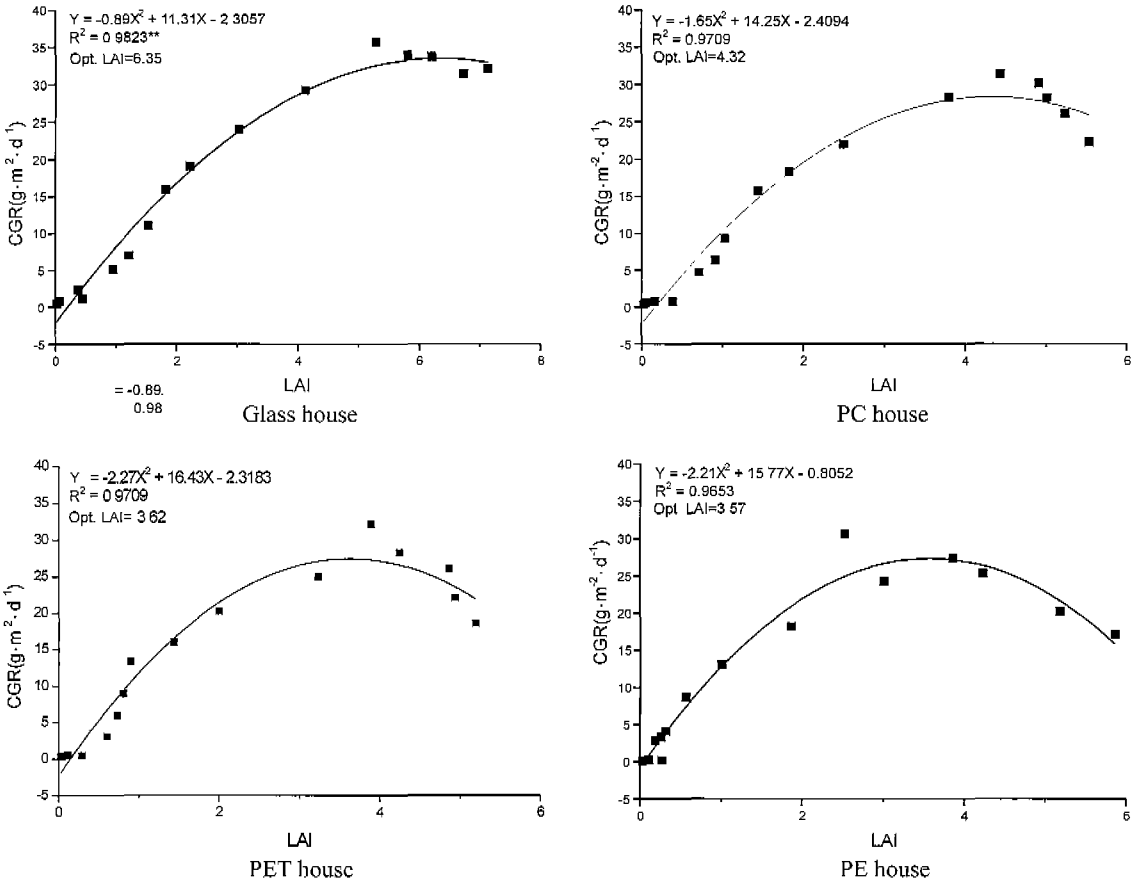

Fig. 2. Relationship between leaf area index (LAI) and crop growth rate (CGR) of green pepper grown at different greenhouse.

에서 3.57(r^2 = 0.9653**)로 나타났다. 작물에 따라 최적 LAI는 각기 달라서 星野(1977)는 결구상추에서 3.75를, Woo(1995)는 시금치에서 2.15를 보인다고 하였다. 풋고추는 최적 LAI가 3.57~6.35 정도로 크게 차이나서 시설에 따라 엽면적을 확보하여 생장속도를 달리하는 수준의 차이가 컸다. 즉, CGR과 LAI의 상관에서 나타난 결과로 유리온실은 PE 하우스 보다 1.78배나 많은 엽면적을 확보하여도 생장속도는 최적상태를 유지할 수 있음을 의미한다고 하겠다. 이것을 시설별로 비교하면 PC, PET 온실은 유리온실에 비하여 1.47~1.75배 정도 낮고, PE 하우스 보다는 1.01~1.21 배 정도 높게 나타나 유리온실 보다는 PE 하우스에 가까운 생장속도를 보였다.

시설유형별 생육, 개화 및 착과 특성은 먼저 정식

Table 2. Growth characteristics of green pepper at 30 days after transplanting in different greenhouse types.

Greenhouse	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	Leaf area (cm^2)	Wt. of dry matter(g)		
				Stem (A)	Leaf (B)	B/A
Glasshouse	58.7 a	7.47 a	1,585 a	5.3 a	7.9 a	1.49
PC house	54.1 b	6.59 b	1,088 b	3.3 b	5.0 b	1.52
PET house	50.2 c	6.50 bc	969 a	2.9 bc	4.3 c	1.48
PE house	41.9 d	6.26 c	827 d	2.4 c	3.8 c	1.58

*Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level

Table 3. Days to first flowering, flower shedding, fruit setting and days to harvesting at 40 days after transplanting in different greenhouses

Greenhouse	Days to first flowering (days)	Flower shedding rate (%)	Fruit setting rate (%)	Days to harvesting (days)
Glasshouse	72.7 c	3.9 c	89.7 a	14.3 c
PC house	73.3 bc	4.7 c	88.5 a	15.0 bc
PET house	74.3 b	9.8 b	87.6 a	15.3 b
PE house	75.7 a	12.6 a	81.3 b	16.7 a

*Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level

후 30일의 풋고추의 생육특성(Table 2)을 보면 초장은 유리, PC, PET 온실 및 PE 하우스의 순으로 길었고, 葉面積은 유리, PC, PET 온실 및 PE 하우스의 순으로 넓어 시설유형별로 확실한 차이를 보였다. 경경은 유리, PC, PET 온실 및 PE 하우스의 순으로 굵었으며, 주당 줄기의 乾物重은 유리, PC, PET 온실 및 PE 하우스의 순으로 많았고, 주당 잎의 건물중도 줄기와 같은 경향을 보였다. 葉莖比는 유리온실에서 1.49, PC 온실에서 1.52, PET 온실에서 1.48, PE 하우스에서 1.58 을 각각 나타나 PE하우스에서 가장 높았다.

시설에 따라 고추의 開花, 落花, 着果 및 收穫 소요일수를 Table 3에 나타내었다. 먼저 파종에서 개화까지의 소요 일수는 유리온실에서 72.7일로 가장 빨랐고, PC 온실 73.3일, PET 온실 74.3일 그리고 PE 하우스에서는 75.7일이었다. 고추는 개화 소요일수가 품종과 적산온도에 따라 다르게 나타나는데, 본 실험에 공시한 '녹광고추'는 시설에 따라 열수지의 차이로 인한 적산온도는 각기 달라서 시설별로 차이가 있었던 것으로 생각된다. 생육초기의 낙화율은 유리온실에서 3.9%, PC 온실에서 4.7%, PET 온실에서 9.8% 및 PE 하우스에서 12.6%이었다. 고추의 낙화에 대하여 송(1975)은 고추의 포화조도는 50~60 klux 정도인데, 광도의 저하에 따라 동화작용이 억제되어 糖類와 탄수화물의 함량이 적어져서 낙차 및 낙과 현상이 발생한다고 하였다. 또한 堀 등(1968)은 피망의 광합성은 조도가 높을 경우 15~25°C 범위의 온도에서는 차이가 없으나 30°C 이상에서는 급격히 저하된다고 하였다. 조사된 낙화 및 낙과는 8, 9월에 환기이외에는 적극적인 냉방시설이 없어 한낮의 시설내 기온이 35°C 이상으로 매우 높았고, 잦은 강우와 피복자재의 광투과율이 낮았던 것이 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 여겨진다. 꽃이 피어 과실의 길이가 2.0 cm 이상으로 커진 과실을 기준으로 한 착과율은 유리온실에서 89.7%, PC 온실에서 88.5%, PET 온실에서 87.6%및 PE 하우스에서 81.3% 로 나타나 유리, PC, PET 온실에서는 정도의 차이는 있었으나 통계적으로 유의성은 인정되지 않았다. 그러나 PE하우스에서는 6.3-8.4% 정도 낮은 수준을 보였다. 시설유형별 고추의 개화에서 수확까지의 소요 일수는 유리온실에서 14.3일, PC 온실에서 15.0일, PET 온실에서 15.3일 그리고 PE 하우스에서 16.7일이었다.

시설유형별 풋고추 수량과 품질을 살펴보면 먼저 과실의 果長, 果徑, 果肉두께, 乾物率, 비타민 C 그리고 不姙果率은 Table 4와 같다. 果長은 유리온실에서 13.5 cm 가장 길었고 PC 온실에서 12.8 cm, PET 온실에서 12.7 cm 그리고 PE 하우스에서 11.9 cm이었으며 과실 중간을 측정한 果徑은 유리온실에서 13.6 mm, PC 온실에서 11.1 mm, PET 온실에서 11.0 mm 및 PE 하우스에서 10.5 mm이었으나, 果肉의 두께는 PE 하우스에서 2.02 mm로 가장 두꺼웠고, PET 온실에서 1.90 mm, PC 온실에서 1.80 mm, 유리온실에서 1.77 mm를 각각 나타냈다. 풋고추 乾物率은 유리온실에서 8.2%, PC 온실에서 13.7%, PET 온실에서 14.4%, PE 하우스에서 17.1%를 각각 보여서 수확 소요일수가 길어 과육두께가 두꺼울수록 건물율이 높은

Table 4. Characteristics of pepper fruit harvested at 70 days after transplant and yield, marketability in different greenhouses

Greenhouse	Fruit length (cm)	Fruit diameter (mm)	Flesh thickness (mm)	Dry/fresh rate (%)	Fruit sterility (%)	Vitamin C (mg/100 g)	[z]Yields (kg/10a)	Marketable ratc (%)
Glasshouse	13.5 a	13.6 a	1.77 c	8.2 c	3.4 c	97.7 a	7468.6 a	95.3 a
PC house	12.8 b	11.1 b	1.80 c	13.7 b	5.3 b	91.3 a	7018.4 b	91.9 b
PET house	12.7 b	11.0 b	1.90 b	14.4 b	5.7 b	88.7 a	6758.0 c	91.8 b
PE house	11.9 c	10.5 b	2.02 a	17.1 a	10.4 a	65.3 b	6460.3 d	89..8 c

*Means within a column followed by the same letter are not significantly different by Duncan's multiple range test at 5% level
[z] : Green pepper was harvested from Nov. 1996 to Aug. 1997

것으로 나타났다. 고추의 불임과율은 유리온실에서 3.4%, PC 온실에서 5.3%, PET 온실에서 5.7%, PE 하우스에서 10.4%이었다. 시설간에 불임과율의 차이가 있는 것은 난방기의 최저온도를 15°C로 관리하였으나 시설유형별로 온도편차가 크고 특히 PE 하우스에서는 지온의 조절이 어려워 나타난 결과로 생각된다. 비타민 C의 함량은 유리온실에서 97.7 mg/100 g, PC 온실에서 91.3 mg/100 g, PET 온실에서 88.7 mg/100 g 및 PE 하우스에서 65.3 mg/100 g으로서 유리, PC 및 PET에서는 유의성이 없었고, 이들 시설과 PE 하우스와는 유의성이 인정되었다. 권 등(1996)의 보고에 의하면 비타민 C는 토마토에서 시설내 광투과율의 차이에 따라 다르다고 하였는데, 본 실험에서도 시설 유형에 따른 광투과율의 차이로 인하여 비타민 C의 함량이 다르게 나타난 것으로 생각된다. 수량은 유리온실, PC 온실, PET 온실, PE 하우스에서 각각 7468.6 kg/10a, 7018.4 kg/10a, 6758.0 kg/10a, 6460.3 kg/10a을 보였는데, PC 온실과 PET 온실에서의 수량이 유리온실보다는 450.2 kg/10a, 710.6 kg/10a 적었고, PE 하우스보다는 558.1 kg/10a, 297.7 kg/10a이 많아 생장해석 결과와 유사한 경향을 보였다.

Literature cited

1. Godbey, L. C., T. E. Bond, and H. F. Zorig. 1979. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as for solar collectors and greenhouses. Trans. Am. Soc. Agric. Eng. 22:1137-1144.
2. Kwon, Y.S., N.Y. Heo, T.Y. Kim, H. Chun, J.S. Kwon. 1996. Studies on fruit vegetables productivity and quality differentiation on greenhouses in Korean middle and south area. Res Rept. 686-707. Nat'l Hor. Res. Institute (in Korean).
3. McNaughton, K. G., A. K. H. Jacson, and I. J. Warrington. 1981. Greenhouse covering materials ; optical and thermal properties of some materials available in New Zealand. Plant. Physiol. Div., Rept. Sci. Ind. Res, New Zeal., Tech. Rep. 9.
4. Pierce, J. H. 1982. Solar growing techniques. Proc. 21st Ins. Hortic. Congr. II:1930 (Abstr.)
5. Song, K.W. 1975. Studies on the photosynthetic characteristics of hot pepper. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 16:192-199 (in Korean).
6. White, J. H. 1984. Greenhouse coverings-present status and future trends. Growers Talks 48(4):64-71.
7. Woo, Y. H. 1995. Growth response of spinach(*Spinacia olreracea*). as affected by cooling methods and covering materials of summer greenhouses and analysis of cooling efficiency. phD thesis, Kyunghee Univ. (in Korean).
8. 堀裕, 新井, 和夫, 選穰, 白石憲郎. 1968. 光條件に對するそ菜の生育反應に關する研究(2).長時間照明がそ菜の生育に及ぼす影響. 野試年譜. A7:173-185, A9:181-188.
9. 星野和生, 吉川夫, 野口正樹, 池田澄男. 1977. 野菜の水量成立要因の 解析に關する研究. I. 生長解析法によるレタスの多數條件の檢索. 野試年譜. A(3):1-29.
10. 原歯芳信, 陳青雲, 吉本眞由美. 1997. フイルム付着水がハウス內の日射透過, 溫濕度環境に及ぼす影響. 農業氣象. 53(3):175-183.

시설유형별 재배방식이 풋고추 생육과 수량에 미치는 영향

전 희* · 김경제[1] · 우영회
원예연구소 시설재배과, [1]동국대학교 식물자원학과

적 요

온실의 환경조절장치가 차별화된 유리온실, PC 온실, PET 온실 및 PE하우스에서 풋고추의 재배효과를 구명하고자 시험을 하였다. 유리온실의 투광율은 64.7%로 가장 높았다. 밀폐시 기온은 유리온실에서 가장 높았고, 환기시 기온은 PE 하우스에서 가장 높았다. 하루중 상대습도는 PE 하우스에서 가장 높았다. 지중 축열에너지 효율은 유리온실에서 가장 높았고, 야간에 에너지는 지중에서 방출되어 온실의 벽면을 통하여 빠져나갔다. 온실 내 기온상승을 유발하는 요인은 잠열과 태양에너지이었다. 오전 11시에 유리온실의 기온은 27.5℃로서 가장 높았다. 정식 후 30일에 초장과 엽면적의 차이가 온실간에 분명하였다. 녹광고추의 첫 꽃 개화 소요일수는 유리온실에서 72.7일 가장 빨랐다. 낙과율은 PE 하우스에서 12.6%로 가장 높았다. 과장, 과경, 과육두께 및 비타민 C의 함량 등 품질은 유리온실에서 가장 우수하였다. 상품율은 수경재배를 한 유리온실에서 95.3%로 가장 높았다.

주제어 : 온실, 풋고추, 최적엽면적