

차광제와 이류체 포그시스템을 이용한 고온기 시설내 환경관리

김성은^{1*} · 이재은¹ · 이상돈¹ · 김학선¹ · 전희² · 정우리³ · 이문행⁴ · 김영식^{1†}

¹상명대학교 식물식품공학과, ²농촌진흥청 원예특작과학원, ³농업법인회사 세론, ⁴부여토마토시험장

Optimum Management of Greenhouse Environment by the Shading Coat and Two-fluid Fogging System in Summer Season

Sung Eun Kim^{1*}, Jae Eun Lee¹, Sang Don Lee¹, Hak Sun Kim¹, Hee Chun², Woo Ri Jeong³, Moon Haeng Lee⁴, Sang Youn Sim⁵, and Young Shik Kim^{1†}

¹Department of Plant and Food Sciences, Sangmyung Univ. Cheonan Campus, 31, Sangmyeongdae-gil, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 330-720, Korea

²National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Suwon 440-706, Korea

³Agricultural corporation SERON, 39, Sodaengyi 4 street, Seonggeo-Eup, Seobuk-Gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 331-834, Korea

⁴Buyeo Tomato Experiment Station, C.A.R.E.S, Buyeo, Chungnam, 323-814, Korea

Abstract. This research was conducted to establish efficient methods to overcome high temperature and low humidity with light selective shading agent and two-fluid fogging system in greenhouses in hot season. There were four experimental treatments; not treated (Non), fogging by two-fluid fogging system (Fog), spraying onto the greenhouse surface with shading coating agent (Coat), and using fogging and coating together (F&C). The amount of solar radiation entered into the greenhouses was higher in Non, and then Fog, Coat, and F&C in descending order. Fog was more efficient to lower the air temperature and also raise relative humidity than Coat treatment. The crop temperature was about 6°C higher in Control than the other treatments. F&C revealed as the most efficient method to control the environment inside the greenhouse, but fogging system seemed to be more economic. In stand-alone greenhouses spraying coating agent may be the appropriate choice because of their structural limitations, mainly eave height.

Additional key words : cooling method, crop temperature, light intensity, optional light shading coat, temperature

서 론

사계절이 뚜렷한 기후를 갖고 있는 우리나라에서 작물을 연중재배하기 위해서는 작물생산시설의 활용이 필수적이며, 고온기와 저온기에 시설내 환경관리를 통해 작물의 생육에 적절한 환경을 제공하는 기술이 반드시 필요하다. 고온기에는 외부의 높은 온도와 시설내로 유입되는 광량의 증가로 시설내 온도가 지나치게 상승하며, 이를 완화하기 위해 측창과 천창을 개방하므로 발생하는 이산화탄소의 불균형과 시설내 건조의 문제 등으로 작물을 재배하기 불량한 환경이 초래된다. 따라서 농가의 경쟁력을 고려하여 저비용 고효율의 고온기 시설 냉방법의 개발이 매우 중요하다(Kim 등, 2006; Ha 등, 2012).

전 세계적으로 작물생산시설에 사용되고 있는 냉방법

으로는 환기, 차광, 증발냉각 등이 있다. 환기나 차광은 시설내 온도가 33°C 전후일 때 효과가 있으며, 40°C 이상의 고온인 경우에는 fan-pad 시스템, Fog나 mist 시스템, 또는 수막시설 등의 증발냉각을 이용하는 것이 효과적으로 보고되어 있다(Sethi와 Sharma, 2007). 차광 스크린을 설치하는 차광법은 시설내로 유입되는 일사량의 일부를 차단함으로써 고온기 복사열에 의한 온도상승을 억제하고, 일소방지 등의 효과를 얻을 수 있지만(Lee 등, 1998a, 1998b), 설치비용이 많아 농가가 쉽게 적용하기에 어려움이 있다. 또한 증발냉각을 이용하는 냉방법도 과도한 시설비와 운영비로 경제적 부담이 매우 크고, 야간의 과습 등의 문제로 적극적인 사용이 어려운 실정이다(Lee 등, 2006; Lee 등, 2001; Woo, 2000).

과다한 시설투자비용을 하지 않으면서 고온기 시설내 고온과 건조의 문제를 해결하기 위해 도입할 수 있는 냉방법에 대한 관심이 높아지고 있다(Ha 등, 2012). 차광제는 시설투자를 하지 않으므로 초기 투자비와 유지관

*Corresponding author: youngskim77@gmail.com
Received January 19, 2015; Revised February 22, 2015;
Accepted March 02, 2015

리비가 적고, 다양한 수준과 선택적 광과장 차단과 투과가 가능한 장점이 있다(An 등, 2010). 포그시스템은 고온기 온실의 온습도를 조절하여 작물 생육에 좋은 환경을 조성할 수 있는 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2011). 따라서 고온기 시설의 온도와 상대습도를 가장 경제적으로 관리할 수 있는 방법으로 차광제와 포그시스템의 복합사용에 대한 연구가 필요하다. 또한 우리나라의 플라스틱 하우스의 70~80%를 점하고 있는 단동하우스에서는 하우스 구조, 설치경비에 따른 경제성 등의 문제로 사용할 수 있는 냉각법이 제한적이다.

따라서 본 실험은 광과장 선택형 차광제와 이류체 포그시스템을 이용하여 고온기 작물의 생육 제한요인으로 작용하는 시설내 고온과 건조문제를 해소할 수 있는 적정 냉각법을 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

고온기 차광제와 이류체 포그시스템을 이용한 시설내 환경관리 실험은 2013년 5월 30일부터 9월 30일까지 수행하였다. B-블로킹을 대목으로 하고, 유니콘을 접수로 접목한 방울토마토 접목묘를 공시재료로 사용하였다. 과종 및 육묘는 논산 늘푸른육묘장에서 하였고, 정식 및 실험은 충남 아산시 배미동 소재 단동 플라스틱 하우스(폭 7m, 길이 38m, 측고 2.5m, 동고 3.8m) 4개동에서 수행하였다.

전 실험기간 중에 처리외의 재배조건은 모두 동일하게 적용하였다. 4개동 모두 토경재배를 하였고, 각 동마다 열 간격은 80cm, 그루 간격은 25cm로, 재식밀도는 3.3 그루/m²로 하였다. 실험처리당 작물은 총 876주를 재배하였고, 처리당 20주씩 조사하였다. 실험 전에 퇴비를 충분히 주었으며, 재배기간 동안 생육단계에 따라 야마자키 토마토 전용배양액을 EC 0.5~2.0dS·m⁻¹ 농도로 점차 증가하여 공급하였다. 급액제어는 타이머 제어법을 이용하여 맑은 날 기준 1일 3~4회, 1회 4분간 주당 300mL씩 급액 하였고, 흐리거나 우천 시에는 급액을 하지 않았다.

실험처리는 차광제(ReduHeat, Mardenkro B.V., Netherlands)와 이류체 포그시스템을 설치하지 않은 대조구(Non), 이류체 포그시스템만 설치하여 작동한 처리(Fog), 차광제만 도포한 처리(Coat), 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C)의 총 4 처리구로 실험하였다. 차광제는 6월 4일에 차광제만 도포한 처리(Coat)와 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C)를 2개동에 살포하였다. 이류체 포그시스템은 온실 내부온도가 28°C 이상이거나 상대습도가 75% 이하로 낮아지면 120초 작동하고 90초

휴식하는 방법으로 일일 작동시간은 오전 9시부터 오후 6시까지로 하였다. 본 실험의 특성상 반복처리는 하지 않았다.

처리효과를 구명하기 위해 시설내외의 광도(PAR)와 광량(Watt), 온도, 상대습도, 작물의 품온을 조사하였다. 처리 시설내부의 광도 측정에는 PAR 센서(Sol-PAR, RainWise, INC, USA)와 데이터로거(HTR-20, Useem INC, Korea)를 이용하였고, 광량 측정에는 Watt 센서(Sol-Joule, RainWise, INC, USA)를 이용하였다. 작물의 품온 측정은 적외선 온도계(testo 830, Testo Korea, Germany)를 이용하여 생장점에서 10~13번엽 중에서 광에 노출되어 있는 잎을 선택하여 측정하였고, 시설내외의 온습도는 온습도 센서와 데이터로거(HTR-20, Useem INC, Korea)를 이용하여 측정하였다. 시설외부 온습도는 각 처리당 1개 위치에 2반복으로 총 8개의 센서를 설치하여 조사하였고, 시설내부 온습도 조사에는 각 처리당 높이별로 3개 위치에 2반복으로 총 9개씩 센서를 설치하여 조사하였다.

조사된 데이터는 사분위수 범위(IQR: InterQuartile range)를 검사하여 오차범위 내의 값을 SPSS 통계패키지를 이용하여 통계처리 하였고, 표현은 시그마플롯 ver.10(Systat Software Inc, UK)을 이용하였다.

결과 및 고찰

7~8월 기간 동안 맑은 날(일일평균일사량이 400W 이상인 날) 실험온실내로 유입되는 일사량(열량)은 냉각법을 적용하지 않은 대조구(Non), 이류체 포그시스템을 이용한 증발냉각법 적용 처리(Fog), 차광제를 도포한 처리(Coat), 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C) 순으로 많았다(Fig. 1). 적외

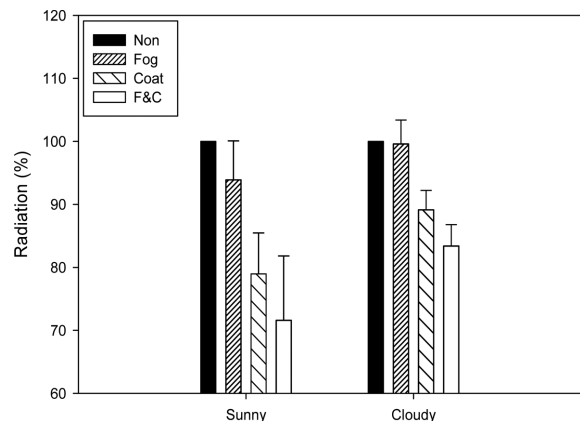


Fig. 1. Mean daily solar radiation entered into the treated greenhouses (Jul.~Aug., 2013). Sunny or cloudy day is divided on the mean daily solar radiation of 400 W. The values for other treatments are the comparative ratios to the value for the control treatment, 100%.

선 선택 차광제를 도포한 2가지 처리(Coat, F&C)에서 통계적 유의성이 있게 시설내 유입되는 일사량이 감소하는 것을 확인하였다. 특히 시설내 유입되는 일사량은 맑은 날에 처리간 차이가 크게 나타났다. 따라서 시설내 유입되는 일사량을 감소하여 시설내 온도하강을 하기 위해서는 적외선 선택 차광제를 활용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

시설내로 유입되는 일사량을 감소하는 방법으로는 차광제를 도포하는 것이 효과적인 것으로 나타났으나, 시설내 기온을 낮추는 방법은 이류체 포그시스템을 작동하여 증발 냉각하는 방법이 더 효과적인 것으로 조사되었다(Fig. 2). 이류체 포그시스템을 이용한 증발냉각법은 대조구보다 3~5°C, 차광제 처리구보다 2~3°C 정도 시설내 온도를 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 이는 시설내 부 온도가 35°C 이하에서는 환기나 차광법이 효과가 있으나, 40°C 이상의 고온에서는 증발냉각법이 효과적이라는 Sethi와 Sharma의 보고(2007)와 유사한 결과이다.

이류체 포그시스템을 작동하는 증발냉각법의 경우에는 시설내 온도하강 뿐만 아니라 상대습도를 상승하는 효과가 있는 것으로 나타났다(Fig. 3). 맑은 날에는 이류체 포그시스템을 작동한 처리구들에서 대조구와 차광제 도포처리에 비해 약 20% 이상 높은 60~65%의 상대습도로 조사되어, 본 실험에서는 적정 상대습도에 도달하지 못했으나 추후에 이류체 포그시스템의 작동방법을 조절한다면 시설내 건조 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 고온기 시설내 고온건조한 환경으로 인한 작물의 생육과 상품성 저하 문제도 해결할 수 있는 대안이 될 것으로 사료된다.

작물의 엽온(품온)에 영향을 주는 요인에는 시설내 온도와 상대습도를 들 수 있다. 일반적으로 건강하고 활력

적인 작물은 활발한 증산으로 엽온(품온)이 기온보다 3~5°C 정도 낮고, 병에 걸린 작물은 증산이 정상적으로 이루어지지 않아서 엽온과 특히 병반 부위가 기온보다 2~3°C 높다고 보고되어 있다(Bernard 등, 2013; Giorio, 2012; Vermeulen, 2012). 다른 처리구에 비해 대조구의 품온이 10% 이상 (약 6°C 이상) 높은 것으로 조사되었는데(Fig. 4), 이는 대조구의 시설내 높은 기온과 낮은 상대습도로 인해 작물이 정상적인 증산작용을 하지 않기 때문인 것으로 사료된다.

차광제의 도포처리나 이류체 포그시스템의 작동이 시설내 PAR(Photosynthetically Active Radiation)에 미치는 영향을 구명하기 위해 Quantum sensor를 이용해 측정해 본 결과(Fig. 5), 냉각법을 적용하지 않은 대조구(Non), 이류체 포그시스템을 이용한 증발냉각법 적용 처리

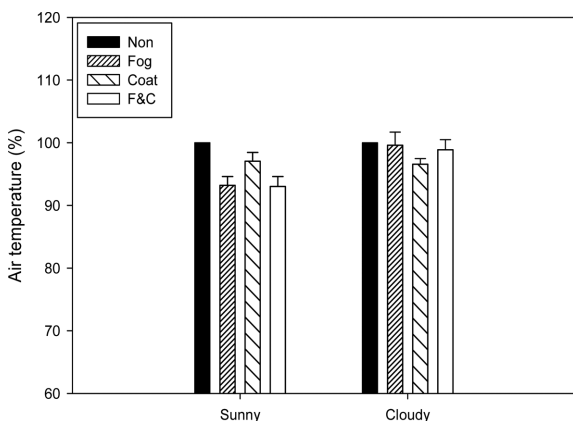


Fig. 2. Mean daily temperature in the treated greenhouses (Jul.~Aug., 2013). Sunny or cloudy day is divided on the mean daily solar radiation of 400 W. The values for other treatments are the comparative ratios to the value for the control treatment, 100%.

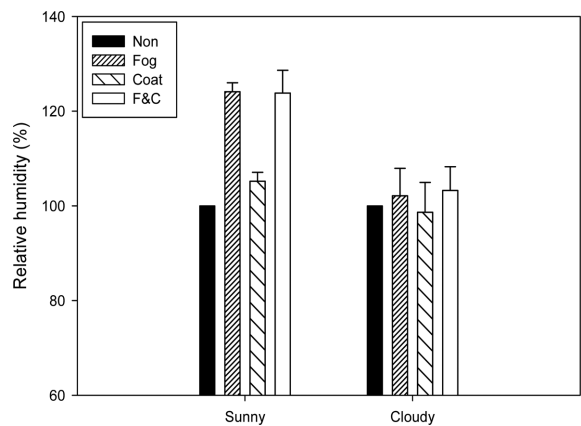


Fig. 3. Mean daily relative humidity in the treated greenhouses (Jul.~Aug., 2013). Sunny or cloudy day is divided on the mean daily solar radiation of 400 W. The values for other treatments are the comparative ratios to the value for the control treatment, 100%.

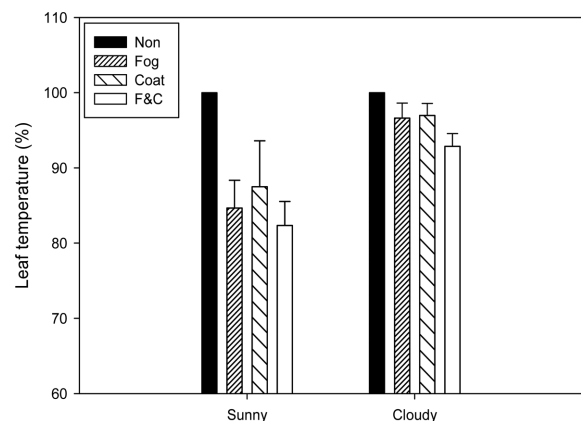


Fig. 4. Mean daily crop temperature in the treated greenhouses (Jul.~Aug., 2013). Sunny or cloudy day is divided on the mean daily solar radiation of 400 W. The values for other treatments are the comparative ratios to the value for the control treatment, 100%. Each value is the mean of 20 plants.

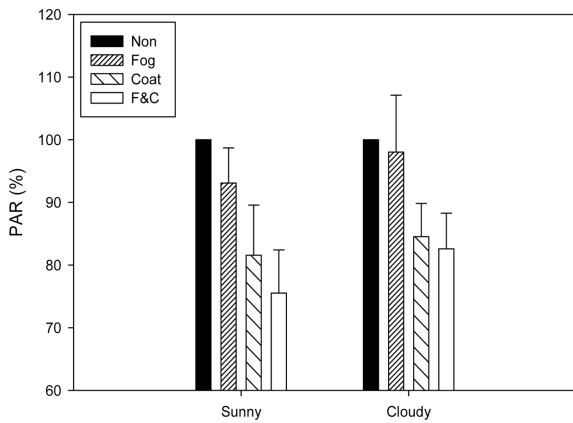


Fig. 5. Monthly mean PAR in the treated greenhouses (Jul~Aug, 2013). Sunny or cloudy day is divided on the mean daily solar radiation of 400 W. The values for other treatments are the comparative ratios to the value for the control treatment, 100%.

(Fog), 차광제를 도포한 처리(Coat), 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C) 순이었으며, 차광제를 도포한 처리(Coat)와 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C) 간에는 통계적 유의성이 없어서 차이가 없는 것으로 조사되었다. 본 실험에서 사용한 차광제는 적외선 선택차광 기능이 있는 제품이었으나, 조사결과에 따르면 PAR도 일부 차광하는 것으로 나타났다.

고온기 환경조절을 위해 본 실험에서 사용된 처리에 대한 소요비용 및 운영비용을 추산해 본 결과는 다음과 같다(Table 1). 대조구의 경우 차광제와 제거제 구입비용 및 살포에 소요되는 노동력의 소모 등이 없으므로 환경 조절을 위한 추가비용은 없으나, 혹서기에 단동플라스틱 하우스에서는 고온과 건조로 인해 작물재배가 매우 어려워 거의 이루어지지 않는다. 이류체 포그시스템은 대부분의 농가가 지하수를 이용하기 때문에 물 이용에 대한 비용은 발생하지 않으며, 단지 시스템 작동을 위한 전기료만 발생한다. 하루 9시간동안 120초 작동 90초 휴식을 반복하면 1일 작동시간은 5.1시간이며, 사용하는 전력량은 3kW이므로 2개월간 전기사용료는 약 40,000원으로 추산되어 운영비용은 매우 저렴한 것으로 판단된다. 또한 이류체 포그시스템은 약제 방제시에 매우 효과적으로 사용할 수 있어 그 활용도가 연중 가능할 것으로 사료된다. 그러나 초기 설치비용이 많이 소요되고, 설비이기 때문에 사용연한을 10년으로 산정하고 매해 10%의 감가상각을 고려해야 하는 단점도 있다. 차광제 도포는 별다른 설비를 하는 것이 아니라 피복재에 화학약품으로 차광막을 형성하는 방법으로 구조적으로 냉방이나 차광 설비가 불가능한 단동플라스틱하우스에 차광 및 냉방 방법으로 사용할 수 있는 매우 효과적이고 경제적인 방법이

Table 1. Costs for installation and operation for the treatments.

Treatment ^z	Installation cost (won/10a/10year)	Operation cost (won/10a/10year)	Total (won/10a/10year)
Non	0	0	0
Fog	6,000,000	400,000	6,400,000
Coat	10,050,000	0	10,050,000
F&C	16,050,000	400,000	16,450,000

^z Non is not treated, Fog is to fog by two-fluid fogging system, Coat is to spray onto the greenhouse surface with shading coating agent, and F&C is to use fogging and coating together.

Installation cost: Cost for installation including labor.

Operation Cost: Cost for water and electricity needed for operation.

다. 그러나 이 방법도 운영비는 소요되지 않으나, 해마다 도포와 제거를 해야 하므로 차광제와 제거제 비용 및 인건비가 매년 소요되는 단점이 있다. 이류체 포그시스템과 차광제 도포를 함께 하는 것은 고온기 환경관리에 가장 효과적이거나 비용이 많이 소요된다.

대조구, 차광제 도포, 이류체 포그시스템을 이용한 증발냉각 및 차광제 도포와 이류체 포그시스템의 복합처리에 대한 경제성 분석은 매우 어렵다. 왜냐하면 각 처리별 소요비용을 계산하고, 가장 효과적으로 고온기 환경을 조절할 수 있는 처리의 선택은 가능하다. 그러나 처리에 의해 증대되는 생산량 및 상품성을 금액으로 환산하는 것은 매우 어렵다. 생산량의 증대나 상품성의 향상은 환경에 의한 영향도 있지만 재배자의 기술, 재배방법, 관수 관리 등 다른 요인에 의한 영향 및 편차가 매우 크게 존재하기 때문이다.

충남 지역 토마토 농가에서는 고온기(7~8월)에 고온 건조한 온실내 생육환경으로 작물재배가 부적합하므로 9월에 정식하여 다음해 6월에 마치는 작기를 대부분 선택하고 있다. 그러나 본 실험을 통해 고온기 단동플라스틱 하우스에서도 작물의 생육에 적합한 환경을 제공할 수 있는 것으로 구명되어, 차광제 도포나 이류체 포그시스템 작동, 또는 두 처리의 복합처리로 충남 토마토 농가 및 유사한 작기를 채택하고 있는 농가에서도 고온기에 단동플라스틱하우스에서 토마토를 재배하는 것이 가능하여 연중 안정적인 토마토 생산이 가능할 것으로 판단되었다.

따라서 차광제 도포, 이류체 포그시스템을 이용한 증발냉각 및 차광제 도포와 이류체 포그시스템의 복합처리를 실시하면 고온기 시설내 광, 온도, 상대습도 환경을 효과적으로 조절이 가능하며, 이 중 가장 효과적인 방법으로는 이류체 포그시스템과 차광제 도포를 함께 하는 것이었다. 그러나 효과와 경제성을 함께 고려한다면 이류체 포그시스템을 활용하는 것이 가장 좋은 것으로

판단된다. 그리고 측고가 낮은 단동하우스의 경우에는 구조적인 제약이 있으므로 이류체 포그시스템의 설치보다는 광선 선택형 차광제를 도포하는 것이 더 좋은 방법으로 사료된다.

적 요

본 실험은 광과장 선택형 차광제와 이류체 포그시스템을 이용하여 고온기 시설내 고온과 건조문제를 해소할 수 있는 적정 냉각법을 구명하기 위하여 수행되었다. 실험처리는 차광제와 이류체 포그시스템을 설치하지 않은 대조구(Non), 이류체 포그시스템만 설치하여 작동한 처리(Fog), 차광제만 도포한 처리(Coat), 외부에 차광제를 도포하고 내부에 이류체 포그시스템을 작동한 처리(F&C) 등이었다. 유입 일사량(열량)은 Non, Fog, Coat, F&C 순으로 많았다. 시설내 기온을 낮추는 방법으로는 이류체 포그시스템이 더 효과적이었다. 또한 이류체 포그시스템을 처리하면 상대습도도 적절히 조절할 수 있었다. 작물의 품온은 다른 처리구에 비해 대조구에서 약 6°C 이상 높았다. 연구결과, 고온기 시설내 광, 온도, 상대습도 환경조절에 가장 효과적인 방법은 이류체 포그시스템과 차광제 도포를 함께 하는 것이나, 효과 및 경제성을 함께 고려한다면 이류체 포그시스템을 활용하는 것이 가장 좋은 것으로 판단된다. 그러나 단동하우스의 경우에는 구조적 제약으로 이류체 포그시스템의 설치보다 광선 선택형 차광제를 도포하는 것이 더 좋은 방법으로 사료된다.

추가주제어 : 냉방법, 광선 선택형 차광제, 일사량, 온도, 품온

사 사

이 연구의 일부는 농림축산식품부 첨단생산기술개발사업 농업에너지절감모델개발사업단 (514005-03-1-HD070)에 의해 수행되었음.

Literature cited

An, C.G., Y.H. Hwang, H.S. Yoon, J.S. Shim, J.U. An, and Y.H. Chang. 2010. Effects of shading agent on growth and

yield of paprika. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 28(Supplement 1): 172(Abstract).

Bernard, F., I. Sache, F. Suffert, and M. Chelle. 2013. The development of a foliar fungal pathogen does react to leaf temperature. *New Phytologist* 198: 232-240.

Giorio, P., V. Nuzzo, G. Guida, and R. Albrizio. 2012. Black leaf-clips of a commercial fluorometer increased leaf temperature during dark adaptation under high solar radiation. *Photosynthetica* 50: 467-471.

Ha, J.B., C.S. Lim, H.Y. Kang, Y.S. Kang, S.J. Hwang, H.W. Mun, and C.G. An. 2012. Effect of shading methods on growth and fruit quality of paprika in summer season. *J. of Bio-Environ. Con.* 21: 419-427.

Kim, Y.B., J.C. Park, S.K. Lee, S.T. Kim, W.J. La, M.R. Huh, and S.W. Jeong. 2006. Analysis of cooling effect on the plastic film cover of greenhouse module depending on the shade and water curtain. *J. of Bio-Environ. Con.* 15: 306-316.

Lee, H.W. and Y.S. Kim. 2011. Application of low pressure fogging system for commercial tomato greenhouse cooling. *J. of Bio-Environ. Con.* 20:1-7.

Lee, J.H., Y.B. Lee, J.K. Kwon, N.J. Kang, H.J. Kim, Y.H. Choi, J.M. Park, and H.C. Rhee. 2006. Effect of greenhouse cooling and transplant quality using geothermal heat pump system. *J. of Bio-Environ. Con.* 15: 211-216.

Lee, S.G., H.W. Lee, K.D. Kim, and J.W. Lee. 2001. Effect of shading rate and method on inside air treatment change in greenhouse. *J. of Bio-Environ. Con.* 10: 80-87.

Lee, S.G., J.W. Lee, and H.W. Lee. 1998a. The influence of outside temperature upon shading effect in greenhouse. *Proc. of the Kor. Soc. of Agricultural engineers 1998 conference.* p. 243-249.

Lee, S.G., J.W. Lee, H.W. Lee, and Z.H. Lee. 1998b. The effect of shading of on the inside temperature of greenhouse. *Proc. of the Kor. Soc. of Agricultural engineers 1998 conference.* p. 33-38.

Sethi, V.P. and S.K. Sharma. 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy* 81: 1447-1459.

Vermeulen, K., J.M. Aerts, J. Dekock, P. Bleyaert, D. Berckmans, and K. Steppe. 2012. Automated leaf temperature monitoring of glasshouse tomato plants by using a leaf energy balance model. *Agriculture* 87:19-31.

Woo, Y.H. 2000. The technology for effective growing management of horticultural crop at summer season. *National Agricultural Mechanization Research Institute. Rural Development Administration.* p. 5-30.