

증발 냉각방식을 이용한 딸기 수경재배의 배지 온도조절 기술 개발

김기동¹ · 하유신² · 이기명² · 박대흠³ · 권순구⁴ · 박종민⁴ · 정성원^{4*}

¹한양테크, ²경북대학교 생물산업기계공학과, ³태양그린에너지(주),

⁴부산대학교 바이오산업기계공학과

Development of Temperature Control Technology of Root Zone using Evaporative Cooling Methods in the Strawberry Hydroponics

Ki Dong Kim¹, Yu Shin Ha², Ki Myung Lee², Dae Heum Park³,
Soon Gu Kwon⁴, Jong Min Park⁴, and Sung Won Chung^{4*}

¹Hanyangtech Co., Daegu 702-050, Korea

²Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

³Sun Green Energy Co., Ltd., Daegu 711-892, Korea

⁴Dept. of Bio-Industrial Machinery Engineering, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea

Abstract. It is necessary to develop an efficient and affordable cooling technology and apply the practical system to rural farmhouse, control to adequate growth environment by adjusting temperature of root zone. A study on managing medium temperature of the hydroponics for strawberry cultivation was conducted and feasible evaporative cooling system for the media cooling were as follows: Characteristics of temperature drop were investigated for the evaporative cooling devices using microporous film duct, felt mulching on media surface, and water permeable sheet in culture tank. The evaporative device with water permeable sheet in culture tank was the most efficient and economic on media cooling system.

Key words : bed, hydroponic cultivation, medium temperature, microporous, water permeable sheet

서 론

딸기의 수경재배에서 지하부 온도에 대한 작물의 생육반응은 지상부 온도에 비하여 더욱 민감하고, 지하부 온도에 따라 생육특성이 크게 다르게 나타나기 때문에 딸기의 품질 및 수량을 증대시키기 위해서는 지하부의 근부온도 관리가 필요하다(Jang 등, 1992; Jun 등, 2008; Udagawa 등, 1991). 한편, 근부의 냉각은 뿌리의 활력을 좋게 하여 작물의 생육을 크게 개선하는 효과를 보이는 것으로 보고되고 있으며(Matsuoka, 1992; Lee 등, 1999), 일반적으로 토경에 설치한 파이프에 지하수를 흘려 열교환에 의한 지하수 순환 방식이 대부분이다(Ball, 1984; Rynk, 1985; Wiel, 1984).

최근에는 수경재배에서 배지 주위에 면직물(cotton

cloth)과 다공질필름(microporous film)을 이용하여 물을 공급한 후 송풍을 시키면 증발잠열에 의해 배지온을 낮출 수 있는 시도가 있었다(Ikeda 등, 2006, 2007). 그러나 지하부 근부온도의 효과적인 관리를 위해서는 고온기의 온실 내 기온에 따른 배지내 온도분포 특성과 효율적이고 경제적인 냉각시스템에 대한 검토가 수반되어야 하지만 이를 위한 기초자료가 부족한 실정이다.

본 연구는 딸기의 수경재배에서 증발냉각방식을 이용하여 배지의 지하부 온도를 관리할 수 있는 냉각시스템을 개발하고 고온기 온실내 기온에 따른 온도분포 특성을 분석하여 그 적용성을 검토하였다.

재료 및 방법

배지 냉각은 물의 증발냉각법을 도입하였으며, 다공질 필름 덕트법, 배지상면 기습부직포 멀칭법, 투수부 직포 재배조 표면 증발법 등 3가지 냉각시스템을 개발

*Corresponding author: chung@pusan.ac.kr
Received August 25, 2010; Revised October 10, 2010;
Accepted November 13, 2010

증발 냉각방식을 이용한 딸기 수경재배의 배지 온도조절 기술 개발

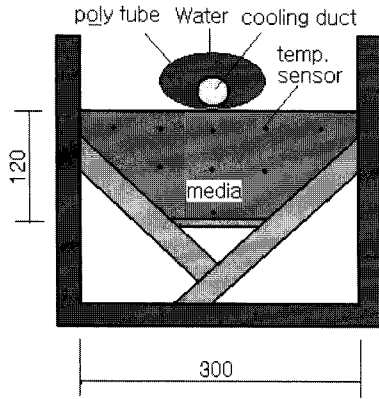


Fig. 1. A schematic of evaporative cooling device using the microporous film duct.

하여 배지냉각특성을 시험하였다.

다공질필름 덕트법은 Fig. 1과 같이 배지 내에 매설 시 배지의 함수율에 따라 스며드는 수분량이 달라 냉각이 충분하지 못할 경우 등을 고려하여 배지 상부의 크라운부에 설치하였다. 베드는 폭 300mm, 깊이 120mm, 길이 1100mm의 V형으로 하였으며, 다공질 필름 덕트는 폭 150mm의 폴리튜브에 물과 직경 40mm 다공질필름으로 제작한 냉각덕트를 봉입하여 블로워로 냉각덕트에 바람을 불어넣어 증발냉각이 되도록 모델을 구성하였다.

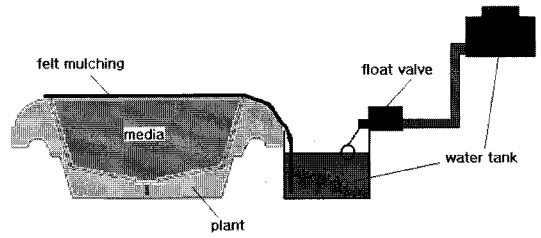


Fig. 2. Schematics of evaporative cooling devices using the felt mulching on the media surface.

배지상면 가습부직포 멀칭법은 Fig. 2와 같이 플랜트형 베드의 배지 상부에 흡수성의 부직포를 멀칭하여 수경재배 시스템을 구성한 것으로 베드 상부의 부직포에 일정수위의 수조로부터 모관수에 의하여 습윤상태의 멀칭 부직포 표면으로부터 수분을 증발시켜 배지냉각이 되도록 모델을 구성하였다.

투수부직포 재배조 표면 증발법은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 베드 재료로서 투수성의 부직포를 이용하여 수경재배 시스템을 구성한 것으로 재배조의 외측 공간에 폐배양액의 재사용을 위하여 방수시트로 집수구를 설치하여 재배조와 집수구 사이의 공간에 풍량이 150m³/min인 블로워로 1~2m/s로 송풍함으로써 습윤상태의 재배조 부직포 표면의 수분을 송풍에 의하여 강제 증발시켜 배지를 냉각시키도록 구성한 것이다. 이

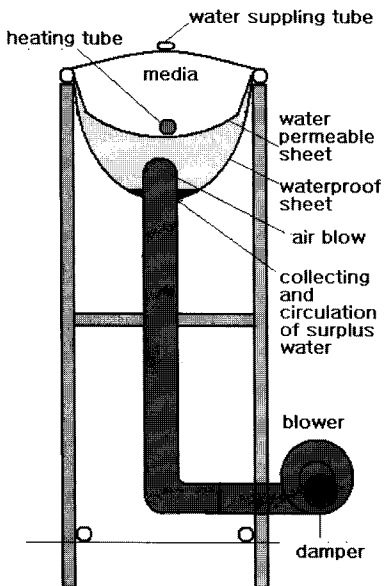


Fig. 3. Evaporative cooling devices using water permeable sheet in culture tank.

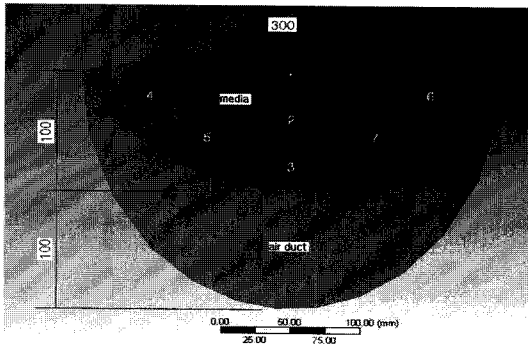


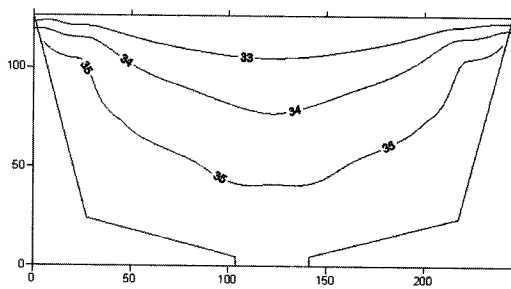
Fig. 4. Locations of temperature sensors in media.

방법은 꽃눈분화촉진처리에 의해 정화방을 분화시킨 모종을 8월중하순경부터 정식하는 초축적작형을 전제로 한 냉각시스템이다.

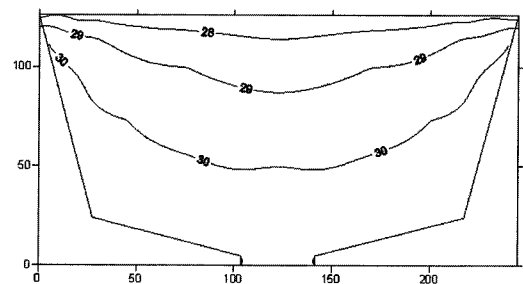
배지온도의 측정은 온도센서(T type)와 데이터로거(HP 34970A, Agilent, U.S.A.)를 사용하여 5분 간격으로 연속 측정하였다. Fig. 4는 투수부직포 재배조의 배지내 온도를 측정하는 점을 나타낸 것으로 7점을 설치하였다. 실내온도를 설정할 수 있는 육묘실에서 온실내 기온은 30, 35°C로 2수준으로 설정하여 펄라이트 80% + 피트모스20%인 배지내 온도분포를 측정하였다. 또한, 개발된 모델 중 가장 효율적인 배지냉각 방법으로 하루 24시간 동안 온실내 기온이 변화되는 환경에서 얻을 수 있는 실제의 배지 온도강하를 측정하여 비교하였다.

결과 및 고찰

Fig. 5는 배지 위에 설치된 다공질필름 덕트 내의



(a) air 35°C, RH 50%



(b) air 30°C, RH 50%

Fig. 6. Temperature distributions in media by the evaporative cooling devices using the felt mulching on media surface.

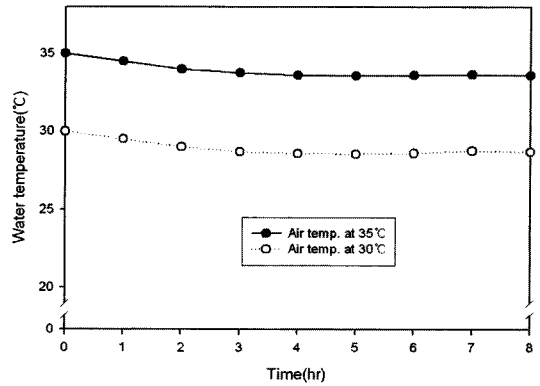


Fig. 5. Variations of water temperature in ploytube by the micro-porous film tube.

온도변화를 나타낸 것으로 폴리튜브 내의 온도는 온실내 기온 30, 35°C에 비하여 8시간 경과 후 1.2~1.5°C 정도 낮은 온도를 나타내 이 정도의 온도로는 배지를 냉각시키기에는 충분하지 않아 적절한 시스템이 아닌 것으로 판단된다.

Fig. 6은 고온시 흡수성 부직포를 배지상부에 멀칭하여 수분의 증발에 의해 배지온을 강하시킨 후 배지내 온도가 안정되었을 때의 온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기온 35°C이고 상대습도가 50% 전후인 경우에 배지 표면에서 5cm 정도 아래 지점을 33°C의 등온선이 통과하는 점으로 미루어 배지온의 강하가 별 효과가 없음을 보여주고 있다. 기온 30°C 상대습도 50%일 경우는 흡수성 부직포 표면 온도가 24.5°C이며 배지표면 아래 5cm 지점에 26°C의 등온선이 통과하였다. 또한 딸기의 뿌리가 많이 분포하고 있는 플랜트형 베드 벽면의 온도가 기온과 거의 같은 정도로 나타나 냉각효과가 아주 부족한

증발 냉각방식을 이용한 딸기 수경재배의 배지 온도조절 기술 개발

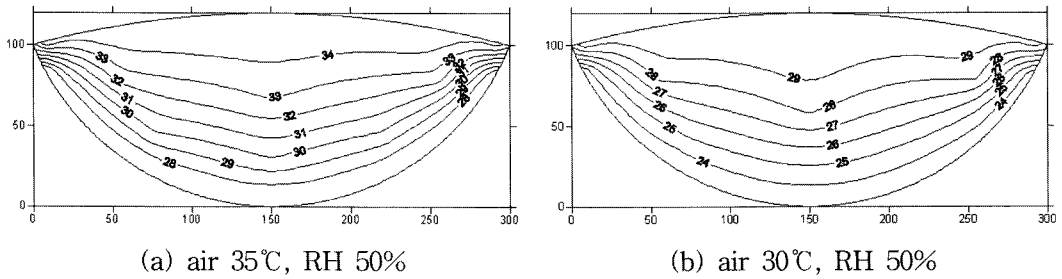


Fig. 7. Temperature distributions in media by the evaporative cooling devices using water permeable sheet in culture tank.

것으로 판단되었다. 따라서 흡수성 부직포 멀칭에 의한 증발냉각 방식은 배지의 효율적인 냉각방식으로는 실용적인 면에서 효율적이라고 보기 어렵다고 판단된다.

Fig. 7은 기온 35°C, 30°C일 때 투수부직포 재배조 배지의 송풍에 의한 강제 증발냉각 시에 배지내 온도가 안정되었을 경우 온도분포의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 배지내 온도분포는 기온

35°C인 배지표면의 온도에 대하여 상대습도 50%일 때 재배조 표면의 부직포는 27°C이며 뿌리가 많이 분포되어 있는 배지내 온도 측정점(Fig. 4의 5번점) 부근의 온도분포가 28~30°C 정도로 외기온에 비하여 5~7°C 정도 강하된 것으로 나타났다. 기온 30°C인 경우 재배조 표면의 부직포는 23°C이며 뿌리가 많이 분포되어 있는 배지내 온도는 28~30°C 정도로 외기온에

Table 1. Comparison of evaporative cooling devices near root zone (#5 sensor).

Classification	Initial media temp. (°C)	Media temp. after cooling (°C)	Temperature difference (°C)
Microporous film duct	35	35	0
Felt mulching on media surface	35	34~34.5	0.5~1
Water permeable sheet in culture tank	35	28~30	5~7

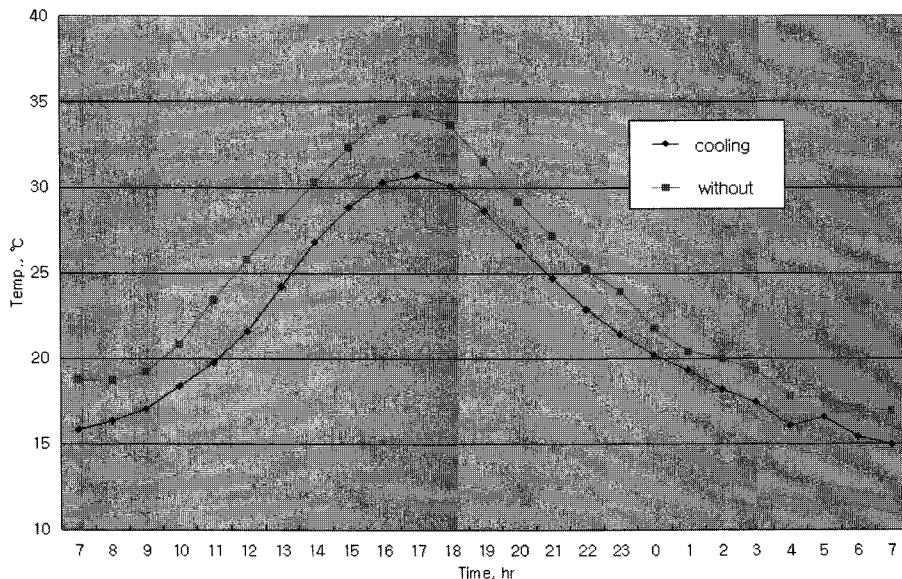


Fig. 8. Variations of media temperature by evaporative cooling devices using water permeable sheetwater.

비하여 4~6°C 정도 강하된 것으로 나타났다. 이것은 전술한 다공질 필름 덕트법과 배지상면 가슴부직포 멀칭법 등에 비하여 냉각효과가 크게 향상된 것으로 판단된다.

이상과 같이 다공질 필름 덕트법, 배지상면 가슴부직포 멀칭법, 투수부직포 재배조 표면 증발법 등 일련의 실험을 비교한 결과를 Table 1에 나타내었다. 실험 결과는 기온 35°C이고 상대습도 50%일 때의 배지내 뿌리가 많이 존재하는 5번 점에서 투수부직포 재배조 표면 증발법이 가장 효율적인 배지냉각 방법이라고 판단된다.

또한 Fig. 8은 배지내 딸기의 뿌리가 가장 많이 분포하는 점(Fig. 4의 5번점)에서 온도 일변화의 결과를 나타낸 것이다. 하루 중 최고온도가 34°C 정도로 고온일 때 투수성 부직포 재배조 배지의 송풍에 의한 강제 증발냉각으로 최대 4.2°C의 온도강하가 나타났으며, 최저 1.1°C, 평균 2.6°C의 온도강하 효과가 있었다. 이것은 하루 24시간 동안 온실내 기온과 상대습도가 변화되는 환경에서 얻을 수 있는 실제의 온도강하로 고온 시 큰 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 딸기의 수경재배에서 증발냉각방식을 이용하여 배지의 지하부 온도를 관리할 수 있는 냉각시스템을 개발하고 고온기 온실내 기온에 따른 배지내 온도분포 특성을 분석하고자 다공질 필름 덕트법, 배지상면 가슴부직포 멀칭법, 투수부직포 재배조 표면 증발법의 3가지 냉각시스템에 대하여 배지냉각특성을 시험하였다. 그 결과 투수부직포 재배조 표면 증발법의 경우 온실내 기온 35°C인 배지표면의 온도와 상대습도 50%일 때 재배조 표면의 부직포의 온도는 27°C로 나타났으며, 뿌리가 많이 분포되어 있는 배지내 온도는 28~30°C 정도로 나타나 외기온에 비하여 5~7°C 정도로 가장 크게 강하되었다. 따라서, 투수부직포 재배조 표면 증발법이 가장 효율적인 배지냉각 방법이라고 판단된다.

주제어 : 배지온도, 베드, 수경재배, 증발냉각장치, 투수성재료

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원으로 수행되었음.

인 용 문 헌

1. Ball, V. 1984. Cornell research concerning the response of alstroemeria to environmental conditions. *Grower Talks Magazine*, February 1984. p. 14-21.
2. Ikeda, T., H. Kumakura, H. Hamamoto, and T. Fujiwara. 2006. Using latent heat of water evaporation to cool the culture medium for high-bench strawberry culture. *Acta Hort.* 708:393-396.
3. Ikeda, T., K. Yamazaki, H. Kumakura, and H. Hamamoto. 2007. Effect of cooling of medium on fruit set in high-bench strawberry culture. *HortScience* 42:88-90.
4. Jang, B.C., Y.P. Hong, and J.C. Chun. 1992. Effect of root zone temperature in hydroponics on plant growth and nutrient uptake in vegetable crops. *J. Kor. Soc. Soil Sci. Fert.* 25:242-248 (in Korean).
5. Jun, H.J., J.G. Hwang, M.J. Son, and D.J. Choi. 2008. Effect of root zone temperature on root and shoot growth of strawberry. *J. Bio-Env. Con.* 17:14-19 (in Korean).
6. Lee, J.H., O.K. Kwon, and Y.H. Park. 1999. Cooling efficiency and growth of tomato as effected by root zone cooling methods in summer season. *Proceeding of Bio-Env. Control.* 8(2):130-133 (in Korean).
7. Matuoka, T. and H. Suhardiyanto. 1992. Thermal and flowing aspects of growing petty tomato in cooled NFT solution during summer. *Environ. Control in Biol.* 30:119-125.
8. Rynk, R. and F. Green. 1985. Greenhouse root zone soil cooling. *ASAE paper No.* 85-4532.
9. Udagawa, Y., T. Ito, and K. Gomi. 1991. Effects of root temperature on the absorption of water and mineral nutrients by strawberry plants 'Reiko' grown hydroponically. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 59:711-717 (in Japanese).
10. Wiel, A.V.S. 1984. Results of soil cooling with well water. *Venlo Experimental Gardens* 39(30):38-41.