

순환식 무토양재배시스템의 양액 및 배지의 온도변화 특성¹⁾

손정익 · 박종석
서울대학교 원예학과

Thermal Characteristics of Nutrient Solution and Root Media in Recycled Soilless Culture Systems

Son, Jung-Eek · Park, Jong-Seok
Department of Horticulture, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

Abstract

The root-zone environment is an important factor to the plant growth and it is closely related to the thermal characteristics of the root media. In this study, thermal characteristics of root media with ambient environmental conditions were analyzed. The temperatures of nutrient solution as well as inside air of culture bed were measured in Nutrient Film Technique(NFT) and Deep Flow Technique(DFT) systems, and also the temperatures of root media measured in aggregate culture systems.

The temperature of nutrient solution of NFT system with as low as 3 ℓ/min of flow rate was 3℃ higher than that with 5 ℓ/min of flow rate in the daytime, and the temperature of inside air was 2℃ higher at night. And the temperature of nutrient solution of DFT system with as low as 0.8 cm of water level was 1-2℃ higher than that with 1.8 cm in the daytime, and the temperature of inside air was almost same at night.

The root-zone temperatures in the perlite and rockwool granulate systems with film mulching were 3℃ higher than those without film mulching in the daytime. However, the rockwool slab system with film mulching showed the same trend as rockwool granulate system, but relatively higher temperature than any other medium because of the exposure of media surface to the ambient air. Additionally, the temperature below the plant was measured 3℃ lower than that between plants.

주제어: 근권부 온도, 유량, 수위, 필름 멀칭

key words: root-zone temperature, flow rate, water level, film mulching

¹⁾ 이 연구는 1996년 교육부(농업과학연구) 과제의 지원으로 수행되었음.

서 언

최근, 무토양재배시스템은 가급적 경량화 형태로서, 보다 고도의 환경제어에 의한 적절한 작물재배환경 조성을 목적으로 발전하고 있다. 특히 환경보존 차원을 위하여 밀폐형 순환식 무토양재배시스템이 중시되고 있으며, 이러한 순환식 무토양재배시스템에서의 환경조절은 더욱 중요하게 될 것이다^{8, 12)}. 무토양재배는 토양재배에 비하여 외부 환경변화에 대한 근권부의 환경변화가 크기 때문에 작물 생육에 직접적인 영향을 미치며, 이것은 무토양재배시스템의 형태 및 배지의 종류, 배지 관리방법 등에 따라서 다양한 변화를 보인다¹³⁾. 특히, NFT나 고행배지와 같은 경량화 배지를 가지고 있는 무토양재배시스템의 경우는 그 영향이 매우 민감하다.

근권부 환경이 작물의 생육에 미치는 영향으로는 작물의 줄기 신장⁷⁾, 특정 양분 흡수 및 저해 현상^{6, 10, 11)}, 작물의 광합성 속도 증대⁹⁾, 화해류의 개화 및 토마토 생산성 향상¹⁾ 등 다양한 형태로 관여하는 것으로 보고되고 있다. 따라서 이러한 근권 환경의 최적화를 통한 적정 생육조건의 유지 및 이에 관련된 냉난방 부하량 절감을 위하여 근권 환경조절 등이 시도되었고^{4, 5)}, 보다 수치적인 접근을 위하여 근권 환경을 고려한 수경온실의 모델에 관한 연구가 시도되었다^{2, 3)}.

근권부 환경요인이 작물의 생육에 미치는 영향이 매우 크며, 또한 무토양재배시스템의 각종 요인과 근권부 환경요인의 조성과는 밀접한 관계를 가지고 있음에도 불구하고, 이러한 부분에 대한 체계적인 연구가 진행되지 않고 있으며, 경량화 순환식 무토양재배시스템의 성공적인 적용을 위해서는 이 분야에 관한 기초적 연구가 필요하다.

본 연구는 순환식 무토양재배시스템의 배지 환경의 기초적 연구를 위하여 순환식 무토양재배시스템을 구성하고, 배지의 종류 및 환경조건에 대하여 배지의 온도변화 특성을 분석하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

1. 순환식 무토양재배시스템의 제작

본 실험을 위하여 PET온실(8mx21m)에 많이 사용되고 있는 NFT, DFT, 슬라브형 성형압면, 면상압면, 필라이트 배지를 사용하는 순환식 무토양재배시스템을 구축하였다. 고행배지는 폐액의 수집이 가능하도록 레벨을 사용하여 폐액 수위를 조절하였다. 고행배지는 점적관수 방식을 사용하며 노즐을 통해서 양액이 공급되도록 하였다. 각 무토양재배시스템은 2세트로 하여 비교 실험이 가능하도록 하였다. 설치한 고행배지용 무토양재배시스템은 그림 1과 같다.

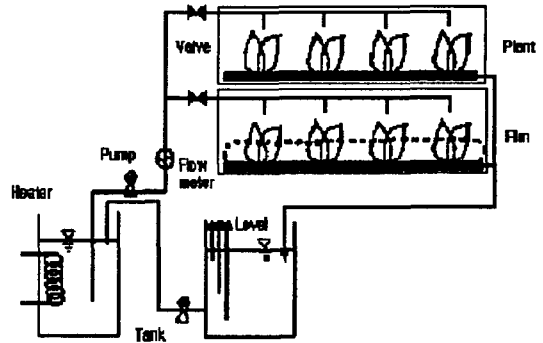


Fig. 1. A schematic diagram of the soilless culture system constructed in this experiment.

제작된 무토양재배시스템에서 NFT 배드는 66cm x 800cm x 4cm이며 상추 240주를 재배하였고, DFT 배드는 162cm x 400cm x 5cm이며 상추 240주를 재배하였다. 필라이트 및 면상압면 배드는 36cm x 800cm x 15cm이며 토마토를 각 80주 재배하였고, 슬라브용 압면 배드는 29cm x 800cm x 6.5cm로 각 32주를 재배하였다. 사용된 필라이트 배지는 파라트 1, 2호(삼순), 면상압면 및 슬라브용 성형압면(Grodan)을 사용하였다. 각 탱크의 양액은 700ℓ이며, 비료는 양액재배용 비료

(서울농자재)를 사용하였다. 양액의 농도는 EC 2.0-2.5mS/cm 이며, pH는 5.5-6.5를 유지하였다.

2. 무토양재배시스템의 배지 환경의 측정

배지온도 측정을 위하여 컴퓨터(PC), 데이터 수집장치(DA100, Yokogawa), 온도센서(열전대 T형) 및 온도계를 사용하였다. 측정대상은 실내일사량, 실내온도 및 각 무토양재배시스템의 배지/양액온도를 측정하였다. 표 1은 본 연구의 실험조건을 나타내고 있다.

Table 1. Experimental conditions of various soilless culture systems.

	NFT (flow rate)	DFT (water level)	Rock Perlite (slab)	Rock wool (slab)	Rock wool (granulate)
Treatments	5 ℓ/min	1.8 cm	film	film	film
	3 ℓ/min	0.8 cm	no	no	no

외부환경 변화에 따른 작물의 근권 환경의 변화를 추정하기 위하여 NFT와 DFT의 경우는 양액 및 양액과 정식판 사이의 공기온도를 측정하였다. 이때 NFT는 양액공급 유량 3ℓ/min, 5ℓ/min 의 2종류에 대하여, DFT는 0.8cm, 1.8cm의 2종류 수위에 대하여 각각 검토하였다.

필라이트와 면상압면의 경우는 배지상부에 투명 필름으로 멀칭한 것과 그렇지 않은 것의 2종류에 대하여 근권 부근의 배지 5 cm 깊이의 온도를 측정하였다. 압면의 경우는 작물의 정식 부분과 작물과 작물사이의 슬라브의 5 cm 깊이를 측정하였다. 고형재배의 양액공급용 노즐의 유량을 1회 10분, 0.1ℓ 로 조절하였고, 공급간격은 주간 10분 간격과 야간 2시간 간격으로 설정하였다.

환경계측 및 제어시스템에서는 주간에는 측창, 천창 및 커텐의 개폐를 통하여 내부온도를

제어하였고, 야간에는 난방에 의하여 야간 12-13℃ 내외로 제어하였다. 실내 일사량은 최대 1.7-1.8 MJ/m²/hr 이었다(그림 2).

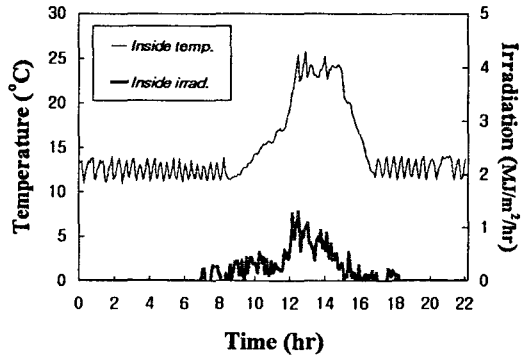


Fig. 2. Time courses of irradiation and indoor temperature in the greenhouse.

결과 및 고찰

1. NFT 및 DFT 시스템의 근권부 온도 변화

NFT 시스템에서 양액의 공급유량을 3ℓ/min, 5ℓ/min로 할 때, NFT 재배조 내의 양액 온도는 그림 3과 같다. 양액의 온도는 양액의 공급주기에 직접적인 영향을 받고 있으며, 주간에는 유량이 적은 쪽이 많은 쪽에 비하여 전체적으로 약 3℃ 정도 높게 나타났다. 또한 뿌리 부분에 접하는 재배조 내의 공기 온도도 동일한 경향을 보이며 약 2℃ 정도 차이를 나타냈다. 이것은 일사량에 의한 배양액 전체의 온도상승과 양액의 공급주기에 의한 양액량 변화에 의한 온도변화로 보인다.

야간의 경우는 주간과는 다르게 급격한 외부의 영향이 없기 때문에, 난방에 의하여 조절되는 실내공기의 영향이 크게 작용하는 것으로 나타났다. 특히, 유량이 작은 편이 실내온도의 변동의 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다.

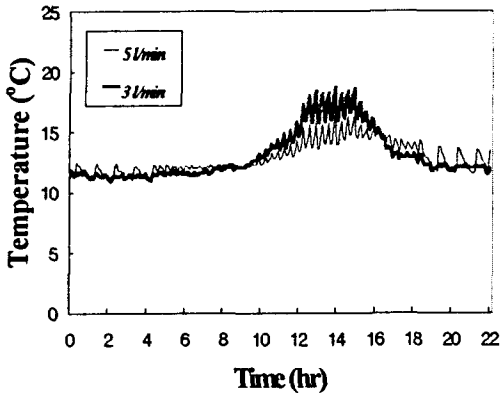


Fig. 3. Nutrient solution temperatures with the different flow rates in the NFT system.

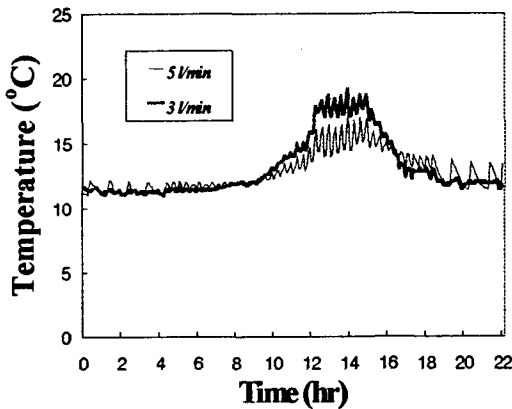


Fig. 4. Air temperatures inside the culture bed with the different flow rates in the NFT system.

DFT 시스템에서 수위를 0.8cm, 1.8cm로 할 때, DFT 재배조 내의 양액 온도는 그림 5와 같다. 양액의 온도는 외기온도에 직접적인 영향을 받고 있으며, 주간에는 수위가 낮은 쪽이 높은 쪽에 비하여 약 1-2°C 정도 높게 나타났다. 또한 뿌리 부분에 접하는 재배조내의 공기 온도도 동일한 경향을 보였다. 이것은 일사량에 의한 배양액 전체의 온도상승에 의한 온도변화로 생각된다. 야간의 경우는 난방에 의하

여 조절되는 실내공기의 영향을 받지만 양액의 체적 열용량이 크기 때문에 NFT에 비하여 빈번한 진폭없이 안정적인 변화를 나타냈다.

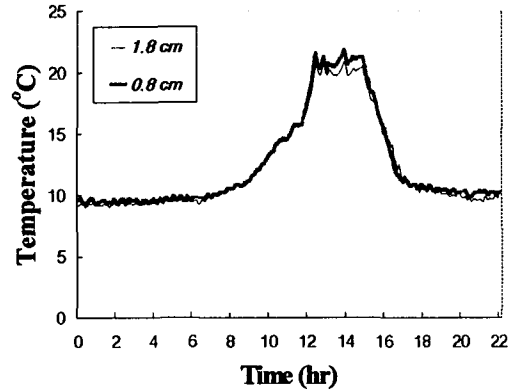


Fig. 5. Nutrient solution temperatures with the different water levels in the DFT system.

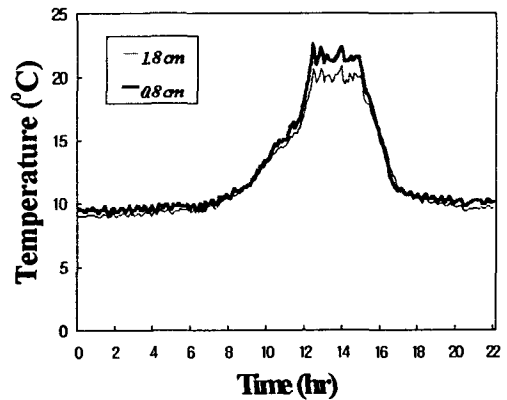


Fig. 6. Air temperature inside the culture bed with the different water levels in the DFT system.

2. 고품배지 시스템의 배지온도

동절기 보온을 위한 멀칭 효과를 검토하기 위하여 PVC 필름의 멀칭 여부에 따른 펠라이트 배지의 온도변화를 측정하였다(그림 7). 온도는 지면에서 5cm되는 위치에서 측정하였다.

주간에는 멀칭을 할 경우가 근권부근 5cm에서 약 3℃ 정도 높게 나타났고, 야간은 다른 배지에 비하여 거의 온도 차이가 없는 경향을 나타냈다. 펠라이트는 일반적으로 가볍고 수분보수력이 낮기 때문에 주간 외부 환경변화에 민감하게 작용하는 것으로 나타났다.

필름의 멀칭 여부에 따른 면상암면 배지의 온도변화는, 전체적으로 멀칭한 배지가 주간은 약 3℃ 정도, 야간은 1℃ 정도 높게 나타났다(그림 8). 난방에 의하여 조절되는 실내온도가 12-13℃이므로, 멀칭에 의하여 실내온도와 거의 동일한 수준으로 보온되고 있는 것을 알 수 있다.

필름의 멀칭 여부에 따른 슬라브형 암면배지의 온도변화는 그림 9와 같다.

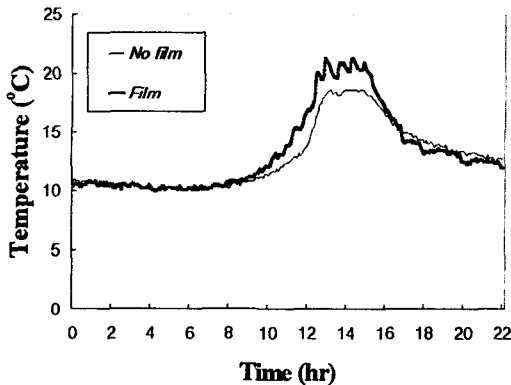


Fig. 7. Root-zone temperatures of the perlite used culture system with/without mulching with the film.

슬라브형 암면의 경우, 포장되어 있어 기본적인 보온능력을 가지고 있지만, 다른 고품배지와는 달리 모든 면이 공기에 노출되어 있기 때문에 주간외부의 급격한 온도상승을 나타냈다. 따라서 펠라이트, 면상암면, 슬라브형 암면 배지의 온도는 멀칭된 배지가 상대적으로 보온성이 우수하며 배지의 온도가 높게 나타났다.

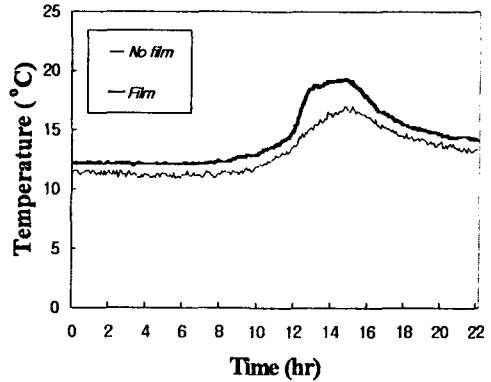


Fig. 8. Root-zone temperatures of the granular rockwool used culture system with/without mulching with the film.

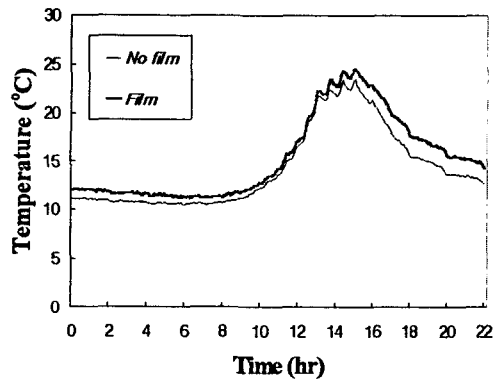


Fig. 7. Root-zone temperatures of the rockwool used culture system with/without mulching with the film.

3. 고품배지 종류별 배지온도 비교

외부 환경변화에 대하여 본 실험에서 사용한 펠라이트, 면상암면, 슬라브형 성형암면의 배지온도 변화는 그림 10과 같다. 펠라이트 배지의 온도가 암면에 비교하여 야간은 낮고 주간이 높은 것은, 펠라이트는 보수력이 암면에 비하여 낮기 때문에 증발(또는 냉각)에 의한 잠열 교환량이 상대적으로 작으며 이에 따른

현열 상승(또는 강하)이 예상된다.

면상암면의 경우, 펠라이트와 비교하면 전반적으로 야간은 높고 주간은 낮은 경향을 나타내며 온도변화 폭이 작게 나타났다. 이것은 면상암면이 펠라이트에 비해서 수분 보수력이 크기 때문에 배지의 열용량이 커지기 때문에 온도 변화 폭이 작게 나타났다고 사료된다. 슬라브형 암면의 경우는 포장되어 있기는 하지만 표면적 전체가 공기중에 노출되어 있기 때문에 다른 고품배지보다 주간 온도상승이 큰 경향을 나타냈다. 따라서 배지의 종류 및 형태에 따라서 외부환경이 근권부 환경에 주는 영향이 상이한 것을 알 수 있다.

또한 고품배지의 뿌리 아래 부분의 온도와 작물과 작물과의 사이에서의 배지의 온도를 비교한 것은 표 1과 같다. 전체적으로 가장 실내 온도가 높은 시간대에서 뿌리 하단 부분의 온도가 작물과 작물 사이의 온도에 비하여 약 3℃정도 낮게 나타났으며, 야간의 경우는 거의 차이가 없는 경향을 나타냈다. 따라서 근권부 온도는 뿌리 부근의 수분의 영향에 의하여 온도 상승이 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 사료된다.

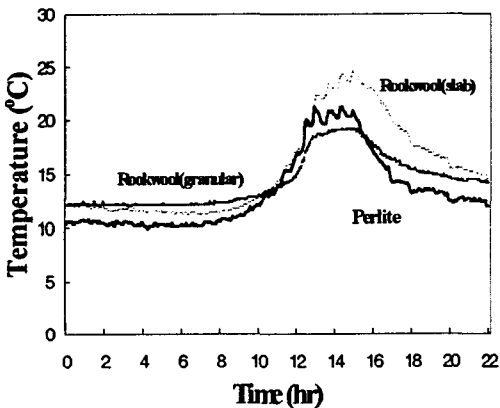


Fig. 10. Comparison of root-zone temperatures of various root media in the soilless culture systems.

Table 2. Comparison of maximum and minimum temperatures(°C) in the two points (5cm deep) of root media with/without mulching with the film. One is below the plant and the other between the plants.

		Perlite		Rockwool slab		Rockwool granulate	
		Below	Between	Below	Between	Below	Between
Film covered	Max.	22	18	25	28	20	17
	Min.	11	11	12	12	13	13
No film	Max.	19	16	23	26	17	15
	Min.	11	12	11	11	12	12

적 요

본 실험은 배지의 종류 및 환경조건에 대하여 배지의 온도변화 특성을 분석하는 것을 목적으로 하였다. NFT, DFT, 슬라브형 성형암면, 면상암면, 펠라이트 배지를 사용하는 순환식 양액재배시스템을 구축하였다. NFT와 DFT시스템은 양액 및 재배조 내의 공기온도를 측정하였고, 고품배지는 배지온도를 측정·비교하였다.

NFT시스템의 양액 공급유량을 3 l/min, 5 l/min로 할 때, 양액 온도는 주간에는 전자가 후자에 비하여 약 3℃ 정도 높게 나타났다. 재배조내의 공기온도도 동일한 경향을 보이며 약 2℃ 정도 차이를 나타냈다. DFT 시스템의 수위를 0.8cm, 1.8cm로 할 때, 양액 온도는 주간에는 전자가 후자에 비하여 약 1-2℃ 정도 높게 나타났다. 또한 재배조내의 공기 온도도 동일한 경향을 보였다.

펠라이트 배지는, 주간에 멀칭한 배지가 약 3℃ 정도, 면상암면 배지도 약 3℃ 정도 높게 나타났고, 슬라브형 암면배지는 주야간 멀칭한 배지가 1-4℃정도 높게 나타났고, 특히 주간에 높은 온도상승을 나타냈다. 고품배지중에서 펠

라이트 배지온도가 암면에 비교하여 상대적으로 야간은 낮고 주간이 높게 나타났다. 슬라브형 암면의 경우는 표면적 전체가 공기중에 노출되어 있기 때문에 다른 고휘배지보다 주간의 온도상승이 크게 나타났다. 고휘배지의 뿌리부분의 온도가 작물과 작물사이의 배지온도에 비하여 주간 약 3℃정도 낮게 나타났으며, 야간의 경우는 거의 차이가 없었다.

인용 문헌

1. Fujishige, N., T. Sugiyama and R. Ogata. 1994. Effect of root temperature on the flower formation and fruit yield of tomatoes. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 62(4): 775-780.
2. Marsh, L.S. and L.D. Albright. 1991. Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. I. A computer model. *ASAE* 34(2): 550-556.
3. Marsh, L.S. and L.D. Albright. 1991. Economically optimum day temperatures for greenhouse hydroponic lettuce production. II. Results and simulation. *ASAE* 34(2): 557-562.
4. Moss, G.I. 1983. Root-zone warming of greenhouse tomatoes in nutrient film as a means of reducing heating requirements. *J. Hort. Science* 58(1): 103-109.
5. Nam, S.W., M.K. Mim and J.E. Son. 1996. Nutrient solution cooling and its effect on temperature of leaf lettuce in hydroponics. *Acta Hort.* 440: 227-232.
6. Papadopoulos, P.A. and H. Tiessen. 1987. Root and air temperature effects on the elemental composition of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112(6): 988-993.
7. Poul Karlsen. 1997. Root temperature and stem elongation. *Acta Hort.* 435: 33-45
8. Son, J.E and T. Takakura. 1986. A study on automatic control of nutrient solution in hydroponics. *J. Agr. Met.* 43(1):159-163.
9. Udagawa, Y., T. Ito and K. Gomi. 1989. Effects of root temperature on some physiological and ecological characteristics of strawberry plants 'Reiko' grown in nutrient solution. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 58(3): 627-638.
10. Voipio, I. and J. Autio. 1995. Response of red-leaved lettuce to light intensity, UV-A radiation and root-zone temperature. *Acta Hort.* 399: 183-187.
11. Wang, Y.H. and S. Tachibana. 1996. Growth and mineral nutrition of cucumber seedlings as affected by elevated air and root-zone temperature. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64(4): 845-852.
12. 손정익, 남상운, 장진택. 1996. NFT재배시스템의 근권부 환경해석에 관한 연구. *한국생물생산시설환경학회 요지집* 5(1): 63-64.
13. 손정익, 장진택, 이병일. 1997. 순환형 무토양재배시스템 양액 및 배지의 열적 특성. *한국생물 생산시설환경학회 요지집* 6(1): 59-61.

