Journal of Bio-Environment Control, 18(4):408-412, (2009)

토마토 펄라이트 자루재배에서의 관수마감시각에 따른 용수이용효율 및 비료이용효율 증진

심상연[1] · 김영식[2*]
[1]경기도농업기술원, [2]상명대학교

Improvement of Water and Fertilizer Use Efficiency by Daily Last Irrigation Time for Tomato Perlite Bag Culture

Sang Youn Sim[1] and Young Shik Kim[2*]
[1]*GyeongGi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si 445-784, Korea*
[2]*Sangmyung University, 300 Anseo-dong, Cheonan, Choongnam 330-720, Korea*

Abstract. Daily last time of irrigation in perlite bag culture was investigated to get high water use efficiency (WUE) and fertilizer use efficiency (FUE) and also sustain high productivity for tomato. The water content in the substrate was higher as the last time of irrigation was later from 4 to 1hour before sunset. The growth were not significantly different in all treatments. The marketable yield was the highest in treatments of 1 or 2hours before sunset and the lowest in treatment of 4hours. In the result to investigate for 128days WUE and FUE were the lowest in treatment of 1hour before sunset but the highest in treatment of 3hours before sunset. In the conclusion, it looks best to end irrigation 2~3hours before sunset in the aspects of plant growth, yield, WUE, and FUE.

Key words : drainage level sensor, growbag, irrigation management, soilless culture, *solanum lycopersicum*

서 론

수경재배에서 배양액 관리는 여러 측면에서 매우 중요하다. 배양액 공급은 작물의 생육을 최적화하여 수확량을 극대화하기 위한 것이기는 하지만, 이와 더불어 경제성도 고려해야 한다. 즉, 효용체감의 법칙에 의해 배양액 공급량을 늘리는 비용의 증가분이 수확량 증가에 의한 수익 증가분보다 높을 경우에는 효율이 떨어지는 것이므로 효율이 높은 배양액 관리를 해야 한다. 배양액은 용수와 비료의 혼합물이므로, 효율을 고려할 경우 수확량에 대한 수분이용효율(WUE: water use efficiency)과 비료이용효율(FUE: fertilizer use efficiency)을 모두 고려해야 한다. WUE와 FUE는 각각 단위 면적당 소요된 용수나 비료의 양이 생산한 수확량을 의미하기도 하며, 단위 면적당 수확량에 대한 용수나 비료의 양으로 나타내기도 한다. 전자는 수확량을, 후자는 용수나 비료의 양을 중요시 할 때 사용하기 편리한 차이점이 있다. WUE와 FUE는 상황에 따라 차이가 있으며, 토양재배와 수경재배간에도 다르다 (Rouphael 등, 2005). WUE와 FUE를 높이는 방법으로는 환경관리(Zabri와 Burrage, 1998), 재배법(Abou-Hadid 등, 1993), 배양액관리(Warren과 Bilderback, 2004) 등 여러 가지가 있다. WUE와 FUE를 높이는 방법으로는 관수량을 줄이는 방법이 가장 단순한 방법이며, 이를 위해서는 관수개시시각, 관수간격, 관수마감시각 등이 적절해야 한다. FUE만을 위해서는 배양액의 농도나 조성을 적절히 하는 방법이 있다.

WUE와 FUE를 높이는 가장 단순하면서도 효과적인 방법인 일일 관수량을 줄이기 위해서는 먼저 배지 내 수분함량과 식물의 수분흡수양상을 알 필요가 있다. 작물의 경우 오후 늦은 시각 혹은 야간에 급액하는 경우도 있지만 급액 적정 시간대가 있다. 오전의 배양액은 작물 생육에 많이 사용되며, 오후 늦은 시간대의

*Corresponding author: sims@gg.go.kr
Received October 27, 2009; Revised November 18, 2009; Accepted December 4, 2009

과다 수분은 오히려 해로운 경우까지 있다(Kang과 Choi, 2009; Kang 등, 2006; Rhee 등, 2008). 따라서 오후에 배지 내 수분함량을 적게 함으로써 식물 생육을 좋게 유지하고, 한편으로는 WUE와 FUE를 높이는 배양액 관리법을 강구할 필요가 있다.

본 실험은 일중 관수마감시각을 달리함으로써 최적 생장을 유지하면서도 WUE와 FUE를 높이는 관수방법을 도출하기 위해 실시되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2005년 8월 12일부터 경기도농업기술원 벤로형 유리온실과 실험실에서 수행되었다. 공시품종인 대과용 토마토 630(SAKATA, Japan)을 2005년 8월 12일 50공 공정 육묘 판에 파종하였다. 육묘는 양지붕 유리 온실 내에서 자체 개발한 분사 형 육묘 시스템을 이용했으며, 1일 1회(오전 11:30) 관수 하였다.

2005년 10월 10일 본엽이 6매 일 때 정식하고, 5단 적심 외대 가꾸기로 재배하였다. 작물은 펄라이트 자루재배법으로 실험하였다. 펄라이트 자루(W 340 * L 1,200 * H 150mm, 용량 40L)는 정식 전날 포수한 후, 정식 직전 배액구를 3군데 뚫고, 펄라이트 자루 당 상부면에 직경 7.5cm의 재식구 3개를 낸 후 한 구멍마다 2그루씩 정식 하였다. 배액구는 자루의 한쪽 면에만 그루와 그루 사이의 정중앙에 바닥에서 3cm 높이에 수평으로 5cm 길이로 만들었다. 재식간격은 40cm로 하였다. 줄 간 간격은 2m였다.

2005년 10월 17일부터 처리를 시작했다. 처리는 관수마감시각에 따라 4가지 처리를 두었는데, 일몰 1시간 전부터 4시간 전까지 4단계로 나누어 처리하였다(sunset-1, 2, 3, 4). 일몰시각은 한 달에 한 번씩 기상청 자료를 참고로 하여 처리시간에 반영하였다. 2005년 10월 17일 일몰 시각이 17:40분일 때, 관수마감 시간을 처리별로 일몰 4시간 전인 13:40분, 3시간 전인 14:40분, 2시간 전인 15:40분, 1시간 전인 16:40분으로 시작하였다. 그리고 약 한 달 후인 2005년 11월 22일 일몰 시각이 17:17분일 때, 13:20분, 14:20분, 15:20분, 16:20분으로 변경, 또 약 한달 후인 2005년 12월 27일 일몰 시각이 17:00일 때 관수마감시각을 13:00. 14:00. 15:00, 16:00로 조정하여 처리하였다.

사용 배양액은 토마토용 Yamazaki 배양액이었으며, 공급 시 pH 6.0, EC 1.2dS · m^{-1} 였다. 그리고 작물의 생육단계에 따라 2005년 11월 24일 EC 1.6dS · m^{-1}, 2005년 12월 7일 1.8dS · m^{-1}로 EC를 점차 높여서 급액하였다. 배양액의 공급은 자동 공급 장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다. 관수는 배액전극법을 이용하여 제어하였다. 배액전극법은 배지로부터 나온 배액을 모으는 재배틀(집액용기) 안에 배액이 모인 후, 배액이 다시 배지로 재흡수되어 배액량이 정해진 높이까지 낮아졌을 때 급액 하는 방법이다(Kim, 2003). 본 실험에서는 일중 관수는 일출시부터 행했다. 배액전극법 장치는 스티로폼 틀의 중앙에 식물이 식재된 배지를 놓고, 한쪽 끝의 공간에 전극 봉 2개를 세웠다. 이 때 좀 더 정밀한 제어를 위해 물에 닿는 전극의 아래쪽을 뾰족하게 깎았다. 전극 봉 하나는 바닥에 닿게 설치하고 다른 하나는 배액 높이를 정하기 위해 위아래로 조정할 수 있게 설치하였다. 그리고 배액이 방출되게 하기 위해 스티로폼 틀에 배액구를 뚫었다. 구멍 바깥쪽으로 엘보를 꼽고 거기에 유연한 고무관을 연결하였다. 고무관 끝에는 배액구의 높이를 조정할 수 있도록 아크릴 재질의 배액구 높이 조절 용기를 부착하였다. 이것에 pH 센서 및 EC 센서를 연결하였다.

측지는 5cm 이상에서 제거했다. 수확이 종료된 화방 이하의 하엽은 수확종료시 제거하였다. 2005년 10월 24일부터 매주 월, 수, 금에 착과제로 토마토 톤을 살포했다. 각 처리의 배지와 배액의 무게 계측에는 weighing sensor로 load cell(SB-50L, CAS Corporation)을 사용하였으며, 중량값은 indicator(AI-1600, CAS Corporation)를 통해 24채널 multiplexer(MOXA)에 연결되도록 설계하였고, 1분마다 저장하였다. 수확은 2006년 1월 3일부터 토마토가 90% 정도 착색 되었을 때 처리별, 그루별, 화방별로 수확하여 100g 이하(소과), 100~200g, 200~300g, 300~400g, 400g 이상의 과실별 중량, 기형과(배꼽, 창문), 당도 등을 조사하였다. 최종 생육조사는 2006년 3월 17일 처리별로 10주씩 생체중, 초장, 엽장, 엽폭, 경경, 마디수 등을 측정하였다. 정식일부터 159일 동안의 재배기간 중 사용한 총 용수량 및 비료량을 계산하여 WUE 및 FUE를 계산하였다. 본 연구에서 WUE와 FUE는 단위 수확량당 사용된 용수(L/kg) 혹은 비료의 양(g/kg)으로 나타냈다.

결과 및 고찰

배지내 수분함량은 작물이 재식된 배지자루의 무게를 측정함으로써 추정하는 방식을 취하였으며, 이에 따라 처리별 무게의 절대량은 배지의 양과 식물의 하중 등에 의해 수분함량에 관계없이 다르다. 토마토는 유인하여 재배하는 작물이기 때문에 유인하는 과정에서 배지에 걸리는 하중은 항상 다를 수밖에 없으며, 무게 변화가 중요한 지표이기 때문에 처리별로 기준 무게를 2kg씩 차이를 두어 표현한 결과(Fig. 1), 일일적산일사량에 따라 다르기는 하지만 일중 배지 내 수분함량은 마감시각이 늦을수록 많아지는 경향을 나타냈다.

본 실험은 배액전극법에 의해 배양액 공급을 제어하였는데, 기존의 연구결과와 같이(Sim 등, 2006a, 2006b) 배액전극법에서는 광도에 관계없이 일중 배지 내 수분함량이 설정범위 안에서 일정한 경향을 나타냈다. 관수 사이의 수분함량편차는 배액전극의 위치를 조정함으로써 설정할 수 있으며, 본 실험에서 나타난 5% 정도의 변화폭은 작물의 뿌리 활력에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다(Table 2). 일사량에 따라 관수마감시각부터 익일 관수개시시각까지의 차이는 인정되었으나, 이는 모든 처리구에서 동일한 경향이었다.

관수마감시각 처리별 최종 생육을 비교한 결과, 일몰 4시간 전 처리구에서 약간 생육이 낮은 경향을 보이기는 했으나, 처리간에 통계적 유의차는 보이지 않았다(Table 1).

관수마감시각 처리별 수확량을 비교한 결과, 상품수량은 일몰 1시간 전 및 2시간 전에서 가장 많았고, 4시간 전에서 가장 낮았다. 일몰 4시간 전 처리구에서는 특히 100g 이하 소형과가 많아 상품수량이 낮았다. 반면에, 당도는 높은 경향을 나타냈으나 처리간 유의성은 없었다(Table 2). 최근 고당도 소과에 대한 관심이 높아지고 있으므로, 이 결과를 일중 배지내 수분함량을 조절하여 고당도 토마토를 생산하는 방법에 대한 자료로 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

관수마감시각 처리별 128일 동안의 배양액 급액량을

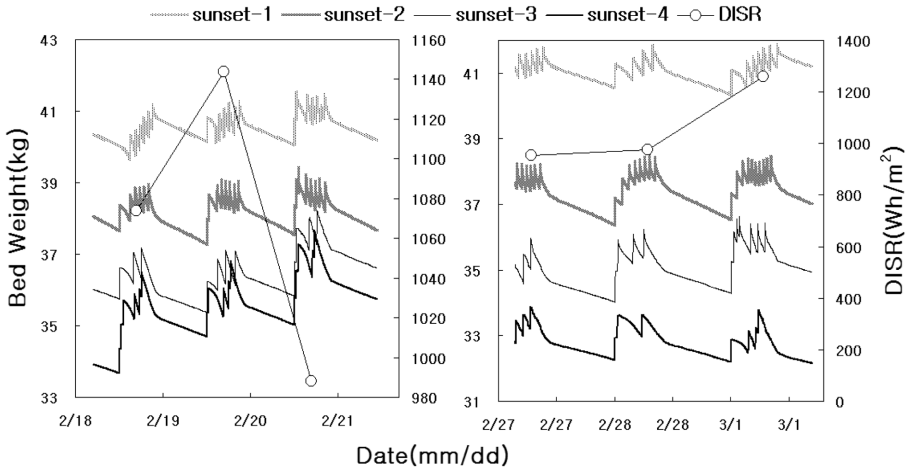

Fig. 1. Perlite bag weight and daily integrated solar radiation according to treatments by the last irrigation time. Sunset-1~4: Irrigation was ended 1~4hours before sunset, DISR: daily integrated solar radiation.

Table 1. The growth characteristics according to treatments by the last irrigation time.

Treatment[z]	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Stem diameter (mm)	Nodes (nodes/plant)	Fresh weight (g/plant)
Sunset-1	213	54.7	61.1	12.6	27.4	1009
Sunset-2	212	55.9	61.5	13.2	28.4	1129
Sunset-3	215	54.9	61.3	12.4	28.3	937
Sunset-4	209	53.5	56.9	12.3	26.7	908

[z]Sunset-1~4: Irrigation was ended 1~4hours before sunset.

Table 2. Yield according to treatments by the last irrigation time.

Treatment[z]	Total yield (kg/plant)	Marketable yield (kg/plant)	Malformed fruit (kg/plant)	Small fruit 100g> (kg/plant)	Sugar content (°Brix)	Index (%)
Sunset-1	6.011 a[y]	4.862 a	0.269 b	0.879 d	5.4	80.9
Sunset-2	6.286 b	4.955 a	0.334 a	0.997 b	5.2	78.8
Sunset-3	5.558 c	4.363 b	0.233 c	0.955 c	5.5	78.6
Sunset-4	5.460 c	3.800 c	0.184 d	1.477 a	5.7	70.0

[z]Sunset-1~4: Irrigation was ended 1~4hours before sunset.
[y]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$

Table 3. WUE and FUE according to treatments by the last irrigation time.

Treatment[z]	Water (L/plant)	Fertilizer (g/plant)	Marketable yield (kg/plant)	WUE[y] (L/kg)	FUE[x] (g/kg)
Sunset-1	145.2 a[w]	202.9 a	4.862 a	33.5	24.0
Sunset-2	128.5 b	179.5 b	4.955 a	38.6	27.6
Sunset-3	106.0 c	148.1 c	4.363 b	41.2	29.5
Sunset-4	106.6 c	148.9 c	3.800 c	35.6	25.5

[z]Sunset-1~4: Irrigation was ended 1~4hours before sunset
[y]WUE: quantity of marketable yield/water irrigated
[x]FUE: quantity of marketable yield/fertilizer supplied
[w]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $P = 0.05$

조사한 결과, 관수마감시각이 늦을수록 소요 배양액량도 많았다(Table 3). 단, 3시간 전과 4시간 전이 비슷했는데, 그 이유는 사용한 배양액관리 시스템의 특성 때문이었다. 배양액 공급은 배액전극법에 의해 제어되었는데, 이 방법은 급액개시 명령이 배액의 양에 의해 이루어지며, 이 양은 배지 내 수분함량과 연동되도록 설계되어 있다. 일몰 4시간 전에 관수를 마감한 배지의 경우, 다른 배지에 비해 아침에 배지의 수분함량이 매우 낮으며(Fig. 1), 따라서 아침 첫급액시 관수가 행해져도 여전히 배지 내 수분함량이 낮아 수 회 관수가 계속되어 급액회수가 증가했다.

단위 용수사용량당 상품수량(WUE)은 일몰마감 3시간 전 처리구에서 41.2로 가장 높아 1kg의 토마토를 생산하는데 가장 적은 용수를 소비하는 것으로 나타났는데 Giuffrida 등(2007)도 유사한 결과를 보고했다. 1시간 전 처리구에서 33.5로 가장 낮았다. 일몰 4시간 전은 일몰 3시간 전과 소요 용수량은 유사했으나 수확량의 차이가 많아서 WUE가 낮았다. 단위 상품수량당 비료사용량(FUE)도 전 실험구에서 동일한 배양액 농도와 조성을 사용했으므로 일몰마감 3시간 전 처리에서 29.5로 가장 높게 나타났으며, 1시간 전 처리에서 가장 낮게 나타났다.

실험결과 식물생육에서는 처리간 차이가 없었고, 수확량에서는 2시간 전이 좋았으며, WUE와 FUE에서는 3시간 전 처리가 가장 좋았기 때문에, 일몰 4시간 전에 관수를 중단하는 것은 바람직하지 않으며, 2~3시간 전에 마감하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 또한 관수마감 처리에 따른 마감시간 이후의 배지내 함수량이 오래 유지될수록 수량이 많았으며 마감시간이 빨라 함수량이 빨리 낮아진 처리에서 수량이 적었는데 이는 배지내의 함수량이 안정적일수록 토마토의 수량이 높은 것으로 판단된다. 단, 본 연구결과는 배액구를 하단 3cm 위에 개설하여 하부에 일정량의 저장된 배양액이 있는 경우의 결과이므로, 통기성 확보를 위해 배액구를 더 아래에 개설할 경우에는 적정 관수마감시각이 달라질 수 있다. 일중 관수시간대 이내에서는 배액구 아래의 물의 양이 크게 배지 수분함량에 기여하지는 않으나(Marfa 등, 1993) 일중 마지막 관수시간에는 영향을 미친다(Fig. 1). 단, 펄라이트 자루는 펄라이트 알갱이가 자루에 담겨있는 형태이므로 암면과 달리 모양이 일정하지 않기때문에 배액구 높이 아래에 존재하는 배양액 양을 정확하게 알 수는 없다(Orozco와 Marfa, 1995). 또한 계절 및 배양액 관리법에 따라 배지내 수분함량 특성에 차이가 있을 수 있으므로 이를 고려해

야 할 것이다.

적 요

펄라이트 자루재배시 일중 관수마감시각을 달리함으로써 최적 생장을 유지하면서도 용수이용효율(WUE)과 비료이용효율(FUE)을 높이기 위해 실험을 실시하였다. 관수마감시각에 따라 일몰 1시간 전부터 4시간 전까지 4단계로 나누어 처리한 결과, 배지 내 수분함량은 마감시각이 늦을수록 많은 경향을 나타냈다. 최종 생육은 일몰 4시간 전 처리구에서 약간 낮은 경향을 보이기는 했으나, 통계적 유의차는 보이지 않았다. 상품수량은 일몰 1시간 전 및 2시간 전에서 가장 많았고, 4시간 전에서 가장 적었다. 관수마감시각 처리별 128일 동안의 급액량을 조사한 결과, WUE와 FUE는 일몰마감 1시간 전 처리구에서 가장 낮았고, 3시간 전 처리구에서 가장 높았다. 식물생육, 수확량 및 WUE와 FUE 등의 면에서 일몰 4시간 전에 관수를 중단하는 것은 바람직하지 않으며, 2~3시간 전에 마감하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

주제어 : 관수방법, 배액전극관수시스템, 수경재배, 자루재배, 토마토

사 사

이 논문은 농림기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

1. Abou-Hadid, A.F., M.Z. El-Shinawy, A.S. El-Beltagy, and S.W. Burrage. 1993. Relation between water use efficiency of sweet pepper grown under nutrient film technique and rockwool under protected cultivation. Acta Hort. 323:89-96.
2. Giuffrida, F., C. Leonardi, and O. Marfa. 2007. Substrate reuse in tomato soilless cultivation. Acta Hort. 801:1577-1582.
3. Kang, N.J. and Y.H. Choi. 2009. Influence of irrigation levels on plant growth and fruit quality in *Lycopersicon esculentum* Mill. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27(1):93-101.
4. Kang, N.J., M.W. Cho, J.K. Kweon, H.C. Rhee, and Y.H. Choi. 2006. Effects of deficit irrigation by different soil moisture-based water potential on total soluble sol-ids and fruit yields in fresh tomato. Journal of Bio-Environment Control 15(4):335-339.
5. Marfa, O., A. Martinez, R. Orozco, L. Serrano, and F.X. Martinez. 1993. The use of fine-grade perlites in lettuce bag cultures. II. Physical properties, rheologic effects and productivity. Acta Hort. 342:339-348.
6. Orozco, R. and O. Marfa. 1995. Granulometric alteration, air-entry potential and hydraulic conductivity in perlites used in soilless cultures. Acta Hort. 408:147-161.
7. Rhee, H.C., M.W. Cho, Y.C. Um, J.M. Park, and J.H. Lee. 2008. Control of irrigation amount for production of high quality fruit in melon fertigation cultivation. Journal of Bio-Environment Control 17(4):288-292.
8. Rouphael, Y., G. Colla, M. Cardarelli, S. Fanasca, A. Salerno, C.M. Rivera, A. Rea, and F. Karam. 2005. Water use efficiency of greenhouse summer squash in relation to the method of culture: Soil VS. soilless. Acta Hort. 697:81-86.
9. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim, 2006a. Characteristics of root media moisture in various irrigation control methods for tomato perlite bag culture. Journal of Bio-Environment Control 15(3):225-230.
10. Sim, S.Y., S.Y. Lee, S.W. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, S.J. Kim, and Y.S. Kim, 2006b. Appropriate set time in irrigation system by time clock in tomato perlite bag culture. Journal of Bio-Environment Control 15(4):327-334.
11. Warren, S.L. and T.E. Bilderback. 2004. Irrigation timing: Effect on plant growth, photosynthesis, water-use efficiency and substrate temperature. Acta Hort. 644:29-37.
12. Zabri, A.W. and S.W. Burrage. 1998. The effects of vapour pressure deficit (VPD) and enrichment with CO_2 on photosynthesis, stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency(WUE) of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) grown by NFT. Acta Hort. 458:351-356.