

토마토 펄라이트 자루재배에서의 관수마감시간에 따른 용수이용효율
및 비료이용효율 증진
Improvement of Water and Fertilizer Use Efficiency by Daily
Last Irrigation Time for Tomato Perlite Bag Culture

심상연¹ · 이수연¹ · 이상우¹ · 서명훈¹ · 임재욱¹ · 김순재¹ · 김영식^{2*}

¹경기도농업기술원, ²상명대학교

Sang Youn Sim¹, Su Yeon Lee¹, Sang Woo Lee¹, Myeong Whoon Seo¹, Jae
Wook Lim¹, Soon Jae Kim¹, and Young Shik Kim^{2*}

¹*GyeongGi-Do Agricultural Research & Extension Services, Hwasung-si
445-300, Korea*

²*Sangmyung University, San 98-20 Anso-dong Cheonan Choongnam 330-720,
Korea*

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 행해야 한다. 배양액은 용수와 비료의 혼합물이므로, 효율을 고려할 경우 수확량에 대한 용수이용효율(WUE: water use efficiency)과 비료이용효율(FUE: fertilizer use efficiency)을 모두 고려해야 한다. WUE와 FUE는 각각 단위 소요된 용수나 비료의 양이 생산한 수확량을 의미하는데, WUE와 FUE는 토양재배와 수경재배간에도 다르다(Rouphael et al., 2005). WUE와 FUE를 높이는 방법으로는 환경관리(Zabri and Burrage, 1998), 재배법(Abou-Hadid et al., 1993), 배양액관리(Warren and Bilderback, 2004) 등 여러 가지가 있다. WUE와 FUE를 높이는 방법으로는 관수량을 줄이는 방법이 가장 단순한 방법이다. 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 과다 수분은 오히려 해로운 경우까지 있다. 따라서 오후에 배지 내 수분함량을 적게 함으로써 식물 생육을 좋게 유지하고, 한편으로는 WUE와 FUE를 높이는 배양액 관리법을 강구할 필요가 있다.

본 실험은 일중 관수마감시간을 달리함으로써 최적 생장을 유지하면서도 WUE와 FUE를 높이기 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 펠라이트 자루재배법으로 실험하였다. 펠라이트 자루(W 340 * L 1,200 * H 150mm, 용량 40L)는 정식 전날 포수한 후, 정식 직전 배액 구를 뚫은 다음, 펠라이트 자루 당 3개의 구멍을 내고 한 구멍마다 2그루씩 정식 하였다. 배액구는 자루의 한쪽 면에만 그루와 그루 사이의 정중앙에 바닥에서 3cm 높이에 5cm 길이로 만들었다. 재식간격은 40cm로 하였다. 줄 간 간격은 2m였다.

2005년 10월 17일부터 처리를 시작했다. 처리는 관수마감시간에 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 일몰시각이 17:40분일 때, 관수마감 시간을 처리별로 일몰 4시간 전인 1:40분, 3시간 전인 2:40분, 2시간 전인 3:40분, 1시간 전인 4:40분으로 시작하였다. 그리고 약 한 달 후인 2005년 11월 22일 일몰시각이 17:17분일 때, 1:20분, 2:20분, 3:20분, 4:20분으로 변경, 또 약 한달 후 인 2005년 12월 27일 일몰시각이 17:00일 때 관수마감시간을 1:00, 2:00, 3:00, 4:00로 조정하여 처리하였다.

사용 배양액은 토마토용 Yamazaki 배양액이었으며, 공급 시 pH 6.0, EC 1.2 이었다. 그리고 작물의 생육단계에 따라 2005년 11월 24일 EC 1.6, 2005년 12월 7일 1.8로 EC를 점차 높여서 급액하였다. 배양액의 공급은 자동 공급 장치(Agronic 4000, Spain)를 이용하였다. 관수는 배액량 제어 법을 이용하여 제어하였다. 배액량 제어 법은 배지로부터 나온 배액을 모으는 집액용기 안에 배액이 모인 후, 배액이 다시 배지로 재흡수되어 배액량이 정해진 높이까지 낮아졌을 때 급액 하는 방법이다. 본 실험에서는 일중 관수는 일출시부터 행했다. 배액량 제어 장치는 스티로폼 틀의 중앙에 식물이 식재된 배지를 놓고, 한쪽 끝의 공간에 전극 봉 2개를 세운다. 이 때 좀 더 정밀한 제어를 위해 물에 닿는 전극의 아래쪽을 뾰족하게 깎는다. 전극 봉 하나는 바닥에 닿게 설치하고 다른 하나는 배액 높이를 정하기 위해 위 아래로 조정할 수 있게 설치한다. 그리고 배액이 방출되게 하기 위해 스티로폼 틀에 구멍을 뚫는다. 구멍 바깥쪽으로 엘보를 꼽고 거기에 유연한 고무관을 연결한다. 고무관 끝에는 배액구의 높이를 조정할 수 있도록 아크릴 제 배액구 높이 조절 용기를 부착한다. 이것에 pH 센서 및 EC 센서를 연결한다.

측지는 5cm 이상에서 제거했다. 수확이 종료된 화방 이하의 하엽은 수확종료시 제거하였다. 2005년 10월 24일부터 매주 월, 수, 금에 착과제로 토마토 톤을 살포했다. 각 처리별로 집액 용기와 배액량을 중량 센서에 매달아 무게를 측정하였으며, multi-channel static amplifier(AI-1600, CAS)를 통해 컴퓨터에 저장하였다. 수확은 2006년 1월 3일부터 토마토가 90%정도 착색 되었을 때 처리별, 그루별, 화방별로 수확하여 100g이하(소과), 100g~200g, 200~300g, 300g~400g, 400g이상의 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 물이용효율 및 비료이용효율을 계산하였다.

결과 및 고찰

배지 내 수분함량은 마감시각이 늦을수록 많은 경향을 나타냈다(Fig. 1). 일중 배액량 변화 추이를 보면 마감시각이 늦은 처리구에서 오후에 배액량이 많았다(Fig. 2).

본 실험은 배액전극법에 의해 배양액 공급을 제어하였는데, 전극법에서는 광도에 관계없이 일중 배지 내 수분함량이 설정범위 안에서 일정한 경향을 나타냈다. 일사량에 따라 관수마감시각부터 익일 관수개시시각까지의 차이는 인정되었으나, 이는 모든 처리구에서 동일한 경향이였다.

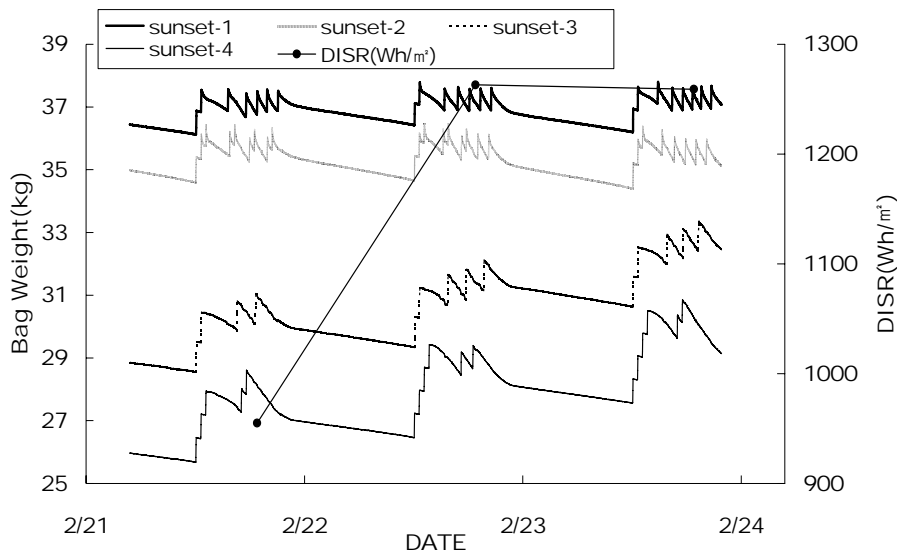


Fig. 1. Perlite bag weight and daily integrated solar radiation according to treatments by the last irrigation time. Sunset-1-4: Irrigation ended 1-4 hours before sunset, DISR: daily integrated solar radiation.

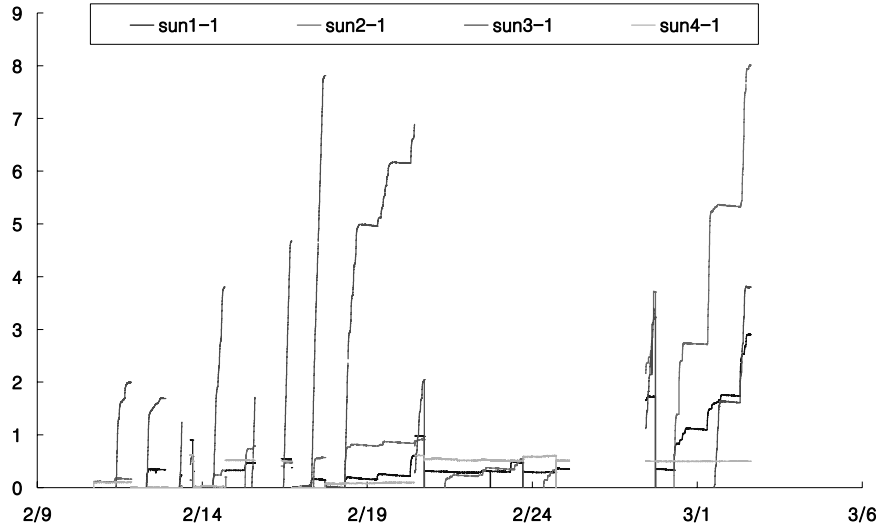


Fig. 2. Drainage according to treatments by the last irrigation time. Sunset-1-4: Irrigation ended 1-4 hours before sunset, DISR: daily integrated solar radiation.

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

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	213.0	54.7	61.1	12.6	27.4	1009.4
sunset-2	211.9	55.9	61.5	13.2	28.4	1128.9
sunset-3	215.3	54.9	61.3	12.4	28.3	936.5
sunset-4	208.5	53.5	56.9	12.3	26.7	908.0

^zSunset-1-4: Irrigation ended 1-4 hours before sunset

관수마감시간 처리별 수확량을 비교한 결과, 일몰 4시간 전 처리구에서 상품수량이 약간 적었는데, 특히 100g이하 소형과가 많아 상품수량이 낮았다. 반면에, 당도는 높은 경향을 나타냈다(Table 2).

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)	Brix (°Bx)	Index (%)
sunset-1	6.011	4.862	0.269	0.879	5.4	80.9
sunset-2	6.286	4.955	0.334	0.997	5.2	78.8
sunset-3	5.551	4.363	0.233	0.955	5.5	78.6
sunset-4	5.460	3.800	0.184	1.477	5.7	70.0

^zSunset-1-4: Irrigation ended 1-4 hours before sunset

관수마감시간 처리별 128일 동안의 배양액 급액량을 조사한 결과, 관수마감시간이 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, 따라서 아침 첫급액시 관수가 행해져도 여전히 배지 내 수분함량이 낮아 수 회 관수가 계속되어 급액회수가 증가한다. 단위 용수사용량당 상품수량은 일몰마감 3시간 전 처리구에서 41.2로 가장 높아 1kg의 토마토를 생산하는데 가장 적은 용수를 소비하는 것으로 나타났고, 1시간 전 처리구에서 33.5로 가장 낮았다. 동일한 배양액 농도와 조성을 사용했으므로 단위 상품수량당 비료사용량도 동일한 차이를 나타냈다.

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

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

^zSunset-1-4: Irrigation ended 1-4 hours before sunset

^yWUE (water use efficiency): quantity of water irrigated / marketable yield

^xFUE (fertilizer use efficiency): quantity of fertilizer supplied / marketable yield

^wMean separation within columns by Duncan's multiple range test at P=0.05

관수마감시간을 달리해서 WUE 및 FUE를 높이는 실험을 수행한 결과, 상품수량은 일몰 1시간 전 및 2시간 전에서 가장 많았고, 4시간 전에서 가장 낮았으며, 단위 상품수량당 용수사용량과 비료사용량은 일몰마감 1시간 전 처리구에서 가장 높았고, 3시간 전 처리구에서 가장 낮았다. 따라서 용수 및 비료 절감을 고려하는 경우에도 일몰 4시간 전에 관수를 중단하는 것은 바람직하지 않으며, 3시간 전에 마감하는 것이 좋을 것으로 사료된다. 단, 본 연구결과는 배액구를 하단 3cm 위에 개설하여 하부에 일정량의 저장된 배양액이 있는 경우의 결과이므로, 통기성 확보를 위해 배액구를 더 아래에 개설할 경우에는 관수마감시간을 달리해야 할 것이다. 일중 관수시간대 이내에서는 배액구 아래의 물의 양이 크게 배지 수분함량에 기여하지는 않으나(Marfa et al., 1993) 일중 마지막 관수시간에는 영향을 미칠 것으로 사료된다. 단, 펠라이트 자루는 모양이 일정하지 않으므로 배액구 높이 아래에 존재하는 배양액 양을 정확하게 알 수는 없다(Orozco and Marfa, 1995). 또한 계절 및 배양액 관리법에 따라 차이가 있을 수 있으므로 이를 고려해야 할 것이다.

요약 및 결론

펠라이트 자루재배시 일중 관수마감시간을 달리함으로써 최적 생장을 유지하면서도 WUE와 FUE를 높이기 위해 실시되었다. 처리는 관수마감시간에 따라 4가지 처리를 두었는데, 일몰 1시간 전부터 4시간 전까지 4단계로 나누어 처리하였다 (sunset-1, 2, 3, 4). 배지 내 수분함량 변화는 마감시각이 늦을수록 많은 경향을 나타냈다. 최종 생육을 비교한 결과, 일몰 4시간 전 처리구에서 약간 생육이 낮은 경향을 보이기는 했으나, 통계적 유의차는 보이지 않았다. 관수마감시간 처리별 128일동안의 배양액 금액량을 조사한 결과, 관수마감시간이 늦을수록 소요 배양액량도 많았다.

이상의 결과에서, 상품수량은 일몰 1시간 전 및 2시간 전에서 가장 많았고, 4시간 전에서 가장 낮았으며, 단위 상품수량당 용수사용량과 비료사용량은 일몰마감 1시간 전 처리구에서 가장 높았고, 3시간 전 처리구에서 가장 낮았다. 따라서 용수 및 비료 절감을 고려하는 경우에도 일몰 4시간 전에 관수를 중단하는 것은 바람직하지 않으며, 3시간 전에 마감하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 농림기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음.

인용문헌

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. 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.
3. 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.
4. Roupheal, 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.
5. 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.
6. Zabri, A.W. and S.W. Burrage. 1998. The effects of vapour pressure deficit (VPD) and enrichment with CO₂ 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.