

관부 난방시스템과 온수 양액 공급이 온실 에너지 사용량, 딸기 생육 및 생산성에 미치는 영향 분석

이태석^{1*} · 김진구¹ · 박석호² · 이재한¹ · 문종필³

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원에연구소 연구사, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 채소과 연구관,

³농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 연구사

Analysis on the Effect of the Crown Heating System and Warm Nutrient Supply on Energy Usage in Greenhouse, Strawberry Growth and Production

Taeseok Lee^{1*}, Jingu Kim¹, Seokho Park², Jaehan Lee¹, and Jongpil Moon³

¹Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

²Senior Researcher, Vegetable Research Division, NIHHS, RDA, Wanju 55365, Korea

³Researcher, Division of Energy & Environmental Engineering, NIAS, RDA, Jeonju 54875, Korea

Abstract. In this study, experiments of local heating on crown and supplying warm nutrient for energy saving and improving growth of 'Seolhyang' strawberry were conducted. The temperature of inside and crown in greenhouses which were control (space heating 8°C) and test (space heating 5°C+crown heating) was measured. In the control greenhouse, the average of temperature and humidity in December was 7.1°C, 87.2%, respectively. In the test greenhouse, the average of temperature and humidity in December was 5.7°C, 88.7%. The temperature of crown and inside the bed were 7.9°C, 10.8°C in control, 9.3°C, 12.7°C in test. During the test period, the total $16,847 \times 10^3$ kcal of energy was consumed in control greenhouse including space heating. In test greenhouse including space heating, crown heating and warm water supplying, total $9,475.7 \times 10^3$ kcal of energy was consumed. So, energy consumption in test was 43.8% less than in the control. The total yields of strawberry during test period were 412.7g/plant for test greenhouse and 393.3g/plant for control greenhouse respectively.

Additional key words : humidity, hydroponics, temperature, yield

서 론

국내 딸기의 재배면적은 2015년 이후 감소추세였으나 2019년 시설재배 면적의 증가로 현재 6,462ha의 면적에서 재배되고 있다(MAFRA, 2020a). 딸기의 축성 재배는 보통 9월에 정식하여 12월부터 수확을 개시하고 익년 5, 6월까지 재배하기 때문에 겨울철 온도 관리가 매우 중요하다. 딸기는 저온성 작물로 다른 작목에 비해 난방에너지 소비량은 적으나 최근 고설재배가 증가함에 따라 가온면적도 증가하고 있어 에너지 소비가 많아지고 있다. 국내 시설원에 가온재배 면적 중 유류난방 비중은 감소 추세에 있음에도 81.7%를 차지하여 여전히 비중이 높고, 농가들은 유가 변동에 취약한 상황이다(MAFRA, 2020b). 이에 다양한 시설원에 에너지절감 기술들이 다양하

게 개발되었으며 그 중 '부분 난방 기술'은 온실 공간 전체를 난방하지 않고 작물의 온도 민감부의 온도를 집중적으로 관리하는 기술로 많은 연구가 수행되어 왔다(Cho 등, 1994; Nam, 2002; Jun 등, 2008, Choi 등, 2013). 토마토의 출기끝 생장점(Kawasaki 등, 2011), 가지의 지제부(Moriyama와 Oku, 2012) 등 여러 작목에 대해 연구가 이루어졌으며 그 중 딸기는 다른 작목에 비해 작고 생장점이 성장에 관계없이 고정되어 있어 관부(Crown)(Sato와 Kitajima, 2010)와 근권부(Kim 등, 2009)의 부분 난방 적용이 보다 쉽다. Moon 등(2014)은 여름철 고온 스트레스로 인한 딸기의 생육 장애 및 생산량 감소를 극복하기 위한 방안으로 사계성 딸기의 관부를 15°C의 냉수로 부분 난방을 하였으며, 그 결과 관행 재배 시보다 생산량을 30% 증가시켰다. 그리고 Moon 등(2016)은 겨울 딸기를 대상으로 부분 난방을 하여 관부의 온도를 관행 재배 시보다 3~5°C 상승시켰고, 그 결과 초기 수확량이 늘어나는 것을 확인하였다. 따라서 이상의 선행 연구들을 통해 딸기 관부의 온

*Corresponding author: taeseok84@korea.kr

Received August 11, 2021; Revised September 13, 2021;

Accepted September 14, 2021

도 관리가 매우 중요하다고 알려져 있다.

본 연구에서는 대상작물인 딸기(설향)의 관부에 대하여 부분 난방 기술과 함께 양액 공급 시 온수로 공급하는 방식을 적용하여 그 효과를 검토하였다. 이를 위하여 관부의 부분 난방 및 온수 공급 처리방식을 통해 온실 내 전체 온도를 상대적으로 낮게 관리하는 재배방식과 기존의 온실 공간 전체를 난방하는 재배 방식을 각 대상온실에서 구현하여 비교하였으며, 그 효과는 대상작물의 관부 직경, 초장 등 생육특성 및 그 생산량 그리고 에너지 소비량 등에 대한 비교분석을 통해 검토하였다.

재료 및 방법

1. 시험온실 및 공시품종

시험은 경상남도 함안군 함안면 소재(35°13'57"북, 128°25'19"동, 표고 45m)의 단동온실(폭 8m, 측고 1.6m, 동고 3.3m, 길이 40m) 2개동에서 수행하였다. 온실의 피복은 폴리에틸렌 필름 2중이고, 온실 내 난방장치는 등유 온수보일러(535RTG, Kyungdong Navien Co., Seoul, Korea)로 온실 양 측면에 3줄로 설치한 스테인레스 주름관을 이용하여 난방하였다. 본 연구에 사용된 딸기(*Fragaria × ananassa* Duch.) 품종은 '설향'이며, 온실 내 4줄로 설치된 고설베드에 육묘장에서 구입한 모종을 베드당 80주, 총 640주를 2020년 9월 16일에 정식하였다. 정식 후에는 농촌진흥청 표준 딸기재배법(RDA, 2019)에 준하여 재배하였으며, 대조구 온실은 관행 재배법을 참고하여 12월부터 관리 온도를 8°C로, 관부 난방 시스템을 설치한 시험구 온실은 딸기의 생육 최저 온도를 참고하여 5°C로 설정하였다(Fig. 1).

2. 관부 난방 및 온수 양액 공급 시스템

관부 난방 및 온수 양액 공급 시스템은 난방능력 11kW, 냉방능력 6.4kW의 공기 대 물 히트펌프(DHAW 11K-C3-01,

Daeseung Heatpump, Seoul, Korea), 축열조, 관부 난방 배관(백색 연질 폴리에틸렌관, 직경 16mm), 점적 호스로 구성하였다(Fig. 2). 히트펌프 운전은 축열조 내 물 온도를 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 유지하도록 제어하여 관부 난방수 및 양액을 23°C로 공급할 수 있게 하였다. 관부 난방은 배관 내부 물 온도를 감지하여 순환펌프를 ON/OFF 하는 방식으로 하였으며 설정 온도를 23°C로 하였다. 양액은 치바농시 딸기전용 배양액으로 조성하였으며 급액량은 1일 주당 200mL로 4회(09:00, 11:00, 13:00, 15:00) 공급하였다. 관부 난방 및 온수 양액 공급도 12월부터 시작하였다.

3. 온실 온습도, 딸기 관부 등 온실 내외부 환경 측정

관부 난방 및 온수 양액 공급에 따른 온실 내외부 환경을 비교하기 위하여 온실 온습도, 딸기 관부 및 베드 온도, 관수 온도를 측정하고 비교하였다. 온실 내외부의 온습도는 각각 온실 내 중앙지점과 온실 외부 직사광선을 피할 수 있는 곳을 선정하여 1.5m 높이에 온습도 데이터로거(HOBO U23-001, Onset Computer Corp., USA)를 설치하여 10분 간격으로 정식 후부터(2021.9.16.) 익년 3월 31일까지 측정하였다. 온실 내외부 온습도는 월별로 일출 후 1시간부터 일몰 후 1시간까지를 주간으로 간주하고, 나머지 시간대는 야간으로 간주하여 주간, 야간으로 나누어 비교하였다. 딸기 관부 및 베드 온도는 각 베드별로 중앙 위치한 딸기 관부 표면과 배지 표면으로부터 10cm 깊이의 온도(TR-72Ui, T&D, Nagano, Japan)를 10분 간격으로 측정하였으며, 관부 난방을 시작한 12월부터 익년 3월 말까지 측정하였다. 딸기 관부 및 베드 온도는 야간 시간대를 기준으로 데이터를 비교하였다. 공급되는 양액의 온도는 관수 시점의 관수 호스 내부의 물 온도(PT100, Yokogawa, Tokyo, Japan)를 측정하였고 그 때 10cm 깊이의 베드 온도도

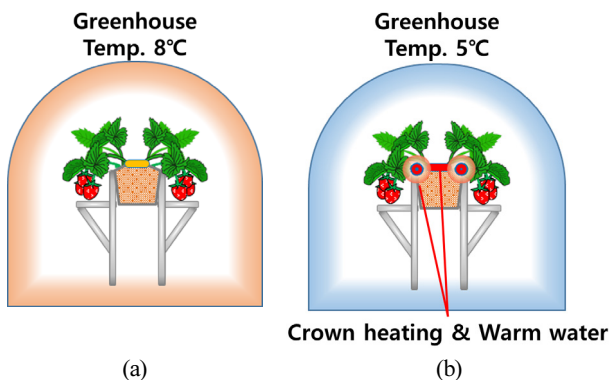


Fig. 1. Treatment factors of comparison test for crown and space heating.



Fig. 2. The picture of crown heating piping installation.



Fig. 3. The location drawing for measuring sensors.

함께 측정하였다. 관수 온도는 관수 시간이 약 3분 정도로 짧아 10초 간격으로 측정하였으며(Fig. 3), 1월부터 3월까지 측정하여 관수 중의 물 온도 및 베드 온도를 비교하였다.

4. 에너지 사용량, 생육 및 생산성 조사

에너지 사용량은 공간 및 관부 난방을 수행한 12월부터 온수보일러에 사용한 유류사용량, 히트펌프 전기 사용량을 매일 기록하여 열량으로 환산하여 산출하고 비교하였다. 유류는 등유로 실내등유 기준 고위발열량 8,790kcal/L를 적용하여 계산하였다.

작물의 생육 조사는 정식일로부터 5주, 15주 및 25주 후에 관부 직경, 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 엽록소 수치를 측정하였으며 온실 내 베드 길이별로 앞, 중간, 뒤쪽의 10주씩을 대상으로 처리구별 총 120)주씩을 조사하였다. 생산성은 조사주를 대상으로 첫 수확을 했던 2020년 12월 22일부터 1주일 간격으로 2021년 3월 25일까지 수확 및 조사하여 대조구와 시험구의 수확량을 비교하였다.

통계분석은 RStudio 소프트웨어(Ver. 1.4.1106, RStudio, USA)를 사용하였으며, t-test($p < 0.01$)를 이용하여 두 처리구의 평균값의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

1. 온실 내외부 온습도 비교

Table 1은 딸기 정식 후부터 3월까지의 온실 내외부의 주, 야간 평균 온습도를 나타낸 표이다. 시험구의 9월 평균 주간 온습도는 26.3°C, 58.3%, 야간 온습도는 16.9°C, 89.8%였으며, 대조구의 9월 평균 주간 온습도는 26.8°C, 57.3%, 야간 온습도는 16.9°C, 90.8%로 야간 습도를 제외하고는 유의미한

차이가 없는 것으로 나타나 관부 난방 처리 전에 두 온실의 환경이 유사하게 관리되었음을 확인할 수 있었다. 야간 습도의 경우 유의 수준 5%에서 유의미하게 차이가 있다는 결과가 나왔으나 평균값의 차이는 1% 정도로 미미하였다. 두 처리구의 10월, 11월 주야간 온습도도 평균값 및 t-test의 P값으로 보아 유의미한 차이가 없이 유사하게 관리되었음을 확인할 수 있었다. 관부 난방을 시작한 12월의 온실 평균 온습도를 살펴보면 먼저 주간에는 시험구 16.8°C, 59.9%, 대조구 17.3°C, 59.9%로 유사하게 관리되었다. 그러나 야간에는 온실의 관리 온도를 다르게 하였기에 시험구의 평균 온습도는 5.7°C, 88.7%, 대조구는의 평균 온습도는 7.1°C, 87.2%로 유의미한 차이가 있었으며, 이때 외부 온습도는 -2.7°C, 75.5%였다. 이러한 경향은 지속되어 1월, 2월, 3월에도 처리구 간 주간의 온습도 차이는 없었으나 야간에는 유의미한 차이가 있다고 나타났다. 3월 야간 온도의 경우 평균값이 시험구는 11.6°C, 대조구는 11.0°C로 높게 나타났는데 이는 외부 기온이 상승함으로써 일출 전후 및 일몰 전후의 온도가 올라간 것에 기인한다고 판단된다.

2. 딸기 관부, 베드 및 관수 온도 비교

Fig. 4는 12월부터 3월까지 각 온실 관부 및 베드의 야간 평균 온도를 비교한 그래프이다. 앞서 살펴본 온실 온도와 함께 그래프를 살펴보면 대조구에서는 12월 온실 야간 평균 온도가 7.1°C, 관부 온도는 7.9°C로 나타나 온실 온도와 관부 온도가 크게 차이 나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 반면 시험구에서는 온실 온도 5.7°C, 관부 온도 9.3°C로 온실 온도보다 관부 온도가 3.6°C 높게 나타났다. 베드의 온도도 대조구는 10.8°C였던 반면 시험구는 12.7°C로 나타나 대조구보다 약 2°C 가량 높았다. 1월부터 3월까지도 12월과 마찬가지로 시험구의 관부 및 베드 온도가 높게 나타났고 관부 및 베드 모두 시험구가 대조구보다 평균적으로 2°C 가량 높았다.

1) 21년 2월 18일부터 동당 60주씩 조사.

Table 1. The monthly average temperature and RH in experimental greenhouses and outside.

Monthly average temperature and relative humidity			Test	Control	<i>p</i> -value	Outside
Sep	Day	Temp.(°C)	26.3	26.8	0.386	21.5
		RH(%)	58.3	57.3	0.628	72.1
	Night	Temp.	16.9	16.9	0.899	15.4
		RH	89.8	90.8	0.011	93.6
Oct	Day	Temp.	23.7	24.3	0.192	17.8
		RH	48.8	48.2	0.687	60.1
	Night	Temp.	12.1	12.0	0.652	10.4
		RH	88.0	88.7	0.160	87.8
Nov	Day	Temp.	20.0	20.3	0.410	12.9
		RH	57.9	58.5	0.795	60.7
	Night	Temp.	9.8	10.3	0.068	6.3
		RH	91.9	93.3	2.381×10^{-8}	83.2
Dec	Day	Temp.	16.8	17.3	0.273	4.8
		RH	59.9	59.9	0.9943	51.8
	Night	Temp.	5.7	7.1	2.2×10^{-16}	-2.7
		RH	88.7	87.2	3.347×10^{-5}	75.5
Jan	Day	Temp.	17.1	17.8	0.1361	3.8
		RH	62.9	61.7	0.4931	54.1
	Night	Temp.	6.5	7.5	5.222×10^{-15}	-2.5
		RH	89.3	87.5	5.916×10^{-8}	74.5
Feb	Day	Temp.	20.2	19.5	0.105	8.5
		RH	52.2	54.9	0.196	46.4
	Night	Temp.	7.9	8.3	0.019	1.5
		RH	90.7	90.0	0.021	70.1
Mar	Day	Temp.	22.6	22.3	0.460	13.2
		RH	52.5	52.7	0.899	59.6
	Night	Temp.	11.6	11.0	0.001	6.6
		RH	92.0	92.2	0.352	82.6

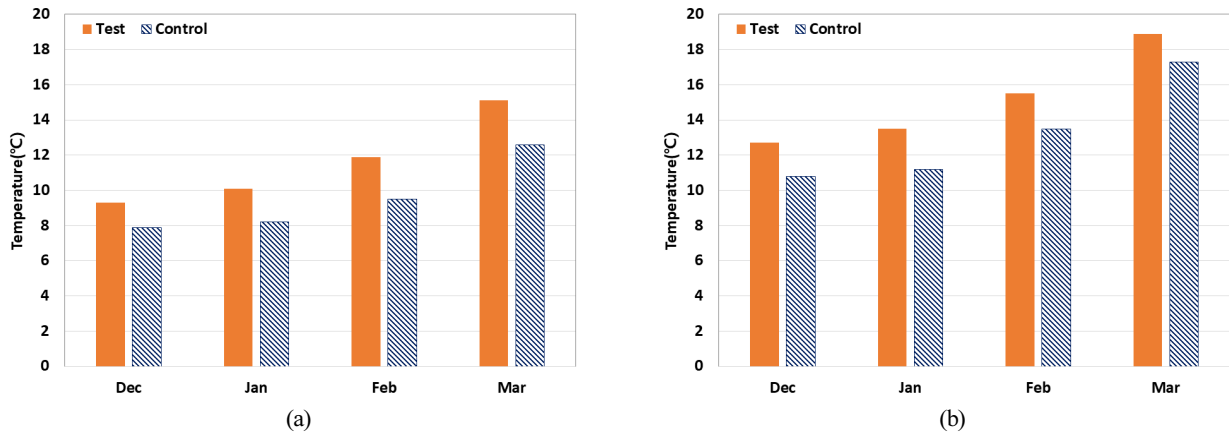


Fig. 4. The monthly average temperature of crown (a) and bed (b) at night in each greenhouse.

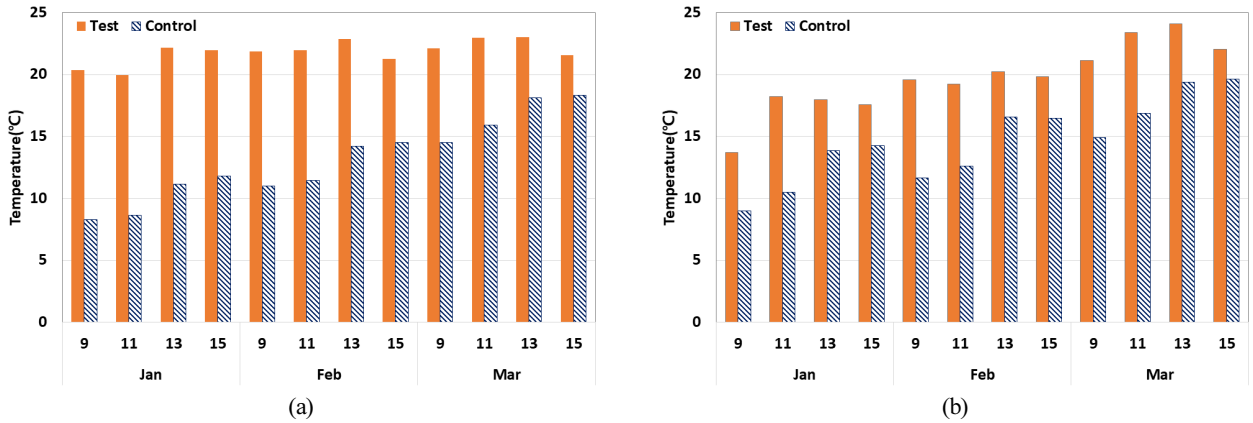


Fig. 5. The average temperature of drip water (a) and bed (b) in each greenhouse.

Table 2. Monthly energy consumption and total energy consumption in each greenhouse.

Energy consumption (10 ³ kcal)	Test			Control		
	Heating for greenhouse	Heating for crown	Total	Heating for greenhouse	Heating for crown	Total
Dec	2,341.7	1,033.6	3,375.3	6,233.9	0	6,233.9
Jan	2,752.1	962.3	3,714.4	6,504.6	0	6,504.6
Feb	886.0	679.5	1,565.5	3,153.9	0	3,153.9
Mar	349.8	470.7	820.5	954.6	0	954.6
Total	6,329.6	3,146.1	9,475.7	16,847.0	0	16,847.0

Fig. 5는 양액 공급 시 각 온실에서 물의 온도와 베드 내부의 온도를 비교한 그래프이다. 1월의 데이터를 살펴보면 대조구는 양액 공급 시 지하수를 바로 이용했기 때문에 9시 첫 관수 시에는 8.3°C의 낮은 온도의 양액이 공급되었고 평균적으로 10.0°C의 낮은 온도의 양액이 공급되었다. 시험구는 축열조에서 23 ± 0.5°C의 온도로 데워진 물을 이용하여 첫 관수 시에도 20.4°C의 온수를 공급할 수 있었고 평균적으로 21.1°C의 온수 양액이 공급하였다. 이에 관수 시 베드 온도는 대조구에서 11.9°C였으나 시험구에서는 16.9°C로 약 5°C 가량 높게 나타났다. 2월의 대조구와 시험구의 평균 관수 온도는 각각 12.8°C, 22.0°C였으며, 베드 온도는 14.3°C, 19.7°C로 나타났다. 3월의 대조구와 시험구의 평균 관수 온도는 각각 16.7°C, 22.4°C였으며, 베드 온도는 17.7°C, 22.7°C로 나타나 시험구에 온수 양액을 공급함으로써 베드의 온도도 높일 수 있음을 확인할 수 있었다.

3. 관부 난방 및 온수 공급에 따른 에너지 사용량 비교

Table 2는 시험구와 대조구의 월별, 누적 에너지 소비량을 나타낸 표이다. 시험구 온실에서는 시험 기간 동안 공간 난방을 위한 온수보일러와 관부 난방 및 온수 양액 공급을 위한 히

트펌프를 운용하여 총 9,475.7 × 10³ kcal의 에너지를 소비하였다. 대조구에서는 온실 공간 난방을 위해 온수보일러를 가동하여 총 16,847 × 10³ kcal의 에너지를 소비하여 시험구에서 대조구에 대비 약 43.8%의 에너지 소비를 줄일 수 있었다. 이러한 결과는 관부 난방(공간 5°C)이 대조구(공간 9°C)에 비해 65%의 유류 절감 가능성이 있었던 Kwon 등(2019)의 연구 결과, 관부 난방(공간 4°C)이 대조구(공간 8°C) 대비 29.7%의 난방 에너지 절감 효과가 있었던 Moon 등(2019)의 연구 결과와 비교해 보았을 때 타당한 결과로 판단된다.

4. 관부 난방 및 온수 공급이 작물 생육 및 생산성에 미치는 영향

Table 3는 시험구와 대조구 온실에 딸기를 정식하고 5주 후, 15주 후, 25주 후의 딸기 생육을 비교한 표이다. 정식하고 5주 후의 시험구와 대조구의 생육조사 결과를 살펴보면, 관부 직경, 엽수, 엽록소 수치는 큰 차이가 없었으나 초장, 엽장, 엽폭은 대조구가 유의미하게 큰 것으로 나타났다. 9월부터 11월까지의 별도의 처리없이 같은 조건으로 재배했기 때문에 이러한 결과는 정식했던 딸기묘 자체의 상태에 따라 다르게 나타난 것으로 판단된다. 15주 후에는 시험구와 대조구의 딸기 잎의

Table 3. Growth parameters of strawberry plants in test and control greenhouse.

Date	Green-house	Crown diameter (cm)	Plant height (cm)	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Number of leaves	chlorophyll
20.10.21. (5weeks later)	Test	14.5 ± 1.35	23.1 ± 2.98	10.9 ± 1.21	9.2 ± 0.93	5.9 ± 0.98	43.8 ± 3.18
	Control	14.5 ± 1.27	26.2 ± 2.6	12.2 ± 1.06	10.1 ± 0.78	6.3 ± 0.89	43.8 ± 2.36
		ns	***	***	***	ns	ns
20.12.30. (15weeks later)	Test	25.0 ± 2.04	28.4 ± 3.48	12.2 ± 1.5	9.5 ± 0.94	7.9 ± 1.12	47.4 ± 4.42
	Control	23.6 ± 2.46	30.2 ± 3.43	13.5 ± 1.72	10.5 ± 1.26	9.8 ± 1.37	48.4 ± 4.82
		*	*	***	***	***	ns
21.3.10. (25weeks later)	Test	22.5 ± 2.71	27.2 ± 4.1	12.2 ± 1.64	9.2 ± 1.22	11.0 ± 2.18	43.4 ± 4.38
	Control	23.5 ± 2.53	26.0 ± 4.01	11.7 ± 2.6	9.0 ± 1.18	10.5 ± 1.74	40.4 ± 5.8
		ns	ns	ns	ns	ns	**

* $p < 0.05$ = *, $p < 0.01$ = **, $p < 0.00$ = ***, ns = Not significant result.

Table 4. Cumulative yield comparison in test and control greenhouse.

Green-house	Cluster 1 (g)	Cluster 2 (g)	Cluster 3 (g)	Total	
				Sum (g)	per plant (g/p)
Test	16,009.2 ^Z 5,819.1 ^Y	8,763.8 ^Y	2,173.2 ^Y	32,765.3	412.7
Control	17,156.4 ^Z 6,165.7 ^Y	7,371.6 ^Y	1,481.1 ^Y	32,174.8	393.3
			ns		

^ZN = 120.

^YN = 60.

엽록소 수치는 큰 차이가 없었고, 관부 직경은 시험구가 더 크게 나타났다. 초장, 엽장, 엽폭, 엽수는 대조구가 시험구에 비해 유의미하게 큰 것으로 나타났다. 25주 후에는 관부 직경, 초장, 엽장, 엽폭, 엽수 모두 시험구와 대조구 사이에 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났으며, 엽록소 수치만 시험구에서 더 높게 나타났다. 정식묘의 차이로 인해 초기에는 대조구의 생육이 더 좋았으나 딸기의 온도민감부인 관부의 온도를 높게 관리해줌으로써 작물의 생육을 촉진시켰고, 그로 인해 25주 후에는 시험구와 대조구, 두 처리구 간의 생육 차이가 줄어든 것으로 보여진다. 본 연구의 결과는 고설 딸기 재배 온실에서 8°C 공간 난방구, 6°C 공간난방+ 관부 난방구의 작물 생육을 비교하여 관부 난방구에서 관부 직경, 초장, 엽장, 엽폭 등이 큰 값을 나타내었던 Moon 등(2019)의 연구 결과와 비교했을 때 타당한 결과로 판단된다.

Table 4는 시험구와 대조구의 화방별, 주당 수확량을 비교한 표이다. 1화방의 수확량을 비교해보면 시험구 21,828g, 대조구 23,322g으로 대조구의 수확량이 더 많았으며, 이는 초기

대조구의 딸기 생육이 더 좋았던 것에 그 원인이 있다고 판단된다. 2화방부터는 시험구의 수확량이 더 많았으며 3월 말까지의 최종 주당 수확량은 시험구 412.7g/plant, 대조구 393.3g/plant로 유의미한 차이는 없으나 시험구가 대조구에 비해 4.9% 많았다. 딸기의 수확량은 Moon 등(2019)이 딸기 재배 온실에 8°C 공간 난방과, 6°C 공간 난방+ 관부 난방 처리를 하여 11월 초부터 4월 말까지 조사한 수확량 473g/plant(100%, 8°C 공간난방), 497g/plant(105.1%, 6°C 공간 난방+ 관부 난방)과 유사한 결과로 판단된다.

적 요

본 연구에서는 ‘설향’ 딸기의 관부를 부분 난방하고 양액을 온수로 공급하면서 관행 재배 방식에 비해 온실 공간 온도를 낮게 관리하는 딸기 부분 난방 시험을 수행하였다. 정식 후 11월까지의 특별한 처리가 없어 대조구, 시험구 모두 온실 내 환경이 유사하게 관리되었으며 관부 난방 및 온수 양액을 공급하기 시작한 12월부터는 야간의 온실 온도, 관부 온도 및 베드 온도가 차이를 보였다. 12월의 온실 야간 평균 온습도는 대조구 7.1°C, 87.2%, 시험구 5.7°C, 88.7%로 시험구의 온도가 낮았으나 관부 난방을 수행함으로써 시험구 온실의 관부 및 베드의 온도를 9.3°C, 12.7°C로 유지하였고, 대조구 온실의 관부 및 베드 온도 7.9°C, 10.8°C보다 높게 관리할 수 있었다. 시험기간 내에서 시험구 온실의 딸기 관부 및 베드 온도는 대조구에 비해 모두 약 2.0°C 가량 높게 유지되는 것으로 나타났다. 주간에는 온수 양액을 공급함으로써 지하수를 이용했을 때보다 평균 8.7°C 높은 온도 양액을 공급할 수 있었고 이로 인해 베드 온도도 약 5.0°C 가량 높게 나타났다. 시험구에서는 시험기간 동안 온실 난방, 관부 난방 및 온수 양액 공급에 총

9,475.7×10³kcal의 에너지를 소비하였고 대조구에서는 온실 공간 난방에 총 16,847×10³kcal의 에너지를 소비하여 시험구에서 대조구 대비 약 43.8%의 에너지 절감 효과를 확인할 수 있었다. 시험구에서 딸기 관부의 온도를 높게 관리함으로써 작물의 생육을 촉진시킬 수 있었고 그로 인해 정식 후 초세가 대조구에 비해 좋지 않았던 시험구의 딸기가 25주 후에는 대조구와 생육적인 면에서 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 딸기의 수확량은 초세가 좋았던 대조구에서 1화방의 수확량이 시험구에 비해 많았으나 2화방, 3화방에서는 관부의 온도를 높게 관리한 시험구의 수확량이 더 많았다. 3월 말까지의 주당 수확량은 시험구 412.7g/plant, 대조구 393.3g/plant로 유의미한 차이는 없었으나 시험구가 대조구에 비해 4.9% 많이 나온 것으로 보아 딸기의 온도 민감부인 관부의 온도를 높게 관리하는 것이 딸기 생육과 생산성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

추가 주제어 : 수경 재배, 수확량, 습도, 온도

사 사

본 연구는 2021년도 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ01425201)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Cho I.H., Y.H. Woo., H. Nishina, and Y. Hashimoto 1994, Studies on zone cooling of greenhouse in the daytime in summer and occurrence of blossom-end rot in tomato plants. *J Bio Fac Env* 3:36-41. (in Korean)
- Choi K.Y., J.Y. Ko, E.Y. Choi, H.C. Rhee, S.E. Lee, and Y.B. Lee 2013, The effect of root zone cooling at night on substrate temperature and physiological response of paprika in hot climate. *Protected Hort Plant Fac* 22:349-354. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2013.22.4.349
- 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)
- Kawasaki Y., K. Suzuki, K. Yasuba, and M. Takaichi 2011, Effect of local air heating by a hanging duct near the tomato shoot apex and flower clusters on vertical temperature distribution, fruit yield and fuel consumption. *Hort Res (Japan)* 10:395-400. (in Japanese) doi:10.2503/hrj.10.395
- Kim Y.S., M. Endo, Y. Kiriwa, L. Chen, and A. Nukaya 2009, Effect of root zone heating during daytime on the flowering, growth and yield of strawberry 'Akihime' grown in substrate culture. *Hort Res (Japan)* 8:193-199. (in Japanese) doi:10.2503/hrj.8.315
- Kwon J.K., S.W. Kang, Y. Paek, J.P. Moon, J.K. Jang, and S.S. Oh 2019, Effects of local cooling and root pruning on budding and local heating on heating energy consumption in forcing cultivation of strawberry. *Protected Hort Plant Fac* 28:46-54. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.1.46
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA) 2016, 2015 Vegetable Greenhouse Status and Vegetable Production. Sejong, Korea.
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA) 2020a, Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook. Sejong, Korea.
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA) 2020b, 2019 Vegetable Greenhouse Status and Vegetable Production. Sejong, Korea.
- Moon J.P., G.C. Kang, J.K. Kwon, S.J. Lee, and J.N. Lee 2014, Spot cooling system development for ever-bearing strawberry by using low density polyethylene pipe. *J Korean Soc Agric Eng* 56:149-158. (in Korean) doi:10.5389/KSAE.2014.56.6.149
- Moon J.P., G.C. Kang, J.K. Kwon, Y. Paek, T.S. Lee, S.S. Oh, and M.H. Nam 2016, Spot heating technology development for strawberry cultivated in a greenhouse by using hot water pipe. *J Korean Soc Agric Eng* 58:71-79. (in Korean) doi:10.5389/KSAE.2016.58.5.071
- Moon J.P., S.H. Park, J.K. Kwon, Y.K. Kang, J.H. Lee, and H.G. Gweon 2019, Energy saving effect for high bed strawberry using a crown heating system. *Protected Hort Plant Fac* 28:420-428. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2019.28.4.420
- Moriyama T., and K. Oku 2012, Development of basal stem heating system with plastic tunnel and branch duct in forcing culture of eggplant. *Hort Res (Japan)* 11:531-536. (in Japanese) doi:10.2503/hrj.11.531
- Nam S.W. 2002, Estimation of soil cooling load in the root zone of greenhouses. *J Bio-Env Con* 11: 151-156. (in Korean)
- Rural Development Administration 2019, Agricultural technology guide 40. Rural Development Administration, Korea, pp 38-39.
- Sato K., and N. Kitajima 2010, Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. *Fukuoka Agricultural Research Center Report* 29:27-32. (in Japanese)