

관부 난방 시스템 적용으로 인한 고설 딸기의 재배 환경 변화와 그에 따른 출퇴, 개화 및 수확량 비교 분석

이태석^{1*} · 김진구¹ · 한길수²

¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 연구사, ²농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소 연구관

Comparative Analysis of the Cultivation Environment Changes, the Emerging Budding, Flowering and Yields in High Bed Strawberry due to the Application of Crown Heating System

Taeseok Lee^{1*}, Jingu Kim¹, and Kilsu Han²

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

²Senior Researcher, Protected Horticulture Research Institute, NIHHS, RDA, Haman 52054, Korea

Abstract. In this study, the effect of crown heating on the cultivation environment, budding, flowering and yields of strawberry was analyzed. In December, January, and February, when the outside temperature was low, the average strawberry crown temperature at daytime in the test zone was 1.3°C higher than that in the control zone, and the average strawberry crown temperature at nighttime in the test zone was 2.7°C higher than that in the control zone. The average bed temperature at daytime in test zone was 1.7°C higher than that in the control zone, and the average bed temperature at nighttime in test zone was 2.4°C higher than that in the control zone. As a result of performing correlation analysis and regression analysis on strawberry crown temperature and budding period, the correlation coefficient was -0.86, which tended to be shorter as the crown temperature was higher, and the determination coefficient was 0.74. The total yields of strawberry during test period were 392.6 g/plant for test greenhouse and 346.0 g/plant for control greenhouse respectively. As for the quality of strawberries, the ratio of 2L (very large) grades and L (large) grades was 62.4% in the test greenhouse and 58.5% in the control greenhouse, indicating that the proportion of high quality strawberries was higher in the test greenhouse.

Additional key words: Greenhouse, Hydroponics, Temperature

서 론

장미과에 속하는 딸기는 생육 적온 18–23°C, 최저 한계 온도 3°C로 저온성 작물이며, 시설 딸기 농가들은 대부분 토마토, 파프리카 등 시설에서 재배하는 다른 작물에 비해 온도 관리를 낮게 한다(RDA, 2021a). 2000년 이후에는 시설 딸기의 재배 기술 발달과 시설 개선 등으로 시설 딸기 재배면적이 급증하여 2010년 184ha였던 딸기 수경 재배 면적이 2020년에는 2,018ha로 증가하였다(RDA, 2021b). 더불어 국내에서는 국산 품종 ‘설향’이 10여년 전부터 보급이 확대되어 전국 딸기 재배 면적의 83% 이상을 차지하게 되었고, 9월부터 5월까지 재배 생산되는 축성 작형의 증가로 보온 및 가온 시설을 적극

적으로 활용하는 농가 많아지게 되었다(Kim 등, 2016). 국내 시설원에 가온 재배면적 중 유류를 이용하는 농가의 비율은 점차 줄어들고 있음에도 그 비율이 80.6%로 여전히 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 이 농가들은 유가 변동에 취약하다(MAFRA, 2022). 특히 2022년 겨울에는 면세 등유 가격이 다른 해에 비해 크게 올라 농가 부담이 더 컸었는데, 2021년 평균 798.7원/L이었던 면세 등유 가격이, 2022년 들어 점차 오르면서 11월에는 1,420.2원/L까지 올라 2021년 평균 가격에 비해 약 1.8배 상승하였다(OPINET, 2023). 난방비 부담으로 실제 딸기 재배 농가들은 야간 온실 관리 온도를 최저 한계 온도로 낮게 설정하여 작물을 재배하기도 하였다.

딸기는 관부의 온도 관리가 중요하다고 알려져 있는데, Sato와 Kitajima(2010)는 딸기 관부 난방이 초장, 출엽속도 등의 생육 개선 효과가 있다고 하였고, Moon 등(2014)은 여름 딸기 재배 시 관부 국소 냉방으로 관부의 온도를 낮게 관리했을

*Corresponding author: taeseok84@korea.kr

Received September 8, 2023; Revised October 27, 2023;

Accepted October 27, 2023

때 딸기 증수 효과가 있다고 하였다. 이 외에도 온실 공간 전체를 가온하지 않고 딸기의 관부만을 집중적으로 가온 및 냉방하는 부분 냉난방 기술에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다 (Moon 등, 2016; Kwon 등, 2019; Lee 등, 2021). 그러나 기존 딸기 관부 난방에 관한 연구들을 조사해보면 시험구 온실과 대조구 온실의 야간 난방 개시 온도를 달리하여 환경이 다른 온실에서 관부 난방에 의한 에너지 절감 효과를 비교한 연구들이 많았다. Moon 등(2019) 대조구의 야간 난방 개시 온도는 8°C로 설정하고, 관부 난방을 적용한 온실의 야간 난방 개시 온도는 4, 6°C로 하여 관부 난방 온실의 딸기가 대조구에 비해 생육이 뒤처지지 않고, 난방 에너지도 줄일 수 있음을 밝혔다. Lee 등(2021)은 대조구의 야간 난방 개시 온도를 8°C, 관부 난방 온실의 난방 개시 온도를 5°C로 하여 딸기 생육 및 에너지 절감 효과를 분석한 결과 딸기 생육 및 생산성의 유의미한 차이 없이, 난방 에너지를 절감시킬 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 한 온실 안에서 대조구 베드와 관부 난방 베드를 두고 야간 난방 개시 온도를 같게 함으로써 같은 환경 조건 하에서 관부 난방이 딸기의 관부 온도, 배지 온도 등에 미치는 영향, 그로 인한 출력, 개화 및 수확량의 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

1. 시험온실 및 공시품종

시험은 경상남도 함안군 함안면(35°13'57" 북, 128°25'19" 동, 표고 45m)에 위치한 단동온실(폭 8m, 측고 1.6m, 동고 3.3m, 길이 40m)에서 수행하였다. 온실 피복재는 폴리에틸렌 필름으로 2중 피복되어 있었으며, 온실 내 가온은 등유 온수보일러(535RTG, Kyungdong Navien Co., Seoul, Korea)를 이용하여 온수를 생성하고 온실 좌우측면에 3줄로 설치된 스테인레스 주름관에 공급하여 수행하였다. 시험에 사용된 딸기 (*Fragaria × ananassa* Duch.) 품종은 '설향'이었고, 육묘장에서 구입한 모종을 온실 내부에 4줄로 설치된 고설베드에 베드당 80주, 총 320주를 2022년 9월 20일에 정식하였다. 정식 후에는 양액의 EC는 0.8dS·m⁻¹로 급액하고 개화 후에는 EC를 증가시켜 만개 시에는 1.2dS·m⁻¹로 급액하였다. 1일 관수량은 주당 240mL를 급액하였으며, 오전 9시부터 오후 3시까지 2시간 간격으로 1일 4회 공급하였다. 재배관리는 농촌진흥청 표준 딸기재배법(RDA, 2019)에 준하여 실시하였다.

2. 관부 난방 시스템 및 온실 환경 관리

딸기 관부 난방 시스템은 관부 난방용 배관(LDPE Pipe(white), Ø 16mm, Seowon coporation, Bucheon, Korea), 배관 온수 공급을 위한 난방능력 11kW, 냉방능력 6.4kW인 공기 대 물

히트펌프(DHAW 11K-C3-01, Daeseung Heatpump, Seoul, Korea)와 축열조로 구성하였다. 관부 난방용 축열조의 물 온도는 Lee 등(2021)의 다른 연구 결과를 참고하여 23±0.5°C로 유지할 수 있도록 히트펌프를 제어하였고, 관부 난방 배관 입구 내부에 온도 센서를 설치하여 설정 온도 23°C를 기준으로 순환펌프가 ON/OFF 되도록 운영하였다. 온실 내 4베드 중 2베드에 관부 난방을 적용하였으며(Fig. 1), 작물 성장에 영향을 미치지 않도록 관부 난방 시작 직전 배관을 베드에 설치하였다. 난방 개시 온도는 딸기의 생육 적온 및 최저 한계 온도를 고려하여(RDA, 2021a) 5°C로 설정하였으며, 관부 난방 및 온실 난방은 11월 23일부터 시작하였다.

3. 딸기 재배 환경 측정

관부 난방에 따른 딸기 재배 환경을 비교하기 위하여 온실 내외부 온습도 및 딸기 관부 온도, 배지 온도를 측정하고 비교하였다. 온실 내외부의 온습도는 각각 온실 안의 한가운데 지점과 온실 밖의 직사광선이 닿지 않는 지점에서 지면으로부터

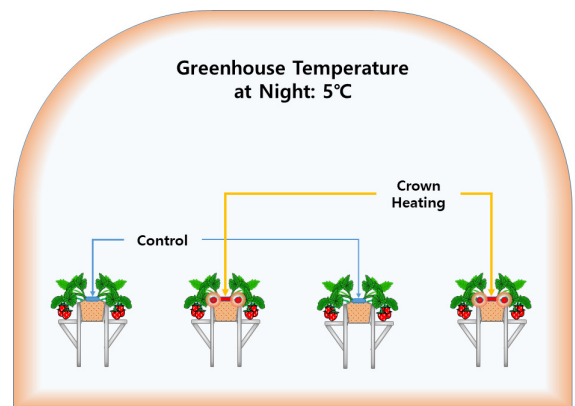


Fig. 1. Treatment factors of comparison test for crown heating in greenhouse.

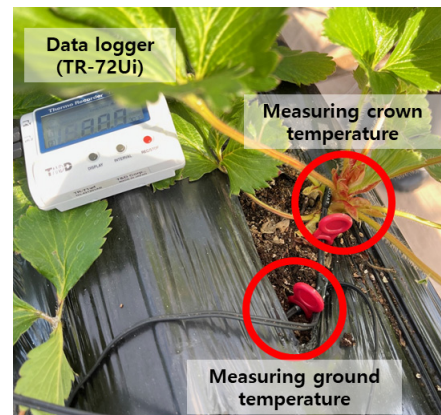


Fig. 2. Measuring crown and ground temperature in greenhouse.

1.5m 되는 높이에 온습도 데이터로거(HOBO U23-001, Onset Computer Corp., USA)를 설치하여 측정하였다(Fig. 3). 딸기 관부와 배지 온도 측정은 데이터로거(TR-72Ui, T&D, Nagano, Japan)를 이용하였으며, 관부는 온도 측정부를 관부에 밀착시켜 측정하였고, 배지 온도는 표면으로부터 10cm 깊이에 온도 측정부를 위치시켜 측정하였다(Fig. 2). 모든 데이터는 정식 후 약 한 달 후인 10월 20일부터 이듬해 3월 31일까지 10분 간격으로 측정하였으며, 일출부터 일몰 전까지를 주간, 일몰부터 일출 전까지를 야간으로 간주하여 주간, 야간으로 나누어 비교하였다.

4. 딸기의 출퇴, 개화, 수확량 및 품질 조사

딸기의 출퇴, 개화, 수확량은 각 화방별로 나누어 조사하였고, 베드별로 베드 중앙에 위치한 작물 10주씩을 선택하여 조사한 후 평균값을 비교하였다. 출퇴, 개화는 온실 관리 중 확인되는 대로 기록하였으며, 수확량은 첫 수확을 했던 2022년 12월 1일부터 2023년 3월 30일까지 1주일 간격으로 수확한 양을 주수로 나누어 주(week) 단위 수확량을 비교하였다. 품질은 국립농산물품질관리원(NAQS, 2016)에서 제공하는 농산물 표준규격에 따라 딸기 1개의 무게가 25g 이상일 경우 2L(very large), 17g 이상 25g 미만일 경우 L(large), 12g 이상 17g 미만일 경우 M(medium), 12g 미만일 경우 S(small)로 구분하여 나누어 비교하였다.

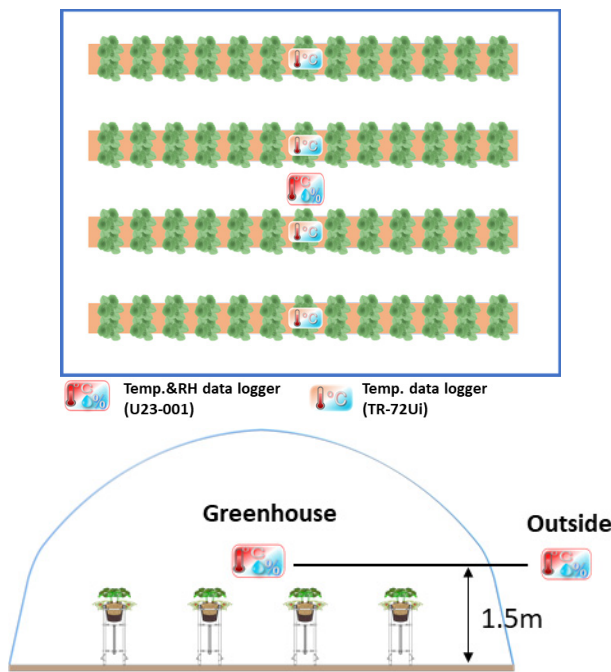


Fig. 3. The location drawing for measuring data loggers.

수집한 데이터의 통계분석은 R(Ver. 4.0.5, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)을 활용하였으며, 딸기 관부 및 배지 온도 데이터, 수확량 데이터는 t-test($p < 0.01$)를 이용하여 두 처리 간의 평균값의 유의성을 검정하였고, 출퇴 및 개화는 관부 온도와의 관계를 상관분석 및 선형회귀분석으로 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 딸기 관부 및 배지 온도 비교

Table 1은 딸기 정식 후 약 한 달이 지난 10월 20일부터 3월 까지의 딸기 관부, 배지 온도, 온실 내외부 온습도를 나타낸 표이다. 관부 난방을 하기 전인 10월과 11월 22일까지의 데이터를 분석해보면, 10월 시험구의 딸기 관부 및 배지의 주간 평균 온도는 각각 21.7°C, 19.8°C였으며, 대조구에서는 22.6°C, 20.0°C로 나타나 유의미한 차이는 없었다. 야간 딸기 관부 및 배지 평균 온도도 시험구 15.6°C, 20.2°C, 대조구 15.2°C, 20.0°C로 유의미한 차이 없이 유사하여 두 처리구의 환경이 비슷하였음을 알 수 있었다.

관부 난방을 시작한 후 외기온이 낮은 12월, 1월, 2월의 주간 딸기 관부 온도는 시험구에서 15.1°C, 15.4°C, 16.8°C, 대조구에서 13.6°C, 13.8°C, 16.0°C로 나타나 시험구에서 평균 1.3°C 높았으며, 야간 딸기 관부 온도는 시험구에서 9.8°C, 10.7°C, 11.4°C, 대조구에서 7.3°C, 7.6°C, 8.8°C로 나타나 시험구에서 평균 2.7°C 높게 나타났다. 12월, 1월, 2월의 주간 딸기 배지 온도는 시험구에서 12.9°C, 13.5°C, 15.0°C, 대조구에서 11.2°C, 11.5°C, 13.5°C로 나타나 시험구에서 평균 1.7°C 높았으며, 야간 딸기 배지 온도는 시험구에서 12.9°C, 13.6°C, 14.7°C, 대조구에서 10.5°C, 10.9°C, 12.5°C로 나타나 시험구에서 평균 2.4°C 높게 나타났다. 이는 ‘선행’ 딸기에 관부 난방을 했을 때 관부 및 배지 온도가 관부 난방을 하지 않았을 때보다 약 3-5°C 높았던 선행 연구결과(Moon 등, 2016), 약 2°C 가량 높았던 선행 연구결과(Lee 등, 2021)에 비추어 봤을 때 타당한 결과로 보인다.

12월, 1월, 2월의 시험구 야간 관부의 온도를 온실 내부 온도와 비교해보면 관부 온도가 온실 온도보다 평균 5°C 가량 높은 것으로 나타났다. 3월 주간에는 외기온 및 온실 온도가 2월에 비해 많이 올라 두 처리구의 딸기 관부 및 배지 온도는 큰 차이 없었으며, 야간에는 시험구의 딸기 관부 및 배지 온도가 대조구에 비해 높게 나타났다.

Table 2는 시험구와 대조구의 딸기 관부 온도가 가장 크게 차이가 났던 2023년 1월의 주별 딸기 관부 온도의 최소값, 평균값, 최대값을 나타낸 표이다. 주별 딸기의 관부 온도를 분석

Table 1. The monthly average temperature of strawberry crown and ground and temperature and relative humidity (RH) in experimental greenhouses and outside.

| Monthly avg. temperature and relative humidity | | Crown temperature (°C) | | | Ground temperature (°C) | | | Green-house (°C/%) | Outside (°C/%) | |
|--|-------|------------------------|---------|-------------|-------------------------|---------|-------------|--------------------|----------------|--------------|
| | | Local heating | Control | Differences | Local heating | Control | Differences | | | |
| Oct | Day | Temp. RH | 21.7 | 22.6 | ns | 19.8 | 20.0 | ns | 23.5 51.0 | 16.2 61.1 |
| | Night | Temp. RH | 15.6 | 15.2 | ns | 20.2 | 20.0 | ns | 12.3 87.9 | 8.7 84.6 |
| Nov 1 ^z | Day | Temp. RH | 18.6 | 19.1 | ns | 16.7 | 16.9 | ns | 21.0 58.7 | 13.5 62.5 |
| | Night | Temp. RH | 13.4 | 13.2 | ns | 17.2 | 16.9 | ns | 10.3 89.1 | 6.9 83.0 |
| Nov 2 ^y | Day | Temp. RH | 17.6 | 16.8 | ns | 16.3 | 15.3 | ** | 18.9 69.2 | 11.5 63.1 |
| | Night | Temp. RH | 13.9 | 12.5 | *** | 16.7 | 15.4 | *** | 10.4 90.9 | 7.1 75.0 |
| Dec | Day | Temp. RH | 15.1 | 13.6 | *** | 12.9 | 11.2 | *** | 16.8 66.0 | 2.9 52.8 |
| | Night | Temp. RH | 9.8 | 7.3 | *** | 12.9 | 10.5 | *** | 5.2 87.3 | -2.5 70.8 |
| Jan | Day | Temp. RH | 15.4 | 13.8 | *** | 13.5 | 11.5 | *** | 17.2 62.1 | 3.5 54.1 |
| | Night | Temp. RH | 10.7 | 7.6 | *** | 13.6 | 10.9 | *** | 5.6 85.6 | -2.1 71.5 |
| Feb | Day | Temp. RH | 16.8 | 16.0 | ** | 15.0 | 13.5 | *** | 18.1 58.1 | 6.9 53.1 |
| | Night | Temp. RH | 11.4 | 8.8 | *** | 14.7 | 12.5 | *** | 6.1 86.6 | 0.4 71.8 |
| Mar | Day | Temp. RH | 20.1 | 19.8 | ns | 18.7 | 18.3 | ns | 21.5 53.6 | 13.9 52.1 |
| | Night | Temp. RH | 15.6 | 13.9 | *** | 19.1 | 18.0 | *** | 10.6 88.7 | 7.5 72.0 |

^zPeriod of Nov_1: 1st November - 22th November.

^yPeriod of Nov_2: 23th November - 31th November.

ns, **, ***Nonsignificant or significant at $p < 0.01$ or 0.001 , respectively.

해보면 최대값은 큰 차이를 보이지 않는 주도 있었으나 최소 값은 시험구 온실의 관부 온도가 대조구의 관부 온도보다 모두 약 3°C 이상 높게 나타났다. 외기온이 가장 낮았던 4주차는 대조구 온실의 관부 온도가 주간 3.3°C, 야간 2.5°C로 딸기의 최저한계온도 이하로 내려갔으나 시험구 온실의 관부 온도는 주간 7.6°C, 야간 6.7°C로 높게 유지할 수 있었다. 시험구 딸기 관부의 최저 온도가 대조구보다 높게 유지되어 평균값도 높은

결과가 나왔으며, 시험구 딸기 관부 온도의 최소값, 평균값, 최대값은 대조구 딸기 관부 온도보다 3.8°C, 2.3°C, 1.2°C 높게 나타났다.

2. 관부 난방에 따른 딸기 출퇴, 개화 비교 분석

Table 3은 시험구와 대조구 온실의 각 화방별 출퇴일, 개화 일, 그리고 정식한 날부터 출퇴, 개화까지 경과한 일수를 나타

Table 2. The weekly minimum (Min), average (Avg.) and maximum (Max) temperature of strawberry crown and temperature in experimental greenhouses and outside from 1st week to 5th week in 2023.

| Week | Time | Weekly mean temperature (°C) | | | | | | | |
|----------|-------|------------------------------|------|------|---------|------|------|------------|---------|
| | | Local heating | | | Control | | | Greenhouse | Outside |
| | | Min | Avg. | Max | Min | Avg. | Max | Avg. | Avg. |
| 1st week | Day | 8.3 | 15.3 | 19.1 | 4.8 | 13.5 | 17.9 | 17.0 | 3.5 |
| | Night | 8.4 | 9.9 | 13.7 | 4.8 | 7.0 | 11.6 | 4.6 | -3.5 |
| 2nd week | Day | 8.8 | 16.2 | 21.3 | 5.3 | 14.8 | 21.4 | 18.1 | 8.7 |
| | Night | 8.6 | 12.2 | 18.7 | 4.4 | 9.6 | 17.5 | 9.3 | 3.1 |
| 3rd week | Day | 8.0 | 14.7 | 18.9 | 4.1 | 13.0 | 19.3 | 16.3 | 2.9 |
| | Night | 8.0 | 10.3 | 13.6 | 4.1 | 7.0 | 11.2 | 5.2 | -2.2 |
| 4th week | Day | 7.6 | 15.3 | 19.3 | 3.3 | 13.7 | 19.5 | 16.9 | -0.9 |
| | Night | 6.7 | 10.3 | 15.4 | 2.5 | 6.9 | 12.9 | 4.7 | -5.1 |
| 5th week | Day | 8.3 | 16.2 | 20.0 | 5.0 | 14.8 | 19.1 | 18.6 | 4.7 |
| | Night | 7.9 | 10.2 | 14.3 | 4.7 | 7.3 | 12.4 | 4.8 | -2.6 |

Table 3. Budding and flowering date by flower cluster in each greenhouse.

| Greenhouse | Budding date (DAT ^a) | | | | Flowering date (DAT) | | | |
|---------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | 1 st cluster | 2 nd cluster | 3 rd cluster | 4 th cluster | 1 st cluster | 2 nd cluster | 3 rd cluster | 4 th cluster |
| Local heating | 18 th Oct (29) | 25 th Nov (67) | 8 th Jan (111) | 17 th Feb (151) | 21 st Oct (32) | 2 nd Dec (74) | 2 nd Feb (136) | 5 th Mar (168) |
| Control | 18 th Oct (29) | 29 th Nov (71) | 6 th Jan (109) | 3 rd Mar (166) | 20 th Oct (31) | 11 th Dec (83) | 2 nd Feb (136) | 10 th Mar (173) |

^aThe number of days after transplanting (DAT).

낸 표이다. 관부 난방의 영향을 받지 않았던 1화방의 출퇴일, 개화일에 대한 데이터를 보면 출퇴일은 두 온실 모두 10월 18일로 동일하였으며, 개화일은 시험구 10월 21일, 대조구 10월 20일로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 관부 난방 후 2화방의 출퇴일, 개화일은 시험구 온실에서 더 빨랐으며, 3화방의 출퇴일, 개화일은 비슷했고, 4화방의 출퇴일, 개화일은 시험구에 빠른 것으로 나타났다.

출퇴일과 개화일의 변화 경향은 유사하여 먼저 둘의 상관관계를 분석해 본 결과 상관계수가 0.98로 높은 양의 상관관계를 보였으며, 이에 딸기 관부 온도와 출퇴 간의 관계를 상관분석 및 선형회귀분석으로 분석하였다. 이때 딸기 관부 온도는 출퇴일 전일까지의 관부 온도의 평균값을 이용하였고, 출퇴는 정식 후부터 출퇴까지 걸린 기간으로 바꾸어 분석하였다. 딸기 관부 온도와 출퇴 기간 간의 관계를 상관분석으로 분석한 결과 상관계수 -0.86로 음의 상관관계가 있었으며, p값이 0.05보다 작아 통계적으로 유의하다고 판단하였다. 그리고 출퇴 기간과 딸기 관부 온도 값이 30개를 넘지 않아 추가적으로 정규성 및 등분산성을 검정해 본 결과 정규성과 등분산성을

모두 만족하였다.

Table 4와 Fig. 4는 딸기 관부 온도와 출퇴 기간의 선형회귀 분석 결과를 나타낸 표와 그래프이다. 분석 결과, 관부 온도와 출퇴 기간 간에는 음의 상관관계가 있고, $F = 11.2 (p < 0.05)$ 로 본 회귀모형이 적합하다고 할 수 있다. 결정계수는 0.74로 높은 설명력을 나타냈다. 따라서 본 연구의 결과로는 관부 온도가 높을수록 출퇴, 개화가 빨라진다고 할 수 있다. 딸기 화아분화의 최적 온도는 10 - 20°C이고, 5 - 10°C, 25 - 30°C에서는 화아분화에 효과가 없으며, 5°C 이하 및 30°C 이상일 때는 화아분화가 저해된다(RDA, 2019)는 결과에 비추어 봤을 때, 대조구 온실에서는 외기온이 낮은 12월, 1월, 2월에 관부 온도 및 배지 온도가 시험구에 비해 낮게 유지되었고, 특히 야간의 관부 온도는 월별로 각각 7.3°C, 7.6°C, 8.8°C로 나타나 10°C 이하로 유지되면서 화아분화가 촉진되지 않았고, 시험구에 비해 출퇴, 개화가 늦은 것으로 판단된다.

3. 관부 난방에 따른 딸기 수확량 및 품질 비교 분석

Table 5은 시험구 온실과 대조구 온실의 각 화방별 수확량,

총 수확량, 주당 수확량을 비교한 표이다. 시험 기간 동안 시험구의 주당 수확량은 392.6g/plant, 대조구의 주당 수확은 346.0g/plant로 시험구의 수확량이 대조구보다 약 13.5% 높

Table 4. Results of linear regression between crown temperature and budding days after transplanting.

| | B ^z | SE | t | p | R ² |
|-----------|----------------|------|------|---------|----------------|
| Intercept | 361.1 | 74.7 | 4.8 | 0.008** | 0.74 |
| Budding | -17.6 | 5.3 | -3.4 | 0.028* | |

^zB: (Unstandardised) estimates, SE: Standard error, t: t value, P: probability value, R²: determination coefficient.

*, **Significant at $p < 0.05$ or 0.01 , respectively.

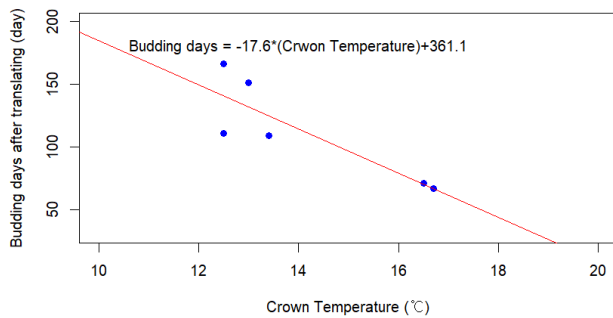


Fig. 4. The linear regression graph between crown temperature and budding days after transplanting.

Table 5. Cumulative yield comparison in local heating and control greenhouse.

| Greenhouse | Fruit fresh weight (g) | | | Total yield (g) ^z | |
|---------------|------------------------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|
| | Cluster 1 | Cluster 2 | Cluster 3 | Sum | per plant |
| Local heating | 4,307.3 | 3,290.1 | 254.8 | 7,852.2 | 392.6 |
| Control | 4,169.0 | 2,483.6 | 266.4 | 6,919.0 | 346.0 |
| t-test | ns | ns | ns | ns | ns |

^zN = 20.

^{ns}Nonsignificant at $p < 0.05$.

Table 6. Strawberry quality comparison in local heating and control greenhouse.

| Quality grade | Local heating | | Control | |
|-----------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| | No. of fruits | Ratio (%) | No. of fruits | Ratio (%) |
| 2L ^z | 95 | 24.6 | 85 | 25.2 |
| L | 146 | 37.8 | 112 | 33.2 |
| M | 98 | 25.4 | 87 | 25.8 |
| S | 47 | 12.2 | 53 | 15.7 |
| Sum | 386 | 100 | 337 | 100 |

^z2L: very large, L: large, M: medium and S: small

은 것으로 나타났으나 통계적으로 유의미한 차이는 없었다. 딸기의 수확량은 Lee 등(2021)이 온실 난방 개시 온도를 5°C로 설정하고 관부 난방과 온수 양액을 공급하여 난방 개시 온도가 8°C였던 관행 온실과의 수확량, 에너지 소비량을 비교했던 시험에서 각 온실별 수확량이 412.7g/plant, 393.3g/plant로 나타났던 결과와 유사한 결과로 판단된다.

Table 6은 농산물 표준규격에 따라 시험구 온실, 대조구 온실에서 수확된 딸기를 나눈 표이다. 품질 조사를 위해 시험구에서 수확된 딸기의 총 개수는 386개였으며, 각 등급별로는 2L 등급 95개(24.6%), L 등급 146개(37.8%), M 등급 98개(25.4%), S(12.2%) 등급 47개로 나타났다. 대조구에서는 총 개수 337개, 각 등급별로는 2L 등급 85개(25.2%), L 등급 112개(33.2%), M 등급 87개(25.8%), S(15.7%) 등급 53개로 나타났다. 등급별로 각 온실의 수확량을 비교해보면 가장 작은 S 등급을 제외한 나머지 등급에서 시험구의 수확량이 더 많았다. 대조구 온실에서 총 수확량 대비 2L 등급 딸기의 비율이 25.2%로 24.6%였던 시험구보다 더 컸으나 L 등급까지 포함한 비율은 대조구 58.5%, 시험구 62.4%, M 등급까지 포함한 비율은 대조구 84.3%, 시험구 87.8%로 시험구가 더 높게 나타났다.

본 연구의 시험 결과를 통해 관부 난방을 통해 딸기의 관부 온도를 높게 관리함으로써 출퇴, 개화를 앞당길 수 있고, 수확량 및 품질을 더 높일 수 있음을 확인하였다.

적 요

본 연구에서는 한 온실 내에서 딸기 재배 베드를 관부 난방 적용 베드, 관행 베드 2처리로 나누고 동일 환경에서 관부 난방이 딸기 재배 환경, 출퇴, 개화 및 수확량에 미치는 영향을 분석하였다. 관부 난방 전 두 처리에서 딸기 관부 온도 및 배지 온도는 큰 차이 없었으며, 외기온이 낮은 12월, 1월, 2월에는 시험구의 주간 평균 딸기 관부 온도는 대조구에 비해 1.3°C 높았으며, 야간 평균 딸기 관부 온도는 대조구에 비해 2.7°C 높게 나타났다. 주간 배지 온도는 시험구가 대조구보다 평균 1.7°C 높았으며, 야간 배지 온도는 시험구가 대조구보다 평균 2.4°C 높게 나타났다. 딸기 관부 온도와 출퇴 기간에 대한 상관분석 및 회귀분석을 수행한 결과 상관계수는 -0.86으로 높은 음의 상관관계를 보여 관부 온도가 높을수록 출퇴 기간이 짧아지는 경향이 있었으며, 결정계수는 0.74로 높은 설명력을 보였다. 딸기 화아분화는 10 - 20°C에서 촉진되고, 5 - 10°C, 25 - 30°C에서는 효과가 없으며, 5°C 이하 및 30°C 이상일 때는 저해 되는데, 대조구 온실이 외기온이 낮은 12월, 1월, 2월에, 특히 야간의 딸기 관부 온도가 월별로 각각 7.3°C, 7.6°C, 8.8°C로 나타나 10°C 이하로 유지되면서 화아분화가 촉진되지 않았고, 시험구에 비해 출퇴, 개화가 늦은 것으로 판단된다. 3월 말까지의 딸기 수확량은 시험구 392.6g/plant, 대조구 346.0g/plant로 관부 온도가 높았던 시험구에서 약 13.5% 높게 나타났으며, 딸기의 품질은 2L 등급과 L 등급의 비율이 시험구 62.4%, 대조구 58.5%로 시험구에서 높은 등급의 딸기 비율이 더 많은 것으로 나타났다. 딸기의 화아분화의 주요인은 온도이고, 2차적 요인은 일장이므로 추후 연구를 통해 관부 온도뿐만 아니라 일장 등 다양한 요소를 고려하여 딸기 생육, 수확량의 변화를 분석해보는 연구도 필요하다고 판단된다.

추가 주제어: 수경재배, 온도, 온실

사 사

본 연구는 2023년도 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ016660)의 지원에 의해 이루어진 것임.

Literature Cited

- Kim D.Y., S.Y. Kim, and S.Y. Lee 2016, Effects of leaf management during winter season on the yield and soluble solid contents of fruits in forcing cultivation of strawberry 'Seolhyang'. *Protected Hort Plant Fac* 25:283-287. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2016.25.4.283
- 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
- Lee T.S., J.G. Kim, S.H. Park, J.H. Lee and J.P. Moon 2021, Analysis on the effect of the crown heating system and warm nutrient supply on energy usage in greenhouse, strawberry growth and production. *Protected Hort Plant Fac* 30:271-277. (in Korean) doi:10.12791/KSBEC.2021.30.4.271
- Ministry of Agricultural Food and Rural Affairs (MAFRA) 2022, 2021 Vegetable Greenhouse Status and Vegetable Production. MAFRA, 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.2014.56.9.149
- 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.2016.58.8.071
- 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
- National Agricultural Products Quality Management Service (NAQS) 2016, Agricultural products standard. <https://naqs.go.kr>
- OPINET 2023, The average sale price of tax-free oil. <https://opinet.co.kr>
- Rural Development Administration (RDA) 2019, Strawberry. *Agricultural technology guide* 71. RDA, Jeonju, Korea, pp 113-127.
- Rural Development Administration (RDA) 2021a, Horticulture. *Agricultural technology guide* 4. RDA, Jeonju, Korea, pp 118-119.
- Rural Development Administration (RDA) 2021b, Hydroponics. *Agricultural technology guide* 40. RDA, Jeonju, Korea, pp 91-92.
- Sato K., and N. Kitajima 2010, Local heating temperature effects on the growth and yield of strawberries [Fragaria] in high-bench culture. *Fukuoka Agric Res Center Rep* 29:27-32. (in Japanese)