

ORIGINAL ARTICLE

## 이상 고온 조건에서 지하수 냉방 처리가 딸기의 생육과 수량 및 품질에 미치는 영향

이규빈 · 이정은 · 최윤의 · 박영훈 · 최영환 · 강남준<sup>1)</sup> · 강점순\*

부산대학교 원예생명과학과, <sup>1)</sup>경상대학교 원예학과

### Effects of Groundwater Cooling Treatment on Growth, Yield, and Quality of Strawberries under High Temperature Conditions

Gyu-Bin Lee, Jung-Eun Lee, Yun-Ui Choe, Young-Hoon Park, Young-Whan Choi, Nam-Jun Kang<sup>1)</sup>, Jum-Soon Kang\*

Department of Horticulture Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

<sup>1)</sup>Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

#### Abstract

A Cultivation method to minimize the damage caused by high temperatures was studied by investigating the effects of groundwater cooling treatment on the growth, yield, and quality of strawberries. In the groundwater cooling treatment, the daily average temperature of the rhizosphere was reduced from 26.9°C to 24.9°C. The root length increased by 0.3–9.2 cm, depending on the cultivar and growth period. The leaf number, leaf area, leaf length, leaf diameter, and plant height also increased, especially in the cultivars ‘Seolhyang’ and ‘Maehyang’, resulting in higher fresh and dry weights. The number of fruit per plant increased from 7.7 to 12.5 in ‘Seolhyang’, and the fruit weight increased by 0.3 g in ‘Seolhyang’ and 1.3 g in ‘Maehyang’. The fruit hardness increased, but no significant difference in fruit coloration was observed. The sugar content of the fruit was improved by 0.2–0.3 °Brix. Therefore, groundwater cooling of the rhizosphere was effective in improving the growth and productivity of strawberries under abnormally high temperature conditions and can be considered a cost-efficient cooling system.

**Key words** : Cooling, Fruit quality, Groundwater, High temperature, Strawberry

#### 1. 서론

우리나라에서 원예작물의 시설재배는 주로 동절기에 집중되어 있고, 여름철 고온기에는 온실 내로 방사된 복사열로 인해 온실 내부의 온도가 35-40°C까지 상승한다(Choi et al., 2014). 딸기 재배의 적정 온도는

일평균 17-20°C인데, 25°C 이상이 되면 생육이 지연되며 30°C 이상에서는 생육이 정지된다(Ryou et al., 2008). 여름철의 고온 다습한 시설 환경은 딸기의 탄저병, 시들음병, 역병 등의 병해 뿐 아니라 낙화 및 낙과율을 증가시켜 생산성과 품질을 하락시키는 요인이 된다. 따라서 여름철 고온피해를 경감시키기 위해

Received 5 March, 2018; Revised 5 April, 2018;

Accepted 9 May, 2018

\*Corresponding author: Jum-Soon Kang, Department of Horticultural Bioscience, Pusan National University, Miryang 50463, Korea  
Phone: +82-55-350-5523  
E-mail : kangjs@pusan.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.  
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

효율적인 냉방기술에 관한 연구가 필요하다(Nam et al., 2014).

국내외적으로 여름철 온실냉방에 관한 연구는 기화열(Carpenter and Willis, 1959), 국소냉방(Kojima and Suhardiyanto, 1991), 양액냉각, 수막(Seo et al., 1994), 미세노즐을 이용하여 세무하는 증발냉각 방식(Lee and Kim, 2011) 등이 보고되고 있다. 이 외에도 냉각기 및 히트펌프 등의 냉방장치에 의한 온실의 냉방과 야간 냉방부하에 관한 연구(Quan and Takakura, 1988)가 진행되었다. 또한 냉방 보조수단으로는 하우스 구조변경(Lee et al., 1994), 강제환기(Na et al., 2011)가 있고, 고온에 대한 적응성을 높이기 위한 방법으로 CO<sub>2</sub> 시용 및 생장조절제 처리(Kimball and Mitchil, 1979) 등이 있다. 이렇듯 다양한 연구를 통해 식물체 지상부의 고온을 하강시켜 작물의 안정적인 생산과 과실의 품질을 향상시켜 왔다.

그러나 지온이 높은 혹서기에 딸기를 재배할 경우 지하부 환경, 특히 근권부의 온도는 조절이 어려워 지상부가 과변무하기 쉽고(Karlsen, 1997), 특정 양분은 흡수 저해 현상이 발생한다(Voipio and Autio, 1995). 또한 작물의 광합성 속도가 감소하여 과실의 생산성을 저하시키는(Udagawa, 1989) 등 다양한 문제점이 발생되고 있다. 따라서 고온에서 딸기의 상품성과 생산성을 향상시키기 위해서는 지상부 뿐만 아니라 지하부 온도 환경을 작물의 생육에 적합하게 조성해 줄 필요가 있다(Son, 1999).

고온기에 근권부의 냉각은 뿌리의 활력을 활성화시켜 작물생육을 개선하는 효과가 있으며(Kim et al., 2010), 지상부 냉방에 비해 소요되는 에너지 비용을 줄이면서 뿌리가 분포하는 토양의 온도 상승을 낮추며 뿌리의 생장을 촉진시킨다. 또한 양수분 흡수 저해를 완화시켜 작물의 생육과 수량에 긍정적인 영향을 끼치는데, 이와 같은 효과는 파프리카(Jang et al., 2010), 토마토(Lee et al., 2002), 오이(Moon et al., 2007) 및 엽채류(He et al., 2001)등에서 검증된 바 있다. 그러나 딸기에서 근부냉각의 효과를 고찰한 연구는 없었다.

본 연구는 여름철 시설 딸기 재배에서 고온현상으로 인한 작물의 생산성과 품질하락 피해를 최소화하고 스트레스를 경감시킬 수 있는 재배적 방법을 모색

하고자 하였다. 이를 위해 지하수를 활용하여 근권을 냉방하는 방식을 사용하여 딸기의 생육과 생산성 및 품질에 미치는 효과를 검증하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 공시재료 및 재배조건

#### 2.1.1. 공시품종 및 실험장소

본 시험에 사용된 딸기(*Fragaria ananassa* Duch.) 품종은 ‘설향’과 ‘매향’이었다. 시험은 2016년 3월부터 2016년 8월까지 부산대학교 온실(경남 밀양시 삼랑진읍 청학리 산 50번지)의 고설벤치 베드에서 실험을 수행하였다. 불량환경에 대응하여 딸기의 생육반응을 검증하고자 생육적온보다 높은 하절기 온도환경(일평균 29.5°C)에서 재배하였다.

#### 2.1.2. 재배조건 및 지하수 냉방 처리

딸기는 육묘하여 본엽이 4장 전개된 유묘를 상토(Chambujs, Farmhannong, Korea)가 충전된 포트(길이 60 cm × 길이 25 cm × 높이 30 cm)에 정식하였다. 시험구는 난괴법 3반복이었으며, 처리구당 6개의 포트를 배치하고 포트당 3주의 식물체를 정식하였다. 실험에 사용된 딸기묘는 평균 크라운 직경이 8.5 mm 되는 것을 사용하였다. 이상고온을 대응하기 위한 딸기의 안정생산 기술개발하기 위해 지하수를 활용하여 근권을 냉방하는 방식을 채택하였다. 이를 위해 지름 2 cm의 고무호스를 포트 하부로부터 5 cm 깊이에 10 cm 간격으로 두줄로 매설한 후, 20°C 전후의 지하수를 순환시켜 냉방하는 방법을 이용하였다(Fig. 1). 재배기간중 양액은 400배로 희석한 물푸레 1호 과채류용(Dae-yu, Korea)를 사용하였고, 자동 타이머를 이용하여 하루에 각 2분씩 5회 걸쳐 점적튜브를 통해 총 400 mL의 양액을 공급하였다. 공급되는 양액의 pH는 6.7 이었으며, EC는 1.5 dS/m 었다.

### 2.2. 조사방법

#### 2.2.1. 온도측정

온도는 고온기(7월 1일부터 7월 31일까지) 30일 동안 측정하여 일평균 온도 그래프를 작성하였다. 온실 내 온도는 최고최저온도계(CS-50, YUIL, Korea)로 1시간 마다 계측하여 일평균 최고, 최저온도에 활용



Fig. 1. Processing form of groundwater cooling treatment on growth of strawberry.

하였다, 근권부 온도는 막대온도계(AL-50, MIRAE, Korea)를 이용하여 작물과 작물 사이에 온도계를 상부에서 5~7 cm 깊이에 꽂아 1시간 간격으로 계측하였다. 지하수 온도는 실험에 사용되기 전 지하수 1 L를 1시간 간격으로 비커에 받아 막대온도계를 사용하여 계측하였다. 각 온도측정은 3반복으로 수행하였다.

#### 2.2.2. 생육조사

생육조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 30, 60 및 90 일째에 실시하였다. 조사방법은 반복 당 3주의 식물체를 대상으로 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 초장, 근장, 생체중 및 건물중을 조사하였다. 엽면적 측정은 엽면적 측정기(LI-3100, LI Cor., USA)를 이용하였고, 엽수는 잎의 길이가 1 cm 이상인 것을 조사하였다. 생체중은 생체 무게를, 건물중은 105°C에서 3시간 건조 후 측정하였다. 근장은 뿌리를 물로 완전히 씻어 흙을 제거한 후 뿌리의 가장 긴 부분을 측정하였다.

#### 2.2.3. 생산성조사

딸기의 생산성 조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 1 화방에서 5화방이 출현할 때까지 수확된 수량을 합산하였다. 딸기 수확은 과실크기가 5 g 이상이고, 속도가 균일한 것을 대상으로 하였다. 수확한 딸기는 수량, 과중, 과장, 과경을 조사하였다. 과중은 실험용 전자저울 (AX2202KR/E, OHAUS Cor., USA)을 이용하여 측정하였으며, 과장, 과경은 vernier calipers(CD-15CP, Mitutoyo Cor., JAPAN)을 사용하여 딸기의 과장과 과폭을 측정하였다. 또한 딸기의 품질에 관련된 색도, 경도, 산도, 당도, 당산비를 조사하였는데, 색도는 색

차계(CM-3500d, Minolta, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 측정 후 평균값으로 나타내었다. L value는 0(black), +100(white), a value는 +a(redness), -a(greenness), b value는 +b(yellowness), -b(bluelessness)으로 수치화 하였다. 경도는 물성분석기(TA-XT2, Stable micro systems, U.K.)에 5 mm probe를 장착하여 과실의 동일한 부위에 7 mm 깊이로 측정하였다. 당도(PR-201a, Atago, Japan)는 경도를 측정 후 과실의 앞쪽을 5 mm 가량을 잘라낸 후 착즙하여 측정하였다. 산도는 Titratable acidity 법으로 그리고 당산비를 조사하였다.

#### 2.3. 통계분석

실험 결과의 통계분석은 최소유의차(Least Significant Difference)검정을 하였고, 이를 위해 SAS 프로그램 (Statistical Analysis System, Inc., Version 9.4, NC, USA)를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

여름철 시설딸기 재배는 고온 피해가 빈번하여 고품질 딸기 생산의 제약요인이 되고 있다(Nam et al., 2014). 따라서 딸기에서 고온 피해를 최소화 할 수 있는 재배적 방법을 모색하고자 지하수를 활용한 근권 냉방기술을 사용하여 그 효과를 검정하였다.

7월 1일부터 7월 31일까지 온실 내 대기온도, 지하수 처리구의 근권부 온도, 대조구의 근권부 온도를 측정 한 결과는 Fig. 2와 같다. 평균 대기온도는 29.5°C 였으며, 지하수로 근권냉방 처리는 토양의 일평균

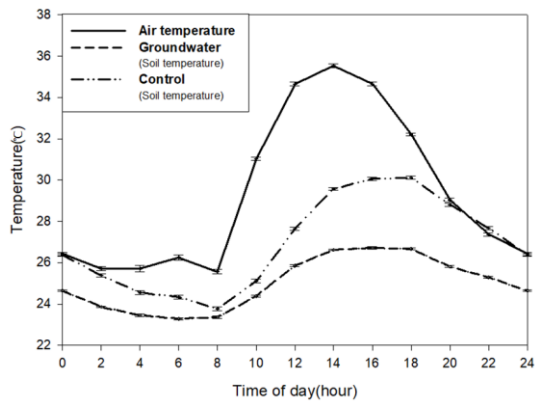


Fig. 2. Daily average temperature of soil as influenced by groundwater cooling treatment at root zone. Data were recorded every 1 hour between the 1 of July and 31 of July, 2017.

온도가 24.9°C로 지하수 온도인 20°C에 비해 4.9°C 높게 나타났다. 하지만 대조구의 평균 토양온도가 26.9°C인 것과 비교하면 지하수 처리에 의해 토양온도를 2°C 정도 하강시키는 냉방 효과가 있었다. 이러한 결과는 Choi et al.(2014)이 코이어 배지에서 XL 파이프를 이용한 냉수 순환 근권 방식을 이용하였을 때 토양온도를 하강시켰다는 보고와 동일한 양상이었다.

하루 온도를 주간(오전 6시-오후 8시)과 야간(오후 8시-오전 6)로 구분하였을 때, 지하수 처리구의 주간/야간 평균온도는 25.3°C/24.3°C 였으며, 대조구의 주간/야간 평균온도는 27.4°C/25.9°C 였다. 지하수 근권 냉방으로 인해 토양의 주간/야간 평균온도는 대조구보다 각각 2.1°C/1.6°C 낮아졌으며, 이러한 냉방효과는 야간보다 주간에 더 뚜렷하였다. 하루 중 시간에 따른 지하수 처리와 대조구의 토양 온도차는 오전 8시에

Table 1. The effect of groundwater cooling treatment on number of leaves, leaf area, leaf length, leaf width, plant height and root length of strawberry plants

Cultivar	Treatment	No. of Leaves	Leaf area (cm <sup>2</sup> )	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Crown diameter (mm)	Plant height (cm)	Root length (cm)
<i>30 days after transplanting</i>								
Seolhyang	Groundwater	3.9	325.6	8.4	6.1	3.6	24.9	24.1
	Control	4.0	323.4	7.7	5.9	3.1	23.9	23.8
	LSD	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0.4
Machyang	Groundwater	4.9	516.1	8.9	7.8	3.0	24.5	27.5
	Control	4.2	387.3	8.0	7.1	2.9	23.6	18.3
	LSD	NS	102.1	NS	NS	NS	NS	5.7
<i>60 days after transplanting</i>								
Seolhyang	Groundwater	5.8	690.8	8.4	5.9	3.0	24.1	20.7
	Control	5.3	478.9	8.4	5.3	2.9	22.4	20.3
	LSD	NS	159.0	NS	NS	NS	NS	NS
Machyang	Groundwater	6.6	556.0	7.7	6.9	3.0	21.2	22.9
	Control	6.6	345.9	7.0	5.6	2.6	20.3	22.7
	LSD	NS	113.2	NS	1.2	NS	NS	NS
<i>90 days after transplanting</i>								
Seolhyang	Groundwater	10.9	1441.5	9.8	7.8	2.5	26.6	22.7
	Control	9.7	1351.6	8.7	6.9	2.5	25.4	21.7
	LSD	NS	626.5	0.8	0.7	NS	NS	NS
Machyang	Groundwater	8.9	1444.0	11.7	7.7	3.1	32.8	30.3
	Control	8.6	1430.6	11.2	7.3	3.0	30.6	27.7
	LSD <sup>2)</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.2

<sup>2)</sup>Means in columns within each cultivar are separated by LSD at P = 0.05.

**Table 2.** The effect of groundwater cooling treatment on fresh weight and dry weight of strawberry plants

Cultivar	Treatment	Fresh weight(g/plant)			Dry weight(g/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
<i>30 days after planting</i>							
Seolhyang	Groundwater	17.2	15.1	32.3	3.1	2.1	5.2
	Control	17.0	10.4	27.4	3.0	1.4	4.5
	LSD	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Maehyang	Groundwater	25.9	13.5	39.4	4.4	1.9	6.3
	Control	19.5	6.7	26.2	3.6	1.1	4.6
	LSD	2.2	3.1	2.1	0.8	0.6	0.8
<i>60 days after planting</i>							
Seolhyang	Groundwater	26.8	8.9	35.7	6.6	1.5	8.1
	Control	18.4	6.4	24.8	4.6	1.2	5.8
	LSD	2.1	1.2	2.2	1.1	NS	1.0
Maehyang	Groundwater	23.6	10.2	33.8	4.8	1.5	6.3
	Control	11.6	9.8	21.4	3.6	1.2	4.8
	LSD	1.8	NS	2.9	0.7	NS	1.1
<i>90 days after planting</i>							
Seolhyang	Groundwater	54.0	9.2	63.2	10.3	1.3	11.6
	Control	46.4	7.4	53.8	8.9	1.3	10.2
	LSD	2.3	0.9	2.4	0.3	NS	0.6
Maehyang	Groundwater	66.7	21.8	88.5	12.5	3.6	16.1
	Control	57.9	20.9	78.8	10.6	2.5	13.1
	LSD	2.1	NS	2.4	1.1	0.6	1.1

<sup>2)</sup>Means in columns within each cultivar are separated by LSD at P = 0.05.

0.4°C로 가장 낮았으며, 오후 6시에 3.4°C로 가장 컸다. 이는 오전에 시설로 유입된 태양 복사에너지로 인해 토양온도가 높아짐에 따라 지하수 냉방 효과는 크지 않았고, 오후에 복사에너지가 감소되므로 냉방효과가 상승한 것으로 해석된다.

하지만 여름철 고온기에는 지하수의 수온도 덩달아 상승하여 지하수 처리만으로 딸기의 적정 재배온도 범위인 17-20°C(Ryou et al., 2008)까지 냉각하는 것은 어려웠다. 따라서 히트펌프 등을 이용하여 10°C 이하로 냉각한 물을 근권부에 처리한다면 보다 효과적인 냉방효과를 기대할 수 있을 것으로 판단되었다. 그러나 한계지온인 23-25°C의 범위로 냉각하는 것은 지하수를 이용하여도 충분한 것으로 판단되므로 경제적인 고온극복 수단으로는 지하수를 이용한 근권냉방 시스템이 적당할 것으로 생각된다.

Table 1-2 및 Fig. 3은 딸기의 고온재배에서 고온스트레스를 경감시키고자 근권부에 지하수로 냉방처리

하여 딸기의 시기별 생육을 조사한 결과이다.

‘설향’과 ‘매향’ 두 품종 모두 지하수 처리는 무처리에 비해 엽수, 엽면적, 엽장, 엽직경, 초장 등 지상부 생육을 촉진하는 경향을 보였다. 이는 지하수 냉방으로 인한 생육적온에 근접한 지온의 변화가 뿌리의 생육뿐만 아니라 직·간접적으로 지상부의 생육에도 영향을 미치는 것을 의미한다. 이러한 생육향상은 효과는 ‘매향’ 품종에서 더욱 뚜렷하였다. ‘매향’ 품종은 근권부에 지하수로 냉방처리하면 엽면적이 516.1 cm<sup>2</sup>로 대조구 보다 128 cm<sup>2</sup> 높았다(생육 30일째). 작물의 생육 적온에는 생육이 촉진되며 Gosselin and Trudel (1986)은 고추의 지온을 12-36°C로 처리하여 8주간 재배한 결과 24°C 처리에서 엽면적이 가장 높았다고 하였다.

지하부 생육을 판단하는 근장은 지하수 냉방처리를 하였을 때 품종 및 생육기간에 따라 약간의 차이가 있으나 생육이 대조구보다 0.3-9.2 cm 증가하였다.

근장은 ‘매향’ 품종의 생육 30일째를 기준하여 보면 대조구에서는 18.3 cm 였지만, 지하수로 냉방처리하면 27.5 cm로 근장이 대조구보다 150% 증가하는 생육을 보였다. 생체중과 건물중 또한 ‘설향’, ‘매향’ 모두 지하수로 냉방 처리구에서 생육이 양호하였다. ‘매향’ 품종의 생육 30일째 대조구의 지하부 생체중은 6.7 g 이었고 지하수 냉방 처리구의 지하부 생체중은 13.7 g이었다.

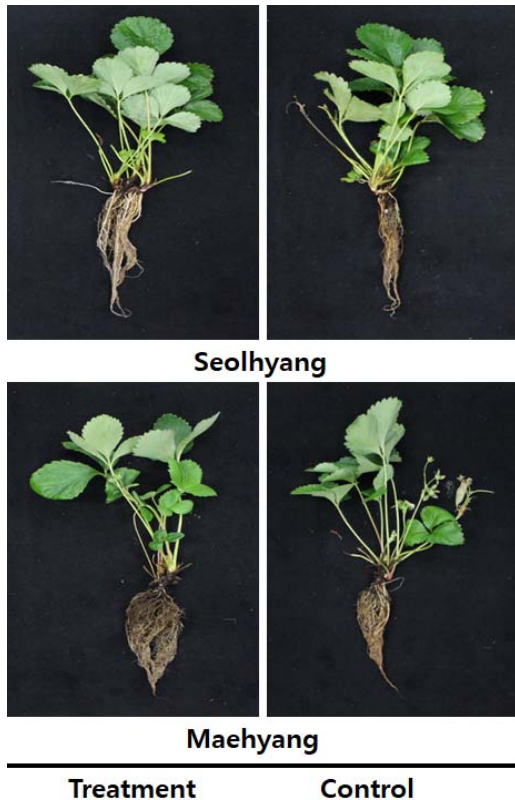


Fig. 3. The effect of groundwater cooling treatment on strawberry plants at 30 days after transplanting.

근권온도의 영향은 근중보다 근장에 영향을 미친다는 Neilson and Cunningham(1964)의 결과와는 달리 본 실험에서는 근중, 근장 모두 대조구에 비해 지하수 냉방처리구에서 생육이 좋았다. 또한 근권온도가 높으면 뿌리의 호흡속도가 높아져 엽면적당 광합성 속도가 저하되고 노화가 촉진된다는 보고(Udagawa et al., 1989)와 적온범위를 벗어난 조건하에서는 뿌리

의 신장 특히 세근의 발달이 억제될 뿐만 아니라 코르크화가 촉진되어 양수분 흡수에 지장을 초래한다는 선행연구와 일치하는 결과였다(Nambiar et al., 1979). 전반적으로 고온기 딸기재배에 지하수로 이용하여 근권부를 냉각하면 ‘설향’과 ‘매향’ 두 품종 모두 생체중과 건물중이 증가하는 경향을 보였다.

여름철 이상고온( $\geq 32^{\circ}\text{C}$ )에서는 낙화 및 낙과를 조장하여 생산량을 감소시킬 수 있다(Khan and Passam, 1992). 이상고온으로 인한 피해를 극복하기 위한 방안으로 근권부에 지하수 냉방처리하여 딸기의 생산량과 품질을 조사한 결과는 Table 3-4 및 Fig 4에 나타내었다. ‘설향’, ‘매향’ 두 품종 모두 지하수 냉방 처리에 의해 주당 딸기 생산량이 증가되었다. ‘설향’ 품종의 경우 무처리에서는 주당 과실 생산량이 7.7개 였지만 지하수 근권냉방을 처리하였을 때 12.5개로 증가되었다. 과중은 ‘설향’, ‘매향’ 품종에서 지하수 냉방처리구가 대조구에 비해 각각 0.3 g 및 1.3 g 증가하였다. Lee et al.(2002)은 근권 냉방으로 근권부를  $25^{\circ}\text{C}$  이하로 유지하였을 때 토마토 화방별 착과율이 대조구에 비해 수량이 증가되었으며, Jang et al.(2010)도 고온기에 파프리카의 양액을 냉각 처리하면 과실 착과율과 A등급 수량이 증가하였다고 하여 본 실험과 유사한 결과를 나타내었다.

딸기 과실의 색도는 처리구에 따른 통계적인 유의성이 인정되지 않았으며, 과실의 경도는 지하수 냉방 처리로 인해 높아졌다. 특히 ‘매향’ 품종의 경도가 3.1 N으로 가장 높았다. 딸기 과실의 경도가 높아지면 저장성이 증진되고 유통과정에서 손상을 받아 품질이 저하되거나 부패하는 확률이 줄어들어 내수 시장 및 수출에 용이하다는 것을 의미한다.

딸기 과실의 당도는 지하수 냉방 처리에 의해 0.2-0.3 °Brix 당도가 향상되었다. 반면 과실의 산도는 품종과 처리구에 관계없이 0.7%로 동일하였다.

Park and Oh(2000)은 근권온도를  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $35^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 ‘후지’ 사과의 당도를 조사한 결과 처리간에 차이가 없었으나 산도는  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 0.41%로 가장 낮았다고 하였다. 당산비는 당도와 산도의 비율을 나타내며 맛에 직접적인 연관이 있는데, 당산비는 ‘매향’이 ‘설향’보다 높았다. 또한 지하수 냉방처리로 인해 당산비는 증가하였다.



**Table 3.** The effect of groundwater cooling treatment on number of fruits, fruits weight, fruit length and fruit diameter of strawberry

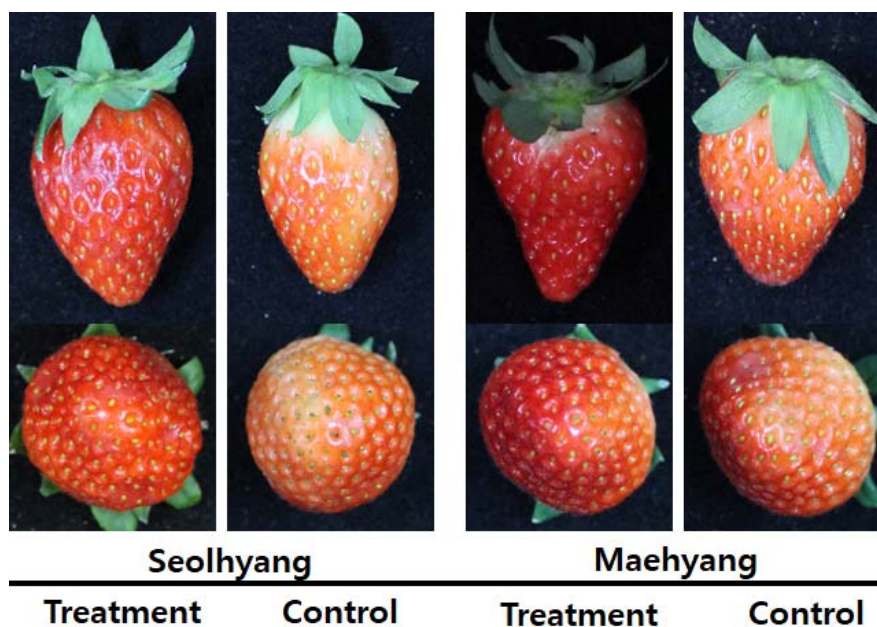
Cultivar	Treatment	No. of fruits /plant	Fruit weight (g)	Fruit length(mm)	Fruit diameter (mm)
Seolhyang	Groundwater	12.5	5.7	23.7	21.9
	Control	7.7	5.4	23.1	21.3
	LSD	NS	NS	NS	NS
Maehyang	Groundwater	8.7	4.5	26.9	19.8
	Control	6.7	3.2	24.1	17.4
	LSD <sup>2)</sup>	NS	0.8	2.3	1.3

<sup>2)</sup>Means in columns within each cultivar are separated by LSD at P = 0.05.

**Table 4.** The effect of groundwater cooling treatment on chromaticity, firmness, sugar content, acidity of fruit in strawberry

Cultivar	Treatment	Hunter			Firmness (N)	Soluble solid content (°Brix)	Titratable acidity (Acetic acid %)	SSC/TA ratio
		L	a	b				
Seolhyang	Groundwater	41.6	43.9	28.8	2.5	6.6	0.7	9.8
	Control	41.9	44.3	29.8	2.4	6.3	0.7	8.6
	LSD	NS	NS	NS	0.4	0.4	NS	NS
Maehyang	Groundwater	37.9	43.9	24.4	3.1	7.6	0.7	11.3
	Control	39.2	43.6	24.9	2.6	7.4	0.7	10.6
	LSD <sup>2)</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	1.1

<sup>2)</sup>Means in columns within each cultivar are separated by LSD at P = 0.05.



**Fig. 4.** Changes in fruit as influenced by groundwater cooling treatment of strawberry fruits.

#### 4. 결 론

본 연구는 시설 딸기 재배에서 여름철 고온현상으로 인한 작물의 생산성, 품질하락 피해를 경감시킬 수 있는 재배적 방법을 모색하고자 하였다. 이를 위해 지하수를 활용하여 근권을 냉방하는 방식을 사용하여 딸기의 생육과 수량 및 품질에 미치는 효과를 검증하였다.

고온 딸기재배에서 지하수를 이용한 근권냉방 처리는 대조구에 비해 평균 토양온도를 2°C 정도 하강시키는 냉방 효과가 있었다.

지하수 근권 냉방처리는 ‘설향’, ‘매향’ 두 품종에서 모두 무처리에 비해 엽수, 엽면적, 엽장, 엽직경, 초장 등 지상부 생육을 촉진하였다. 이러한 생육 촉진 경향은 ‘매향’ 품종에서 더욱 뚜렷하였다. 지하부 생육을 판단하는 근장은 지하수 냉방처리를 하였을 때 품종 및 생육기간에 따라 차이가 있지만 대조구보다 근장이 0.3-9.2 cm 증가하였다. 또한 지하수 근권냉방 처리에 의해 생체중과 건물중이 증가하는 경향을 보였다.

지하수 냉방 처리에 의해 주당 딸기 생산량 및 품질이 증가되었다. ‘설향’ 품종의 경우 무처리에서는 주당 과실 생산량이 7.7개였지만 지하수 근권냉방을 처리하였을 때 12.5개로 증가되었다. 과중은 ‘설향’, ‘매향’ 품종에서 지하수 냉방 처리구가 대조구에 비해 각각 0.3 g, 1.3 g 증가하였다.

딸기 과실의 색도는 처리구에 따른 통계적인 유의성이 인정되지 않았으며, 과실의 경도는 지하수 냉방 처리로 인해 높아졌다. 딸기 과실의 당도는 지하수 냉방 처리에 의해 0.2-0.3 °Brix 향상되었다.

이상의 결과로 지하수 근권냉방 처리는 이상고온 조건에서 딸기의 생육 및 생산성의 향상에 효과적이었으며 고온극복을 위한 경제적인 근권냉방 시스템으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 농생명산업기술개발사업(과제번호 : 315004-05-1-HD030)의 지원에 의해 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- Carpenter, W. J., Willis, W. W., 1959, Comparison of evaporative fan-pad and high pressure mist systems for greenhouse cooling, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 74, 711-718.
- Choi, K. Y., Ko, J. Y., Yoo, H. J., Choi, E. Y., Rhee, H. C., Lee, Y. B., 2014, Effect of cooling timing in the root zone on substrate temperature and physiological response of sweet pepper in summer cultivation, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 32, 53-59.
- Gosselin, A., Trudel, M. J., 1986, Root-zone temperature effects on pepper, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 111, 220-224.
- He, J., Lee, S. K., Dodd, I. C., 2001, Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: Alleviation by root-zone cooling, *J. Expt. Bot.*, 52, 1323-1330.
- Jang, Y. A., Lee, J. G., Um, Y. C., Kim, S. Y., Oh, S. S., Cha, S. H., 2010, Effects of nutrient solution cooling on fruit setting and yield of paprika in summer hydroponics, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 28, 58-59.
- Karlsen, P., 1997, Root temperature and stem elongation. *Acta Hort.*, 435, 33-45.
- Khan, E. M., Passam, H. C., 1992, Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper cultivated under conditions of high ambient temperature, *J. Hort. Sci.*, 67, 251-258.
- Kim, K. D., Ha, Y. S., Lee, K. M., Park, D. H., Kwon, S. G., Park, J. M., Chung, S. W., 2010, Development of temperature control technology of root zone using evaporative cooling methods in the strawberry hydroponics, *J. Bio-Env. Con.*, 19, 184-188.
- Kimball, B. A., Mitchil, S. T., 1979, Tomato yield from CO<sub>2</sub> enrichment in unventilated and conventionally ventilated greenhouse, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 103, 515-520.
- Kojima, K., Suhardiyanto, H., 1991, Studies on the zone cooling system in greenhouse (1), Performance of the system in a model sized greenhouse, *Environ. Control in Biol.*, 29, 1-10.
- Lee, E. H., Lee, J. W., Kwon, J. S., 1994, Effect of modified NFT on growth and yield of tomatoes in hot season culture, *RDA. J. Agr. Hort. Sci.*, 36, 383-387.
- Lee, H. W., Kim, Y. S., 2011, Application of low pressure



- fogging system for commercial tomato greenhouse cooling, *J. Bio-Env. Con.*, 20, 1-7.
- Lee, J. H., Kwon, K. J., Kwon, O. K., Choi, Y. H., Park, D. K., 2002, Cooling efficiency and growth of tomato as affected by root zone cooling methods in summer season, *J. Bio-Env. Con.*, 11, 81-87.
- Moon, J. H., Kang, Y. K., Suh, H. D., 2007, Effect of root-zone cooling on the growth and yield of cucumber at supraoptimal air temperature, *Acta Hort.*, 761, 271-274.
- Na, T. S., Choi, K. J., Yun, B. K., Cho, M. S., Kim, H. G., Kim, H. J., 2011, Cooling effect on bell pepper on glass house in summer, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 29, 79. (Abstr.).
- Nam, S. W., Kim, Y. S., Seo, D. U., 2014, Change in the plant temperature of tomato by fogging and airflow in plastic greenhouse, *Protected Horticulture and Plant Factory*, 23, 11-18.
- Nambiar, E. K. S., Bowen, G. D., Sands, R., 1979, Root regeneration and plant water status of *Pinus radiata* at different soil temperatures, *J. Exp. Bot.*, 30, 1119-1131.
- Neilson, K. F., Cunningham, R. K., 1964, The effect of soil temperature and form and level of N on growth and chemical composition of Italian rye grass, *Proc. Soc. Soil. Sci. Amer.*, 28, 213-218.
- Park, J. M., Oh, S. D., 2000, Effect of root zone temperature on the mineral contents of leaves and roots, and fruit qualities of 'Fuji' apple trees (*Malus domestica* Borkh.), *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 41, 387-391.
- Quan, Z., Takakura, T., 1988, Estimation of the seasonal cooling or heating load using a simulation model, *J. Agr. Met.*, 44, 187-194.
- Ryou, Y. S., Kang, Y. G., Kim, Y. J., Kang, K. C., 2008, Heating and cooling effect of protected horticulture by geothermal heat pump system with horizontal heat exchanger, *Kor. J. New. Renew. Energy.*, 630-633.
- Seo, M. W., Lim, J. W., Rhee, H. C., Yu, C. J., Park, K. W., 1994, Effects of shading-materials on the growth of summer-growing chinese chives(*Allium tuberosum* R.), *Kyonggi Agr. Res. Rep.*, 7, 91-95.
- Son, J. E., 1999, Analyses of root-zone temperatures at various locations in NFT, DFT, and aggregate culture systems, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 40, 4-8.
- Udagawa, Y., Ito, T., Gomi, K., 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, 627-638.
- Voipio, I., Autio, J., 1995, Response of red-leaved lettuce to light intensity, UV-A radiation and root-zone temperature, *Acta Hort.*, 399, 183-187.