

ORIGINAL ARTICLE

이상 고온 조건이 딸기의 생육, 수량 및 생리활성 성분에 미치는 영향

이규빈 · 이정은 · 제병일 · 이용재 · 박영훈 · 최영환 · 손병구 · 강남준¹⁾ · 강점순*
부산대학교 원예생명과학과, ¹⁾경상대학교 원예학과

Influence of Abnormally High Temperatures on Growth, Yield and Physiological Active Substances of Strawberry

Gyu-Bin Lee, Jung-Eun Lee, Byoung-Il Je, Yong-Jae Lee, Young-Hoon Park,
Young-Whan Choi, Beung-Gu Son, Nam-Jun Kang¹⁾, Jum-Soon Kang*

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

¹⁾Department of Horticulture, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Abstract

In this study, we investigated the influences of abnormal high temperature on growth, yield and physiologically active substances of the strawberry. General strawberry cultivars in the 20°C growth condition showed much better growth of leaf number, length, diameter along with plant height, compared with those in 22.5°C or 25°C. But the cultivars of both ‘Sulhyang’ and ‘Mehyang’ showed good growth and development at 25°C with the roots showing great growth at 20°C. The quality and yield of the strawberry were best in the 20°C growth condition, but the merchantability deteriorated in the 25°C high temperature condition. As for the content of the physiologically active substances of the strawberry, it increased at 20°C, the optimum growth temperature, but decreased at 25°C. The physiologically active substances in the strawberry differed among the cultivars, the contents of cyanidin-3-glucoside, cinchonine, ellagic acid and cinnamic acid higher in the ‘Mehyang’, whereas the content of fisetin is higher in the ‘Sulhyang’ cultivar. Consequentially, the high temperature in summer has a negative effect on the physiological active ingredients of the strawberry, which was increased in the strawberry cultivated at proper temperature, and high quality strawberry production was possible.

Key words : Fruit quality, High temperature, HPLC, Quercetin, Strawberry

1. 서론

고유의 맛과 향기 그리고 비타민 C를 풍부하게 함유한 딸기는 지난 10여 년간 우수한 국산 딸기품종의 육종.

재배기술의 비약적인 발전 및 작형의 변화로 딸기 산업은 급속하게 확장되었고 생산액은 12,843억 원에 이르고 있다(MAFRA, 2016).

화석연료 사용량 증가에 의한 지구온난화는 작물재배에

Received 31 December, 2018; Revised 31 December, 2018;
Accepted 8 January, 2019

*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.

영향을 미치며(IPCC, 2007; Heo et al., 2013; Park et al., 2014), 최근 빈번하게 나타나는 이상기후 현상들은 시설 딸기의 생육을 저해하는 불량조건이 되고 있다(Lee et al., 2017). 우리나라에서 시설 딸기재배는 주로 동절기에 집중되어 있고 반축성 재배인 경우 5월말까지 수확을 계속하게 된다. 후기 수확이 이루어지는 늦봄에는 온실 내로 방사된 복사열로 인해 온실 내부의 온도가 35-40°C까지 상승한다(Choi et al., 2014).

딸기 재배의 적정 온도는 일평균 17-20°C이며, 25°C 이상이 되면 생육이 지연되며 30°C 이상에서는 생육이 정지된다(Ryou et al., 2008). 고온 다습한 시설 환경은 딸기의 탄저병, 시들음병, 역병 등의 병해 뿐 아니라 낙화 및 낙과율을 증가시켜 생산성과 품질을 떨어뜨리는 요인이 된다(Nam et al., 2014).

식물의 생리활성 성분은 암, 혈관성질환 및 염증 등의 만성질환을 예방하는 중요한 역할을 하며(Willis et al., 2009), 항산화 효능을 가진 polyphenolic 물질은 LDL cholesterol 감소, 혈압감소 등을 개선한다(Samman et al., 2003). 그 중에서도 딸기와 같은 적색의 과채류는 사과, 복숭아, 포도, 토마토, 오렌지 및 키위 등의 과실보다도 항산화력이 더 높은 것으로 알려져 있다(Kevers et al., 2007). 딸기는 안토시아닌, 비타민 C 및 페놀화합물 등의 항산화 물질을 다량 함유하고 있으며 특히, 페놀화합물은 활성산소에 의해 생성되는 암세포를 억제하는 것으로 알려져 있다(Zhang et al., 2008).

이처럼 인체에 유익한 딸기의 다양한 기능성 식물화합물(phytochemicals)은 품종의 유전적 특성(Buendia et al., 2010), 과실의 숙성정도(Tulipani et al., 2011), 수확 계절(Khanizadeh et al., 2009), 저장온도(Choi et al., 2013) 및 유통기간에 따라라도 달라질 수 있다. 또한 딸기의 항산화 성분의 함량은 시비량(Chelpinski et al., 2010) 및 재배방법(Jin et al., 2011)에 따라 영향을 받는다.

이와 같이 딸기에 함유되어 생리활성 물질의 성분 변화를 관측하기 위해 비배관리에서부터 저장 및 유통에 이르기까지 다양한 연구가 있었으나 생육온도가 딸기의 생리활성 성분에 미치는 영향을 구명한 연구는 없었다.

본 연구는 최근 시설 딸기재배에 빈번하게 일어나고 있는 이상고온이 딸기의 생육과 수량, 품질 및 딸기의 생리활성 성분에 미치는 영향을 구명하여 이상고온 조건에

서 고품질의 딸기 생산을 위한 기초자료로 제공하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 이상 고온이 딸기의 생육 및 생산성에 미치는 영향

본 시험에 사용된 딸기품종은 ‘설향’과 ‘매향’(*Fragaria* × *ananassa* Duch. cv. Seolhyang and Maehyang)이었다. 시험은 2016년 5월부터 2017년 5월까지 부산대학교 온실(경남 밀양시 삼랑진읍 청학리 산50번지)의 고설 벤치 베드에서 수행하였다. 이상고온이 딸기의 생육 및 수량에 미치는 영향을 분석하기 위해 생육적온인 20°C, 생육적온보다 2.5°C 높은 22.5°C 및 생육적온보다 5°C 높은 25°C로 온도환경을 설정하여 재배하였다.

육묘하여 본엽이 4장 전개된 육묘를 상토(Chambujs, Farmhannong, Korea)가 충전된 포트에 정식하였다. 시험구는 난괴법 3반복이었으며, 처리구당 6개의 포트를 배치하고 포트(길이 60 cm × 길이 25 cm × 높이 30 cm) 당 3주의 식물체를 정식하였다. 재배기간중 양액은 400 배로 희석한 물푸레 1호 과채류용(대우)을 사용하였고, 자동 타이머를 이용하여 하루에 각 2분씩 5회 걸쳐 점적 튜브를 통해 총 400 ml의 양액을 공급하였다. 공급되는 양액의 pH는 6.7 이었으며, EC는 1.5 dS.m⁻¹ 였다.

생육조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 30일, 60일, 90 일째에 실시하였다. 조사방법은 반복 당 10주의 식물체를 대상으로 엽수, 엽면적, 엽장, 엽폭, 초장, 근장, 생체중, 건물중을 조사하였다.

딸기 생산성 조사는 포트에 딸기를 정식 한 후 1회방에서 5회방이 출현할 때까지 수확된 수량을 합산하였다. 딸기는 5 g 이상의 크기로, 속도가 균일한 딸기를 대상으로 sampling 하였다.

생산성 검정을 위해 수확한 딸기의 수량, 과중, 과장, 과경을 조사하였다. 또한 딸기의 품질에 관련된 색도, 경도, 산도, 당도, 당산비를 조사하였는데, 색도는 색차계(CM-3500d, Minolta, Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b 값을 측정한 뒤 평균값으로 나타내었다. L value는 0(black), +100(white), a value는 100(redness), -80(greenness), b value는 +70(yellowness), -70(blueness)으로 수치화 하였다. 경도는 물성분석기(TA-XT2, Stable micro systems, U.K.)에 5 mm probe를 장착하여 과실의

Table 1. Chromatographic conditions for the determination of biological active compounds in strawberry fruits

Parameters	Values
Instrument	Agilent 1100 series
Solvent	0 min B 0%, 28 min B 100%, 35 min B 100 %, 45 min B 20%
A	0.025% formic acid in distilled water
B	Acetonitrile
Column	Luna C18 (2) column (Phenomenex, 250 x 4.6 mm ID : 5 µm)
Run time	60 min
Flow rate	0.5 mL/min
Detector	PDA 254, 260, 320 nm (slit with = 4)
Column temp.	30 °C

동일한 부위에 7 mm 깊이로 측정하였다. 당도 (PR-201a, Atago, Japan)는 경도를 측정된 과실의 앞쪽을 5 mm 가량을 잘라낸 후 착즙하여 측정하였다. 산도는 pH 미터기로 측정하였고, 산도는 Titratable acidity 법으로 그리고 당산비를 조사하였다. 실험은 시료당 10 개의 딸기를 3반복씩 측정 후 그 평균값을 나타내었다.

2.2. 이상 고온이 딸기의 생리활성 성분에 미치는 영향

딸기의 생리활성 물질을 분석하기 위해 사용된 딸기는 ‘설향’과 ‘매향’ 품종이었다. 이상 고온이 딸기의 생리활성에 미치는 영향을 조사하기 위해 생육온도를 20 °C, 22.5 °C 및 25 °C에서 재배하여 수확한 딸기를 동결 건조하여 분말 0.5 g을 각각 15 mL conical tube에 넣었다. 각각의 샘플이 담긴 conical tube에 50%, 70%, 95% EtOH, 증류수를 10 ml을 첨가하여 시료와 잘 섞이게 흔든 다음 1시간 동안 sonication(4020P, KODO Technical Research Co., Ltd. Hwaseong-City, Gyeonggi-Do. Korea)을 시킨 후 3,000 rpm에서 10분 동안 centrifuge (HA-300, Hanil Science Industrial Co., Ltd. Incheon, Korea) 하였다. Centrifuge 한 tube의 상등액을 50 mL conical tube에 따라 내는 방법을 3회 반복하여 최종 volume을 50 ml 되도록 조정하였다. 그 중 5 mL을 0.45 µm membrane filter(SLLHH25NK, Merck Ltd. Tokyo, Japan)로 여과하여 HPLC 분석용으로 사용하였다.

딸기의 주요 생리활성 성분의 함량을 분석하기 위하여 High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)를 이용하였다. HPLC는 Agilent 1100 series를 사용하

였고, column은 Luna-C18(250 × 4.6 mm I.D.; 5 µm particlesize, Phenomenex, Torrance, CA, USA), 이동상은 0.025% formic acid in distilled water : Acetonitrile로 모두 HPLC grade(Fisher, Fair lawn NJ, USA)를 사용하였으며, 유속 0.5 mL/min, 검출기 PDA 254 nm의 조건으로 분석하였다(Table 1).

딸기의 주요성분에 대하여 회귀직선식, 검출한계 및 정량한계를 확인하였다. 회귀직선식은 표준용액을 조제한 후, 그 표준용액을 5단계 이상 희석하여 각 농도 범위에서 $y=ax+b$ 의 형태로 시료함량(X)과 피크 면적(Y)의 회귀직선식(calibration curve)을 작성하였다. 회귀직선식은 상관계수 r^2 (correlation coefficient)로 평가하였다. 검출한계(Limits Of Detection, LOD)는 $3.3\sigma_0/S$ 의 식에 의해서 계산하였으며, σ_0 는 반응의 표준편차를, S는 검량선의 기울기를 말한다.

딸기 추출물의 생리활성 성분의 함량을 분석하기 위하여 사용된 표준물질은 cyanidin-3-glucoside(Biopurify phytochemicals Ltd. Chengdu. Sichuan China), cinchonine (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), ellagic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), fisetin(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), quercetin (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA), cinnamic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 등 6종 이었다.

2.3. 통계분석

실험 결과의 통계분석은 SAS 프로그램(Statistical Analysis System, Inc., Version 9.4, NC. USA)를 이용하

Table 2. The effect of high temperature on number of leaves, leaf area, leaf length, leaf diameter, plant height and root height of strawberry plants

Cultivars	Temp. (°C)	No. of Leaves	Leaf area (cm ²)	Leaf length (mm)	Leaf diameter (mm)	Stem diameter (mm)	Plant height (cm)	Root height (cm)
<i>30 days after transplanting</i>								
Seolhyang	20.0	5.6	364.4	8.0	6.8	3.0	18.8	30.0
	22.5	5.6	353.3	8.9	8.6	3.1	23.9	19.7
	25.0	6.0	507.1	9.3	8.4	3.2	24.7	13.0
	LSD ²⁾	NS	141.1	0.7	0.6	NS	2.4	8.9
Maehyang	20.0	4.3	299.8	8.0	6.5	3.4	24.5	23.0
	22.5	5.2	536.2	10.5	9.2	3.8	32.3	15.7
	25.0	5.2	592.6	11.3	9.4	3.6	35.5	17.0
	LSD	NS	132.2	1.1	0.8	0.3	2.8	5.6
<i>60 days after transplanting</i>								
Seolhyang	20.0	6.0	470.6	7.9	7.1	2.6	19.2	35.0
	22.5	5.3	549.6	9.5	8.8	2.7	25.4	36.2
	25.0	6.0	716.7	9.8	9.1	3.1	25.2	24.7
	LSD	0.6	121.3	0.8	0.5	0.2	2.2	4.5
Maehyang	20.0	5.2	566.6	9.0	7.5	2.7	26.2	45.6
	22.5	5.3	672.5	11.9	8.9	3.2	32.6	24.6
	25.0	5.4	830.5	11.6	9.1	3.2	37.8	34.9
	LSD	NS	117.2	0.9	0.8	0.3	2.1	12.3
<i>90 days after transplanting</i>								
Seolhyang	20.0	6.0	511.9	8.7	7.8	3.3	20.1	27.5
	22.5	4.6	527.8	9.7	8.8	3.1	26.4	16.8
	25.0	6.1	710.6	10.2	9.5	3.5	26.7	18.7
	LSD	0.9	103.2	0.8	0.9	0.3	1.8	8.3
Maehyang	20.0	4.6	606.7	10.9	8.4	3.6	30.4	35.7
	22.5	4.8	726.6	12.1	9.2	3.7	35.4	21.7
	25.0	5.6	1088.4	12.0	9.1	3.7	37.7	26.7
	LSD	0.6	205.7	0.9	0.7	NS	2.0	4.5

²⁾Means separation within columns of each cultivar by Least Significant Difference (LSD) test at $P=0.05$

최소유의차(Least Significant Difference)검정과 Excel 프로그램(Microsoft, USA)을 이용한 평균값±표준편차를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이상 고온이 딸기의 생육 및 생산성에 미치는 영향

여름철 시설딸기 재배에서 이상고온으로 인한 피해가 빈번하게 일어나고 있고, 이로 인해 고품질 딸기 생산의 제약 요인이 되고 있다(Nam et al., 2014). 따라서 고온에서 시설딸기의 안전재배를 위한 기초자료를 얻고자 고

온조건을 부여하여 딸기의 생육, 수량 및 품질을 비교하였다.

딸기를 25°C에서 재배하였을때 엽수와 엽면적, 엽장, 엽직경, 및 초장 등 전반적인 지상부 생육이 20°C나 22.5°C보다 좋았고, 이러한 경향은 90일간의 전 생육기간 동안 유지되었다. 온도에 따른 생육은 품종에 따라 큰 차이는 없었으며, ‘설향’, ‘매향’ 두 품종 모두 지상부 생육은 25°C에서, 지하부 생육은 20°C에서 좋았다(Table 2).

25°C에서 생육 90일간 생육시킨 ‘설향’의 엽면적은 710.59 cm² 였으나 20°C에서 재배된 딸기는 511.95 cm²로 낮았다. ‘매향’ 또한 25°C에서는 엽면적이

Table 3. The effect of high temperature on fresh weight and dry weight of strawberry plants

Cultivars	Temp. (°C)	FW(g/plant)			DW(g/plant)		
		Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total
<i>30 days after transplanting</i>							
Seolhyang	20.0	16.8	7.3	24.1	2.9	1.3	4.2
	22.5	15.8	7.2	22.9	2.3	1.2	3.6
	25.0	21.6	4.6	26.2	3.2	0.7	3.9
	LSD ²⁾	1.4	1.2	NS	NS	0.4	0.3
Machyang	20.0	17.4	16.1	33.4	2.5	2.0	4.5
	22.5	17.7	6.9	24.7	2.9	0.9	3.9
	25.0	23.8	8.5	32.3	4.3	1.2	5.5
	LSD	2.1	5.0	2.3	0.6	0.7	0.3
<i>60 days after transplanting</i>							
Seolhyang	20.0	29.1	9.9	39.0	4.6	1.4	6.0
	22.5	24.6	6.6	31.2	3.7	1.0	4.7
	25.0	35.4	6.5	41.9	4.9	0.9	5.9
	LSD	2.1	1.3	3.2	0.3	0.3	0.2
Machyang	20.0	27.5	15.0	42.5	5.5	2.1	7.6
	22.5	39.5	8.5	48.0	5.6	1.1	6.7
	25.0	43.7	14.6	58.3	7.2	1.9	9.1
	LSD	3.1	4.1	3.4	0.4	0.4	0.3
<i>90 days after transplanting</i>							
Seolhyang	20.0	25.9	10.4	36.4	4.5	3.2	7.6
	22.5	26.3	7.5	33.8	5.3	1.7	7.0
	25.0	33.2	5.5	38.7	6.0	0.9	6.9
	LSD	4.1	1.7	8.9	0.3	0.4	0.2
Machyang	20.0	36.4	21.4	57.7	5.9	3.3	9.2
	22.5	38.3	18.3	56.6	6.3	2.6	8.9
	25.0	50.9	9.8	60.7	8.4	2.5	10.9
	LSD	11.9	2.8	NS	0.5	0.4	0.3

²⁾Means separation within columns of each cultivar by Least Significant Difference (LSD) test at $P=0.05$

1088.35 cm² 였으나, 20°C에서는 606.67 cm²로 약 2배 낮았다. 엽면적, 경직경, 초장 또한 25°C에 비해 20°C에서 지상부 생육이 억제되었다.

반면 지하부인 근장은 생육적온인 20°C에서 가장 생육이 우수하였다. 20°C의 생육온도에서 생육 90일간 생육시킨 ‘설향’의 근장은 27.53 cm 였으나 25°C에서 재배된 딸기는 18.70 cm로 낮았다. ‘매향’도 뿌리생육은 22.5°C나 25°C에 비해 우수하였다.

‘설향’ 및 ‘매향’ 두 품종 모두 생육온도에 따라 생체중과 건물중에 큰 차이를 보였다. 고온인 25°C에서 재배된 딸기는 생육단계에 관계없이 20°C 비해 지상부의 생체중과 건물중이 높았으며, 이러한 경향은 전 생육기간 동안 유지되었다. 이는 고추에서 생육온도가 높아질수록

생식생장으로 전환이 늦어져 영양생장이 활발했다는 Heo et al.(2013)의 결과와 일치하였다. 지하부의 생체중 및 건물중은 앞선 근장의 생육결과와 일치하였으며, 생육적온인 20°C에서 가장 좋았다. 이상의 연구결과에서 고온의 25°C에서 딸기의 생육은 지상부가 우수하였으나, 생육적온인 20°C에서는 지하부의 생육이 우수하였다.

25°C에서는 지상부의 생육이 높았으며 이는 영양생장과 생식생장을 병행하는 딸기(Jung, 2012)에서 고온은 영양생장에 의한 지상부의 과번무에 초래하였다. 반면 생육적온인 20°C에서는 균형적인 T/R율을 유지하였고 이로 인해 생식생장을 촉진할 것으로 판단된다(Table 3 및 Fig 1).

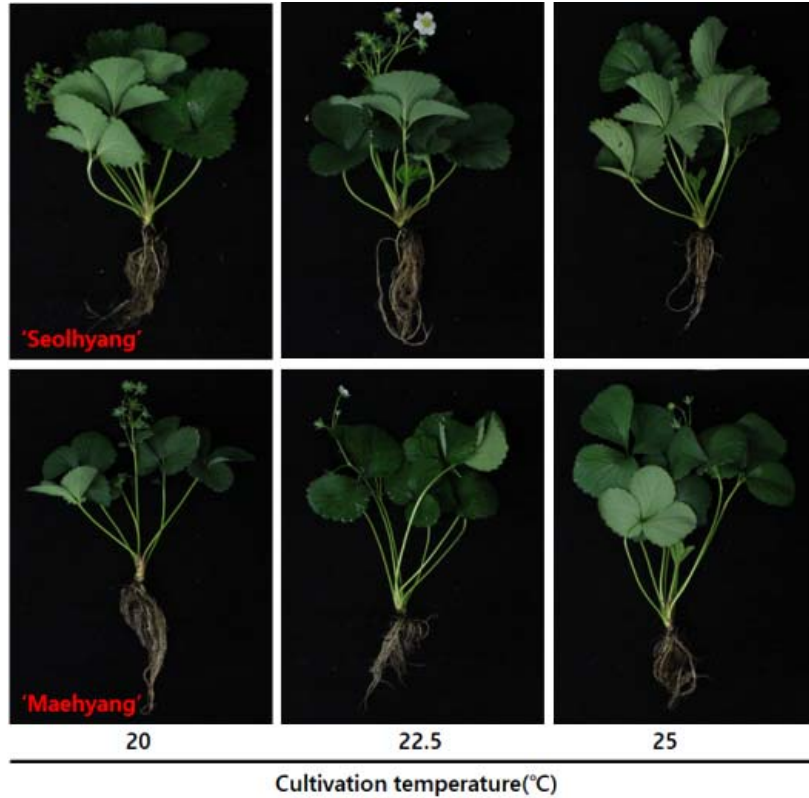


Fig. 1. Changes in growth as affected by cultivation temperature of strawberry plants at 30 days after transplanting.

딸기의 생육적온은 20°C로 비교적 저온에 강한 작물이지만 극단적인 고온은 낙뢰, 낙화, 수정불량, 기형과 발생 등 여러 가지 측면에서도 딸기의 생육 및 수량성을 저하시키는 요인이 되고 있다(Ryou et al., 2008).

Table 4-5, 및 Fig 2는 이상고온이 딸기의 생육 및 수량에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 이를 위해 생육적온인 20°C를 기준으로 2.5°C 고온인 22.5°C 및 5°C 고온인 25°C로 조절된 온실에서 재배하면서 시기별 생육을 조사하였다. ‘설향’ 및 ‘매향’ 모두 생육적온인 20°C보다 온도가 높을수록 딸기의 상품성이 낮았고, 과중도 낮았다. 통계적 유의성은 없었다. 20°C에 재배한 ‘설향’은 주당 과중이 5.26 g으로 높았고, 22.5°C에서는 5.2 g으로 낮아졌고, 25°C에서는 4.9 g에 불과하였다. ‘매향’은 ‘설향’보다는 고온에 의한 중량 감소현상이 뚜렷하지 않았으나, 20°C에서는 3.5 g으로 가장 높았다. 과실의 길

이와 직경 또한 생육적온인 20°C가 22.5°C나 25°C에 비해 높았다. 반면 딸기 수량성은 ‘설향’ 품종에서는 큰 차이가 없었으며, ‘매향’ 품종에서는 25°C에서 주당 10.5개로 가장 높았다. 따라서 딸기의 생육적온을 기점으로 하여 5°C 높은 25°C의 고온은 20°C에 비해 상품성이 감소하였다(Table 4-5 및 Fig 2).

생육온도가 딸기품질에 미치는 영향을 조사한 결과 생육온도에 따라 딸기의 품질이 달랐다. ‘설향’, ‘매향’ 모두 생육온도가 딸기의 색택인 Hunter (L(light) a(red) b(blue)) 값에는 차이가 있었다. 딸기는 미숙상태에서 완숙상태로 숙성이 진행되면서 밝기를 나타내는 L값이 낮아지고 붉은색을 나타내는 a값이 높아지며, 황색을 띄는 b값이 낮아지면서 전체적으로 짙은 빨간색으로 착색이 완료된다. 25°C에서 과실의 밝기를 나타내는 Hunter L값과 황색을 띄는 b값이 가장 낮았고, 붉은색을 나타내는

Table 4. The effect of high temperature on number of fruits, fruits weight, fruit length and fruit diameter of strawberry

Cultivars	Temp. (°C)	No. of fruits /plant	Fruit weight (g)	Fruit length (mm)	Fruit diameter (mm)
Seolhyang	20.0	14.1	5.3	23.7	21.7
	22.5	14.9	5.2	23.8	21.2
	25.0	14.7	4.9	23.1	20.8
	LSD ²⁾	NS	NS	NS	0.8
Maehyang	20.0	6.4	3.5	25.9	16.6
	22.5	9.9	3.2	23.9	16.7
	25.0	10.5	3.1	24.8	16.3
	LSD	NS	NS	NS	NS

²⁾Means separation within columns of each cultivar by Least Significant Difference (LSD) test at $P=0.05$

Table 5. The effect of high temperature on chromaticity, firmness, sugar content, acidity of strawberry

Cultivars	Temp. (°C)	Hunter			Firmness (N)	Soluble solid content (°Brix)	Titratable acidity (Acetic acid %)	SSC/TA ratio
		L	a	b				
Seolhyang	20.0	44.3	44.2	31.7	2.2	7.4	0.50	14.6
	22.5	42.1	45.2	29.2	1.9	6.5	0.70	9.9
	25.0	41.9	46.9	30.5	1.8	7.2	0.70	10.4
	LSD ²⁾	0.9	0.7	0.9	0.2	0.2	0.02	0.9
Maehyang	20.0	42.4	42.3	31.1	2.7	8.5	0.50	18.2
	22.5	38.2	45.0	23.4	2.3	8.6	0.70	13.0
	25.0	39.7	46.7	25.0	2.1	8.6	0.60	14.1
	LSD	1.8	1.2	4.2	0.3	NS	0.04	1.4

²⁾Means separation within columns of each cultivar by Least Significant Difference (LSD) test at $P=0.05$

a값이 가장 높았다. 따라서 딸기의 숙기는 재배온도에 따라 차이가 있었으며, 25 °C에서는 숙기가 가장 빨랐고, 반면 20 °C에서 가장 늦었다.

딸기 과실의 경도는 재배온도에 따라 차이가 있었으며, ‘설향’과 ‘매향’ 두 품종 모두 20 °C에서 재배한 딸기에서 경도가 가장 높았고, 고온인 25 °C에서는 과실의 경도가 낮았다.

과실의 당도는 ‘설향’에서는 20 °C에서 재배한 딸기가 7.4 Brix로 가장 높았고, ‘매향’에서는 생육온도에 따라 당도에는 유의적인 차이가 없었다. 산도는 두 품종 모두 20 °C에서 재배한 딸기가 가장 낮았다. 딸기의 맛을 나타내는 주요 요인인 당산비는 값이 높을수록 딸기의 풍미가 좋다고 알려져 있다. 당산비는 두 품종 모두 생육온도인 20 °C에서 가장 높았다. 특히 20 °C에서 재배한 ‘매향’ 품종은 당산비가 18.2%로 가장 높았다.

이상의 결과에서 딸기는 생육온도에 따라 생육 및 품

질에도 차이가 있었으며, 생육온도인 20 °C에서는 균형적인 영양생장과 생식생장이 전개되어 딸기의 생산성 및 품질이 높았다. 반면 생육온도를 벗어난 25 °C의 고온재배에서는 딸기의 상품성이 감소하였다(Table 4). 이는 고온에 의해 지하부에 비해 지상부 생장(T/R)이 높아짐으로 뿌리에서 흡수한 영양분이 과실보다는 식물체로 집중되는 영양생장에 의한 것으로 판단된다(Heo et al., 2013).

3.2. 딸기 지표 성분의 분석 방법 확립

딸기의 주요 생리활성 물질들은 분석하기 위해 6종의 물질들을 선정한 후, 이들 표준물질들을 구매하여 분석 방법을 Table 6과 같이 확립하였다.

각 생리활성 물질들은 약간의 차이는 있지만 분석 범위는 0.5에서 100 µg/mL 이며, 모두 254 nm에서 분석하였다. 각 표준물질은 모두 $r^2>0.999$ 로서 직선성

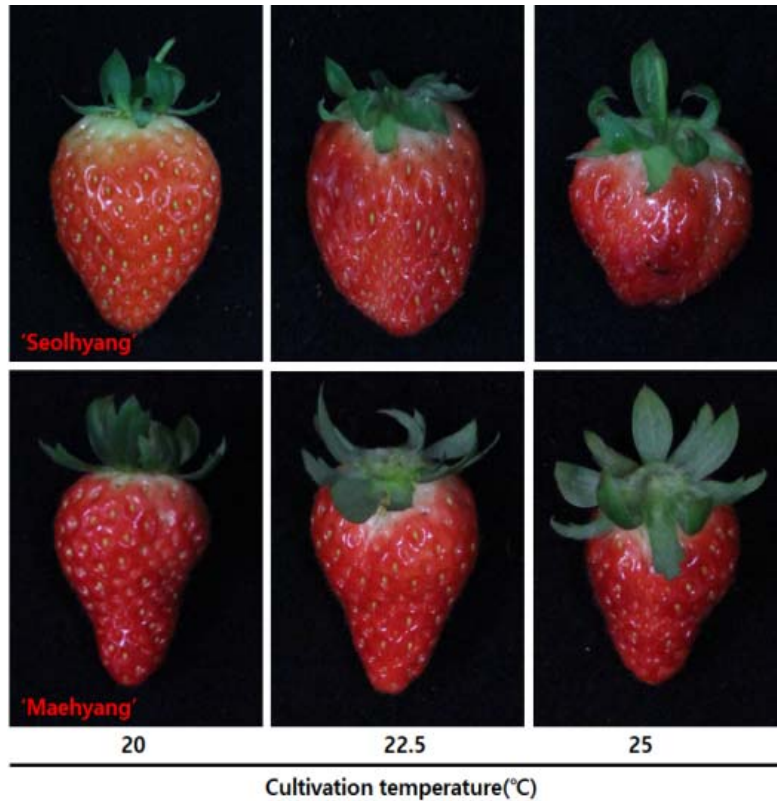


Fig. 2. Changes in the external appearance quality of fruit as affected by cultivation temperature of strawberry.

(linearity)을 확인하였다. 각 물질들마다 회귀직선식을 작성하였으며, 검출한계(LOD)는 0.484-3.316이었으며, 정량한계(LOQ)는 1.596-10.941이었다.

3.3. 이상 고온이 딸기의 생리활성 성분에 미치는 영향 딸기의 생육온도가 과실의 주요 생리활성 물질의 함

량($\mu\text{g/g}$ dry weight)에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 7에서 보는 바와 같다. Cyanidin-3-glucoside는 인체의 면역증진, 세포기능 활성화 및 간해독능 증진에 효과가 있는 물질로 알려져 있다. 딸기 과실의 cyanidin-3-glucoside 함량은 생육온도 및 품종에 따라 차이가 있

Table 6. Compound identification, Retention Time (RT), regression equation, correlation coefficient (r^2) and range of calibration ($n = 6$), Limit Of Detection (LOD), and Limit Of Quantification (LOQ)

Compounds	RT	Wave length (nm)	Range ($\mu\text{g/mL}$)	Regression equation	Correlation coefficient	LOD ($\mu\text{g/mL}$)	LOQ ($\mu\text{g/mL}$)
Cyanidin-3-glucoside	18.219	254	5-100	$y = 13.17x - 7.55$	0.9999	1.857	6.128
Cinchonine	18.464	254	2.5-100	$y = 3.46x - 2.55$	0.9999	1.467	4.842
Ellagic acid	42.372	254	1-100	$y = 52.16x - 3.92$	0.9990	0.484	1.596
Fisetin	48.838	254	0.5-50	$y = 48.56x - 21.71$	0.9995	1.929	6.366
Quercetin	50.254	254	0.5-50	$y = 73.44x - 25.34$	1.0000	1.467	4.842
Cinnamic acid	51.217	254	0.5-50	$y = 1.27x - 2.33$	0.9997	1.438	4.746

Table 7. Contents ($\mu\text{g/g}$ dry weight) of biological active compounds of strawberry fruits affected by culture temperature. Biological active compounds of strawberry fruits were extracted with 50% EtOH

Cultivars	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	Content ($\mu\text{g/g}$ dry weight)					
		Cyanidin-3-glucoside	Cinchonine	Ellagic acid	Fisetin	Quercetin	Cinnamic acid
95% EtOH							
Seolhyang	20.0	178.6 \pm 23.4	1102.4 \pm 72.0	528.8 \pm 29.1	42.7 \pm 2.3	29.0 \pm 1.6	652.3 \pm 42.9
	22.5	198.7 \pm 18.2	1180.5 \pm 78.4	504.2 \pm 57.9	39.8 \pm 4.0	28.9 \pm 0.5	476.9 \pm 34.5
	25.0	167.4 \pm 5.5	1064.5 \pm 13.3	404.8 \pm 17.9	44.9 \pm 1.2	27.6 \pm 0.3	383.0 \pm 28.2
Machyang	20.0	236.8 \pm 21.2	1483.2 \pm 47.1	1238.8 \pm 14.0	30.4 \pm 7.4	27.1 \pm 1.2	984.1 \pm 16.9
	22.5	345.6 \pm 1.2	1912.8 \pm 30.1	1085.0 \pm 41.7	52.5 \pm 5.4	27.5 \pm 0.9	900.7 \pm 16.1
	25.0	225.9 \pm 34.3	1509.1 \pm 43.1	622.2 \pm 5.8	40.1 \pm 7.7	22.6 \pm 5.4	792.2 \pm 35.3
70% EtOH							
Seolhyang	20.0	271.6 \pm 5.8	2794.6 \pm 130.5	661.9 \pm 31.8	34.1 \pm 2.2	29.4 \pm 0.2	670.5 \pm 205.6
	22.5	317.9 \pm 59.1	3275.7 \pm 337.5	873.1 \pm 29.9	46.7 \pm 12.0	28.7 \pm 0.2	660.7 \pm 7.7
	25.0	339.6 \pm 8.7	2993.1 \pm 307.8	571.3 \pm 29.1	33.1 \pm 0.9	27.9 \pm 1.3	433.2 \pm 44.7
Machyang	20.0	322.3 \pm 19.1	3768.9 \pm 62.1	193.0 \pm 1.2	34.5 \pm 15.5	28.1 \pm 0.1	824.5 \pm 27.1
	22.5	211.7 \pm 7.8	5592.4 \pm 386.5	338.5 \pm 8.9	63.0 \pm 23.6	26.9 \pm 1.8	784.7 \pm 39.2
	25.0	272.1 \pm 80.2	3621.9 \pm 111.2	210.7 \pm 1.1	34.7 \pm 4.6	28.3 \pm 0.1	558.3 \pm 236.1
50% EtOH							
Seolhyang	20.0	246.8 \pm 14.7	3869.6 \pm 9.0	145.5 \pm 1.0	34.1 \pm 6.8	30.3 \pm 0.6	555.2 \pm 32.5
	22.5	288.5 \pm 32.5	4635.3 \pm 15.6	167.2 \pm 2.3	36.1 \pm 3.0	29.6 \pm 0.3	414.0 \pm 1.5
	25.0	217.3 \pm 83.3	1148.7 \pm 21.6	105.9 \pm 0.5	30.0 \pm 2.6	29.3 \pm 0.8	363.3 \pm 3.2
Machyang	20.0	361.9 \pm 2.3	3129.7 \pm 174.0	101.3 \pm 49.5	20.3 \pm 2.4	27.8 \pm 1.0	762.5 \pm 2.6
	22.5	473.8 \pm 12.7	3379.3 \pm 109.1	183.9 \pm 18.9	16.0 \pm 1.5	28.2 \pm 1.3	760.5 \pm 3.6
	25.0	174.8 \pm 13.3	2845.7 \pm 39.6	100.6 \pm 18.9	15.2 \pm 0.1	25.4 \pm 2.2	620.8 \pm 11.6
Water							
Seolhyang	20.0	106.5 \pm 22.9	3796.6 \pm 85.4	191.2 \pm 1.1	16.5 \pm 0.2	31.1 \pm 1.6	1444.5 \pm 150.8
	22.5	119.2 \pm 50.0	4327.7 \pm 268.9	144.2 \pm 0.9	16.3 \pm 0.1	28.5 \pm 1.2	1299.2 \pm 29.9
	25.0	84.4 \pm 31.1	3940.7 \pm 198.0	156.4 \pm 1.6	15.0 \pm 0.4	28.6 \pm 0.2	1055.9 \pm 24.5
Machyang	20.0	165.4 \pm 24.7	4562.2 \pm 156.7	204.0 \pm 34.4	17.6 \pm 1.1	30.2 \pm 0.1	4564.2 \pm 165.4
	22.5	201.8 \pm 98.2	6004.4 \pm 175.6	302.5 \pm 7.8	23.6 \pm 4.4	28.1 \pm 0.4	4184.3 \pm 53.4
	25.0	107.8 \pm 29.8	4323.4 \pm 108.0	233.4 \pm 10.6	16.8 \pm 1.2	28.7 \pm 0.0	4135.8 \pm 107.2

었다. ‘설향’ 및 ‘매향’ 품종 모두 22.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 cyanidin-3-glucoside 함량은 증가하였다. 특히 50% EtOH 추출 물에서 함량이 가장 높게 나타났다. ‘매향’ 품종은 22.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 cyanidin-3-glucoside 함량이 473.8 $\mu\text{g/g}$ 으로 가장 높았고, 반면 고온인 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 174.8 $\mu\text{g/g}$ 함량이 감소하였다.

Cinchonine은 알카로이드 화합물로 다른 quinine 관련 화합물에 비해 낮은 독성을 가지며, 항혈전 및 비만 효과가 있는 물질로 알려져 있다(Genne et al., 1995). 생

육온도에 따라 딸기 과실의 cinchonine 함량에 차이가 있었으며, 두 품종 모두 고온에서는 함량이 낮았으나 22.5 $^{\circ}\text{C}$ 에서 함량이 증가하였다. ‘물’ 추출물에서 가장 함량이 많았으며, cyanidin-3-glucoside와 같은 경향으로 ‘매향’ 품종에서 더 높았다. 이는 딸기에서 cinchonine 함량은 품종에 차이가 있었으며, ‘매향’이 ‘설향’보다 cinchonine 함량이 더 높았다는 Ko(2016)의 보고와 동일한 결과였다.

딸기의 대표적인 생리활성 물질인 ellagic acid는 향

산화 및 항암작용이 뛰어나다고 알려져 있다(Stoner and Gupta, 2001). 생육온도에 따라 딸기 과실의 ellagic acid 함량은 차이가 있었으며, 95% EtOH 용매에서 높은 함량이 추출되었다. 두 품종 모두 생육적온인 20℃에 가까울수록 함량이 높아졌으며 95% EtOH 조건으로 추출한 '설향' 품종의 ellagic acid 함량은 528.8 µg/g 였으나, '매향'은 1238.8 µg/g으로 높았다. 이와 같이 ellagic acid 함량은 품종간 차이가 있었으며, '매향'이 '설향' 품종보다 ellagic acid 함량이 1.5-2배 함량이 높았다.

채소에 많이 함유되어 있는 플라보놀 그룹에 속하는 fisetin은 항암, 항산화, 항염증 효과 및 당뇨합병증 예방 효과가 있다고 알려져 있다(Maher et al., 2011). 생육온도에 따라 딸기 과실의 fisetin 함량에 차이가 있었다. 두 품종 모두 22.5℃에서 함량이 증가하였으며, '설향' 품종이 '매향'보다 fisetin 함량이 높았다.

Quercetin은 flavonoids 화합물의 일종으로 항바이러스, 항균효과, 발암물질의 활성 감소 등 광범위한 기능을 지닌다고 알려져 있다(Leighton et al., 1992). 생육온도에 따라 딸기 과실의 quercetin 함량에 뚜렷한 차이가 없으나, '설향'과 '매향' 두 품종 모두 생육적온인 20℃에서 함량이 증가하는 경향이였다. 또한 용매 농도(50%, 75%, 95% EtOH)에 따른 차이도 미비하였다.

Cinnamic acid는 폴리페놀 성분으로 항산화 및 항균 등과 약학적 특성을 갖는 화합물이다(Chen et al., 2011). 딸기 과실의 cinnamic acid 함량은 생육온도 및 추출용매에 따라 달랐다. '물' 추출물에서 가장 많은 함량을 보였으며(Ko, 2016), '설향' 및 '매향' 품종 모두 생육적온인 20℃에서 함량이 높았다. 특히 20℃에서 재배한 '매향' 품종의 cinnamic acid 함량은 4,564.2 µg/g으로 '설향'보다 2배 이상 높았다.

딸기의 생리활성 성분은 생육온도에 따라 차이가 있었으며, 대체적으로 고온 생육조건인 25℃에서는 생리활성 성분의 함량이 감소하였으나, 생육적온인 20℃로 근접할수록 생리활성 성분의 함량이 증가하는 경향이 관측되었다(Table 7). 따라서 여름철 고온 조건은 딸기 생리활성 성분에 부정적인 영향을 끼치며 생육 적온에서 재배된 딸기에 항산화 물질 증가하여 고품질 딸기를 생산할 수 있음이 판단된다.

4. 결론

본 연구는 이상고온이 딸기의 생육, 수량, 품질 및 생리활성 성분에 미치는 영향을 검증하고자 하였다. 딸기를 20℃에서 재배하였을때 엽수와 엽면적, 엽장, 엽직경, 및 초장 등 지상부 생육이 22.5℃나 25℃ 보다 좋았다. '설향', '매향' 두 품종 모두 지상부 생육은 25℃에서 좋았고, 지하부 생육은 20℃에서 좋았다

딸기 수량 및 품질은 20℃에서 가장 좋았고, 25℃의 고온재배에서는 딸기의 상품성이 감소하였다. 또한 딸기의 생리활성물질 함량은 생육적온인 20℃에서 증가하였으나, 고온인 25℃에서는 함량이 감소하였다. 딸기의 생리활성 물질은 품종간 차이가 있었으며, cyanidin-3-glucoside, cinchonine, ellagic acid 및 cinnamic acid 함량은 '매향' 품종에서 높았다. 반면 fisetin 함량은 '설향' 품종에서 높았다.

여름철 고온 조건은 딸기 생리활성 성분에 부정적인 영향을 끼치며 생육 적온에서 재배된 딸기에서 생리활성 물질 함량이 증가되어 고품질 딸기 생산이 가능하였다.

감사의 글

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

REFERENCES

- Buendia, B., Gil, M. I., Tudela, J. A., Gady, A. L., Medina, J. J., Soria, C., Lopez, J. M., Tomas-Barberan, F. A., 2010, HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolics in 15 strawberry cultivars, *J. Agric. Food Chem.*, 58, 3916-3926.
- Choi, H. G., Kang, N. J., Moon, B. Y., Kwon, J. K., Rho, I. R., Park, K. S., Lee, S. Y., 2013, Changes in fruit quality and antioxidant activity depending on ripening levels, storage temperature, and storage periods in strawberry cultivars, *Kor. J. Hort. Sci. Technol.*, 31, 194-202.
- 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.
- Chelpinski, P., Skupien, K., Ochmian, I., 2010, Effect of fertilization on yield and quality of cultivar kent strawberry fruit, J. Elem., 15, 251-257.
- Chen, Y. I., Huang, S. T., Sun, F. M., Chiang, Y. L., Chiang, C. J., Tsai, C. M., Weng, C. J., 2011, Transformation of cinnamic acid from trans-to cis-form raises a notable bactericidal and synergistic activity against multiple-drug resistant *Mycobacterium tuberculosis*, Eur. J. Pharm. Sci., 43, 188-194.
- Genne, P., Duchamp, O., Solary, E., Magnetee, J., Belon, J. P., Chauffere, B., 1995, Cinchonine per os : efficient circumvention of P-glycoprotein-mediated multidrug resistance, Anticancer Drug Des., 10, 103-118.
- Heo, Y., Kim, S. H., Park, E. G., Son, B. G., Choi, Y. W., Lee, Y. J., Park, Y. H., Suh, J. M., Cho, J. H., Hong, C. H., Lee, S. G., Kang, J. S., 2013, The influence of abnormally high temperatures on growth and yield of hot pepper(*Capsicum annum* L.), J. Agriculture & Life Sci., 47, 9-15.
- IPCC, 2007, Climate Change 2007: The physical science basis, contribution of working group I to the fourth.
- Jin, P., Wang, S. Y., Wang, C. Y., Zheng, Y. H., 2011, Effect of cultural system and storage temperature on antioxidant capacity and phenolic compounds in strawberries, Food Chem., 124, 262-270.
- Jung, H. S., 2012, Characteristics of strawberries and seedling raising-method, Agricultural and Horticulture, 44-51.
- Kevers, C., Falkowski, M., Tabart, J., Defraigne, J. O., Dommes, J., Pincemail, J., 2007, Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables, J. Agric. Food Chem., 55, 8596-8603.
- Khanizadeh, S., Tao, S., Zhang, S., Tsao, R., Rekika, D., Yang, R., Charles, M. T., Gauthier, L., Gosselin, A., 2009, Profile of antioxidant activities of selected strawberry genotypes, Acta Hort. 814, 551-556.
- Ko, M. J., 2016, Analysis of biological active compounds affected by strawberry fruits in genotypes and cultivars at different ripening stages, Pusan univ. MaS Diss.
- Lee, G. B., Choe, Y. U., Park, E. J., Wang, Z., Li, M., Li, K., Park, Y. H., Choi, Y. W., Kang, N. J., Kang, J. S., 2017, Influence of abnormally low temperatures on growth, yield, and biologically active compounds of strawberry, J. Environ. Sci. International, 26, 381-392.
- Leighton, T., Ginther, C., Fluss, L., Harter, W., Cansado, J., Notario, V., 1992, Molecular characterization of quercetin and quercetin glycosides in Allium Vegetables ; Phenolic compounds in foods and their effects on health 2, Am. Chem. Soc., 507, 220-238.
- MAFRA(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), 2016, Key statistics for agriculture, forestry, livestock and agrifood industries, Sejong, Rep. Korea.
- Maher, P., Dargusch, R., Ehren, J. L., Okada, S., Sharma, K., Schubert, D., 2011, Fisetin lowers methylglyoxal dependant protein glycation and limits the complications of diabetes, PLoS One, 6, e21226.
- 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.
- Park, E. G., Heo, Y., Son, B. G., Choi, Y. W., Lee, Y. J., Park, Y. H., Suh, J. M., Cho, J. H., Hong, C. O., Lee, S. G., Kang, J. S., 2014, The influence of abnormally low temperatures on growth and yield of hot Pepper (*Capsicum annum* L.), J. Environ. Sci. International, 23, 781-786.
- Ryou, Y. S., Kang, Y. G., Kim, Y. J., Kang, K. C., 2008, Heating and cooling effect of pertected horticulture by geothermal heat pump system with horizontal heat exchanger, Kor. Socie. New and Renew. Ener., 630-633.
- Samman, S., Man, J. C., Sivarajah, G., Ahmad, Z. I., Petocz, P., Caterson, I. D., 2003, Supplementation with a mixed fruit and vegetable concentrate increases plasma antioxidant vitamins and lowers plasma homocysteine in men, J. Nutr., 133, 2188-2193.
- Stoner, G. D., Gupta, A., 2001, Etiology and chemoprevention of esophageal squamous cell carcinoma. Carcinogenesis, 22, 1737-1746.
- Tulipani, S., Marzban, G., Herndl, A., Laimer, M., Mezzetti, B., Battino, M., 2011, Influence of environmental and genetic factors on health-related compounds in strawberry, Food Chem., 124, 906-913.
- Willis, L. M., Barbara, S. H., James, A. J., 2009, Modulation of cognition and behavior in aged animals: role for antioxidant- and essential fatty acid - rich plant foods, Amer. J. Clinical Nutr., 89, 1602-1606.
- Zhang, Y., Secram, N. P., Lee, R., Feng, L., Heber, D.,

2008, Isolation and identification of strawberry phenolics with antioxidant and human cancer cell antiproliferative properties, J. Agric. Food Chem., 56,670-675.

-
- 이규빈, 부산대학교 원예생명과학과 대학원생
gyubin0211@naver.com
 - 이정은, 부산대학교 원예생명과학과 대학원생
wjddms3986@naver.com
 - 제병일, 부산대학교 원예생명과학과 교수
bije@pusan.ac.kr

-
- 이용재, 부산대학교 원예생명과학과 교수
yjl@pusan.ac.kr
 - 박영훈, 부산대학교 원예생명과학과 교수
yhpark@pusan.ac.kr
 - 최영환, 부산대학교 원예생명과학과 교수
ywchoi@pusan.ac.kr
 - 손병구, 부산대학교 원예생명과학과 교수
bgson@pusan.ac.kr
 - 강남준, 경상대학교 원예학과 교수
k284077@gnu.ac.kr
 - 강점순, 부산대학교 원예생명과학과 교수
kangjs@pusan.ac.kr