

## Research Report

# 솔비톨 및 Salicylic Acid 처리가 토마토 과실의 품질 및 기능성 물질 함량에 미치는 영향

김정태<sup>1†</sup>, 김윤하<sup>2,3†</sup>, 최진석<sup>1</sup>, 이인중<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경농 중앙연구소

<sup>2</sup>경북대학교 응용생명과학부

<sup>3</sup>미주리대학교 식물과학부

## Effect of Sorbitol and Salicylic Acid on Quality and Functional Food Contents of Tomato Fruit (*Solanum lycopersicum*)

Jung-Tae Kim<sup>1†</sup>, Yoon-Ha Kim<sup>2,3†</sup>, Jin-Suck Choi<sup>1</sup>, and In-Jung Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Central Research Institute, Kyung Nong Corporation, Gyeongju 780-110, Korea

<sup>2</sup>School of Applied Biosciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>3</sup>Division of Plant Sciences and National Center for Soybean Biotechnology (NCSB), University of Missouri, Columbia, 65211, USA

**Abstract:** In this study, we aimed to understand the effect of sorbitol and salicylic acid (SA) on quality and functional food contents of tomato. Sole or combined application of sorbitol and SA in different concentrations (0.5 mM and 1.0 mM) greatly improved the characteristics of tomato, such as red color tone, soluble solid content, hardness and weight as well as increasing the functional food contents such as of lycopene, anthocyanins and vitamins in comparison with the control. The cyanidin content increased approximately 52-61% and delphinidin contents also increased 20-24% and 39-41% in tomato plants treated with SA alone and sorbitol with SA, respectively. Furthermore, the sole or combined application of sorbitol and SA also increased the vitamin B<sub>1</sub> and C contents. In particular, vitamin C content was increased 1.2-fold by treatment with sorbitol alone and was increased 2-fold by SA treatment compared to the control. In the sorbitol with SA treatments, vitamin C content was approximately 4-fold increased relative to control plants.

**Additional key words:** anthocyanin, carotenoid, flavonoid, lycopene, vitamin

## 서 언

라틴아메리카가 원산지인 가지목 가지과의 토마토(*Solanum lycopersicum*)(Choi et al., 2010; Kim et al., 2009)는 블루베리(기능성 물질: anthocyanin), 귀리(기능성 물질: tocotrienol), 시금치(기능성 물질: lutein) 등과 함께 2002년 미국의 시사주간지 Time으로부터 세계 10대 건강식품으로 선정되었다

(Choi et al., 2010). 이런 사실이 국내에 소개되면서 토마토에 대한 소비가 급격히 증가되고 있는 추세이다(Park et al., 2005). 우리가 주로 식용하는 붉은색의 완숙토마토에는 리코펜(lycopene)이라는 물질이 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2011b; Giovannucci et al., 2002). 리코펜은 카로테노이드(carotenoid)의 한 종류로 geranylgeranyl phyrophosphate(GGPP)에서부터 다양한 효소의 작용에 의해

\*Corresponding author: ijlee@knu.ac.kr

†These authors equally contributed to this work.

※ Received 28 January 2014; Revised 16 July 2014; Accepted 20 July 2014. 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2014R1A1A2A10058022).

© 2014 Korean Society for Horticultural Science

합성되어지며(Choi et al., 2011a; Guo et al., 2009; Shneour and Zabin, 1959; Ronen et al., 1999), 뛰어난 항산화 및 항암작용을 지니고 있는 것으로 알려져 있다(Atessahin et al., 2005; Cohen, 2002; Rao and Agarwal, 2000).

토마토에는 리코펜 이외에도 안토시아닌류(anthocyanins) 및 비타민류(vitamins)와 같은 기능성 물질이 함유되어 있는 것으로도 알려져 있다(Abushita et al., 2000; Jacob et al., 2008). 안토시아닌은 페놀성화합물(phenolic compound) 중 플라보노이드(flavonoid)의 한 종류로 안토시아닌의 3-hydroxyl 위치에 당이 결합된 형태로 알려져 있으며, 기본 화학구조에 잔기들의 결합에 따라 크게 6가지 물질[시아닌(cyanine), 델피니딘(delphinidin), 말비딘(malvidin), 페오니딘(peonidin), 페라르고리딘(pelargonidin), 페튜니딘(petunidin)]로 분류된다(Berente et al., 2000; Boss et al., 1996; Forkmann and Martens, 2001; Mat Nor et al., 2013; Sass-Kiss et al., 2005)(Fig. 1). 안토시아닌의 주된 기능으로 항산화 작용이 알려져 있는데, 이는 세포내 산화를 유발하는 활성산소(reactive oxygen species, ROS)의 작용을 억제시켜 유도하는 것으로 알려져 있으며(Hu et al., 2003; Guo et al., 2007; Ortega-Regules et al., 2006), 이러한 기능 때문에 인간의 다양한 질병과 관련된 연구를 진행하고 있다(Bowen-Forbes et al., 2010; Faria et al., 2010; Kang et al., 2003). 또 다른 기능성 물질로 알려진 비타민은 생명체 생육에 필요한 필수 영양소는 아니지만 정상

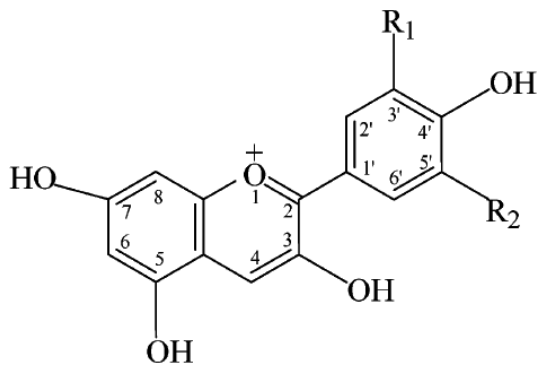
적인 생육을 위해서는 꼭 필요한 유기화합물로 현재까지 식물에서 15종류(비타민 A, B<sub>1-7</sub>, 9, 12, 17, C, D, E, K)의 각기 다른 기능을 가진 비타민이 존재하는 것으로 알려져 있다(Tambasco-Studart et al., 2005). 토마토에는 비타민 B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> 및 C가 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으며, 특히 비타민 C의 함량은 다른 채소작물들보다 월등히 많은 것으로 알려져 있다(Choi et al., 2011a). 비타민 C는 수용성 비타민의 한 종류로 인체 내에서 아미노산 생합성에 관여하는 것으로 알려져 있으며, 최근에는 항암, 항당뇨 및 항노화에도 관여하는 것으로 보고되고 있어 그 중요성이 새롭게 부각되고 있는 실정이다(Barth et al., 2004; Constantinou et al., 2008; Kim, 2013; Kim et al., 2010; Kunert and Ederer, 1985; Maramag et al., 1997). 이처럼 토마토에는 기능성 물질이 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있어 토마토 재배 시 이들 기능성 물질의 함량을 높이기 위한 다양한 연구가 최근 진행되고 있다. 몇 가지 예로 Javaheri et al.(2012)는 연구를 통해 토마토 재배 시 식물호르몬 salicylic acid(SA)를 처리하게 되면 과실의 당도 및 리코펜 함량이 증가하는 것으로 보고하였고, Yildirim and Dursun(2009)는 토마토식물체에 SA를 처리하게 되면 생육을 촉진시켜 수량이 증가되는 것으로 보고하였다. 이와 반대로 알코올성 당으로 알려진 솔비톨(sorbitol)을 식물에 처리하게 되면 식물세포 내 삼투스트레스가 유도되어 식물생육이 감소되지만 과실의 품질에 관련된 당도 및 산도 등은 오히려 증가하는 것으로 보고하였다(Jain et al., 2010; Wang et al., 1999).

따라서 본 실험에서는 토마토 과실의 대표적인 기능성 물질인 안토시아닌, 비타민 및 리코펜 함량을 증대시킬 수 있는 재배적 방법을 모색하고자 수행되었으며, 이를 위해 과실의 품질 및 기능성 물질 함량에 영향을 미치는 것으로 알려진 솔비톨과 식물호르몬 SA를 각각 토마토에 단독 및 혼합 처리하여 토마토 과실 내 기능성 물질인 안토시아닌과 비타민 함량변화에 미치는 영향에 대해 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료 및 재배방법

본 실험은 2012년 3월부터 2012년 8월까지 약 6개월 동안 경상북도 경주에 위치한 (주)경농연구소 시험포장에서 실시하였다. 공시품종으로는 완숙형 토마토(하드랑, 농우바이오, 한국)를 이용하였다. 종자 파종 후 본엽이 8매 가량되는 유묘를 2012년 3월 15일에 정식하였고, 포장의 구성은 이랑



Anthocyanidin	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
Pelargonidin	H	H
Cyanidin	OH	H
Peonidin	OCH <sub>3</sub>	H
Delphinidin	OH	OH
Petunidin	OCH <sub>3</sub>	OH
Malvidin	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>

Fig. 1. Chemical structure of anthocyanin according to residue (Source from Mat Nor et al., 2013).

의 높이를 약 30cm로 하여 80cm × 30cm으로 하였다. 포장 내 비료 및 재배기간 중 양액의 공급은 농촌진흥청 영농기술보급정보(작목별 기술정보, <http://www.rda.go.kr>)에 따라 진행하였다.

### 솔비톨, SA 처리 및 포장배치

토마토 유묘 정식 후 개화기인 2012년 4월 24일과 개화 후 10일 뒤인 2012년 5월 4일에 각각 솔비톨(D-sorbitol 98%, Sigma-Aldrich, USA)과 SA(salicylic acid 99%, Sigma-Aldrich, USA)를 각각 0.5mM과 1.0mM로 희석하여 실험에 이용하였다. 실험에 사용된 처리구는 총 7개로(무처리, 솔비톨 0.5mM 처리, 솔비톨 1.0mM 처리, SA 0.5mM 처리, SA 1.0mM 처리, 솔비톨 0.5mM + SA 0.5mM, 솔비톨 1.0mM + SA 1.0mM)로 구성하였고, 시험포장은 난괴법으로 배치하였으며, 처리당 토마토를 20주씩 6반복으로 실험을 진행하였다. 수집된 자료는 SAS(SAS version 9.1, SAS Inc., USA)를 이용하여 던컨의 다중검정(Duncan Multiple Range Test, DMRT)으로 유의성 검정을 실시하였다.

### 토마토 과실 품질조사

솔비톨과 SA 처리가 토마토 과실 품질에 미치는 영향을 조사하기 위해 수확 당일인 2012년 8월 20일 토마토 과실 품질을 조사하였다. 적색도 측정은 토마토 과실 적도면에 색차계(CR-300b, Minolta, Japan)를 이용하여 Hunter a 값을 측정하였고, 가용성 고형물 함량은 과육을 착즙하여 당도계(PR-1, Atago, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 경도 측정은 직경 5mm의 prove를 장착한 휴대용 경도계(Model FHR-5, Nippon Opticaal Works Co., Ltd., Japan)를 사용하여 prove

가 토마토 과실 내부로 약 10mm 정도 삽입될 때 나타내는 값을 이용하였다.

### 리코펜 분석

리코펜 분석은 Perkins-Veazie et al.(2001)의 분석방법을 응용하여 시행하였다. 20g의 토마토 과실 샘플을 막자 사발에 넣고 곱게 마쇄한 다음 100mL의 0.05% butylated hydroxytoluene(BHT)가 포함된 hexane/acetone/ethanol(50/25/25, v/v/v) 혼합액을 가하여 5°C에서 10분 동안 교반하였다. 교반 후 약 5°C의 이차증류수를 넣은 후 추가적으로 5분 동안 교반하여 분획하였다. 샘플의 측정은 약 1mL 가량의 hexane 층을 제거한 후 503nm에서 UV spectrophotometer(T60, PG Instruments Limited, British)을 이용하여 측정하였으며, 표준품으로는 정제된 리코펜(L-9879, Sigma, USA)을 이용하여 검량선을 작성 후 정량하였다.

### 안토시아닌 분석

2012년 8월 20일 수확한 토마토 과실 시료를 동결 건조하여 안토시아닌 분석에 이용하였다. 본 실험에서는 4가지 종류(시아닌, 델피니딘, 말비딘, 페라르고리딘)의 안토시아닌을 분석하였으며, 각각의 표준품으로는 시아닌(cyanidin chloride ≥ 95%, Sigma-Aldrich, USA), 델피니딘(Delphinidin chloride ≥ 100%, Sigma-Aldrich, USA), 말비딘(Malvindicin chloride ≥ 95%, Sigma-Aldrich, USA), 페라르고리딘(Pelargonidin chloride ≥ 100%, Sigma-Aldrich, USA)을 사용하였다. 동결 건조된 토마토 과실 시료 10g을 125mL의 삼각플라스크에 넣은 후 50mL의 2% HCl이 포함된 deionized water/methanol (50/50, v/v) 용액을 넣은 다음 20분간 초음파 추출하였다.

**Table 1.** LC/MS/MS operation conditions for the analysis of anthocyanin.

LC/MS/MS						
Instrument	Agilent 1200 series + 6410 Triple quad LC/MS/MS					
Software	Agilent mass hunter workstation data acquisition + quantitative analysis					
Column	Agilent eclipse XDB-C <sub>8</sub> (150 × 4.6 mm I.D, 5 μm)					
Solvent	A: 0.1% Trifluoroacetic acid in water (%) B: 0.1% Trifluoroacetic acid in acetonitrile (%)					
Gradient		6 min	20 min	28 min	32 min	35 min
	A	85	78	70	80	85
	B	15	22	30	20	15
Flow rate	1.0 mL·min <sup>-1</sup>					
Injection volume	1.0 μL					

추출물을 büchner funnel 상에서 감압, 여과하고 추가적으로 methanol 50mL로 세척한 후 60°C에서 감압 농축하였다. 농축잔사를 2% HCl이 포함된 deionized water/methanol(50/50, v/v)로 용해하여, 10mL 용량의 volumetric flask에 옮겨 표선하였다. 표선 후 이 중 일부를 취하여 polytetrafluoroethylene (PTFE, 0.45µm)에 필터 후 liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC/MS/MS, Agilent 1200 series + 6410 Trip quad, USA)에 공시하였으며, 분석 조건은 Table 1과 같다.

### 비타민 분석

동결 건조된 토마토 과실 시료 10g에 deionized water 20mL을 넣어 1시간 가량 진탕 추출한 후 büchner funnel 상에서 감압, 여과하고 25mL의 volumetric flask에 옮겨 deionized

water로 표선한 뒤 시료 일부를 PTFE로 필터 후 LC/MS/MS를 이용하여 Table 2의 조건에서 실험을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 솔비톨과 SA 처리가 토마토 과실 품질에 미치는 영향

솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리가 토마토 과실 품질에 미치는 영향은 Table 3과 같다. 토마토 과실의 적색도는 솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리에서 무처리에 비해 증가하는 것으로 조사되었으며, 특히 0.5mM 및 1.0mM의 솔비톨과 SA 혼합처리에서 34.5-35.2로 무처리에 비해 19.4-22.2% 증가하였다(Table 3). 토마토 과실의 당 함량도 솔비톨과 SA 처리에 의해 증가하였는데, 0.5mM 및 1.0mM의 SA 처리에서 9.7°Brix로 무처리에 비해 약 15.4% 정도, 그리고 0.5mM 및

**Table 2.** LC/MS/MS operation conditions for the analysis of vitamins.

LC/MS/MS						
Instrument	Agilent 1200 series + 6410 triple quad LC/MS/MS					
Software	Agilent mass hunter workstation data acquisition + quantitative analysis					
Column	Agilent eclipse XDB-C <sub>8</sub> (150 × 4.6 mm I.D, 5 µm)					
Solvent	A: 0.1% Formic acid (%) B: 0.1% Acetonitrile (%)					
Gradient		2 min	9 min	11 min	13 min	15 min
	A	95	5	5	95	95
	B	5	95	95	5	5
Flow rate	0.5 mL·min <sup>-1</sup>					
Injection volume	1.0 µL					

**Table 3.** Effects of sorbitol and salicylic acid on red color tone, sugar content, hardness and weight of tomato fruit.

Treatments	Contents			
	Hunter value (a)	Soluble solid contents (°Brix)	Firmness (N)	Weight (g)
Control	27.4 ± 3.4 c <sup>z</sup>	8.2 ± 1.1 b	12.74 ± 0.97 a	320.5 ± 11.1 b
Sorbitol 0.5 mM	32.3 ± 2.4 b	10.3 ± 1.3 a	10.78 ± 2.94 ab	337.5 ± 15.8 a
Sorbitol 1.0 mM	33.4 ± 1.9 ab	10.2 ± 0.7 a	9.8 ± 1.96 b	336.7 ± 18.5 a
SAy 0.5 mM	31.7 ± 3.1 b	9.7 ± 1.8 ab	10.78 ± 3.93 ab	336.1 ± 12.6 a
SA 1.0 mM	32.9 ± 3.5 b	9.7 ± 1.5 ab	10.78 ± 2.93 ab	338.4 ± 18.8 a
Sorbitol 0.5 mM + SA 0.5 mM	35.2 ± 2.4 a	10.1 ± 1.2 a	11.76 ± 0.98 a	341.4 ± 13.4 a
Sorbitol 1.0 mM + SA 1.0 mM	34.5 ± 3.1 a	10.4 ± 1.2 a	11.76 ± 1.96 a	342.1 ± 12.7 a

<sup>z</sup>In each column, values with same letter (s) are not significantly different at the 5% by Duncan's multiple range test (DMRT). Values shows the mean ± standard error of three replications (n = 10) of each treatment.

<sup>y</sup>Salicylic acid.

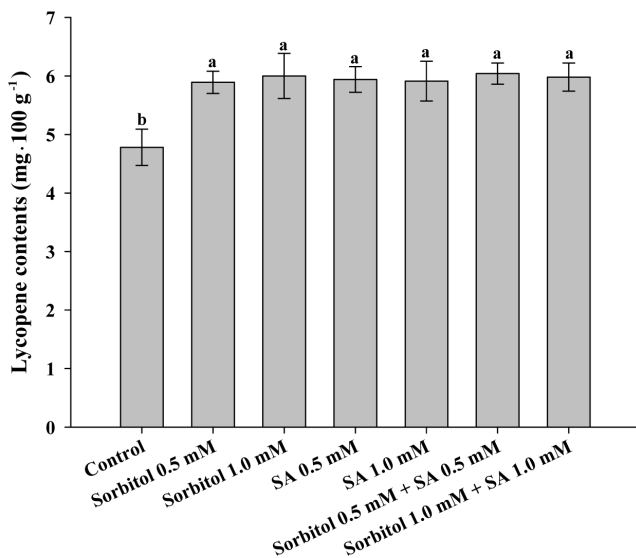
1.0mM의 솔비톨 단독처리와 0.5mM 및 1.0mM의 솔비톨과 SA 혼합처리에서 10.1 및 10.4°Brix로 무처리에 비해 약 18.8-21.2% 증가되었다(Table 3). 토마토 과실의 무게는 솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리에서 과실의 무게가 336.1-342.1g으로 조사되어 무처리에 비해 약 4.6-6.3% 증가되었다(Table 3). 반면 토마토 과실의 경도는 솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리에서 9.8-11.76N으로 무처리 12.74N에 비해 소폭 감소되었다(Table 3). 솔비톨과 SA 처리가 토마토 과실의 적색도를 증가시키는 점에 착안하여 솔비톨과 SA처리가 토마토 과실의 적색색소와 관련된 기능성 물질 리코펜 함량에 미치는 영향에 대해서도 조사하였다. 솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리에서 리코펜의 함량은 무처리에 비해 증가되어 Table 3에서 적색도의 증가와 동일한 결과를 얻을 수 있었다(Fig. 2). 그러나 적색도의 경우 솔비톨과 SA 혼합처리에서 다른 처리에 비해 그 값이 크게 증가한 것에 반해, 리코펜의 함량은 솔비톨과 SA 단독 및 혼합처리에서 거의 유사한 경향을 나타내었다.

Salicylic acid(SA)는 식물호르몬의 일종으로 페놀성 화합물에 속하며 주로 식물체에서 외부 병원균 침입을 받은 세포 주변에서 전신획득저항성(systemic acquired resistance, SAR)을 유도하는 식물호르몬으로 알려져 있으며, 병 저항성 이외에도 식물의 개화, 종자발아 및 기공개폐와 같은 생리적 현상을 조절하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2011;

Klessig and Malamy, 1994; Ribnicky et al., 1998). 또한 식물 호르몬 SA는 병 저항성 및 스트레스 조절 호르몬으로 알려진 jasmonic acid(JA)와 에틸렌 생합성 조절을 통해 식물 스트레스 반응 메커니즘 및 식물 내 플라보노이드와 같은 이차 대사물질의 함량을 조절하는 것으로도 알려져 있다(Javaheri et al., 2012; Kim and Lee, 2013; Kim et al., 2009, 2012, 2014b; Klessig and Malamy, 1994). 특히 Javaheri et al.(2012)는 식물호르몬 SA를 다양한 농도로 희석하여 토마토 식물체에 처리할 경우 토마토 식물체 내 미량원소 흡수능력과 토마토 과실내 막 삼투성이 향상되어 최종적으로 과실 내 당도, 리코펜 및 비타민C의 함량이 증가되는 것으로 보고하였으며, Yildirim and Dursun(2009)도 식물호르몬 SA를 토마토 식물체에 처리할 경우 토마토 식물체의 초장이 무처리에 비해 증가하게 되고, 이는 토마토 식물체의 광형태형성 능력을 향상시켜 광합성 효율이 개선되기 때문에 토마토 과실의 수량이 증가되는 것으로 보고하였다.

당의 일종인 솔비톨은 포도당과 같은 육탄당을 환원하여 만들어진 알코올의 일종으로 디-솔비톨(D-sorbitol)이라 불리는 백색의 단맛을 내는 물질로 알려져 있고, 설탕과 같은 단맛을 내는 이유 때문에 식품 첨가제로 사용되고 있다(Cisneros-Zevallos et al., 1997; Ku et al., 1999). 여러 연구 결과에 의하면 솔비톨을 토마토 식물체에 처리시 토마토 과실의 당도 및 수량이 증가되는 것으로 보고하였는데(Giannakoula and Illas, 2013; Johnstone et al., 2005; Kang and Choi, 2009; Nahar and Gretzmacher, 2002; Zegbe-Dominguez et al., 2003), Kang and Choi(2009)는 토마토 과실의 당도는 광합성을 통해 토마토의 잎에서 생성된 당(sucrose)이 과실로 전류 되어 토마토 과실의 당도에 영향을 미친다고 보고하였으며, 토마토 과실의 당도를 높이기 위한 방법으로 토마토 식물체 재배시 관수량 조절을 통해 적정한 건조(drought) 스트레스 공급의 필요성을 제시하였다. 위와 같은 결과로 볼 때, 본 실험에서 토마토 식물체에 솔비톨 처리는 스트레스로 작용했을 것으로 추정되는데, Jain et al.(2010)은 옥수수 식물체에 0.2mM, 0.6mM 및 1.0mM 농도의 솔비톨을 처리하였을 때 옥수수 식물체의 엽록소 및 단백질의 함량이 감소되고, 프롤린(proline) 함량은 크게 증가되는 것으로 보고하였다. Abu-Romman(2010)도 오이 식물체를 기내 배양 시 배지에 솔비톨을 처리하게 되면 식물체의 생체중, 건물중 및 단백질 함량은 감소되는 반면에 삼투 포텐셜(osmotic potential)과 프롤린 함량은 급격히 증가되는 것으로 보고하였다.

위의 내용을 종합해 보면, 결론적으로 토마토 식물체에



**Fig. 2.** Effect of Sorbitol and SA treatments on lycopene contents in tomato fruit. Columns denoted by same letter are not significantly different at 5% by Duncan's Multiple Range Test (DMRT). In figure, error bars indicates standard error and each treatment was replicated three times ( $n = 5$ ).

솔비톨과 식물호르몬 SA를 단독 및 혼합처리 시 토마토 과실 내 당 함량이 증가된 이유는 솔비톨의 경우 토마토 과실 내 수분스트레스 유도으로 인해, 식물호르몬 SA는 토마토 식물체의 광합성 효율을 증대시켜 유도된 결과라 추정된다.

#### 솔비톨과 SA 처리가 토마토 과실의 안토시아닌 및 비타민 함량에 미치는 영향

솔비톨과 식물호르몬 SA 단독 및 혼합처리에 따른 토마토 과실 내 안토시아닌 함량은 Table 4와 같다. 토마토 과실에서 말비딘과 페라르그리딘의 함량은 다른 안토시아닌 함량에 비해 상대적으로 소량 존재하였고, 솔비톨과 SA 처리에 의해 과실내 함량도 크게 영향 받지 않는 것으로 조사되었다 (Table 4). 이와 반대로 델피니딘과 시아닌의 함량은 솔비톨과 SA 처리에 의해 영향을 받았는데, 먼저 시아닌의 경우 SA 단독 및 솔비톨과 SA 혼합처리에서 함량이 0.021-0.026 $\mu\text{g}$ 으로 무처리 및 솔비톨 단독처리에 비해 약 52.4-61.5% 증가된 것으로 조사되었으나, 토마토 과실에서 큰 비중을 차지하지는 않는 것으로 나타났다(Table 4). 그러나 델피니딘의 함량은 토마토 과실에서 다른 3종류(말비딘, 페라프그리딘, 시아닌)의 함량보다 월등히 높았고, 솔비톨과 SA 처리에 의해서도 영향을 많이 받는 것으로 조사되었다. 솔비톨과 SA 혼합처리에서 델피니딘 함량이 0.63-0.65 $\mu\text{g}$ 으로 무처리에 비해 약 39.7-41.5% 증가되었고, 솔비톨 및 SA 단독처리에서는 그 함량이 0.48-0.50 $\mu\text{g}$ 으로 무처리 대비 20.8%-24.0% 증가되었다(Table 4). 식물호르몬 SA는 식물체 내 다양한 생리적 반응을 유도하는 것으로 알려져 있는데, Kim et al. (2009b)과 Kim and Lee(2013)의 보고에 따르면, 서양민들레

종자 및 식물체에 SA를 처리할 경우 서양민들레 종자의 발아율은 현저히 감소되고, 식물체의 생육은 증가된다고 하였고, 특히 페놀성 화합물과 플라보노이드의 함량이 크게 증가되는 것으로 보고하였다. Pacheco et al.(2013)도 메리골드에 SA를 처리하게 되면, 생육이 촉진되고 플라보노이드 함량이 증가하는 것으로 보고하였다. 그리고 Moharekar et al. (2003)도 밀과 녹두 유묘에 SA를 처리하게 되면, 색소체인 클로로필(chlorophyll) 함량은 감소되고, 반대로 카로티노이드(carotenoid) 함량은 증가되는 것으로 보고하였다. 위의 결과들로 종합해 볼 때 식물호르몬 SA는 식물체 내에서 클로로필, 카로티노이드, 플라보노이드 및 크산토펜(xanthophyll)과 같은 색소체 생합성에 직, 간접적으로 관여할 수 있을 것으로 생각된다. 본 실험에서 토마토 식물체에 SA의 처리는 토마토 과실 내 안토시아닌류의 함량을 증가시켰는데, 이러한 결과는 플라보노이드의 한 종류인 안토시아닌의 생합성에도 식물호르몬 SA가 관여할 수도 있음을 암시하는 결과라 생각되며, 보다 명확한 결과를 위해서는 분자적 수준의 추가적인 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서 솔비톨 처리에서 무처리에 비해 안토시아닌 함량이 증가되었는데, Tholalakabavi et al.(1994)는 그들의 연구를 통해 포플러 조직배양 시 배지에 당을 처리하게 되면 수분스트레스가 유도되어 포플러 세포의 생육이 억제되고, 세포 내 단백질 함량이 감소하여, 안토시아닌의 함량이 축적된다고 하였다. 이런 결과를 볼 때 당의 일종인 솔비톨 처리에서 안토시아닌 함량이 증가된 것은 수분 스트레스 유도로 인해 발생된 결과로 추정된다.

비타민 B<sub>1</sub> 및 C의 함량도 솔비톨 및 SA 단독 및 혼합처리

**Table 4.** Effects of sorbitol and salicylic acid on anthocyanin contents of tomato fruit.

Treatments	Contents ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh matter)			
	Delphinidin	Malvidin	Pelargonidin	Cyanidin
Control	0.38 $\pm$ 0.03 c <sup>z</sup>	0.003 $\pm$ 0.002 a	0.001 $\pm$ 0.001 a	0.010 $\pm$ 0.004 b
Sorbitol 0.5 mM	0.49 $\pm$ 0.04 b	0.003 $\pm$ 0.002 a	0.002 $\pm$ 0.001 a	0.015 $\pm$ 0.003 b
Sorbitol 1.0 mM	0.50 $\pm$ 0.02 b	0.003 $\pm$ 0.002 a	0.002 $\pm$ 0.001 a	0.012 $\pm$ 0.001 b
SA <sup>y</sup> 0.5 mM	0.50 $\pm$ 0.05 b	0.002 $\pm$ 0.002 a	0.001 $\pm$ 0.001 a	0.026 $\pm$ 0.006 a
SA 1.0 mM	0.48 $\pm$ 0.02 b	0.003 $\pm$ 0.002 a	0.002 $\pm$ 0.001 a	0.025 $\pm$ 0.004 a
Sorbitol 0.5 mM + SA 0.5 mM	0.65 $\pm$ 0.04 a	0.003 $\pm$ 0.001 a	0.002 $\pm$ 0.001 a	0.021 $\pm$ 0.003 a
Sorbitol 1.0 mM + SA 1.0 mM	0.63 $\pm$ 0.03 a	0.003 $\pm$ 0.001 a	0.002 $\pm$ 0.001 a	0.024 $\pm$ 0.005 a

<sup>z</sup>In each column, values with same letter (s) are not significantly different at the 5% by Duncan's multiple range test (DMRT). Values shows the mean  $\pm$  standard error of three replications ( $n = 10$ ) of each treatment.

<sup>y</sup>Salicylic acid.

에서 무처리에 비해 증가되었는데(Table 5), 비타민 B<sub>1</sub>과 C의 함량은 모든 솔비톨과 SA 혼합처리에서 무처리 대비 약 4-6배 가량 높았으며, 솔비톨 및 SA 단독처리에서도 무처리에 비해 비타민 B<sub>1</sub> 및 C의 함량이 높았다. 특히 SA 단독처리에서 솔비톨 단독처리에 비해 비타민 B<sub>1</sub>과 C의 함량이 보다 높은 것으로 조사되었다. 위와 같은 결과는 Table 3의 결과에서 언급 하였듯 SA 처리가 토마토 식물체 내 막 삼투성을 증가시키거나, 다양한 식물호르몬과의 상호작용을 유도하거나, 광합성 효율을 증가시켜(광형태형성 촉진, CO<sub>2</sub> 이용률 증가 등) 유도된 결과라 사료된다(Javaheri et al., 2012; Kim et al., 2009b, 2012; Yildirim and Dursun, 2009).

비타민의 함량은 솔비톨 처리에서도 증가되었는데, 이를 증명할 직접적인 자료는 확인할 수 없었다. 그러나 Oh et al.(2010)의 결과에 의하면 적절한 수준에서 인위적인 수분 스트레스를 상추 규모에 공급하면 체내 내생물질(antioxidants, phenolics, vitamins)의 함량이 개선되는 것으로 보고하였다. 또한 Shalata and Neumann(2001)는 비타민 C를 토마토 식물체에 처리하면 염 스트레스 저항성이 증가되고, 지질과산화 작용이 감소되어 비타민 C가 항산화효소(antioxidant) 활성 조절을 통해 염 스트레스를 경감하는 것으로 주장하고 있어 비타민의 함량이 스트레스로 인해 증가될 수도 있음을 암시하는 결과라 생각된다. 따라서 위의 결과를 종합하여 볼 때 솔비톨 처리는 토마토의 삼투 스트레스를 유발하게 되고 이렇게 유발된 스트레스로 인해 비타민의 함량이 증가된 것으로 추정된다.

결론적으로 본 실험을 통해 토마토 식물체에 솔비톨과 SA를 처리하게 되면, 토마토의 품질 및 기능성 물질의 함량이 증가되는 것으로 나타났고, 이런 결과는 솔비톨과 식물

호르몬 SA 처리가 토마토 식물체의 스트레스 유도 및 생장 혹은 색소체 생합성에 직접 혹은 간접적으로 관여하여 유도된 결과로 생각된다. 특히 솔비톨 처리 결과는 토마토 재배 시 과실의 후숙을 유도하기 위해 인위적으로 스트레스를 공급(염, 수분 스트레스)하는 토마토 재배방법과도 어느 정도 일치하는 것으로 생각되어(Incrocci et al., 2006; Johnstone et al., 2005; Kang and Choi, 2009), 추후 보다 구체적이고 체계적인 재배적 실험이 진행된다면 새로운 토마토 재배법 개발도 가능할 것으로 생각된다.

## 초 록

본 연구는 솔비톨과 살리실산의 토마토 과시의 품질과 기능성 물질에 미치는 효과를 알아보기 위해 수행되었다. 0.5mM과 1.0mM의 솔비톨과 살리실산 단독 및 혼합처리는 무처리보다 토마토 과실의 적색도, 당 함량, 경도 및 무게와 리코펜, 안토시아닌류 및 비타민류와 같은 기능성 물질의 함량을 증가시켰다. 토마토 식물체에 살리실산 단독 및 솔비톨과 살리실산 혼합처리는 시아니딘 함량을 약 52-61% 정도, 그리고 델피니딘 함량이 20-24%, 39-41% 가량 증가되었다. 뿐만 아니라 비타민 B<sub>1</sub>과 C의 함량도 증가시켰다. 특히 비타민 C는 솔비톨 단독처리에서 무처리보다 약 1.2배, 살리실산 단독처리에서는 2배 가량 증가되었다. 솔비톨과 살리실산 혼합처리에서는 무처리보다 약 4배 가량 비타민C 함량이 증가되었다.

**추가 주요어 :** 안토시아닌, 카로티노이드, 플라보노이드, 리코펜, 비타민

**Table 5.** Effects of sorbitol and salicylic acid on vitamin B<sub>1</sub> and C contents of tomato fruit.

Treatments	Contents ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ fresh matter)	
	Vitamin B <sub>1</sub>	Vitamin C
Control	0.020 $\pm$ 0.01 d <sup>2</sup>	38.9 $\pm$ 7.6 d
Sorbitol 0.5 mM	0.076 $\pm$ 0.08 c	60.3 $\pm$ 5.8 c
Sorbitol 1.0 mM	0.087 $\pm$ 0.13 c	58.4 $\pm$ 4.6 c
SA <sup>y</sup> 0.5 mM	0.112 $\pm$ 0.25 ab	78.6 $\pm$ 5.4 b
SA 1.0 mM	0.101 $\pm$ 0.18 b	72.4 $\pm$ 6.6 b
Sorbitol 0.5 mM + SA 0.5 mM	0.143 $\pm$ 0.11 a	143.7 $\pm$ 12.1 a
Sorbitol 1.0 mM + SA 1.0 mM	0.137 $\pm$ 0.12 a	151.4 $\pm$ 14.6 a

<sup>2</sup>In each column, values with same letter (s) are not significantly different at the 5% by Duncan's multiple range test (DMRT). Values shows the mean  $\pm$  standard error of three replications ( $n = 10$ ) of each treatment.

<sup>y</sup>Salicylic acid.

## 인용문헌

- Abu-Romman, S. 2010. Responses of cucumber callus to sorbitol-induced osmotic stress. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 8:45-50.
- Abushita, A.A., H.G. Daood, and P.A. Biacs. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J. Agric. Food Chem.* 48:2075-2081.
- Atessahin, A., S. Yilmaz, I. Karahan, A.O. Ceribasi, and A. Karaoglu. 2005. Effects of lycopene against cisplatin-induced nephrotoxicity and oxidative stress in rats. *Toxicology* 212: 116-123.
- Barth, C., W. Moeder, D.F. Klessig, and P.L. Conklin. 2004. The timing of senescence and response to pathogens is altered in the ascorbate-deficient arabidopsis mutant *vitamin c-1*. *Plant Physiol.* 134:1784-1792.
- Berente, B., D. De la García, M. Reichenbacher, and K. Danzer. 2000. Method development for the determination of anthocyanins in red wines by high-performance liquid chromatography and classification of German red wines by means of multivariate statistical methods. *J. Chromatography A* 871:95-103.
- Boss, P.K., C. Davies, and S.P. Robinson. 1996. Anthocyanin composition and anthocyanin pathway gene expression in grapevine sports differing in berry skin colour. *Aus. J. Grape Wine Res.* 2:163-170.
- Bowen-Forbes, C.S., Y. Zhang, and M.G. Nair. 2010. Anthocyanin content, antioxidant, anti-inflammatory and anticancer properties of blackberry and raspberry fruits. *J. Food Compos. Anal.* 23:554-560.
- Choi, S.H., D.H. Kim, and D.S. Kim. 2011a. Comparison of ascorbic acid, lycopene,  $\beta$ -carotene and  $\alpha$ -carotene contents in processed tomato products, tomato cultivar and part. *Kor. J. Culinary Res.* 17:263-272.
- Choi, S.H., H.R. Kim, and J.S. Lee. 2010. Analytical methods for the isolation of dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine in tomato fruits by use of alumina column chromatography and high-performance liquid chromatography. *Kor. J. Food Nutr.* 23: 556-561.
- Choi, Y.J., K.Y. Yoon, H.K. Yun, S.G. Suh, and Y.S. Moon. 2011b. Enhanced antioxidant effect by over expression of tomato  $\beta$ -carotene hydroxylase gene (*ChyB*) using *Agrobacterium*-infiltration in tobacco plant. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 29: 267-272.
- Cisneros-Zevallos, L., M.E. Saltveit, and J.M. Krochta, 1997. Hygroscopic coatings control surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. *J. Food Sci.* 62:363-366.
- Cohen, L.A. 2002. A review of animal model studies of tomato carotenoids, lycopene, and cancer chemoprevention. *Exp. Biol. Med.* 227:864-868.
- Constantinou, C., A. Papas, and A.I. Constantinou. 2008. Vitamin E and cancer: An insight into the anticancer activities of vitamin E isomers and analogs. *Int. J. Cancer* 123:739-752.
- Faria, A., D. Pestana, D. Teixeira, V. de Freitas, N. Mateus, and C. Calhau. 2010. Blueberry anthocyanins and pyruvic acid adducts: anticancer properties in breast cancer cell lines. *Phytother. Res.* 24:1862-1869.
- Forkmann, G. and S. Martens. 2001. Metabolic engineering and applications of flavonoids. *Curr. Opin. Biotechnol.* 12:155-160.
- Giannakoula, A.E. and I.F. Ilias. 2013. The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Arch. Biol. Sci.* 65:611-620.
- Giovannucci, E., E.B. Rimm, Y. Liu, M.J. Stampfer, and W.C. Willett. 2002. A prospective study of tomato products, lycopene and prostate cancer risk. *J. Natl. Cancer Inst.* 94:391-398.
- Guo, H., W. Ling, Q. Wang, C. Liu, Y. Hu, M. Xia, X. Feng, and X. Xia. 2007. Effect of anthocyanin-rich extract from black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) on hyperlipidemia and insulin resistance in fructose-fed rats. *Plant Foods Hum. Nutr.* 62:1-6.
- Guo, X., L. Yang, H. Hu, and L. Yang. 2009. Cloning and expression analysis of carotenogenic genes during ripening of autumn olive fruit (*Elaeagnus umbellate*). *J. Agric. Food Chem.* 57:5334-5339.
- Hu, C., J. Zawistowski, W. Ling, and D.D. Kitts. 2003. Black rice (*Oryza sativa* l. *Indica*) pigmented fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *J. Agric. Food Chem.* 51:5271-5277.
- Incrocci, L., F. Malorgio, A. Della Bartola, and A. Pardossi. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Sci. Hort.* 107:365-372.
- Jacob, K., M.J. Periago, V. Böhm, and G.R. Berrueto. 2008. Influence of lycopene and vitamin C from tomato juice on biomarkers of oxidative stress and inflammation. *British J. Nutr.* 99:137-146.
- Jain, M., S. Tiwary, and R. Gadre. 2010. Sorbitol-induced changes in various growth and biochemical parameters in maize. *Plant Soil Environ.* 56:263-267.
- Javaheri, M., K. Mashayekhi, A. Dadkhah, and F.Z. Tavallaee. 2012. Effects of salicylic acid on yield and quality characters of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Intl. J. Agric.*



- Crop Sci. 4:1184-1187.
- Johnstone, P.R., T.K. Hartz, M. LeStrange, J.J. Nunez, and E.M. Miyao. 2005. Managing fruit soluble solids with late-season deficit irrigation in drip-irrigated processing tomato production. HortScience 40:1857-1861.
- Kang, N.J. and Y.H. Choi. 2009. Influence of irrigation levels on plant growth and fruit quality in *Lycopersicon esculentum* Mill. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 27:93-101.
- Kang, S.Y., N.P. Seeram, M.G. Nair, and L.D. Bourquin. 2003. Tart cherry anthocyanins inhibit tumor development in Apc<sup>Min</sup> mice and reduce proliferation of human colon cancer cells. Cancer Lett. 194:13-19.
- Kim, J.H., H.C. Kim, and B.H. Song. 2009a. Quality characteristics of tomato sauces prepared using different tomato varieties. Korean J. Food Culture 24:433-439.
- Kim, J.S., I.S. Shim, I.S. Kim, and M.J. Kim. 2010. Change of cysteine, glutathione and ascorbic acid content in Chinese cabbage, head lettuce and spinach by the growth stage. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28:186-191.
- Kim, M.W. 2013. Effect of sea buckthorn leaves on hepatic enzyme levels in streptozotocin induced diabetic rats. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 42:40-45.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, D.H. Kim, S.Y. Lee, K.M. Kim, M. Waqas, H.Y. Jung, J.H. Shin, J.G. Kim, and I.J. Lee. 2014a. Silicon mitigates heavy metal stress by regulating P-type heavy metal ATPases, *Oryza sativa* low silicon genes, and endogenous phytohormones. BMC Plant Biol. 14:13.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, M. Hamayun, S.M. Kang, Y.J. Beom, and I.J. Lee. 2011. Influence of short-term silicon application on endogenous phytohormonal levels of *Oryza sativa* L. under wounding stress. Biol. Trace Elem. Res. 144:1175-1185.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, M. Waqas, J.K. Shim, D.H. Kim, K.Y. Lee, and I.J. Lee. 2014b. Silicon application to rice root zone influenced the phytohormonal and antioxidant responses under salinity stress. J. Plant Growth Regul. 33:137-149.
- Kim, Y.H., A.L. Khan, Z.K. Shinwari, D.H. Kim, M. Waqas, M. Kamran, and I.J. Lee. 2012. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv. 'GOPUMBYEO') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. Pak. J. Bot. 44:891-897.
- Kim, Y.H., M. Muhammad, A.L. Khan, C.I. Na, S.M. Kang, H.H. Han, and I.J. Lee. 2009b. Exogenous application of plant growth regulators increased the total flavonoid content in *Taraxacum officinale* Wigg. Afr. J. Biotech. 8:5727-5732.
- Kim, Y.H. and I.J. Lee. 2013. Influence of plant growth regulator application on seed germination of dandelion (*Taraxacum officinale*). Weed Turf. Sci. 2:152-158.
- Klessig, D.F. and J. Malamy. 1994. The salicylic acid signal in plants. Plant Mol. Biol. 26:1439-1458.
- Ku, K.H., J.S. Cho, W.S. Park, and Y.J. Nam. 1999. Effects of sorbitol and sugar sources on the fermentation and sensory properties of Baechu Kimchi. Korean J. Food Sci. Technol. 31:794-801.
- Kunert, K.J. and M. Ederer. 1985. Leaf aging and lipid peroxidation: The role of the antioxidants vitamin C and E. Physiol. Plant. 65:85-88.
- Maramag, C., M. Menon, K.C. Balaji, P.G. Reddy, and S. Laxmanan. 1997. Effect of vitamin C on prostate cancer cells in vitro: Effect on cell number, viability, and DNA synthesis. Prostate 32:188-195.
- Mat Nor, N.A., N. Aziz, A.F. Mohd-Adnan, R.M. Taha, and A.K. Arof. 2013. Effects of UV-B irradiation on poly (vinyl alcohol) and *Ixora siamensis* anthocyanins-coated glass. Pigm. Resin Technol. 42:163-169.
- Moharekar, S.T., S.D. Lokhande, T. Hara, R. Tanaka, A. Tanaka, and P.D. Chavan. 2003. Effect of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents of wheat and moong seedlings. Photosynthetica 41:315-317.
- Nahar, K. and R. Gretzmacher. 2002. Effect of water stress on nutrient uptake, yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under subtropical conditions. Bodenkultur 53:45-51.
- Oh, M.M., E.E. Carey, and C.B. Rajashekar. 2010. Regulated water deficits improve phytochemical concentration in lettuce. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135:223-229.
- Ortega-Regules, A., I. Romero-Cascales, J.M. López-Roca, J.M. Ros-García, and E. Gómez-Plaza. 2006. Anthocyanin fingerprint of grapes: Environmental and genetic variations. J. Sci. Food Agric. 86:1460-1467.
- Pacheco, A.C., C. da Silva Cabral, É.S. da Silva Fermino, and C.C. Aleman. 2013. Salicylic acid-induced changes to growth, flowering and flavonoids production in marigold plants. Glob. J. Med. Plant Res. 1:95-100.
- Park, S.W., E.Y. Ko, M.R. Lee, and S.J. Hong. 2005. Fruit quality of 'York' tomato as influenced by harvest maturity and storage temperature. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23:31-37.
- Perkins-Veazie, P., J.K. Collins, S.D. Pair, and W. Roberts. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. J. Sci. Food Agric. 81:983-987.
- Rao, A.V. and S. Agarwal. 2000. Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. J. Am. Coll. Nutr. 19:563-569.
- Ribnicky, D.M., V. Shulaev, and I. Raskin. 1998. Intermediates of

- salicylic acid biosynthesis in tobacco. *Plant Physiol.* 118:565-572.
- Ronen, G., M. Cohen, D. Zamir, and J. Hirschberg. 1999. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. *Plant J.* 17:341-351.
- Sass-Kiss, A., J. Kiss, P. Milotay, M.M. Kerek, and M. Toth-Markus. 2005. Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Res. Intl.* 38:1023-1029.
- Shalata, A. and P.M. Neumann. 2001. Exogenous ascorbic acid (vitamin C) increases resistance to salt stress and reduces lipid peroxidation. *J. Exp. Bot.* 52:2207-2211.
- Shneour, E.A. and I. Zabin. 1959. The biosynthesis of lycopene in tomato homogenates. *J. Biol. Chem.* 234:770-773.
- Tambasco-Studart, M., O. Titiz, T. Raschle, G. Forster, N. Amrhein, and T.B. Fitzpatrick. 2005. Vitamin B6 biosynthesis in higher plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 102:13687-13692.
- Tholakalabavi, A., J.J. Zwiazek, and T.A. Thorpe. 1994. Effect of mannitol and glucose-induced osmotic stress on growth, water relations, and solute composition of cell suspension cultures of poplar (*Populus deltoides* var. *occidentalis*) in relation to anthocyanin accumulation. *In Vitro Cell. Dev. Biol.* 30:164-170.
- Wang, H.L., P.D. Lee, L.F. Liu, and J.C. Su. 1999. Effect of sorbitol induced osmotic stress on the changes of carbohydrate and free amino acid pools in sweet potato cell suspension cultures. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 40:219-225.
- Yildirim, E. and A. Dursun. 2009. Effect of foliar salicylic acid applications on plant growth and yield of tomato under greenhouse conditions. *Acta Hort.* 807:395-400.
- Zegbe-Domínguez, J.A., M.H. Behoudian, A. Lang, and B.E. Clothier. 2003. Deficit irrigation and partial rootzone drying maintain fruit dry mass and enhance fruit quality in 'Petopride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). *Sci. Hort.* 98:505-510.