



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

식물공장시스템에서 토마토의
생육과 품질에 영향을 주는 광원
및 용암해수의 효과

제주대학교 대학원

원예학과

강무용

2015년 2월

식물공장시스템에서 토마토의
생육과 품질에 영향을 주는 광원
및 용암해수의 효과

지도교수 조 영 열

강 무 용

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2014 년 12 월

강무용의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 한 상 헌 ①

위 원 조 영 열 ①

위 원 박 수 국 ①

제주대학교 대학원

2014 년 12 월

Effects of Light Source and Magma Seawater
on Growth and Quality Characteristics of
Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a
Closed-Type Plant Factory System

Mu-Yong Kang

(Supervised by professor Young-Yeol Cho)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for the
degree of Master of Science in Agriculture.

2015. 2.

Department of Horticultural Science
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
Abstract	ii
List of Tables	iv
List of Figures	V
I. 서 언	1
II. 재료 및 방법	4
III. 결과 및 고찰	11
1. 생육과 품질 분석	11
2. 무기성분 분석	21
3. 라이코펜(lycopene) 함량 분석	25
IV. 결 론	27
V. 적 요	28
VI. 참고문헌	29

Abstract

The study was conducted to investigate the effects of light sources and foliar spray by magma seawater on growth and quality characteristics of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in a closed-type plant factory system. Three-band radiation type fluorescent (FL) lamps and high-intensity light emitted diodes (LED) with a 12-hours photoperiod were used and the light intensities were $120 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ and $343 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively. ED (Electrodialysis) mineral water extracted from magma seawater was used and was sprayed one time per week. Nutrient film systems with three layers were used for plant growth. The electrical conductivity and pH of nutrient solution maintained at $1.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ and 5.5–6.5, respectively. Temperature and relative humidity inside the plant factory maintained at 20–28°C and 40–60%, respectively, and carbon dioxide is not controlled. The growth (plant height, number of fruit, fruit diameter, fruit width, flowering date, harvest date, fresh weight and dry weight) and quality (brix, mineral concentration and lycopene content) characteristics and mineral and lycopene contents of cherry tomato were analyzed. The plant height, flowering date and harvest date were faster at LED. The number of fruit was more at LED, but, was not affected by spray. The fruit diameter showed no significant difference among the treatments. The fruit width was largest at FL and no spray, and the fresh and dry weights of fruit were highest at FL and no spray. However, the yield and brix were highest at LED and no spray. Ca content was highest at LED and spray. But, K and Mg contents showed no significant difference among the treatments. Na content was higher at LED but, showed no significant difference between foliar spray. The lycopene content was higher than that of FL and highest at LED and spray. From the above results, we

concluded that the use of LED is better than FL for growth. however, the use of LED and ED mineral is better for quality of cherry tomato in a closed-type plant factory.

List of Tables

Table 1. Electric consumption, speed on light and luminous efficiency of LED and FL.	9
Table 2. K, Ca, Mg and Na concentrations of magma seawater and ED mineral water.	10
Table 3. Plant height of cherry tomato under LED and FL at 11days and 21days after transplanting (DAT).	12
Table 4. Flowering date and harvest date of cherry tomato under FL and LED.	13
Table 5. Growth and quality characteristics of cherry tomato on light source and foliar spray.	14
Table 6. Mineral concentrations of cherry tomato fruits on light source and foliar spray.	24

List of Figures

Fig. 1. Spectral distributions of LED (A) and 3-band radiation type fluorescent lamps (B).	7
Fig. 2. Light intensity distributions of LED (A) and 3-band radiation type fluorescent lamp (B).	8
Fig. 3. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) at 11day after transplanting.	18
Fig. 4. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) at 21day after transplanting.	19
Fig. 5. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) in Jan. 31, 2013 (88 DAT).	20
Fig. 6. K, Ca, Mg and Na contents of cherry tomato fruits on light source and foliar spray.	23
Fig. 7. Lycopene content of cherry tomato on light source and foliar spray.	26

I. 서 언

최근에 안전한 농산물의 공급을 요구하는 소비자가 증가하고 있고, 이러한 안전한 농산물을 지속적으로 공급할 수 있는 시스템이 필요하게 되었다. 또한 기상 이변과 같은 자연재해로부터 미래의 안정적인 식량위기를 극복할 수 있는 대안으로 식물공장에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 식물공장(plant factory)이란 작물을 시설 내에서 광, 온·습도, 이산화탄소 농도 및 배양액 등의 환경조건을 인공적으로 제어해 계절이나 장소에 관계없이 연중 계획생산이 가능하며 작물의 수량과 품질을 조절 할 수 있는 공장형 식물생산시스템을 말한다(Kang, 2008; Lee와 Choi, 2010).

한편, 식물공장의 전체 설치비용 중 광원이 차지하는 비율이 가장 높다. 일반적으로 인공광 이용형 식물공장에서는 형광등(fluorescent lamp, FL)과 최근 발광다이오드(light-emitting diode, LED)를 이용하는 연구도 다양하게 진행되고 있다(Cha 등, 2013; Kozai, 2007; Tadahisa 등, 2004). 일반적으로 폐쇄형 식물공장에서는 공간의 제약이 많아 열의 발생이 많은 고압나트륨 광원은 이용이 어려운 반면, 형광등이나 LED 광원은 식물체에 근접 조명이 가능하여 광에너지 이용 효율 향상 측면에서 빈번하게 활용되고 있다(Kozai, 2007; Tadahisa 등, 2004). 최근 식물공장에서 인공광원으로 LED의 사용이 증가되고 있는데, 현재 식물재배용 인공광원으로서의 LED가 식물재배에 유효하다는 연구결과들이 보고되고 있다(Choi, 2003; Massa 등, 2008; Um 등, 2009). LED의 가장 큰 장점 중 하나는 단색광으로 특정 파장영역만을 갖는 광질 선택이 가능하여 광합성 촉진 및 개화조절 그리고 당도(Brix)와 사포닌 증가 등의 기능을 수행할 수 있다는 점이다(Heo 등, 2010). Liu(2011)의 연구결과에 의하면 적/청/녹색광을 함께 조사할 경우 단일 파장의 광이나 자연광보다 방울토마토 유묘의 생육이 더 짧고 강하며 광합성 색소 및 광합성 효율이 높았다고 하였다. 광원에 따라 광량이나 광질이 서로 다르기 때문에 식물의 생육반응 또한 많은 차이를 보이는데, 이에 대한 연구는 상추를 비롯하여 다양한 작물에서 수행되고 있다. 식물공장에서 광은 식물의 생장

과 발달에 매우 중요한 요소이다. 광도가 높으면 다양한 채소의 생산성을 증가시키며, 광도가 높으면 건물중과 상대적 생장율이 증가한다고 하였다(Dorais 등, 1990; Knight와 Mitchell, 1983, 1988). 특히 최근 주목받고 있는 LED를 이용해 특정 광과장을 조사하여 베타카로틴, 안토시아닌과 같이 작물이 가지고 있는 기능성 성분의 함량을 증가시키거나, 생육을 촉진하는 등 고품질 농산물 생산에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Kim 등, 2011; Lee 등, 2010; Li와 Kubota, 2009; Nishimura 등, 2006; Wu 등, 2007). 또한 LED광질에 따른 식물의 생장과 번식 및 생리적 특성에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(Heo 등, 2010).

한편 국내 LED를 이용한 과채류에 대한 연구는 LED를 이용한 수박 접목묘의 증발산과 활착 촉진(Kim와 Lee, 2006; Kim와 Park, 2001), 토마토와 오이의 묘소질에 미치는 광질 효과(Um 등, 2009) 등이 있다. 현재 일반적으로 사용하고 있는 광원들의 광량이 낮기 때문에 광포화점이 높은 작물에 적용하기에는 광합성 유효광양자속(photosynthetic photon flux, PPF)이 부족하므로 주로 묘 생산에 이용되고 있다(Kim 등, 2008). 하지만 고회도 LED가 개발됨에 따라 광량을 많이 요구하는 과채류에 대해 묘 생산이 아닌 재배, 생산까지 가능하게 되었다. 과채류 중 토마토는 세계 10대 푸드에 속해 있으며 세계적으로 중요한 작물로, 건강에 좋은 비타민 C, 플라보노이드(flavonoids) 및 카로티노이드(carotenoids)를 풍부하게 함유하고 있고(Wold 등, 2004), 라이코펜(lycopene)과 베타카로틴(β -carotene)도 총 카로티노이드(total carotenoids)함량의 78%와 7%를 각각 차지한다(Rao와 Agarwal, 1998). 또한 토마토 안에 있는 루테인은 혈압과 콜레스테롤 수치를 낮추는 효과를 보여 만성 고혈압환자의 식이요법으로 활용되고 있다(Choi 등, 2012). 토마토는 염류농도에 강한 것으로 알려져 있고(Kinett와 peet, 1997; Mass, 1985), 어느 정도의 염류농도 증가는 토마토 당 함량의 증가와 같은 품질을 향상시킨다고 한다(Balibrea 등, 1997; Martines 등, 1987). 현재 제주도에 는 제주도 생성시기부터 바닷물이 현무암과 미세한 사니질층에 의해 여과되어 침투한 용암해수(magma seawater)가 있다. 용암해수는 지하 암반층을 관정해 육지에서 취수하는 일종의 지하수이지만 청정성, 미네랄 함유 등의 물성이 해양 심층수와 유사하고 해수가 암반대를 거쳐 안으로 침투되는 물로서 심층수나 해수와 같이 풍부한 유량을 가지고 있다. 지하 70m 또는 그 이상의 깊이에 대량으

로 매장되어 있으며, 세균, 바이러스, 유해 화학물질 등으로부터 완전히 격리되어 있어 일반해수보다 미네랄성분이 다량으로 함유되어 있다. 또한 용암해수를 이온 교환막을 사용하여 염소와 나트륨을 일정량 제거하고 마그네슘과 칼슘 성분 등 몸에 이로운 이온은 그대로 유지시키는 미네랄수 제조장치를 통해 ED미네랄수를 생산하고 있다.

따라서, 본 연구는 식물공장 내에서 고휘도 LED와 ED미네랄수의 엽면살포를 통해 방울토마토의 생장과 기능성 성분에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 수행하였다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 (주)휴림 제주연구소 완전제어형 식물공장(400×200×200cm, L×W×H)에서 2012년 11월 5일부터 2013년 02월 14일까지 수행하였다. 본 실험에 사용된 공시 작물은 얇은배이 방울토마토(*Solanum lycopersicum* L.) 종자를 (주)다농에서 구입하여 사용하였다. 2012년 10월 17일에 우레탄 스펀지(2.5×2.5×2.5cm)에 파종하였으며, 정식은 2012년 11월 5일에 20×15cm 간격으로 정식하였다.

인공광원은 삼파장 형광등(36W, OSRAM DULUXL, 10개)과 고휘도 LED(15W, (주)휴림, 18개)을 사용하였으며, 광원은 베드 바닥면으로부터 60cm 위에 설치하였다. 형광등의 경우 자외선, 가시광선, 적외선의 영역까지 파장대가 넓게 퍼져있었으며, LED의 경우 400–800nm 로 가시광선 영역에만 파장대를 가졌고 특히 450nm와 550nm의 광질이 가장 높게 나타났다(Fig. 1). 광도는 형광등이 평균 $120\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났으며, LED의 경우 $343\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 나타났다(Fig. 2). 또한 전력량은 LED가 15W, 형광등이 36W로 형광등이 2.4배 높게 나타났고 광속은 형광등이 2900lm으로 LED보다 1.6배 더 높았으며, 광효율은 LED가 형광등보다 1.4배 높게 나타났다(Table 1).

수경재배시스템은 3층으로 구성된 박막수경(Nutrient Film Technigue, NFT)시스템(120×60×280cm)을 사용하였으며, 관수시간은 10분 간격으로 아날로그타이머(HTS-24, (주)한승계기, Korea)에 의해 자동관수 되도록 설정하였고 일장조절은 12/12h (명/암)으로 설정하였다. 배양액은 일본원예시험장액을 사용하였으며 pH는 5.5–6.5로 설정하였고, EC는 $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 설정하였으며 배양액은 실험이 끝날 때까지 교환하지 않았다. 재배온도는 20–28°C 습도는 40–60%로 유지하였으며 이산화탄소는 따로 조절하지 않았다. 형광등과 고휘도 LED의 광질과 광도는 데이터로거(MA2590, Ahlborn, Germany)을 사용하였고, 광질은 광질센서(MS-210A, Eko Instruments Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 광도는 광센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였다.

ED미네랄수의 분무는 분무기를 사용하여 꽃이 개화한 후부터 1주일 간격으로

10mL씩 지상부(잎, 줄기, 과실)에 골고루 분무하였다. 용암해수와 ED미네랄수의 Na, Ca, K, Mg 함량은 Table 2와 같았다.

1. 생육과 품질 분석

방울토마토의 초장 길이는 정식 후 11일 후인 2012년 11월 16일에 1차 측정하였으며, 1차 측정 후 10일 후인 2012년 11월 26일에 2차 측정하여 형광등과 고휘도 LED에서 초기 성장속도를 비교하였다. 방울토마토의 수확은 과실이 2/3 이상 착색된 과실을 수확하였으며 무게는 전자저울(AR2140, OHAUS, USA)로 칭량하였다. 또한 과실의 과경과 과폭은 버니어캘리퍼스(Digital Caliper 00534021, Standardgage, Switzerland)로 측정하였고 당도는 당도측정기(PAL-1, ATAGO, Japan)를 사용하여 측정하였다.

2. 무기분석

과실의 꼭지를 제거한 방울토마토를 70°C에서 3일간 건조하여 분말시료를 만들고 화학천칭에 분말시료를 칭량 후 테프론(PEA, polyfluoralkoxy) 용기에 넣고, 여기에 70% HNO₃ 10mL를 가한 후, 흡후드에서 12시간 이상 방치하였다. 식물체를 마이크로파 분해장치(START-D, Milestone S&T, Germany)를 사용하여 분해하였으며 이때 온도는 20분 동안 180°C로 상승하고, 같은 온도에서 20분간 유지시킨 후 서서히 상온으로 냉각하였다. 마이크로파 분해를 거친 용액은 0.45 μm 필터로 불용성 입자를 거르고, 초순수를 사용하여 용량플라스크에서 25mL이 되도록 희석하였다. 전처리를 거친 시료 용액을 사용하여 ICP-OES법(Optima 7300 DV, Perkin Elmer, USA)으로 분석하였다. 분석 대상은 Na, Mg, K, Ca, V, Mn, Se, Sr, Zn, Fe, Cu, Cd, Pb, Mo 등 14종의 영양원소 성분이며, 이때 ICP 분석용 표준용액은 QCD Analysts의 ICP 100ppm 용액을 적절한 농도로 희석하여 조제하였다. 희석에 사용한 용매는 매질(matrix) 보정을 위하여 시료 전처리 과정에서 사용한 매질(2% HNO₃)과 동일한 조건이 되도록 조절하였다. 그리고 검정곡선 작성 시 사용한 표준용액은 시료의 농도에 따라 고농도 성분들은

0.1-20ppm, 저농도 성분들은 0.01-1ppm 범위로 조제하여 사용하였다.

3. 라이코펜(Lycopene) 함량 분석

수확한 과실을 분쇄기(HMF-3100S, HANIL Electric, Korea)를 이용하여 분쇄 후 n-Hexane: Acetone: Ethanol = 20 : 10 : 10mL를 함께 50mL 용량플라스크에 넣은 후 나머지를 3차 증류수를 사용하여 정용시키고, 1분간 Vortexing 후 250mL 삼각플라스크에 옮겨 실리스토퍼로 입구를 밀봉 후 Shaking Incubator(VS-8480, Vision Scientific Co., Ltd., Korea)에서 300rpm, 1시간동안 암조건에서 상온추출하였다. 추출완료 후 50mL conical tube에 옮겨 3000rpm, 10분간 원심분리하고 n-Hexane층을 수거하여 0.45 μ m syringe filter(PTEF)로 여과 후 HPLC(2695, Waters, USA)에 10 μ L을 주입하여 라이코펜 함량을 분석하였다. 분석조건은 Kromasil C₁₈ Column(4.6mm \times 250mm, 5 μ m)을 사용하였고, 컬럼온도는 30 $^{\circ}$ C로 유지하였으며, 이동상은 Methanol : Acetone = 85 : 15(v:v) 비율로 유속을 1mL/min으로 흘려주었고, 검출기의 파장은 470nm에서 측정하였다. 라이코펜 표준용액은 1mg 전량을 Dichloromethane(1mL), n-Hexane을 사용하여 용해시킨 후 10mL 용량플라스크에 넣고 정용해 표준용액(100 μ g/mL)을 만들고, 표준용액은 표준원액을 1(STD 1), 5(STD 2), 12.5(STD 3), 25(STD 4), 50(STD 5) μ g/mL 농도가 되도록 1mL, 5mL 흘피펫, 10mL 용량플라스크, n-Hexane을 사용하여 표준용액 농도로 제조하였다.

표준용액과 시험용액을 각각 10 μ L씩 주입하며, 얻어진 피크의 머무름시간(RT)을 비교하여 정성하고 얻어진 검량선과 비교하여 시험용액(표준품) 중 라이코펜의 농도(μ g/mL)를 산출하고 아래 식에 따라 라이코펜의 함량(mg/g)을 정량했다. 모든 실험은 1개의 시료 당 3회 반복하여 평균값으로 나타내었다.

$$\text{Lycopene 함량(mg/g)} = \frac{X \times V}{S \times 1000}$$

X : 시료 중 Lycopene 농도(mg/mL), S : 시험용액 제조에 사용한 시료무게(g), V : 시험용액 제조에 가한 용액의 부피(mL) 임.

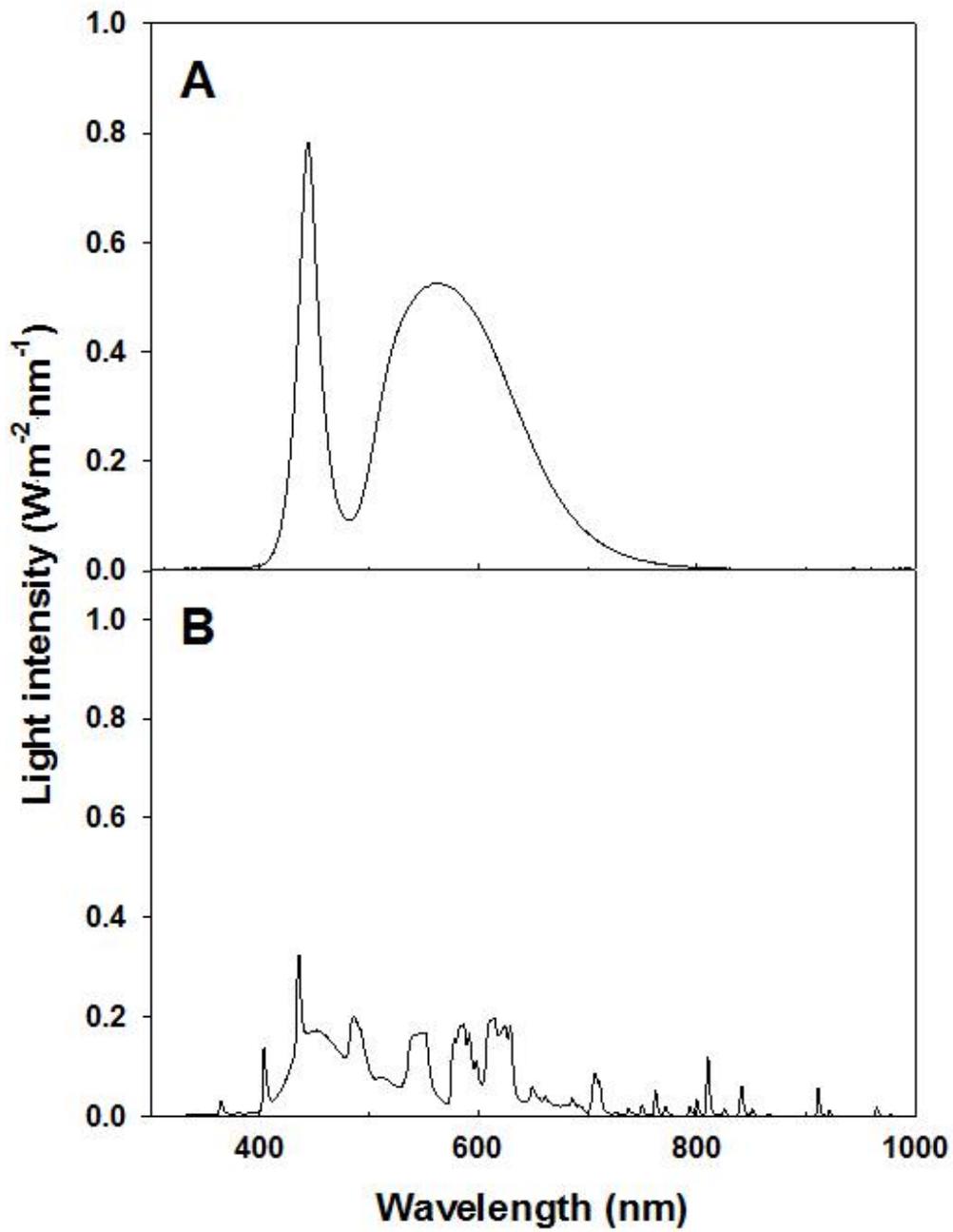


Fig. 1. Spectral distributions of LED (A) and 3-band radiation type fluorescent lamps (B).

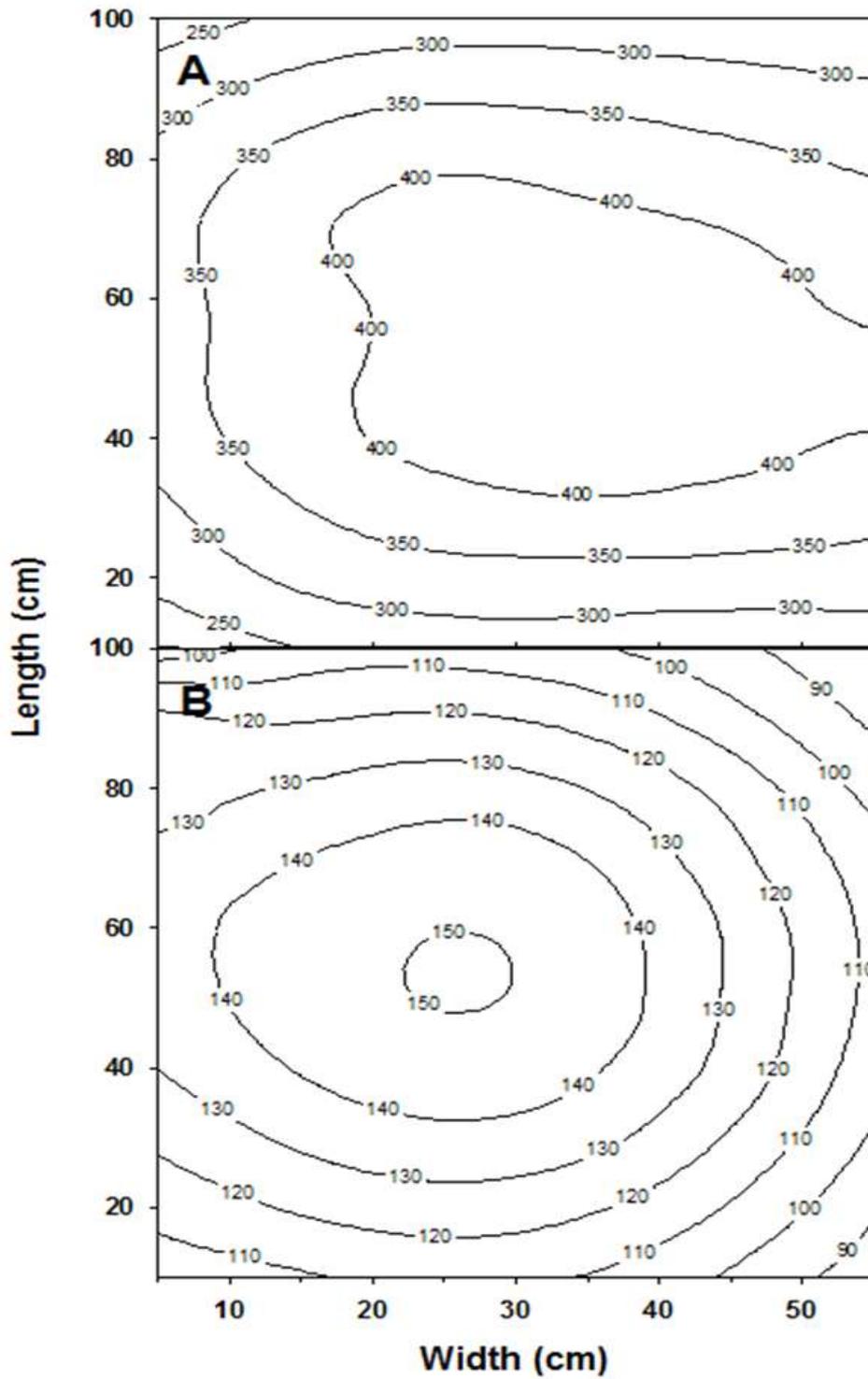


Fig. 2. Light intensity distributions of LED (A) and 3-band radiation type fluorescent lamp (B).

Table 1. Electric consumption, speed on light and luminous efficiency of LED and FL.

Light source	Electric consumption (W)	Speed on light (lm)	Luminous efficiency (lm/w)
LED	15	1,810	121
FL	36	2,900	81

Table 2. K, Ca, Mg and Na concentrations of magma seawater and ED mineral water.

Water	Mineral concentration (ppm)			
	K	Ca	Mg	Na
Magma seawater	409	397	1,306	10,690
ED mineral water	14	306	1,241	559

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 생육과 품질 분석

LED광원에서 초장의 길이는 LED에서 평균 3.9cm에서 9.4cm로 증가한 반면, 형광등에서는 3.7cm에서 8.4cm로 증가하였다. 따라서 초기 방울토마토의 생장이 LED가 형광등 보다 빠르다는 것을 알 수 있었다(Fig. 3. and 4.).

영양생장에서 생식생장으로 넘어가는 첫 개화는 LED의 경우 정식 후(DAT) 29일 후인 2013년 12월 3일에 개화한 반면, 형광등의 경우 정식 후 36일 후인 2013년 12월 10일 개화하여 LED에서 형광등 보다 약 1주일 정도 빠른 개화를 보였다. 수확은 방울토마토의 2/3이상 착색된 과실을 수확하였으며, 수확은 LED의 경우 2013년 1월 31일(88 DAT)에 첫 수확으로 하여(Fig. 5.) 2013년 2월 13일(101 DAT) 까지 진행되었고, 형광등의 경우는 LED보다 영양생장부터 생식생장 및 착색이 모두 늦게 나타나 2013년 2월 13일(101 DAT)에 수확 할 수 있었다(Table 1). Dorais(1990)에 의하면 광도가 높으면 다양한 채소의 생산성을 증가시키며, 광도가 높으면 건물중과 상대적 생장율이 증가한다고 하였는데 방울토마토 역시 높은 광도를 갖는 LED에서 생장율이 증가한 것이라 생각된다.

Table 3. Plant height of cherry tomato under LED and FL at 11days and 21days after transplanting (DAT).

Light source	Plant height (cm)	
	11 DAT	21 DAT
LED	3.89 a ^z	9.36 a
FL	3.65 a	8.39 b

^zMean separation within columns by Duncun's multiple range test at 5% level at P = 0.05

Table 4. Flowering date and harvest date of cherry tomato under FL and LED.

Light source	Flowering date (DAT)	Harvest date (DAT)
LED	2012. 12. 03 (29)	2013. 01. 31 (88)
FL	2012. 12. 10 (36)	2013. 02. 13 (101)

Table 5. Growth and quality characteristics of cherry tomato on light source and foliar spray.

Light source	Foliar spray	No. of fruit (/plant)	Fruit diameter (mm)	Fruit width (mm)	Fresh weight (g/fruit)	Dry weight (g/fruit)	Yield (kg·m ⁻²)	°Brix (%)
LED	No	48	21.1	25.7	8.2	0.66	2.54	6.2
	Spray	32	21.2	25.5	7.9	0.62	1.63	6.0
FL	No	12	21.7	26.7	9.4	0.68	0.38	5.7
	Spray	12	20.1	24.5	7.2	0.52	0.32	5.4
Significance								
Light source (A)			NS	NS	NS	NS		***
Foliar spray (B)			NS	*	**	***		NS
A * B			NS	NS	*	**		NS

NS,*,**,*** Nonsignificant or significant at $P = 0.05, 0.01$ and 0.001 , respectively.

수확한 방울토마토는 과실수, 과경, 과폭과 당도(°Brix)를 측정하였다(Table 3). 과실수는 ED미네랄수 처리 유무에 상관없이 LED에서가 형광등보다 많이 결실되는 경향을 보였다. ED미네랄수 분무를 하지 않은 경우 형광등보다 LED에서의 과실이 4배 많이 수확 되었으며, ED미네랄수 분무한 경우 역시 LED에서가 형광등에서 보다 약 2.6배 많이 수확되었다.

과경은 LED에서 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우가 0.1mm 더 작게 나타났고 반면, 형광등에서는 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우 0.6mm 더 크게 나타나는 경향을 보였다. 하지만 과경은 광원과 ED미네랄수 분무에 의한 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

과폭은 LED에서 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우가 0.2mm 더 크게 나타났으며, 형광등에서도 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우 1.2mm 더 크게 나타나는 경향을 보였다. 과경의 경우는 광원과 ED미네랄수 분무에 의한 유의적인 차이가 나타나지 않은 반면, 과폭은 광원에 대한 유의적인 차이는 없었지만 ED미네랄수에 의해 유의적으로 줄어들었다.

방울토마토의 과실 생체중은 ED미네랄수를 처리하지 않은 경우 LED에서는 평균 8.2g이었으며, 형광등에서는 평균 9.4g으로 LED보다 형광등에서 2.2g 정도 과실의 무게가 더 높았다. 반면, ED미네랄수를 처리한 경우에는 LED에서 평균 7.9g이었고 형광등에서는 평균 7.2g으로 오히려 LED에서가 0.7g 과실의 무게가 더 높았다. LED에서 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우가 생체중이 0.3g 더 높게 나타났고 형광등에서도 ED미네랄수 분무한 경우보다 무처리한 경우 0.7g 더 높게 나타났다. 광원에 대한 유의성은 없었으나 ED미네랄수 처리에 대하여 고도로 유의하였으며, 광원과 ED미네랄수 처리에 대하여 유의하게 나타났다.

방울토마토의 건물중은 ED미네랄수를 처리하지 않은 경우 LED에서는 평균 0.66g이었으며, 형광등에서는 평균 0.68g으로 LED보다 형광등에서 0.02g 건물중이 높게 나타났다. 반면 ED미네랄수를 처리한 경우에는 LED에서 평균 0.62g으로 형광등에서 평균 0.52g 보다 0.1g 더 높은 건물중을 나타냈다. 건물중 역시 생체중과 마찬가지로 광원에 대한 유의성은 나타나지 않았지만 ED미네랄수 처리에 대하여 고도로 고도로 유의하였고, 광원과 ED미네랄수 처리에 대하여 고도로 유의하였다.

방울토마토의 당도($^{\circ}$ Brix)는 LED에서 ED미네랄수 무처리구가 6.2° Brix로 가장 높게 나타났으며, LED에서 ED미네랄수 처리구가 6.0° Brix로 두 번째 높게 나타났다. 그리고 형광등에서 ED미네랄수 무처리구가 5.7° Brix로 뒤를 이었으며, 형광등에서 ED미네랄수 처리구가 5.4° Brix로 가장 낮게 나타났다. 방울토마토의 당도는 형광등보다 LED에서 당도가 모두 높게 나타났으며, ED미네랄수 처리에 의해 당도가 낮아지는 경향을 나타냈다. 광원에 대하여 고도로 고도로 유의한 유의성을 나타내어 LED에서가 형광등보다 방울토마토의 당도가 높다는 유의적인 결과를 얻을 수 있었다.

수량의 경우 LED에서 ED미네랄수 무처리구가 2.54kg으로 가장 높았으며, LED에서 ED미네랄수 처리구는 1.63kg으로 두 번째로 높게 나타났다. 이는 LED에서 ED미네랄수 무처리구가 처리구에 비해 수량이 약 1.5배 더 증가되는 것으로 나타났다. 형광등에서 ED미네랄수 무처리구의 방울토마토 수량은 0.38kg이었고 ED미네랄수 처리구에서는 0.32kg으로 나타났으며, 이는 형광등에서 ED미네랄수 무처리가 처리보다 수량이 약 1.2배의 많은 경향을 나타내었다. 또한 ED미네랄수를 처리하지 않은 경우 LED가 형광등보다 수량이 약 6.7배 증가하였으며, ED미네랄수를 처리한 경우 LED가 형광등보다 약 5배 증가하였다. 이는 광원에 대한 매우 고도로 고도로 유의한 결과로 나타났다.

방울토마토의 과실 생체중과 건물중은 ED미네랄수 엽면살포에 의해 유의적으로 줄어드는 경향을 보였다. 또한 당도는 LED가 형광등보다 매우 유의하게 높게 나타났다. Lee(2008)는 엽 스트레스를 받은 토마토 잎은 잎의 기공이 닫혀 있어 광합성능이 감소하였다. 따라서 ED미네랄수 엽면살포에 의하여 광합성능이 감소하여 동화물질의 생성이 억제되어 과폭이 줄어들고 과실의 생체중도 줄어드는 것이라 사료되었다. 또한 Marcelies(2004)는 생산량은 동화산물의 생산량과 과실로의 동화산물의 분배율에 의존하고, 동화산물의 분배율은 과실의 착과수와 과실의 크기에 따라 다르며, 착과수는 동화산물의 공급과 밀접한 관계를 가지고 있으며, 많은 작물에서 낮은 광도와 고온에서 착과율이 저하 된다고 하였다.

또한 광과 온도환경은 착과율에 매우 민감하게 영향을 미치며 과실의 수확패턴과 수확량에 밀접한 연관관계를 가지고 있다고 하였다(Aloni 등, 1996; Marcelis 등, 1997, 2004, 2005).

따라서, LED에서 형광등보다 착과수가 증가하고 단위면적당 생산량 또한 증가되었는데, LED가 형광등에 비해 광도가 2.5배 이상 높기 때문에 동화산물의 축적이 더 많이 이루어졌기 때문이라 생각되었다.

염스트레스는 줄기 및 뿌리의 신장감소와 개화기의 지연 및 개화율이 감소한다고 하였다(Bens, 1996; Evers, 1997; Michael, 1994; Rodriguez, 1997; Shalhevet, 1995). 또한 수경재배 시 NaCl이나 KCl 등을 첨가하면 품질을 향상시킬 수 있었으나, 수량이 감소된다고 보고(Borini 등, 2000; Cho 등, 1996; Ohta 등, 1991) 하였고 Mizrahi(1988)은 토마토에 해수를 처리했을 때 품질을 향상시킬 수 있다고 보고하여 해수처리가 토마토의 품질을 향상시킬 수 있는 가능성을 보고하였다. ED미네랄수라는 정제된 해수를 엽면처리 하였을 때 무처리구와 비교하였을 때 개화율이 감소함으로써 수량이 줄어드는 경우는 일치하나 과폭, 과실의 생체중 및 건물중, 당도가 모두 줄어드는 경향을 나타나 품질이 향상된다는 보고와는 일치하지 않았다.



Fig. 3. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) at 11day after transplanting.



Fig. 4. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) at 21day after transplanting.



Fig. 5. Growth of cherry tomato under LED (A) and FL (B) in Jan. 31, 2013 (88 DAT).

2. 무기성분 분석

식물의 필수 다량원소인 K, Mg, Ca중에 K은 ED미네랄수 처리에 상관없이 LED에서 형광등보다 높은 경향을 나타냈으며, 광원에 관계없이 ED미네랄수 처리구가 무처리구에 비해 높은 경향을 나타냈지만 차이가 약 1.01배 정도로 매우 미비하였다. 하지만 K은 방울토마토 무기성분 중 3% 수준으로 가장 높은 함량을 나타내었다.

Ca은 LED에서 ED미네랄수 무처리가 795.67ppm으로 가장 높게 나타났으며, 이는 LED에서 ED미네랄수 처리구 554.22ppm 보다 약 1.44배 더 높게 나타났다. 반면 형광등에서는 ED미네랄수 처리가 605.65ppm 이었으나 ED미네랄수 무처리에서는 577.96ppm ED미네랄수 처리구가 무처리구 보다 약 1.04배 높은 경향을 나타내었다. 또한 ED미네랄수 무처리에서 LED가 형광등보다 약 1.38배 높게 나타났으며, ED미네랄수 처리구에서는 오히려 형광등이 LED에서 보다 약 1.09배 더 높은 경향을 나타냈다.

Mg은 K과 동일하게 ED미네랄수 처리에 관계없이 LED에서 형광등 보다 높은 경향을 나타냈으며, 같은 광원에서는 ED미네랄수 처리가 무처리에 비해 약 1.04배 이상 높게 나타났지만 매우 미비한 수준이었다. 식물의 필수 다량원소인 K과 Mg은 광원에 관계없이 ED미네랄수 분무 처리로 인해 토마토 과실의 무기함량이 증가하였으나, Ca의 함량은 LED에서 ED미네랄수 처리에 의해 오히려 감소하는 경향을 나타냈다.

Na의 경우 광원에 관계없이 ED미네랄수 처리로 인하여 과실의 Na 함량이 증가하는 경향을 나타냈다. LED에서는 ED미네랄수 처리구가 무처리구보다 약 1.51배 증가하였고, 형광등에서는 ED미네랄수 처리구가 무처리구보다 약 2.19배 증가하는 경향을 나타냈다.

식물필수 미량원소인 Fe과 Zn, Mn은 LED에서 ED미네랄수 처리구가 무처리구에 비해 높은 경향을 나타냈지만, 반대로 형광등에서는 무처리구가 ED미네랄수 처리구보다 높은 공통된 경향을 나타냈다. Mo은 광원에 상관없이 ED미네랄수 처리구에서 무처리구보다 높은 경향을 나타냈다.

Cu, Pb, Cd 은 모두 극미량으로 측정이 불가능하였으며, 특이한 점은 Se성분

이 ED미네랄수 분무 처리에 무관하게 LED에서는 0.16ppm 수준으로 나타났지만 형광등에서는 0.01ppm 이하로 측정이 불가능 하였다.

Rhee(2007)는 총 T-N, P 및 Na 함량은 염농도가 높아질수록 증가하는 경향이 있으나 반대로 Ca, Mg 및 K 함량은 염류농도가 높을수록 감소한다고 하였다.

Na은 염농도가 높아질수록 증가한다는 결과는 일치하나 Ca, Mg, K 경우 ED 미네랄수를 분무함으로써 염농도를 무처리구에 비해 높였음에도 불구하고 감소하는 경향은 나타나지 않았다.

토마토에서 문제가 되는 배꼽썩음과의 발생원인은 과실 끝에 Ca부족이 원인이며 일반적인 무기물은 식물체내의 이동은 잎에서 과실로 이동하지만 Ca은 체내 이동이 어려워 뿌리에서 직접 과실로 공급되는 경우가 많다. 일반적으로 토마토의 근권부의 염류농도가 높을수록 배꼽썩음과의 발생율이 증가한다는 보고(Adams와 Ho, 1989; Kim 등, 1999)가 있다. 본 연구에서는 배양액에 염류를 넣어서 뿌리 근권의 직접적인 염스트레스를 유발한 것이 아닌 엽면살포하는 방법으로 간접적인 염스트레스 유발을 유도하였기 때문에 배꼽썩음과는 광원과 ED 미네랄수의 분무 유무에 관계없이 전혀 발생하지 않았다.

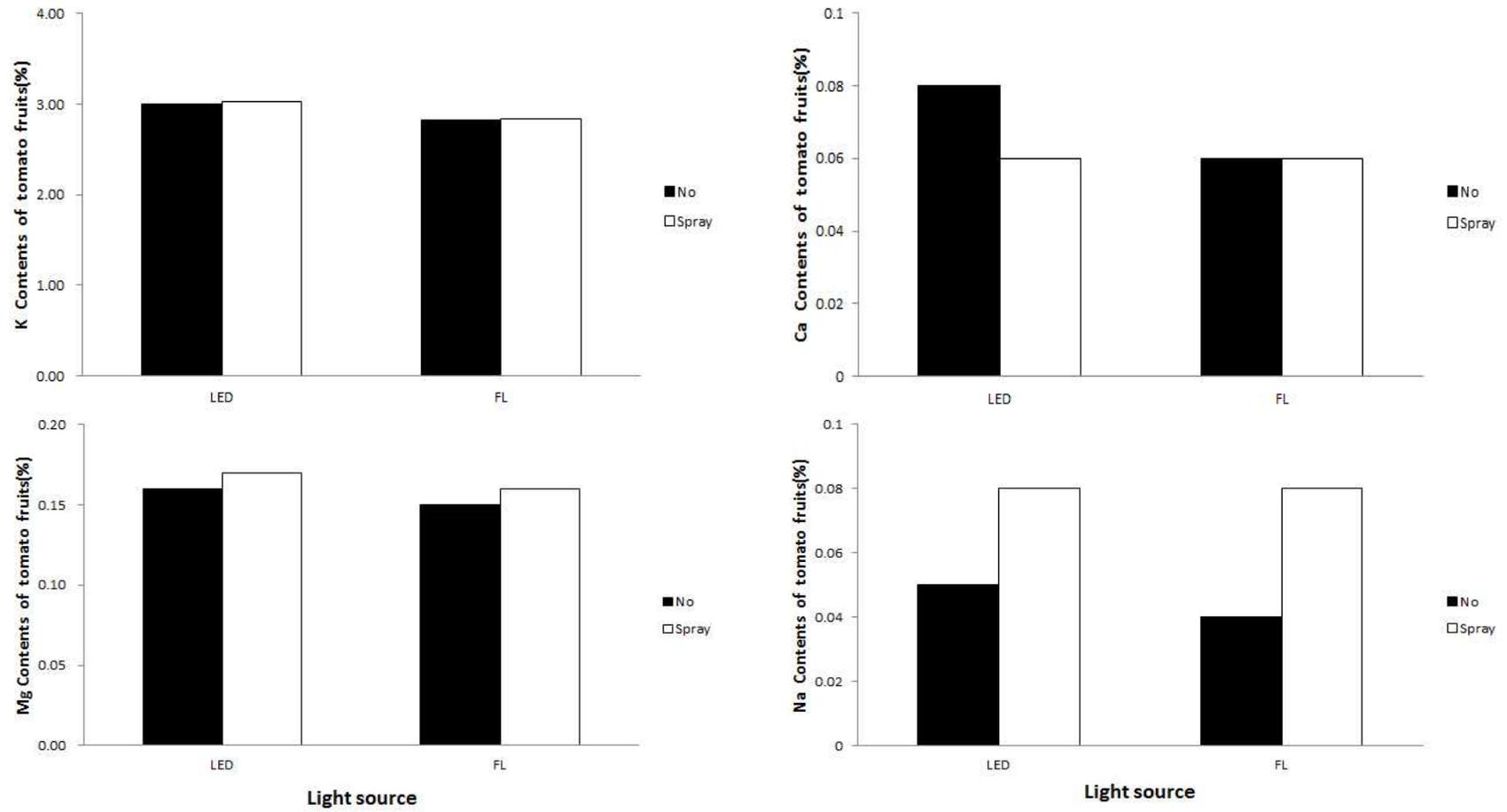


Fig. 6. K, Ca, Mg and Na contents of cherry tomato fruits on light source and foliar spray.

Table 6. Mineral concentrations of cherry tomato fruits on light source and foliar spray.

Light source	Foliar spray	Mineral concentration (ppm)									
		Zn	Fe	Cu	Mn	Mo	Se	V	Pb	Cd	Sr
LED	No	13.38	39.42	<0.003	13.30	1.36	0.16	<0.001	<0.01	<0.003	0.32
	Spray	14.89	44.58	<0.003	13.51	1.46	0.17	<0.001	<0.01	<0.003	0.28
FL	No	19.97	48.49	<0.003	14.01	2.09	<0.01	<0.001	<0.01	<0.003	0.16
	Spray	17.85	44.33	<0.003	13.67	2.31	<0.01	<0.001	<0.01	<0.003	0.34

3. 라이코펜(Lycopene) 함량 분석

완전 제어형 식물공장에서 인공광과 엽면살포를 통해 재배한 방울토마토의 라이코펜 함량은 Fig. 7과 같이 나타났다. LED에서 ED미네랄수를 분무 처리한 토마토 과실의 라이코펜 함량은 6.4mg/100g으로 가장 높게 나타났으며, 두번째로는 LED에서 ED미네랄수 무처리구가 4.1mg/100g로 그 뒤를 이었다. 형광등에서 ED미네랄수 처리구와 무처리구가 각각 3.6mg/100g, 2.7mg/100g로 나타났다. 이는 LED에서 무처리구 보다 ED미네랄수 처리구가 라이코펜 함량이 1.56배 증가하였으며, 형광등에서는 무처리구보다 ED미네랄수 처리구가 1.33배 증가 되었다.

방울토마토와 일반토마토의 차이에 있어 라이코펜 함량은 일반토마토에서 0.88-4.20mg/100g이며(Jannat, 2007) 방울토마토는 2.52-5.46mg/100g로 보고되고 있으며, 방울토마토의 경우 라이코펜 함량은 일반토마토보다 함유량이 높은 것으로 보고되어 있으나, 국가, 품종 및 성숙도에 따라 함량차이가 나는 것으로 알려져 있다(Laleye, 2010). Riccardo(2008)는 희석한 바닷물을 방울토마토에 관수하여 vitamin C, vitamin E, dihydrolipoic acid, chlogenic acid 와 같은 항산화에 관련된 물질들이 높아진다고 하였다. 또한 De Pascale(2003)은 총 카로티노이드(total carotenoids)와 라이코펜 함량은 염이 포함된 물의 농도가 $4.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 관수 하였을 때 서서히 증가하였고, 그 보다 높은 농도에서는 감소한다고 하였다.

무기성분 분석한 결과 엽면살포한 처리구에서 Na의 함량이 무처리구에 일반 용암해수가 $45\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 인데 반해 ED미네랄수 는 $9\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이다. De Pascale,에 의하면 $4.4\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 이상에서는 라이코펜은 감소하여야 한다. 하지만 De Pascale(2003)은 관수를 통하여 토마토의 뿌리에 직접적으로 염 스트레스를 유발한 것이고, 이번 실험은 식물공장에서 재배된 방울토마토의 경우는 관수를 통한 직접적 방법이 아닌 엽면살포로 염 스트레스를 유발하였기 때문에 농도가 다소 높게 유지되었음에도 불구하고 무처리에 비해 엽면살포 처리구가 라이코펜의 함량을 증가시킨 것이라 생각된다.

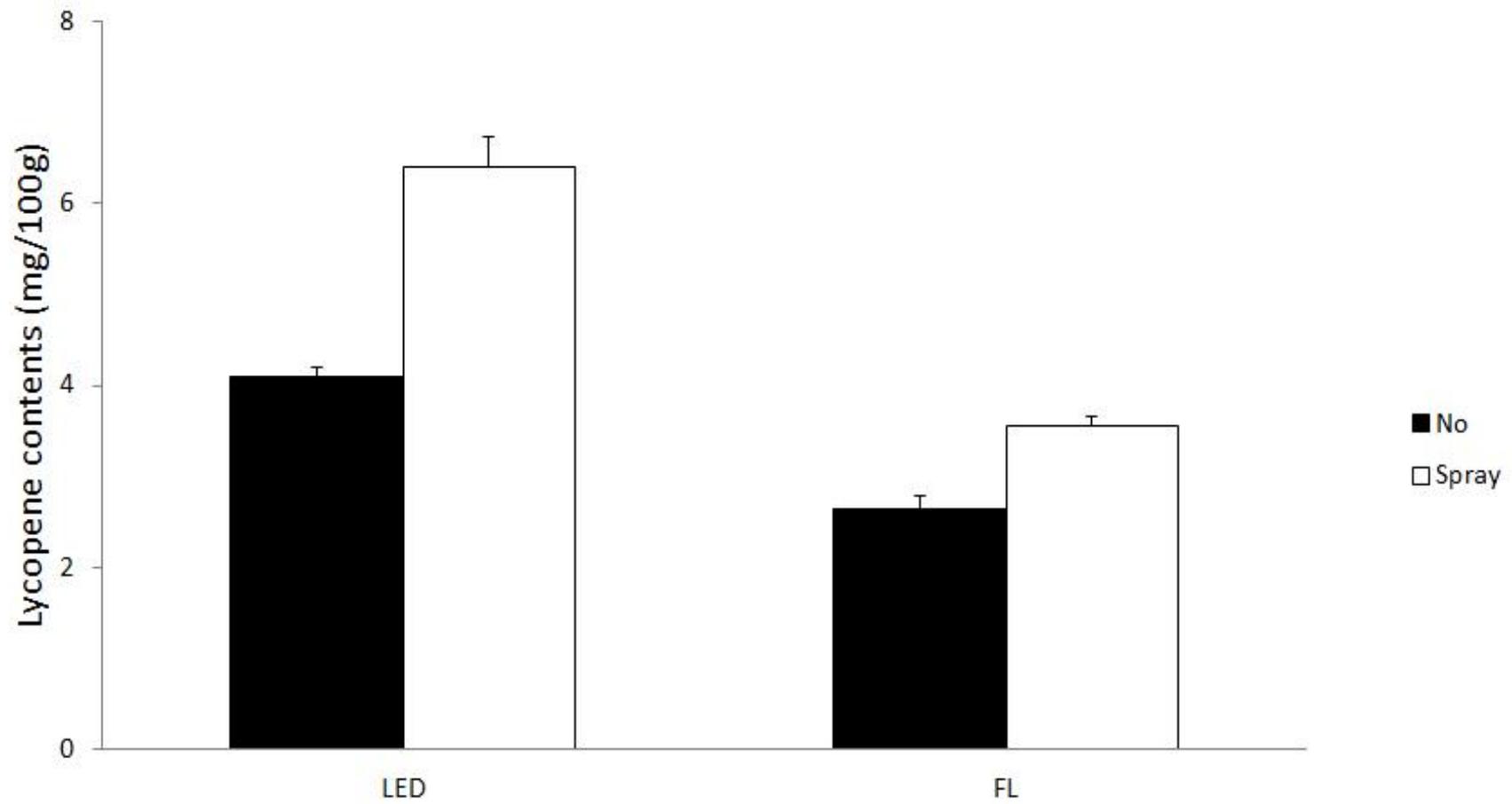


Fig. 7. Lycopene content of cherry tomato on light source and foliar spray.

IV. 결 론

식물공장에서 방울토마토 재배 시 고휘도 LED에서 형광등보다 초기 초장의 생육속도와 주당 과실수, 당도 그리고 수량 모두 형광등(FL)보다 높게 나타났다. ED미네랄수 분무 시 라이코펜 함량은 LED에서 처리구가 무처리구에 비해 약 1.56배 증가하였고 형광등에서는 처리구가 무처리구에 비해 1.33배 증가되었다. 하지만 ED미네랄수 분무로 인하여 과폭과 과실중이 유의적으로 줄어들고, 과실수 및 수량이 줄어드는 경향을 나타냈다.

따라서 식물공장에서 방울토마토 재배 시 고휘도 LED가 형광등에 비해 생육속도 및 수확량 면에서 우수하였으며, ED미네랄수 처리로 인해 수확량이 줄고 당도가 줄어드는 경향을 나타내기는 하지만 라이코펜이라는 기능성물질의 함량은 증가되었다. 따라서 형광등에서보다 LED로 재배하는 것이 식물공장에서 토마토재배에 유리하며 ED미네랄수 처리는 수량을 타깃으로 할지 기능성을 타깃으로 할지에 대한 재배자의 목적에 의해 선택되어 질 것이라 생각되었다.

V. 적 요

본 연구는 완전제어형 식물공장에서 방울토마토의 생육과 품질에 영향을 주는 광원 및 엽면살포 효과를 규명하고자 수행하였다. 삼과장 형광등과 고휘도 LED 광원이 사용되었으며, 일장은 12시간으로, 광은 각각 $120\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 과 $343\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 이었다. 용암해수에서 추출한 ED(Electrodialysis) 미네랄수를 1주일 간격으로 엽면살포 하였다. 수경재배시스템은 3단으로 박막수경시스템을 사용하였으며, 배양액의 전기전도도와 산도는 각각 $1.5\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 5.5-6.5로 관리하였다. 식물공장 내 온도와 상대습도는 각각 20-28°C, 40-60%로 제어하였으며, 이산화탄소농도는 제어하지 않았다. 토마토의 생육(초장, 과실수, 과경, 과폭, 개화일수, 수확일수, 과실의 생체중과 건물중)과 품질(당도, 무기 영양소와 라이코펜 함량)을 분석하였다. 초장, 개화일수와 수확일수는 LED 처리구에서 더 빨랐다. 과실수는 LED 처리구에서 더 많았지만, 엽면살포에 대한 효과는 없었다. 과경 또한 모든 처리구에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 과폭은 형광등과 엽면살포하지 않은 처리구에서 가장 컸으며, 과실의 생체중과 건물중은 형광등과 엽면살포하지 않은 처리구에서 가장 높았다. 그러나, 수량과 당도는 LED와 엽면살포하지 않은 처리구에서 가장 높았다. 과실 내 칼슘 농도는 LED와 엽면살포 처리구에서 가장 높았지만, 칼륨과 마그네슘은 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 나트륨은 LED 처리구에서 높았지만, 엽면살포 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 라이코펜 함량은 형광등 처리보다 LED 처리가 높았으며, 특히 LED와 엽면살포 처리구가 가장 높았다. 위의 결과로부터, 토마토의 생육적인 측면에서는 LED를 조사하는 것이 좋지만, 품질적인 측면에서는 LED 처리와 ED 미네랄수를 처리하는 것이 좋았다.

VI. 참 고 문 헌

- Adams, P. and L.C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. J. Hort. Sci. 64:725-732.
- Aloni, B., L. Karni, Z. Zaidman, and A.A. Schaer. 1996. Changes of carbohydrates in pepper (*Capsicum annuum* L.) leaves in relation to their abscission under different shading regimes. Ann. Bot. 78:163-168.
- Bae, K.H., K.J. Kim, N.Y. Kim, and J.M. Song. 2012. In vitro culture of rare plant *Bletilla striata* using Jeju magma seawater. J. Plant Biotechnol. 39:281-287.
- Balibrea, M.E., E. Cayuela, F. Artes and Artes, and F. Perz-Alfo-cea, 1997. Salinity effects on some postharvest quality factors in a commercial tomato hybrid. J. Hort. Sci. 72:885-892.
- Benes, S.E., R. Aragus, S.R. Grattan and R.B. Austin. 1996. Foliar and root absorption of Na^+ and Cl^- in maize and barley: Implications for salt tolerance screening and the use of saline sprinkler irrigation. Plant and Soil 180:75-86.
- Botrini, M.L., P. D. Paola, and A. Graifenberg. 2000. Potassium affects sodium content in tomato plants grown in hydroponic cultivation under saline-sodic stress. Hort. Sci. 35:1220-1222.

- Cho, J.Y., B.S. Seo, and S.J. Chung. 1996. Effects of salinity in nutrient solution after transplanting on the growth and fruit quality of aeroponically grown tomato. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 37:633-637.
- Choi, Y.W. 2003. Effect of red, blue, and far-red LEDs for night break on growth, flowering, and photosynthetic rate in *Perilla ocymoides*. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 44:442-446.
- Cristina, S., K. Zuzana, P. Alberto, N.I. Flavia, and I. Riccardo. 2008. Irrigation with diluted seawater improves the nutritional value of cherry tomatoes, *Agric. Food Chem.* 56. 3391 - 3397.
- De Pascale, S. A. Maggio, G. Angelino, and G. Graziani. 2003. Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Hort.* 613:39-46.
- Dorais, M., A. Gosselin, and M.J. Trudel. 1990. Annual greenhouse tomato production under a sequential intercropping system using supplemental light. *Sci. Hort.* 45:225-234.
- Heo, J.W., Y.B. Lee, Y.S. Chang, J.T. Lee, and D.B. Lee. 2010. Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured *in vitro*. *Korean Journal of Environmental Agriculture* 29:374-380.
- Jannat, M., R.G. and D.L.D.C. Maria. 2007. Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. *Trends in Analytical Chemistry* 26:163-170.

- Juliana, J.T., C.T. Antonio, and M.D.S. Celia. 2006. Comparison of carotenoid content in tomato, tomato pulp and ketchup by liquid chromatography. *Alim. Nutr., Araraquara* 17:353-358.
- Kim, K.Y., T.C. Seo, and Y.C. Kim. 1999. Effects of milliequivalent ratio of K and Ca in the nutrient solution on the growth, yield and blossom end rot of tomatoes grown by perlite culture in hot season. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 40:652-656.
- Kim, M.S., S.C. Chae, S.W. Ann, W.C. Chol, M.W. Lee, K.H. Lee, and X.M. Liu. 2012. Effect of LED light quality treatment on the growth and functional optimization of foliage plant. *J. Environ. Sci.* 633-640.
- Kim, Y.H. and H.S. Park. 2001. Graft-taking characteristics of watermelon grafted seedlings as affected by blue, red and far-red light-emitting diodes. *Journal of the Korean Society for Agricultural Machinery* 28(2):151-156.
- Kim, Y.H. and S.H. Lee. 2006. Variation of plant temperature at joining parts of grafted watermelon seedlings graft-taken under different light quality. *J. of Biosystems Eng.* 31(5):449-453.
- Kim, Y.H., H.J. Kim, J.W. Lee, and J.M. Kim. 2008. Growth of potato plug seedlings as affected by photosynthetic photon flux in a closed transplants production system. *J. of Biosystems Eng.* 33(2):106-114.
- Kinett, J.M. and M.M. Peet. 1997. *The physiology of vegetable crop.* CAB International 227-245.

- Knight, S.L. and C.A. Mitchell. 1983. Enhancement of lettuce yield by manipulation of light and nitrogen nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 108:750-754.
- Knight, S.L. and C.A. Mitchell. 1988. Effect of CO₂ and photosynthetic photon flux on yield, gas exchange and growth rate of *Lactuca sativa* 'Waldmann's Green'. *J. Exep. Bot.* 39:317-328.
- Kozai, T. 2007. Propagation, grafting and transplant production in closed systems with artificial lighting for commercialization in Japan. *Propagation of Ornamental Plants* 7(3):145-149.
- Laleye, L.C., S.I. Al Hammadi, B. Jobe, and M.V Rao. 2010. Assessment of lycopene content of fresh tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and tomato products in the United Arab Emirates. *Journal of Food. Agriculture & Environment* 8(3&4):142-147.
- Lee, J.Y., B.C. Jung, S.Y. Lee, J.H. Park, G.H. Choi, S.C. Kim, and T.W. Kim. 2008. Growth response and changes of nitrate and sucrose content in tomato under salt stress condition. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:164-169.
- Lee, Y.B and K.Y. Choi. 2010. Current status of plant factory in developed countries. *Bioin WebZine* 18.
- Liu, X.Y., S.R. Guo, Z.G. Xu, and X.L. Jiao. 2011. Regulation of chloroplast ultrastructure, cross-section anatomy of leaves, and morphology of stomata of cherry tomato by different light irradiations of light-emitting diodes. *Hort. Sci.* 46:217-221.

- Maas, E.V. 1985. Crop tolerance to saline sprinkling water. *plant and Soil* 89:273-284.
- Marcelis, L.F.M. and L.R. Baan Hofman-Eijer. 1997. Effects of seed number on competition and dominance among fruits in *Capsicum annuum* L. *Ann. Bot.* 79: 687-693.
- Marcelis, L.F.M., E. Brajeul, A. Elings, A. Garate, E. Heuvelink, and P.H.B. de Visser, 2005. Modelling nutrient uptake of sweet pepper. *Acta Hort.* 691:285-292.
- Marcelis, L.F.M., E. Heuvelink, L. R. Baan Hofman-Eijer, J. den Bakker, and L.B. Xue. 2004. Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *J. Exp. Bot.* 55:2261-2268.
- Massa, G.D., H.H. Kim, R.M. Wheeler, and C.A. Mitchell. 2008. Plant productivity in response to LED lighting. *Hort. Sci.* 43:1951-1956.
- Michael, C.S., M.G. Catherine and E.F. Leland. 1994. Whole plant response to salinity. In R. E. Wilkison(ed), *Plant-environment interaction*. Marcel Dekker, Inc. New York 199-244.
- Mizrahi, Y., E. Taleisnik, V.K. Zur, Y. Zohas, R. Offen-bach, E. Matan, and R. Golan. 1988. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:202-205.
- Ohta, K., I. Norihiro, H. Takashi, and H. Hideyuki. 1991. Influence of the concentration of nutrient solution and salt supplement on quality and yield of cherry tomato grown hydroponically. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*

60:89-95.

Rao, A.V., Z. Waseem, and S. Agarwal. 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to dietary lycopene. *Food Res. Int.* 31:737-741.

Rhee, H.C., M.W. Cho, S.Y. Lee, G.L. Choi, and J.H. Lee. 2007. Effect of salt concentration in soil on the growth, yield photosynthetic rate, and mineral uptake of tomato in protected cultivation. *J. Bio-Env. Con.* 16:328-332.

Rodriguez, P., J. DeB' Amico, D. Morales, M.J. Sanchez branco, and J.J. Alarcon. 1997. Effects of salinity on growth, shoot water relations and root hydraulic conductivity in tomato plants. *J. Agri. Sci.* 128:430-444.

Shalhevet, J., M.G. Huck, and B.P. Schroeder. 1995. Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean. *Agron. J.* 87:12-516.

Tadahisa, H., S. Hideo, H. Hiroshi, S. Teruaki, and T. Masuyuki. 2004. Characteristics of light and heat conditions of a chamber with prism light guides and electrodeless discharge lamps and its effect on growth of tomato and cucumber seedlings. *Yasai Chagyo Kenkyujo Kenkyu Hokoku* 3:109-118.

Um, Y.C., Y.A. Jang, J.G. Lee, S.Y. Kim, S.R. Cheong, S.S. Oh, S.H. Cha, and S.C. Hong. 2009. Effects of selective light sources on seedling quality of tomato and cucumber in closed nursery system. *J. Bio-Env. Con.* 18:370-376.

Um, Y.C., Y.A. Jang, J.G. Lee, S.Y. Kim, S.R. Cheong, S.S. Oh, S.H. Cha, and S.C. Hong. 2009. Effects of selective light sources on seedling quality of tomato and cucumber in closed nursery system. *J. Bio-Env. Con.* 18:370-376.