



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

수경재배에서 EC 가 당근의 생육
및 품질에 미치는 영향

제주대학교 대학원

원예학과

오 동 규

2017 년 02 월



수경재배에서 EC가 당근의 생육 및 품질에 미치는 영향

지도교수 조 영 열

오 동 규

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월

오동규의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

제주대학교 대학원

2016년 12월

Effect of EC on the Growth and Quality of
Carrot in Hydroponics

Dong-Gyu Oh

(Supervised by Professor Young-Yeol Cho)

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

2016. 12

Department of Horticultural Science

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
서언	1
인용문헌	3
Chapter I. 당근 잎 수경재배를 위한 배양액 조성 및 농도	5
Abstract	5
서언	7
재료 및 방법	10
고온기 시험재료 및 수경재배	10
저온기 시험재료 및 수경재배	14
당근 생육 및 품질 특성 분석	17
통계분석	18
결과 및 고찰	19
고온기 배양액 농도에 따른 당근 생육	19
저온기 배양액 농도에 따른 당근 생육	27
초록	33
인용문헌	35
Chapter II. 완전 제어형 식물 공장에서 EC에 따른 지상부 생육 반응	38
Abstract	38

서언	40
재료 및 방법	43
시험 재료 및 배양액 조성	43
식물공장 환경조절	43
생육조사 및 기능성 성분 분석	44
통계분석	49
결과 및 고찰	50
당근 지상부 생육 특성	50
당근 지상부 기능성 성분 특성	54
초록	62
인용문헌	63
요약	68

LIST OF TABLES

Table 1-1. The 1000 times strength of JHS and 'Carrot' nutrient stock solution contains the following amounts of various fertilizers.	12
Table 1-2. Effects of nutrient solution and EC on the growth characteristics of carrot at 41 days after transplanting.	22
Table 1-3. Effects of nutrient solution and EC on sugar and chlorophyll contents of carrot at 41 days after transplanting.	23
Table 1-4. Effect of EC on the growth characteristics of carrot at 61 days after transplanting.	30
Table 1-5. Effect of EC on sugar and chlorophyll contents of carrot at 61 days after transplanting.	31
Table 2-1. Chlorophyll content of carrot' s leaves grown under different ECs at 33 day after transplanting.	56

LIST OF FIGURES

- Fig. 1-1. Changes of temperature, relative humidity (A) and CO₂ concentration (B) of greenhouse at high temperature period experiment (From July 29th to September 8th, 2015). 13
- Fig. 1-2. Changes of temperature, relative humidity (A) and CO₂ concentration (B) of greenhouse at high temperature period experiment (From November 21st, 2015 to January 1st, 2016). 16
- Fig. 1-3. Growth of carrot grown under different nutrient solutions and ECs at high temperature period. 21
- Fig. 1-4. Non-marketable roots of carrot grown under different ECs of nutrient solutions at high temperature period. A: Japanese Horticultural Station 1.0 dS · m⁻¹, B: Jeju National University 3.0 dS · m⁻¹, C: Jeju National University 4.0dS · m⁻¹. 26
- Fig. 1-5. Growth of carrot grown under different ECs of nutrient solutions at low temperature period. 29
- Fig. 2-1. Calibration curve according to standard concentration of chlorogenic acid. 47
- Fig. 2-2. Calibration curve according to standard concentration of kaempferol. 48

Fig. 2-3. Shoot fresh (A) and dry (B) weights of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).	51
Fig. 2-4. Number of leaves (A) and plant height (B) of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).	53
Fig. 2-5. Leaf area of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).	55
Fig. 2-6. Total phenolic concentration and antioxidant capacity of carrot tops grown under different ECs at 33 days after transplanting. The vertical bars represent the standard errors (n=5).	58
Fig. 2-7. HPLC chromatograms of Chlorogenic acid and kaempferol for quantitative and qualitative analysis in carrot shoot.	60
Fig. 2-8. Chlorogenic acid and kaempferol of carrot tops grown under different ECs at 33 days after transplanting. The vertical bars represent the standard errors (n=5).	61

서 언

전세계적으로 재배되고 있는 당근은 주황색을 띠는 작물로서 우리가 섭취하는 많은 음식에 맛과 식감을 제공하며 당근의 주요 성분인 carotenoid 의 중요한 공급원이다(Heinonen 1990). 그리고 carotenoid 는 보통 노란색과 주황색, 빨간색을 나타내나 단백질과 결합을 했을 경우 녹색, 보라색, 파란색을 나타내기도 한다(Britton et al., 1997). 당근은 우리가 주로 이용하고 있는 뿌리 외에 잎도 최근 들어 이용하고 있는데, 당근 잎은 뿌리와 마찬가지로 다양한 기능성 물질을 함유하고 있으며 녹색 채소류에 많이 함유되어 있는 성분인 불포화 지방산이 당근 잎에 또한 많이 함유되어 있다(Almeida et al., 2009).

제주지역 노지에서 생산 되는 당근 재배 작형은 월동형태를 띄고 있으며, 전국적인 재배면적과 생산량에서 약 50%를 차지하고 있다(KOSIS, 2015). 그래서 수확시기인 이듬해 1~3 월까지 집중 출하로 인해 가격 안정성이 떨어지고 있다. 그래서 이러한 집중 출하에 따른 가격 안정성을 타파하고자 일부 농가에서는 저온저장고에 저장하여 5~6 월까지 출하를 하고 있는 실정이나 저장시설과 저장비용이 부담이 되며, 또한 오랜 기간 저온 저장으로 인해 당근이 상품성이 떨어지는 결과를 초래하고 있다(Park et al., 2002).

또한, 지구온난화로 인한 기온상승은 모든 작물에 적용할 수 없으나 대체적으로 농업생산 부분에서 부정적인 영향을 미칠 것으로 예측되고 있다(Wolfe et al., 2005). 특히 저온성 작물에서는 기온상승으로 인한 생산 수량의 감소, 생육지연, 당도 저하, 착색불량 등이 발생할 확률이 높다. 반대로 고온성 작물인 경우 적정범위의 기온상승으로 작물의 생육과 품질 면에서 좋아질 것이다(Heo et al., 2013). 이것으로 볼 때 당근은 저온성 작물로 기후

변화로 인해 어느 정도 생산과 품질 면에서 부정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 앞으로 기후 변화로 인한 식물공장에서 재배 가능한 작물을 연구하는 것이 바람직할 것으로 보인다.

따라서, 본 연구는 노지재배에서 거의 이용되어지지 않고 폐기되는 당근 잎을 온실과 식물공장에서 연중 생산하는 방법을 찾아보고자 이 시험을 실시하게 되었다.

인용 문헌

Almeida VV, Bonafe EG, Muniz EC, Matsushita M, Souza N. E, Visentainer JV (2009) Optimization of the carrot leaf dehydration aiming at the preservation of omega-3 fatty acids. *Quimica Nova* 32:1334-1337

Britton G, Weesie RJ, Askin D, Warburton JD, Gallardo GL, Jansen FJ, de Groot HJM, Lugtenburg J, Cornard JP, Merlin JC (1997) Carotenoid blues: structural studies on carotenoproteins. *The Scientific Journal of IUPAC*. 69:2075-2084

Heo Y, Kim SH, Park EG, Son BG, Choi YW, Lee YJ, Park YH, Suh JM, Cho JH, Hong CO, Lee SG, Kang JS (2013) The influence of abnormally high temperatures on growth and yield of hot pepper (*Capsicum annum* L). *Journal of Agriculture & Life Science* 47:9-15

Heinonen MI (1990) Carotenoids and provitamin-a activity of carrot (*Daucus Carota* L) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38:609-612

KOSIS (2015) Open field vegetable cultivation area. 1975-2016

Pack YB, Kim YD, Moon JS (2002) The Effect of seeding and mulching on the growth and yield of spring carrot in Jeju island. *Journal Subtropical Agri & Biotech* 18:1-5

Wolfe DW, Schwartz MD, Lakso AN, Otsuki Y, Pool RM, Shaulis NJ (2005) Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural

woody perennials in northeastern USA. International Journal of
Biometeorology 49:303–309

Chapter I . 당근 수경재배에서 배양액 조성 및 농도가 생육 및 품질에 미치는 영향

Chapter I . Effects of Composition and EC of Nutrient Solution on Growth and Quality of Carrot in Hydroponics

Abstract: Carrot leaves have a variety of nutrients as well as roots, which will increase the need for carrot in the future. This study was carried out by dividing into two stages: high temperature and low temperature, in order to investigate the possibility of cultivation of carrot leaves throughout the year and the composition and concentration of the nutrient solution for growth of carrot leaves. The experimental material used 'Yang Myeon 5 Chon' made by KOREGON. Experiments were carried out in hydroponics after growing seedlings in vermiculite substrate for 20 days. Composition of nutrient solution ($\text{NO}_3\text{N}:16$, $\text{NH}_4\text{N}:1$, $\text{P}:1$, $\text{K}:11$, $\text{Ca}:2$, $\text{Mg}:1$, $\text{SO}_4\text{S}:1$ $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$) developed by analysis of plant. In the high temperature range, the concentration of the developed nutrient solution (JNU) were 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ and the concentration of JHS 2.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ was used for comparison. In the low temperature range, the concentration of the developed nutrient solution 1.0, 2.0, and 3.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ were used. Growth was investigated in root fresh weight, dry weight, length, diameter and height, fresh weight, dry weight, leaf number, and leaf area of shoot carrot.

There was no significant difference in the number of leaves, plant height, and width of stem in the shoot carrot of the high temperature range. The leaf area, fresh weight, and dry weight were good at 1.0 and 2.0 dS · m⁻¹ . In the high temperature range, the root length, dry weight were not significantly different, and the top diameter was the lowest at 4.0 dS · m⁻¹ . The fresh weight was good at EC 3.0 dS · m⁻¹ or less. In the high temperature range, the sugar content of the root was the highest at the EC 2.0 dS · m⁻¹ , and the chlorophyll content was the highest at the EC 4.0 dS · m⁻¹ . There was no significant difference in the number of leaves and plant height in the low temperature range. Leaf area and width of stem were the lowest in the EC 3.0 dS · m⁻¹ . The fresh weight and the dry weight were the highest at EC 1.0 and 2.0 dS · m⁻¹ , respectively. In the low temperature range, the length of the root was no significant difference and the taproot, the dry weight, fresh weight were highest at the EC 1.0 and 2.0 dS · m⁻¹ . There was no significant difference in sugar content and chlorophyll content during low temperature range according to EC concentration. In the roots, EC 2.0 dS · m⁻¹ was low. As a result, from the viewpoint of growth, it is good to cultivate EC 1.0 and 2.0 dS · m⁻¹ in high temperature and low temperature cultivation, but EC 1.0 dS · m⁻¹ is economical because of using small fertilizer input.

Additional key words: cultivatoin throughout the year, greenhouse culture, greenhouse environment, sugar content, ,

서 언

당근은 전 세계적으로 많이 재배되고 있는 채소 중 하나이며, 13 세기 후반에 중국에 도입되었고 일본에는 18 세기경에 도입이 되었다. 우리나라의 당근 도입 시기는 분명하지 않으나 재배 역사가 비교적 짧은 채소이다. 국내 당근의 재배면적은 1970 년대의 522ha 부터 시작하여 1980 년대부터 재배면적이 증가하였고 1990 년대에는 5,500ha 까지 증가하다가 2000 년대 후반에는 약 2,500ha 까지 감소하였다(MIFAFF, 2009). 전국의 당근 재배면적은 약 3,114ha 이고 총 생산량은 118,594 톤이며, 특히 제주도에서 월동작물로 집중적으로 재배되고 있는데, 이는 전체 재배면적과 총 생산의 약 50%에 이르고 있다(KOSIS, 2015). 제주도 내에서도 당근은 폐사토 지역인 구좌읍과 화산회토 지역인 성산읍을 중심으로 재배되고 있다(Hur et al., 1997).

당근의 생육별 양분의 흡수양상을 보면 과종 후 70 일까지의 생육 초기상태에서는 전생육기간에 흡수하는 양분의 약 4%의 적은 양을 흡수하고, 이후 30 일까지 약 27%, 다음 30 일까지 약 69% 인 대부분을 흡수한다(Hwang et al., 1997). 따라서 당근재배에 있어 효과적인 시비 방법은 생육초기보다는 생육 후기에 양분을 보다 높은 수준으로 유지해 주는 것이다. 그래서 생육 시기에 따라 시비를 조절해 주면서 수경재배를 하는 것이 당근을 재배에는 보다 좋은 방법이 될 것이다.

당근은 재배가 쉽고 단위면적 당 수확량이 많아 생식은 물론 가공용으로도 높이 평가받고 있다(Lee et al., 2015). 당근은 주로 뿌리 부분을 식용하는 근채류로, 주 생산지인 제주도에서는 7~8 월에 과종하여 12 월부터 이듬해 3 월까지

재배하여 수확하는 긴 재배 작기를 가지고 있다(Park et al., 2002). 따라서 1년에 1 작기 재배만 이루어지고 있어서 농지의 이용 효율성이 다소 떨어지는 결과를 가져오고 있다. 뿐만 아니라 당근은 해마다 소비량 대비 생산량이 많아 잉여산물이 생기고 있으며, 이에 따른 가격 하락으로 인하여 농가에 경제적 피해가 발생하고 있는 실정이다.

최근 들어 소비자의 소득 수준 향상은 식생활과 소비 패턴의 변화를 야기했고, 가공 및 열처리 식품보다는 기능성 성분의 손실이 적고 다양한 영양 성분을 함유하고 있는 건강 지향 식품에 대한 선호도가 높아지고 있다(Park, 1998; Youn et al., 2009). 때문에 당근의 품질 결정 요인으로 색, 크기 등의 외향적 요인 뿐만 아니라 맛과 향, 2 차 대사산물의 함량도 중요한 요인으로 자리잡고 있다. 당근은 우리 몸에 좋은 영양성분, 특히 비타민 A, 비타민 C, 비타민 E 그리고, 비타민 B1, B2, B6 등의 비타민과 α -carotene, provitamin A 의 전구물질이라 알려진 β -carotene 뿐만 아니라, lutein 과 같은 carotenoid 성분을 풍부하게 함유하고 있어 영양학적으로 우수한 작물이다(Shin and Bae., 2001; Lee et al., 2015). 당근 뿌리와 함께 당근의 잎도 또한 다양한 기능성 물질을 함유하고 있다. 녹색 채소류는 주로 리놀렌산 형태로 함유되어 있는 오메가-3 불포화 지방산 함량이 상대적으로 높는데, 특히 당근 잎에는 이러한 성분이 많이 함유되어 있다고 보고된 바 있다(Almeida et al., 2009). 그러나 당근 잎은 영양소의 파괴가 많은 형태인 건조한 차 형태로 제한적으로 유통 및 소비되고 있으며, 생식의 이용은 보편적으로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 또한 당근을 대상으로 하는 많은 연구들은 뿌리의 생육 특성에만 국한되어 있어 당근의 잎에 관한 연구는 부족한 실정이다(Park et al., 2002; Lee et al., 2015). 때문에 당근 잎의 생육에 적합한 재배 방식에 대한 연구가 요구된다.

따라서 본 연구는 당근의 잎을 연중 생산하기 위해 온실에서 계절별로 적합한 배양액의 조성과 농도에 대해 알아보려고 수행되었다.

재료 및 방법

고온기 시험재료 및 수경재배

시험 재료는 코레콘 사의 ‘양면 5 촌’ 품종을 이용하였고, 시험기간은 2015년 6월 29일부터 9월 8일 까지 71일간 시험을 수행하였다.

2015년 6월 29일 한 포트 당 버미큘라이트(Vermiculite, GFC Co., Ltd., Korea) $400 \pm 50\text{ml}$ 를 채우고 당근 종자 3립씩 파종하여 저면 관수하며 30일간 육묘하였다. 발아가 시작된 이후인 7월 8일에 포트 당 1주씩만 남기고 나머지는 솟아 주었다. 7월 29일부터 50L 짜리 물 탱크에 플라스틱 트레이를 놓고, 하나의 트레이당 11개의 화분을 두었다. 오전 10시부터 10분간 모터를 이용해 트레이로 물을 올려 저면 관수하였으며, 시험은 4반복으로 수행하였다. 양액은 엽채류의 수경재배에 보편적으로 이용되고 있는 일본 원예시험장 배양액을 대조구로 하였고, 시험구는 식물체 내 다량원소의 적정함량을 기준으로 하여 개발한 당근 전용 배양액을 이용하였다(Table 1-1). 양액의 농도는 일본 원예시험장 배양액의 경우 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 하였고, 당근 전용 양액의 경우 1.0, 2.0, 3.0, 그리고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 농도로 하였다. 모든 처리구의 양액은 pH 5.5-6.5로 관리하였다.

온도와 상대습도 및 이산화탄소 센서(SH-VT250, Soha-tech Co., Korea)와 데이터 수집장치(CR-23, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 매 10분마다 평균하여 1시간마다 환경자료를 수집하였고 온실 내부 생육 환경은 다음과 같았다(Fig. 1-1).

당근 생육조사는 7 월 29 일, 생육 중반인 8 월 19 일, 그리고 시험 종료 일자인 9 월 8 일에 각 처리당 8 주의 식물체를 수거, 생육조사 하였다. 생육조사 항목은 뿌리의 생체중, 건물중, 길이, 폭과 지상부의 초장, 생체중, 건물중, 경경, 엽수, 엽면적이었다.

Table 1-1. The 1000 times strength of JHS and 'Carrot' nutrient stock solution contains the following amounts of various fertilizers.

Component	JHS ^z	JNU ^y
	g·L ⁻¹	
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O (calcium nitrate)	94.4	47.2
KNO ₃ (potassium nitrate)	40.4	101
NH ₄ H ₂ PO ₄ (ammonium dihydrogen phosphate)	15	11.5
MgSO ₄ · 7H ₂ O (magnesium sulfate)	49.2	24.6
Fe-EDTA (iron chelate)	2.3	1.54
CuSO ₄ · 5H ₂ O (copper sulfate)	0.01	0.02
H ₃ BO ₃ (boric acid)	0.03	0.25
MnSO ₄ · 5H ₂ O (manganese sulfate)	0.2	0.13
ZnSO ₄ · 7H ₂ O (zinc sulfate)	0.02	0.13
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O (sodium molybdate)	0.003	0.01

^zJHS : Japanese Horticultural Station.

^yJNU : Jeju National University.

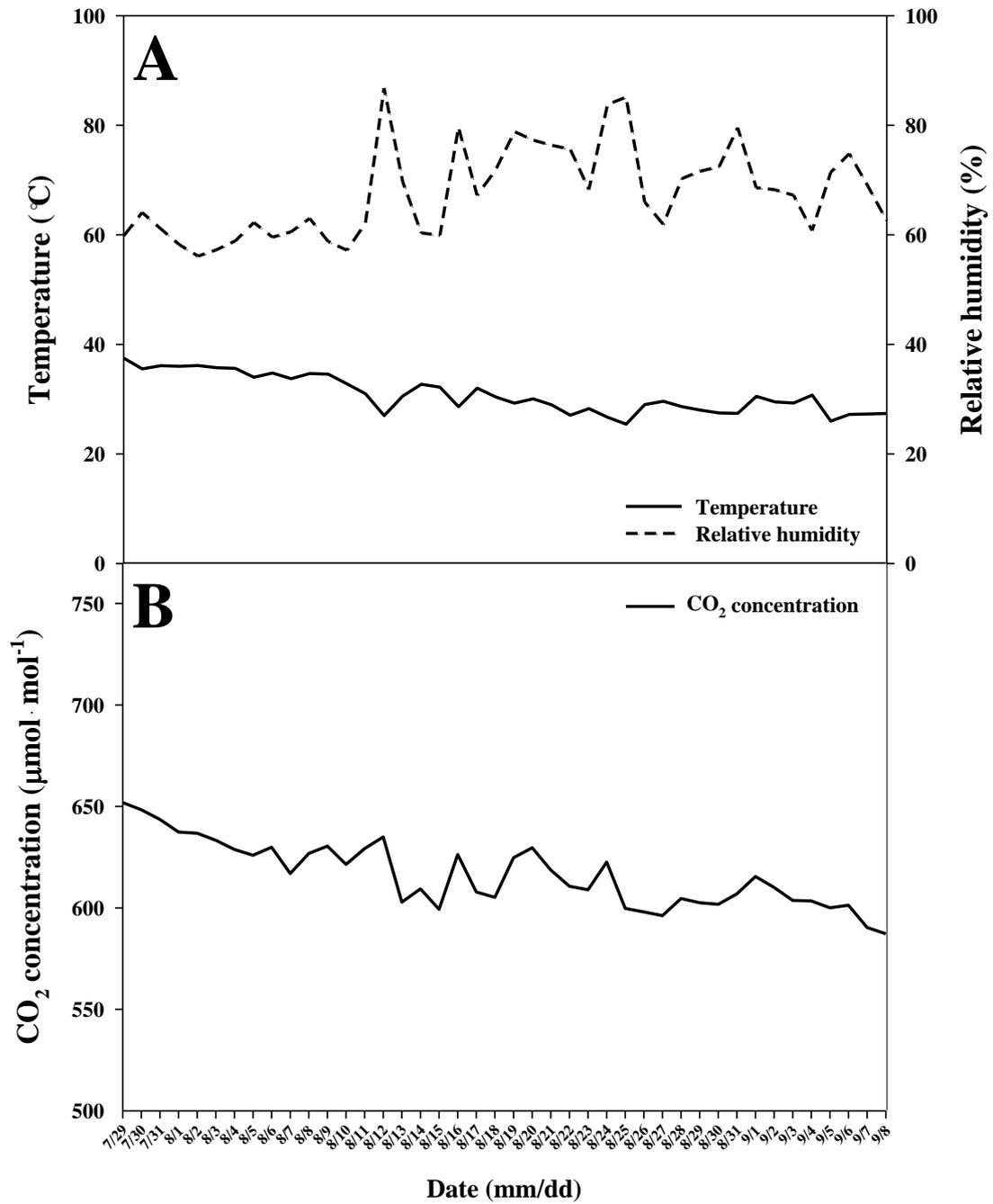


Fig. 1-1. Changes of temperature, relative humidity (A) and CO₂ concentration (B) of greenhouse at high temperature period experiment (From July 29th to September 8th, 2015).

저온기 시험재료 및 수경재배

겨울철 온실에서 당근의 생육 및 적합한 배양액 농도에 대해 알아보고자 시험 하였다. 시험 재료는 코레곤 사의 ‘양면 5 촌’ 품종을 이용하였고, 시험기간은 2015 년 11 월 20 일부터 2016 년 02 월 29 일 까지 102 일간 이었다.

2015 년 11 월 20 일 한 포트 당 버미큘라이트(Vermiculite, GFC Co., Ltd., Korea) 400±50mL 를 채우고 저온기 발아를 고려해 5 립씩 파종하여 1 주만 이용하고 나머지는 솟아주어 포트를 저면 관수하며 41 일간 육묘하였다. 12 월 31 일부터 50L 물 탱크에 플라스틱 트레이를 놓고, 하나의 트레이당 11 개의 화분을 두었다. 오전 10 시부터 10 분간 모터를 이용해 트레이로 물을 올려 저면 관수하였으며, 실험은 4 반복으로 수행되었다.

배양액은 식물체 내 다량원소의 적정함량을 기준으로 하여 개발한 당근 전용 배양액을 이용하였다(Table 1-1). 배양액의 농도는 당근 전용 배양액 1.0, 2.0, 그리고 3.0dS · m⁻¹ 의 농도로 하였다. 모든 처리구의 배양액은 pH 5.5-6.5 로 관리하였다.

온도와 상대습도 및 이산화탄소 센서(SH-VT250, Soha-tech Co., Ltd., Korea)와 데이터 수집장치(CR-23, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 매 10 분 마다 평균하여 1 시간마다 환경자료를 수집하였고 온실 생육 환경은 다음과 같았다(Fig. 1-2.)

당근 생육조사일인 2015 년 12 월 31 일, 생육 중반인 2016 년 02 월 05 일, 그리고 시험 종료 일자인 2 월 29 일에 각 처리당 5 주의 식물체를 수거,

생육조사 하였다. 생육조사 항목은 지하부의 생체중, 건물중, 길이, 폭과 지상부의 초장, 생체중, 건물중, 경경, 엽수, 엽면적이었다.

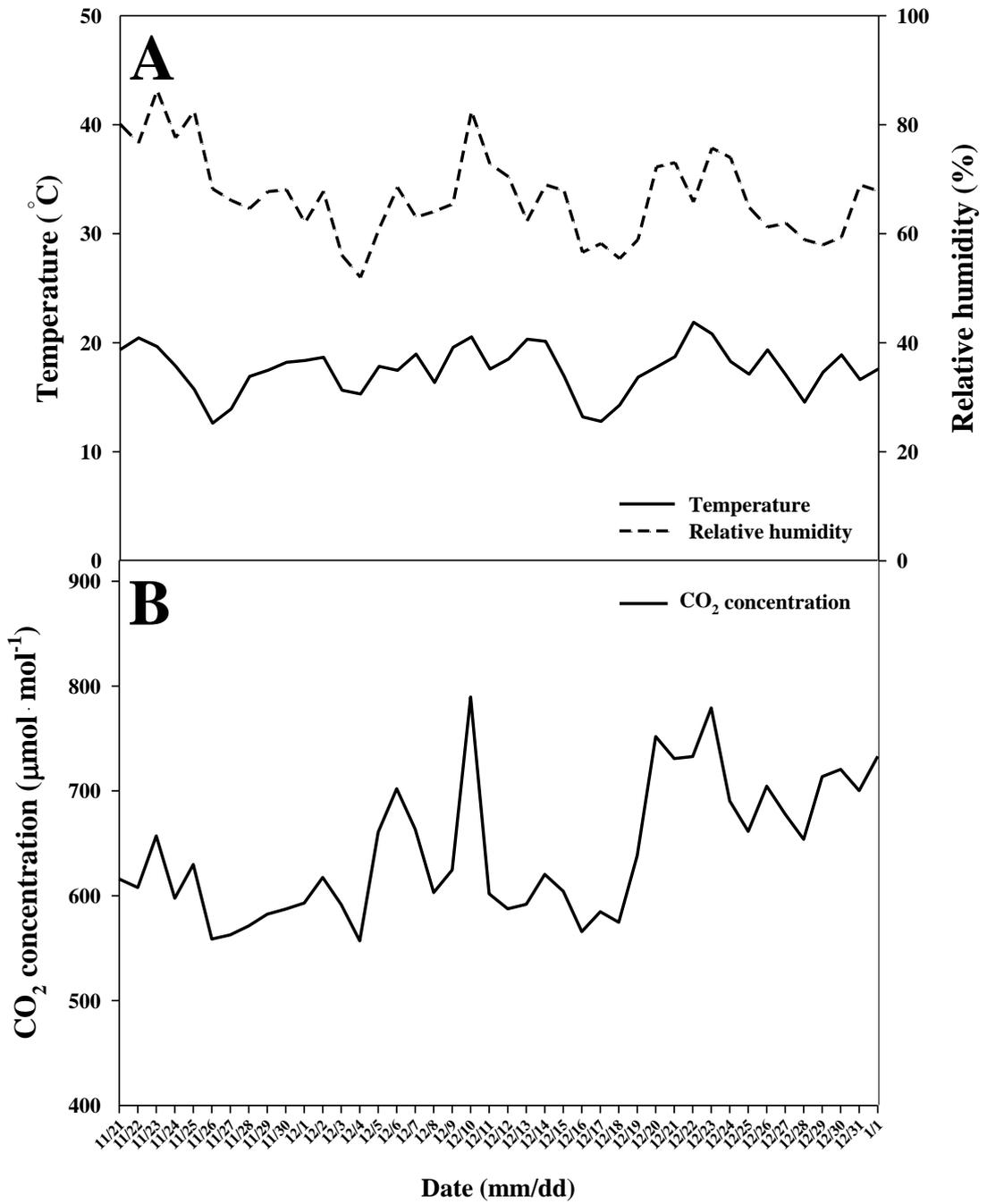


Fig. 1-2. Changes of temperature, relative humidity (A) and CO₂ concentration (B) of greenhouse at high temperature period experiment (From November 21st, 2015 to January 1st, 2016).

당근 생육 및 품질 특성 분석

당근 당도 측정

수확된 식물체의 당 함량을 측정하기 위해 처리당 3 주의 식물을 믹서를 이용해 마쇄 후 당도계(Poket refractometer, ATAGO, Japan)를 이용해 측정하였다. 1 차시험의 2015 년 9 월 16 일인 경우 지하부만을 측정했으며, 2 차시험은 2016 년 2 월 29 일 지상부와 지하부 모두 측정하였다.

당근 지상부의 엽록소 함량 분석

마지막 생육조사 시에는 엽록소 함량 분석을 위해 0.1g 의 식물체 당 40ml 의 80% 아세톤을 추출 용매로 하여 냉장 상태에서 24 시간 이상 저온저장 하였다. 이후 Homogenizer(PRO-200 Homogenizer, PRO Scientific Inc. Oxford. CT USA)를 이용, 분쇄 후 원심분리기(Mega 21R, Hanil Science Industrial, Korea)로 25 분간 10,000rpm 에서 원심분리 한 후 상등액을 채취, syringe filter(chromafil Xtra PET-45/25, Macherey-Nagel, Germany)를 이용하여 여과 하였다. 추출된 엽록소의 정량을 위해 Spectrophotometer(UV-2600, Shimadzu, Japan)를 이용해 663nm 와 645nm 의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 값은 아래의 식을 이용, chlorophyll a 와 b, total chlorophyll 의 함량을 계산하였다(Arnon, 1949).

$$\text{Chlorophyll a} = 12.7 A_{663} - 2.69 A_{645}$$

$$\text{Chlorophyll b} = 22.9 A_{645} - 4.68 A_{663}$$

$$\text{Total chlorophyll (a + b)} = 20.21 A_{645} + 8.02 A_{663}$$

통계분석

모든 처리구는 완전임의 배치하였으며, 반복수는 4 반복 처리하였다. 통계처리는 SAS 9.4(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 를 이용, 95% 수준에서 Duncan 다중검정으로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

고온기 배양액 농도에 따른 당근 생육

일본 원예시험장 배양액 EC $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 과 개발 배양액 EC 1.0, 2.0, 3.0 그리고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 하여 정식 후 41일 동안 고온기에 생육을 비교 시험한 결과는 다음과 같았다(Fig. 1-3, Table 1-2). 요인 분석 결과 모든 생육 항목에서 배양액의 조성간 유의한 영향은 나타나지 않았으며, 지상부의 엽면적과 생체중, 건물중의 경우 배양액의 농도에 따른 유의한 차이가 나타났다. 모든 처리구에서 배양액의 조성과 농도의 상호작용의 유의한 영향은 나타나지 않았다. 지상부의 엽수와 줄기 직경의 경우 모든 처리당 유의한 차이는 나타나지 않았다. 반면, 엽면적의 경우 개발한 당근 전용 배양액 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 1156.3cm^2 로 가장 높았고, $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 657.3cm^2 로 가장 낮게 나타났다. 반면 지상부의 초장의 경우 개발배양액 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 낮게 나타났는데, 이는 지면에서 생장점까지의 길이를 측정된 것으로, 생장을 측정하는 데에 있어 유의미한 요소는 아닌 것으로 판단된다. 지상부의 생체중의 경우 엽면적과 마찬가지로 개발 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하와 일본 원예시험장 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 높고, 개발배양액 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 유의하게 낮게 나타났다. 지상부를 이용하기 위해서는 식물체 한 주당 생체중이 높을수록 단위면적당 수량을 증가시킬 수 있기 때문에, 잎당근의 생산을 위해서는 개발 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하와 일본 원예시험장 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 관리하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 지상부의 건물중의 경우

생체중과는 달리 개발 배양액 1.0 과 2.0dS · m⁻¹ 처리에서 높고, 3.0과 4.0dS · m⁻¹, 그리고 일본 원예시험장 배양액 2.0dS · m⁻¹에서 낮은 것으로 나타났다. 따라서 건물함량을 고려할 때, 지상부의 생장이 가장 좋았던 개발배양액 1.0 또는 2.0dS · m⁻¹ 처리가 가장 적합하나, 비료 소비에 따른 경제성을 고려할 때, 개발배양액 1.0dS · m⁻¹의 농도로 관리하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.

지하부의 생장 요소의 경우 배양액의 농도와 조성에 따른 유의한 수준의 영향은 없는 것으로 나타났다. 처리에 따른 지하부의 길이와 건물중의 경우 유의한 차이는 나타나지 않았다. 그러나 지하부의 직경의 경우는 개발 배양액 4.0dS · m⁻¹ 처리에서 21.7mm로 가장 낮게 나타났고, 생체중의 경우도 마찬가지로 23.2g으로 가장 낮았다. 지상부의 경우 엽면적과 생체중이 배양액 농도가 3.0dS · m⁻¹ 이상으로 높아짐에 따라 감소하는 것으로 볼 때, 고온기 당근의 수경재배에는 고농도의 배양액은 생육에 부정적인 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 따라서 본 결과를 고려할 때, 고온기에는 개발한 당근 전용 배양액 1.0dS · m⁻¹으로 관리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.



Fig. 1–3. Growth of carrot grown under different nutrient solutions and ECs at high temperature period.

Table 1–2. Effects of nutrient solution and electrical conductivity on the growth characteristics of carrot at 41 days after transplanting.

Nutrient solution	EC ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$)	Number of leaves (ea/plant)	Leaf area (cm^2)	Height (cm)		Width of stem (mm)		Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
				Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
				JHS ^z	2	11.6	950.7 ab ^y	25.3 a	11.9	14.3	25.2 a
JNU	1	11.6	1156.3 a	13.7 b	11.7	14.5	26.0 a	55.9 a	39.1 a	8.9 a	5.6
	2	10.6	1007.3 ab	13.3 b	11.4	16.1	24.7 ab	49.0 a	33.2 ab	7.8 ab	4.6
	3	12.8	798.1 bc	23.9 a	10.9	14.7	25.4 a	33.6 bc	32.9 ab	5.8 bc	5.2
	4	11.0	657.3 c	21.5 ab	11.2	13.1	21.7 b	27.8 c	23.2 b	4.9 c	3.2
Significance ^x											
Nutrient solution (A)		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
EC (B)		NS	**	NS	NS	NS	NS	***	NS	**	NS
A x B		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

^zJHS : Japanese Horticultural Station and JNU : Jeju National University.

^yMeans within column followed by the same letters are not significantly different as determined by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

^xNS, **, *** : Nonsignificant or significant at $p \leq 0.05$, and 0.001 respectively.

Table 1–3. Effects of nutrient solution and EC on sugar and chlorophyll contents of carrot at 41 days after transplanting.

Nutrient solution	EC (dS · m ⁻¹)	Total soluble Solids(°Brix)	Chlorophyll a (mg · g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b (mg · g ⁻¹ FW)	Total chlorophyll (mg · g ⁻¹ FW)
JHS	2.0	13.8 a ^z	3.6 b	1.1 b	4.7 b
JNU	1.0	8.4 d	2.3 d	0.8 c	3.1 d
	2.0	13.1 ab	3.5 b	1.0 b	4.5 b
	3.0	10.7 c	2.9 c	1.1 b	4.0 c
	4.0	11.5 bc	4.7 a	1.4 a	6.1 a
Significance ^y					
Nutrient solution (A)		***	NS	NS	NS
EC (B)		***	***	***	***
A x B		NS	NS	NS	NS

^zMeans within column followed by the same letters are not significantly different as determined by Duncan' s multiple range test at $p \leq 0.05$.

^yNS, *** : Nonsignificant or significant at $p \leq 0.001$.

고온기 온실에서 생육한 당근의 당도와 엽록소 함량을 측정한 결과는 다음과 같았다(Table 1-3.). 당근 잎의 엽록소 함량의 경우 배양액의 조성에 따른 유의적인 영향은 없었으나 배양액의 농도의 경우 고도로 유의한 영향이 나타났다. 당도의 경우 배양액의 조성 과 농도 모두 유의한 영향을 미쳤으나 둘의 상호작용에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다. 엽록소 함량의 경우 Chlorophyll a 와 Chlorophyll b 함량의 경우 개발 배양액 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 가장 높았고, 개발배양액 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 낮게 나타났다. Total chlorophyll 함량은 개발 배양액 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 $6.1 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 높았고, 개발배양액 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 $3.1 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 으로 가장 낮게 나타났다. 당근 뿌리의 당도를 측정한 결과, 개발배양액 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 8.4° 로 가장 낮았고, 개발 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 와 일본 원예시험장 배양액 $2.0 \text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높은 것으로 나타났다.

고온기 온실에서 당근을 수경재배한 결과 배양액 농도가 높아짐에 따라 열근과 기근이 소량 발생되었다(Fig. 1-4). 일본원예시험장 배양액을 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 농도로 관리했을 때는 총 수확량 중 약 4%(Fig. 1-4A)가, 개발배양액 3.0 과 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서는 각 7%씩 발생하여 재배 안정성을 위해서는 고온기에는 개발배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하의 농도로 하여 재배하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

당근의 열근과 기근 발생은 주로 뿌리의 성장점이 어떠한 형태로든 장애를 받았을 때 나타난다. 그래서 보통 노지에 과중하는 당근은 심경을 하고 시비 과중 전에 실시한다(Warne, 1951). 당근의 열근과 기근은 보통 기계적 상해에 의한 root-cracking 과 비대근으로 불리는 branched root 로 나눈다. 당근 재배에서 열근과 기근의 발생은 전체적인 수량과 품질을 감소시키는 결과를

가져온다(Orzolek and Carrol, 1978). 근채류에서 기근은 파종기가 늦으면 발생율이 감소한다는 연구(Dowker, 1977)와 온실에서의 지하부 냉방은 배지 온도 상승을 낮추고, 뿌리의 생장을 촉진시키며 또한 수분과 양분의 흡수 저해를 완화시켜 작물의 전반적인 생육과 수량에 긍정적인 도움을 주고 있는 것이 파프리카(Jang et al., 2010), 토마토(Lee et al., 2002), 오이(Moon et al., 2007), 엽채류(He et al., 2001)등에서 보고된 바 위 사실을 뒷받침해 주고 있다(Morgan, 2011).

또한 실험 중 EC 3.0 과 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 지하부뿐만 아니라 지상부의 경우도 생육 중반부터 잎 끝이 마르는 생육장애 현상이 발현이 되기 시작하여 마지막 종료일자인 2015 년 9 월 8 일에는 처리구 내의 대다수의 식물체에서 발견 되었다(자료 미제시). 때문에 엽록소 함량에서는 개발배양액 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리가 가장 높았으나 품질과 생육 모두를 고려할 때, 고온기에 온실에서는 개발 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 하여 재배하는 것이 가장 적합한 것으로 판단되었다.



Fig. 1-4. Non-marketable roots of carrot grown under different ECs of nutrient solutions at high temperature period. A: Japanese Horticultural Station $1.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, B: Jeju National University $3.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, C: Jeju National University $4.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

저온기 배양액 농도에 따른 당근 생육

저온기에 개발 배양액 EC 1.0, 2.0, 그리고 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 을 정식 후 71 일 동안 비교 실험한 생육 상태(Fig. 1-5)와 결과는 다음과 같았다(Table 1-4). 저온기 온실에서 지상부의 엽면적과 생체중, 건물중 그리고 경경에서는 배양액 농도에 따른 유의적 차이가 나타났다. 반면 지상부의 엽수와 초장의 경우 모든 처리당 유의한 차이는 나타나지 않았다. 엽면적의 경우 개발한 당근 전용 배양액 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 높았고, $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 277.1cm^2 로 가장 낮게 나타났다. 지상부 생체중은 엽면적의 경우와 유사하게 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 높았고, EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 11.3g 으로 가장 낮게 나타났다. 지상부 건물중 또한 마찬가지로 EC 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 높게 나타났고, EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 1.8g 으로 가장 낮게 나타났다. 지상부 줄기의 직경은 EC $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높게 나타났고, EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 낮게 나타났다. 따라서 지상부의 생육에는 고온기와 마찬가지로 개발 배양액 EC $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하의 농도에서 지상부의 생체중이 가장 높게 나타났다.

지하부의 생장 요소의 경우 배양액 농도 처리에 따라서 직근의 길이에는 유의한 차이가 나타나지 않았지만, 직경과 생체중, 건물중의 경우 유의한 차이가 있었다. 지하부의 생체중의 경우는 개발 배양액 EC $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 22.6g 으로 가장 높게 나타났고, EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 15.1g 으로 가장 낮게 나타났다. 건물중의 경우는 EC 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 높았고 EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 1.4g 으로 가장 낮았다. 직근의 두께의 경우는 건물중과 마찬가지로 EC 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 높았고 EC $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 19.6mm 로 가장 낮았다. 따라서 저온기에 온실에서 당근을 수경재배 할 때

뿌리의 생육을 위해서는 개발한 당근 전용 배양액 1.0 혹은 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 농도로 관리하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 따라서 본 생육 결과를 종합하면, 저온기 당근 생육에는 개발 배양액 EC 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 농도로 관리하는 것이 적합하지만, 비료 투입량을 포함한 경제성을 고려하면 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 가 재배에 가장 적합한 배양액 농도인 것으로 판단하였다.



Fig. 1-5. Growth of carrot grown under different ECs of nutrient solutions at low temperature period.

Table 1-4. Effect of EC on the growth characteristics of carrot at 61 days after transplanting.

EC (dS · m ⁻¹)	Number of leaves (ea/plant)	Leaf area(cm ²)	Height (cm)		Width of stem (mm)		Fresh weight (g)		Dry weight (g)	
			Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root	Shoot	Root
			1.0	7.7	365.0 a ^z	5.3	12.3	12.9 a	23.0 a	15.7 a
2.0	7.8	337.2 a	3.8	13.0	12.3 ab	22.0 a	15.4 a	19.0 ab	2.4 a	1.8 a
3.0	7.8	277.1 b	5.5	12.4	10.6 b	19.6 b	11.3 b	15.1 b	1.8 b	1.4 b

^zMeans within column followed by the same letters are not significantly different as determined by Duncan' s multiple range test at $p \leq 0.05$.

Table 1-5. Effect of electrical conductivity on sugar and chlorophyll contents of carrot at 61 days after transplanting.

EC (dS · m ⁻¹)	Total soluble		Chlorophyll a (mg · g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b (mg · g ⁻¹ FW)	Total chlorophyll (mg · g ⁻¹ FW)
	Solids (°Brix)				
	Shoot	Root			
1.0	8.8	8.5 a ^z	4.0	1.5	5.5
2.0	8.8	8.1 b	4.3	1.7	6.0
3.0	8.7	8.8 a	4.9	1.7	6.5

^zMeans within column followed by the same letters are not significantly different as determined by Duncan's multiple range test at $p \leq 0.05$.

저온기 온실에서 생육한 당근의 당도와 엽록소 함량을 측정한 결과는 다음과 같았다(Table 1-5). 당근 잎의 당도는 배양액 농도에 따른 유의적 차이가 없었다. 그러나 당근 뿌리의 경우, 저온기 EC 1.0 과 3.0dS · m⁻¹ 에서 높았고 EC 2.0dS · m⁻¹ 에서 8.1 Brix 로 낮게 나타났다. 엽록소 함량에서는 각 배양액 농도 처리구 별 유의적인 차이는 없었다. 따라서 지하부의 당도 특성을 고려하면 개발 배양액 1.0 혹은 3.0dS · m⁻¹ 의 농도에서 재배하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

따라서 저온기에 온실에서 당근을 재배할 때에는 지상부와 지하부의 생육, 품질 특성을 고려하면 개발한 당근 전용 배양액 1.0dS · m⁻¹ 처리가 가장 적합한 것으로 확인이 되었다.

시험 중 고온기 온실 당근 생육 시험에서는 배양액의 농도가 3.0dS · m⁻¹ 이상일 때 뿌리에 열근과 기근이 발생한 반면, 저온기 시험에서는 3.0dS · m⁻¹ 처리에서도 기근이 발생하지 않았다. 지상부의 잎 끝이 마르는 증상 또한 저온기에는 발생하지 않은 것으로 보아, 재배 안정성은 저온기가 보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 발아 소요 시간 및 생육 속도가 저온기에는 고온기보다 비교적 긴 것을 고려할 때, 적정 온도에 대한 보다 정밀한 추가적인 시험이 요구된다.

초 록

당근 잎에는 뿌리와 마찬가지로 다양한 영양성분이 함유되어 있어 앞으로 당근 잎의 필요성이 더욱 증대될 것이다. 때문에 본 연구는 온실에서의 당근 잎의 연중 재배 가능성과 생육에 적합한 배양액의 조성 및 농도를 구명하고자 고온기와 저온기로 나누어 수행되었다. 시험 재료는 시판중인 코레곤사의 양면 5 촌을 사용하였다. 20 일간 버미큘라이트에 육묘한 모종을 미리 설치한 고휘배지 수경재배틀에 옮겨 실험을 실시하였다. 배양액은 식물체내 다량원소의 적정 함량기준으로 당근 전용배양액(NO_3^- -N:16, NH_4^- -N:1, P:1, K:11, Ca:2, Mg:1, SO_4^- -S:1 $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$)을 개발하였다. 배양액은 고온기에는 개발된 당근 전용 배양액 농도 1.0, 2.0, 3.0, 그리고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리하였으며, 대조구로 일본원예시험장 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리하여 생육을 비교하였다. 저온기에는 개발 배양액 1.0, 2.0, 그리고 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리하여 생육을 비교하였다. 생육조사 항목은 지하부의 생체중, 건물중, 길이, 직경 그리고 지상부의 초장, 생체중, 건물중, 경경, 엽수, 엽면적을 조사하였다. 고온기 지상부는 엽수, 초장, 경경은 유의적인 차이가 없었고 엽면적과 생체중, 건물중은 배양액 농도 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 좋았다. 고온기 지하부는 건물중과 직근의 길이는 유의적인 차이가 없었고, 직경은 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 저조하였다. 그리고 생체중은 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하에서 좋았다. 고온기 재배에서 지하부의 당도는 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높았으며, 엽록소 함량은 배양액 농도 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높았다. 저온기 지상부의 엽수와 초장에서는 유의적인 차이가 없었고, 엽면적과 경경은 배양액 농도 3.0

$\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 생육이 가장 저조했다. 생체중과 건물중은 배양액 농도 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높게 나타났다. 저온기 지하부의 직근 길이는 유의적인 차이가 없었고, 직경과 생체중, 건물중은 배양액 농도 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 높게 나타났다. 저온기 지상부에서 당도와 엽록소 함량은 배양액 농도에 따른 유의적인 차이는 없었다. 지하부에서는 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 낮게 나타났다. 결과적으로 생육적인 면에서 볼 때 고온기와 저온기 재배에서는 배양액 농도 1.0 과 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 좋으나 비료 투입량이 적어 경영적인 면에서 이로운 배양액 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 재배하는 것이 좋은 방법이라 판단된다.

추가 주요어 : 고품배지, 당도, , 연중재배, 온실 재배, 온실 환경

인용 문헌

- Almeida VV, Bonafe EG, Muniz EC, Matsushita M, Souza N. E, Visentainer JV (2009) Optimization of the carrot leaf dehydration aiming at the preservation of omega-3 fatty acids. *Quimica Nova* 32:1334-1337
- Arnon DI (1949) Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta Vulgaris*. *Plant Physiology* 24:1-15
- Dowker BD (1977) Variation studies in carrots as an aid to breeding. V. The effects of environments within a site on the performance of carrot cultivars. *J Hortic Sci* 52:295-307
- He J, Lee SK, IC Dodd (2001) Limitations to photosynthesis of lettuce grown under tropical conditions: alleviation by root-zone cooling. *J Expt Bot* 52:1323-1330
- Hur TH, Park YB, Chang JJ, Kim KT (1997) Effect of weathered sandy shell application on growth, vitamin A and sugar contents of carrot. *Korean J Hortic Sci* 38:93-97
- Hwang KS, Yoon JH, Lee SJ, Kwack YH, Lee SM (1997) Optimum contents of soil phosphorus and potassium for carrot growth. *Korean J Soil Sci* 30:89-93

Jang YA, Lee JG, Um YC, Kim SY, Oh SS, Cha SH (2010) Effects of nutrient solution cooling on fruit setting and yield of paprika in summer hydroponics. *Korean J Horti Sci* 28:58–59

KOSIS (2015) Open field vegetable cultivation area. 1975–2016

Lee JH, Kwon JK, Kwon OK, Choi YH, Park DK (2002) Cooling efficiency and growth of tomato as affected by root zone cooling methods in summer season. *J Bio-Env Con* 11:81–87

Lee J, Chang MS, Kim GH (2015) Quality characteristics and antioxidant activities of organically and conventionally grown carrot. *J Korean Soc Food cult* 30: 778–782

Morgan L (2011) Root zone chilling. <http://www.thctalk.com/cannabis-forum/archive/index.php/t-50357.html>

MIFAFF (2009) Greenhouse status of establishment vegetable and results of vegetables production in 2008. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Republic of Korea. <Http://www.mifaff.go.kr>

Moon JH, Kang YK, Suh HD (2007) Effect of root-zone cooling on the growth and yield of cucumber at supraoptimal air temperature. *Acta Horti* 761:271–274

Orzolek MD, Carrol RB (1978) Yield and secondary root growth of carrots

as influence by tillage system, cultivation and irrigation. American J Horti Sci 103:236-239

Park YB, Kim YD, Moon JS (2002) The effect of seeding date and mulching method on the growth and yield of spring carrot in Jeju island. J Subtropical Agri & Biotech 18:1-5

Park YS (1998) Nitrate content and organophosphorus pesticide residues in edible part of organic farming vegetables. J Korean Soc Food Sci Nutr 27:471-476

Shin MO, Bae SJ (2001) The effect of carrot (*Daucus carota* L). extracts on the fluidity of phospholipid liposomes. Korean J Soc Food 30:646-650

Warne LGG (1951) Spacing experiments on vegetables. I . The effects of thinning distance on earlist in globe beet and carrot in cheshire. J Horti Sci 26:79-83

Youn AR, Kwon KH, Kim BS, Kim SH, Noh BS, Cha HS (2009) Effect of agrichemicals during cultivation on quality and shelf-life of fresh-cut lettuce. J Korean Soc Food Sci Nutr 38:217-224

Chapter II. 완전 제어형 식물 공장에서 EC 에 따른 지상부 생육 반응

Chapter II. Growth Response of Carrot Tops to Various Levels of EC in a Closed-type Plant Factory System

Abstract: This study was conducted to find the optimal concentration of nutrient solution to produce carrot leaves in a closed-type plant factory. The used experimental material was 'Yang Myeon 5 Chon' made by KOREGON. After sowing, 2 leaves carrot were transplanted in a growing bed system. The hydroponic cultivation system was performed with a three-layer NFT system (240x60x200cm, LxWxH). The nutrient solution ($\text{NO}_3\text{-N:16}$, $\text{NH}_4\text{-N:1}$, P:1 , K:11 , Ca:2 , Mg:1 , $\text{SO}_4\text{-S:1}$ $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$) was developed by analysis of plant. Growth was compared in EC 2.0, 3.0, and $4.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. The fresh weight, dry weight, plant height and leaf area of the plants were measured. There was a significant difference between the nutrient solutions on the 23rd day after planting. The optimum concentration was found at a concentration of $3.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. However, there was no significant difference in the number of leaves and in the chlorophyll content. As a result of the investigation of the quality characteristics carrot leaves, there was no significant difference in carrot leaf antioxidant capacity by the concentration and the contents of total phenol, chlorogenic acid and kaempferol were the highest as per 1g of the dry leaf in EC 2.0 dS

$\cdot \text{m}^{-1}$, unlike the growth factors. However, EC 3.0 dS $\cdot \text{m}^{-1}$ has the highest on contents of total phenol, antioxidant capacity, kaempferol per plant. In conclusion, in plant factories, EC 3.0 dS $\cdot \text{m}^{-1}$ is the most suitable concentration for the production of carrot leaves, with 20 ~ 25 days of cultivation. Also, leaves of carrot have antioxidant substances and can be valuable as functional foods.

Additional key words: antioxidant capacity, chlorogenic acid, cultivation days, kaempferol, total phenol

서 언

당근은 전 세계적으로 많이 재배되고 있는 채소 중 하나이며, 국내 당근의 재배면적은 1970년대부터 1990년대까지 증가하다가 2000년대 후반에는 감소하는 추세를 보이고 있다(MIFAFF, 2009). 전국의 당근 전체 생산량 중 제주도 생산량은 약 50%를 차지하고 있으며, 주로 월동형태로 집중 재배하고 있다(KOSIS, 2015). 당근은 건강에 좋은 성분인 비타민 A, C, E 그리고 비타민 B1, B2, B6 등의 비타민과 α -carotene, 그리고 비타민 A의 전구물질이라 알려진 β -carotene 뿐만 아니라, lutein 과 같은 성분을 풍부하게 함유하고 있는 영양학적으로 매우 우수한 작물이다(Shin and Bae, 2001; Lee et al., 2015). 당근 뿌리와 마찬가지로 당근의 잎 또한 다양한 기능성 물질을 함유하고 있으며, 특히 녹채류에 주로 함유된 불포화 지방산 함량이 높은 것으로 보고된 바 있다(Almeida et al., 2009). 그러나 당근 잎은 영양소의 파괴가 많은 건조한 차의 형태로 일부 유통 및 소비되고 있는 실정이다.

식물공장(Plant Factory)이란 광, 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액 조성 및 농도 등의 식물 생육에 필요한 환경요인을 작물에 적합한 상태로 제어하여, 계획적이고 고속으로 연중 및 대량생산이 가능하게 하는 시스템을 의미한다(Cha et al., 2012). 최근 들어 식물공장에서 재배되고 있는 작물의 수는 점차 증가되고 있는 추세이며, 대부분이 아이스플랜트(Cha et al., 2014)나 씬바귀(Qin et al., 2008; Cho et al., 2012)와 같은 엽채류이다. 반면에 식물공장은 높은 시설비용으로 인해 보편적으로 이용되고 있지는 못한 실정이다. 그러나 근래에는 농업에 자동화 기술을 접목한 융복합 산업의 한 방법으로 다시

부각되고 있다(Lee and Cha, 2015). 또한 기후 변화로 인해 농산물의 안정적인 생산이 위협받고 있어, 이에 대한 대안으로써의 관심이 높아지고 있다(Heo et al., 2010; Lee and Cha, 2015; Lee et al., 2016).

지구 온난화로 인해 현재 적도 해양의 수온 변화는 전세계적으로 이상기후 현상을 유발시키고 있다. 또한, 이러한 현상과 세계 각지에서 일어나는 기상이변들 간의 연계성은 잘 알려져 있다(Neelin 1990). 최근 발생한 2015-2016 년 엘니뇨는 최근 들어 강하게 발달하여 세계기상기구(WMO; World Meteorological Organization)는 2016 년을 기상관측 사상 가장 더운 해가 될 것으로 보인다고 밝혔다. 그리고 기상청(KMA 2016)은 우리나라의 기후가 엘니뇨의 현상으로 평년보다 겨울철이 따뜻하고 강수가 많은 경향을 보인다고 하였고, 또한 지역별로 다양한 이상기후 현상을 일으키므로 날씨에 가장 민감한 농업은 이상기후에 의해서 농작물의 재배에 있어 막대한 영향을 받을 것으로 판단된다.

식물공장은 최적의 생육 환경 조건으로 작물을 재배하기 때문에 성장속도가 빠르며 환경적인 제한을 받지 않아 연중 재배가 가능하다. 따라서 적절한 수준으로 환경을 제어하여 다수확 뿐만 아니라 고품질의 농산물을 생산하는 것도 또한 가능하다(Morimoto et al., 1995). 식물공장에서는 외부로부터의 오염을 최소화 해야 하는 특성으로 인해 주로 수경재배 방식으로 양분을 공급하고 있다. 일반적으로 수경 재배 시 엽채류 생산을 위한 적정 배양액 농도는 $1.0-2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 정도로 알려져 있다. 그러나, 식물공장은 최적 환경으로 작물을 재배하기 때문에 성장 속도가 빠르기 때문에 이를 고려하여 배양액의 농도를 달리하여 관리해야 한다. Ikeda et al.(1992)도 식물공장에서 상추를 재배할 경우, 성장속도가 시설재배보다 8 배 정도 더 빠르다라고 보고하고 있다. 이러한

빠른 생장률은 생리장해를 발생시키는 주요 원인이 된다(Ikeda et al., 1992; Um et al., 2010). 작물의 식물공장에의 도입을 위해서는 적정 배양액의 조성 및 농도와 경제성을 고려한 적정 재식거리, 그리고 적합한 광량에 대해 실험이 이루어지고 있다(Cha et al., 2012; Cha et al., 2014).

따라서 본 연구는 당근 잎을 이용하기 위해 완전 제어형 식물공장에서 재배할 때 적합한 배양액의 농도를 선별하기 위해 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 및 배양액 조성

시험 재료는 코레콘 사의 ‘양면 5 촌’ 품종을 사용하였다. 시험은 2015 년 월부터 2015 년 월까지 수행하였다. 우레탄 스폰지(2.5x2.5x2.5cm)에 과중하였으며, 본엽이 2 매 나온 시기에 재배 배드에 정식하였다. 수경재배시스템은 3 층으로 구성된 박막수경(NFT)시스템(240x60x200cm, LxWxH)으로, 배양액통 용량은 110L 였으며, 배양액 량은 90L 였다. 배양액 공급은 본엽이 나왔을 때부터 시작하였으며, 배양액의 pH 와 EC 는 매 1~2 일 간격으로 측정하여 보정하였다.

식물공장 환경조절

광도는 광 센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였으며, 온도와 상대습도 센서(HMP45AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)와 이산화탄소 센서(GMP222, Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 온도, 상대습도 및 이산화탄소 농도를 측정하였다. 식물공장 내의 온도, 상대습도와 이산화탄소 제어기(SDM-CD16AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 ON/OFF 제어하였다. 온도는 에어컨(HP-N239L, Samsung Electronics Co., Ltd., Korea)과 히터기(HV-7800, Hanvit System Co., Ltd., Korea)를 이용하여 20~25℃ 로 관리하였으며, 상대습도는 가습기(NH-5, Hwajeun Eng., Korea)와 제습기(SG-M220S-4, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)를 이용하여 60~70%로 관리하였다.

이산화 탄소 농도는 지하공기를 이용하여(Kim et al., 2007) 600~900 $\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 로 관리하였다. 공기 유동은 공기 순환팬(SGA-120, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)을 이용하였다. 센서 위치는 바닥 면으로부터 1.5m 에 설치하였으며, 식물공장 3 곳에서 측정한 평균값을 이용하여 설정 값에 맞게 제어하였다. 광도, 온도, 상대습도, 이산화탄소 농도 자료는 데이터 수집장치(CR-1000, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 이용하여 매 10 분마다 평균하여 1 시간마다 매일 수집하였다. 이용된 배양액은 식물체를 분석하여 양이온 비율에 따라 조성한 개발 배양액을 이용하였다.

생육조사 및 기능성 성분 분석

각 배양액 농도 별 지상부의 엽수, 엽면적, 초장, 생체중, 건물중을 측정하였으며, 뿌리는 재배기간이 짧아 직근의 형태로 생성되지 않고 수염뿌리의 형태로 생성되어 측정에서 제외하였다.

총 페놀 함량 및 항산화 능력 평가

당근의 지상부는 정식 후 33 일째 수집되었으며, 동결 건조하여 보관하였다. 샘플은 분석될 때까지 4°C의 암상태인 인큐베이터에 보관되었다. 총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을(Ainsworth and Gillespie, 2007) 약간 수정하여 측정되었다. 동결 건조된 시료는 분말 형태로 분쇄하였으며, 시료(대략 4mg, 5 반복)는 80% 아세톤 4mL 과 함께 섞어 준 뒤 15 분간 초음파 추출하였다(Sk5210HP; Hangzhou Nade Scientific Instruments, Zhejiang, China). 추출된 용액은 12 시간 동안 4°C의 암조건에 처리된 후 2 분간 3000

× g 로 원심 분리되었다. 샘플의 상층액은 분석을 위해 사용되었다. 이 후의 과정은 Lee and Oh(2015)의 논문에 설명된 것과 동일하다. 단위는 건물중(g) 당 gallic acid-equivalent (mg)으로 표현되었다(mg GAE/g DW). 항산화도는 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 이용하여 측정되었다(Miller and Rice-Evans, 1996). 용매 80% 아세톤을 사용하여 추출된 용액은 -20°C의 암조건에서 12 시간동안 처리하였다. 이 후의 과정은 Lee and Oh(2015)의 논문에서 설명된 과정과 동일하다. 표준 곡선은 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid(Trolox; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하여 나타내었으며, 단위는 건물중(g) 당 trolox-equivalent antioxidant capacity(mM)로 표현되었다(mM TEAC · g⁻¹ DW).

클로로젠산과 퀘페롤 성분 분석

동결 건조된 샘플(대략 0.1g, 5 반복)은 1.5mL 의 0.5% HCl 이 포함된 acetonitrile 과 함께 섞어준 뒤, 80°C의 water bath 에서 가수분해 되었다. 이후 가수 분해된 용액은 30 분간 초음파 추출(Sk5210HP; Hangzhou Nade Scientific Instruments, Zhejiang, China) 되었다. 추출 용액은 20 분 동안 3000 × g 에서 원심분리 되었으며 상층액은 0.22-μm 실린지 필터(Noble Bio, Hwaseong, Korea)를 이용하여 걸러주었다. 추출 용액의 polyphenol 화합물은 high-performance liquid chromatograph system(YL9100; Younglin, Anyang, Korea)을 이용하여 분석되었다. Guard column 이 장착된 ACE-5-AQ column(4.6 × 250 mm, Advanced Chromatography Technologies Ltd., Reading, UK)을 이용하여 polyphenol 화합물을 분리하였으며, 컬럼 온도는

30° C, injection volume 은 10 μ L 였다. 용매 A 와 B 는 100% acetonitrile 과 0.5% acetic acid 가 포함된 water 로 각각 구성되었다. 용액 농도 구배 조건은 용매 A acetonitrile 0-10%(10 분), 10-20%(30 분), 20-30%(40 분), 30-40%(50 분), 40-80%(60 분), 80-0%(61 분), 그리고 0-0%(70 분)으로 구성하였다. 유속은 0.8mL/분 이었고 흡광도는 320nm 에서 측정되었다. 표준 물질인 chlorogenic acid(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 와 kaempferol(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)을 사용하여 외부 표준 물질법으로 Fig. 2-1, 2-2 와 같이 chromatogram 의 peak 면적과 표준용액의 농도를 기준하여 검량선을 작성해 각 물질의 함량을 정량하였다. 단위는 건물 중(100g) 당 mg 으로 표현하였다(mg \cdot 100 g⁻¹ DW).

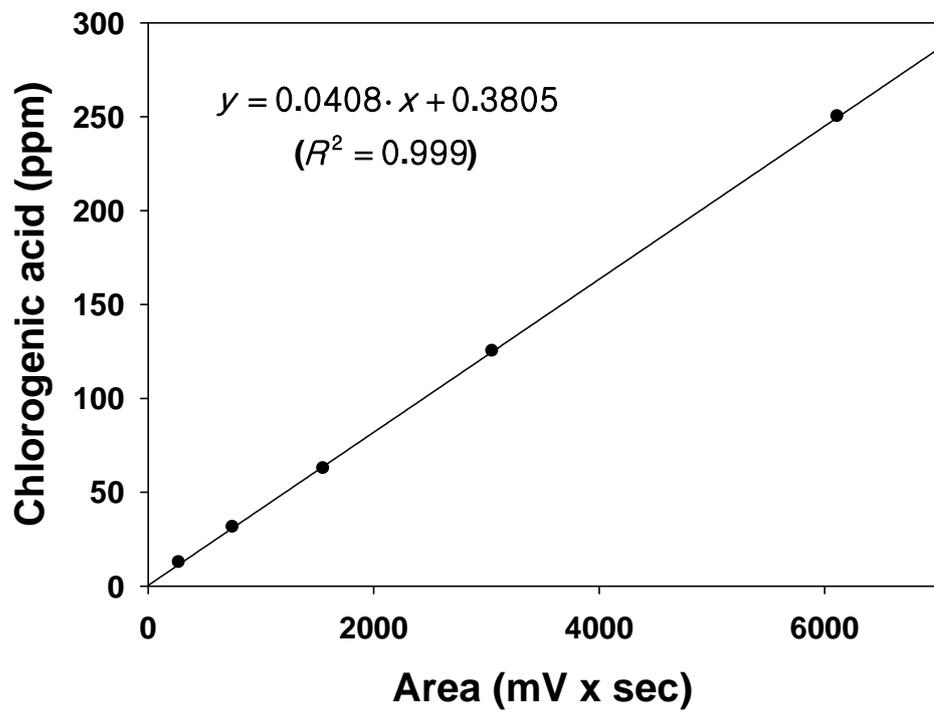


Fig. 2-1. Calibration curve according to standard concentration of chlorogenic acid

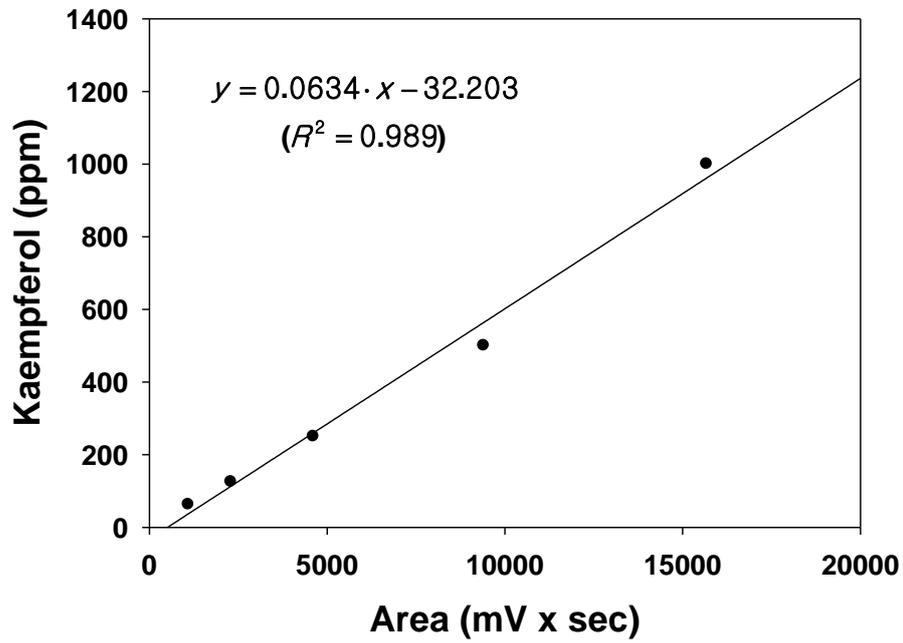


Fig. 2-2. Calibration curve according to standard concentration of kaempferol

통계분석

실험구 배치는 완전임의 배치법을 사용하였으며, SAS(Statistical Analysis, Ver 9.3, Cary, NC, USA) 프로그램을 이용하여 95% 신뢰구간에서 Duncan 다중검정으로 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

당근 지상부 생육 특성

정식 후 14 일과 23 일 후 측정된 당근 지상부의 생체중과 건물중의 변화는 다음과 같았다(Fig. 2-1). 정식 후 14 일까지 지상부 생체중(Fig. 2-1. A)과 건물중(Fig. 2-1. B)은 배양액 농도간 유의적인 차이를 보이지 않았지만, 정식 후 23 일의 지상부 생체중과 건물중은 배양액 농도간 유의적인 차이를 보였다. 배양액 농도 2.0 과 4.0dS · m⁻¹ 처리는 유사한 값을 나타냈으나 배양액 농도 3.0dS · m⁻¹ 처리에서 가장 높았다. 이는 높은 배양액 농도는 *Eruca sativa* L.(salad rocket) 생육에 영향을 끼친다는 사전 연구의 결과와 유사하게 나타났다(D'Anna et al., 2003). 그러나 엔다이브의 생육에 높은 배양액 농도는 영향을 끼치지 않는다는 Kowalczyk et al(2012)의 연구와는 상이하게 나타났다. 시설재배에서 재배한 이전 실험에서는 배양액 농도 1.0dS · m⁻¹ 에서 가장 높은 생육량을 보였고, 3.0dS · m⁻¹ 이상의 농도 처리에서는 유의하게 감소되는 것으로 나타났지만, 본 식물공장에서는 배양액 농도 3.0dS · m⁻¹ 에서 높은 생육량을 보여 재배 시스템에 따라 배양액 농도를 달리해야 한다고 판단하였다.

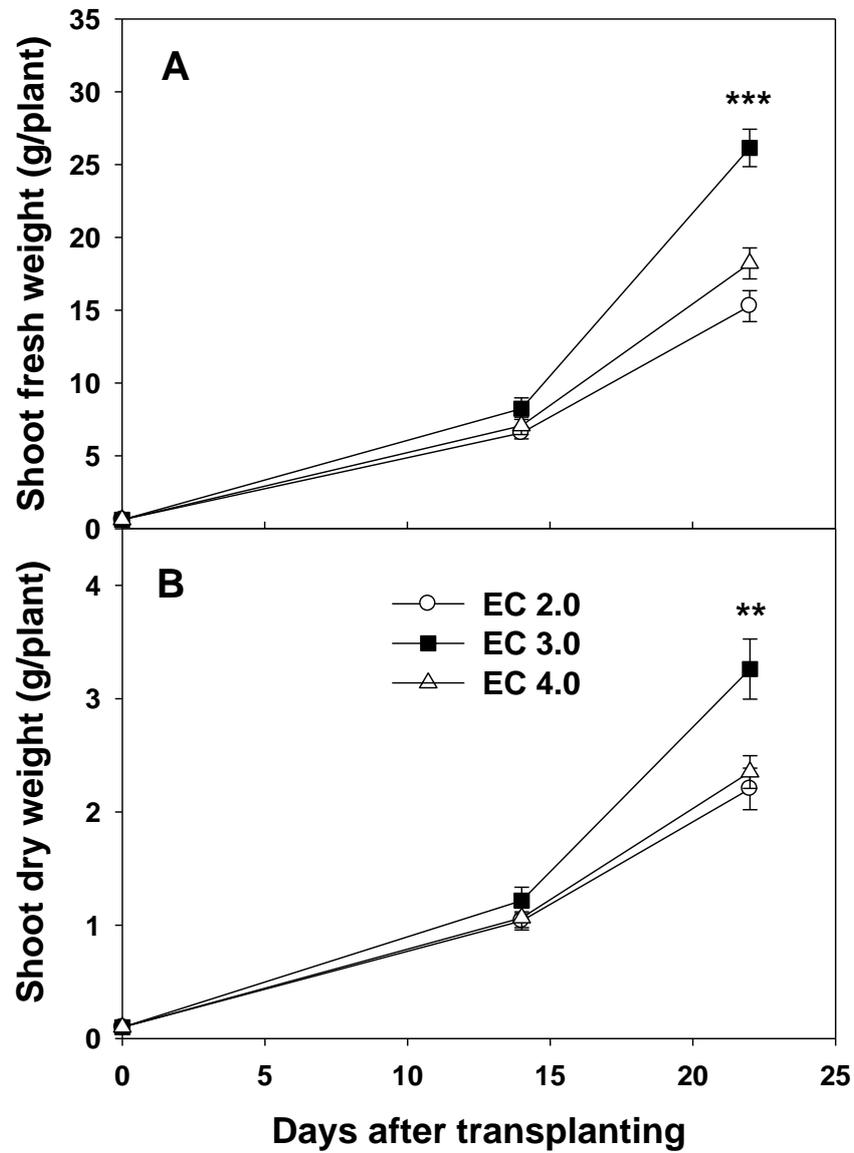


Fig. 2-3. Shoot fresh (A) and dry (B) weights of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).

실험기간 동안의 엽수의 증가를 관측한 결과 실험 기간 내에서 배양액 농도 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 2-4. A). 반면 초장은 정식 후 14 일차에는 유의성이 나타나지 않았으나 23 일 후 에는 배양액 농도 처리간 유의적인 차이를 보였다(Fig. 2-4. B), 초장의 경우 생체중 및 건물중의 결과와 마찬가지로 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 높았다. D'Anna et.(2003)는 배양액 농도 $2.8\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 과 $3.8\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서는 *Eruca sativa* L.(salad rocket) 초장에 영향을 끼치지 않는다 라고 하였다. 그러나 본 연구에서는 이와 상이한 결과가 나타났으며, 초장은 배양액 농도에 영향을 받는 것으로 판단되었다. 초장은 재배 단이 제한되어 있는 식물공장에서 작물의 수확 시기를 결정짓는 중요한 요소로 작용된다. 때문에, 본 실험 결과를 바탕으로 한 식물공장에서의 잎 당근의 적정 재배일수는 20~25 일 가량이라 할 수 있다.

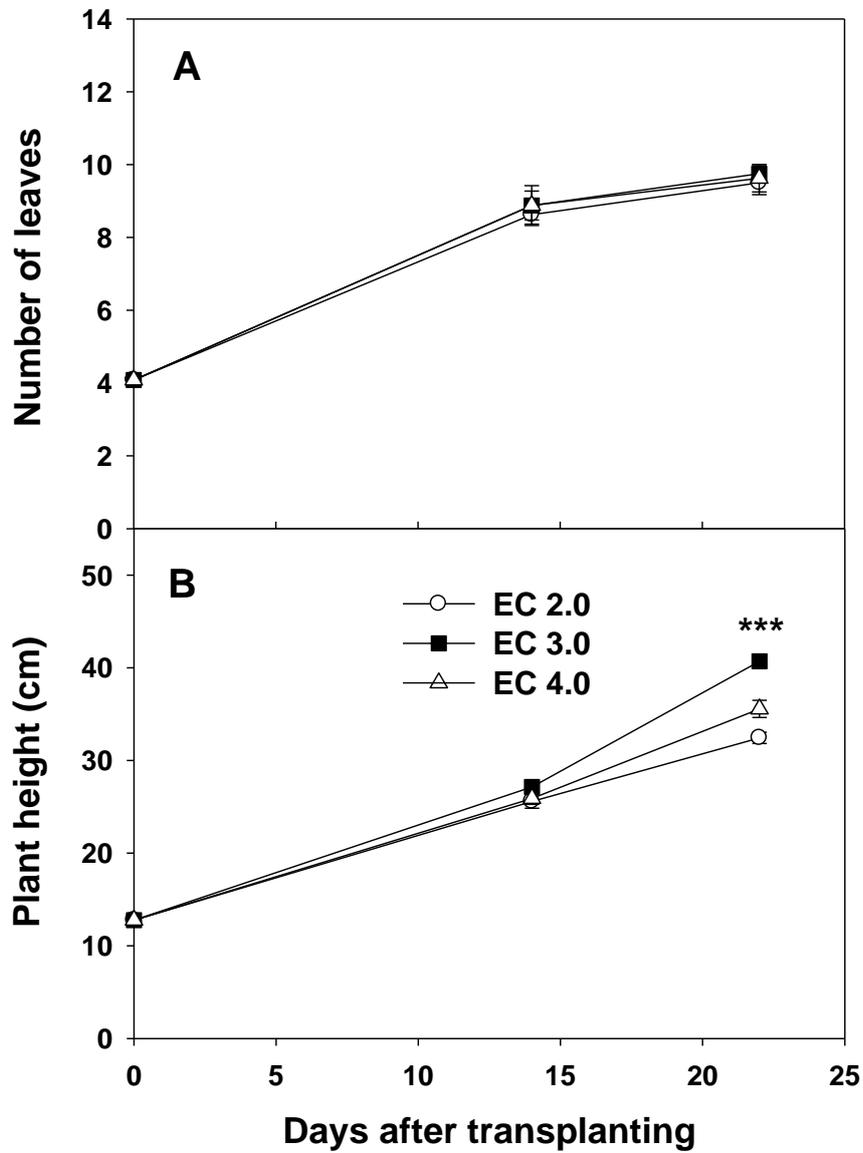


Fig. 2-4. Number of leaves (A) and plant height (B) of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).

당근의 엽면적의 경우 정식 후 14 일에는 차이가 나타나지 않았으나, 23 일 후에 배양액 농도 처리간 유의적인 차이를 나타냈다(Fig. 2-3). 생체중의 경우와 마찬가지로 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 14 일 이후 급격하게 증가되어 처리 23 일후에는 가장 높았고, $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구에서 가장 낮은 것으로 나타났다.

본 연구 이전, 온실에서 수행된 실험을 바탕으로 개발 배양액 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 의 농도로 예비 실험을 수행하였다. 실험 결과 온실에서와는 달리 식물공장내 배양액 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 육안으로도 구분되는 심한 황화현상을 나타내었고, 때문에 본 실험에서는 배양액 농도를 보다 높여 수행하였다(자료 미제시).

당근 지상부 기능성 성분 특성

본 연구에서는 이전 실험과는 달리 배양액 농도 처리간 엽록소 a, 엽록소 b 와 총 엽록소 함량의 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 2-1).

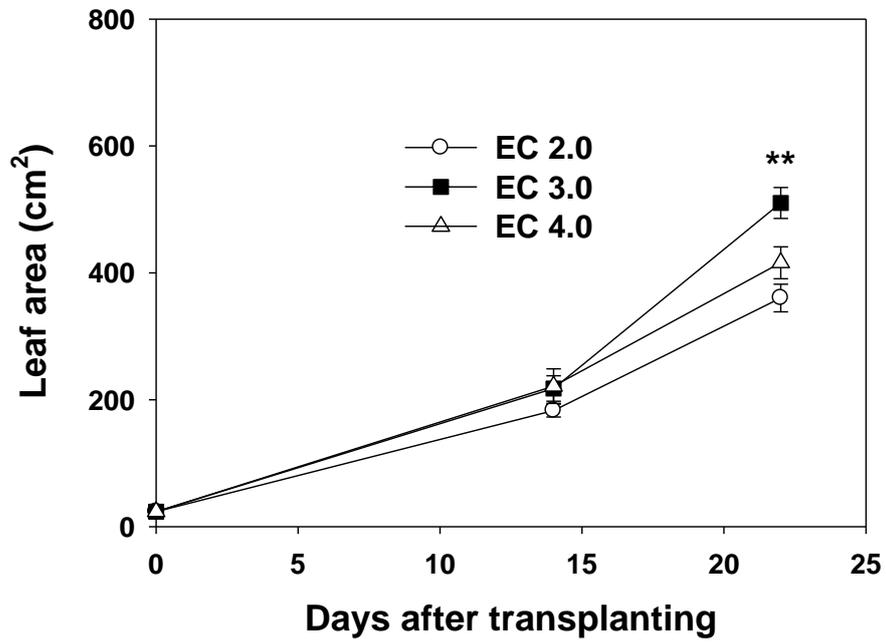


Fig. 2-5. Leaf area of carrot grown under different ECs of nutrient solution in a closed-type plant factory system. The vertical bars represent the standard errors (n=8).

Table 2-1. Chlorophyll content of carrot' s leaves grown under different ECs at 33 day after transplanting.

EC (dS · m ⁻¹)	Chlorophyll a (mg · g ⁻¹ FW)	Chlorophyll b (mg · g ⁻¹ FW)	Total chlorophyll (mg · g ⁻¹ FW)
2.0	5.85	2.08	7.93
3.0	5.38	1.79	7.17
4.0	5.74	1.94	7.68

총페놀 함량은 배양액 농도 처리간 유의적인 차이를 보였으며, 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 높게 나타났다 (Fig. 2-4). 그러나 본 결과는 식물체의 건물중 1g 당 함량을 표시한 것으로, 결과적으로는 가장 높은 건물중을 나타냈던 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 생산된 식물체당 가장 많은 페놀을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 총 페놀 함량에 영향을 주는 것은 배양액 농도 뿐만이 아니라 온도가 다르게 설정이 될 경우 온도에 비례하여 증가한다고 한다(Sakamoto and Suzuki, 2015).

반면 황산화능(AOC)은 배양액 농도 처리간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 최근에는 다양한 식물을 대상으로 항산화 활성과 기능성 소재로서의 활용에 대한 연구가 진행되고 있다(Yu et al., 2006). 많은 사전 연구들에서 radical 소거활성은 폴리페놀 함량에 비례하여 활성이 증가하는 것을 볼 수 있다고 했는데(Lee et al., 2005; Park, 2000), 본 연구에서는 총 페놀 함량은 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 높았으나 항산화 활성에서는 농도 처리당 차이가 나타나지 않는 다른 연구와는 다른 결과가 나타났다. 이 결과는 항산화 활성은 생육초기부터 수확기 전까지는 거의 비슷해 과실의 항산화 활성은 특정의 폴리페놀 농도에 의해 유지가 가능한 것으로 보인다(Han et al., 2016).

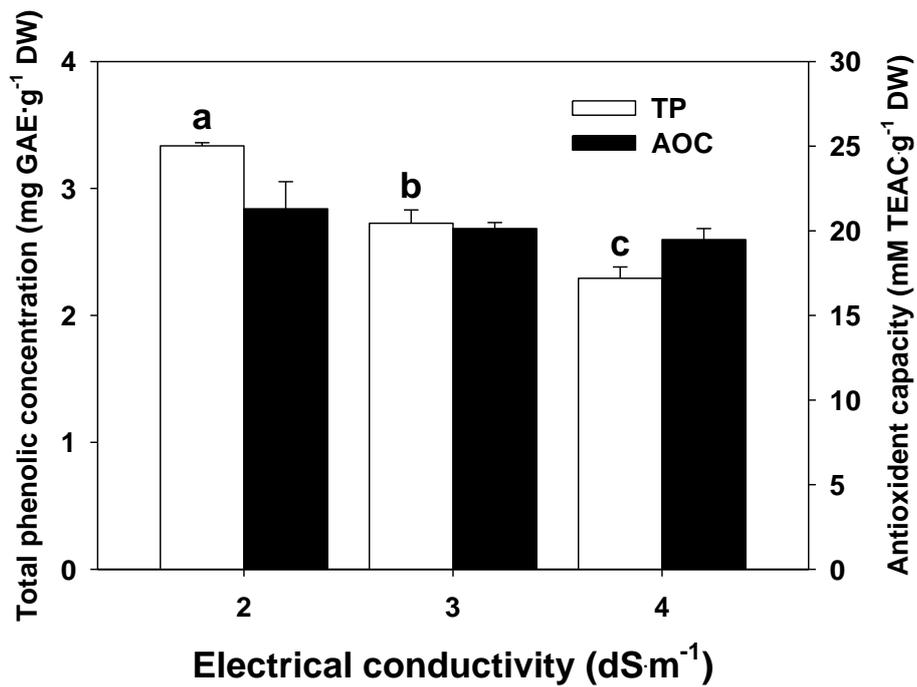


Fig. 2-6. Total phenolic concentration and antioxidant capacity of carrot tops grown under different ECs at 33 days after transplanting. The vertical bars represent the standard errors (n=5).

Chlorogenic acid 와 kaempferol 함량을 측정한 결과는 다음과 같았다(Fig. 2-5),(Fig.2-7). Chlorogenic acid 와 kaempferol 의 함량은 배양액 농도 처리에 대해 유의적인 차이를 보였으며, chlorogenic acid 와 kaempferol 모두 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 높고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리에서 가장 낮게 나타났다.

Chlorogenic acid 는 커피산과 퀴니산의 에스테르 결합으로 형성된 폴리페놀 화합물의 일종이며(Clifford, 2000), 한 용기 포장상에서 음식물의 부패를 방지하는 보존제와 향미제로, 생체 내에서는 산화적인 손상에 의해 발생하는 암이나 심장혈관의 질병을 예방할 수 있는 기능성을 가지고 있다. 이것은 주로 커피, 감자, 우엉, 고구마 등에 다량 함유되어 있다(Rice-Evans et al., 1996). Kaempferol 은 플라보놀의 한 종류로, 당화를 억제하는 능력과 항암, 항염의 효과를 가지고 있다(Fang et al., 2005). 당근 잎에는 이 두 물질이 모두 함유되어 있는 것이 확인되었으며, 따라서 기능성 식품으로의 가치를 갖는다. 식물체 건물중 1g 당 페놀 함량은 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 많은 것으로 나타났으나, 건물중이 높았던 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 으로 재배하는 것이 적합할 것으로 사료된다.

당근 잎을 식물공장에서 재배한 결과, 재배일수는 20~25 일이 적합하고, 배양액 농도는 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 하여 재배하면 생육에 가장 적합한 것으로 나타났다. 또한 페놀류가 풍부하게 함유되어 있어 기능성 식품으로서의 가치가 있을 것으로 판단된다.

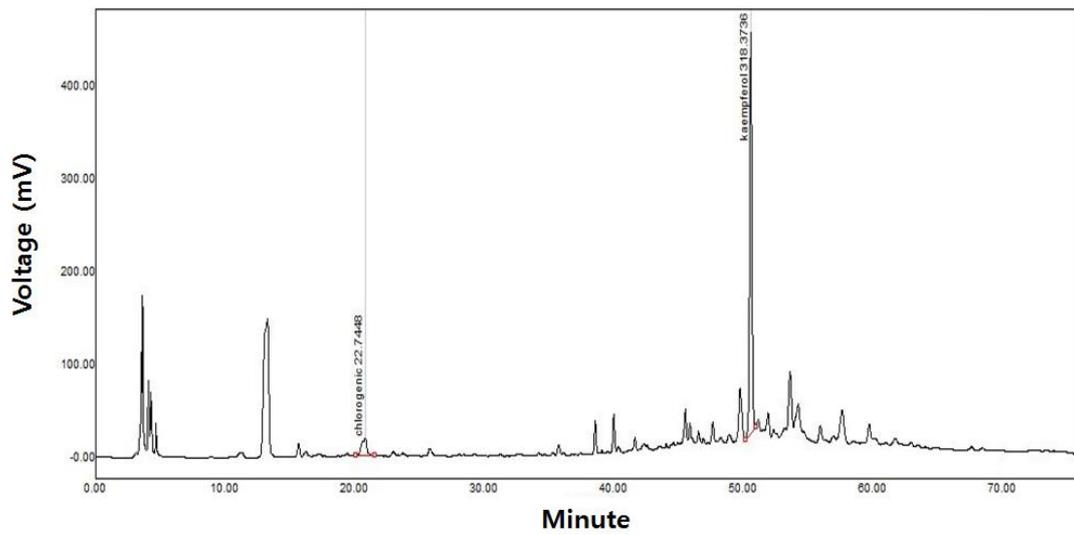


Fig. 2-7. HPLC chromatograms of Chlorogenic acid and kaempferol for quantitative and qualitative analysis in carrot shoot.

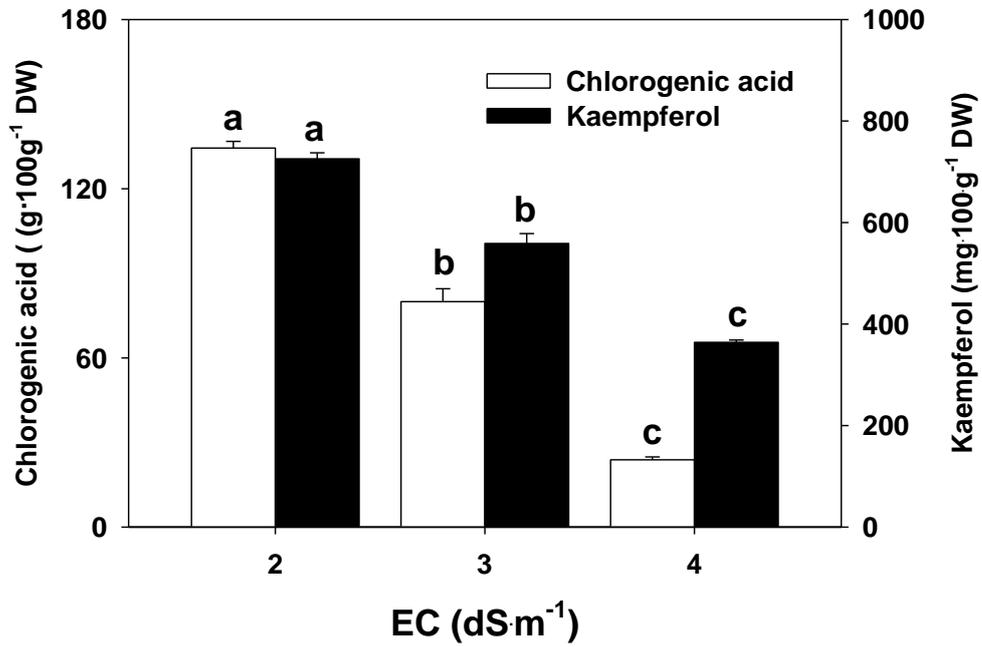


Fig. 2-8. Chlorogenic acid and kaempferol of carrot tops grown under different ECs at 33 days after transplanting. Different letters indicate significant differences following Duncan's test ($p \leq 0.05$). The vertical bars represent the standard errors ($n=5$).

초 록

본 연구는 완전 제어형 식물공장에서 당근 잎을 생산하기 위한 배양액 농도를 구명하고자 수행되었다. 공시재료는 시판중인 코레곤사의 양면 5 촌 당근 품종을 이용하였다. 파종 후 본엽이 2 매 나온 시기에 재배 배드에 정식하였다. 수경 재배 시스템은 3 층으로 구성된 박막수경(NFT) 시스템(240x60x200cm, LxWxH)으로 수행되었으며, 배양액은 식물체내 다량원소의 적정 함량기준으로 개발한 당근 전용배양액($\text{NO}_3\text{-N:16}$, $\text{NH}_4\text{-N:1}$, P:1 , K:11 , Ca:2 , Mg:1 , $\text{SO}_4\text{-S:1 mM} \cdot \text{L}^{-1}$)을 농도 2.0, 3.0, 그리고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리하여 생육을 비교하였다. 식물공장 내에서 지상부 생체중과 건물중, 초장, 엽면적을 측정 한 결과, 정식 후 23 일째에서 배양액 농도간 유의적인 차이가 나타나 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 가장 높게 확인되었다. 반면에 엽수와 엽록소 함량은 배양액 농도간 유의적 차이가 없었다. 당근 잎의 품질적 특성을 조사한 결과 항산화능은 배양액 농도간 유의적 차이가 없었고, 총 페놀 함량과 클로로겐산, 캄페롤 함량은 생육 요소와는 달리 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 건물 1g 당 함량이 가장 높았다. 그러나 건물 생산이 가장 많은 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 가 총 수확물에서의 기능성 물질 함량이 높을 것으로 판단된다. 때문에 결론적으로, 식물공장에서는 배양액 농도를 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 관리하는 것이 당근 잎의 생산에 가장 적합하며, 재배일수는 20~25 일로 나타났다. 또한 항산화 물질이 함유되어 있어 기능성 식품으로서의 가치가 있을 것으로 판단된다.

추가 주요어: 재배일수, 총 페놀, 캄페롤, 클로로겐산, 항산화능

인용 문헌

- Almeida VV, Bonafe EG, Muniz EC, Matsushita M, Souza NE, Visentainer JV** (2009) Optimization of the carrot leaf dehydration aiming at the preservation of omega-3 fatty acids. *Quimica Nova* 32:1334-1337
- Ainsworth EA, Gillespie KM** (2007) Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2:875-877
- Cha MK, Kim JS, Shin JH, Son JE, Cho YY** (2014) Practical design of an artificial light-used plant factory for common ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L). *J Bio-Env Con* 23:371-375.
- Cha MK, Kim JS, Cho YY** (2012) Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory. *J Bio-Env Con* 21:305-311
- Cho YY, Choi KY, Lee YB, Son JE** (2012) Growth characteristics of sowthistle (*Ixeris dentata Nakai*) under different levels of light intensity, electrical conductivity of nutrient solution, and planting density in a plant factory. *J Korean Soc Hortic Sci* 53: 368-372
- Clifford MN** (2000) Chlorogenic acid and other cinnamates-nature, occurrence, dietary burden, absorption and metabolism. *J Sci Food*

Agric 80:1033–1043

D'Anna F, Miceli A, Vetrano F (2003) First results of floating system cultivation of *Eruca sativa* L. Acta Hortic 609:361–364

Fang SH, Yerra KR, Tzeng YM (2005) Inhibitory effects of flavonol glycosides from cinnamomum osmophloeum on inflammatory mediators in LPS/IFN- γ -activated murine macrophages. Bioorganic & Medicinal Chemistry 13:2381–2388

Han SH, Kim JS, Teruya T, Teruya Y, Moromizato I, Lim CK (2016) Comparison of the fruit qualities, the free radical scavenging activities and mangiferin content of the Mango, cv. Irwin cultivated in Jeju and Okinawa. Korean J Hortic Sci. 34:634–643

Heo JW, Lee YB, Chang YS, Lee JT, Lee DB (2010) Effects of light quality and lighting type using an LED chamber system on chrysanthemum growth and development cultured in vitro. Korean J Environ Agr 29:374–380

Ikeda A, Y Tanimura, K Ezaki, Y Kawai, S Nakayama, K Iwao, H Kageyama (1992) Environmental control and operation monitoring in a plant factory using artificial light. Acta Hortic 304:151–158

KMA (2016) http://web.kma.go.kr/notify/press/kma_list.jsp.E1 Nino status and outlook (Press release No.3972)

- Kowalczyk K, Wolska J G, Marcinkowska M, Cetner MD, Kalaji HM (2016)
Response of growth, quality parameters and photosynthetic apparatus
of endive plant to different culture media. *Folia Horticulturae* 28:25–30
- KOSIS (2015) Open field vegetable cultivation area. 1975–2016
- Lee GJ, Heo JW, Kim HH, Jung CR, Kim DE, Nam SY (2016) Effects of
artificial light sources on growth and yield of *Peucedanum japonicum*
hydroponically grown in plant factory. *Protected Hortic Plant Fac*
25:16–23
- Lee JE, Cha WC (2015) An analysis of the professional's cognition
regarding the plant factory feasibility. *J Digital Convergence* pp89–97
- Lee J, Chang MS, Kim GH (2015) Quality characteristics and antioxidant
activities of organically and conventionally grown carrot. *J Korean Soc*
Food Cult 30:778–782
- Lee JH, Oh MM (2015) Growth and phenolic antioxidant levels affected by
temporary low temperature in kale plants. *Korean Society*
Agricultural machinery/ J Bio-Env Con p:443–444
- Lee SO, Lee HJ, Yu MH, Im HG, Lee IS (2005) Total polyphenol contents
and antioxidant activities of methanol Extracts from Vegetables
produced in Ullung Island. *Korean J Food Sci Technol* 37:233–240

- MIFAFF** (2009) Greenhouse status of establishment vegetable and results of vegetables production in 2008. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Republic of Korea. [Http//www.mifaff.go.kr](http://www.mifaff.go.kr)
- Miller NJ, Rice-Evans CA** (1996) Spectrophotometric determination of antioxidant activity. *Journal Redox Report* 2:161-171
- Morimoto T, Torii T, Hashimoto Y** (1995) Optimal control of physiological processes of plants in a green plant factory. *Control Engineering Practice* 3:505-511
- Neelin JD** (1990) A hybrid coupled general circulation model for El Nino studies. *Journal of Atmospheric Sciences* 47:674-693
- Park SY** (2000) Studies on the SOD-like activity of young green barley leaves (*Hordenum vulgare L*). Master thesis Korea University. p9
- Qin L, S Guo, W Ai, Y Tang** (2008) Selection of candidate salad vegetables for controlled ecological life support system. *Adv Space Res* 41:768-772
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G** (1996) Structure antioxidant activity relationship of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biol Med* 20: 933-956
- Sakamoto M, Suzuki T** (2015) Elevated root-zoon temperature modulates

growth and quality of hydroponically grown carrots. *Agricultural Sciences* 6:749–757. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.68072>

Shin MO, Bae SJ (2001) The effect of *Daucus carota* L. extracts on the fluidity of phospholipid liposomes. *Korean J Soc Food Sci* 30:646–650

Um YC, Oh SS, Lee JG, Kim SY, Jang YA (2010) The development of container-type plant factory and growth of leafy vegetables as affected by different light sources. *J Bio-Env Con* 19:333–342

Yu MH, IM HG, Lee HJ, Ji YJ, Lee IS (2006) Components and their antioxidative activities of methanol extracts from sarcocarp and seed of *Zizyphus jujuba* var. *inermis* Rehder. *Korean J Food Sci Technol* 38:128–134

요 약

본 연구는 한 해에 1 작의 형태로 이루어지는 당근 노지재배에서 뿌리만을 이용하는 것을 달리 하여 잎에도 뿌리와 같은 영양 성분이 함유되어 있을 것으로 판단하여 잎을 이용해 보고자 수경재배 방식으로 이 시험을 실시하게 되었다.

시험은 각각 온실과 식물공장에서 실시하였으며, 온실재배에 있어 계절별 생육을 비교해 보고자 EC(Electrical Conductivity)를 달리 조성하여 고온기와 저온기 재배를 실시하게 되었다. 고온기 재배에서 당근의 일본 원예시험장 배양액 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 와 제주 대학교 개발배양액 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 당근 뿌리의 열근 현상이 나타났고, 고온기 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이상에서 잎 끝이 황화되는 현상이 관찰되었다. 이점을 제외하고 고온기와 저온기 모두 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 이하에서 생육이 좋음을 확인 할 수 있었으나 고온기 생육에 있어 비료 투입량에 따른 경영비 상승을 감안하여 배양액 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 재배하는 것이 좋을 것으로 판단하였다.

식물공장 당근 재배에서 재배 일수가 짧은 관계로 당근 뿌리는 직근의 형태로 잘 형성되지 않고 수염뿌리 형태로 자라 이용할 수 없을 것으로 판단되며, 당근 잎 생육에 있어 온실재배에서 배양액 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 생육이 좋았으나 식물공장에서는 배양액 농도 $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 잎이 전체적으로 황화되는 현상이 관찰되어 배양액 농도 2.0, 3.0, 그리고 $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 시험을 실시하게 되었다.

시험 결과 당근 잎의 생육은 온실재배와 달리 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 좋음을 확인할 수 있었으며, 당근 잎의 성분을 확인한 결과 건물중 g 당 총

페놀류 함량은 배양액 농도 $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 높으나 식물체당 생산되는 건물중이 높은 배양액 농도 $3.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 에서 재배하는 것이 좋을 것으로 판단된다.