



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

식물공장에서 콜라비 생산을 위한
적정 품종, 배양액 및 재식밀도
선발

제주대학교 대학원

원예학과

운 찬 일

2017년 2월



식물공장에서 콜라비 생산을 위한 적정 품종, 배양액 및 재식밀도 선발

지도교수 조 영 열

운 찬 일

이 논문을 농학 석사학위 논문으로 제출함

2016년 12월

운찬일의 농학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 _____ (印)

위 원 _____ (印)

위 원 _____ (印)

제주대학교 대학원

2016년 12월



Selection of Optimum Variety, Nutrient
Solution and Planting Density the Production
of Kohlrabi in Plant Factory

Chan-II Uoon

(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	4
Chapter I. 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육에 영향을 미치는 배양액의 조성과 농도	6
Abstract.....	6
서언	8
재료 및 방법.....	11
결과 및 고찰.....	13
초록	22
인용문헌	24
Chapter II. 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육과 품질에 대한 적정 재식밀도	27
Abstract.....	27
서언	29

재료 및 방법.....	31
결과 및 고찰.....	34
초록	49
인용문헌	50
Chapter III. 완전제어형 식물공장에서 수경재배에 적합한 콜라비 품종.	53
Abstract.....	53
서언	55
재료 및 방법.....	57
결과 및 고찰.....	60
초록	72
인용문헌	73
적요	77

List of Tables

Table 1-1. Growth characteristics of kohlrabi grown under different nutrient solution in a closed-type plant factory system.	19
Table 2-1. Quality characteristics of kohlrabi grown under different planting densities at 66 days after transplanting in a closed-type plant factory system.	48
Table 3-1. Growth characteristics of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.	61
Table 3-2. Quality characteristics of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.	67
Table 3-3. Number of marketable product of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.	70
Table 3-4. Bulb shape of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.	71

List of Figures

- Fig. 1-1. Total fresh and dry weight per plant of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting.14
- Fig. 1-2. Bulb fresh and dry weights per plant of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting. ... 15
- Fig. 1-3. Changes of fresh weight and dry weight of kohlrabi grown under different nutrient solution treatment.17
- Fig. 1-4. Soluble solid of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting.21
- Fig. 2-1. Distribution of light intensity under 5-band radiation type fluorescent lamps.32
- Fig. 2-2. Shoot fresh and dry weights per plant of kohlrabi grown under different planting densities.35
- Fig. 2-3. Shoot fresh and dry weights per area of kohlrabi grown under different planting densities.37
- Fig. 2-4. Width of kohlrabi bulb grown under different planting densities.39
- Fig. 2-5. Bulb fresh and dry weight per plant and Bulb fresh and dry weights per area of kohlrabi grown under different

planting densities at 66 days after transplanting.	40
Fig. 2-6. Length of kohlrabi bulb grown under different planting densities.	42
Fig. 2-7. Leaf area of kohlrabi grown under 66 days after transplanting different planting densities.	44
Fig. 2-8. Photosynthetic rate of kohlrabi grown under different planting densities at 66 days after transplanting.	46
Fig. 3-1. Distribution of light intensity of high brightness LED. ..	58
Fig. 3-2. Relative growth rate of kohlrabi cultivars.	63
Fig. 3-3. Changes of bulb width of kohlrabi cultivars	65

서 언

식물공장(Plant Factory)이란 작물의 생육에 필요한 환경요인, 즉 광, 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액 조성 및 농도 등을 작물 생육에 적합한 최적의 상태로 제어하여, 작물을 계획적으로 연속생산, 고속생산 및 대량생산이 가능한 시스템을 말한다(Cha et al., 2012). 식물공장에서는 재배환경을 정밀하게 조절할 수 있어 생산성의 향상과 생산물의 고품질화가 가능하다(Takatsuji, 2008). 특히 계절과 관계없이 고품질 농산물의 연속 생산이 가능하기 때문에 식물공장에 대한 관심이 높아지고 있다(Lee et al., 2010). 최근 농약, 미생물 등 식품안전과 관련하여 안전한 농산물에 대한 소비자들의 요구가 증가하고 있다. 또한 지구 온난화 현상으로 발생하는 극심한 가뭄이나 홍수 같은 자연재해 등, 외부 환경요인의 변화에 의해서 나타날 수 있는 국제 곡물가격 폭등과 같은 식량안보 차원에서의 식물공장에 대한 중요성이 부각되고 있다(Um et al., 2010). 식물공장의 종류 중 인공광만을 이용하여 작물을 재배하는 형태인 완전제어형 식물공장은 외부환경의 영향을 받지 않고 작물의 재배가 가능하기 때문에 사막, 극지방, 바위섬 및 나아가서 우주공간과 같은 식물의 생육이 불가능한 지역에서도 입지여건과 상관없이 작물의 재배가 가능하다(Choi et al., 2013). 이러한 이점에도 불구하고 식물공장에서 수경재배에 적합한 작물의 종류가 매우 제한적이며, 지금 까지 진행되어온 대부분의 연구는 식물공장에 적용할 수 있는 몇 가지 엽채류의 생육, 수량 및 품질 향상과 관련한 연구에 국한되어 있다(Cho et al., 1998). 따라서 식물공장에서 적용하여 재배가 쉽고 부가가치가 높은 고소득 작물에 대한 연구가 이루어져야 한다.

콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongylodes*, Kohlrabi)는 양귀비목 배추과에 속하는 2년생 초본식물로 비대줄기를 식용대상으로 하는 채소이다(Kim et al.,

2014). 콜라비에는 비타민 C와 칼륨이 많고(Choi et al., 2010), 항산화 기능성 물질로 알려진 antocyanin, carotenoid, glucosinolate 등이 다량으로 함유되어 있어(Park et al., 2012), 수요가 계속해서 증가하고 있는 추세이다. 현재 전국적으로 많은 농가에서 재배하고 있으며, 특히 제주도에서는 고품질의 채소를 생산하기 위해 월동채소 중 하나로 이용되고 있다(Choi et al., 2010). 또한 월동 무나 당근과 같이 농가소득에 기여도가 높은 작물 중 하나이다.

식물공장에서 콜라비를 수경재배하기 위해서는 여러 가지 환경적 요건이 갖추어져야 한다. 그 중에서 콜라비의 생육에 적합한 배양액의 조성 및 농도는 콜라비의 생육과 수량에 있어 매우 중요한 요소이다. 배양액의 개발과 관련하여 배추과 식물의 수경재배에서 작물에 적합한 배양액을 개발하여 재배하였을 때, 작물의 생육과 비타민 C등의 항산화 물질이 증가한다고 하였다(Choi et al., 2005). 그러나, 콜라비의 수경재배에 대한 연구는 아직까지 수행된 적이 없기 때문에 콜라비를 식물공장에서 재배하는데 적합한 배양액의 조성과 농도를 구명하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

작물의 수량성 요소와 관련하여 일정한 범위 내에서의 재식밀도 증가는 작물의 광합성 지수 및 광 이용효율을 높여 작물의 수율 향상을 위한 재식밀도 효과를 극대화할 수 있다고 하였는데(Dieoenbrock, 2000), 식물공장에서 재배하는 작물에 대한 재식밀도는 경제성과 관련하여 매우 중요한 요소이기 때문에 식물공장의 생산성 측면에서 단위면적당 생산량을 높이기 위해서는 재배작물의 종류나 품종에 적합한 재식밀도에 대한 연구가 필요하다.

식물공장의 생산성 향상을 위해서는 수경재배에 적합한 품종을 선택하는 것이 중요하다. 재배중에 발생하는 열과 및 기형과 등의 비상품 발생은 생산성을 저하시킬 뿐만 아니라 수입 감소에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로, 재배 안정성

높은 품종을 재배하는 것이 여러 가지 측면에서 유리한데, 식물공장에서 콜라비를 재배하기 위해서는 수경재배에 적합한 콜라비 품종에 대한 선행 연구가 수행되어야 한다.

본 연구는 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육과 품질에 영향을 주는 배양액의 조성과 농도 및 적정 재식밀도와 식물공장에서 재배에 적합한 품종을 구명하고자 수행되었다.

인용문헌

Cha MK, Lee SH, Cho YY (2012) Selection of leaf vegetables and set-up of planting density and light intensity in the plant factory. J Asian Agric Biotechnol 28:17-23

Cho YY, Hahn DW, Lee YB (1998) Effect of artificial light sources on growth of crisphead lettuce in plant factory. J Bio Fac Env 7:35-42

Choi SH, Ryu DK, Park SY, Ahn KG, Lim YP, An GH (2010) Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). J Korean Soc Hortic Sci 28:469-475

Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee SG, Oh SS, Lee HJ, UM YC (2013) Effect of artificial light sources on growth and quality characteristics of leaf lettuce in closed plant factory system. J Agric Life Sci 47:23-32

Diepenbrock W (2000) Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) a review. Field Crops Res 67:35-49

Kim DB, Oh JW, Lee JS, Park IJ, Cho JH, Lee OH (2014) Antioxidant activities of green and purple kohlrabi juices. Korean J Food Sci Technol 46:601-608

Lee JG, Oh SS, Cha SH, Jang YA, Kim SY, Um YC (2010) Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and

anthocyanin contents of baby leaf lettuce. J Bio-Env Con 19:351-359

Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, Uddin MR, Park NI, Kim SJ, Park SU (2012) Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). J Agr Food Chem 60:8111-8116

Takatsuji M (2008) Definition and meaning of the plant factory, p. 8-13. In: M. Takatsuji (ed.). Plant factory. World Science Publishment, Seoul, Korea.

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

Chapter I. 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육에 영향을 미치는 배양액의 조성과 농도

Chapter I. Optimal Composition and Electrical Conductivity on Growth of Kohlrabi in a Closed-type Plant Factory System

Abstract

Plant factory system has been increased to researches. But limited kinds of cultivated crops to be suitable for them and limited to leaf vegetables. This study was found out to investigate the optimal composition and concentration of nutrient solution for kohlrabi (*Brassica oleracea* var. gongylodes) in a closed-type plant factory. Green and red kohlrabi seeds were used as materials. A fluorescent lamp was used as an artificial light source. And light intensity was measured at a height of 40cm from 160 to 180 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. For the kohlrabi cultivation, nutrient solution was developed (JNU; $\text{NO}_3\text{-N} 16.0$, $\text{NH}_4\text{-N} 1.0$, $\text{P} 10.0$, $\text{K} 10.0$, $\text{Ca} 3.0$, $\text{Mg} 1.0$ and $\text{SO}_4\text{-S} 1.0 \text{ mM} \cdot \text{L}^{-1}$) by plant analysis. The Jeju national university (JNU) concentrations were EC 1.0, 2.0 and 4.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ compared to Japan horticulture station (JHS) solution at EC 2.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Growth characteristic of fresh weight, bulb length, bulb width, leaf number, and leaf area were investigated. The results of EC concentration were not shown statistical

significance for the total fresh and dry weight of varieties treatments. Fresh weight of bulb was highest at 181.7g of red kohlrabi of JNU 2.0 dS · m⁻¹ treatment. And dry weight of the bulb was 8.6g higher than the red kohlrabi treated with JNU 2.0 dS · m⁻¹. Number of leaves and leaf area were not shown statistical significance in all treatments. The result was confirmed that the shoot growth rate of the kohlrabi was not proportional to the enlargement of the bulb. It was concluded that the difference of cultivars bulb from the growth of the stalks was not uniform in the green kohlrabi. JNU 2.0 dS · m⁻¹ was highest growth of the kohlrabi. It was judged to be suitable for kohlrabi cultivation. Based on our results, we conclude that the optimal concentration was JNU 2.0 dS · m⁻¹ for growth of kohlrabi in a closed-type plant factory system.

Additional key words: *Brassica oleracea*, bulb, EC, fluorescent lamps, length, nutrient solution, width.

서 언

최근 안전한 먹거리에 관한 소비자들의 관심이 높아지면서 고품질 농산물을 안전하게 생산할 수 있는 방법에 대한 연구가 이루어지고 있다(Kim et al., 2013). 식물공장(plant factory)은 광 환경, 온도, 수분, 이산화탄소, 습도, 배양액의 조성과 농도 등 작물이 필요로 하는 생육조건을 인위적으로 조절하여 계절과 관계없이 고품질 안전 농산물을 연중 생산할 수 있는 시스템이다(Lee et al., 2010). 식물공장에서는 작물재배에 필요한 생산공정을 자동화하여 작물을 연속적으로 대량생산 및 기획생산이 가능하며(Cha et al., 2012), 작물의 생육에 필요한 재배환경을 정밀하게 조절할 수 있기 때문에 생산물의 고품질화가 가능하고 생산성을 크게 향상시킬 수 있다(Takatsuji, 2008). 최근 심각한 문제로 대두되고 있는 가뭄이나 홍수, 폭설 등과 같은 기상이변 현상에 의한 국제 곡물가격 폭등은 국가의 식량안보에 위협을 주는 요인으로 작용한다. 식물공장은 이러한 이상기후와 같은 환경의 영향을 받지 않고 작물을 생산할 수 있기 때문에 이에 대한 관심이 증가 하고 있다(Um et al., 2010). 또한 식물공장기술은 환경의 영향뿐만 아니라 장소의 제한을 받지 않기 때문에 극지, 바위섬, 사막 등의 조건에서도 작물재배가 가능하고, 더 나아가서 우주공간에서도 작물의 재배가 가능한 기술이다(Choi et al., 2013). 그러나 초기 시설비용이 매우 비싸고 재배기술이나 관리에 소요되는 비용이 상당히 높기 때문에 부가가치가 높은 고품질 농산물의 생산은 가능하지만 투자비용 대비 낮은 경제성이라는 근본적인 한계를 가지고 있다(Choi et al., 2013). 또한 재배되고 있는 작물의 종류가 단지 몇 가지 엽채류에 국한되어 있으며, 생육과 수량 및 품질 향상에 관련된 연구만이 수행되어 왔다(Cho et al., 1998). 따라서 식물공장에서 재배할 수 있는 다양한 작물에 대한 연구가 수행 되어야 할

것이다.

양귀비목 배추과에 속하는 콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongylodes*, kohlrabi)는 겨울을 지내고 이듬해에 개화 결실 하는 2년생 식물로 비대 된 별브를 식용으로 이용하는 채소이다(Kim et al., 2014). 노지 월동이 가능하여 고품질 콜라비를 생산할 수 있는 제주도에서 재배하기 시작하여 현재 전국적으로 재배되고 있다(Kim et al., 2014). 콜라비에 다량으로 함유되어 있는 antocyanin, carotenoid, vitamin C, glucosinolate 등의 영양성분은 항산화 기능이 우수한 것으로 알려져 있어 고품질 웰빙 채소로서 콜라비에 대한 소비자의 관심이 증가하고 있다(Choi et al., 2010; Park et al., 2012). 재배 형태는 대부분 노지에서 재배하고 있기 때문에 잡초 및 병해충 방제를 위한 약제 살포가 불가피한 실정인데 비하여 완전제어형 식물공장은 외부와 완전히 차단되어 있기 때문에 병해충 발생이 적어 농약을 사용하지 않고 작물재배가 가능하다(Lee, 2010).

완전제어형 식물공장에 콜라비를 수경재배시스템에 적용하기 위해서는 여러 가지 환경적 요건이 갖추어져야 한다. 그 중에서도 콜라비에 적합한 배양액의 조성과 농도는 생육과 수량에 있어 매우 중요한 요소이기 때문에 이에 대한 연구가 선행되어야 한다. 현재 농업적으로 이용되고 있는 배양액의 종류는 원예연구소 배양액, 일본 원예시험장 배양액, yamazaki 배양액, 유럽온실작물연구소 배양액 등이 있으나(Huang et al., 2007), 특정 작물에 대한 배양액의 개발은 아직 미비한 수준이다. 배추과 식물의 수경재배에서 작물에 적합한 배양액을 개발하여 재배하였을 때, 작물의 생육과 비타민 C 등의 항산화 물질이 증가한다고 하였다(Choi et al., 2005). 그러나 아직까지 식물공장에서 콜라비의 수경재배에 관한 연구가 전무한 실정이다. 따라서, 본 연구는

완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육에 적합한 배양액의 조성과 농도를 구명하기 위해 수행 하였다.

재료 및 방법

본 실험은 제주대학교에 설치된 완전제어형 식물공장(W500cm×L700cm×H300cm)에서 Nutritional Film Technigue(NFT) 수경재배 방식(W 60× L 240 × H 200cm)을 적용하여 실시하였다. 공시 종자는 2015년 4월에 아람종묘에서 구입한 적콜라비와 청콜라비를 사용하였고, 07월 06일에 우레탄 스펀지 폼(2.5×2.5×2.5cm)에 파종하여 본엽이 3매 전개된 식물체를 재식밀도 (15×15cm)로 하여, 식물공장에 설치된 재배 배드에 정식 하였다. 실험기간은 2015년 07월 20일부터 2015년 09월 11일 까지 52일 동안 수행 하였다. 실험에 사용된 인공광원은 3과장 형광등(55W, Phillips Co., Ltd., the Netherlands)을 사용하였고, 높이 40cm에서 광도를 160~180 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 하였으며, 일장은 12/12시간으로 조절 하였다. 광도 측정은 광 센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebrasks, USA)를 이용 하여 측정 하였다.

온도와 상대습도 센서(HMP45AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)를 통해 얻은 결과 값을 에어컨(HP-N239L, Samsung Electronics Co., Ltd., Korea)과 히터(HV-7800, Hanvit System Co., Ltd., Korea)를 이용하여 조절 하였고, 상대습도는 가습기(NH-5, Hwajeun Eng., Korea)와 제습기(SG-M220S-4, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)를 병행 이용하였다. 재배기간 동안 내부온도는 21.8-29.2(평균 25.1)℃였고, 상대습도는 39.6-70.2(평균 53.5)%였다. 이산화탄소는 이산화탄소센서(GMP222, Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 측정하였으며 ON/OFF 타입으로 제어하였다. 이산화탄소의 농도는 지하공기를 이용하여 평균 556 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 로 공급하였다.

실험을 위해서 식물체 분석을 통한 무기이온 함량에 따른 결과를 토대로

배양액 계산 프로그램을 이용하여 콜라비 전용배양액(JNU)을 개발한 후 조성된 배양액($\text{NO}_3\text{-N}$ 16.0, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.0, P 1.0, K 10.0, Ca 3.0, Mg 1.0, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1.0 $\text{mM} \cdot \text{L}^{-1}$)을 EC 1.0, 2.0, 4.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 하여 일본 원예시험장 배양액(JHS) EC 2.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 와 생육량을 비교 하였다. 배양액의 pH는 5.5~6.5로 매일 조절 하였고, 배양액은 24시간 공급하였고, 110 l의 양액 탱크를 사용하였으며, 초기 배액량은 90 l였다 .

생육조사는 정식일을 포함하여 10, 25, 40 그리고 52일차에 거쳐 5회 실시 하였다. 조사항목은 생체중, 건물중, 벌브의 종경과 횡경, 엽수, 엽면적, 벌브의 생체중과 건물중, 엽록소함량, 당도 등을 조사하였다. 건물중 측정을 위해 건조기(VS-1202D2, Vision Scientific, Korea)에서 70℃에서 72시간 건조하여 사용하였다. 엽록소함량은 엽록소측정기(Minolta Co., Ltd., Japan)을 이용하였으며, 당도는 휴대용 당도측정계(PAL-3, ATAGO, Japan)를 이용하여 측정 하였다.

실험구는 완전임의배치 하였고, 처리별로 3반복으로 실시 하였다. 통계적인 유의성 검정을 위하여 SAS(Statistical Analysis System, ver9.4, Cary, NC, USA)프로그램을 이용 하였고, 그래프작성은 SigmaPlot(ver. 10.0, Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

식물공장에서 재배한 콜라비를 정식 52일 경과한 후 수확하여 생육량을 비교하였다. 수확대상인 별브를 포함한 생체중과 건물중은 품종 및 처리별로 통계적인 유의성을 나타내지 않았다(Fig. 1-1). 그러나 별브의 생체중은 개발한 콜라비 전용 배양액 JNU 2.0dS · m⁻¹ 처리구의 적 콜라비가 181.7g으로 가장 높게 나타났다(Fig. 1-2A). 건물중 역시 JNU 2.0dS · m⁻¹ 처리한 적콜라비에서 8.6g으로 높게 나타났다(Fig. 1-2B). 담액수경 재배한 배추과 채소류의 경우 EC 2.4dS · m⁻¹의 농도에서 생육이 가장 좋다고 하였는데(Seo et al., 2007), 본 실험에서도 EC 2.0dS · m⁻¹ 처리구에서 콜라비의 생육이 전반적으로 우수하게 나타났다. 반면 콜라비의 생체중과 건물중 총량과 관련하여 십자화과 채소인 적겨자와 청경채의 연구에서 생리장해가 나타나지 않는 수준에서 EC가 높아질 수록 생체중과 건물중이 증가 하였다고 보고한 Lee et al.(2012)의 연구와는 다른 결과를 나타내었다. 그러나 별브의 생육은 식물공장에서 재배한 적측면 상추의 경우에서 EC 2.0과 3.0dS · m⁻¹에서 높은 생육을 보인 결과와 유사하게 나타났다(Cha et al., 2012). 특히 JNU 1.0dS · m⁻¹의 적콜라비 처리구는 전 개체에서 비대가 되지 않거나 기형으로 나타나 생육조사 항목에서 제외 하였다.

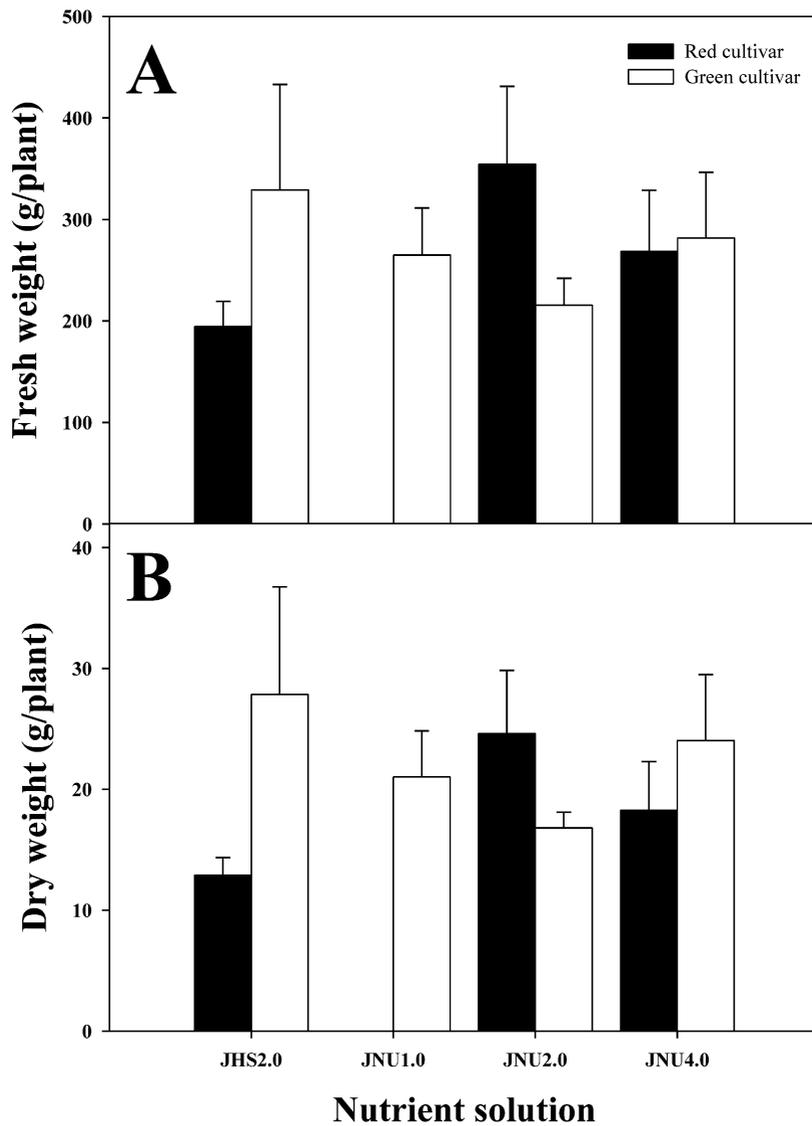


Fig. 1-1. Total fresh (A) and dry weight (B) per plant of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting. Vertical bars represent the standard error (n=4, 3, 7, 5, 2, 4, and 4, respectively).

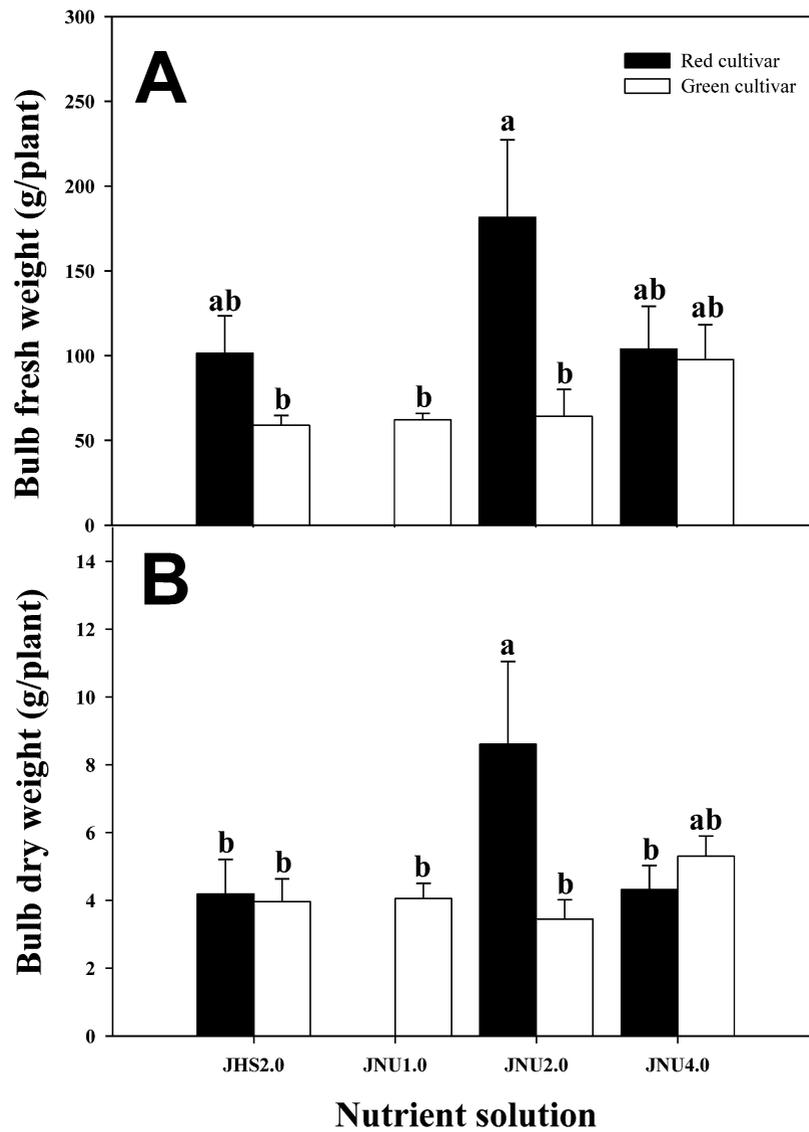


Fig. 1-2. Bulb fresh (A) and dry weights (B) per plant of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting. Vertical bars represent the standard error (n=4, 3, 7, 5, 2, 4, and 4, respectively).

실험 기간 동안 생체중과 건물중의 변화는 다음과 같이 나타났다(Fig. 1-3). 생체중과 건물중은 모든 처리구에서 유의성을 나타내지 않았으나, 전반적으로 25일까지는 생육이 천천히 증가하다가 이후부터 빠르게 증가하는 모습을 나타내었다. 생체중의 경우는 JHS $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구의 청콜라비가 25일부터 생육 곡선이 균일하게 증가하는 모습을 나타냈다(Fig. 1-3A). JNU $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 배양액 처리구의 적콜라비의 경우 정식 후 생육량이 비교적 완만하게 증가하다가 40일 이후부터는 52일까지 급격하게 증가 하였는데, 이러한 형태는 배양액을 높은 농도로 처리한 JNU $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리구의 적콜라비와 청콜라비 모두에서 유사하게 나타났다. 그러나 JHS $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 적콜라비와 JNU $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 청콜라비 처리구에서 40일 이후부터 다른 처리구에 비해서 생체중의 증가추세가 눈에 띄게 감소하였는데 이는 품종에 따른 영향이 작용한 것으로 생각된다. 건물중의 변화 또한 생체중의 변화와 비슷한 양상을 나타냈으며, 처리구별 유의한 차이는 인정되지 않았다(Fig. 1-3B). 본 실험에서는 전체 생체중과 건체중에 영향을 주는 별브의 비대생육이 안정적으로 이루어지지 않아 수확한 콜라비의 생육이 균일하지 못한 점 때문에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나 생육조사 기간 사이의 생체중의 증가량을 보면 급격히 증가하는 처리구와 그렇지 않은 처리구로 차이가 나타나는 것으로 보아 보다 안정적인 별브의 생장 및 비대가 가능한 품종을 이용한 추가적인 연구가 수행 되어야 할 것이다.

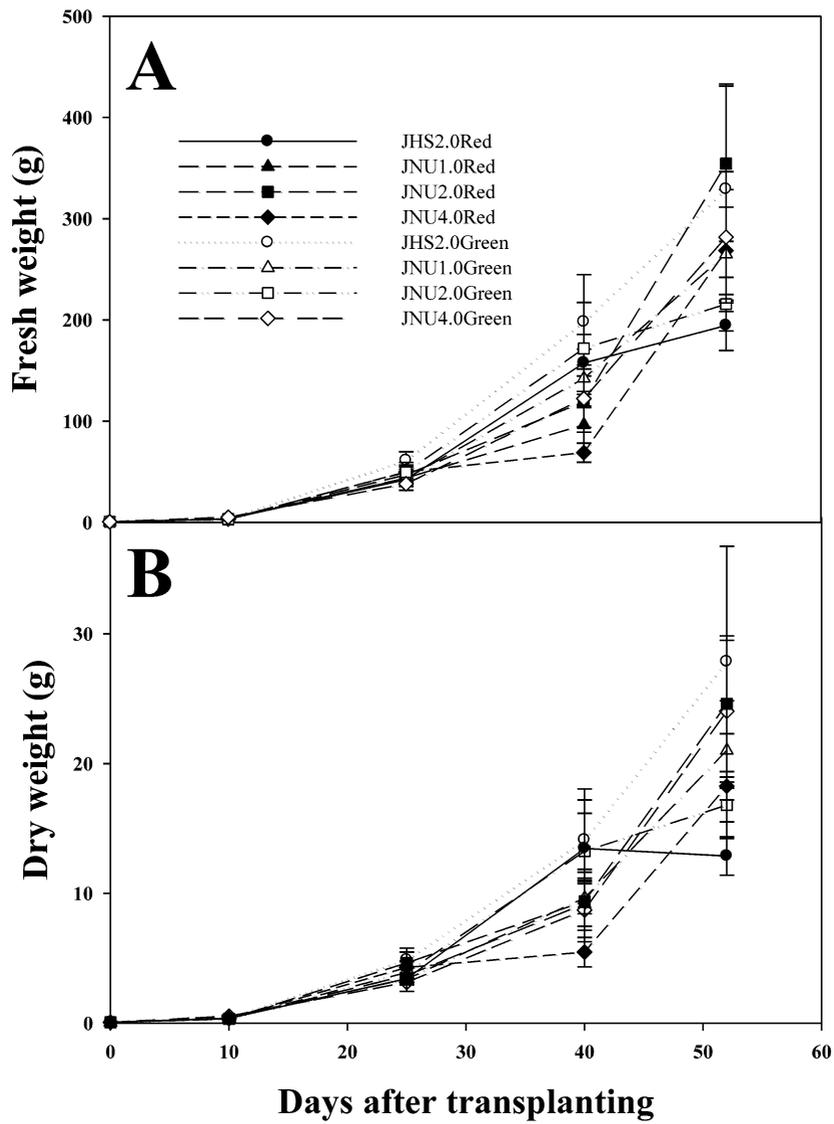


Fig. 1-3. Changes of fresh (A) and dry weight (B) of kohlrabi grown under different nutrient solution treatment. Vertical bars represent the standard error (n=3).

생육과 관련된 요인 중에서 생체중과 건물중을 제외한 생육조사항목은 Table. 1-1과 같다. 별브의 종경은 JNU 2.0dS · m⁻¹ 처리구의 적콜라비가 91.4mm로 가장 높았고 59.1cm로 조사된 청콜라비 1.0dS · m⁻¹ 처리구가 가장 낮게 나타났다. 줄기비대와 관련하여 중요한 요소로 작용하는 별브의 횡경은 적콜라비 JNU 2.0dS · m⁻¹ 처리구가 65.4mm로 높게 나타났으며, 청콜라비 JNU 1.0dS · m⁻¹, 2.0dS · m⁻¹와 대조구인 JHS 2.0dS · m⁻¹ 처리구에서 각 각 49.7, 48.0과 46.0mm로 낮게 나타났다. 별브의 종경과 횡경에 대한 별브의 형태지수는 모든 처리구에서 유의적인 차이가 없었다. 엽수는 JNU 4.0dS · m⁻¹ 처리구에서 19.5매로 높게 조사 되었다. 엽면적과 엽록소 함량은 모든 처리구에서 통계적인 유의성을 나타내지 않았다. 그러나 생육기간 중에 하위엽이 황화하는 현상이 발생하였는데 이는 높은 재식밀도 하에서 개체간의 차광에 의한 것으로 생각된다.

Table 1-1. Growth characteristics of kohlrabi grown under different nutrient solution in a closed-type plant factory system.

Cultivar	Nutrient solution	Electrical Conductivity (dS · m ⁻¹)	Bulb Length (mm)	Bulb Width (mm)	Bulb shape index (mm)	Leaf Number	Leaf Area (cm ²)	Chlorophyll Content (SPAD)
Red	JHS ^z	2.0	68.8b ^y	55.04 ab	1.25	12.75 b	1788	56.4
Green	JHS	2.0	64.3 b	46.0 b	1.4	13.7 b	3640	55.1
Green	JNU	1.0	59.1 b	49.6 b	1.2	13.7 b	2895	52.3
Red	JNU	2.0	91.4 a	65.4 a	1.42	16.4 ab	3139	50.4
Green	JNU	2.0	61.0 b	48.0 b	1.29	13.0 b	2473	48
Red	JNU	4.0	77.5 ab	54.5 ab	1.44	19.5 a	2957	55
Green	JNU	4.0	69.8 b	55.6 ab	1.26	13.0 b	2534	53

^z JHS : Japanese Horticultural Station and JNU : Jeju National University

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

당도는 JNU $4.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리한 청콜라비에서 7.2 °Brix로 가장 높았고, JNU $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 청콜라비 처리구에서 4.8 °Brix로 가장 낮게 나타났다(Fig. 1-4). JNU $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 로 처리한 청콜라비와 적콜라비 처리구도 각각 6.9 와 7.0 °Brix로 높게 조사되었다. 전반적으로 생육량이 좋았던 JNU $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 적콜라비 처리구는 6.5 °Brix로 비교적 낮은 당도를 나타냈다. 콜라비의 별브 생육에 있어서 본 실험에서 얻은 결과를 종합해보면 식물공장에서 콜라비를 재배할 때, 당도를 고려하면 JNU $1.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 처리가 적합하지만 생육이 떨어지는 결과가 나타났기 때문에 생육이 가장 좋았던 JNU $2.0\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$ 가 콜라비 재배에 적합한 것으로 판단 하였다.

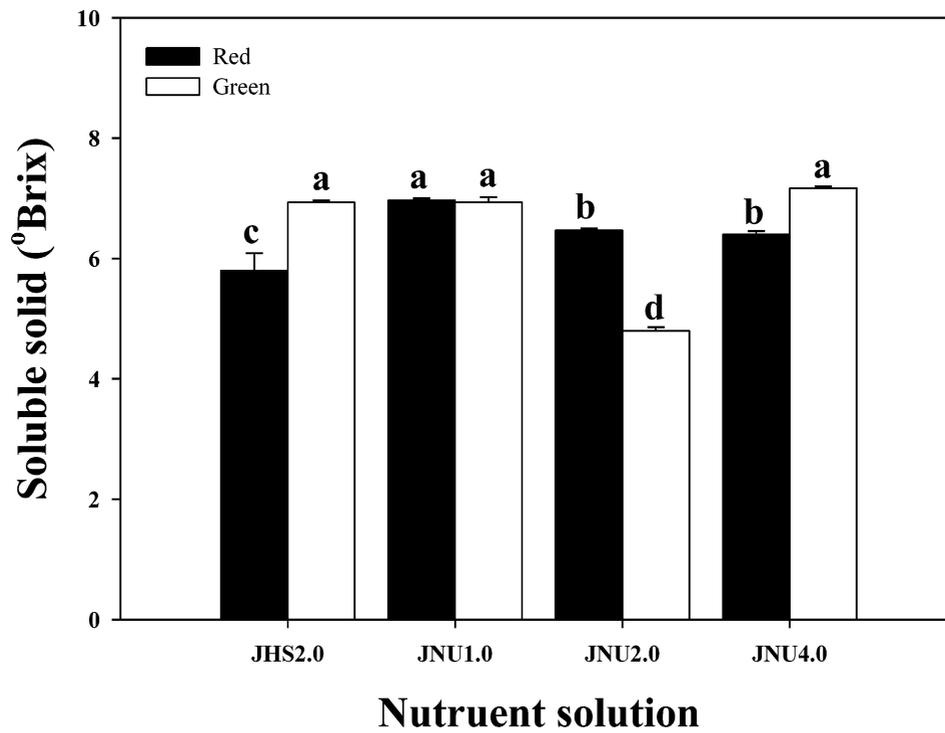


Fig. 1-4. Soluble solid of kohlrabi grown under different nutrient solution at 52 days after transplanting. Vertical bars represent the standard error (n=3).

초 록

식물공장에 대한 관심과 연구는 점차 늘어나고 있지만 아직까지 이에 적합한 재배 작물의 종류가 제한적이며 엽채소류에 한정되어 있는 실정이다. 본 연구는 완전제어형 식물공장에서 콜라비 재배에 적합한 배양액의 조성과 농도를 구명하기 위하여 수행되었다. 실험은 제주대학교 내에 설치된 완전제어형 식물공장에서 수행되었으며, 실험 재료는 시판중인 청콜라비와 적콜라비 종자를 사용하였다. 인공광원으로는 3과장 형광등을 사용하였고, 광도를 $160-180 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 하여 40cm 높이에서 조사 하였다. 실험을 위해 배양액 계산 프로그램을 이용하여 콜라비 전용배양액(JNU; $\text{NO}_3\text{-N}$ 16.0, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.0, P 1.0, K 10.0, Ca 3.0, Mg 1.0, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1.0 $\text{mM}\cdot\text{L}^{-1}$)을 개발하였다. 개발된 JNU농도는 EC 1.0, 2.0, 4.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 처리하였으며, 일본원예시험장 배양액(JHS)을 EC 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 하여 농도 처리에 따른 생육을 비교하였다. 생육조사 항목은 생체중, 별브의 종경과 횡경, 엽수, 엽면적을 조사하였다. EC농도에 대한 결과는 전체 생체중과 건물중은 품종 및 처리별로 통계적인 유의성을 나타내지 않았다. 별브의 생체중은 JNU 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리구의 적콜라비가 181.7g으로 가장 높게 나타났다. 별브의 건물중 역시 JNU 2.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 처리한 적콜라비에서 8.6g으로 높게 나타났다. 엽수와 엽면적은 모든 처리구에서 통계적인 유의성을 나타내지 않았다. 콜라비의 지상부 생육량은 별브의 생육에 미치는 영향이 적은 것으로 생각된다. 전반적으로 지상부 생육이 좋았던 청콜라비에서 줄기의 비대가 균일하지 않은 반면, 지상부 생육량이 낮은 적콜라비의 줄기 비대가 균일하게 일어난 것은 품종의 차이에 의한 것으로 판단된다. 이상의 결과를 종합해 보면 식물공장에서 콜라비를 재배할 때, 당도를 고려하면 JNU 1.0 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리가 적합하지만 생육이 떨어지는 결과가 나타났기

때문에 생육이 가장 좋았던 JNU 2.0dS · m⁻¹가 콜라비 재배에 적합한 것으로 판단 하였다.

추가 주요어: 개발 배양액, 당도, 적콜라비, 청콜라비.

인용문헌

- Cha MK, Lee SH, Cho YY (2012) Selection of leaf vegetables and set-up of planting density and light intensity in the plant factory. J Asian Agric Biotechnol 28:17-23
- 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, Hahn DW, Lee YB (1998) Effect of artificial light sources on growth of crisphead lettuce in plant factory. J Bio Fac Env 7:35-42
- Choi KY, Yang EY, Park DK, Kim YC, Seo TC, Yun HK, Seo HD (2005) Development of nutrient solution for hydroponics of cruciferae leaf vegetables based on nutrient-water absorption rate and the cation ratio. J Bio-Env Con 14:289-297
- Choi SH, Ryu DK, Park SY, Ahn KG, Lim YP, An GH (2010) Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). J Korean Soc Hortic Sci 28:469-475
- Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee SG, Oh SS, Lee HJ, UM YC (2013) Effect of artificial light sources on growth and quality characteristics of leaf lettuce in closed plant factory system. J Agric Life Sci 47:23-32

- Huang HZ, Zhang CH, Yang EY, Lee SG, Choi GY, Yun HK (2007) Effect of nutrient solution for hydroponics on *Liliaceae* leaf vegetables on the amount of ascorbic acid in Chinese chive. *J Bio-Env Con* 16:222-227
- Kim DE, Lee HJ, Kang DH, Lee GI, Kim YH (2013) Effects of artificial light sources on the photosynthesis, growth and phytochemical contents of butterhead lettuce (*Lactuca sativa* L.) in the plant factory. *Protected Hortic Plant Fac* 22:392-399
- Kim DB, Oh JW, Lee JS, Park IJ, Cho JH, Lee OH (2014) Antioxidant activities of green and purple kohlrabi juices. *Korean J Food Sci Technol* 46:601-608
- Lee SW (2010) Plant cultivate used plant factory and LED artificial light. Gyeonggi-do Agricultural Research & Extension Services. *Optical Sci Technol* 14:12-19
- Lee JG, Oh SS, Cha SH, Jang YA, Kim SY, Um YC (2010) Effects of red/blue light ratio and short term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. *J Bio-Env Con* 19:351-359
- Lee SG, Choi CS, Lee JG, Jang YA, Nam CW, Yeo KH, Lee HJ, Um YC (2012) Effects of different EC in nutrient solution on growth and quality of red mustard and pak-choi in plant factory. *J Bio-Env Con* 21:322-326

Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, Uddin MR, Park NI, Kim SJ, Park SU (2012) Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). J Agr Food Chem 60:8111–8116

Seo TC, Rho MY, Gang NJ, Lee SC, Choi YH, Yun HK (2007) Effect of nutrient solution concentration on the growth and mineral uptake of various wrap-up vegetables and herbs grown with mixed planting in DFT hydroponics. J Bio-Env Con 16:395–406

Takatsuji M (2008) Definition and meaning of the plant factory, p. 8–13. In: M. Takatsuji (ed.). Plant factory. World Science Publishment, Seoul, Korea.

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

Chapter II. 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육과 품질에 대한 적정 재식밀도

Chapter II. Optimal Planting Density on Growth and Quality Characteristics of Kohlrabi in a Closed-type Plant Factory System

Abstract

The crops recommended for the plant factory system are diverse. The importance of planting density in the plant factory is being recognized. The objective of this study was to determine the optimal planting density for growth and quality of kohlrabi in a closed-type plant factory system. The kohlrabi was grown under fluorescent lamps and nutrient film technique system. The growth and quality of kohlrabi were investigated under four different planting densities (22 plants/m²(15×30cm), 27 plants/m²(15×25cm), and 33 plants/m²(15 x 20cm). There were no significant difference between shoot fresh and dry weight per plant and bulb stem fresh and dry weights per plant and planting density. Shoot fresh and dry weight per area or bulb stem fresh and dry weight per area were the highest at 33 plants/m². There were no significant difference between plant height, leaf area, photosynthetic rate, hardness, and chlorophyll content and planting density. Significant differences in bulb stem height and width, and

brix were observed. Bulb stem height and width and brix of kohlrabi were the highest at 22 plants/m². Based on our results, we conclude that the optimal planting density is 33 plants/m² for growth of kohlrabi, however, the optimal planting density is 27 plants/m² for quality of kohlrabi in a closed-type plant factory system.

Additional key words: *Brassica oleracea*, bulb stem diameter, fluorescent lamps, shoot dry weight, shoot fresh weight.

서 언

콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongylodes*, Kohlrabi)는 양귀비목 배추과에 속하는 2년생 초본식물로 별브를 식용대상으로 하는 채소이다(Kim et al., 2014). 콜라비는 비타민 C와 칼륨이 많고(Choi et al., 2010), 항산화 기능이 있는 antocyanin, carotenoid, glucosinolate 등이 함유되어 있어(Park et al., 2012), 웰빙 채소로 수요가 계속해서 증가하고 있는 추세이다(Park et al., 2014). 현재 전국적으로 많은 농가에서 재배하고 있으며, 특히 제주도에서는 고품질의 채소를 생산하기 위해 월동채소 중 하나로 이용되고 있으며(Choi et al., 2010; Park et al., 2014), 월동 무나 당근과 같이 농가소득에 기여도가 높은 작물 중 하나이다.

식물공장(Plant Factory)이란 작물의 생육에 필요한 환경요인, 즉 광, 온도, 습도, 이산화탄소, 배양액 조성 및 농도 등을 작물 생육에 적합한 최적의 상태로 제어하여, 계획적으로 연속생산, 고속생산 및 대량생산이 가능한 시스템을 말한다(Cha et al., 2012). 식물공장에서는 재배환경을 정밀하게 조절할 수 있어 생산성의 향상과 더불어 품질을 인위적으로 조절할 수 있으므로 생산물의 고품질화가 가능하다(Takatsuji, 2008). 특히 계절과는 관계없이 고품질 농산물의 생산이 가능하기 때문에 이에 대한 관심이 높아지고 있다(Lee et al., 2010). 최근 농약, 미생물 등 식품안전과 관련하여 안전한 농산물에 대한 소비자들의 요구가 증가하고 있다. 또한 이상기온과 같은 외부 환경요인의 변화에 따른 국제 곡물가격 폭등과 식량안보에 대한 미래 대비 차원에서 식물공장의 중요성이 부각되고 있다(Um et al., 2010). 식물공장 종류 중 하나인 인공광만을 이용한 완전제어형 식물공장은 외부환경의 영향을 받지 않고 작물의 재배가 가능하기 때문에 사막, 극지방, 바위섬 및 나아가서 우주공간과 같은

식물의 생육이 불가능한 지역에서도 입지여건과 상관없이 작물의 재배가 가능하다(Choi et al., 2013). 대부분의 연구는 식물공장에 적용할 수 있는 몇 가지 엽채류의 생육, 수량 및 품질 향상과 관련한 연구 등이 보고되고 있다(Cho et al., 1998). 이처럼 식물공장에 적합한 작물의 종류가 매우 제한적이며 부가가치가 높은 고소득 작물에 대한 재배 방법에 대한 연구가 미흡한 실정이기 때문에 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

작물의 수량성 요소와 관련하여 일정한 범위의 재식밀도 증가는 작물의 광합성 지수 및 광 이용효율을 높여 작물의 수율 향상을 위한 재식밀도 효과를 극대화 할 수 있다고 하였는데(Dieoenbrock, 2000), 식물공장에서 재배하는 작물에 대한 재식밀도는 경제성과 관련하여 매우 중요한 요소이기 때문에 식물공장의 생산성 측면에서 단위면적당 생산량을 높이기 위해서는 재배작물의 종류나 품종에 적합한 재식밀도에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구는 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 생육과 품질에 영향을 주는 적정 재식밀도를 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험기간은 2015년 9월 22일부터 2015년 11월 27일까지 66일 동안 수행하였다. 공시 작물은 적콜라비 품종인 콜리브리(Kolibri, Bejo Zaden Co., Ltd., Netherlands)를 사용하였다. 우레탄 스폰지(2.5×2.5×2.5cm)에 파종하여 본엽이 3매 전개될 때 식물공장에 설치된 재배베드에 정식하였다. 실험은 제주대학교에 설치된 완전제어형 식물공장(500×700×300cm)에서 박막(NFT)수경재배 방식(60×240×200cm)을 적용하여 실시하였다. 실험에 사용된 인공광원은 5과장 형광등(55W, Phillips Co., Ltd., the Netherlands)을 사용하였고, 높이 40cm에서 광도를 $160\sim 180\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 고정하였으며(Fig. 2-1.), 일장은 12/12시간(낮/밤)으로 조절하였다. 광도 측정은 광 센서(LI-190, Li-cor, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하여 측정하였다. 온도와 상대습도 센서(HMP45AC, Campbell Scientific, Logan UT, USA)로 부터 도출된 결과 값을 에어컨(HP-N239L, Samsung Electronics Co., Ltd., Korea)과 히터(HV-7800, Hanvit System Co., Ltd., Korea)를 이용하여 조절하였으며, 상대습도는 가습기(NH-5, Hwajeun Eng., Korea)와 제습기(SG-M220S-4, Shinan Green-Tech Co., Ltd., Korea)를 이용하여 재배기간 동안 실내온도는 14.2-23.6(평균 21.0)℃로 유지하였고, 상대습도는 39.7-69.7(평균 56.8)%였다. 이산화탄소는 이산화탄소센서(GMP222, Vaisala, Helsinki, Finland)를 이용하여 측정하였으며 제어 방식은 ON/OFF 타입으로 제어하였다. 이산화탄소의 농도는 지하공기를 이용하여 494-721(평균 556) $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 였다. 콜라비 배양액은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 16.0, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.0, P 1.0, K 10.0, Ca 3.0, Mg 1.0, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1.0mM·L⁻¹였다. 배양액의 EC농도는 2.0-2.2dS·m⁻¹로 처리하였으며, pH는 5.5-6.5로 매일 조절해 주었다.

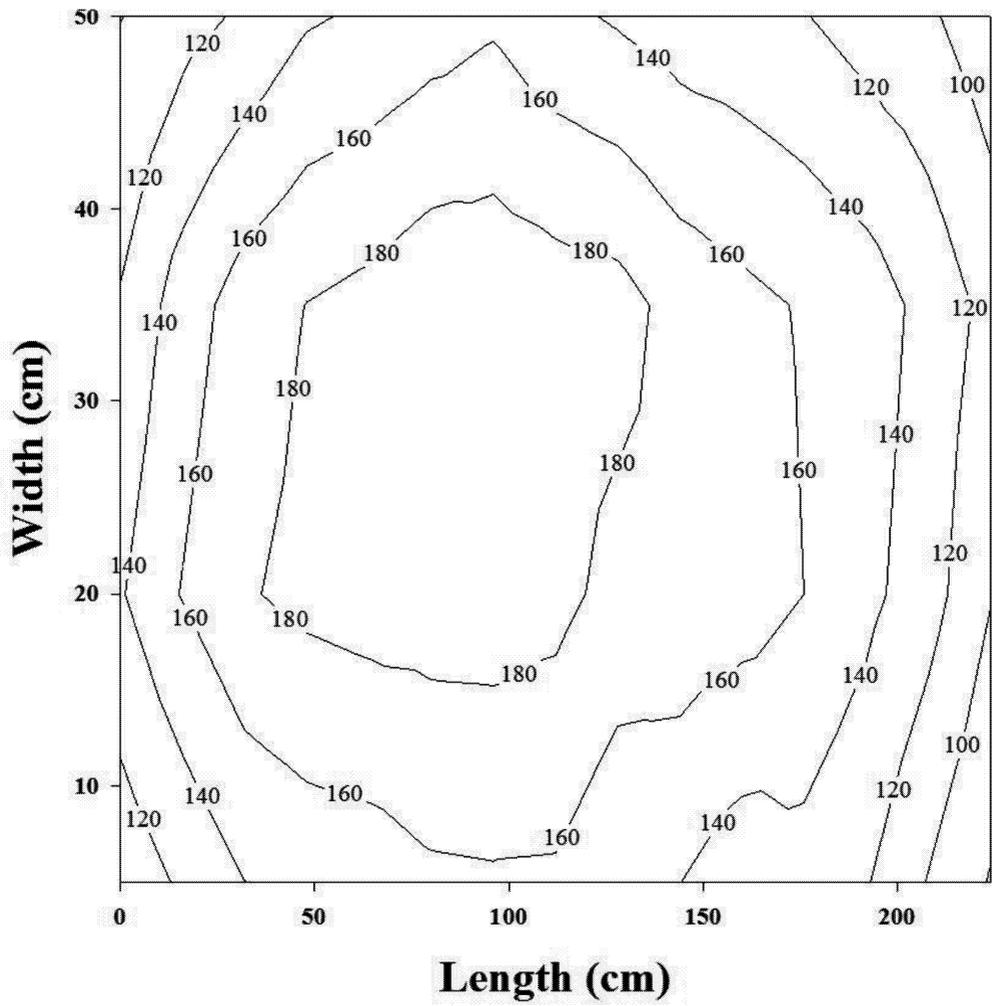


Fig. 2-1. Distribution of light intensity under 5-band radiation type fluorescent lamps.

재식밀도처리는 열간의 거리는 15cm로 고정된 후, 열내의 거리를 20, 25, 30cm로 3처리하였다. 재식밀도는 20, 25, 30cm가 각각 33, 27과 22plants/m²였다. 생육조사 항목은 생체중, 건물중, 초장, 경경, 엽수, 엽면적, 벌브의 생체중과 건물중, 엽록소함량, 광합성, 당도 및 경도를 조사하였다. 건물중은 건조기(VS-1202D2, Vision Scientific, Korea)에 분쇄한 시료를 넣어 70℃에서 72시간 건조하였다. 또한 광합성속도를 알아보기 위해서 광합성측정기(LI-6400, Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA)를 이용하였다. 엽록소함량은 엽록소측정기(Minolta Co., LTD. Japan)를 이용하였고, 광도와 경도는 휴대용 당도측정계(PAL-3, ATAGO, Japan)와 휴대용 경도측정계 5mmØ plunger (FHM-5, Takemura Co., Japan)를 이용하여 측정하였다.

실험구는 완전임의배치법을 이용하였고, 처리별로 3반복으로 실시하였다. 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System, ver9.4, Cary, NC, USA)프로그램을 이용하였으며, DMRT(Duncan's multiple range test)로 처리구별 유의성을 검정하였다. 그래프작성을 위하여 SigmaPlot(ver. 10.0, Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

정식 후 일수에 따른 식물체당 지상부 생체중과 건물중 변화는 Fig. 2-2와 같다. 식물체당 지상부 생체중과 건물중의 변화는 정식일로부터 4주 동안은 완만한 곡선을 보였으며, 정식 후 35일경부터 식물체당 지상부 생체중과 건물중의 변화량이 빠르게 증가하는 양상을 나타냈다. 정식 후 51일째 식물체당 지상부 생체중에서 재식밀도간 유의적인 차이를 보였지만(Fig. 2-2A), 식물체당 지상부 건물중에는 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 2-2B). 정식 후 66일째에 식물체당 지상부 생체중과 건물중은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 식물체당 건물중은 시그모이드 형태인 S자형 형태를 보였다(Fig. 2-2B).

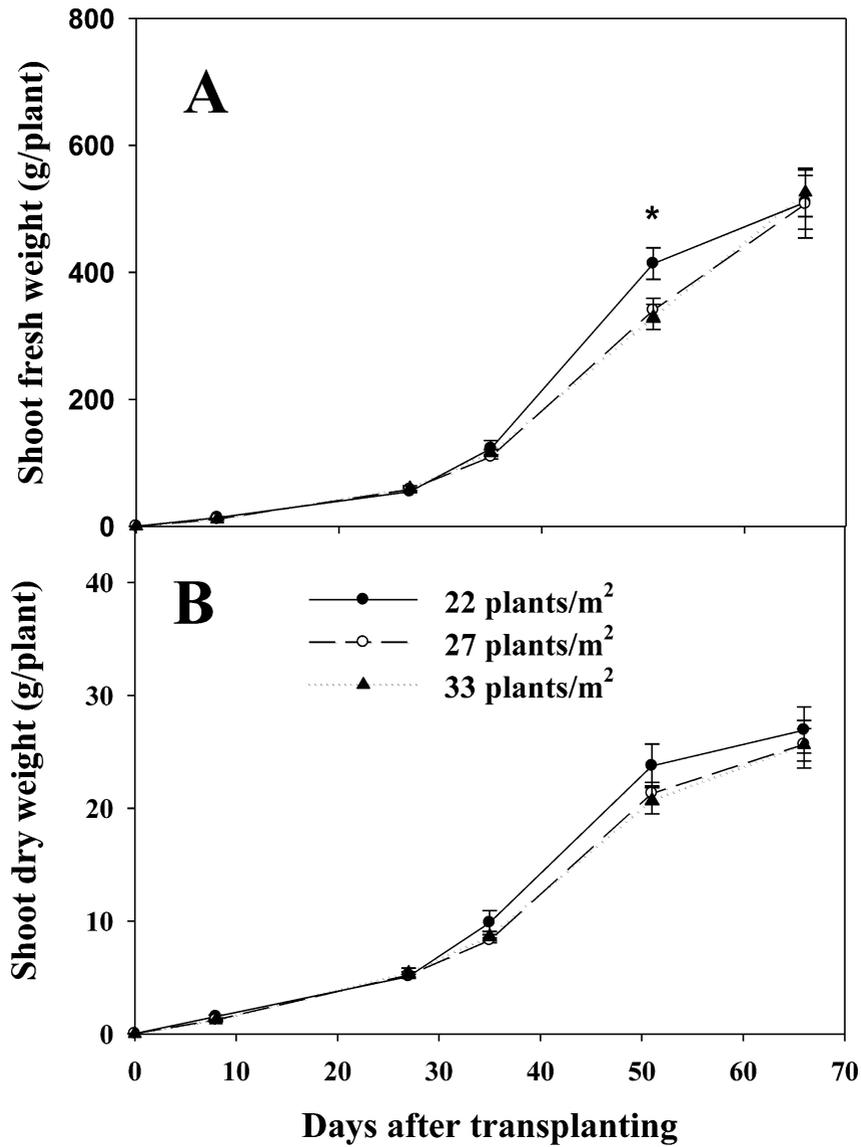


Fig. 2-2. Shoot fresh (A) and dry weights (B) per plant of kohlrabi grown under different planting densities. Vertical bars represent the standard error. The replication plants of 8, 27, 35, 51, and 66 days after transplanting were 4, 4, 5, 6, and 10, respectively.

생육단계별 단위면적당 지상부 생체중과 건물중 변화량은 Fig. 2-3과 같다. 정식 후 35일째와 66일째 단위면적당 지상부 생체중에서 재식밀도간 유의적인 차이를 보였다(Fig. 2-3A). 그리고 정식 후 35일째, 51일째와 66일째 단위면적당 지상부 건물중에서 재식밀도간 유의적인 차이를 보였다(Fig. 2-3B). 단위면적당 지상부 생체중과 건물중은 재식밀도가 높은 처리구에서 높게 나타났다. 본 연구에서는 식물체당 생산량에 있어서 재식밀도가 높을수록 유의적인 차이를 보이지 않지만, 단위면적당 생산량에 있어서는 재식밀도가 높을수록 수량도 증가한다는 결과를 얻었다. NeSmith(1993)와 Reiners and Riggs(1999)의 연구에서는 재식밀도가 높으면 높을수록 적정 재식밀도에 이르기까지 수량이 증가한다고 보고하고 있다. 또 식물공장에서 재배한 상추, 치커리, 청경채 등의 쌈채소의 경우 재식밀도가 높은 처리구에서 가장 높은 수량을 나타냈다고 한 Cha et al.(2012)의 연구결과나 밀식 재배한 돌나물에서 재식밀도에 따른 단위면적당 생산성은 밀식할수록 높아진다고 한 Lee et al.(2010)의 결과와 비슷한 결과를 얻었다. 그러나 NeSmith(1993)와 Reiners and Riggs(1999)의 연구에서는 재식밀도가 높으면 높을수록 적정 재식밀도에 이르기까지 수량이 증가한다고 보고하고 있다. 본 연구에서도 더 높은 재식밀도에 대한 실험을 수행했어야 하지만, 별브의 지름이 10cm 이상 생육하기 때문에, 더 높은 재식밀도는 어렵다고 판단되었다.

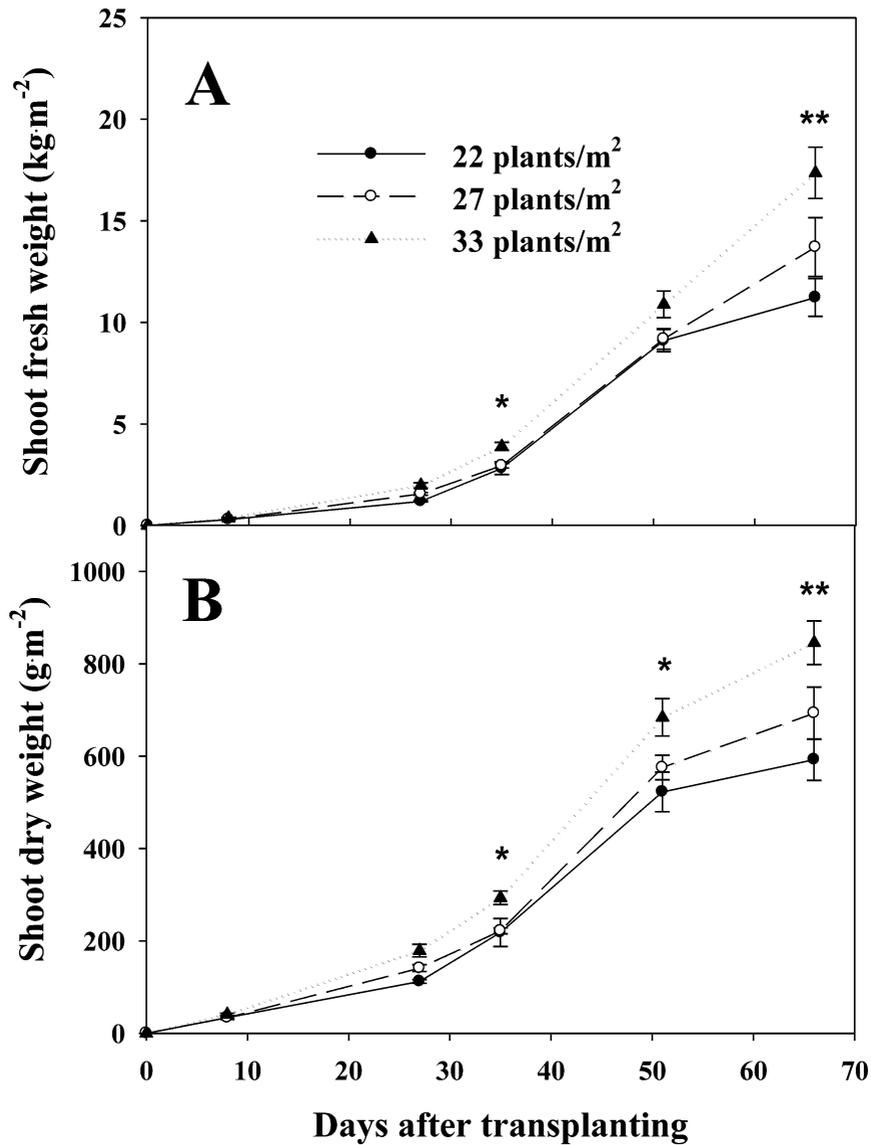


Fig. 2-3. Shoot fresh (A) and dry weights (B) per area of kohlrabi grown under different planting densities. Vertical bars represent the standard error. The replication plants of 8, 27, 35, 51, and 66 days after transplanting were 4, 4, 5, 6, and 10, respectively.

줄기의 비대 생육 변화를 보면 Fig. 2-4와 같다. 정식 후 27일부터 별브의 비대가 급격히 진행되는 것을 알 수 있었다. 정식 후 51일째 별브의 횡경에서 재식밀도간 유의적인 차이를 보였지만, 정식 후 66일째에는 유의적인 차이를 보이지 않았다 (Figs. 2-4 and 2-5A). 그러나, 단위면적당 별브의 지상부 생체중과 건물중은 유의적인 차이를 보였다(Fig. 2-5B). 재식밀도가 높은 처리구 순으로 높은 생육량을 나타냈다. 별브가 전체 지상부 생체중에 차지하는 비율은 증가하였으며, 정식 66일 후 재식밀도 22, 27과 33plants/m²에서 각각 전체 지상부 생체중의 76, 77 그리고 78%를 차지하였다. 식물공장에서의 생육속도는 노지보다 빠르기 때문에, 별브가 차지하는 비율은 생육이 계속될수록 노지에 비해 증가할 것으로 본다.

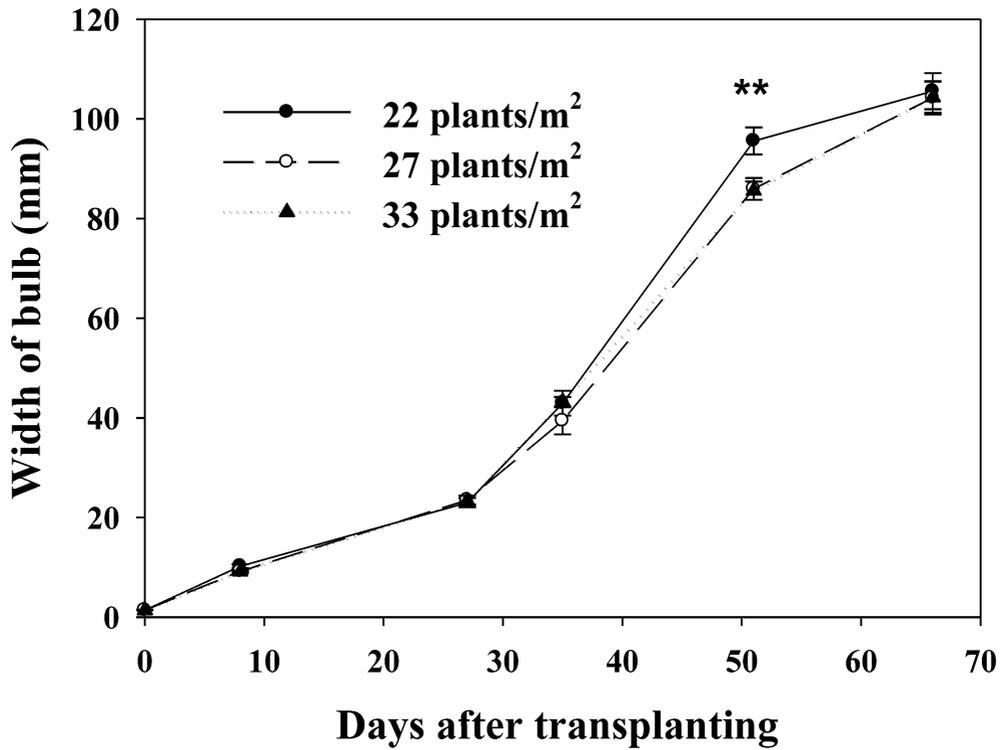


Fig. 2-4. Width of kohlrabi bulb grown under different planting densities.

Vertical bars represent the standard error. The replication plants of 8, 27, 35, 51, and 66 days after transplanting were 4, 4, 5, 6, and 10, respectively.

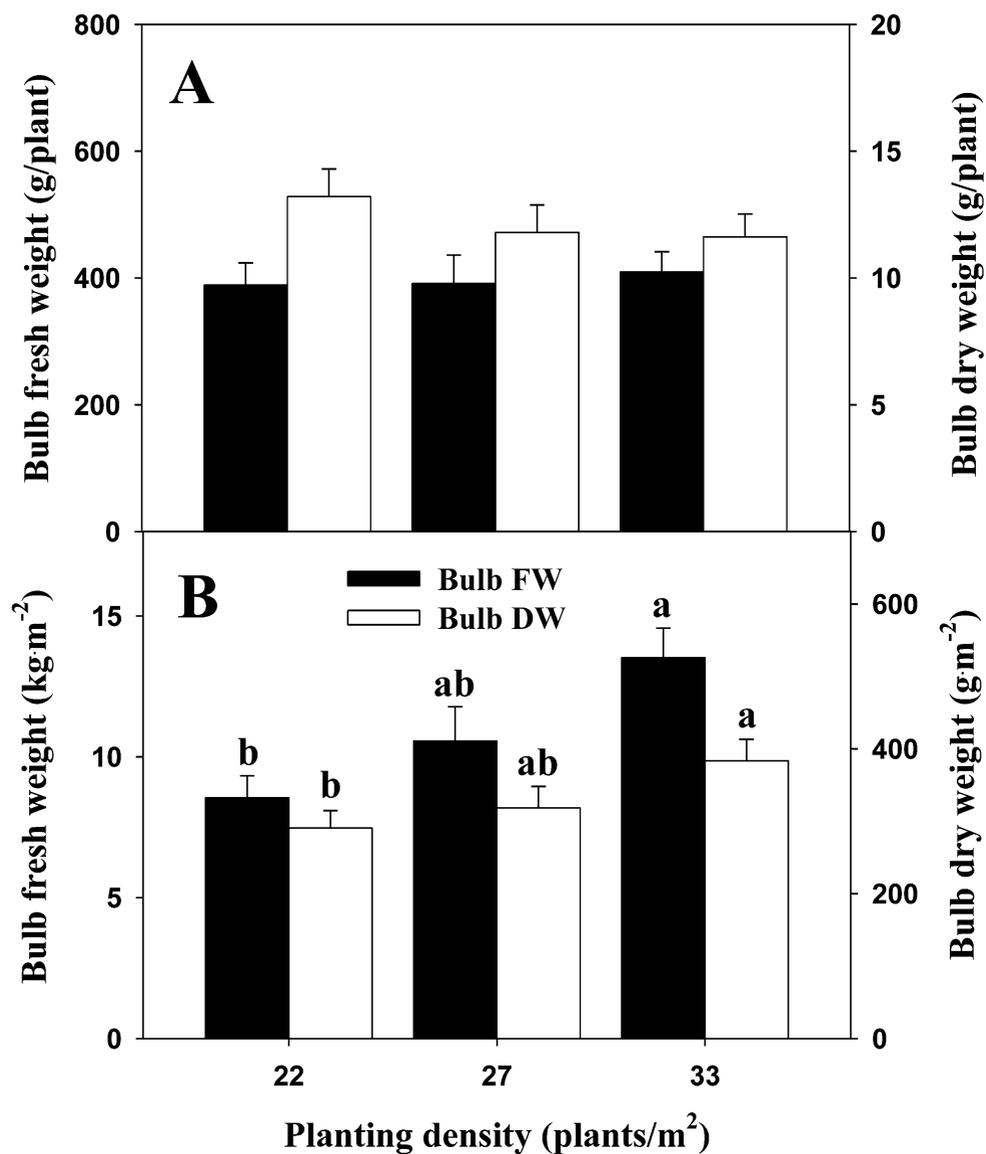


Fig. 2-5. Bulb fresh and dry weights per plant (A) and Bulb fresh and dry weights per area (B) of kohlrabi grown under different planting densities at 66 days after transplanting. Vertical bars represent the standard error (n= 10).

다단식 형태의 식물공장에서는 초장의 변화가 중요한 부분을 차지한다. 콜라비
별브의 종경 변화를 보면 Fig. 2-6과 같다. 재식밀도와 별브의 종경간에는
유의적인 차이를 보이지 않았다. 별브의 종경 변화는 정식 후 8일부터 급격히
변화하기 시작하지만, 정식 후 27일부터는 완만한 변화를 보였다.

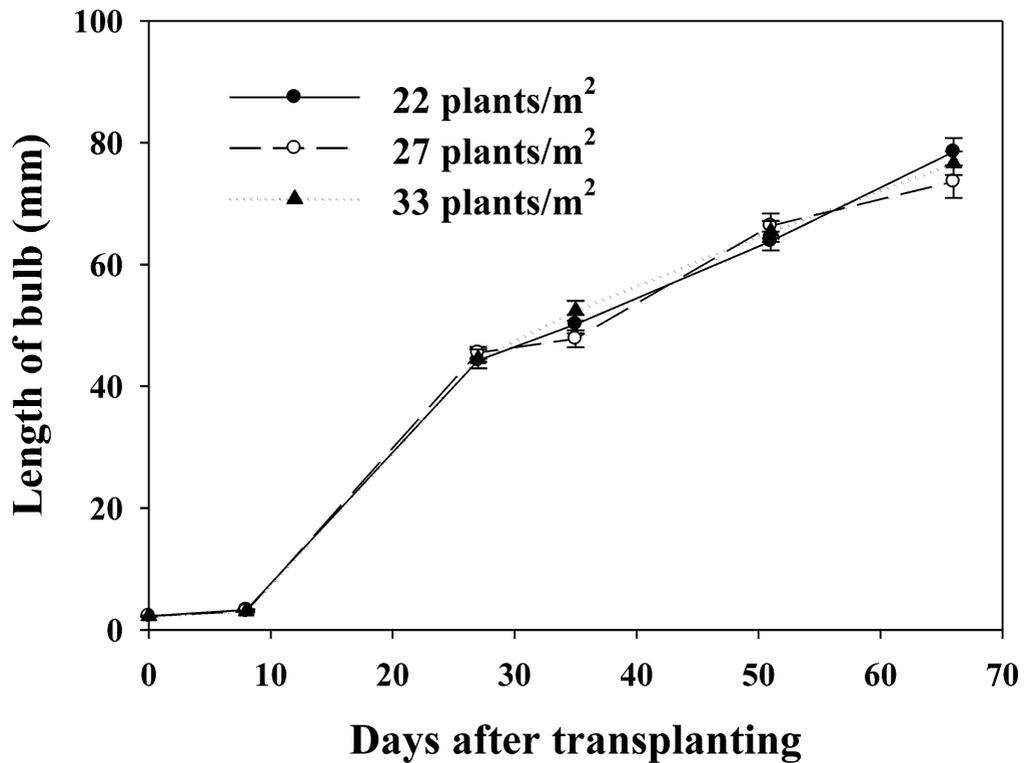


Fig. 2-6. Length of kohlrabi bulb grown under different planting densities.

Vertical bars represent the standard error. The replication plants of 8, 27, 35, 51, and 66 days after transplanting were 4, 4, 5, 6, and 10, respectively.

엽면적의 변화는 정식 후부터 계속해서 증가하다가 정식 후 51일부터 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2-7). 재식밀도와 엽면적간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 생육단계가 진전되면서 엽면적이 증가하다가 생육 후반기에 들어서면서 감소하는 경향을 나타내었는데 일반적으로 작물이 생육하는 기간 동안의 엽면적 증가는 시그모이드 형태의 곡선을 나타낸다고 한 Motulsky and Christopoulos(2003) 연구결과와 유사한 성장곡선을 나타내었다. 정식 후 51일부터 엽면적은 감소하기 시작하였는데, 이것은 벌브 생체중 변화와 관련이 있다고 판단되었다. 즉, 엽면적 변화가 식물공장에서 콜라비를 수확하기 위한 시기를 결정하는데 중요한 요인이라 생각되었다.

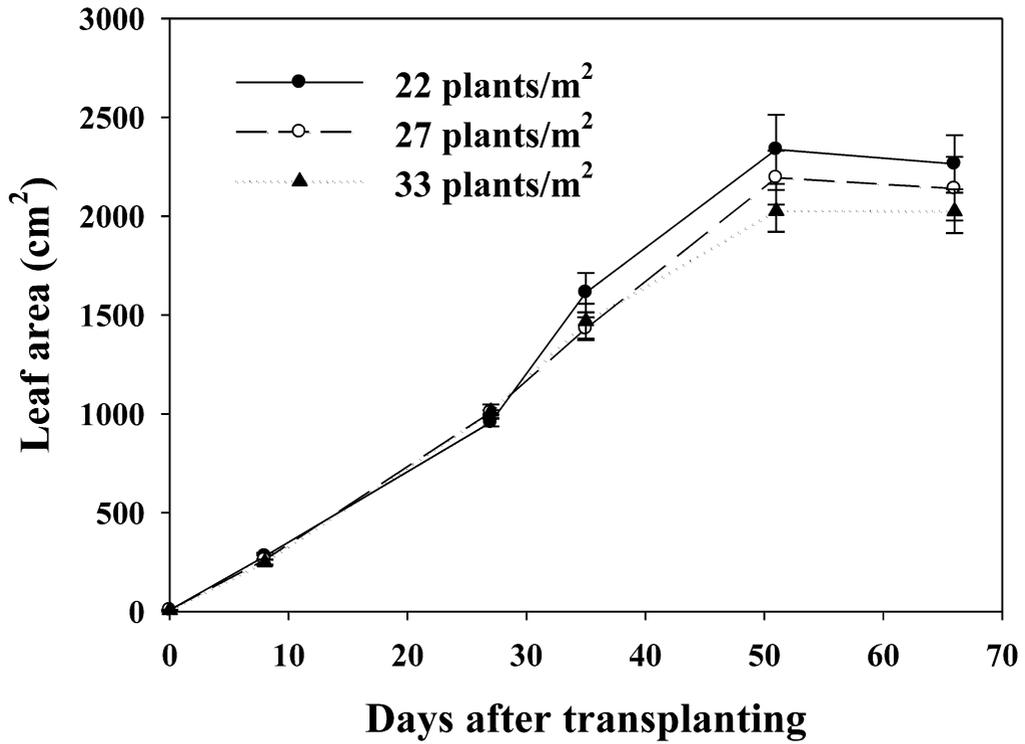


Fig. 2-7. Leaf area of kohlrabi grown under different planting densities.

Vertical bars represent the standard error. The replication plants of 8, 27, 35, 51, and 66 days after transplanting were 4, 4, 5, 6, and 10, respectively.

광합성 측정 결과 콜라비의 광합성은 재식 밀도 처리에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다(Fig. 2-8). 광량이 증가 하면서 광합성 속도가 PAR 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 까지 빠르게 증가하다가 이 후 높아진 광량에 비해서 광합성이 천천히 증가하는 양상을 나타내었는데, 차광 재배한 인삼에서의 광합성과 유사한 결과를 나타내었다(Oh et al., 2010). 본 연구 결과 식물공장에서 콜라비 재배에 필요한 적정 광도는 PAR 200~400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 이며, 재식 밀도는 광합성에 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

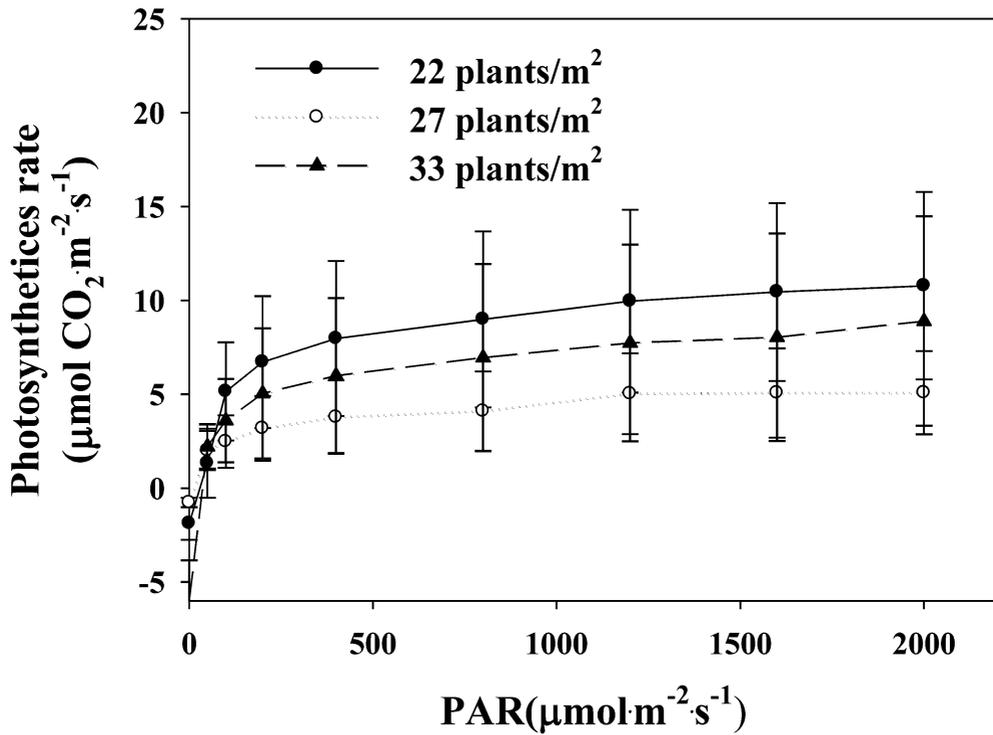


Fig. 2-8. Photosynthetic rate of kohlrabi grown under different planting densities at 66 days after transplanting. CO₂ concentration, air temperature and relative humidity of measuring conditions were 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$, 20°C and 54%, respectively. Vertical bars represent the standard error (n=3).

재식밀도에 따른 품질 변화는 Table 2-1와 같다. 재식밀도와 경도와 엽록소 함량간에는 유의적인 차이가 없었다. 당도는 재식밀도가 낮은 22plants/m² 처리구와 27plants/m² 처리구가 각각 5.57과 5.43 °Brix로 높게 나타났다. 당도는 노지에서 월동작물로 재배하는 콜라비에 비하여 낮은 수준이지만, 여름 수확용 콜라비와는 비슷한 수준인 것으로 나타났다(자료 미제시).

재식밀도와 별브의 종경과 횡경은 유의적인 차이를 보이지 않았다. 별브의 형태지수 또한 재식밀도간에 유의성이 나타나지 않았다. 별브의 종경과 횡경은 별브의 형태지수에 영향을 미치는 요소로 콜라비의 외관품질과 관련하여 중요한 요소로 작용한다. 그러나 콜라비의 외관과 관련하여 상품성을 평가하는 기준이 없는 실정이다. 노지에서 재배되고 있는 콜라비의 경우 별브의 종경이 짧고 횡경이 넓은 모양의 콜라비가 유통과정에서 소비자의 선호도가 높은 과형으로 인정되고 있다. 그러나 이에 대한 명확한 기준이 모호하여 식물공장에서 생산되는 콜라비의 상품성에 대한 보다 명확한 기준을 확립할 필요가 있다고 본다.

이상의 결과를 바탕으로 결론을 내리면, 경제성을 고려한 생육적인 측면에서는 단위면적당 생산량이 많은 33plants/m² (15×20cm)의 재식밀도가 적절하였으나, 당도와 같은 품질적인 측면에서는 재식밀도 27plants/m² (15×25cm)의 재식밀도가 적절하였다.

Table 2-1. Quality characteristics of kohlrabi grown under different planting densities at 66 days after transplanting in a closed-type plant factory system.

Planting density (plants/m ²)	Bulb length (mm)	Bulb width (mm)	Bulb shape index	Hardness (kg/5mmØ)	Soluble solid (°Brix)	Chlorophyll content (SPAD)
22	78.5	105.6	0.75	3.78	5.57 a ^z	60.8
27	73.6	104.2	0.71	3.74	5.43 a	59.0
33	76.9	105.6	0.74	3.53	5.03 b	57.6

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

초 록

식물공장에 재배 가능한 작물은 매우 다양할 것으로 본다. 식물공장에서 재식밀도에 대한 중요성이 인식되고 있다. 본 연구는 완전제어형 식물공장에서 콜라비의 재배에 적합한 재식밀도를 구명하기 위하여 수행되었다. 식물공장 형태는 형광등을 이용한 완전제어형태로, 박막수경재배를 이용하여 재배하였다. 재식밀도는 22plants/m²(15×30cm), 27plants/m²(15×25cm), 그리고 33plants/m²(15×20cm)로 처리하였다. 식물체당 지상부 생체중과 건물중 또는 식물체당 벌브의 지상부 생체중과 건물중에는 재식밀도간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 단위면적당 지상부 생체중과 건물중 또는 단위면적당 벌브의 지상부 생체중과 건물중에는 재식밀도가 높은 처리구(33plants/m²)에서 높게 나타났다. 재식밀도와 엽면적, 광합성, 경도 및 엽록소간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 재식밀도에 따른 벌브의 종경과 횡경 및 당도간에는 유의적인 차이를 보였다. 재식밀도가 낮은 22plants/m² 처리구에서 가장 높은 벌브 종경과 횡경을 보였으며, 당도 또한 높았다. 이상의 결과를 바탕으로 결론을 내리면, 경제성을 고려한 생육적인 측면에서는 단위면적당 생산량이 많은 33plants/m² (15×20cm)의 재식밀도가 적절하였으나, 당도와 같은 품질적인 측면에서는 재식밀도 27plants/m² (15×25cm)의 재식밀도가 적절하였다.

추가 주요어 : *Brassica oleracea*, 벌브 지름, 지상부 건물중, 지상부 생체중, 형광등

인용문헌

- Cha MK, Lee SH, Cho YY (2012) Selection of leaf vegetables and set-up of planting density and light intensity in the plant factory. J Asian Agric Biotechnol 28:17-23
- Cho YY, Hahn DW, Lee YB (1998) Effect of artificial light sources on growth of crisphead lettuce in plant factory. J Bio Fac Env 7:35-42
- Cho YY, Son JE (2005) Effects of planting density on growth and yield of hydroponically-grown Pak-choi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). J Korean Soc Hortic Sci 46:291-294
- Choi SH, Ryu DK, Park SY, Ahn KG, Lim YP, An GH (2010) Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). J Korean Soc Hortic Sci 28:469-475
- Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee SG, Oh SS, Lee HJ, UM YC (2013) Effect of artificial light sources on growth and quality characteristics of leaf lettuce in closed plant factory system. J Agric Life Sci 47:23-32
- Diepenbrock W (2000) Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) a review. Field Crops Res 67:35-49
- Kim DB, Oh JW, Lee JS, Park IJ, Cho JH, Lee OH (2014) Antioxidant activities of green and purple kohlrabi juices. Korean J Food Sci Technol

46:601–608

Lee SY, Kim HJ, Bae JH (2010) Effect of planting density on growth and quality in hydroponics of *Sedum sarmentosum*. J Korean Soc Hortic Sci 28:580–584

Lee JG, Oh SS, Cha SH, Jang YA, Kim SY, Um YC (2010) Effects of red/blue light ratio and short-term light quality conversion on growth and anthocyanin contents of baby leaf lettuce. J Bio-Env Con 19:351–359

Motulsky H, Christopoulos A (2003) Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc. San Diego. CA., USA

NeSmith DS (1993) Plant spacing influences watermelon yield and yield components. HortScience 28:885–887

Oh DJ, Lee CY, Kim SM, Li GY, Lee SJ, Hwang DY (2010) Effects of chlorophyll fluorescence and photosynthesis characteristics by planting positions and growth stage in *Panax ginseng* C. A. Meyer. Korean J Medicinal Crop Sci 18:65–69

Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, Uddin MR, Park NI, Kim SJ, Park SU (2012) Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica*

oleracea var. *gongylodes*). J Agr Food Chem 60:8111–8116

Park MH, Choi JW, Kim YB, Kim MH, Won HY, Shin SY, Kim JG (2014)

Effect of modified atmosphere packaging on postharvest quality of kohlrabi. Korean J Hortic Sci Technol 32:655–665

Reiners S, Riggs DIM (1997) Plant spacing and variety affect pumpkin yield

and fruit size, but supplemental nitrogen dose not. HortScience 32:1037
1039

Takatsuji M (2008) Definition and meaning of the plant factory, p. 8–13. In:

M. Takatsuji (ed.). Plant factory. World Science Publishment, Seoul, Korea.

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

Chapter III. 완전제어형 식물공장에서 수경재배에 적합한

콜라비 품종

Chapter III. Optimal Cultivars of Kohlrabi for Hydroponics in a Closed-type Plant Factory System

Abstract

The plant factories possibly could controlled of environment required for crops. And high-quality agricultural products are produced throughout the year under controlled environment system. Recently, there has been a growing interest in the antioxidant function of aging. But there is a lack of research on the stability of cultivation. This study was carried to investigate the kohlrabi cultivar suitable for cultivation in closed-type plant factory. The plant material used were the red kohlrabi cultivar at ‘Asac kohl’, ‘kolibri’, and ‘Purple king’ cultivars. The artificial light source were used high-brightness LED, light intensity were $249 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Hydroponic cultivation type was used circulating deep flow technique. Nutrient solution concentrations was $\text{EC } 2.0 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. The planting density was 33 plants/m² (15 × 20cm). Total Fresh weight and fresh weight of bulb were not significantly different according to cultivars. On the other

hand, total shoot dry weight and bulb dry weight was highest of ‘Asac kohl’ cultivars. The relative growth rate of fresh weight and those of area were no significant. The length of bulb was not significantly different according to the cultivar. The quality characteristics such as sugar content were highest and product yield was 77.8% in ‘Asac kohl’ cultivar. In summary, considering the growth and marketable yields, ‘Asac kohl’ cultivar was the optimal cultivar in closed-type plant factory.

Additional key words: *Brassica oleracea*, bulb dry weight, EC, high-brightness LED, nutrient solution.

서 언

콜라비(*Brassica oleracea* var. *gongylodes*, Kohlrabi)는 배추과에 속하는 작물로 가을에 심어 이듬해에 수확하는 2년생 월동 작물이다(Lee et al., 2010). 콜라비에는 antocyanin, carotenoid, glucosinolate 등이 다량으로 함유되어 있고(Park et al., 2012), 총 페놀 함량이 높아 강력한 항산화 기능이 있다고 알려져 있다(Kim et al., 2014). 또한 비타민 C와 섬유소가 많아 건강과 다이어트에 좋은 채소로 인식되어 콜라비에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다(Choi et al., 2010; Cha et al., 2013). 뿐만 아니라 항암물질로 알려져 있는 glucoraphanin이 무보다 많이 함유되어 있어 무의 대체 작물로서 재배 농가가 증가하고 있다(Choi et al., 2010; Park et al., 2012). 현재 전국적으로 많이 재배하고 있으며, 특히 겨울철 날씨가 온화한 제주도에서는 월동이 가능하여 고품질 콜라비 생산에 유리하기 때문에 재배농가가 증가하고 있는 추세이다(Park et al., 2014). 재배형태는 대부분 노지에서 재배되기 때문에 농약살포가 불가피한 실정이다. 또한 수확시기가 1월과 2월에 한정되어 있어 연중생산이 어려운 작물이다(Park et al., 2014). 따라서 콜라비를 연중 생산할 수 있는 재배기술이 도입되어야 한다.

식물공장(Plant Factory)이란 온도, 습도, 광, 이산화탄소 등 작물의 생육에 적합한 환경조건을 인위적으로 조절하여 부가가치가 높은 작물을 연중 계획 생산할 수 있는 시스템을 말한다(Cha et al., 2013). 식물공장은 재배환경을 정밀하게 인위적으로 제어하여 고품질 채소를 계획적으로 연속생산 할 수 있는 시스템이다(Takatsuji, 2008). 또한 식물공장은 외부환경에 영향을 받지 않기 때문에 계절과는 관계없이 농산물의 연중 생산이 가능하다(Lee et al., 2010). 최근 과도한 농약 사용에 의한 식품안전과 관련하여 안전한 농산물에 대한

인식이 확산되고 있는 추세이며, 이상기온으로 인한 작물피해가 빈번하게 발생하여 국제 곡물가격 폭등과 같은 현상에 대처하기 위한 식량안보 차원에서의 식물공장에 대한 중요성이 부각되고 있다(Um et al., 2010). 식물공장은 이처럼 많은 장점에도 불구하고 초기 시설비용이 높고 유지 관리에 소요되는 비용 높아 경제성이 낮은 한계를 가지고 있다(Choi et al., 2013). 식물공장시스템에 대한 인공광원이나 생리활성물질 등에 관한 연구는 여러 방면으로 진행되고 있으나 온도에 따른 생육 및 품질과 관련한 연구는 부족한 실정이다(Lee et al., 2015). 또한 식물공장에 적용할 수 있는 작물의 종류가 다양하지 않고 일부 엽채류의 생육, 수량 및 품질 향상과 관련한 연구 등이 보고된 바 있다(Cho et al., 1998). 따라서 식물공장에 적합한 작물과 품종에 대한 연구가 필요하다.

재배방법의 차이는 품질규격 유지나 균일한 제품 및 가공원료를 얻는데 장애 요소로 작용하지만(Han et al., 2013), 생산성 향상을 위해서는 수경재배에 적합한 품종을 선택하는 것 또한 중요하다. 재배 품종은 재배 중에 발생하는 열과 및 기형과 등의 비상품 발생에 영향을 미치며, 이는 생산량을 감소시켜 농가에 경제적으로 큰 피해를 입힐 수 있다. 그러므로 재배 안정성 높은 품종을 재배하는 것이 여러 가지 측면에서 유리한데, 식물공장에서 콜라비를 재배하기 위해서는 수경재배에 적합한 콜라비 품종에 대한 선행 연구가 수행되어야 한다.

따라서, 본 연구는 완전제어형 식물공장에 적합한 콜라비 품종을 구명하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험은 제주대학교에 설치된 완전제어형 식물공장(500×700×300cm)에서 실시하였다. 6월 9일에 우레탄 스펀지폼(2.5×2.5×2.5cm)을 이용하여 육묘한 모종을 2016년 7월5일에 식물공장의 재배베드에 정식하였다. 실험은 2016년 8월 30일 까지 57일동안 실시하였다. 식물재료는 국산 품종 아삭콜, 퍼플킹(Asak kohl & Purple king, Joeun Co., Ltd)과 수입 품종인 콜리브리(Kolibri, Bejo Zaden Co., Ltd., Netherlands)를 사용하였으며 세 품종 모두 F1 품종이었다.

재배환경은 고회도 LED용으로 설계된 3단 재배 베드(1210×610×2860cm)에서 실시 하였으며, 재식거리는 열간을 20cm로 하고 열내거리를 15cm으로 하였다. 사용된 인공광원은 고회도 LED를 이용하여 평균 $249 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도로 60cm 높이에서 조사하였다(Fig. 3-1.). 일장은 타이머를 이용하여 12/12(명/암)으로 조절하였다. 콜라비 배양액은 $\text{NO}_3\text{-N}$ 16.0, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.0, P 1.0, K 10.0, Ca 3.0, Mg 1.0, $\text{SO}_4\text{-S}$ 1.0mM·L⁻¹였다. 예비실험에서 생육이 가장 좋았던 EC 2.0dS·m⁻¹로 하여 공급하였다. 수경재배 방식은 담액수경 방법을 이용하였고, 급액은 90 l 용량의 탱크를 이용하여 60분 간격으로 매회 10분간 공급하였다.

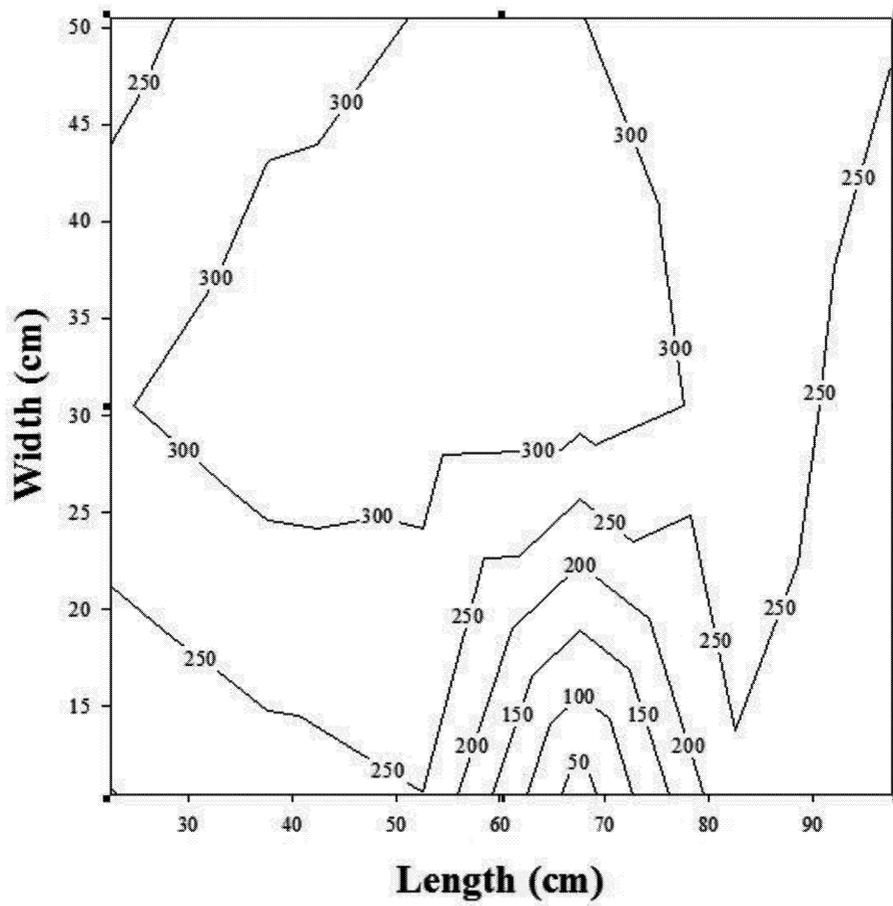


Fig. 3-1. Distribution of light intensity of high brightness LED.

생육량 검정을 위하여 생체중과 건물중, 엽수, 엽면적, 벌브의 종경과 횡경, 벌브의 생체중과 건물중, SPAD 및 당도와 경도를 조사 하였다. 건물중은 드라이오븐(VS-1202D2, Vision Scientific, Korea)에서 70℃로 72시간 건조한 후 측정 하였다. 엽록소함량 측정을 위해 엽록소측정기(Minolta Co., Ltd., Japan)를 이용하였고, 당도는 휴대용 당도측정계(PAL-3, ATAGO, Japan)를 이용하였으며, 경도는 휴대용 경도측정계 5mmØ plunger (FHM-5, Takemura Co., Japan)를 이용하여 측정 하였다.

상품율을 알아보기 위하여 실험 종료 후 전수 조사하여 상품과와 비상품과로 구분 하였다. 상품과는 관능 검사를 통해 모양이 건전한 것과 중량이 100g 이상인 개체를 선발 하였다. 관능검사에서 횡경에 비해서 종경이 지나치게 크거나 이상형태로 발달된 과실은 기형과로, 100g 미만의 과실은 소형과로 분류 하였으며, 표피가 갈라진 것을 열과로 분류하였다.

실험구는 완전임의배치 하였고, 통계분석을 위하여 SAS(Statistical Analysis System, ver9.4, Cary, NC, USA)프로그램을 이용하여 검정하였으며, 처리간 유의성 검정을 위하여 DMRT(Duncan' s multiple range test)로 다중검정 하였다. 그래프는 SigmaPlot(ver. 10.0, Systat Software Inc., Chicago, IL, USA)을 사용하여 작성 하였다.

결과 및 고찰

콜라비의 생육에 관련한 조사항목을 Table. 3-1로 나타내었다. 지상부 전체 생체중은 품종간에 통계적으로 유의성이 없었다. 별브의 생체중은 아삭콜이 587.5g이었고, 퍼플킹과 콜리브리 품종은 각각 483.8g과 405.7g였으며, 세 품종 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 지상부 전체 건물중에서 아삭콜 품종이 평균 42.4g으로 가장 높았고, 콜리브리 품종이 25.7g로 가장 낮게 나타났다. 별브를 제외한 지상부 건물중은 생체중과는 달리 품종간에 차이가 없었다. 별브의 건물중은 아삭콜 품종이 23.4g으로 높았고, 콜리브리 품종이 13.0g으로 유의하게 낮았다. 반면 퍼플킹 품종은 16.3g으로 두 품종과 통계적인 유의성이 없었다. 엽수는 퍼플킹 품종이 21.5매로 가장 높았다. 엽면적, 엽록소합량 및 경도는 품종간에 유의적인 차이가 없었다.

Table 3-1. Growth characteristics of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.

Cultivar	Shoot fresh weight (g/plant)	Shoot dry weight (g/plant)	Bulb fresh weight (g/plant)	Bulb dry weight (g/plant)	Leaf area (cm ²)	No. Leaf	Chlorophyll content (SPAD)
Asac kohl	780.6	42.4a ^z	587.5	23.4a	2851.6	17.4b	57.4
Kolibri	530.0	25.7b	405.7	13.0b	2058.4	17.1b	58.9
Purple king	645.1	32.2ab	483.8	16.3ab	2443.3	21.6a	55.6

^zMean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p < 0.05$.

콜라비의 생체중과 건물중에 대한 상대성장율(RGR)을 계산한 결과는 다음과 같았다(Fig. 3-2A.). 전체 생육기간 동안의 생체중의 상대성장율은 콜리브리 품종이 $0.054\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{day}^{-1}$ 였고, 퍼플킹과 아삭콜 품종이 각각 0.053 과 $0.052\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{day}^{-1}$ 였으며, 품종간에 유의한 차이는 없었다. 건물중의 상대성장율 또한 퍼플킹, 콜리브리 아삭콜이 각각 0.05 , 0.049 , 그리고 $0.049\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{day}^{-1}$ 로 품종간에 유의성이 없었다. 별브의 종경과 횡경의 상대성장율은 Fig. 2B와 같았다. 먼저 종경은 퍼플킹 품종의 상대 성장율이 $0.012\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ 로 가장 우수한 것으로 나타났다. 아삭콜 품종이 $0.01\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ 로 가장 낮았고, 콜리브리 품종은 $0.011\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ 로 두 품종간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 별브의 횡경 증가율은 콜리브리 품종에서 $0.032\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ 였고, 아삭콜 품종이 $0.031\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$, 퍼플킹 품종이 $0.031\text{cm}\cdot\text{cm}^{-1}\text{day}^{-1}$ 였으며, 품종간 유의성은 없었다.

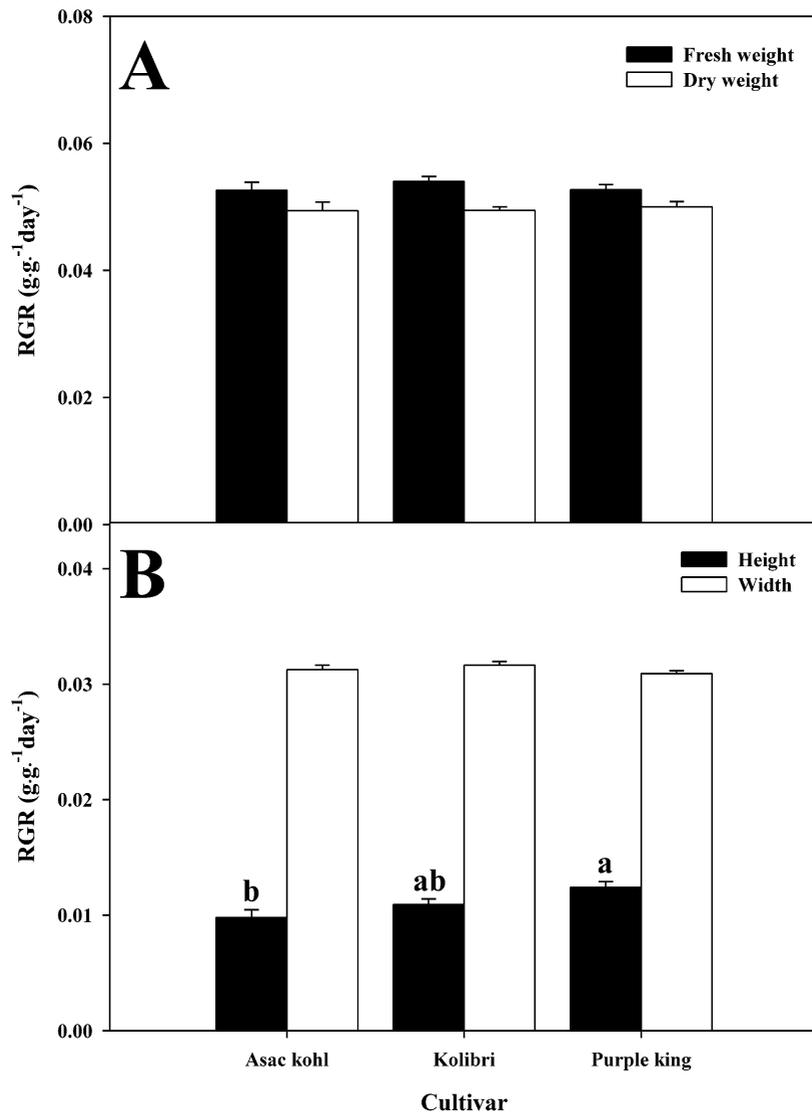


Fig. 3-2. Relative growth rate of kohlrabi cultivars. (A); Fresh and dry weight, (B); Height and width. Vertical bars represent standard error (n=8, 8, and 9, respectively).

정식일로부터 43일 까지 별브의 생육변화를 선형으로 나타내었다(Fig. 3-3). 정식 후 20일까지 생육은 퍼플킹 품종이 가장 좋았고 다음으로 아삭콜, 콜리브리 순이었다. 이 후 생육이 진전되면서 별브의 비대속도가 빨라지기 시작했는데 29일 차에는 퍼플킹과 아삭콜 품종이 가장 좋았으며, 33일부터는 아삭콜 품종의 줄기비대가 가장 좋았다. 반면 콜리브리 품종의 줄기비대는 전체 생육 과정에서 두 품종에 비하여 유의하게 낮았다. 생육 초기에 줄기비대가 빠르게 진행되었던 퍼플킹 품종은 29일 이후 별브의 비대생육이 다른 품종에 비하여 감소 하였는데 이는 품종에 따른 결과인 것으로 생각된다.

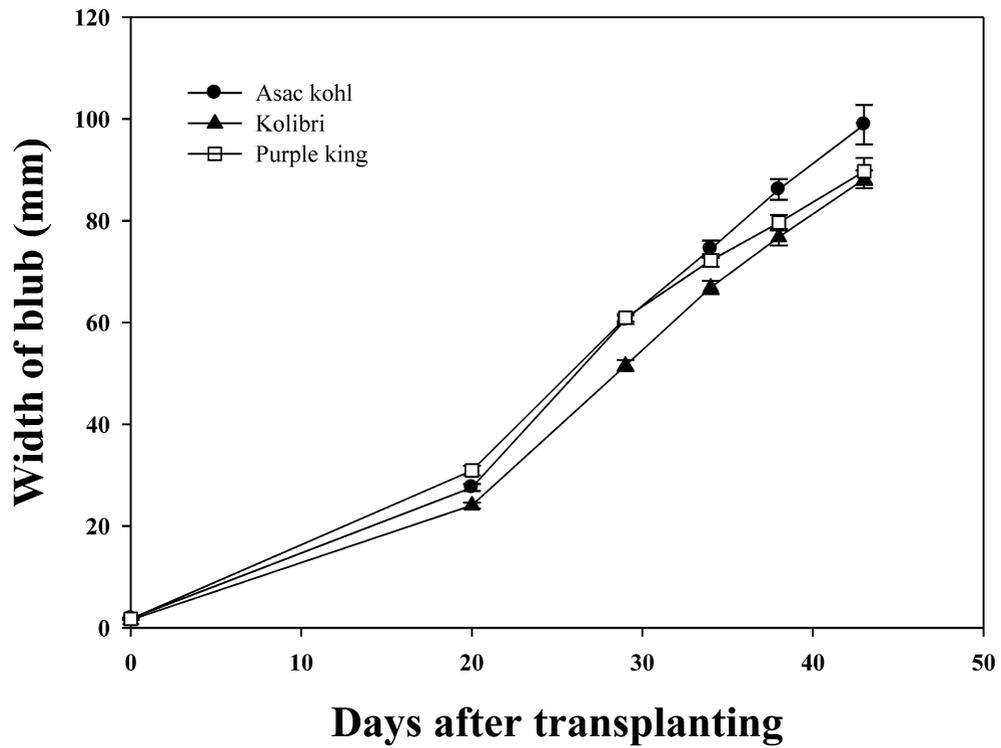


Fig. 3-3. Changes of bulb width of kohlrabi cultivars. Vertical bars represent the standard error (n=6, 8, 6, 6, 6, and 6 respectively).

경도는 품종간에 유의성을 나타내지 않았으며, 당도는 아삭콜이 5.7 °Brix로 높았고 퍼플킹과 콜리브리 품종은 각각 5.5와 5.3 °Brix로 조사되었다(Table. 3-2.). 퍼플킹 품종은 다른 품종과 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 당도의 경우 아삭콜과 콜리브리 품종에서 유의적인 차이를 나타냈는데 암면에서 재배한 파프리카에서 당도는 품종에 따라서 유의한 차이가 있다고 한 Ha et al.(2012)의 연구결과와 마찬가지로 콜라비의 수경재배에서도 품종에 따른 차이가 있었다. 수확물의 품질적 측면에서 당도와 관련하여 수분 스트레스나 고농도의 양액은 과실의 당도 향상과 관련 있다고 하였다(Shinohara et al., 1995; Tadesse et al., 1999). 본 실험에서는 3품종의 평균당도가 5.5 °Brix로 매우 낮은 수준이었는데, 이는 실시한 수경재배방법에 기인한 결과로 생각된다. 암면 재배한 파프리카 An et al.(2012)의 연구에서도 유사한 결과를 나타내었는데, 근권 함수율이 높고, 공급한 배양액의 EC 농도가 장해를 일으키지 않는 수준이었기 때문인 것으로 판단 하였다.

Table 3-2. Quality characteristics of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.

Cultivar	Hardness (kg/5mmØ)	Soluble solids (°Brix)
Asac kohl	4.1	5.7 a ^z
Kolibri	4.0	5.3 b
Purple king	4.0	5.5 ab

^zMean separation within columns by Duncan' s multiple range test at $p < 0.05$.

정식 후 57일 동안 재배한 콜라비를 최종 수확하여 수량 및 상품율을 조사하였다(Table. 3-3). 상품성은 아삭콜 품종이 77.8%로 높았고, 콜리브리 품종과 퍼플킹 품종은 각각 50과 61%로 조사되었다. 비상품으로 분류된 개체 중에서 소형과는 아삭콜 품종이 16.7%, 콜리브리와 퍼플킹 품종은 각각 5.6과 11.1%를 차지 하였으며, 기형과로 분류된 개체는 아삭콜 품종이 5.6%, 콜리브리 품종이 22.2%, 퍼플킹 품종이 27.8%로 가장 많은 기형과가 발생하였다. 또한 열과로 인한 비상품은 콜리브리 품종에서만 22.2%가 발생하였다. 과실의 열과와 관련하여 Knoche and Peschei(2002)는 과실의 수분 흡수량이 많아지면 열과에 대한 민감성이 증가 한다고 하였고, Yoon et al.(2010)의 체리 연구에서 열과가 발생한 과실이 정상 과실보다 과실의 수분 함량 증가에 의해 무게분포가 큰 특징을 나타내었다고 하였다. 본 실험에서는 모든 처리구에서 정식 후 20일 이후부터 벌브의 비대가 눈에 띄게 증가하기 시작 했는데, 콜리브리 품종에서만 열과가 발생한 것으로 보아 콜리브리 품종이 급격한 수분증가에 취약한 것으로 나타나 수경재배에 적합하지 않은 것으로 판단 된다. 벌브의 종경과 횡경 그리고 벌브의 형태지수는 품종간에 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table. 3-4). 퍼플킹 품종이 종경의 상대생장율은 가장 좋았으나, 벌브의 횡경 증가는 정식 후 29일째부터 증가되는 속도가 다른 두 품종에 비하여 둔화되는 경향을 보였다(Fig. 3-3). 기형의 발생과 관련하여 벌브의 종경/횡경 비율이 중요한 요인으로 작용하는데, 형태지수가 높다는 것은 벌브의 종경이 횡경에 비해서 크게 발달한 것을 의미한다. 결과적으로 벌브의 종경과 횡경의 비율은 다른 생육 항목들에 비해서 최종 상품율에 영향을 주는 인자로 작용한다는 것을 확인 하였다.

이상의 결과를 종합해 보면 생육과 품질에서 우수한 결과를 보인 아삭콜

품종이 완전제어형 식물공장에 적합한 콜라비 품종인 것으로 확인 되었다.

Table 3–3. Number of marketable product of kohlrabi cultivars in a closed–type plant factory system.

Cultivar	Unmarketable (%)			Marketable fruits (%)
	Small	deformation	Fruit cracking	
Asac kohl	16.7	5.6	0	77.8
Kolibri	5.6	22.2	22.2	50.0
Purple king	11.1	27.8	0	61.1

^zSmall: < 100g.

Table 3-4. Bulb shape of kohlrabi cultivars in a closed-type plant factory system.

Cultivar	Bulb length (mm)	Bulb width (mm)	Bulb shape index (L/W)
Asac kohl	84.6	113.1	0.74
Kolibri	77.8	100.4	0.78
Purple king	91.3	104.2	0.88

초 록

식물공장에서는 작물에 필요한 재배환경을 인위적으로 조절하여 고품질 농산물에 대한 연중 계획생산이 가능하다. 최근 노화를 억제하는 항산화 기능과 관련하여 콜라비에 대한 관심이 높아지고 있지만 재배 안정성에 관한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구는 완전제어형 식물공장에서 재배에 적합한 콜라비 품종을 구명하기 위하여 실시하였다. 실험은 제주대학교에 설치된 완전제어형 식물공장에서 수행하였고, 식물재료는 적콜라비 품종인 아삭콜, 콜리브리와 퍼플킹 품종을 사용하였다. 인공광원은 고휘도 LED를 이용하여 광량을 $249 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조사하였다. 수경재배형태는 순환식 담액수경 방법을 이용하였고, 개발된 콜라비 전용 배양액을 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 로 공급하였다. 재식밀도는 $33\text{plants}/\text{m}^2$ (15 x 20cm)로 처리하였다. 전체 생체중과 벌브의 생체중은 품종간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 반면 건물중은 지상부 전체와 벌브에서 아삭콜 품종이 가장 높게 나타났다. 지상부 전체의 생체중과 건물중의 상대생장율을 계산한 결과 또한 통계적으로 유의하지 않았다. 벌브의 종경은 품종에 따른 유의성이 없었으나 상대생장율은 퍼플킹 품종이 가장 높게 나타났다. 당도와 같은 품질 특성은 아삭콜 품종이 높았고, 상품수율 역시 아삭콜 품종이 77.8%로 높게 나타났다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 상품성이나 생육면에서 완전제어형 식물공장에 적합한 콜라비 품종은 아삭콜인 것으로 확인 되었다.

추가 주요어: 고휘도 LED, 개발 배양액, 담액수경, 벌브, EC.

인용문헌

- An CG, Hwang YH, An JU, Yoon HS, Chang YH, Shon GM, Hwang SJ, Kim KS, Rhee HC (2012) Effect of irrigation methods for reducing drainage on growth and yield of paprika (*Capsicum annum* 'Coletti') in rockwool and cocopeat culture. J Bio-Env Con 21:228-235
- Cha MK, Cho JH, CHO YY (2013) Growth of leaf lettuce as affected by light quality of LED in closed-type plant factory system. Protected Hortic Plant Fac 22:291-297
- Cha SS, Lee MY, Lee JJ (2013) Comparison of physicochemical composition of kohlrabi flesh and peel. Korean J Food Preserv 20:88-96
- Cho YY, Hahn DW, Lee YB (1998) Effect of artificial light sources on growth of crisphead lettuce in plant factory. J Bio Fac Env 7:35-42
- Choi SH, Ryu DK, Park SY, Ahn KG, Lim YP, An GH (2010) Composition analysis between kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) and radish (*Raphanus sativus*). J Korean Soc Hortic Sci 28:469-475
- Choi CS, Lee JG, Jang YA, Lee SG, Oh SS, Lee HJ, UM YC (2013) Effect of artificial light sources on growth and quality characteristics of leaf lettuce in closed plant factory system. J Agric Life Sci 47:23-32
- Ha JB, Lim CS, Kang HY, Kang YS, Hwang SJ, Mun HS, An CG (2012) Effect

- of shading methods on growth and quality of paprika in summer season. J Bio-Env Con 21:419-427
- Han SK, Song YS, Lee HU, Ahn SH, Yang JW, Lee JS, Chung MN, Suh SJ, Park KH (2013) Difference of starch characteristics of sweetpotato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) by cultivated regions. Korean J Food Sci Technol 45:682-692
- Knoche M, Peschei S (2002) Studies on water transport through the sweet cherry fruit surface. VI Effect of hydrostatic pressure on water uptake. J Horti Sci and Biotechnology 77:609-614
- Kim DB, Oh JW, Lee JS, Park IJ, Cho JH, Lee OH (2014) Antioxidant activities of green and purple kohlrabi juices. Korean J Food Sci Technol 46:601-608
- Lee SY, Kim HJ, Bae JH (2010) Effect of planting density on growth and quality in hydroponics of *Sedum sarmentosum*. J Korean Soc Horti Sci 28:580-584
- Lee JW, Lee DY, Cho JG, Baek NI, Lee YH (2010) Isolation and identification of compounds from the red kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*) sprouts. J Appl Bio Chem 53:207-211
- Lee JG, Oh SS, Cha SH, Jang YA, Kim SY, Um YC (2010) Effects of red/blue

- light ratio and short term light quality conversion on growth and anthocyanin. J Bio-Env Con 19:351-359
- Lee SG, Choi CS, Lee HJ, Jang YA, Lee JG (2015) Effect of air temperature on growth and phytochemical content of beet and ssamchoo. J Korean Soc Hortic Sci 33:303-308
- Park WT, Kim JK, Park S, Lee SW, Li X, Kim YB, Uddin MR, Park NI, Kim SJ, Park SU (2012) Metabolic profiling of glucosinolates, anthocyanins, carotenoids, and other secondary metabolites in kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes*). J Agr Food Chem 60:8111-8116
- Park MH, Choi JW, Kim YB, Kim MH, Won HY, Sin SY, Kim JG (2014) Effect of modified atmosphere packaging on postharvest quality of kohlrabi. J Korean Soc Hortic Sci 32:655-665
- Sinohara Y, Akiba K, Maruo T, Ito T (1995) Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plant using gravel culture. Acta Hort 396:211-218
- Tadesse T, Nichols MA, Fisher KJ (1999) Nutrient conductivity effects on sweet pepper plants grown using a nutrient film technique 2. Blossom-end rot and fruit mineral status. J New Zealand Crop Hortic Sci 27:239-247

Takatsuji M (2008) Definition and meaning of the plant factory, p. 8–13. In:
M. Takatsuji (ed.). Plant factory. World Science Publishment, Seoul,
Korea

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

Yoon IK, Nam EY, Shin YU, Yun SK, Moon BW, Choi C, Kang HK (2010)
Structual observation of fruit skin and influence of rainfall inducing fruit
cracking in 'Sato Nishiki' sweet cherry. J Bio-Env Con 19:382–386

적 요

본 연구는 완전제어형 식물공장에서 콜라비를 수경재배 하는데 필요한 환경 요인 중에서 배양액의 조성 과 농도 및 적정 재식밀도와 수경재배에 적합한 품종을 구명하기 위하여 수행 하였다. 실험은 제주대학교에 설치된 완전제어형 식물공장에서 NFT 방법을 이용하여 실시 하였다. 실험에 사용된 인공광원은 실험 1. 과 실험 2. 는 각각 3과장 형광등과 5과장 형광등을 이용하여 평균 $160\sim 180\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 로 조사하였고, 실험 3. 은 고휘도 LED로 평균 $249\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 의 광도로 조사 하였다. 실험 기간 중 실내온도는 여름철 평균 25.1°C 와 가을철 21.0°C 였고, 습도는 여름과 가을철 각각 53.5와 56.8%로 유지하였다. 실험 1. 은 콜라비 전용배양액(JNU) $\text{NO}_3\text{-N}$ 16.0, $\text{NH}_4\text{-N}$ 1.0, P 1.0, K 10.0, Ca 3.0, Mg 1.0, $\text{SO}_4\text{-S}$ $1.0\text{mM}\cdot\text{L}^{-1}$ 을 개발한 후 EC 1.0, 2.0, $4.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 농도로 하여 일본 원예시험장 배양액(JHS) $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 와 생육량을 비교 하였다. 실험 2. 는 재식밀도를 $22\text{plants}/\text{m}^2(15\times 30\text{cm})$, $27\text{plants}/\text{m}^2(15\times 25\text{cm})$, 그리고 $33\text{plants}/\text{m}^2(15\times 20\text{cm})$ 로 하여 생육량을 비교하였다. 실험 3. 은 고휘도 LED를 이용하여 높은 광조건에서 아삭콜, 퍼플킹, 콜리브리 3품종을 이용하여 생육량을 비교하였다. 배양액의 조성 과 농도에 따른 콜라비 생육은 지상부 전체의 생체중 건물중에서는 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 별브의 생체중과 건물중 항목에서 EC $2.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 처리한 적콜라비가 높게 나타났다. 당도는 EC $1.0\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ 의 적콜라비와 청콜라비 처리구에서 높았다. 재식밀도 따른 결과는 식물체당 지상부의 전체 생체중과 건물중 또는 식물체당 별브의 생체중과 건물중은 유의한 차이가 없었다. 그러나 단위면적당 지상부 전체 생체중과 건물중 또는 단위면적당 별브의 생체중과 건물중은 재식밀도가 높은 27과 $33\text{plants}/\text{m}^2$ 처리구에서 높게 나타났다. 당도

또한 27과 33plants/m² 처리구에서 높게 나타났다. 고휘도 LED를 이용한 품종별 생육은 지상부 전체와 별브의 건물중에서 아삭콜 품종이 높았다. 콜라비의 품질 관련 요소인 당도와 상품수율 또한 아삭콜 품종이 우수하였다.