

Research Article-Plant Environment



CrossMark

Open Access

## 인공광 식물공장에서 수경배양액 및 광질 조절이 상추 실생묘 생장에 미치는 영향

허정욱<sup>1</sup>, 박경훈<sup>2</sup>, 홍승길<sup>3</sup>, 이재수<sup>1</sup>, 백정현<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, <sup>2</sup>농촌진흥청 감사담당관실, <sup>3</sup>농촌진흥청 기술협력국

### Hydroponic Nutrient Solution and Light Quality Influence on Lettuce (*Lactuca sativa* L.) Growth from the Artificial Light Type of Plant Factory System

Jeong-Wook Heo<sup>1</sup>, Kyeong-Hun Park<sup>2</sup>, Seung-Gil Hong<sup>3</sup>, Jae-Su Lee<sup>1</sup> and Jeong-Hyun Baek<sup>1\*</sup> (<sup>1</sup>Department of Agricultural Engineering, National Academy of Agricultural Science, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea, <sup>2</sup>Audit and Inspection Office, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea, <sup>3</sup>Korea Program on International Agriculture, Rural Development of Administration, Jeonju 54875, Korea)

Received: 8 October 2019/ Revised: 22 October 2019/ Accepted: 25 October 2019

Copyright © 2019 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### ORCID

Jeong-Wook Heo

<https://orcid.org/0000-0002-9968-7783>

Jeong-Hyun Baek

<https://orcid.org/0000-0002-5867-2171>

#### Abstract

**BACKGROUND:** Hydroponics is one of the methods for evaluating plant production using the inorganic nutrient solutions, which is applied under the artificial light conditions of plant factory system. However, the application of the conventional inorganic nutrients for hydroponics caused several environmental problems: waste from culture mediums and high nitrate concentration in plants. Organic nutrients are generally irrigated as a supplementary fertilizer for plant growth promotion under field or greenhouse conditions. Hydroponic culture using organic nutrients derived from the agricultural by-products such as dumped stems, leaves or immature fruits is rarely considered in plant factory system. Effect of organic or conventional inorganic nutrient solutions on the growth and nutrient absorption pattern of green and red leaf lettuces was investigated in this experiment under fluorescent lamps (FL) and mixture Light-Emitting Diodes (LEDs).

**METHODS AND RESULTS:** Single solution of tomatoes

(TJ) and kales (K) deriving from agricultural by-products including leaves or stems and its mixed solution (mixture ration 1:1) with conventional inorganic Yamazaki (Y) were supplied for hydroponics under the plant factory system. The Yamazaki solution was considered as a control. 'Jeockchima' and 'Cheongchima' lettuce seedlings (*Lactuca sativa* L.) were used as plant materials. The seedlings which developed 2~3 true leaves were grown under the light qualities of FL and mixed LED lights of blue plus red plus white of 1:2:1 mixture in energy ratio for 35 days. Light intensity of the light sources was controlled at 180  $\mu$ mol/m<sup>2</sup>/s on the culture bed. The single and mixture nutrient solutions of organic and/or inorganic components which controlled at 1.5 dS/m EC and 5.8 pH were regularly irrigated by the deep flow technique (DFT) system on the culture gutters. Number of unfolded leaves of the seedlings grown under the single or mixed nutrient solutions were significantly increased compared to the conventional Y treatment. Leaf extension of 'Jeockchima' under the mixture LED radiation condition was not affected by Y and YK or YTJ mixture treatments. SPAD value in 'Jeockchima' leaves exposed by FL under the YK mixture medium was approximately 45 % higher than under

\*Corresponding author: Jeong-Hyun Baek  
Phone: +82-63-238-4063; Fax: +82-63-238-4035;  
E-mail: wooncho@korea.kr

conventional Y treatment. Otherwise, the maximum SPAD value in the leaves of 'Cheongchima' seedlings was shown in YK treatment under the mixture LED lights. NO<sub>3</sub>-N contents in Y treatment treated with inorganic nutrient at the end of the experiment were up to 75% declined rather than increased over 60 % in the K and TJ organic treatment.

**CONCLUSION:** Growth of the seedlings was affected by the mixture treatments of the organic and inorganic solutions, although similar or lower dry weight was recorded than in the inorganic treatment Y under the plant factory system. Treatment Y containing the highest NO<sub>3</sub>-N content among the considered nutrients influenced growth increment of the seedlings comparing to the other nutrients. However effect of the higher NO<sub>3</sub>-N content in the seedling growth was different according to the light qualities considered in the experiment as shown in leaf expansion, pigmentation or dry weight promotion under the single or mixed nutrients.

**Key words:** Agricultural by-products, Hydroponics, Inorganic Nutrient, Organic Nutrient

## 서 론

온·습도, 광 등 외부 환경요인의 영향을 차단하고 태양광 대신 형광등이나 발광다이오드(Light-Emitting Diode, LED)와 같은 인공광을 사용하여 작물을 재배하는 인공광 식물공장은 계절에 상관없이 작물을 연중 안정적이며 계획적으로 생산할 수 있는 재배시스템이다(Ikeda et al., 1992; Tennesen et al., 1994; Morrow, 2008; Inden et al., 2011; Yoon and Choi, 2011; Promratrak, 2017). 일반적으로 인공광 식물공장에서는 토양대신 무기배양액을 사용하여 담액식(DFT, Deep Flow Technique), 분무식(Aeroponics), 박막식(NFT, Nutrient Film Technique) 등의 방식으로 작물을 수경재배하고 있으며 이때 사용하는 수경배양액은 전량 수입에 의존하고 있는 화학비료 유래의 무기성분으로 구성되어 있다.

인공광 또는 자연광 이용 재배시설에서 사용하는 수경배양액은 주로 Yamazaki 잎상추액, Yamazaki 파드득액, 원시배양액 등 다양한 종류의 무기배양액으로 작물의 종류나 생육에 적합하도록 농도나 성분을 조정하여 공급한다. 작물 수경재배를 위하여 사용하는 관행의 무기배양액은 다량의 질소성분을 포함하는 화학비료로, 수경재배 작물체내 질산염 축적이나 사용한 폐배양액에 의한 오염 등의 문제점들이 거론되고 있어 화학비료 사용량을 줄이면서 친환경적으로 작물을 재배할 수 있는 대체 배양액 개발이 필요하다(Khan et al., 2018a, 2018b; Phibunwatthanawong and Riddech, 2019). 특히 인공광 식물공장에서는 배양액의 구성성분은 물론 무기배양액 제조를 위해 다량의 물이 사용되는데, 인공광 뿐만 아니라 자연광 재배시설에서도 수자원이나 폐자원 재활용을 위하여 폐배양

액 재순환 및 재사용을 위한 기술적 방법 등이 연구되고 있다(Haddad and Mizyed, 2011; Kozai, 2013; Kumar and Cho, 2014). 그러나 현실적으로 배양액 재사용에 의한 오염 발생이나 영양성분 관리 등의 문제로 인해 폐배양액을 재활용하여 작물을 수경재배하는 사례는 실용화되지 못하고 있다.

한편 일정기간 동안 농약이나 화학비료를 사용하지 않고 친환경적으로 작물을 재배하는 유기재배는 자연광 위주의 노지나 시설재배지에서 활용되는 경우가 많다. 화학비료 유래의 무기배양액을 활용한 수경재배 방식을 채택하는 인공광 식물공장에서는 작물생장에 필요한 무기배양액의 함량 변화에 대한 연구결과들이 보고되고 있다(Maneejantra et al., 2016). 이와 관련하여 Heo 등(2018)은 식물공장 조건에서 수경배양액 성분과 농도의 효율적 관리를 위하여 시설재배지에서 폐기되는 작물의 잎, 줄기나 미성숙과 등 농업부산물 활용 유기배양액으로 상추를 수경재배하였다. 이때 얻어진 생장량, 배양액 성분과 농도의 경시변화 데이터를 활용한 클라우드 기반 데이터분석시스템 설계 이외에는 인공광 조건에서 유기배양액 활용에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 인공광 식물공장은 노지나 자연광 재배시설과 달리 온도, 습도나 광강도 등의 다양한 물리환경 제어가 용이하며 외부 환경변화의 영향을 받지 않기 때문에 화학비료 유래 배양액의 성분변화를 작물 생육량에 따라 정밀하게 파악하여 조절할 수 있다. 식물공장과 같이 폐쇄된 공간에서, 작물의 잎, 줄기 및 미성숙과 등의 폐기 농업부산물을 자원으로 활용하여 유기배양액을 제조하여 수경배양액으로 활용하면 관행적으로 사용하는 화학비료의 사용량을 줄일 수 있으며 관행의 배양액 성분의 일부를 유기배양액으로 대체할 수 있어 친환경적으로 작물을 재배할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 인공광 식물공장에서 친환경적이며 유기적인 수경재배를 위하여 상이한 광질조건에서 폐기 농업부산물을 활용하여 제조한 유기 또는 관행의 무기배양액을 사용하고, 화학비료 유래 무기배양액과 농업부산물 유래 유기배양액의 단용 또는 혼용처리가 적치마와 청치마 상추 실생묘의 생장에 미치는 영향을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 식물재료 및 재배조건

식물재료는 본엽이 2~3매 전개한 적치마와 청치마 상추(*Lactuca sativa* L.) 실생묘로 하였다. 흑색 우레탄 스폰지에 2중의 상추종자를 파종하여 14일간 육묘한 후 수평형 재배시스템에서 담액재배(DFT, Deep Flow Technique) 방식으로 수경재배하였다. 재배실내 평균 온도 및 습도는 각각 20±1℃ 및 50±10%로 제어하였으며, 재배기간 동안 재배실내 CO<sub>2</sub> 농도는 400±100 μmol/mol로 계속되었다. 인공광원은 적색, 청색 및 백색 LED를 2:1:1 비율로 혼합한 LED 혼합광과 백색 형광등을 공시하였다. 두 광원의 광강도는 재배개시 1주간 100 μmol/m<sup>2</sup>/s로, 1주 이후부터 실험 종료시까지 180 μmol/m<sup>2</sup>/s로 제어하였고 1일 광조사시간은 12시간이었다.

유기배양액은 미성숙 토마토와 잎, 줄기 및 뿌리를 포함하는 케일 부산물에 건조효모, 유박 등을 첨가하여 Ji 등(2013)의 방법으로 제조한 2종(TJ구, K구)을 공시하였다. 또한 관행의 무기배양액인 Yamazaki 잎상추액(Y구)과 부산물 유래 유기배양액을 각각 1:1의 비율로 혼합한 혼합배양액을(YK구 및 YTJ구)을 공시하였다. 대조구는 관행의 Yamazaki 잎상추액 처리구(Y구)로 설정하였다. 시험기간 동안 공시한 배양액 5종의 평균 EC 및 pH는 각각 1.5 dS/m 및 5.8로, 2일 간격으로 조정하였으며 시험기간은 5주로 하였다.

### 생장량 조사 및 통계분석

적치마와 청치마 상추 실생묘는 재배개시 35일째 수확하였으며, 각 실험구에서 16개체를 임의로 선별하여 잎과 뿌리의 생체중, 엽장, 엽폭 및 전개엽수 등의 생장량을 측정하였다. 건물중은 70°C로 설정된 드라이오븐(VS-1202D4, VISION Co., LTD, Korea)에서 3일간 건조시킨 후 측정하였다. 또한 재배기간 동안 1주일 간격으로 각 배양액 시료를 채취한 후에 이를 이용하여  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  및  $\text{NO}_2\text{-N}$  등 무기성분 농도를 발색법에 의한 흡광도 측정기(UV/VIS Spectrophotometer, C-MAC Ltd., Taejeon, Korea)를 사용하여 산출하였다. 통계분석은 SAS 프로그램(Version 6.21; SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 수행하였는데, 실험 반복수는 2였으며 ANOVA 분석 후 재배종료시 생장량 측정결과에 대

하여 Duncan의 다중검정( $P=0.05$ )을 실시하였다.

### 결과 및 고찰

인공광 식물공장 조건에서 토마토와 케일 부산물을 이용하여 제조한 유기배양액, 관행으로 사용하는 무기배양액 및 이들 유·무기 배양액을 혼합처리하여 적치마와 청치마 상추 실생묘를 수경재배한 결과, 배양액의 종류뿐만 아니라 재배기간 동안 조사한 광질이 상추 실생묘의 생장에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다(Fig. 1). 재배개시 35일째 적치마의 생체중은 형광등 조사조건에서 농업부산물 유래 유기배양액 단용 또는 유·무기배양액 혼용에 비해 관행의 무기배양액 처리구인 Y구에서 유의하게 증가하였다(Fig. 2). 화학비료 유래 무기배양액 처리구인 Y구에서는 적치마와 마찬가지로 청치마에서도 배양액뿐만 아니라 광질의 영향을 받아 혼합 LED 조사구에 비해 형광등 조사구에서 생체중이 증가하여, 적치마에서 29%, 청치마에서 13% 이상 증가하였다. 그러나 유·무기 혼합배양액 처리구인 YK 및 YTJ구에서 생체중 증가는 형광등 조사구 대비 혼합LED를 조사한 적치마에서 3배 및 9배 이상 증가하여, 관행의 Y구에 비해 혼합배양액 처리 효과가 우수하였다. 형광등 조건에서는 적치마와 청치마 모두 YK 또는 YTJ구에서 혼합LED 조사구에 비해 형광등 조사구인 Y구와의 생체중이 큰 차이를 나타내었는데, 혼합LED 조사

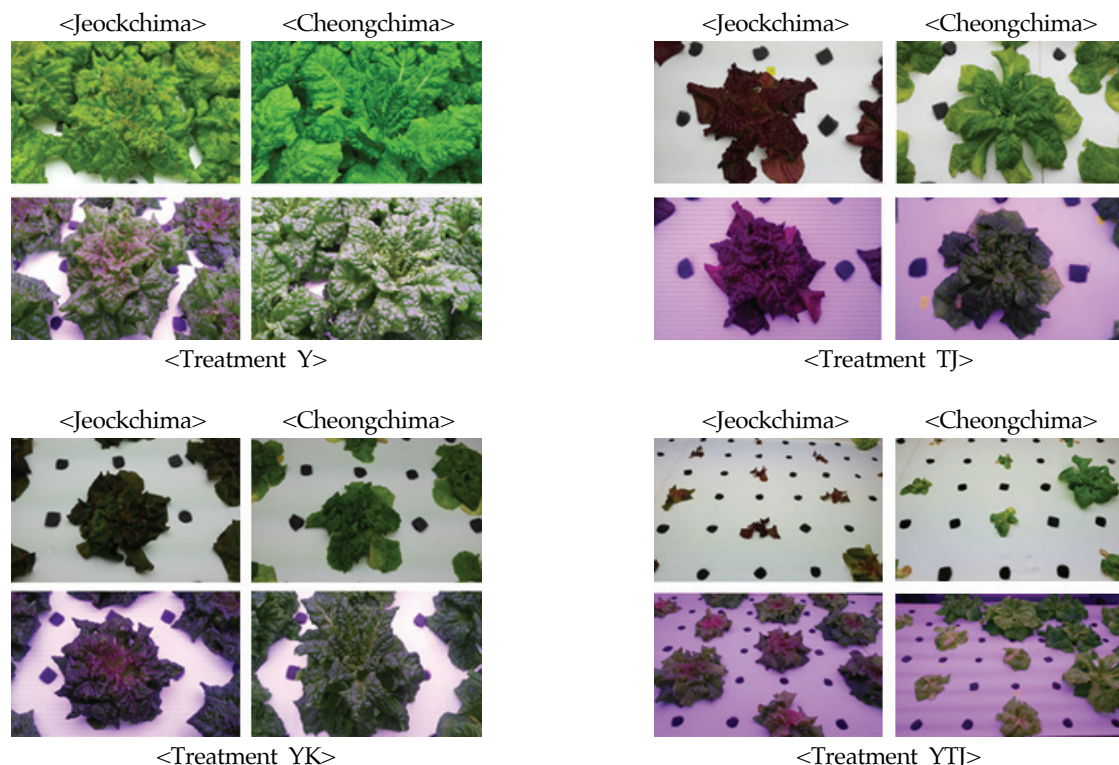


Fig. 1. Shoot Growth of the lettuce seedlings under the different nutrient solutions and light qualities (up in each treatment, Mixture LEDs of blue, red and white; down in each treatment, Fluorescent lamps) for 35 days (Y, Yamazaki solution; TJ, Tomato fruit solution deriving from agricultural by-products; YK, Mixture solution of Yamazaki and Kales deriving from agricultural by-products; YTJ, Mixture solution of Yamazaki and Tomato fruit).



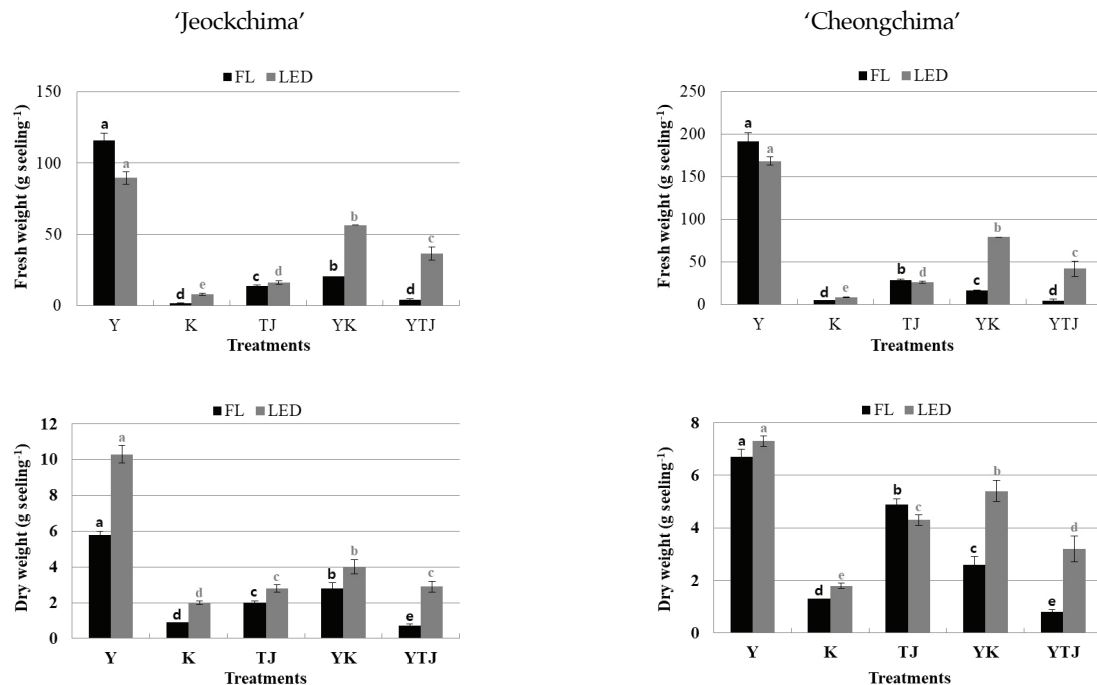


Fig. 2. Fresh (up) and dry (down) weights of the seedlings grown under the different nutrient solutions and light qualities (Y, Yamazaki solution; TJ, Tomato fruit solution deriving from agricultural by-products; YK, Mixture solution of Yamazaki and Kales deriving from agricultural by-products; YTJ, Mixture solution of Yamazaki and Tomato fruit). Different letter indicates significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Vertical bars represent standard error.

시 Y구에서는 YK구 대비 적치마에서 59%, 청치마에서 113% 증가하였다. 상추 실생묘의 건물중 증가에는 생체중과 달리 TJ구에서 재배한 청치마를 제외한 모든 처리구에서 형광등보다 혼합LED 광질이 유의한 영향을 미친 것으로 나타났다. 적치마 상추의 건물중은 YK 처리구에서 형광등 대비 혼합LED 조사구에서 약 2배, 청치마에서는 YK 또는 YTJ구에서 형광등 대비 약 4배 증가하였는데, 본 실험에서 처리된 배양액이나 광질은 두 실생묘의 생체중 뿐만 아니라 건물중 증가에 유의한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 식물공장 조건에서 케일 실생묘의 엽내 조성유 합성에 미치는 광질의 영향을 조사한 결과에 의하면 적색과 청색의 혼합광질이나 형광등 간에 유의한 영향은 없다고 한다(Lee et al., 2016). 그러나 상추의 경우 YK 처리구에서는 적치마와 청치마 상추 모두 혼합LED 조사구에서 생체중이 증가하였으나 반대로 건물중은 유의하게 낮은 것으로 보아 광질이 상추 엽내 함수량이나 섬유질 합성에 있어 광질의 영향이 나타난 것으로 판단되지만 함수량 등과 광질과의 관계에 대한 상세한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 적치마와 청치마 건물중 증가에 있어서 특정 배양액 사용에 의해 광질의 영향은 상이하였는데, 유기배양액을 단용하거나 무기배양액과 혼용하는 등 배양액의 종류를 달리할 경우 광질과 작물생장과의 관계에 대한 연구결과는 식물공장과 같은 인공광 재배시설 보다 주로 자연광 재배시설인 온실조건에서 찾아 볼 수 있다(Dasgan and Bozkoylu 2007; Lopez et al., 2013; Martinez-Alcantara

et al., 2016). Dasgan과 Bozkoylu (2007)는 호박을 대상으로 유·무기 배양액을 단용하여 수경재배 한 경우 생체중이나 건물중, 엽수 증가 등 재배초기에는 작물생장에 차이를 보이지 않았으나 시간이 경과함에 따라 유기보다 무기배양액 처리에 의해 작물생장이나 수확량이 현저히 증가하여 유기배양액 사용에 의하여 작물생장의 감소현상을 보고하였다. 작물의 생장은 유기배양액뿐만 아니라 유기배양액의 종류에 따라 달라지는데, 동물성과 식물성 유기배양액을 분배해 감귤나무에 사용한 결과 식물성 유기배양액 사용시 동물성 유기배양액에 비해 생체중이나 건물중과 같은 생장량은 증가하나 작물체내 탄수화물 함량은 오히려 식물성 유기배양액 처리시 증가하였다(Martinez-Alcantara et al., 2016). 본 실험결과에서 나타난 바와 같이, 식물공장 조건에서 상추 실생묘를  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  이하 광강도 조건에서 재배할 경우  $200\sim300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 로 광강도를 증가시켜 재배하여도 생체중이나 건물중 증가에는 영향을 미치지 않는다는 연구결과가 보고되고 있다(Zhang et al., 2018).  $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  수준의 낮은 광강도보다  $290 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 으로 비교적 높은 광강도 조건에서 상추의 생체중이나 건물중이 증가한다는 등, 본 실험결과와는 다른 연구결과도 보고되고 있다(Kang et al., 2013). 그러나 본 실험조건과 같이 광강도가 일정한 조건에서는 상추의 생체중 및 건물중 증가에는 광강도보다는 광질이나 특정 배양액에 의한 영향이 큰 것으로 판단됨과 동시에 광강도와 유·무기배양액 종류에 반응하는 작물종의 차이도 있었을 것

으로 생각된다.

무기배양액을 사용한 Y구에서 상추 실생묘의 전개엽수는 혼합LED 조사구에 비해 형광등 조사구에서 1배 정도 증가하였으며, 혼합LED 조건에서 유기배양액 단용에 비해 유·무기 혼합배양액 처리구에서 엽수가 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 3). 특히 적치마의 경우 청치마와 달리 TJ액 처리시 형광등에 비해 혼합LED 조사구에서 전개엽수가 증가하였다. 적치마의 엽수전개는 혼합LED를 조사한 Y구, YK구 및 YTJ구에서 최대였으며, 청치마의 전개엽수는 Y구와 YK구에서 최대로 배양액의 차이에 의한 유의성은 없는 것으로 나타났다. 적치마와 청치마 모두 유·무기 혼합배양액 처리구인 YTJ구에서는 다른 시험구와 달리 배양액의 종류 보다는 광질에 의한 영향이 유의하게 나타나, 형광등 조사구에 비해 130% 이상 증가하였고, K구에서도 60% 이상 증가하는 등 특정 광질에 의한 엽수증가 효과를 확인하였다(Saito et al., 2010). 형광등을 조사한 적치마 상추의 엽수는 K구<YTJ구<TJ구<YK구<Y구 순으로, 유기배양액만을 사용하는 것보다 관행의 무기배양액과 혼용한 YK구에서 유의하게 증가하였다. 혼합LED 조사구에서는 K구<TJ구<Y구<YK구<YTJ구 순으로, 유·무기 혼합배양액이 관행의 무기배양액 처리구에서와 같이 엽수전개에 유의한 영향을 미친 것을 알 수 있었다. 청치마의 엽수는 Y 및 TJ구를 제외한 모든 처리구에서 혼합LED에 의한 영향을 받아 유의하게 증가하였으며, Y구 및 YK구간에는 배양액의 차이가 엽수증가에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 특히 유·무기 혼용배양액 처리구인 YK 및 YTJ구에서 엽수전개는 다른 처리구에 비해 광질의 영향을 받아 혼합LED 조사구에서 형광등 조사구 대비 각각 67% 및 97% 이상 증가하였다. 본 실험에 공시한 상추 실생묘의 엽수 증가는 유기배양액 단용보다 유·무기 혼용에 의해 촉진되었으며, 형광등 조사조건에서는 유기배양액인 K액 단용보다 관행 배양액과 혼용하므로써 엽수가 증가하였으나 TJ액의 경우에는 관행 무기배양액과의 혼용시 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

한편 Y구와 TJ구에서 적치마와 청치마의 엽장 및 엽폭 신

장은 혼합LED 조사구에 비해 형광등 조사구에서, 유·무기 혼합배양액 처리시에는 혼합LED 조사구에서 촉진되었다. 특히 YTJ구에서는 Y구나 TJ구에서와 달리 혼합LED에 의한 영향으로 엽장 및 엽폭 신장은 형광등 조사구에 비해 2배 이상 촉진되었다(결과 미제시). 작물의 엽장, 엽폭 및 줄기신장과 같은 형태형성에 있어서 광질 뿐만 아니라 광강도 역시 중요한 역할을 하며 작물종에 따라 광질이나 광강도의 영향이 달라진다는 결과는 수많은 연구를 통하여 보고되고 있다(Franklin et al., 2005; Hirai et al., 2006; Fan et al., 2013; Shin et al., 2008; Kang et al., 2016). 인공광 식물공장 조건에서 광강도가 일정한 경우 수경재배 작물이나 조직배양한 국화묘의 엽수 역시 청색, 녹색 등 단일 광질보다 혼합광질 조건에서 증가하며, 적색과 청색의 혼합LED 또는 형광등 조사시에는 광질의 차이에 의한 영향은 나타나지 않는다(Chen et al., 2014). 이러한 연구결과는 인공광 식물공장 조건에서 관행의 무기 배양액뿐만 아니라 본 실험에서와 같이 유·무기 혼합배양액을 사용할 경우에는 형광등을 대체하는 광질의 영향을 고려한 광원 선택이 필요하다는 것을 시사한다.

엽내 SPAD치는 생체중이나 건물중과 같은 양적생장 변화와 달리, 관행의 Y구에 비해 유·무기 혼용처리구인 YK구에서 유의하게 증가하였다(Fig. 4). 적치마의 SPAD치는 K구에서 최소, YK구에서 최대로, K구, TJ구 및 YK구에서는 광질에 의한 영향이 나타나지 않았으나, Y구와 YTJ구에서는 형광등에 비해 혼합LED 조사구에서 유의하게 증가하였다. SPAD치가 최대인 YK구에서는 광질의 영향은 없었으나 형광등 조사구에서는 Y구에 비해 약 45%, 혼합LED 조사구에서는 14% 이상 증가하였다. 청치마에서는 YTJ구에서 엽내 색소합성이 억제되는 경향을 보였으며 혼합LED를 조사한 YK구 및 대조구에서 촉진되었다. 형광등 조사시 대조구에 비해 TJ구나 YK구에서 색소합성이 촉진되었으나, 혼합LED 조건에서는 대조구와 YK구에서 유의하게 증가하여, YK구에서 SPAD치는 YTJ구 대비 형광등 조건에서 57%, 혼합LED 조건에서 59% 증가하였다. Lopez 등(2013)은 본 실험결과와 유사한 결과를 발표하였는데, 과채류 재배실험을 통하여 피망 실생묘의 생체

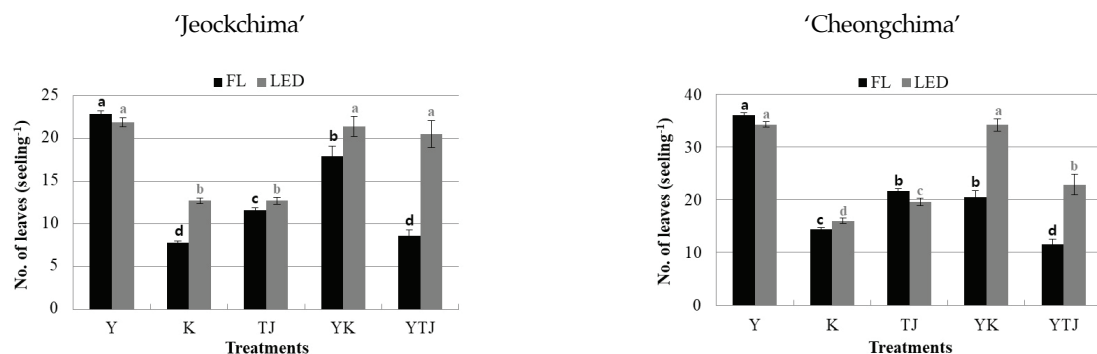


Fig. 3. Number of unfolded leaves of the seedlings grown under the different nutrient solutions and light qualities. Treatment codes see Figure 2. Different letter indicates significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Vertical bars represent standard error.

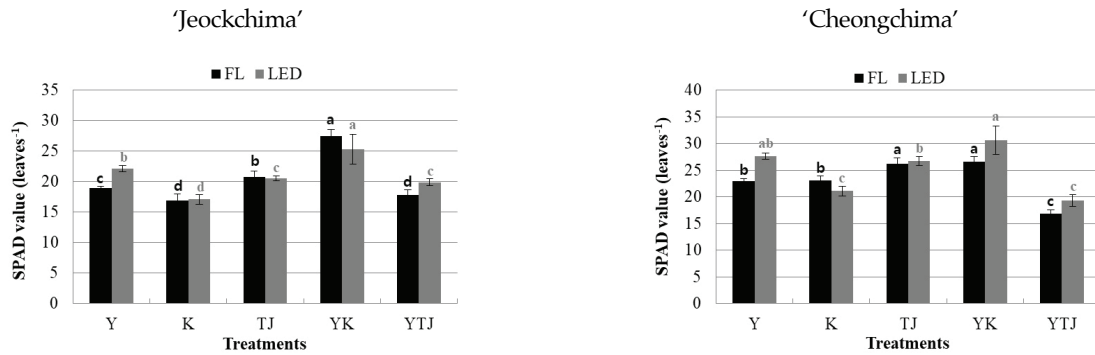


Fig. 4. SPAD values in the leaves of the seedlings grown under the different nutrient solutions and light qualities. Treatment codes see Figure 2. Different letter indicates significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Vertical bars represent standard error.

중 증가와 같은 양적생장은 유기 수경재배보다 무기배양액 시용에 의해 촉진되지만 과피의 색소합성은 유기 배양액 처리에 의해 촉진됨을 제시하였다. 이와 같은 결과는 상추 실생묘의 색소합성 역시 과채류와 마찬가지로 엽채류의 건물중, 생체중 등 양적생장에 비해 엽내 SPAD치와 같은 색소합성이 주로 무기나 유기배양액 단용보다 유·무기 혼용 배양액 처리에 의해 촉진된다는 것을 시사한다. 또한 무기배양액에 비해 극히 미량의 질소성분을 포함하는 유기배양액을 사용할 경우 작물의 양적생장 촉진을 위하여 질소성분의 중요성이 대두된다. 본 실험에서는 적치마와 청치마 모두 무기배양액 처리구를 제외한 유·무기 혼용배양액 처리구에서는 형광등보다 혼합LED 광질의 영향이 큰 것으로 나타났다. 따라서 관행의 수경배양액을 대체할 수 있는 배양액의 종류나 조성성분의 인위적 제어로 관행의 무기배양액 단용에 비해 특정 광질에 반응하는 엽수증가나 색소합성 등의 작물생장을 촉진할 수 있을 것으로 판단된다. 한편, 광질이나 배양액이 작물의 생장 이외에 엽록소나 비타민 등 체내 물질합성에 영향을 미친다는 연구결과들은 다수 보고되고 있다(Shoji et al., 2011; Chen et al., 2014). 그러나 본 실험에서는 유기배양액 또는 관행의 무기배양액과 혼합한 배양액을 적치마와 청치마 실생묘에 사용한 경우 처리 배양액별 비타민 C나 질소 또는 가용성 당 함량 등을 측정하지 않았다. 따라서 인공광 조건에서 유기배양액의 사용효과에 대한 정성적 평가를 위해서는 Suarez 등(2007), Cardoso 등(2011) 및 Khan 등(2018b)과 같이 성장량 증가, 엽내 색소합성 이외에 유·무기 배양액에 의한 물질합성능과 같은 작물의 질적생장에 미치는 유기배양액의 영향에 대한 상세연구가 필요하다.

상추 재배기간 동안 유·무기 배양액내 질소성분의 농도는 배양액이나 광질의 차이에 따라 다양한 흡수패턴을 나타내었다(Fig. 5). 관행의 무기배양액내 약 97 mg/L로 배양액 구성 성분 중에서 가장 많은 양이 포함되어 있는 성분인  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는, 재배개시 2~4주 사이에 흡수량이 증가하였으나 다른 무기성분과 비교해보면 재배개시일에 투입된 전량이 소모되지 않고 남아 있었다. 재배종료일에  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 잔여량을 측정한 결과,

형광등을 조사한 적치마에서 24 mg/L로 혼합LED 조사구에 비해  $\text{NO}_3\text{-N}$  흡수량이 증가하였고 형광등을 조사한 청치마에서는 잔여량이 47 mg/L로, 혼합LED 조사구에 비해 흡수량이 낮은 것으로 확인되었다. 유기배양액 단용의 K구 및 TJ구에서는 다른 처리구에 비해  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 재배초기에 각각 0.033, 1.1 mg/L로 극히 미량 함유되어 있었으나, 재배시간이 경과함에 따라 증가추세를 보여 모든 처리구에서 K구의  $\text{NO}_3\text{-N}$  함량은 약 20~24 mg/L까지 증가하였다. K구나 TJ구에서  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도증가는 수경재배 시스템 내에서 작물을 재배하는 동안 유기배양액내 미생물 활성으로 재배기간 중에도 일부 남아있던 유기물들의 분해가 진행되었거나  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 질산화에 의하여 농도가 증가한 것으로 판단된다. 이밖에 유·무기 혼용 처리구에서는 재배개시 2주차부터 미량이나마 증가하는 경향을 보였으나 재배후기로 갈수록 실생묘의 흡수로 인해 농도가 감소하였다.

광질이나 작물종과 상관없이  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도는 유기배양액 단용의 K구 및 TJ구에서 약 20 mg/L로 최대값을 나타냈는데 대조구에서는 재배개시일에 약 9 mg/L였으나 재배종료시에는 모든 처리구에서 0~2 mg/L 미만으로 대부분 흡수되거나 가스형태로 소실된 것으로 판단된다. 다른 처리구와 달리 혼합LED를 조사한 적치마와 청치마에서 YK구의  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도는 재배개시 3주차까지 소량 증가하면서 일정 농도를 유지하였으나 재배개시 4주차부터 급격히 저하하였다. 청치마 상추 배양액내 암모니아태 질소는 시간적 차이는 있었으나 재배기간 동안 TJ구를 제외한 모든 처리구에서 재배개시일에 비해 시간이 경과함에 따라 흡수되거나 질산화되어 배양액내 질산태질소 농도 증가에 기여하였고 일부는 작물체로 흡수되거나 가스로 배출되어 대부분 소모된 것으로 판단되었다. 작물생장에 있어서 배양액에 다량으로 포함되어 있는 성분 중의 하나인 질소농도는 특정 광강도 조건에서 엽채류의 생장이나 체내 질소나 비타민C 합성에 영향을 미친다(Fanasca et al., 2006; Caruso et al., 2011; Fu et al., 2017; Khan et al., 2018a). 그러나 미량이나마 부족할 경우 잎의 황화, 낙엽, 색소합성 불량 등을 초래하는 Al, Fe, Mn 등과 같은 무기성

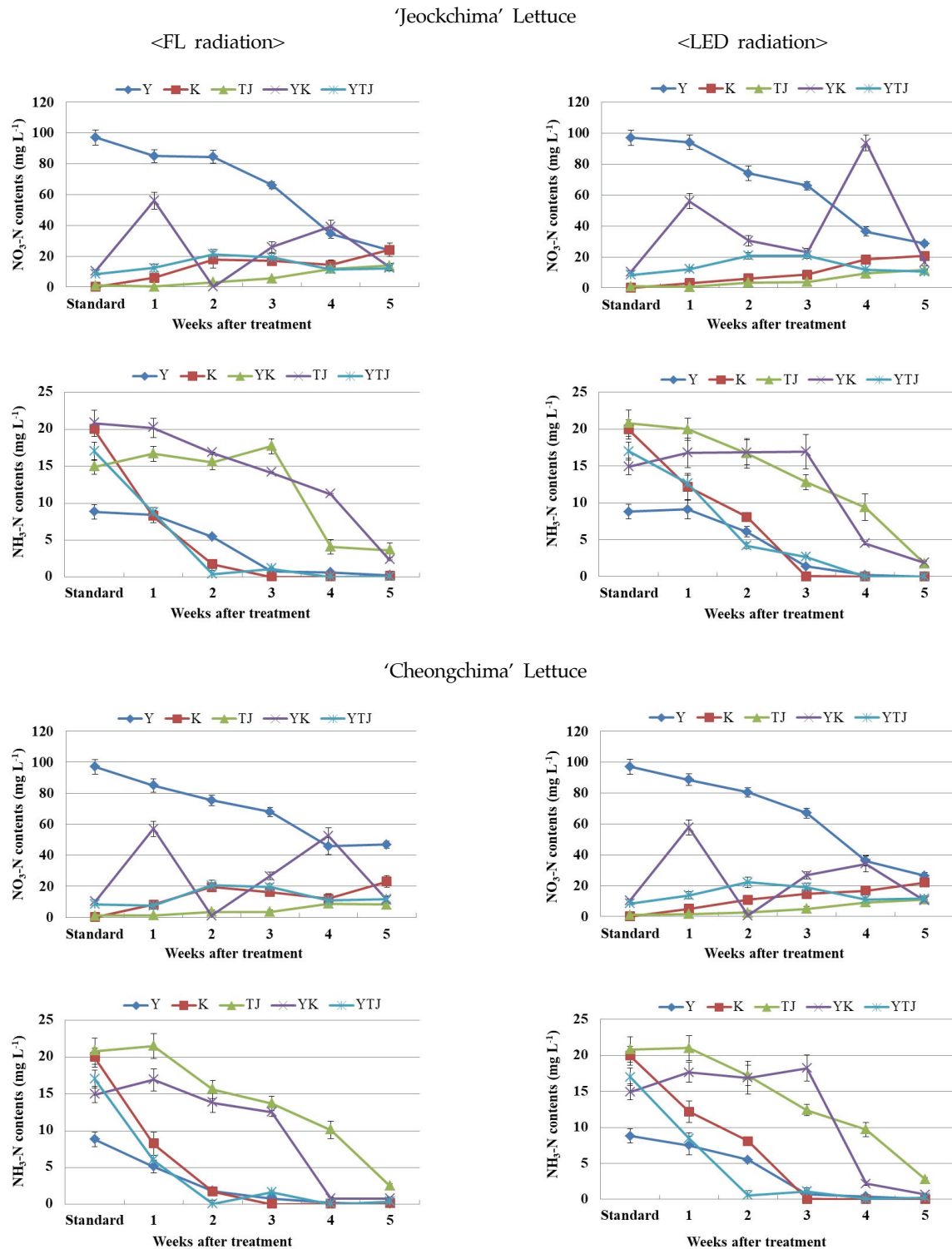


Fig. 5. Changes of  $\text{NO}_3\text{-N}$  and  $\text{NH}_3\text{-N}$  contents inside the different nutrient solutions during the culture period. Treatment codes see Figure 2. Vertical bars represent standard error.

본은 작물체 생육단계나 흡수량에 따라 생육을 촉진하기도 하는데(Bojarezuk, 2004), Al의 경우에는 무기배양액보다 유기 단용 또는 유기·무기 혼합 배양액내 농도가 높았음에도 불구하고 잎의 황화현상이 관찰되기도 하였다(결과 미제시).

질소성분과 달리 각 배양액내에 3 mg/L 이하로 포함된 Fe, Mn, Al 및 Cu 등의 미량성분은 작물 재배기간 동안 대부분 작물체에 의해 흡수되었다. 적치마의 경우 형광등 조사 조건에서는 Y구에서 재배개시일  $\text{SiO}_2$ 의 농도는 9.8 mg/L였



으나, TJ구에서는 Y구에 비해 약 4배 높은 38.4 mg/L로 측정되었고 K구에서 SiO<sub>2</sub> 농도 역시 21.6 mg/L으로 Y구에 비해 2배 이상 높게 나타났다(Table 1). 재배개시일 배양액내 SiO<sub>2</sub> 함량이 가장 낮았던 YTJ구에서는 재배종료시에는 유의하게 증가하여 최대값을 보였는데, 재배개시일에 비해 약 4배 증가하였으며 TJ구에서는 작물체에 의한 흡수가 촉진되어 30 mg/L 이상 흡수되었으며 대조구인 Y구에서 흡수량은 0.7 mg/L로 산출되어 흡수량이 최소값을 나타내었다. 한편, 혼합LED를 조사한 경우 재배개시일 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 유기 단용배양액 처리구에 비해 Y구에서 유의하게 높았으며 재배종료시에는 YTJ구에서 작물체에 의한 흡수량이 0.6 mg/L으로 가장 낮게 나타났다. 형광등 조사구와 달리 SiO<sub>2</sub>는 TJ구에서 최대였으나 재배개시 7일차에 33 mg/L 이상 대부분이 흡수되었으며 YTJ구에서는 재배종료시 16.5 mg/L로 재배초기에 비해 10 mg/L 이상 증가한 것으로 보아 무기배양액과는 달리 재배기간 동안 흡수된 것으로 생각된다. 특히, SiO<sub>2</sub> 성분은 대조구인 Y구에서 광질의 차이에 따른 흡수량 차이가 없었으나, Y구를 제외한 유기 단용 또는 유·무기 혼용시에는 형광등에 비해 혼합LED 조사구에서 작물체에 의한 흡수가 촉진되어, 작물체에 의한 양분 흡수패턴이 광질에 따라 달라진다는 사실을 알 수 있었다.

형광등 조사구에서 재배한 청치마 상추에서는 다른 처리구에 비해 K구와 TJ구에서 재배개시 7일째까지 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 흡수

가 촉진되었으며 재배종료일에는 2 mg/L 이하의 소량이 검출되었다. SiO<sub>2</sub> 성분은 적치마에서와 마찬가지로 YTJ구에서 최대값을, YK구에서 최소값을 나타내었다. Y구 및 YTJ구에서는 재배개시전 배양액에 포함되어 있던 성분량보다 Y구에서는 약 4 mg/L, YTJ구에서는 약 22 mg/L 증가하였으며, TJ구에서는 재배개시전 38.4 mg/L로 다량으로 포함되어 있던 SiO<sub>2</sub>는 다른 처리구에 비해 재배기간중 작물체에 의한 흡수량도 32 mg/L로 최대였다. 혼합LED 조사구에서는 Y구와 YTJ구에서 성분농도는 재배개시 7일째 일시적으로 증가하였으나 작물체에 의한 흡수량이 증가하면서 재배개시 7일째에 비해 Y구에서 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 흡수량이 최대치를 기록하였고 유기배양액 단용구인 TJ구에서는 극히 소량만이 흡수되는 것으로 나타났다. 혼합LED 조사구에서는 형광등 조사구에서와 마찬가지로 YTJ구에서 SiO<sub>2</sub>는 재배개시일에 비해 재배종료시 농도가 현저히 증가하였는데, 재배개시일에 혼합LED 조사구에서는 약 6 mg/L이 검출되었으나 재배종료 시에는 약 7배, 형광등 조사구에서는 약 5배 증가하였다. 시금치 실생묘의 경우 생체중이나 건물중과 같은 생장량이 재배개시 2~3주차 사이에 현저히 증가하므로 이 시기에 영양성분 관리가 필요하다고 한다(Maneejantra et al., 2016). 본 실험결과와 비교할 때 비록 작물종이나 재배조건은 상이하지만 배양액내 특정 영양성분의 흡수량은 작물의 생육단계의 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Fig. 5에서 알 수 있듯이, 상추 실생

Table 1. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> and SiO<sub>2</sub> content (mg/L) changes inside the different nutrient solutions on days 7 and 35 after treatment

Treatments	'Jeockchima' Lettuce									
	FL					LED				
	Measurement days									
	standard <sup>z</sup>		day 7		day 35		day 7		day 35	
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>
Y	17.3a <sup>y</sup>	9.8c	18.7a	9.6d	11.4a	9.1c	18.4a	10.4d	10.8a	9.8c
K	9.8d	21.6b	5.3c	24.2b	1.6c	15.0b	4.2c	35.4a	1.6c	13.9b
TJ	9.5d	38.4a	1.5d	6.1e	1.3c	6.9d	2.3d	5.1e	1.2c	4.0d
YK	15.5b	19.5b	12.8b	15.9c	7.7b	6.9d	14.1b	16.9c	9.6b	4.8d
YTJ	12.3c	5.5d	13.6b	47.4a	12.1a	21.4a	15.1b	28.5b	11.7a	16.5a
Treatments	'Cheongchima' Lettuce									
	FL					LED				
	Measurement days									
	standard		day 7		day 35		day 7		day 35	
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SiO <sub>2</sub>
Y	17.3a	9.8d	17.3a	9.1c	11.6b	14.1c	18.9a	11.8c	11.4a	9.4d
K	9.8d	21.6b	5.5d	20.4b	1.9d	19.0b	4.2d	20.1b	1.5c	17.3b
TJ	9.5d	38.4a	2.0e	4.6d	1.3d	6.4d	2.6e	5.5d	1.3c	11.1c
YK	15.5b	19.5c	12.5c	8.9c	9.3c	4.3e	13.7c	12.0c	8.0b	7.2e
YTJ	12.3c	5.5e	14.9b	31.0a	15.4a	27.1a	15.2b	28.6a	11.3a	38.2a

<sup>z</sup>Standard means composition contents of the nutrient solutions before treatments. <sup>y</sup>Different letter indicates significantly different at the 5% level by Duncan's multiple range test. Treatment codes see Figure 2.



묘가 흡수하는 인이나 규소 이외에 질소 성분의 경우에도 재배 개시 2~3주차 사이에 배양액내 포함되어 있는 성분의 대부분이 흡수되는 것으로 보아 특정 생육단계에서 양분관리의 필요성이 대두되었다. LED를 인공광원으로 하는 식물공장 조건에서 상추를 수경재배할 경우 생체중이나 건물중 증가는 광질보다는 광강도의 영향이 큰 것으로 알려져 있는데, 특히 적색이나 청색 등 단일의 LED 광조사 조건에서는 형광등에 비해 생장이 저하한다고 한다(Hirai et al., 2006; Saito et al., 2010; Shimizu et al., 2011). 이밖에도 상추와 같은 엽채류 이외에 방풍, 초화식물이나 관엽식물 등 다수 작물의 생체중 및 건물중 증가와 같은 양적생장에 있어서 단일광질보다 혼합광질의 영향에 대한 다수의 연구결과가 보고되고 있다(Khattak and Pearson, 2005; Kobayashi et al., 2013).

인공광이나 자연광 재배조건에서 일본원시, 야마자키 등 화학비료 유래 무기배양액 처리효과나 각 배양액내 전기전도도(Electrical Conductivity, EC) 제어가 작물의 생장에 미치는 영향에 대한 연구가 진행되고 있다(Cha et al., 2012; Cho et al., 2012; Lee et al., 2012; Kumar and Cho, 2014; Amalfitano et al., 2017; Zhang et al., 2015). 이외에 식물공장 조건에서 사용하는 무기배양액 관리방법과 관련하여 사용 후 버려지는 폐배양액의 재순환 및 재이용에 대한 연구들도 진행되고 있다(Kim et al., 2019). 그러나 인공광 식물공장 조건에서 재배과정이나 재배가 종료된 후에 발생하는 잎, 줄기, 미성숙과 등 폐기되는 부산물을 활용하여 제조한 유기배양액을 수경배양액으로 활용하거나 작물 생육에 미치는 유기배양액의 영향에 대한 연구사례가 많지 않기 때문에(Heo et al., 2018) 유기배양액 사용에 따른 배양액 성분, 광질 이외의 환경요인에 대한 연구가 절실히 요구된다.

한편 자연광을 이용하여 작물을 재배하는 온실과 같은 시설재배지에서는 주로 무기성분의 배양액을 사용하는데 이때 발생하는 폐수나 배출수 등에 기인하는 환경오염을 저감하기 위한 노력으로 유기배양액 대체 활용에 대하여 주목하고 있다. 딸기재배시 무기성분의 배양액 대신 유기배양액을 사용할 경우 관행의 무기배양액 처리에 의해 수확량이 증가하지만, 무기배양액에 비해 상대적으로 질소 농도가 낮은 유기배양액을 사용하면 오히려 과실내 영양성분 합성이 촉진된다(Cardoso et al., 2011; Conti et al., 2014). 이밖에도 자연광 시설에서 유기배양액이 과채류의 생장 및 과실내 물질합성에 미치는 영향에 대한 긍정적인 연구결과들이 다수 보고되고 있다(Abu-Zahra & Tahboub, 2009; Cardoso et al., 2011; Andersson et al., 2012). 본 실험에서 이용된 인공광 시설에서도 과채류가 아닌 엽채류를 재배할 경우 유기배양액내 낮은 질소농도에 의해 야기되는 양적생장 저하에도 불구하고 색소 등의 영양성분 합성과 관련된 질적생장 촉진뿐만 아니라 화학비료 사용에 의한 환경부하 저감을 위한 유기배양액 사용과 관련된 연구가 이루어져야 한다.

농업부산물 유래 유기배양액을 사용하여 상추를 박막식(NFT, Nutrient Film Technique)으로 수경재배하면 대부분의 경우 무기배양액 처리구보다 작물의 양적생장은 저하한

다(Atkin and Nichols, 2003). 현재 유기토양에서 작물을 토경재배 하거나 유기배양액으로 수경재배할 경우 본 실험결과와 같이 무기배양액에 비해 유기배양액내 현저히 낮은 질소함량에 의해 야기되는 작물의 생장저하에도 불구하고 무농약, 저농약 재배에 의한 농작물 안전성 및 친환경적인 면 등의 장점 때문에 노지나 시설재배지에서 유기재배한 작물에 대한 소비자의 관심은 높다. 특히, 생식 위주의 신선엽채나 베리류 등 일부 작물의 경우에는 화학비료, 병해충 방제를 위한 화학물질 사용 및 이에 따른 환경오염 등에 대한 문제가 거론되는 노지나 시설재배보다는 식물공장과 같이 자연광이 아닌 인공광을 조사하여 작물을 재배하는 시스템에서는 신선엽채를 주된 안정생산하기에 유리하다(Ikeda et al., 1992; Kang et al., 2013; Heo et al., 2015; Heo et al., 2017). 녹즙용 엽채의 하나로 주목받고 있는 케일의 경우 시설재배지에서는 병충해 방제를 위한 고가의 친환경제제를 사용해야 하며 수확 후 안전한 세척작업이 필요하고 기온변화에 따른 파종 및 육묘작업과 추대에 의한 수확기 단축 등 정식에서 수확까지의 생산 전 과정에서 다양한 문제점들이 제기되고 있다. 그러나 외부환경의 영향을 받는 온실과 같은 시설재배지와 달리 외부 기온변화나 병충해로부터 격리된 시설인 인공광 식물공장에서는 작물의 생장속도는 물론 글루코시놀레이트와 같은 엽내 유용물질의 합성이 촉진된다(Lee et al., 2016; Heo et al., 2017). 이와 같이 인공광 식물공장 조건에서 엽채를 재배할 경우 화학비료 유래 무기성분 중심의 배양액 사용에 의존하고 있는 수경재배의 대안의 하나로 농업부산물을 활용하여 제조한 유기배양액을 사용하는 유기적 수경재배를 시도할 경우, 농업부산물 등 폐자원의 활용뿐만 아니라 화학비료 사용량 저감효과도 기대된다. 또한 식물공장에서는 온도나 습도와 같은 물리적인 환경변화가 거의 없는 제어된 환경조건을 갖고 있기 때문에 작물 생육단계별로 필요한 배양액 구성성분이나 생육에 필요한 농도를 정밀하게 파악하여 제어할 수 있어 질산염과 같은 작물체내 과도한 양분 축적을 회피하면서 적량의 배양액 공급이 가능해질 것으로 생각된다.

본 연구에서는 광질이 상이한 인공광 식물공장 조건에서 폐기 농업부산물을 활용하여 작물 생육단계별 유기배양액의 사용 효과, 유기배양액 사용에 의한 수경재배시 문제점이나 유·무기 배양액내 무기성분의 경시변화 및 적치마와 청치마의 생장에 미치는 영향을 검토하였다. 인공광 시설뿐만 아니라 자연광 시설에서도 작물을 수경재배할 경우에는 먼저 생육단계별로 필요한 배양액의 성분과 양을 정확하게 파악하는 등의 배양액 관리방법이 중요하다. 또한 식물공장 조건에서는 노지나 시설재배와 달리 4~7주의 비교적 단기간 동안 작물을 수경재배하는 것이 일반적이므로 재배기간 동안 작물생장에 필요한 영양성분 변화에 대한 정밀한 계측이 필요하다(Maneejantra et al., 2016). 현재 유·무기 등 배양액의 종류와 상관없이 인공광 식물공장에서 작물을 수경재배할 경우 생육에 적합한 배양액 종류와 농도의 효율적 관리를 위하여 작물 생육기간 동안 부족해지는 영양성분과 농도를 판단할 수 있는 배양액 관리시스템이 구축되고 있다(Heo et al., 2018). 앞으로는 식

물공장 조건에서 유기배양액의 최적 제조조건 도출과 같은 기술적 측면뿐만 아니라 유기배양액 활용으로 관행의 무기배양액 사용량을 줄일 수 있는 효과적인 배양액 관리, 유·무기 배양액 혼용에 의한 경제적·환경적 영향 및 관행 배양액의 대체효과 등에 대한 정량적 평가가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

인공광 식물공장에서는 작물을 생산하기 위하여 일반적으로 화학비료 유래 무기성분을 포함하는 배양액을 사용하여 수경재배한다. 본 연구에서는 광질이 상이한 식물공장에서 관행의 무기배양액 일부 또는 전량을 유기배양액으로 대체할 수 있는 폐기 농업부산물 유래 유기배양액을 사용하여 수경재배하고 작물의 생장에 미치는 영향을 검토하였다. 청색, 적색 및 백색 LED를 1:2:1의 비율로 혼합한 혼합LED 및 관행의 형광등 조사 조건에서 적치마와 청치마 상추 실생묘를 35일간 수경재배한 결과, 적치마와 청치마 상추의 생체중 및 전개엽수 증가는 형광등을 조사한 Y구에서 통계적으로 유의하게 증가하였다. 그러나 유·무기 혼합배양액 처리구인 YK 및 YTJ에서는 오히려 혼합LED 조사구에서 증가하였다. 유기배양액 단용 또는 유·무기 혼합배양액 처리시 엽내 SPAD치는 두 실생묘 모두 Y구와 유사하거나 증가하는 경향을 나타내었다. 관행의 무기배양액인 Y구에서 배양액내 구성성분 중 가장 많은 양을 차지하고 있는 무기성분인  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 재배개시일에 약 97 mg/L으로, 적치마와 청치마 상추 실생묘에서 모두 재배기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 적치마의 경우 재배종료시 각 처리구별  $\text{NO}_3\text{-N}$  농도는 형광등 조사시 약 29 mg/L, 혼합LED 조사시 24 mg/L였으며, 청치마의 경우 형광등 조사시 약 26 mg/L, 혼합LED 조사시 47 mg/L로, 초기 투입량 대비 25~48% 정도의 양이 재배종료시까지 흡수되지 않고 남아 있었다. 재배개시일  $\text{NH}_3\text{-N}$  농도는 Y구<YK구<YTJ구<K구<TJ구 순으로, TJ구의 경우 Y구 대비 2배 이상 높았으나 TJ구 및 YK구를 제외한 모든 처리구에서 재배개시 2~3주차부터 대부분이 흡수되었으며 재배종료시 혼합LED 조사시 청치마 상추를 재배한 TJ구에서  $\text{NH}_3\text{-N}$  잔여량은 약 13%로 최대값을 나타내었다. 관행의 무기배양액내 질산태질소는 작물체에 흡수되어 생체중, 엽수 증가와 같은 지상부 생장을 좌우하는 주요 성분이지만 재배종료시까지 전량이 흡수되지 않고 남아 있는 것으로 보아 상추 수경재배시 배양액내 질산태질소의 초기 투입량을 조절할 필요성이 대두되었다. 연구결과 농업부산물 유래 유기배양액을 활용하여 적치마와 청치마 상추를 수경재배할 경우 유기배양액 단용보다 유·무기 혼합배양액 사용으로 유기배양액내 부족한 질소 성분을 무기질소로 보충할 수 있어 무기성분 사용량 저감이 기대된다. 또한 상추 실생묘의 양적생장 추이와 달리 엽내 색소합성이 관행 무기배양액보다 특정 유기배양액 단용 또는 혼용에 의해 유의하게 증가하는 것으로 보아 작물체내 물질합성량, 유기배양액 사용기간 및 재이용 등 유기배

양액의 화학적 특성 변화에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## Note

The authors declare no conflict of interest.

## Acknowledgement

This study was funded by a research program (PJ01256601) of Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

## References

- Abu-Zahra, T. R., & Tahboub, A. A. (2009). Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch) fruit quality grown under different organic matter sources in a plastic house at Humrat Al-Sahen. *Acta Horticulturae*, 807, 353-358.
- Amalfitano, C. A., Del Vacchio, L. D. V., Somma, S., Cuciniello, A. C., & Caruso, G. (2017). Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of 'Friariello' pepper grown in hydroponics. *Horticultural Science*, 44(2), 91-98.
- Andersson, G. K., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2012). Organic farming improves pollination success in strawberries. *PLoS One*, 7(2), e31599.
- Atkin, K., & Nichols, M. A. (2003). Organic hydroponics. *Acta Horticulturae*, 648, 121-127, 10.17660/ActaHortic.2004.648.14.
- Bojarezuk, K. (2004). Effect of aluminium on the development of poplar (*Populus tremula* L. × *P. alba* L.) *in vitro* and *in vivo*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 13(3), 261-266.
- Cardoso, P. C., Tomazini, A. P. B., Stringheta, P. C., Ribeiro, S. M., & Pinheiro-Sant'Ana, H. M. (2011). Vitamin C and carotenoids in organic and conventional fruits grown in Brazil. *Food chemistry*, 126(2), 411-416.
- Caruso, G., Conti, S., & La Rocca, G. (2011). Influence of crop cycle and nitrogen fertilizer form on yield and nitrate content in different species of vegetables. *Advances in horticultural science*, 25(2), 81-89.
- Cha, M. K., Kim, J. S., & Cho, Y. Y. (2012). Growth response of lettuce to various levels of EC and light intensity in plant factory. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4), 305-311.
- Chen, X. L., Guo, W. Z., Xue, X. Z., Wang, L. C., & Qiao, X. J. (2014). Growth and quality responses of 'Green

- Oak Leaf lettuce as affected by monochromatic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED). *Scientia Horticulturae*, 172, 168-175.
- Cho, Y. Y., Choi, K. Y., Lee, Y. B., & Son, J. E. (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. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 53(5), 368-372.
- Conti, S., Villari, G., Faugno, S., Melchionna, G., Somma, S., & Caruso, G. (2014). Effects of organic vs. conventional farming system on yield and quality of strawberry grown as an annual or biennial crop in southern Italy. *Scientia Horticulturae*, 180, 63-71.
- Dasgan, H. Y., & Bozkoylu, A. (2007). Comparison of organic and synthetic-inorganic nutrition of soilless grown summer squash. *Acta Horticulturae*, 747, 523-528, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.747.68>
- Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., & Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55.
- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Veneria, E., Roupheal, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(12), 4319-4325.
- Franklin, K. A., Larner, V. S., & Whitelam, G. C. (2005). The signal transducing photoreceptors of plants. *The International Journal of Developmental Biology*, 49, 653-664.
- Fu, Y., Li, H., Yu, J., Liu, H., Cao, Z., Manukovsky, N. S., & Liu, H. (2017). Interaction effects of light intensity and nitrogen concentration on growth, photosynthetic characteristics and quality of lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. youmaicai). *Scientia horticulturae*, 214, 51-57.
- Haddad, M., & Mizyed, N. (2011). Evaluation of various hydroponic techniques as decentralized wastewater treatment and reuse systems. *International Journal of Environmental Studies*, 68(4), 461-476.
- Heo, J. W., Kim, H. H., Lee, K. J., Yoon, J. B., Lee, J. K., Huh, Y. S., & Lee, K. Y. (2015). Effect of supplementary radiation on growth of greenhouse-grown kales. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 34(1), 38-45.
- Heo, J. W., Lee, J. S., Lee, G. I., & Kim, H. H. (2017). Growth of kale seedlings affected by the control of light quality and intensity under smart greenhouse conditions with artificial lights. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36(3), 193-200.
- Heo, J. W., Park, K. H., Lee, J. S., Hong, S. G., Lee, G. I., & Baek, J. H. (2018). Design of cloud-based data analysis system for culture medium management in smart greenhouse. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 37(4), 251-259.
- Hirai, T., Amaki, W., & Watanabe, H. (2006). Effects of monochromatic light irradiation by LED on the internodal stem elongation of seedlings in eggplant, leaf lettuce and sunflower. *Journal of Society of High Technology in Agriculture (Japan)*, 18(2), 160-166.
- Ikeda, A., Tanimura, Y., Ezaki, K., Kawai, Y., Nakayama, S., Iwao, K., & Kageyama, H. (1992). Environmental control and operation monitoring in a plant factory using artificial light. *Acta Horticulturae*, 304, 151-158, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1992.304.16>.
- Inden, H., Akamatsu, Y., Mastuda, T., & Yamamoto, M. (2011). Low cost plant factory using hybrid electrode fluorescent lamp (HEFL). *Acta Horticulturae*, 907, 157-160, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.21>.
- Kang, J. H., KrishnaKumar, S., Atulba, S. L. S., Jeong, B. R., & Hwang, S. J. (2013). Light intensity and photoperiod influence the growth and development of hydroponically grown leaf lettuce in a closed-type plant factory system. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 54(6), 501-509.
- Kang, W. H., Park, J. S., Park, K. S., & Son, J. E. (2016). Leaf photosynthetic rate, growth, and morphology of lettuce under different fractions of red, blue, and green light from light-emitting diodes (LEDs). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(6), 573-579.
- Khan, K., Yan, Z., & He, D. (2018b). Impact of light intensity and nitrogen of nutrient solutions on nitrate content in three lettuce cultivars prior to harvest. *Journal of Agricultural Science*, 10(6), 99-109.
- Khan, K., Yan, Z., Abbas, A., & He, D. (2018a). Impact factors influencing the nitrate accumulation of leafy vegetables in plant factory. *International Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 4(1), 64-73.
- Khattak, A. M., & Pearson, S. (2005). Light quality and temperature effects on antirrhinum growth and development. *Journal of Zhejiang University Science*, B, 6(2), 119-124.
- Kim, D. G., Lee, C., Yun, Y. S., Hong, C. H., & Choi, Y. E. (2019). Recycling waste nutrient solution originating from the plant factory with the cultivation of newly isolated *Acutodesmus* species. *Journal of Biotechnology*, 289, 15-25.
- Kobayashi, K., Amore, T., & Lazaro, M. (2013). Light-

- Emitting Diodes (LEDs) for miniature hydroponic lettuce. *Optics and Photonics Journal*, 3(01), 74-77.
- Kozai, T. (2013). Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceeding of the Japan Academy Series B*, 89(10), 447-461.
- Kumar, R. R., & Cho, J. Y. (2014). Reuse of hydroponic waste solution. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(16), 9569-9577.
- Lee, G. J., Heo, J. W., Jung, C. R., Kim, H. H., Jo, J. S., Lee, J. G., Lee, G. J., Nam, S. Y., & Hong, E. Y. (2016). Effects of artificial light sources on growth and glucosinolate contents of hydroponically grown kale in plant factory. *Protected Horticulture and Plant Factory*, 25(2), 77-82.
- Lee, S. G., Choi, C. S., Lee, J. G., Jang, Y. A., Nam, C. W., Yeo, K. H., Lee, H. J., & Um, Y. C. (2012). Effects of different EC in nutrient solution on growth and quality of red mustard and Pak-Choi in plant factory. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4), 322-326.
- Lopez, A., Fenoll, J., Hellin, P., & Flores, P. (2013). Physical characteristics and mineral composition of two pepper cultivars under organic, conventional and soilless cultivation. *Scientia Horticulturae*, 150, 259-266.
- Maneejantra, N., Tsukagoshi, S., Lu, N., Supoailbulwatana, K., Takagaki, M., & Yamori, W. (2016). A quantitative analysis of nutrient requirements for hydroponics Spinach (*Spinacia oleracea* L.) production under artificial light in a plant factory. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 7(2), 170-174.
- Martinez-Alcantara, B., Martinez-Cuenca, M., Bermejo, A., Legaz, F., & Quinones, A. (2016). Liquid organic fertilizers for sustainable agriculture: Nutrient uptake of organic versus mineral fertilizers in Citrus trees, *PLoS One*, 11(10), e0161619, 1-20.
- Morrow, R. C. (2008). LED lighting in horticulture. *HortScience*, 43(7), 1947-1950.
- Phibunwatthanawong, T., & Riddech, N. (2019). Liquid organic fertilizer production for growing vegetables under hydroponic condition. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1-12.
- Promratrak, L. (2017). The effect of using LED lighting in the growth of crops hydroponics. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 6(2), 133-140.
- Saito, Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. (2010). The effect of light quality on growth of lettuce, *IFAC Proceedings Volumes*, 43(26), 294-298.
- Shimizu, H., Saito, Y., Nakashima, H., Miyasaka, J., & Ohdoi, K. (2011). Light environment optimization for lettuce growth in plant factory. *IFAC Proceedings Volumes*, 44(1), 605-609.
- Shin, K. S., Murthy, H. N., Heo, J. W., Hahn, E. J., & Paek, K. Y. (2008). The effect of light quality on the growth and development of in vitro cultured *Doritaenopsis* plants. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(3), 339-343.
- Shoji, K., Goto, E., Hashida, S., Goto, F., & Yoshihara, T. (2011). Effect of light quality on the polyphenol content and antioxidant activity of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Horticulturae*, 907, 95-99, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.10>.
- Suárez, M. H., Rodríguez, E. R., & Romero, C. D. (2007). Mineral and trace element concentrations in cultivars of tomatoes. *Food Chemistry*, 104(2), 489-499.
- Tennessen, D. J., Singsaas, E. L., & Sharkey, T. D. (1994). Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynthesis research*, 39(1), 85-92.
- Yoon, C. G., & Choi, H. K. (2011). A study on the various light source radiation conditions and use of LED illumination for plant factory. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 25(10), 14-22.
- Zhang, X., He, D., Niu, G., Yan, Z., & Song, J. (2018). Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. *International Journal Agricultural & Biological Engineering*, 11(2), 33-40.
- Zhang, Y., Kiriwa, Y., & Nukaya, A. (2015). Influence of nutrient concentration and composition on the growth, uptake patterns of nutrient elements and fruit coloring disorder for tomatoes grown in extremely low-volume substrate. *The Horticulture Journal*, 84(1), 37-45.