

# Quantum Dot LED를 이용한 상추 주요 병원성 곰팡이 및 세균의 생장억제효과 기내실험

## *In Vitro* Quantum Dot LED to Inhibit the Growth of Major Pathogenic Fungi and Bacteria in Lettuce

### \*Corresponding author

Tel: +82-33-250-6417

Fax: +82-33-243-3314

E-mail: younslee@kangwon.ac.kr

이현구<sup>1</sup> · 김상우<sup>1</sup> · 마헤시 아드히카리<sup>1</sup> · 순 쿠말 구룽<sup>1</sup> · 세투 바지에<sup>1</sup> · 산 꼬설<sup>1</sup> · 권병헌<sup>1</sup> · 주한준<sup>1</sup> · 고영욱<sup>2</sup> · 김용득<sup>2</sup> · 유용환<sup>2</sup> · 박태희<sup>2</sup> · 신정철<sup>2</sup> · 김민하<sup>2</sup> · 이윤수<sup>1\*</sup><sup>1</sup>강원대학교 식물자원응용과학과<sup>2</sup>(재)철원플라즈마산업기술연구원Hyun-Goo Lee<sup>1</sup>, Sang-Woo Kim<sup>1</sup>, Mahesh Adhikari<sup>1</sup>, Sun Kumar Gurung<sup>1</sup>, Setu Bazie<sup>1</sup>, San Kosol<sup>1</sup>, Byeong-Heon Gwon<sup>1</sup>, Han-Jun Ju<sup>1</sup>, Young-Wook Ko<sup>2</sup>, Yong-Duk Kim<sup>2</sup>, Yong-Whan Yoo<sup>2</sup>, Tae-Hee Park<sup>2</sup>, Jung-Chul Shin<sup>2</sup>, Min-Ha Kim<sup>2</sup>, and Youn Su Lee<sup>1\*</sup><sup>1</sup>Department of Applied Plant Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea<sup>2</sup>Cheorwon Plasma Research Institute, Cheorwon 24047, Korea

QD LED has an ideal light source for growing crops and can also be used to control plant pathogenic microorganisms. The mycelial growth inhibition effect of QD LED light on *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora drechsleri*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Pectobacterium carotovorum*, and *Xanthomonas campestris* were investigated. According to the results, BLUE (450 nm) light, suppressed *S. sclerotiorum* by 16.7% at 50 cm height from the light source, and 94.1% mycelial growth at 30 cm height. Mycelial growth of *Sclerotinia minor* was inhibited by 80.4% at 50 cm height and 36.3% at 50 cm height in *B. cinerea*. *S. minor*, and *B. cinerea* was inhibited by 100% mycelial growth at a height of 30 cm from the light source. At 15 cm height, all three pathogens (*B. cinerea*, *S. minor*, and *S. sclerotiorum*) was inhibited by 100%. QD RED (M1) and QD RED (M2) light suppressed mycelial growth of *S. minor* and *B. cinerea* by 100% at 30 cm and 15 cm height from the light source. For *S. sclerotiorum*, QD RED (M1) and QD RED (M2) showed 75.2% and 100% inhibition, respectively. Further experiment was conducted to know the suppression effect of lights after inoculating the fungal pathogens on lettuce crop. According to the results, QD RED (M2) suppressed the *S. sclerotiorum* by 59.9%. In addition, Blue (450 nm), QD RED (M1), and QD RED (M2) light reduce the infestation by 59.9%. In case of *B. cinerea*, disease reduction was found 84% by BLUE (450 nm) light. Results suggest that the growth inhibition of mycelium increases by Quantum dot LED light.

**Keywords:** Inhibition, Plant pathogens, Quantum dot LED, Suppression

Received June 15, 2019

Revised July 4, 2019

Accepted July 5, 2019

## 서론

상추는 재배역사가 오래된 1년생 국화과 식물로 세계적으로 널리 재배되고 있으며 국내에서 시설재배 면적에 약 30%를 차지할 정도로 많은 재배면적을 차지하고 있는 엽채류 작물 중 하나이다. 상추는 시들음병, 역병, 잿빛곰팡이병(*Botrytis cinerea*)

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

[www.online-rpd.org](http://www.online-rpd.org)

© The Korean Society of Plant Pathology

© This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

등 다양한 병해가 발생하고 있으며 시설재배의 연작과 하우스의 다습조건으로 토양전염성이 강한 밑동썩음병이 잘 발생하고 2차적으로 균핵병과 *B. cinerea*의 발생이 유도될 수 있다. 시설재배 및 연작재배지에서 본 병해로 인한 상당한 피해를 받고 있어 병해의 발생과 방제에 많은 관심을 두고있다(Kim 등, 2004; Kim 등, 2008)

양자점(Quantum-Dot)은 물질의 크기가 나노 단위로 작아졌을 때 광학적, 전기적 성질이 크게 변하는 반도체 나노 입자를 말한다. Quantum dot LED (QD LED)는 자발광 소자 LED의 빛을 받아, 양자점의 크기에 의해 결정된 파장의 빛으로 변환되어 새로운 빛을 만들어낸다. QD LED는 OLED에 비해 디스플레이의 크기를 확대할 수 있고, 색 재현율이 높으며, 기존 LED-TV의 완성된 기술에 비교적 간단하게 적용할 수 있어, 상용화되고 있는 디스플레이를 대체하기 위한 기술로 주목 받고 있다(Moon 등, 2016).

일반적으로 LED광은 좁은 대역폭의 파장을 방출하며 고체상태의 구조로 부피와 질량이 작고 수명이 길다는 장점이 있으며 소규모 집약적인 식물배양시스템에 적합한 광원으로 이용이 가능하다(Bula 등, 1991). 또한 제한된 공간의 식물배양시스템에서 재배하는 작물의 성장과 병 저항성 연구에도 사용될 수 있다(Schuenger와 Brown, 1994). BLUE (450 nm) LED광은 *B. cinerea*의 균사생장을 억제한다는 보고가 있고(Kim 등, 2013; Kook 등, 2013) RED (660 nm) LED광은 장미의 하우스재배에서 흰가루병의 성장억제에 효과가 있다고 하였다(Suthaparan 등, 2010).

현재 온실 및 시설 재배를 하는 데 있어 LED 광원을 이용하여 작물의 생육을 조절하는 연구는 계속해서 진행되고 있는 반면 식물 병원균의 방제와 LED광원에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있지 않다. 따라서 QD LED 광원을 이용하여 상추 주요 병원균의 성장을 억제할 수 있다면 방제를 위한 인력 및 화학제품 사용을 감소시키고 고효율 LED광원의 개발과 활용범위를 넓히는 데 기여할 것으로 판단되어 본 연구를 수행하였다.

## 재료 및 방법

**병원균.** 상추에 심각한 병해를 일으키는 주요 병해인 썩빛곰팡이병(*Botrytis cinerea* KACC40574), 시들음병(*Fusarium oxysporum*, KACC42795), 역병(*Phytophthora drechsleri*, KACC40463), 밑동썩음병(*Rhizoctonia solani*, KACC40108), 균핵병(*Sclerotinia minor*, KACC41068, *Sclerotinia sclerotiorum*, KACC41065)과 무름병(*Pectobacterium carotovorum*, KACC10346), 세균성 점무늬병(*Xanthomonas campestris*,

KACC16358)을 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원정보센터(<http://www.genebank.go.kr>)에서 분양 받아 실험에 이용하였다. 분양 받은 병원성 곰팡이는 8-mm Cork borer로 분리하여 Potato Dextrose Agar (PDA) 배지 중앙에 올리고 25°C에서 3-7일간 배양 후 균사의 선단부를 분리하여 계대배양하였다. 병원성 세균은 Tryptic Soy Agar (TSA) 배지에 접종하여 활성검정을 시행하였고 고체배지 상에 나타난 colony를 분리하여 Tryptic Soy Broth 배지에 접종 후 28°C에서 72시간 진탕배양하였다.

**LED광원.** 조명에 따른 식물 병원성 곰팡이의 성장억제를 실험하기 위해 사용한 조명은 총 6종으로, 삼파장 형광등을 positive control로 사용하고, 청색등(Blue 450 nm), 적색등(Red 660 nm), 일반 LED 식물등(Normal Plant LED, 청색 450 nm와 적색 660 nm 파장 혼재) 및 Quantum Dot 소재를 사용하여 적색 파장의 스펙트럼을 넓게 만든 M1등과 M2등을 준비하였다.

본 조명등은 식물생장용으로 제작한 것이므로, 광합성광량 가속밀도(photosynthetic photon flux density, PPF,  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ )를 기준으로 조명 광 배출면으로부터 150 mm의 거리에서 측정하여 102-105을 나타내도록 제어하여 사용하였다. 삼파장 형광등은 400 nm에서 700 nm 사이에서 불규칙한 peak을 보이며 산재하여 우리 눈에는 백색으로 보이는 방전등이며, 나머지 특정 단색 파장을 내는 조명은 LED 조명을 사용하였다. 특히 Quantum Dot 소재를 적용한 조명 M1등과 M2등은 일반적으로 사용한 식물생장등의 파장과 비교하여 적색 스펙트럼을 넓게 제작하였다. 특히 M2등은 M1등에 비하여 근적외선 파장을 강화하였다(Fig. 1). 조명의 소비전력은 삼파장 형광등이 18 W로 가장 높게 나타났고, 나머지 LED를 사용한 조명등은 8-10 W 수준을 보였다.

QD LED에 대한 병원성 미생물의 성장억제효과를 확인하기 위하여, 삼파장 형광등(EL) (PPFD 104.3), BLUE (450 nm, PPF 105.8), RED (660 nm, PPF 102.5), Narrow RED (PPFD 104.5) 4 종류의 10 W급 식물 성장조절등과 QD RED (M1, PPF 104.8), QD RED (M2, PPF 104.3) 10 W급 QD LED 식물 성장조절등을 제작하여 광원으로 사용하였다(철원플라즈마산업기술연구원 제작). 자체 제작한 50×50×50 cm 규격의 light box에서 LED광원 외 외부광원을 차단한 상태로 12개의 실험구를 만들어 실험을 진행하였다. Light box 1개의 구당 최대 4개의 LED광원을 설치할 수 있도록 하였으며 광원의 거리를 조절하기 위해 받침대의 높이를 15, 30, 50 cm로 변경할 수 있도록 제작하였다. 또한 조명에서 발생하는 열로 인한 온도상승을 방지하기 위해 냉풍

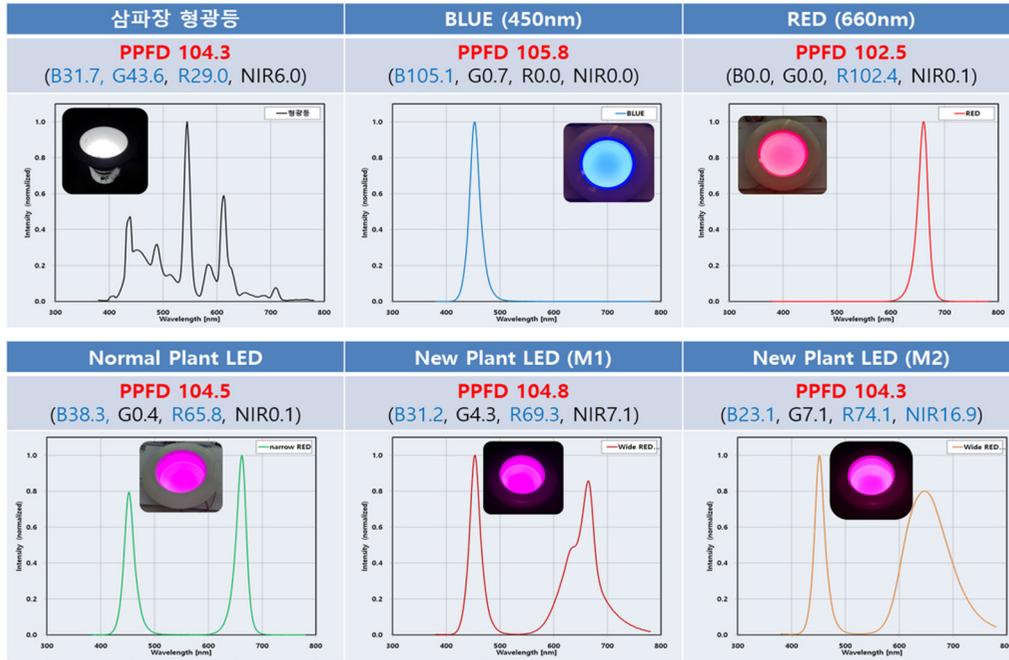


Fig. 1. The wavelength of the light used in the experiment.



Fig. 2. Chamber with different light condition including QD LED.

장치를 이용하여 light box 내의 온도를 측정하며 일정하게 유지하였다(Fig. 2).

**생장억제효과 검정.** 광원의 거리 및 LED파장에 따른 병원균의 억제효과를 확인하기 위하여 PDA 배지에 배양한 6종의 병원성 곰팡이균을 8 mm Cork borer로 분리하여 생성된 agar plug를 각각 새로운 PDA 배지 중앙에 치상하였다. Agar plug를 치상한 배지를 6종류의 광원을 설치한 light box에 넣은 후 25°C에서 병원균의 성장속도에 따라 4, 7, 14일 간격으로 균사의 성장을 관찰하였다. 진탕배양한 2종의 병원성 세균은 1×10<sup>7</sup> CFU/ml 농도의 배양액을 10<sup>-4</sup>으로 희석하여 micropipette으로 30 µl씩 각각 TSA 배지에 접종한 뒤 도말하여 light box에서 28°C로 2일간 배양하였다. 각각의 병원균은 하나의 광원마다 3반복으로 실험하였고 암조건에서 배양한 병원균을 negative control로 사용하였다. 배양 후 병원성 곰팡이의 균사생장 직경

을 측정하여 다음의 식으로 억제율을 측정하였고 도말한 병원성 세균의 배지상 colony 수를 counting하고 대조구와 비교하여 QD LED 광원에서 병원성 미생물의 생장억제효과를 확인하였다.

$$\text{Inhibition rate (\%)} = \frac{\text{최대측정치(Control)} - \text{측정치(Growth)}}{\text{최대측정치(Control)}} \times 100$$

**균핵병균(*S. sclerotiorum*, *S. minor*)의 접종.** 균핵병균 *S. sclerotiorum*, *S. minor*를 PDA 배지에 접종하여 25°C 온도에서 7일간 배양하였으며 형성된 균사를 Ø8 mm Cork borer를 이용하여 agar plug로 분리하였다. 병원균의 접종은 72공 연결포트에 파종한 3-4엽기 상추 육묘를 대상으로 하였으며 배지에서 분리한 agar plug를 1주의 상추 육묘당 3개씩 지제부와 근접한 상토에 접종하였다. 발병조건을 최적화하기 위해 상추 육묘 지제부에 needle을 이용하여 상처를 내고 20±1°C 온도에서 90-95%의 습도를 유지하여 발병을 확인하였으며 발병 초기증상을 보임과 동시에 light box에서 QD LED조명에 의한 생장억제효과 실험을 진행하였다.

**잿빛곰팡이병원균(*B. cinerea*)의 접종.** 잿빛곰팡이병원균 *B. cinerea*를 PDA배지에 접종하고 25°C 온도에서 14일간 배양하였으며 형성된 균사와 포자를 Scaper를 이용해 분리하였다. 분리한 균사와 포자는 500 ml의 Potato Dextrose Broth (PDB) 배지에 희석하여 1×10<sup>6</sup>/ml의 포자현탁액을 만들었으며 72공 연결포트에 파종한 3-4엽기 상추 육묘 앞에 분무처리 하였다. 처리 전 상추 잎에 needle로 상처를 만들어 병원균의 감염이 쉽게

진행되도록 하였으며 저온 다습한 환경에서 발병이 급속도로 진행되는 *B. cinerea*의 발병조건에 맞춰 병원균을 접종시킨 상추 육묘를 20±1°C 온도에 습도를 90–95%로 유지해주어 발병을 유도하였다. 발병을 확인하고 병반의 형성 유무를 확인하였으며 발병초기에 감염된 상추 육묘를 light box에 넣어 QD LED를 이용한 생장억제효과를 확인하였다.

**상추접종 병원성 곰팡이의 생장억제효과.** 균핵병(*S. sclerotiorum*, *S. minor*)과 *B. cinerea*에 감염된 상추 육묘를 LED조명과 QD LED가 설치된 light box 내에서 생육하며 병 발생 정도와 억제효과를 확인하였다. 조명의 높이는 30 cm로 설정하였으며 한 구당 4개의 조명을 설치하여 식물 전체가 조명의 영향을 받을 수 있도록 하였다. 병원균을 인공 접종시킨 상추는 12시간 간격으로 7일간 조명을 비춰 주었으며 이후 병 발생 정도와 억제효과를 확인하였다. 각 실험은 구당 6개의 실험체로 3반복으로 실시하였다.

Disease reduction (%) =

$$\frac{\text{Total Number of Plants(leaf)} - \text{Number of Plants(leaf)died}}{\text{Total Number of Plants(leaf)}} \times 100$$

### 결과 및 고찰

**LED 광원의 파장별 병원균의 생장 모니터링.** 상추 주요 병원성 세균은 배양 24시간 후 빠른 속도로 생장하였으며 48시간이 지난 후 *X. campestris*는 배지상의 Colony의 측정이 불가능한 수준으로 생장한 것을 확인하였다. *P. carotovorum*은 BLUE (450 nm) 광원에서 276.67 CFU/30 µl로 다른 파장의 광원보다 약간 더 낮은 생장을 보였지만 309.33 CFU/30 µl인 대조구와 비교해 유의한 차이는 보이지 않았다.

병원성 곰팡이의 경우 균의 생장속도에 따라 4, 7, 14일간 배양하여 LED 광원의 파장에 따른 생장을 관찰한 결과 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2)광원에서 *B. cinerea*, *S. minor*, *S. sclerotiorum*, *P. drechsleri*의 생장이 억제되는 것을 관찰하였다. *F. oxysporum*, *R. solani*는 모든 LED광원에서 대조구와 비교하였을 때 유의한 차이를 보이지 않았으며 QD LED에 의한 생장억제효과가 없다고 판단하였다.

**LED광원과 병원균의 거리에 따른 생장억제율.** 광원의 높이와 광량에 따른 병원균의 생장억제율을 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 병원성 세균 *X. campestris*과 *P. carotovorum*은 LED광원과 병원균의 거리에 따른 생장의 차이를 보이지 않았으며 대조구와 비교하였을 때 유의한 차이를 보이지 않아 생장

**Table 1.** Colony counting of bacteria in different lighting conditions

Light treatment	Bacteria (CFU/30 µl)	
	<i>Xanthomonas campestris</i>	<i>Pectobacterium carotovorum</i>
EL	UC	292.04±28.77 d <sup>a</sup>
BLUE	UC	276.67±31.86 d
RED	UC	377.67±28.31 c
Narrow RED	UC	652.67±27.99 a
QD RED (M1)	UC	588.24±19.85 b
QD RED (M2)	UC	605.88±18.47 b
Control	UC	309.33±17.49 d

CFU, colony-forming unit; UC, uncountable.

<sup>a</sup>Same alphabetic superscripts values are not different significantly at P≤0.05 levels according to Duncan’s multiple range test. Data are means of three replications.

억제효과가 없다고 판단하였다(Table 1).

15 cm 거리에서 관찰한 병원균의 균사생장을 관찰한 결과 BLUE (450 nm) 광원에서 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*의 생장을 100% 억제하였고 *P. drechsleri* 또한 80.4%의 높은 균사생장억제율을 보였다(Table 2). *P. drechsleri*는 QD RED (M1)와 QD RED (M2) 광원에서도 각각 18.2%, 36.4%의 균사생장억제율을 보였고 *S. sclerotiorum*은 QD RED (M2)광원에서 35.3%, *S. minor*는 QD RED (M1)과 QD RED (M2)광원에서 100%로 균사생장이 억제 되는 것을 확인하였다. *B. cinerea*의 경우 모든 LED 광원 조건에서 100% 생장이 억제되는 것을 확인하였고 *F. oxysporum*과 *R. solani*는 LED광원에 의한 균사생장억제효과가 없었다(Table 2).

LED광원과 병원균의 거리를 30 cm로 설정하여 생장을 관찰한 결과 *S. sclerotiorum*은 BLUE (450 nm)광원에서 94.2%의 높은 균사생장억제율을 보였고 QD RED (M1)광원에서도 75.3%의 억제율을 보였다. 또한 QD RED (M2)광원에서는 100%로 균사의 생장이 억제된 것을 확인하였다(Table 2). RED (660 nm)와 Narrow RED 광원에서도 각각 21.2%, 42.4%의 억제율을 보였다. *S. minor* 또한 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 광원에서 균사의 생장이 100% 억제되어 자라지 못하였고 RED (660 nm) 광원에서 43.6%, Narrow RED 광원에서 90.6%로 높은 생장억제율을 보였다. *B. cinerea*의 경우 모든 광원에서 균사생장억제효과를 보였으며 RED (660 nm) 광원에서 83.6%로 가장 억제율이 낮았고 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 광원에서 100%의 균사생장억제율을 보였다. 50 cm 거리에서 실험하였을 때 효과를 보이지 않던 *P. drechsleri*는 광원과 병원

Table 2. Inhibition rate of fungal mycelial growth under different light conditions at different heights

Light treatment	Inhibition rate (%)																	
	15 cm					30 cm					50 cm							
	R. sol	P. dre	S. scl	S. min	B. cin	F. oxy	R. sol	P. dre	S. scl	S. min	B. cin	F. oxy	R. sol	P. dre	S. scl	S. min	B. cin	F. oxy
EL	0	6±0.2 <sup>d</sup>	0 d	32.9±1.6 d	100	0 c	0	28.7±1.3 cd	0 f	21.1±1.2 d	91.1±0.7 b	2.6±0.4 c	0	0	32.4±1.4 b	88.4±2.3 a	18±1.3 d	1.7±0.5 b
BLUE	0	80.3±2.7 a	100 a	100 a	100	9.5±0.6 a	0	42.5±1.7 a	94.1±1.6 b	100 a	100 a	14.6±1.5 a	0	0	16.7±1.3 d	80.4±1.5 b	36.3±1.1 b	4.2±0.2 a
RED	0	7.5±0.9 d	5.8±0.9 c	63.4±2.3 b	100	0 c	0	26.2±2.4 d	21.1±0.7 e	43.5±1.8 c	83.5±2.1 c	8±0.8 b	0	0	7.6±1.1 e	40.3±1.1 e	16±0.4 d	4.9±1 a
Narrow RED	0	1.5±0.3 e	0 d	40.2±0.4 c	100	0 c	0	32.5±1.6 c	42.3±1.2 d	90.5±0.8 b	93.6±1.1 b	10.6±1.3 b	0	0	0 f	0 f	29.8±1.15 c	1.6±0.6 b
QD RED (M1)	0	18.1±1.4 c	5.8±0.6 c	100 a	100	1.3±0.2 b	0	37.5±1.2 b	75.2±1.6 c	100 a	100 a	10.6±0.2 b	0	0	19.8±0.9 c	48.4±1 d	30.1±0.7 c	4.9±0.4 a
QD RED (M2)	0	36.3±1.5 b	35.2±2 b	100 a	100	9.5±1.05 a	0	40±0.9 ab	100 a	100 a	100 a	16±1.2 a	0	0	36.3±0.82 a	67.1±1.6 c	43.0±2.7 a	4.6±0.2 a
Control	0	0 e	0 d	0 e	0	0 c	0	0 e	0 f	0 e	0 d	0 c	0	0	0 f	0 f	0 e	0 c

R. sol, *Rhizoctonia solani*; P. dre, *Phytophthora drechsleri*; S. scl, *Sclerotinia sclerotiorum*; S. min, *Sclerotinia minor*; B. cin, *Botrytis cinerea*; F. oxy, *Fusarium oxysporum*.

<sup>a</sup>Same lower case letter values are not different significantly at  $P \leq 0.05$  levels according to Duncan's multiple range test. Data are means of three replications.

균의 거리를 30 cm로 가까워지자 균사생장억제효과를 보였으며 BLUE (450 nm)와 QD RED (M2) 광원에서 각각 42.5%, 40%로 가장 억제율이 높게 나타났다. *F. oxysporum*, *R. solani*는 대조구와 유의한 생장의 차이를 보이지 않았으며 LED 광원에 의한 균사의 생장억제효과가 없다고 판단하였다(Table 2).

50 cm 거리에서 4일간 배양한 *S. sclerotiorum*, *S. minor*는 Narrow RED 광원을 제외한 나머지 조명에서 생장억제효과를 보였다(Table 2). *S. sclerotiorum*은 RED (660 nm) 광원에서 7.7%로 가장 낮게 나타났고 QD RED (M2) 광원에서 36.4%로 생장억제율이 가장 높게 나타났다. *S. minor*는 BLUE (450 nm)와 QD RED (M2) 광원에서 각각 80.5, 67.2%의 높은 생장억제율을 보였으며 RED (660 nm)와 QD RED (M1) 광원에서도 각각 40.4%, 48.5%의 균사생장억제율을 보였다. *B. cinerea*는 BLUE (450 nm) 광원에서 36.4%, RED (660 nm) 광원에서 16%, Narrow RED 광원에서 22.9%의 생장억제율을 보였으며 QD LED인 QD RED (M1)과 QD RED (M2) 광원에서 각각 30.2%, 43.1%의 생장억제율을 보였다. *R. solani*, *P. drechsleri*, *F. oxysporum*은 모든 LED광원에서 대조구와 비교하였을 때 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 2).

LED 광원과 병원균의 거리에 따른 영향은 50 cm에서 가장 낮은 균사생장억제효과를 보였고 30 cm 거리일 때 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 광원에서 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*의 균사생장억제율이 가장 높게 나타났다. *P. drechsleri*는 50 cm 거리에서는 생장억제효과를 보이지 않았지만 30 cm 거리부터 생장억제효과를 보였으며 LED 광원과 거리가 가까워짐에 따라 *F. oxysporum*과 *R. solani*를 제외한 병원균의 생장억제율이 증가하는 것을 확인하였다. 다만 15 cm 거리는 LED 광원과 병원균의 거리가 너무 가까워 LED 광원에서 발생하는 열에 의한 영향이 복합적으로 작용한 것으로 보았다.

**LED 광원의 광량에 따른 병원균의 생장억제효과.** LED 광원의 광량에 따른 병원균의 생장억제효과를 비교하였으며 한 광원당 최대 4개까지 설치가 가능한 light box에서 1개의 광원을 설치하였을 때와 4개의 광원을 설치하였을 때 광량에 따른 병원균의 생장억제효과를 관찰하였다.

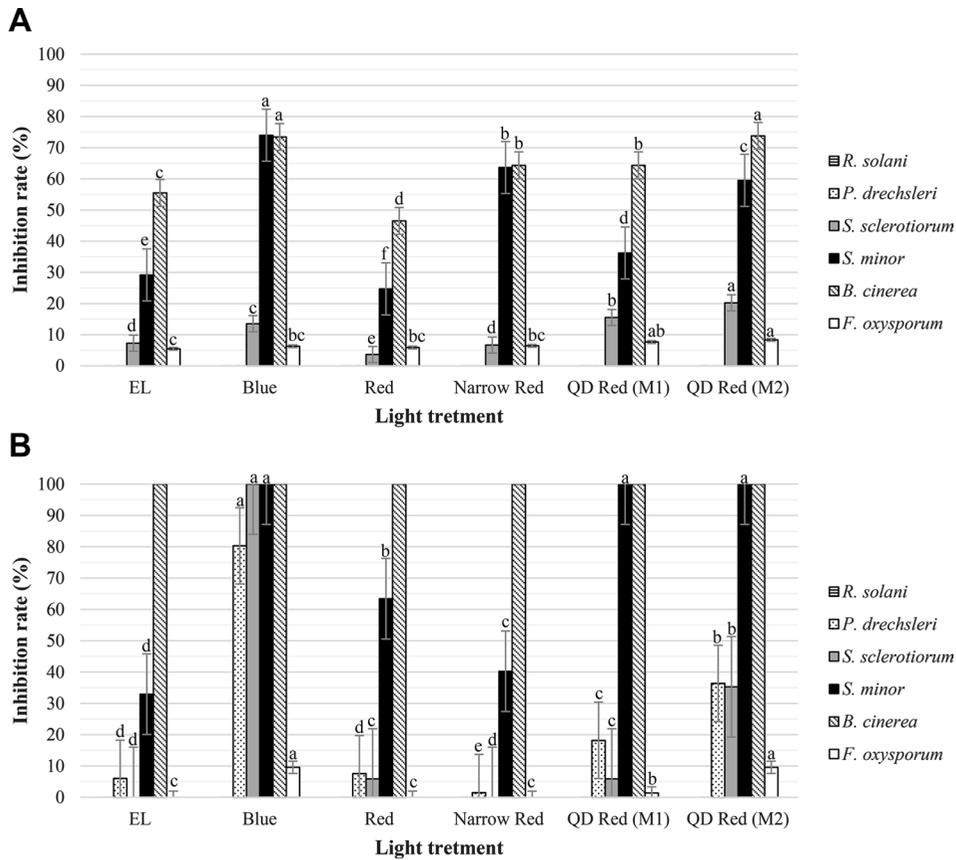
병원성 세균 *X. campestris*, *P. carotovorum*의 경우 1개의 광원과 4개의 광원을 사용하였을 때 생장의 차이를 보이지 않았으며 대조구와 비교하였을 때 생장측정을 하기 어려운 정도로 colony의 생장이 이루어져 생장억제효과가 없다고 판단하였다.

1개의 광원을 설치하였을 때 13.08–34.25  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$  광량을 나타냈으며 4개의 광원을 설치하였을 때 광량은

32.36–68.17  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 증가하였다. 삼파장형광등의 광량이 가장 낮은 수치로 나타났으며 BLUE (450 nm)와 Narrow RED 그리고 QD RED (M2) 광원에서 각각 62.98  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ , 68.17  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ , 62.08  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ 로 다른 처리구에 비해 광량이 높게 나타났다. 병원성 곰팡이의 경우 1개의 LED 광원에서 배양한 병원균보다 4개의 LED 광원을 설치하여 배양하였을 때 더 높은 균사생장억제율을 보였으며 균사의 생장속도 또한 느려진 것을 확인하였다. BLUE (450 nm, 62.98  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ), QD RED (M1, 50.87  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ), QD RED (M2, 62.08  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ ) 광원에서 *P. drechsleri*, *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*의 생장이 억제되는 것을 확인하였고 4개의 LED 광원을 설치하였을 때 1개의 LED 광원보다 12.9–67.5%의 균사생장억제효과를 향상시켰다. 그러나 *F. oxysporum*, *R. solani*는 LED 광원의 광량에 상관없이 생장억제효과를 보이지 않았으며 생장의 속도에도 영향을 받지 않았다(Fig. 3). Reuveni 등(1989)과 Choi 등(2013)의 연구에 따르면 BLUE 광원에 의해 *B. cinerea*의 균사생장과 포자 형성이 억제되었다고 하였고 광량이 높은 처리구에서 균사생장이 억제되었다고 하였다. 따라서 광원의 파장뿐만 아니라 광량도 특정 조건에서 병원균의 생장에 영향을 미치는 것으로 판단하였으며 광량의 변화에 따라 병원균의 생장억제가 가능할 것으로 판단하였다.

**상추에서의 병원균 생장억제효과.** *S. sclerotiorum*은 감염 후 식물체의 지체부가 담갈색으로 변하였고 시간이 경과함에 따라 무르고 썩어 들어가 포기 전체가 죽어버렸다. Light chamber에 설치된 조명에 의한 억제효과는 QD RED (M2) 조명에서 대조구에 비해 59.9%로 가장 높은 억제율을 보였다. 기내실험에서 높은 생장억제효과를 보였던 BLUE (450 nm) 조명과 QD RED (M1) 조명은 40%로 조금 더 낮은 수치의 억제율을 보였다. Narrow RED 조명 또한 40%의 억제율을 보였으며 RED (660 nm) 조명에서 20%로 가장 낮은 억제율을 보였다. *S. sclerotiorum*은 QD LED 조명에 의한 생장억제효과를 보였으나 기내기내실험과 비교하였을 때 낮은 수치의 억제율을 보였으며 이는 토양을 통해 전염되는 토양전염성 병원균의 특성상 조명의 빛이 토양 안까지 충분히 닿지 않는다는 점과 식물체의 잎에 의해 차단되는 빛에 따라 다음과 같은 실험의 결과가 도출된 것으로 생각한다(Table 3).

*S. minor*는 *S. sclerotiorum*과 마찬가지로 감염된 식물체의 지체부가 담갈색으로 변하며 무르고 썩어 포기가 죽는 것을 확인하였으며 기내실험과 같은 양상으로 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 조명에서 모두 대조구와 비교하였을



**Fig. 3.** Effect of light intensity of LED on mycelia growth inhibition of lettuce pathogens. (A) Use one light source. (B) Use four light source. *R. solani*, *Rhizoctonia solani*; *P. drechsleri*, *Phytophthora drechsleri*; *S. sclerotiorum*, *Sclerotinia sclerotiorum*; *S. minor*, *Sclerotinia minor*; *B. cinerea*, *Botrytis cinerea*; *F. oxysporum*, *Fusarium oxysporum*.

**Table 3.** Reduction of fungal pathogen infections under different light conditions with artificial inoculation

Light treatment	Disease reduction (%)		
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	<i>Sclerotinia minor</i>	<i>Botrytis cinerea</i>
Control <sup>a</sup>	100 a <sup>b</sup>	100a	100 a
Negative control <sup>f</sup>	0 d	0 c	0 f
EL	0±12.64 d	20±12.64 c	7.9±8.89 f
Blue (450 nm)	40±12.64 bc	59.9±12.64 b	84±5.48 b
Red (660 nm)	20±12.64 cd	20±12.64 c	24±11.01 e
Narrow Red	40±17.88 bc	40±17.88 bc	48±11.77 d
QD Red (M1)	40±12.64 bc	59.9±12.64 b	63.9±8.47 c
QD Red (M2)	59.9±27.56 b	59.9±27.56 b	79.9±8.45 bc

<sup>a</sup>Not inoculated pathogen.

<sup>b</sup>Same lower case letter values are not different significantly at  $P \leq 0.05$  levels according to Duncan's multiple range test. Data are means of three replications.

<sup>f</sup>Inoculated pathogen.

때 59.9%로 가장 높은 억제율을 보였다. Narrow RED조명에서 40%의 억제율을 보였으며 RED (660 nm) 조명에서 20%로 가장 낮은 억제율을 보였다. *S. minor* 또한 *S. sclerotiorum*과 같이 QD LED 조명에 의해 억제효과를 보였으나 토양전염성 병원균의 특성과 식물체 앞에 의해 차단되는 빛에 따라 다음과 같은 결과가 도출된 것으로 생각한다(Table 3).

*B. cinerea*는 접종 후 상추 잎에 담갈색 수침상의 작은 병반이 형성되었으며 잎 끝부분이 갈색으로 변하여 오그라들고 죽은 잎의 표면에서 균사가 형성되는 것을 확인하였다. 접종실험 결과 QD LED인 QD RED (M1) 조명에서 63.9%, QD RED (M2) 조명에서 79.9%의 억제율을 나타냈으며 BLUE (450 nm) 조명에서 84%로 가장 높은 억제율을 보였다. Narrow RED 조명은 48%의 억제율을 보였으며 RED (660 nm) 조명에서 24%로 가장 낮은 수치인 억제율을 보였다. *S. sclerotiorum*, *S. minor*와 달리 *B. cinerea*는 공기나 수분을 통해 전염되는 경우가 많으며 식물체의 잎과 과실에 전염되는 경우가 많아 QD LED 조명의 영향을 비교적 쉽게 받을 수 있었던 것으로 보이며 억제율도 토양전염성 병원균과 비교하였을 때 보다 더 높게 나타난 것으로 생각한다(Table 3).

**결론.** 상추는 현대사회에서 가장 많이 이용되고 있는 대표적인 채소 중 하나로 쌈 또는 샐러드로 오랫동안 소비되어왔다. 상추는 적치마, 청치마, 로메인 등 여러 종류의 품종이 있으며 소비자의 기호에 따라 광범위하게 이용되고 있다.

병원성 세균 *X. campestris*, *P. carotovorum*, 병원성 곰팡이 *F. oxysporum*, *R. solani*, *P. drechsleri*, *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*는 상추의 생산에 큰 피해를 입히는 병해로 건강하고 깨끗한 상추를 얻기 위해 다양한 방법을 통한 병원균의 방제가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 상추에 발생하는 병원성 세균 2종과 곰팡이 6종에 대해 QD LED 광원을 통한 생장억제효과를 확인하고 추가적으로 식물공장 등 실내에서 재배되는 상추의 생장과 생산량 및 품질에 좋은 영향을 줄 수 있는 QD LED 광원을 개발하는데 도움이 되기 위해 실험을 진행하였다.

광원의 영향을 받아 식물병해 및 병원균의 발생이 억제되는 기작은 두 가지로 설명되며 식물의 병저항성을 유도하는 기작 또는 병원균의 활성을 억제하여 사멸하는 기작이 있다 (Stevens 등, 1998). Herndl 등(1993)에 따르면 자외선은 병원균의 활성을 억제하고 광 스트레스로 인한 변이를 유발하여 병원균의 생장 및 감염을 억제한다고 보고하였다. Pruss 등(2014)은 빛에 의해 곰팡이의 독소생산과 포자형성이 반비례하게 나타난다고 하였으며 광 조건 하에 *Alternaria alternate*균의 포자형성이 크게 감소하는 반면 *Alternaria*속 곰팡이 독소물질인 *Alternariol*의 생성은 2-3배 증가한다고 하였다. 또한 *Altertoxin*은 청색광에 의해 유발될 수 있으며 적색광은 낮은 영향을 보였다고 하였다. 본 연구에서는 기내실험을 통해 상추에 발생하는 병원성 곰팡이 중 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea* 3종이 QD LED조명에 의해 균사생장억제효과를 보이는 것을 확인하였다. 또한 본 연구에서는 조명과 병원균의 거리가 15-30 cm일 때 균사생장억제율이 높게 나타났지만 Kim 등(2012)에 따르면 자외선 조건에서 광원과 *B. cinerea*의 거리에 따른 균사생장억제 실험결과 가까운 거리에서 조사할수록 억제효과가 증대되는 것이 아닌 일정한 거리를 유지하였을 때 더 효과적인 균사생장억제가 나타난다고 하였다. 이러한 결과를 보았을 때 광원의 파장과 광량에 따라 일정거리를 유지할 때 효과적인 병원균의 생장억제가 나타나는 것으로 보였다.

삼파장형광등(EL), BLUE (450 nm), RED (660 nm), Narrow RED 4개의 LED 광원과 QD RED (M1), QD RED (M2) 2개의 QD LED 광원을 이용하여 상추에 발생하는 주요 병원성 세균 *X. campestris*, *P. carotovorum*와 곰팡이 *F. oxysporum*, *R. solani*, *P. drechsleri*, *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*의 생장억제효과를 확인하였다. LED광원의 파장에 따라 병원균의 생장억제율이 다르게 나타났으며 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED

(M2) 광원에서 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*, *P. drechsleri*의 생장이 억제되었다. 병원성 세균의 경우 모든 조건의 광원에서 생장억제효과를 보이지 않았으며 병원성 곰팡이 *R. solani*, *F. oxysporum* 또한 LED 광원에 의한 생장억제효과가 없다고 판단하였다.

LED 광원과 병원균과의 거리에 따른 생장억제효과는 50 cm 거리에서 *F. oxysporum*, *R. solani*, *P. drechsleri*는 모든 LED 광원에 의한 생장억제효과를 나타내지 않았고 15 cm 거리에서 BLUE (450 nm) 광원은 *S. sclerotiorum*, *S. minor*, *B. cinerea*의 생장을 100% 억제하였으며 *P. drechsleri*는 80.4%의 균사생장억제율을 보였다. 또한 QD RED (M1), QD RED (M2)광원에서도 *S. minor*, *B. cinerea*는 100%의 균사생장억제율을 보였으며 *S. sclerotiorum*은 QD RED (M2) 광원에서 35.3%의 억제율을 보였다.

병원균에 감염된 상추에 대한 LED 조명 및 QD LED 조명의 영향에 대해 조사한 결과 *S. sclerotiorum*은 QD RED (M2) 조명에서 대조구보다 59.9% 더 높게 억제되었고 Narrow RED 조명에서 40%의 억제율을 보였다. *S. minor*의 경우 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 조명에서 모두 59.9%의 억제율을 보였으며 Narrow RED조명에서도 40%의 억제율을 보였다. *B. cinerea* 또한 QD RED (M1) 조명에서 63.9%, QD RED (M2) 조명에서 79.9%의 억제율을 보였으며 BLUE (450 nm) 조명에서 84%로 가장 높은 억제율을 보였다.

이전 연구들에 따르면 식물의 생장에서 적색광은 광합성을 촉진시킨다고 하였다(Saito 등, 2010). 또한 적색광과 청색광을 혼합하여 처리하였을 때 광합성 비율이 더 높게 나타났다는 보고도 있다(Mori와 Takatsuji, 2000). Yang 등(2015)에 따르면 적색광은 상추의 생장 속도를 촉진하며 청색광은 생장이 느리지만 줄기를 튼튼하게 하고 잎을 무성하게 한다. 반면 녹색광은 광합성 및 생장이 억제되며 잎이 가늘고 길게 자란다. 단색광을 처리하였을 때 상추의 생장은 빠르지만 생육이 불량하여 혼합광을 처리하는 것이 생육에 더 적합하다고 보인다.

따라서 본 연구는 QD LED 광원을 이용한 식물 병원균 억제 기초연구로 활용 가능할 것으로 생각되며 시설재배 및 더 넓은 범위에 적용하기 위한 추가적인 연구가 필요하다고 보인다. 또한 광원의 파장과 광량이 식물 생장에 미치는 영향과 병저항성을 유도할 가능성에 대한 연구가 함께 이뤄진다면 병해에 의한 피해를 줄이는데 유용할 것으로 생각한다.

## 요 약

Quantum Dot LED (QD LED) 조명은 소형의 크기, 좁은 대역파

장, 긴 수명, 전자 시스템을 통한 제어가 용이하여 현재 시설재배에 이용되는 형광등, 할로겐램프, HID, HSP 램프의 단점을 보완할 수 있는 작물생육에 이상적인 광원으로서 잠재력을 가지고 있다. QD LED 조명을 이용하여 식물 병원성 미생물의 방제가 가능하다면 작물재배에 사용되는 인력 및 비용을 절감하고 화학적 방제제를 사용하지 않은 안전성 높은 생산물을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 본 연구에서는 식물공장 및 온실에서 많이 재배되고 있는 상추에 큰 피해를 입히는 주요 식물 병원성 곰팡이에 대한 QD LED 조명의 영향과 생장억제효과를 확인하기 위해 시행하였다. 상추에 주로 발생하여 작물에 피해를 입히는 *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora drechleri*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Sclerotinia minor*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Pectobacterium carotovorum*, *Xanthomonas campestris* 균을 대상으로 QD LED 조명에 의한 균사생장억제 효과를 조사하였으며 처리한 6종류의 조명 중 BLUE (450 nm) 조명은 *Sclerotinia sclerotiorum*는 50 cm 거리에서 16.7%의 억제율을 보였으며 30 cm 거리에서 94.1%의 균사생장억제율을 보였다. *S. minor*는 50 cm 거리에서 80.4%, *B. cinerea*는 50 cm 거리에서 36.3%의 균사생장이 억제되었으며 30 cm 거리에서 *S. minor*와 *B. cinerea*는 100%의 균사생장억제율을 보였다. 15 cm 거리에서는 3종의 병원균 모두 100%의 억제율을 보였다. QD RED (M1), QD RED (M2) 조명은 30 cm와 15 cm 거리에서 *Sclerotinia minor*와 *Botrytis cinerea*의 균사생장을 100% 억제했으며 *Sclerotinia sclerotiorum*의 경우 30 cm 거리에서 QD RED (M1)과 QD RED (M2) 조명에 대해 각각 75.2%, 100%의 억제율을 보였으나 15 cm 거리에서는 각각 5.8%, 36.3%의 억제율을 보였다. 상추에 병원균을 접종하여 LED 광원 하에 생장을 확인한 결과 QD RED (M2) 광원에서 *S. sclerotiorum*의 감염을 59.9% 억제하였고 *S. minor*는 BLUE (450 nm), QD RED (M1), QD RED (M2) 광원에서 59.9%의 억제율을 보였다. *B. cinerea*의 경우 BLUE (450 nm) 광원에서 84%의 높은 억제율을 보였다.

## Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

## Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Advanced Production Technology Development Program, funded by Ministry of Agriculture,

Food and Rural Affairs (MAFRA) (Project No. 116111-03-3-HD020). This study also has been worked with the support of a research grant of Kangwon National University in 2019.

## References

- Bula, R. J., Morrow, R. C., Tibbitts, T. W. and Barta, D. J. 1991. Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *HortScience* 26: 203-205.
- Choi, E. G., Kim, M. H., Baek, G. Y., Choi, M. K., Yoon, Y. C. and Kim, H. T. 2013. The influence of gray mold growth under LED light source. *J. Agric. Life Sci.* 47: 265-271.
- Herndl, G. J., Müller-Niklas, G. and Frick, J. 1993. Major role of ultraviolet-B in controlling bacterioplankton growth in the surface layer of the ocean. *Nature* 361: 717-719.
- Kim, H.-J., Park, J.-Y., Baek, J.-W., Lee, J.-W., Jung, S.-J. and Moon, B.-J. 2004. Occurrence of bottom rot of crisphead lettuce caused by *Rhizoctonia solani* and its pathogenicity. *J. Life Sci.* 14: 689-695.
- Kim, J. Y., Hong, S. S., Lee, J. G., Lee, H. J., Lim, J. W., Kim, J. W. et al. 2008. Occurrence of fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae* and cultivar susceptibility on lettuce. *Res. Plant Dis.* 14: 79-84.
- Kim, K., Kook, H.-S., Jang, Y.-J., Lee, W.-H., Kamala-Kannan, S., Chae, J.-C. et al. 2013. The effect of blue-light-emitting diodes on anti-oxidant properties and resistance to *Botrytis cinerea* in tomato. *J. Plant Pathol. Microbiol.* 4: 203.
- Kim, S. A., Ahn, S.-Y., Oh, W. and Yun, H. K. 2012. In vitro test of mycelial growth inhibition of 5 fungi pathogenic to strawberries by ultraviolet-C (UV-C) irradiation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 44: 634-637.
- Kook, H.-S., Park, S.-H., Jang, Y.-J., Lee, G.-W., Kim, J. S., Kim, H. M. et al. 2013. Blue LED (light-emitting diodes)-mediated growth promotion and control of *Botrytis* disease in lettuce. *Acta Agric. Scand. Sect. B Soil Plant Sci.* 63: 271-277.
- Moon, H., Lee, C. and Chae, H. 2016. Colloidal quantum dot nanocrystals for display applications. *KIC News* 19: 25-39.
- Mori, Y. and Takatsuji, M. 2000. Influence of laser and LED lights on the growth of lettuce. *Illum. Eng. Inst. Jpn.* 33: 283-284.
- Pruss, S., Fetzner, R., Seither, K., Herr, A., Pfeiffer, E., Metzler, M. et al. 2014. Role of the *Alternaria alternata* blue-light receptor LreA (white-collar 1) in spore formation and secondary metabolism. *Appl. Environ. Microbiol.* 80: 2582-2591.
- Reuveni, R., Raviv, M. and Bar, R. 1989. Sporulation of *Botrytis cinerea* as affected by photoselective polyethylene sheets and filters. *Ann. Appl. Biol.* 115: 417-424.
- Satio Y., Shimizu, H., Nakashima, H., Miyasaka, J. and Ohdoi, K. 2010. The effect of light quality on growth of lettuce. *IFAC Proc. Vol.* 43: 294-298.
- Schuenger, A. C. and Brown, C. S. 1994. Spectral quality may be used to alter plant disease development in CELSS. *Adv. Space Res.* 14:

395-398.

Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Kabwe, M.

K. et al. 1998. The germicidal and hermetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Prot.* 17: 75-84.

Suthaparan, A., Torre, S., Stensvand, A., Herrero, M. L., Pettersen, R.

I., Gadoury, D. M. et al. 2010. Specific light-emitting diodes can

suppress sporulation of *Podosphaera pannosa* on greenhouse roses. *Plant Dis.* 94: 1105-1110.

Yang, J.-H., Choi, W.-H., Park, N.-J. and Park, D.-H. 2015. A study on growth of the green leaf lettuce depends on PPFD and light quality of LED lighting source for growing plant. *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.* 28: 142-147.