식물병연구 Res. Plant Dis. 22(2): 100-106 (2016)
Research Article Open Access http://dx.doi.org/10.5423/RPD.2016.22.2.100

기내에서 Light-Emitting Diodes(LEDs)를 이용한 광질과 광조사 방법이 사과 토양병원균의 균사생장에 미치는 영향

In Vitro Effect on Light Qualities and Lighting Types Provided by Light-Emitting Diodes (LEDs) for the Mycelia Growth of Soil-Borne Fungal Pathogens in Apple

이성희[1] · 권의석[1] · 신현만[1] · 장후봉[1] · 남상영[1] · 홍의연[1] · 차재순[2] · 허정욱[3]*

[1]충청북도농업기술원 연구개발국, [2]충북대학교 식물의학과, [3]농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부 스마트팜개발과

Sung-Hee Lee[1], Yeuseok Kwon[1], Hyunman Shin[1], Whobong Chang[1], Sang-Yeong Nam[1], Eui Yon Hong[1], Jae-Soon Cha[2], and Jeong Wook Heo[3]*

[1]Bureau of Research and Development, Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju 28130, Korea
[2]Department of Plant Medicine, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea
[3]Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

***Corresponding author**
Tel: +82-63-238-4063
Fax: +82-63-238-4035
E-mail: wooncho@korea.kr

We have studied the mycelia growth of four soil-borne fungal pathogens under light qualities and two lighting types (continuous and intermittent) provided by light-emitting diodes (LEDs). As a result, each mycelia growth on *Phytophthora cactorum* KACC40166, *Athelia rolfsii* KACC40170, and *Helicobasidium mompa* KACC40836 strain showed the similar growth rates within 10% or less difference among treatments compared to dark control, regardless of lighting types. However, the mycelia growth on *Rosellinia necatrix* KACC40168 strain was significantly suppressed by blue, blue+green and blue+red LED as well as fluorescent lamp compared to a dark control, in common with lighting types. The melanin pigment on *R. necatrix* KACC40168 strain showed relatively to induce more strongly under green LED and fluorescent lamp, whereas no induction under red LED and a control, regardless of lighting types. Thus, the hypha width on *R. necatrix* KACC40168 was significantly thinned by blue and blue+green LED compared to a control, in common with lighting types.

Keywords: Apple, Light-emitting diodes, Melanin pigment, Mycelia suppression, Soil-borne fungal pathogens

Received April 4, 2016
Revised May 7, 2016
Accepted May 27, 2016

서 론

일반적으로 사과나무를 고사시키는 토양 진균병에는 역병(*Phytophthora* root rot, *Phytophthora cactorum* 및 *P. cambovora*), 흰비단병(southern blight, *Athelia rolfsii*), 자주날개무늬병균(violet root rot, *Helicobasidium mompa*), 흰날개무늬병(white root rot, *Rosellinia necatrix*) 등이 있다(KSPP, 2009; Lee 등, 2006; RDA, 1993).

이들 토양병에 감염된 사과나무는 수세가 현저하게 저하

Research in Plant Disease
pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191
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.

되어 과실 수량이 감소하고 피해가 심한 경우 나무 전체가 고사된다. 또한, 재발률이 높고 피해가 심해지면 폐원에 이르게 되어 농가에 경제적으로 큰 손실을 준다(Kim 등, 1995; Lee 등, 1995, 2015).

토양병의 전염 및 감염 등 발병과정에는 다양한 토양 환경 조건이 관여하므로 사과나무의 지상부에서 발생하는 병과는 상이하다(Tadao, 1984). 토양병은 지상부에서 병징이 관찰되기 전까지는 병의 발생이 육안으로 확인되지 않고 피해가 진행된다. 또한, 병징이 나타난 후에는 이미 지하부의 절반 이상이 피해를 받은 상태로 수세회복이 거의 불가능한 경우가 대부분이다(Lee, 1995).

한편, 반도체소자인 발광다이오드(light-emitting diodes, LEDs)는 다수 원예작물의 생장 및 형태형성에 미치는 영향을 구명하기 위한 인공광원의 하나로 이용되고 있다(Heo 등, 2012, 2013). 최근 들어 식물병원균의 생장에 미치는 LEDs의 영향에 관한 연구도 활발히 진행되고 있는데, 일반적으로 광질과 광량은 곰팡이 생활사에서 포자 발아, 균사 생장, 생식 및 휴면 구조의 발달에 양성 굴광성(positive phototropism) 또는 음성 굴광성(negative phototropism)으로 작용한다(Casas-Flores와 Herrera-Estrella, 2016). LED 청색광은 잿빛곰팡이병균(*Botrytis cinerea*)의 균사생장을 억제한다고 보고(Choi 등, 2013; Kim 등, 2013)하였고 Suthaparan 등(2010)은 장미 하우스 재배에서 흰가루병을 억제하는 데 있어 야간에 LED 적색광 조사가 효과적이라고 하였다. Fuller 등(2013)은 LED 청색+적색 혼합광이 *Aspergillus fumigatus*의 포자 발아율을 감소시키고 균사 색소 증가 및 자외선과 산화 등의 스트레스에 대한 저항성과 세포벽 교란에 대한 감수성을 증가시켰다고 보고하였다. 특히, 토양병원균인 *Verticillium alboatrum*의 소균핵 형성이 적색광에서는 촉진되었으나 청색광에서는 억제되었고(Kaiser, 1964), *Athelia rolfsii*의 균핵 형성은 광 조사에 의해 개수와 크기가 증가하였다(Trevethick와 Cooke, 1973)는 보고가 있지만 사과나무를 고사시키는 난방제 토양병원균의 균사생장과 LED 광질의 영향에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 LED 청색, 적색 및 녹색 단일광과 이것의 혼합광 하에서 연속 및 간헐적 광조사 방법이 사과나무를 고사시키는 토양병원균인 역병균, 흰비단병균, 자주날개무늬병균 및 흰날개무늬병균의 균사생장에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

공시 균주 및 배양방법. 본 연구에서 사용한 공시재료는 난균류인 역병균(*P. cactorum* KACC40166), 담자균류인 흰비단병균(*A. rolfsii* KACC40170)과 자주날개무늬병균(*H. mompa* KACC40836) 및 자낭균류인 흰날개무늬병균(*R. necatrix* KACC40168)으로 이들 균주를 농촌진흥청 국립농업과학원 농업유전자원정보센터(www.genebank.go.kr)에서 분양 받아 사용하였다. 각각의 균 배양 및 균사생장 검정을 위해 인공배지인 potato dextrose agar (PDA; Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA) 배지를 멸균 후, Petri dish (90×15 mm; SPL Lifescience, Seoul, Korea)에 분주한 다음 사용하였다. 분양 받은 각각의 균주는 Cork borer 2호(Usbeck, Radevormwald, Germany)를 이용하여 PDA 배지에 치상하고 항온배양기(MIR-154; Panasonic, Tokyo, Japan)의 온도를 22°C±1°C로 조절하여 1–2주간 계대배양 후 시험재료로 사용하였다.

LEDs를 이용한 광 처리 방법. LEDs를 광원으로 한 광질 및 광조사 방법에 의한 토양병원균의 균사생장을 비교하기 위하여 PDA 배지에 배양한 균의 agar plug를 PDA 배지에 치상한 다음, LED Chamber System (Sungjae Inc., Seoul, Korea)을 이용하여 4–14일 동안 배양하였다. LED chamber 내 평균 온도는 22°C±1°C였고 상대습도는 50%±10%로 유지하였다. Chamber 내 광질은 LED 청색(B, 450 nm), 적색(R, 660 nm), 녹색(G, 540 nm)의 단일광 3종과 청색+녹색(BG), 청색+적색(BR) 및 녹색+적색(GR)의 혼합광 3종 등 총 6종으로 하였으며, 대조구인 암조건(D)과 형광등(FL) 처리를 두었다. 각 광질별 조사 광강도는 80 μmol・m^{-2}・s^{-1}로 설정하였다. LED 혼합광인 BG, BR 및 GR 처리구에서 각 광질의 혼합비율은 1:1로 조절하였다. 광조사 방법은 1일 16시간을 기준으로 하여 명기 16시간을 연속하여 광을 조사하는 연속 조사구와 명기 16시간 동안 초당 20회 점등과 점멸을 반복적으로 조절한 간헐 조사구로 나누어 광을 조사하였다.

균사생장 및 멜라닌 색소 조사. 처리별 각 균주의 균총 폭은 장축과 단축으로 나누어 버니어캘리퍼스(Mitutoyo, Tokyo, Japan)로 측정하고 평균값을 구하였다. 실험은 3–4반복으로 2회 수행하였다. 흰날개무늬병균의 흰색 균총에서 접종 부위를 중심으로 나타나는 검은색 또는 갈색으로 보이는 멜라닌 색소를 농촌진흥청 사과연구소에 의뢰하여 확인한 다음, 육안으로 관찰하여 강, 중, 약으로 구분하였다. 또한,

균사 폭은 광학현미경(Leica DMRE; Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 측정하였고 균사 격벽이 부풀어 있는 부위와 부풀지 않은 부위로 구분하여 10곳을 임의로 정하여 측정하였다.

통계분석 방법. 처리 간 통계분석은 CoStat 6400 (CoHort Software, Monterey, CA, USA) 프로그램을 이용하여 분석하였으며, 처리 간 유의성은 5% 수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결 과

LEDs 광질의 연속조사가 균사생장에 미치는 영향. LEDs를 이용한 연속조사가 사과 토양병원균 4종의 균사생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 1과 같다. *P. cactorum* KACC40166 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 G 처리구에서 통계적으로 유의하게 억제되었고 GR 처리구에서는 유의하게 촉진되었으며, 나머지 처리구에서는 차이가 인정되지 않았다. *A. rolfsii* KACC40170 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구 대비 FL, B 및 BG 처리구에서 유의하게 억제되었고 *H. mompa* KACC40836 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 B, BG 및 BR 처리구에서 유의하게 억제되었다. 한편, *R. necatrix* KACC40168 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구 대비, 모든 처리구에서 유의성 있게 억제되었다.

LEDs 광질의 간헐조사가 균사생장에 미치는 영향. LEDs를 이용한 간헐조사가 사과 토양병원균 4종의 균사생장에 미치는 영향을 조사한 결과는 Table 2와 같다. *P. cactorum* KACC40166 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 FL, G, R 및 BG 처리구에서 유의하게 촉진되었다. *A. rolfsii* KACC40170 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 B, G, R, BG 및 BR 처리구에서 유의하게 억제되었으나, FL 처리구에서는 유의하게 촉진되는 것으로 나타났다. *H. mompa* KACC40836 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 B와 G 처리구에서 유의하게 억제되었다. 또한, *R. necatrix* KACC40168 균주의 균사생장은 대조구인 D 처리구와 비교하여 FL, B, G, BG 및 BR 처리구에서 유의하게 억제되었으나 R 처리구에서는 유의성 있게 촉진되었다.

LEDs 광질 및 광조사 방법이 멜라닌 색소 및 균사폭에 미치는 영향. 광질 및 광조사 방법에 따른 *R. necatrix* KACC40168 균주의 멜라닌 색소 발현 정도는 Fig. 1 및 Table 3과 같고 균사 폭을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 광조사 방법인 연속 및 간헐조사 모두 G와 FL 처리구에서 멜라닌 색소가 상대적으로 강하게 유도되었고 청색광을 포함한 B, BG 및 BR 처리구와 GR 처리구에서는 약하게 발현되었으며, D와 R 처리구에서는 유도되지 않았다. 또한, 광학현미경 하에서 균사 폭을 조사한 결과, 팽윤부가 없는 균사 폭은 대조구 D 처리구와 비교하여 B, R, BG 및 GR 처리구에서 유의하게 얇았다. 팽윤부가 있는 부위의 균사 폭은 대조구 D 처리구와 비

Table 1. Each mycelia growth of four soil-borne fungal pathogens cultivated under different light qualities and continuous lighting

Treatment*	Each mycelia diameter of four soil-borne fungal pathogens			
	Phytophthora cactorum **KACC40166 (n=3)†**	***Athelia rolfsii*** **KACC40170 (n=4)†**	***Helicobasidium mompa*** **KACC40836 (n=4)†**	***Rosellinia necatrix*** **KACC40168 (n=3)†**
D	61.4±1.4 b	82.4±0.7 a	58.3±1.5 ab	81.0±3.5 a
FL	60.2±0.6 bc	76.0±2.9 bc	55.1±2.5 bc	31.9±2.2 d
B	60.2±2.3 bc	74.9±4.0 c	52.5±2.7 c	22.2±0.8 e
G	59.3±0.4 c	78.7±3.1 abc	55.2±2.1 bc	54.4±6.0 bc
R	62.1±0.5 ab	78.5±1.3 abc	59.4±0.9 a	60.7±10.8 bc
BG	61.1±0.2 bc	77.5±2.5 bc	53.8±3.1 c	26.6±1.8 de
BR	61.5±0.8 b	80.2±1.1 ab	53.4±3.7 c	29.7±2.0 de
GR	63.6±0.8 a	79.4±3.4 ab	55.3±1.8 bc	47.4±3.5 c

Values are presented as mean±standard deviation.
Different letters within columns indicate significant difference based on Duncan's multiple range test at P=0.05.
*Each treatment code is as follows: D, dark condition considered as a control; FL, fluorescent lamp; B, blue light-emitting diode (LED); G, green LED; R, red LED; BG, blue+green LED; BR, blue+red LED; GR, green+red LED (1:1 in energy ratio).
†Replication number per each treatment.

Table 2. Each mycelia growth of four soil-borne fungal pathogens cultivated under different light qualities and intermittent lighting

Treatment*	Each mycelia diameter of four soil-borne fungal pathogens			
	Phytophthora cactorum **KACC40166 (n=3)†**	***Athelia rolfsii*** **KACC40170 (n=4)†**	***Helicobasidium mompa*** **KACC40836 (n=4)†**	***Rosellinia necatrix*** **KACC40168 (n=3)†**
D	55.3±1.7 c	71.4±1.2 b	34.0±0.7 a	64.4±3.8 b
FL	57.4±0.7 ab	77.9±1.8 a	33.2±2.3 ab	29.8±1.2 d
B	56.5±1.6 bc	64.9±2.7 d	30.4±0.6 b	26.8±0.2 d
G	58.6±1.7 a	67.1±1.2 cd	30.0±3.0 b	57.3±4.7 c
R	57.4±0.9 ab	64.8±0.7 d	31.8±3.4 ab	76.1±1.0 a
BG	57.4±1.0 ab	66.5±1.1 cd	32.4±1.8 ab	26.9±1.6 d
BR	56.5±1.0 bc	66.4±1.9 cd	34.1±1.6 a	28.6±1.2 d
GR	56.8±0.9 abc	68.7±3.1 bc	34.2±1.4 a	63.9±3.5 b

Values are presented as mean±standard deviation.
Different letters within columns indicate significant difference based on Duncan's multiple range test at P=0.05.
*Each treatment code is as follows: D, dark condition considered as a control; FL, fluorescent lamp; B, blue light-emitting diode (LED); G, green LED; R, red LED; BG, blue+green LED; BR, blue+red LED; GR, green+red LED (1:1 in energy ratio).
†Replication number per each treatment.

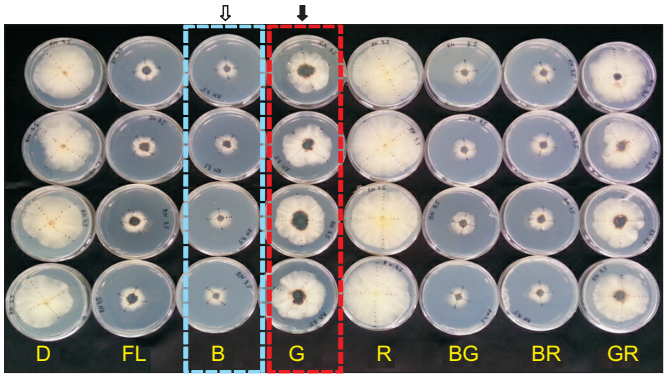

Fig. 1. Difference of mycelia growth and melanin pigment expression on *Rosellinia necatrix* KACC40168 cultured under different light qualities and continuous lighting for treatment period. Each treatment code is as follows: D, dark condition considered as a control; FL, fluorescent lamp; B, blue light-emitting diode (LED); G, green LED; R, red LED; BG, blue+green LED; BR, blue+red LED; GR, green+red LED (1:1 in energy ratio). Arrows indicate the marked mycelia growth inhibition (white arrow) and melanin pigment expression (black arrow).

Table 3. The melanin pigment expression in *Rosellinia necatrix* KACC40168 cultivated under different light qualities and lighting types

Treatment*	Lighting type	
	Continuous	Intermittent
D	-	-
FL	++	++
B	+	+
G	+++	+++
R	-	-
BG	+	+
BR	+	+
GR	+	++

*Each treatment code is as follows: D, dark condition considered as a control; FL, fluorescent lamp; B, blue light-emitting diode (LED); G, green LED; R, red LED; BG, blue+green LED; BR, blue+red LED; GR, green+red LED (1:1 in energy ratio).
-, no melanin pigment expression; +, weak; ++, intermediate; +++, strong.

교하여 B, R, BG, BR 및 GR 처리구에서 유의성 있게 얇았고 팽윤부의 폭은 B와 BG 처리구에서 유의하게 얇았다.

고 찰

LEDs를 이용한 광질과 광조사 방법이 사과 토양병원균 4종의 균사생장에 미치는 영향을 조사한 결과에서 *P. cactorum* KACC40166 균주는 광조사 방법인 연속 및 간헐조사에서 광질 간 균사생장에 미치는 영향이 상이하였고 공통적인 광질은 없었다. *A. rolfsii* KACC40170 균주는 연속 및 간헐조사 모두 B와 BG 처리구에서 균사생장이 유의성 있게 억제되었고 *H. mompa* KACC40836 균주는 B 처리구에서 균사생장이 유의하게 억제되었다. 그렇지만, 이상의 균주들은 광질과 광조사 방법 간 통계적 차이가 인정됨에도 불구하고 대조구와의 차이가 10% 이내로 아주 유사한 균사생장 양상을 보였다. 한편, *R. necatrix* KACC40168 균주는 연속 및 간헐조사

Table 4. The hyphal width of *Rosellinia necatrix* KACC40168 cultured under the different light qualities with continuous lighting

Treatment*	Width of hyphae (μm)		
	Without swelling	Swelling	With swelling
D	2.8±1.0 a	5.7±1.4 ab	3.0±1.0 a
FL	2.9±0.6 a	5.7±1.1 ab	2.6±0.9 ab
B	2.1±0.6 bcd	4.3±1.1 c	2.2±1.0 bc
G	2.5±0.4 abc	6.2±1.0 ab	3.2±1.3 a
R	2.0±0.5 cd	5.5±1.2 ab	2.1±0.6 bc
BG	1.8±0.4 d	4.5±0.9 c	1.8±0.3 c
BR	2.6±0.5 ab	4.8±0.6 bc	1.8±0.4 bc
GR	2.2±0.5 bcd	5.2±0.8 bc	2.2±0.4 bc

Values are presented as mean±standard deviation.
Different letters within columns indicate significant difference based on Duncan's multiple range test at P=0.05.
*Each treatment code is as follows: D, dark condition considered as a control; FL, fluorescent lamp; B, blue light-emitting diode (LED); G, green LED; R, red LED; BG, blue+green LED; BR, blue+red LED; GR, green+red LED (1:1 in energy ratio).

모두 GR 처리구를 제외한 나머지 FL, B, G, R, BG 및 BR 처리구에서 유의성 있게 억제되었다. 특히, B, BG 및 BR 등의 청색광을 포함한 처리구와 FL 처리구는 대조구인 D 처리구 대비 균사생장을 2–3배 억제시켰다. 이는 LED 청색광이 단파장에 가깝고 에너지량이 크기 때문에 잿빛곰팡이병균의 균사생장이 억제된다는 보고(Choi 등, 2013)와 자낭균류의 일종인 붉은빵곰팡이균(*Neurospora crassa*)의 광 수용 반응은 청색광에 의해서만 일어난다는 보고(Fuller 등, 2013)와 유사하였다.

일반적으로 미생물은 광의 양・질적 변화를 감지할 수 있는 광감각 시스템이 진화했지만 광 반응은 종 간에도 상당히 다양하고(Fuller 등, 2013) 균류에는 복잡한 광감각 시스템이 존재한다(Sánchez-Murillo 등, 2004)는 것처럼, 본 실험에 사용한 자낭균류인 흰날개무늬병균을 제외한 난균류인 역병균과 담자균류인 흰비단병균 및 자주날개무늬병균은 광수용체의 진화 정도의 차이로 광질 및 광조사 방법 간 균사생장이 뚜렷하지 않은 것으로 생각된다.

많은 균류의 균사 생장은 광에 의해 다양한 방법으로 영향 받는데, *N. crassa*의 균사 분지는 광에 의해 증가하여 균총이 더욱 치밀해진다(Casas-Flores와 Herrera-Estrella, 2016). 균류의 양분 흡수뿐만 아니라 이용도 광에 의해 조절되는데, *Aspergillus giganteus*의 균 생장은 광과 glucose에 의해 뚜렷하게 영향을 받았다고 하였고, *N. crassa*가 광조건 하에서 자랐을 때 균 생장과 배지의 pH에서 어떠한 변화도 보이지 않았지만 탄수화물 대사에서 몇몇 효소의 활성 변화가 뚜렷하였다고 보고하였다(Casas-Flores와 Herrera-Estrella, 2016).

또한, 균류는 광에 포함된 에너지로 환경에 대한 정보를 얻고 생리적 반응을 이끌어 광형태형성(photomorphogenesis)에 효과적으로 작용하지만 광강도에 따라 상이하다는 보고(Casas-Flores와 Herrera-Estrella, 2016)와 백색광이 *Aspergillus nidulans*의 분생자형성을 유도(Purschwitz 등, 2008) 및 청색광이 생물적 방제제로 이용되는 곤충병원성 곰팡이인 *Paecilomyces fumosoroseus*의 포자 생산에 효과적(Casas-Flores와 Herrera-Estrella, 2016)이라는 보고처럼 향후, *R. necatrix* 균주별로 LED 청색 단일광 및 혼합광에 따른 균사생장, 포자 생산 및 발아 검정이 필요할 것으로 생각된다.

R. necatrix KACC40168 균주의 멜라닌 색소의 발현 정도는 G>FL>B=BG=BR=GR>R=D 처리구 순이었다. 이러한 결과는 Sztejnberg와 Madar (1980)가 적색 및 청색광과 형광등 조사에서 멜라닌 색소 발현을 촉진하고 D에서는 오히려 저해된다고 보고하였으나 본 연구에서는 LED 적색광도 *R. necatrix* KACC40168 균주에서는 멜라닌 색소를 유도하지 못하였다. 또한, Lee (2002)가 보고한 멜라닌 색소의 생산성과 병원성이 정의 상관관계를 보인 것과 벼 도열병균에서 멜라닌 색소가 병원성과 관련이 있다(Wolkow 등, 1980; Woloshuk 등, 1983)는 연구 결과처럼 *R. necatrix* KACC40168 균주가 LED 녹색광과 형광등 조사에서 멜라닌 색소가 강하게 발현되는 것으로 보아 병원성과 밀접한 관계가 있을 것이라 예측된다.

한편, 광학현미경 하에서 *R. necatrix* KACC40168 균주의 균사 폭을 조사한 결과는 균사 격벽 인근의 서양배 모양의 팽윤부 직경이 7.5–10 μm이고 팽윤부가 없는 균사폭은 5 μm 이하라는 보고(Jones와 Aldwinckle, 1991; Richard, 1990)와 다소 차이가 있었다. 그러나, Lee (2002)가 보고한 우리나라 균주의 균사 폭은 2.5–12 μm 범위라는 것과 유사하였는데, 이는 LED 청색 단일광과 청색+녹색 혼합광에 의해 균사 폭이 얇아지면서 균사생장이 억제되는 것으로 생각된다.

이러한 결과를 토대로, 본 실험에 사용한 사과 토양병원균 4종 중 *R. necatrix* KACC40168 균주만이 광에 반응할 수 있는 광 수용체가 있을 것이라 생각된다. 더불어, B, BG 및 BR 처리구와 같이 LED 청색광이 포함된 광질은 광 수용체를 통해 주로 균사생장을 억제시키는 효과가 있고 LED 녹색광은 멜라닌 색소 발현에 뚜렷한 영향을 주는 것으로 보아 병원성 증가에 영향이 있을 것이라 판단된다. 또한, 형광등 조사는 균사생장을 억제하고 멜라닌 색소 유도를 증가시키는 데 효과적인 광원으로 생각하며, 향후 *R. necatrix* 균주 간 균사생장, 멜라닌 색소 정량 및 병원성 검정 등에 관한 상세한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 더욱이 LEDs를 이용한 병 방제는

흰가루병 및 잿빛곰팡이병 등 주로 지상부 병원성 균류에 한정되어 연구된(Choi 등, 2013; Kim 등, 2013; Suthaparan 등, 2010) 실정으로 경제적 가치가 높은 작물이나 식물공장 등 환경을 제어할 수 있는 시설에서 지하부 병 방제에 활용될 수 있을 것이며, 나아가 지속적 강우나 광량 부족 등 병 발생에 유리한 기상 조건에서 LEDs를 이용한 보광으로 사과갈반병이나 탄저병 등 지상부에 발생하는 병을 제어할 수 있을 것이라 판단된다.

요 약

본 연구는 LEDs를 이용한 광질과 광조사 방법이 사과나무를 고사시키는 토양병원균 4종의 균사생장에 미치는 영향을 조사하였다. 그 결과, *P. cactorum* KACC40166 (역병균), *A. rolfsii* KACC40170 (흰비단병균) 및 *H. mompa* KACC40836 (자주날개무늬병균) 균주는 광조사 방법 간에 차이 없이 대조구와 비교하여 처리 간 10% 이내의 차이로 유사한 균사생장을 보였다. 그렇지만, *R. necatrix* KACC40168 (흰날개무늬병균) 균주의 균사생장은 광조사 방법 간에 공통으로 대조구와 비교하여 LED 청색광, 청색+녹색 혼합광, 청색+적색 혼합광 및 형광등 조사에서 유의하게 억제되었다. *R. necatrix* KACC40168 균주의 멜라닌 색소는 광조사 방법과는 상관 없이 LED 녹색광과 형광등 하에서 상대적으로 강하게 발현된 반면에, LED 적색광과 대조구에서는 유도되지 않았다. 더욱이, *R. necatrix* KACC40168 균주의 균사 폭은 광조사 방법 간에 공통으로 대조구와 비교하여 LED 청색광과 청색+녹색 혼합광에서 유의성 있게 얇아졌다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science and Technology Development (Project No. PJ010014052016" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Casas-Flores, S. and Herrera-Estrella, A. 2016. The bright and dark sides of fungal life. In: The *Mycota*. Vol. IV. Environmental and Microbial Relationships. 3rd ed., eds. by I. S. Druzhinina and C. P. Kubicek, pp. 41-77. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.

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.

Fuller, K. K., Ringelberg, C. S., Loros, J. J. and Dunlap, J. C. 2013. The fungal pathogen *Aspergillus fumigatus* regulates growth, metabolism, and stress resistance in response to light. *MBio*. 4. Online publication. doi: 10.1128/mBio.00142-13.

Heo, J. W., Kang, D. H., Bang, H. S., Hong, S. G., Chun, C. H. and Kang, K. K. 2012. Early growth, pigmentation, protein content, and phenylalanine ammonia-lyase activity of red curled lettuces grown under different lighting conditions. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 30: 6-12.

Heo, J. W., Kim, D. E., Kang. K. K., Park, S. H. and Chun, C. H. 2013. Growth and flowering before and after storage of african marigold and salvia seedlings stored under different light conditions. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 31: 400-406.

Jones, A. L. and Aldwinckle, H. S. 1991. Compendium of Apple and Pear Disease. 2nd ed. APS Press, St. Paul, MN, USA. 100 pp.

Kaiser, W. 1964. Effect of light on growth and sporulation of the *Verticillium* wilt fungus. *Phytopathology* 54: 765-770.

Kim, K. M., Kook, H. S., Jang, Y. J., Lee, W. H., Kamala-Kannan, S., Chae, J. C. and Lee, K. J. 2013. The effect of blue-light-emitting diodes on antioxidant properties and resistance to Botrytis cinerea in tomato. *J. Plant Pathol. Microb*. 4: 203.

Kim, S. I., Lee, S. B. and Choi, Y. M. 1995. Isolation and identification of antagonistic microorganisms for biological control of apple root rot disease. *RDA J. Agri. Sci*. 37: 29-42.

[KSPP] The Korean Society of Plant Pathology. 2009. List of Plant Diseases in Korea. 5th ed. The Korean Society of Plant Pathology, Suwon, Korea. pp. 196-200.

Lee, D. H. 2002. Etiology and ecology of apple white root rot, caused by *Rosellinia necatrix* and its biological control. Ph.D. thesis. Kyungpook National University, Daegu, Korea.

Lee, D. H., Lee, S. W., Choi, K. H., Kim, D. A. and Uhm, J. Y. 2006. Survey on the occurrence of apple diseases in Korea from 1992 to 2000. *Plant Pathol. J*. 22: 375-380.

Lee, S. B. 1995. Etiology and epidemiology of white- and violet-root rot caused by *Rosellinia necatrix* and *Helicobasidium mompa* on apple tree and their control in Korea. Ph.D. thesis. Chungbuk National University, Cheongju, Korea.

Lee, S. B., Jang, H. I., Kim, K. H., Choi, Y. M. and Chung, B. K. 1995. Incidence of soil-borne diseases in apple orchards in Korea. *Kor. J. Plant Pathol.* 11: 132-138.

Lee, S. H., Shin, H. M., Kim, I. J., Nam, S. Y. and Lee, K. Y. 2015. Survey on the orchard damage occurred to crown death for apple trees in Chungbuk province. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*. 33(Suppl II): 187.

Purschwitz, J., Müller, S., Kastner, C., Schöser, M., Haas, H., Espeso,

E. A., Atoui, A., Calvo, A. M. and Fischer, R. 2008. Functional and physical interaction of blue- and red-light sensors in *Aspergillus nidulans*. *Curr. Biol*. 18: 255-259.

[RDA] Rural Development Administration. 1993. Compendium of Fruit Tree Diseases with Color Plates. Rural Development Administration, Suwon, Korea. 286 pp.

Richard, T. H. 1990. Illustrated Genera of Ascomycetes. APS Press, St. Paul, MN, USA. pp. 114-115.

Sánchez-Murillo, R. I., de la Torre-Martínez, M., Aguirre-Linares, J. and Herrera-Estrella, A. 2004. Light-regulated asexual reproduction in *Paecilomyces fumosoroseus*. *Microbiology* 150: 311-319.

Suthaparan, A., Torre, S., Stensvand, A., Herrero, M. L., Pettersen, R. I., Gadoury, D. M. and Gislerød, H. R. 2010. Specific light-emitting diodes can suppress sporulation of *Podosphaera pannosa* on greenhouse roses. *Plant Dis*. 94: 1105-1110.

Sztejnberg, A. and Madar, Z. 1980. Host range of *Dematophora necatrix*, the cause of white root rot disease in fruit trees. *Plant Dis*. 64:662-664.

Tadao, U. I. 1984. Handbook of Soil-Borne Diseases. Japan Plant Protection Association, Tokyo, Japan. 349 pp.

Trevethick, J. and Cooke, R. C. 1973. Non-nutritional factors influencing sclerotium formation in some *Sclerotinia* and *Sclerotium* species. *Trans. Br. Mycol. Soc*. 60: 559-566.

Wolkow, P. M., Woloshuk, C. P. and Sisler, H. D. 1980. A comparison of the action of 3 systemic fungicides on *Pyricularia oryzae*. *Phytopathology* 70: 694-699.

Woloshuk, C. P., Sisler, H. D. and Vigil, E. L. 1983. Action of the antipenetrant, tricyclazole, on appressoria of *Pyricularia oryzae*. *Physiol. Plant Pathol*. 22: 245.