

FOOD&CHEMISTRY

Inactivation influences on *Escherichia coli* DS5 α by irradiation with 405 nm violet-light

Young-Sun Kim^{1,†}, Mun-Jin Choi^{1,†}, Dae-Young Lee², Sang-Ook Kang^{3,*}, Geung-Joo Lee^{4,*}

¹Department of Horticultural Science, Daegu University, Gyeongsan 38453, Korea

²Kingstar Lighting LTD Co., Kimpo 10048, Korea

³Department of Advanced Material Chemistry, Korea University Sejong Campus, Sejong 30019, Korea

⁴Department of Horticultural Science and Department of Smart Agriculture System, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

[†]These authors contributed equally to this work.

*Corresponding author: sangok@korea.ac.kr, gjee@cnu.ac.kr

Abstract

Because an irradiation of 405 nm violet light could have a strong energy, it was used to be sterilized against various microbes in the indoor air condition or fresh food. *Escherichia coli* is a representative bio-pollutant in the indoor air-borne bacteria, and a hygienic microbe in the horticultural food. This study evaluated the inactivation influences on *E. coli* DS5 α after exposure to 405 nm violet-light (VL) by investigating irradiating time, and the vertical and horizontal distance from light source. The illumination of 405 nm VL was inversely proportional to the distance from the VL source. *E. coli* DS5 α on nutrient agar (NA) was inactivated approximately 50% more than the control when irradiated at 65 cm from 405 nm VL for 3 hours. When compared to the control, *E. coli* DS5 α was inactivated approximately 50% within 70 cm from 405 nm VL for 3 hours. As it was irradiated for 3 hours 70 cm away from 405 nm VL, the horizontal distance from the point was negatively correlated to the inactivation of *E. coli* DS5 α . These results indicated that the inactivation of *E. coli* DS5 α grown on NA medium needs to be irradiated with 405 nm within 70 cm from the light source for 3 hours.

Key words: 405 nm violet-light, *Escherichia coli* DS5 α , inactivation of *E. coli*, irradiation distance, irradiation time



OPEN ACCESS

Citation: Kim YS, Choi MJ, Lee DY, Kang SO, Lee GJ. Inactivation influences on *Escherichia coli* DS5 α by irradiation with 405 nm violet-light. Korean Journal of Agricultural Science 50:417-425. <https://doi.org/10.7744/kjoas.500311>

Received: May 30, 2023

Revised: July 11, 2023

Accepted: July 18, 2023

Copyright: © 2023 Korean Journal of Agricultural Science



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.

Introduction

신선채소는 수확, 유통 및 판매 과정에서 별도의 열처리 과정을 거치지 않기 때문에 작업자나 환경에 의해 쉽게 오염될 수 있어 식품 안전성을 위협하는 요인이다(Park et al., 2016). 최근 식생활의 변화와 건강에 대한 관심 증대로 채소류의 소비가 증가하고 있어 안전한 식품의 관리가 필요하다(Choi et al., 2005). 채소류 중에서 샐러드나 신선편이 등은 별도의 조리없이 섭취하는 경우가 많으므로 식중독 균에 노출되기 쉽다(Park et al., 2001). 채소류의 미생물 오염도 조사에서 대장균(*Escherichia coli*)이나 살모넬라균(*Salmonella* spp.) 등과 같은 식중독 미생물의 검출비율이 높게 나타나 주기적인 모니터링 및 안전관리 대책이 필요하였다(Hong et al.,

2012). 또한 새싹채소는 종자 발아 후 1주일 이내 수확하는 채소로서 영양성분과 항산화효과를 나타내어 이용이 증대되고 있으나(Jun et al., 2012) 조직이 연약하여 제한적으로 세척이 이뤄져 세균의 제거가 어렵고, 병원성 미생물에 오염되기 쉽다(Adams et al., 1989).

일반적으로 식품에서 식중독 균의 오염을 방지하기 위해 열처리 방법을 사용하고 있으나 신선채소나 신선편이 및 새싹채소 등은 식물에 변성이 발생하게 되므로 새로운 살균기술을 필요로 하고 있다(Park et al., 2016). 열처리를 제외한 살균기술로 전기장, 자기장, 광펄스 등을 활용하는 물리적 방법(Lee et al., 2018)과 광촉매나 전기분해수를 활용하는 화학적 방법 및 천연항균물질을 이용하는 생물학적 방법이 있다(Park et al., 2010; Im et al., 2016). Park 등(2016)은 새싹채소에 광펄스를 이용하여 대장균을 90 - 99% 사멸하는 것으로 나타났다.

최근 연구에서 가시광선 영역 중 405 nm광(자색광; violet-light, VL)은 바이러스(Rathnasinghe et al., 2021)나 미생물(Maclean et al., 2009)에 대해 살균능력을 나타내는 것으로 알려져 있다. 따라서 본 연구는 식품의 저장이나 유통과정 중 405 nm 광원의 활용가능성을 평가하기 위해 위생 미생물인 대장균(*E. coli*)에 대한 살균효과가 있는지를 조사하였다.

Materials and Methods

공시재료

본 연구는 2021년 9월부터 대구대학교 연구실에서 3개월 동안 수행되었다. 연구에 이용된 공시 미생물은 대장균(*Escherichia coli* DS5 α)은 충남대학교로부터, 공시 광원은 고려대학교 건강정보기술센터에 소속된 킹스타라이팅(주) 기업부설연구소로부터 공여받아 사용하였다. 광원은 발광다이오드(light emitting diode, LED) 등으로 405 nm 단일광을 나타내는 광원이었다(Fig. 1).

광원 조사 거리 별 조도

광원으로부터 이격 거리에 따른 광의 세기를 측정하기 위해 조도계(BQM, Spectrum Technologies, Ins., UK)를 이용하여 유효광양자속을 측정하였다. 유효광양자속은 광원으로부터 수직으로 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 및

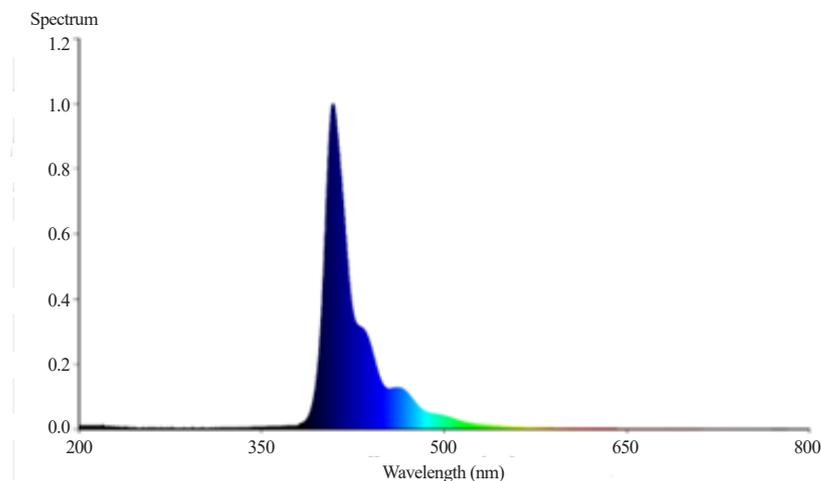


Fig. 1. Optical emission spectrum of a 405 nm peak powered by 15 W LED (light emitting diode) downlight array taken from an integrating sphere system manufactured by Everfine Co., LTD. (Source: Health Information Center at Korea University).

100 cm에서 측정하였다. 광원으로부터 수직으로 70 cm 이격된 지점에서 수평으로 0, 25, 50, 75 및 100 cm에서 유효 광양자속을 측정하였다. 측정된 유효광양자속은 아래의 식을 이용하여 조도와 광에너지를 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{조도}(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}) &= \text{유효광양자속}(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{S}^{-1})/4.6/0.1 \\ \text{광에너지}(\text{J}\cdot\text{cm}^{-2}) &= \text{조도}(\text{mW}\cdot\text{cm}^{-2}) \times \text{시간}(\text{S}; \text{second}) \end{aligned} \quad (1)$$

405 nm 광원 조사 시간 별 대장균의 살균효과

광원의 최적 처리 시간을 조사하기 위해서 405 nm 처리 후 *E. coli* DS5α의 살균효과를 조사하였다. 멸균대에서 *E. coli* DS5α를 소독된 백금으로 일정량을 채취하고, 이를 멸균수로 희석한 후 희석액을 nutrient agar (NA) 배지에 100 μL 접종하여 도말한 후 광원을 조사하였다. Rutala 등(2018)은 405 nm에서 약 2 피트의 거리(약 61 cm)에서 405 nm 광원을 처리할 때 *acinetobacter*의 생균수가 감소했다고 보고하여 광원으로부터 대장균의 이격 거리는 65 cm로 결정하였다. 광원의 조사 시간은 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 및 12시간을 처리하였고, 각 시간별 대조구는 암조건에서 처리하였으며, 실내 온도는 25°C로 셋팅된 항온실에서 실시하였다. 광원의 처리가 완료된 대장균 배지는 28°C로 셋팅된 배양기(IR-250, Daihan Scientific, Korea)에서 48시간 배양한 후 생균수를 조사하여 살균능력을 평가하였다. 대장균의 살균능력은 광원 처리구와 대조구의 생균수를 조사하여 아래의 식으로 계산하였다.

$$\text{살균능력}(\%) = (1 - \text{광원 처리구 생균수} / \text{대조구 생균수}) \times 100 \quad (2)$$

405 nm 광원 조사 거리 별 대장균의 살균효과

광원의 조사 시간을 결정한 후 광원으로부터 조사 거리 별 살균능력을 조사하였다. 멸균대에서 *E. coli* DS5α를 소독된 백금으로 일정량을 채취하고, 이를 멸균수로 희석한 후 희석액을 NA 배지에 100 μL 접종한 후 도말한 후 광원을 조사하였다. 광원의 조사 시간은 3시간으로 하였고, 대조구는 암조건에서 처리하였으며, 실내 온도는 25°C로 셋팅된 항온실에서 실시하였다. 광원의 처리가 완료된 대장균 배지는 28°C로 셋팅된 배양기에서 48시간 배양한 후 생균수를 조사하여 살균능력을 평가하였다.

405 nm 광원으로부터 이격 거리 별 대장균의 살균효과

광원의 조사 시간과 조사 거리별 대장균 살균효과 조사 후 광원으로부터 이격 거리 별 살균능력을 조사하였다. 실험을 위해 멸균대에서 *E. coli* DS5α를 소독된 백금으로 일정량을 채취하고, 이를 멸균수로 희석한 후 희석액을 NA 배지에 100 μL 접종한 후 도말한 후 광원을 조사하였다. 광원의 조사 시간과 조사 거리는 각각 3시간과 70 cm로 하였고, 광원으로부터 이격 거리는 0, 25, 50, 75 및 100 cm로 설정하였고, 대조구는 암조건에서 처리하였으며, 실내 온도는 25°C로 셋팅된 항온실에서 실시하였다. 광원의 처리가 완료된 대장균 배지는 28°C로 셋팅된 배양기에서 48시간 배양한 후 생균수를 조사하여 살균능력을 평가하였다.

통계분석

통계처리는 SPSS (IBM SPSS Statistics version 12.1, IBM, USA)를 이용하여 Tukey 검정과 T 검정 및 상관관계를 통해 처리구간 평균값의 유의차를 검정하였다.

Results and Discussion

405 nm 광원의 조사 거리별 조도

광원으로부터 수직 거리 별 조도는 측정 거리에 따라 감소하였고, 감소 경향은 지수함수를 나타냈다(Fig. 1). 광원과 수직 거리별 지수함수식은 ($y = 219.8x^{-1.785}$, y: 조도, x: 광원으로부터의 수직 거리)이고, 결정계수는 0.984**을 나타냈다. 광원의 수평거리별 유효광양자속은 70 cm을 기준으로 수평 이격 거리를 측정한 결과, 광원으로부터 이격 거리가 길어질수록 감소하여 1차함수($y = -0.001x + 0.1$, y: 조도, x: 70 cm 높이에서 이격 거리, $R^2 = 0.973$ **를 나타냈다(Fig. 2).

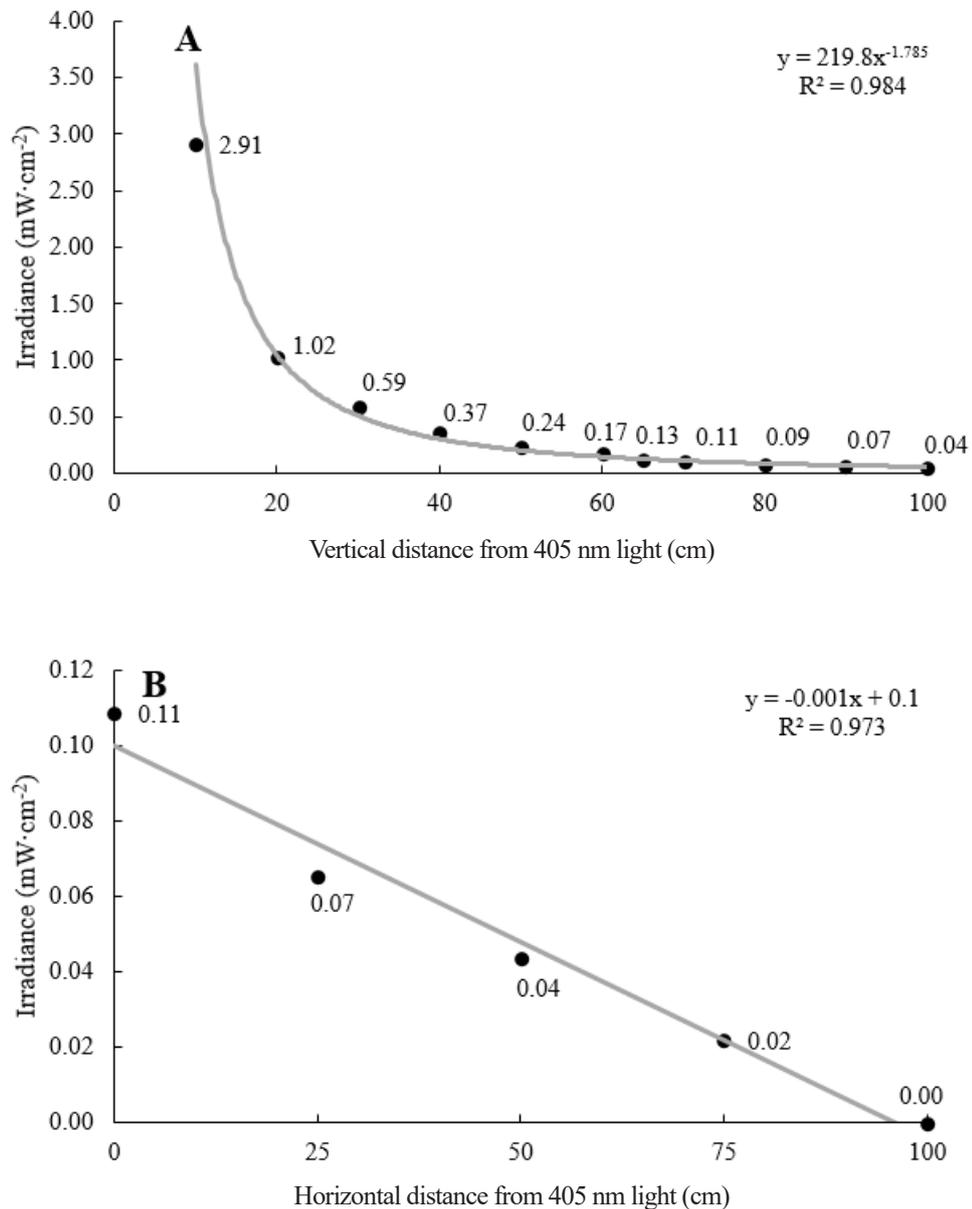


Fig. 2. Relationship between irradiance and vertical distance from 405 nm light source (A), and between irradiance and horizontal distance at site away about 70 cm from 405 nm (B).

405 nm 광원 조사 시간 별 대장균의 살균효과

405 nm 광원의 조사 시간에 따른 대장균의 생균수를 조사하여 광원 처리에 의한 살균정도를 조사하였다(Table 1). 처리 시간에 따라 약간의 차이를 나타내어 광원의 2시간 조사 시 광에 의한 처리효과는 확인되지 않았으나 405 nm 광원의 처리에 의해 대장균의 생육이 억제되는 경향을 나타냈다. 광원 처리에 의한 대장균의 살균정도는 1 - 100% 정도를 나타냈고, 3시간 이상 조사 시 50% 이상의 대장균 살균효과를 나타냈고, 6시간 이상 조사 시 80% 이상의 살균효과를 나타냈다. 50% 이상의 살균효과를 나타내는 최소 시간은 3시간으로 조사되었고, 이때의 누적 광에너지는 약 $1,409 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 을 나타냈다. Kim 등(2017)은 *Streptococcus mutans*에 405 nm 광원 조사 시 광조사 시간이 증가할수록 미생물의 생균수가 감소한다고 보고하여 본 연구 결과와 유사한 결과를 나타냈다.

Table 1. Inactivation of *E. coli* DH5α by irradiation time of 405 nm light source at 65 cm distance.

| Treatment ^y (h) | Cell count (cfu·mL ⁻¹) | | Inactivation rate (%) | t-test ^z |
|----------------------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| | Without 405 nm | With 405 nm | | |
| 1 | 7.5×10^9 bc | 4.3×10^9 bc | 34.5 | ** |
| 2 | 1.5×10^9 c | 1.5×10^9 c | 1.0 | NS |
| 3 | 9.7×10^9 bc | 4.7×10^9 bc | 51.0 | * |
| 4 | 8.7×10^9 bc | 1.3×10^9 bc | 73.1 | ** |
| 5 | 25.5×10^9 a | 11.9×10^9 a | 53.3 | ** |
| 6 | 6.3×10^9 c | 1.3×10^9 c | 80.0 | ** |
| 8 | 18.4×10^9 ab | 1.1×10^9 ab | 94.2 | ** |
| 12 | 1.1×10^9 c | ND [*] c | 100.0 | ** |

ND, not detected.

^y Treatments were follows. 405 nm light was irradiated during 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 and 12 hours at 65 cm distance from light source.

^z t-test between irradiation with and without 405 nm light source. NS, *, and ** represent not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level by correlation coefficient, respectively.

a - c: Means with the sample letter within a column are not significantly different by Tukey's multiple comparisons test at $p \leq 0.05$ level.

405 nm 광원 조사 거리 별 대장균의 살균효과

405 nm 광원을 3시간 조사 시 광원으로부터 조사 거리에 따른 대장균의 살균효과를 조사하였다(Table 2). 광원 무처리구에서 대장균의 생균수는 $1.5 \times 10^9 - 7.7 \times 10^9$ cfu·mL⁻¹의 범위를, 광원 처리구에서 대장균 생균수는 불검출 - 7.3×10^9 cfu·mL⁻¹의 범위를 나타냈다. 광원 조사 여부에 따른 대장균의 살균효과는 70 cm 이내의 거리에서는 광원 조사 처리구에서 대장균의 생균수가 감소하였고, 100 cm에서는 통계적으로 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 광원의 조사 거리가 20 cm 이내에서는 대장균이 검출되지 않았고, 30 - 70 cm에서는 78.8 - 84.9%의 대장균 억제효과를 나타내어 70 cm 이내에서는 50% 이상의 대장균 생장 억제효과를 나타냈다. 70 cm에서 3시간 동안 405 nm를 조사하는 경우 누적 광에너지는 $1,174 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-2}$ 로 조사되었다.

405 nm 광원으로부터 이격 거리 별 대장균의 살균효과

405 nm 광원을 3시간 동안 70 cm에서 처리하고, 광원으로부터 수평으로 25 cm씩 이격시킨 후 대장균의 살균효과를 조사하였다(Table 3). 광원 무처리구의 대장균 생균수는 6.0×10^9 cfu·mL⁻¹였고, 광원 처리구의 대장균 생균수는 $1.1 \times 10^{10} - 5.9 \times 10^{10}$ cfu·mL⁻¹를 나타냈다. 광원 수평 이격 거리에 따른 대장균의 살균율은 수직 거리에 있는 0 cm 처리구는 81.1%의 대장균 살균효과를 나타내어 앞선 결과들과 유사한 살균효과를 나타냈으나 광원으로부터 수평으로 25 - 100 cm 이격된 처리구에서는 2.9 - 38.0%의 대장균 살균효과를 나타내어 50% 이하의 살균효과를 나타냈다. 광원으로부터 수직으로 70 cm 지점에서 수평으로 25, 50, 75 및 100 cm 이격된 지점에서 3시간 동안의 누적 광에너지는 각각 0.13, 0.09, 0.04 및 0.00 J·cm⁻²를 나타냈다.

Table 2. Inactivation of *E. coli* DH5α by vertical irradiation distance with 405 nm light source for 3 hours.

| Treatment ^y (cm) | Cell count (cfu·mL ⁻¹) | | Inactivation rate (%) | t-test ^z |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| | No light source | Light source | | |
| 10 | 5.2 × 10 ⁹ a | ND c | 100.0 | ** |
| 20 | 4.3 × 10 ⁹ cd | ND c | 100.0 | ** |
| 30 | 1.5 × 10 ⁹ d | 0.3 × 10 ⁹ b | 81.8 | ** |
| 50 | 2.0 × 10 ⁹ ab | 4.3 × 10 ⁹ a | 78.8 | ** |
| 70 | 3.7 × 10 ⁹ ab | 5.6 × 10 ⁹ a | 84.9 | * |
| 100 | 7.7 × 10 ⁹ ab | 7.3 × 10 ⁹ a | 5.2 | NS |

ND, not detected.

^y Treatments were follows. 405 nm light was irradiated 10, 20, 30, 50, 70, and 100 cm vertical distance form light source during 3 hours.

^z t-test between irradiation with and without 405 nm light source. NS, *, and ** represnet not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level by correlation coefficient, respectively.

a - d: Means with the sample letter within a column are not significantly different by Tukey’s multiple comparisons test at p ≤ 0.05 level.

Table 3. Inactivation of *E. coli* DH5α after exposure by horizontal distance at 70 cm point from 405 nm light source for 3 hours.

| Treatment ^y (cm) | Cell count (cfu·mL ⁻¹) | | Inactivation rate (%) | t-test ^z |
|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| | No light source | Light source | | |
| 0 | 6.0 × 10 ¹⁰ | 1.1 × 10 ¹⁰ c | 81.1 | ** |
| 25 | 6.0 × 10 ¹⁰ | 5.9 × 10 ¹⁰ a | 2.9 | NS |
| 50 | 6.0 × 10 ¹⁰ | 4.4 × 10 ¹⁰ a | 27.9 | NS |
| 75 | 6.0 × 10 ¹⁰ | 2.5 × 10 ¹⁰ b | 38.0 | * |
| 100 | 6.0 × 10 ¹⁰ | 5.6 × 10 ¹⁰ a | 7.3 | NS |

^y Treatments were follows. 405 nm light was irradiated 0, 25, 50, 75, and 100 cm horizontal distance during 3 hours at 70 cm vertical distance form light source.

^z t-test between irradiation with and without 405 nm light source. NS, *, and ** represnet not significant, significant at the 0.05 and 0.01 probability level by correlation coefficient, respectively.

a - c: Means with the sample letter within a column are not significantly different by Tukey’s multiple comparisons test at p ≤ 0.05 level.

고찰

미생물은 자외선의 조사에 의해 광스트레스를 받고, 조사 시간이 증가할수록 미생물에 대한 생균수는 감소한다 (Kim et al., 2017). 자외선의 파장은 가시광선보다 강한 에너지를 갖고 있어 미생물 오염방지 및 살균에 이용되고 있지만 사용자에게 안구손상, 홍반 및 피부암 등을 유발하기도 하므로 사용에 있어 주의를 필요로 한다(Mok and Lee, 2008). 따라서 인체 위해성이 적고, 안전한 광원인 가시광선(380 - 500 nm)이 자외선을 대신하여 실내의 살균을 위해 이용되고 있으며(Maclean et al., 2014), 그 중에서도 405 nm 광원은 가시광선 영역의 파장이지만 바이러스 및 미생물에 대한 살균능력을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(Maclean et al., 2009; Rathnasinghe et al., 2021).

405 nm 광원은 공기 중에 존재하는 다양한 미생물에 대해 살균능력을 나타내며, 이는 TiO₂와 같은 광촉매 등으로 살균능력을 증대시킨다(Kim et al., 2017). 405 nm 광원의 조사에 따른 미생물의 비활성화는 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)의 방출에 의해 포르피린과 같은 감광제를 통한 광흡수와 연관된 것으로 생각된다(Bumah et al., 2017). 405 nm광원이 살균능력을 나타내는 것은 광원의 조사 시간과 밀접한 관계가 있으며, 광조사 시간이 증대될수록 살균능력이 증가되었다. 본 연구에서도 광조사 시간이 증대될수록 증가하는 경향을 나타내어 선행연구 결과와 유사한 경향을 나타냈다(Table 1). 이는 광에 의한 살균력이 조도뿐 아니라 미생물에 주어지는 조도량에 의해 나타나는 것으로 광조사 시간과 광원으로부터의 거리가 영향을 주기 때문이다(Rathnasinghe et al., 2021).

Maclean 등(2009)은 미생물의 살균력은 광의 공급시간과 광량에 영향을 받으며 이들 요인들을 대장균 및 미생물의 살균 광에너지로 환산할 수 있다고 보고하였다. 미생물은 종에 따라 살균에너지가 다르게 나타나며(Ferrer-Espada et al., 2020), 이는 미생물의 종류에 따라 ROS에 반응하는 감광체와 세포의 두께 및 유전적 차이에 의해 발생하고, 미생물의 생육속도 및 배양액 중 미생물 밀도 등도 살균에너지의 차이에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Molobela and Ilunga, 2012). Maclean 등(2016)은 대장균이 인산완충용액에서 99.9%의 살균효과를 나타내기 위해서는 약 $328 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 광에너지가 필요하며, 인간 혈청에서는 약 $742 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-1}$ 의 광에너지가 필요하다고 보고한 바 있다. 광살균에너지는 미생물의 종과 생육환경에 따라 다르게 나타나고, 미생물 중에 대장균은 살균에너지가 다른 미생물에 비해 살균에너지가 낮은 것으로 보고되었다(Maclean et al., 2016). Maclean 등(2016)의 결과와 본 연구의 결과에서 차이를 나타낸 것은 인산완충용액의 경우 미생물에게 스트레스 조건이 주어지더라도 미생물 배지에서 양분이 공급되어 생육하기 때문으로 판단된다. Kim과 Lee (2022)도 *Bacillus subtilis*가 배지에서 자라는 경우 독성물질인 농약이 혼입되었다 하더라도 환경조건에서 보다 미생물의 피해가 발생하지 않는다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 배지로 이용한 NA 배지는 세균이 자라기에 충분한 양분조건을 나타내고 있어 실제 공기중의 환경과 유사한 조건이라 판단하기 어려우므로 선행연구자들이 제시한 살균에너지를 적용하여 위생미생물의 살균력을 결정하는 것은 어렵다. 따라서 향후에는 대기 조건과 유사한 환경조건에서 405 nm 광원 조사 후 광에너지에 따른 미생물의 살균력을 평가하여야 할 것으로 판단된다. 또한, 광에너지 뿐 아니라 광촉매를 함께 처리하는 경우 살균효과가 증대된다는 보고가 있으므로 식품에 사용할 수 있는 광촉매를 선발 후 광촉매 처리에 따른 대장균의 살균 증대 효과에 대한 조사가 필요하였다(Kim et al., 2017).

최근 LED 광원 기술이 발달하면서 여러 분야에서 이용이 증대되고 있다. 특히, 농업분야의 작물 재배 시 LED를 조직배양실, 식물공장 및 육묘시설 등에서 인공광원으로 이용하고 있다(Bourget, 2008; Kurilcik et al., 2008). 특히 육묘과정에서 접목묘는 활착실의 상대습도가 높고, 광이 공급되지 않기 때문에 병원균이나 바이러스의 감염에 의한 병해가 발생할 수 있기 때문에(Choi et al., 2011; Jang et al., 2014; Yoo and Lee, 2017) 건전묘 육성을 위해 적절한 광의 공급이 필요하다(Kim et al., 2019). 박과작물의 경우 육묘 시 *Pseudomonas viridiflava* 등에 의해 발생하는 세균성 접무늬병으로 10 - 20%의 손실이 발생하는 것으로 알려져 있어(Aysan et al., 2003) 세균의 방제가 필요한 것으로 판단된다. 405 nm 광원은 다양한 세균에 대한 억제효과가 보고된 바 있어 육묘 시 광원으로 사용하는 경우 유묘의 세균 병 방제에 효과가 있을 것으로 기대되나, 405 nm 광원을 농업적으로 활용하기 위해서는 다양한 식물 병원균에 대한 항균능력 뿐 아니라 작물의 유묘 생장에 미치는 영향에 대한 연구도 필요한 것으로 판단된다.

Conclusion

405 nm 광원은 강한 에너지를 나타내어 실내 공기전염 미생물의 살균이나 식품 내 다양한 미생물의 살균에 이용하고 있다. 대장균(*E. coli*)은 대표적인 실내 오염 세균이며, 원예 식품의 위생미생물이다. 본 연구는 405 nm 광원(VL) 처리 후 *E. coli* DS5α 살균정도를 평가하기 위해 405 nm의 광조사 시간, 조사 거리 및 이격 거리별 대장균의 살균능력을 조사하였다. 조도와 광원에서 조사 거리와 이격 거리는 반비례하였다. 광원으로부터 65 cm 지점에서 광조사 시간에 따른 대장균의 생장은 3시간 이후 50% 이상의 살균능력을 나타냈다. 3시간 동안 405 nm 광원 조사 시 조사 거리별 대장균의 생균수 조사에서 70 cm 이내에서 50% 이상의 살균능력을 나타냈다. 광원으로부터 70 cm 이격된 지점에서 3시간 동안 광원 조사 시 수평으로 이격되었을 경우 대장균의 살균효과는 나타나지 않았다. 상기 결과들을 종합할 때, 405 nm 광원은 광원으로부터 70 cm 이격되고, 약 3시간 정도 광조사 시 대장균의 살균효과가 나타남을 확인할 수 있었다.

Conflict of Interests

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

Acknowledgements

This work was supported by the Korea Medical Device Development Fund grant funded by the Korea government (the Ministry of Science and ICT, the Ministry of Trade, Industry and Energy, the Ministry of Health & Welfare, the Ministry of Food and Drug Safety) (Project Number: HW20C2186, KMDF_PR_20200901_0000).

Authors Information

Young-Sun Kim, <https://orcid.org/0000-0002-5645-7021>

Mun-Jin Choi, <https://orcid.org/0009-0004-6057-5348>

Dae-Young Lee, <https://orcid.org/0009-0006-6467-8402>

Sang-Ook Kang, <https://orcid.org/0000-0002-3911-7818>

Geung-Joo Lee, <https://orcid.org/0000-0002-3774-1860>

References

- Adams MR, Hartley AD, Cox LJ. 1989. Factors affecting the efficacy of washing procedures used in the production of prepared salads. *Food Microbiology* 6:69-77.
- Aysan Y, Mirik M, Ala A, Sahin F, Cinar O. 2003. First report of *Pseudomonas viridiflava* on melon in Turkey. *Plant Pathology* 52:800. DOI:10.1111/j.1365-3059.2003.00909.
- Bourget CM. 2008. An introduction to light-emitting diodes. *American Society for Horticultural Science* 43:1944-1946. DOI:10.21273/HORTSCI.43.7.1944.
- Bumah VV, Aboualizadeh E, Masson-Meyers DS, Eells JT, Enwemeka CS, Hirshmuğl CJ. 2017. Spectrally resolved infrared microscopy and chemometric tools to reveal the interaction between violet-light (470 nm) and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Journal of photochemistry and photobiology B: Biology* 167:150-157. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2016.12.030.
- Choi GS, Cho JD, Chung BN, Cho IS, Choi SK. 2011. Cause of the scion death in green pepper grafting system by Tobamovirus. *Research in Plant Disease* 17:191-195. DOI:10.5423/RPD.2011.17.2.191. [in Korean]
- Choi JW, Park SY, Yeon JH, Lee MJ, Chung DH, Lee KH, Kim MG, Lee DH, Kim GS, Ha SD. 2005. Microbial contamination levels of fresh vegetable distributed in markets. *Journal of Food Hygiene and Safety* 20:43-47. [in Korean]
- Ferrer-Espada R, Wang Y, Goh XS, Dai T. 2020. Antimicrobial blue light inactivation of microbial isolates in biofilms. *Lasers in Surgery and Medicine* 52:472-478. DOI:10.1002/lsm.23159.
- Hong CK, Seo YH, Choi CM, Hwang IS, Kim MS. 2012. Microbial quality of fresh vegetables and fruits in Seoul, Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety* 27:24-29. DOI:10.13103/JFHS.2012.27.1.024. [in Korean]
- Im H, Moon JK, Kim WS. 2016. Antibacterial activity of supernatant obtained for *Weissella koreensis* and *Lactobacillus sakei* on the growth of pathogenic bacteria. *Korean Journal of Agricultural Science* 43:415-423. DOI: 10.7744/kjoas.20160044. [in Korean]
- Jang M, Mun B, Choi CS, Um Y, Lee SG. 2014. Graft-take and growth of grafted pepper transplants influenced by the nutrient and irrigation management of scion and rootstock before grafting. *Protected Horticulture and Plant*

- Factory 23:364-370. DOI:10.12791/KSBEC.2014.23.4.364. [in Korean]
- Jun SY, Kim TH, Hwang SH. 2012. The consumption status and preference for sprouts and leafy vegetables. Korean Journal of Food Preservation 19:783-791. DOI:10.11002/kjfp.2012.19.5.783. [in Korean]
- Kim CH, Lee ES, Kang SM, de Jong EJ, Kim BI. 2017. Bactericidal effect of the photocatalytic reaction of titanium dioxide using visible wavelengths on *Streptococcus mutans* biofilm. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy 18:279-283. DOI:10.1016/j.pdpdt.2017.03.015.
- Kim HG, Choi YH, Kim YH. 2019. Graft-taking and growth characteristics of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings as affected by light quality and blink cycle of LED modules. Protected Horticulture and Plant Factory 28:143-149. DOI:10.12791/KSBEC.2019.28.2.143. [in Korean]
- Kim YS, Lee GJ. 2022. Changes of *Bacillus subtilis* SA-15 in diluted solution mixing with microbial fertilizer and pesticides. Weed and Turfgrass Science 11:65-74. DOI:10.5660/WTS.2022.11.1.065. [in Korean]
- Kurilcik A, Miklusyte-Canova R, Dapkuniene S, Zilinskaite S, Kurilcik G, Tamulaitis G, Duchovskis P, Zukauskas A. 2008. *In vitro* culture of *Chrysanthemum* plantlets using light-emitting diodes. Central European Journal of Biology 3:161-167. DOI:10.2478/s11535-008-0006-9.
- Lee D, So JD, Jung HM, Park SH, Lee SH. 2018. Microwave drying characteristics of squash slices. Korean Journal of Agricultural Science 45:347-857. DOI:10.7744/kjoas.20180091. [in Korean]
- Maclean M, Anderson JG, MacGregor SJ, White T, Atreya CD. 2016. A new proof of concept in bacterial reduction: Antimicrobial action of violet-blue light (405 nm) in *Ex Vivo* stored plasma. Journal of Blood Transfusion 2016:2920514. DOI:10.1155/2016/2920514.
- Maclean M, MacGregor SJ, Anderson JG, Woolsey G. 2009. Inactivation of bacterial pathogens following exposure to light from a 405-nanometer light-emitting diode array. Applied and Environmental Microbiology 75:1932-1937. DOI:10.1128/AEM.01892-08.
- Maclean M, McKenzie K, Anderson JG, Gettinby G, MacGregor SJ. 2014. 405 nm light technology for the inactivation of pathogens and its potential role for environmental disinfection and infection control. Journal of Hospital Infection 88:1-11. DOI:10.1016/j.jhin.2014.06.004.
- Mok CK, Lee NH. 2008. Distribution ultraviolet intensity and UV leaking of commercial UV sterilizers used in restaurants. Korean Journal of Food Science Technology 40:228-233. [in Korean]
- Molobela IP, Ilunga FM. 2012. Impact of bacterial biofilms: The importance of quantitative biofilm studies. Annals of Microbiology 62:461-467.
- Park H, Cha GH, Shin JK. 2016. Sterilization of rapeseed sprouts by intense pulsed light treatment. Korean Journal of Food Science and Technology 48:36-41. DOI:10.9721/KJFST.2016.48.1.36. [in Korean]
- Park HO, Kim CM, Woo GJ, Park SH, Lee DH, Chang EJ, Park KH. 2001. Monitoring and trend analysis of food poisoning outbreaks occurred in recent years in Korea. Journal of Food Hygiene and Safety 16:280-294. [in Korean]
- Park JY, Na SY, Lee YJ. 2010. Present and future of non-thermal food processing technology. Food Science Industry 43: 2-20. DOI:10.23093/FSI.2010.43.1.2. [in Korean]
- Rathnasinghe R, Jangra S, Miorin L, Schotsaert M, Yahnke C, Garcia-Sastre A. 2021. The virucidal effects of 405 nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus. Scientific Report 11:19470. DOI:10.1038/s41598-021-97797-0.
- Rutala WA, Kanamori H, Gergen MF, Sexton DJ, Anderson DJ, Laux J, Weber DJ, CDC Prevention Epicenters Program. 2018. Antimicrobial activity of a continuous visible light disinfection system. Infection Control and Hospital Epidemiology 39:1250-1253. DOI:10.1017/ice.2018.200.
- Yoo KR, Lee SY. 2017. Effects of light-emitting diodes on *in vitro* growth of virus-free sweet potato plantlets. Horticultural Science and Technology 35:490-498. DOI:10.12972/kjhst.20170052. [in Korean]