

연구노트

461-nm LED 조사와 산의 병행처리가 *Staphylococcus aureus*와 *Escherichia coli* 생육에 미치는 영향

김세훈^{1,2} · 방우석^{1,2*}

¹영남대학교 식품영양학과, ²영남대학교 LED-IT 융합산업화연구센터

Effects of the 461-nm LED Light and Combination with Acid Stress Treatment on *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*

Se-Hun Kim^{1,2} and Woo-Suk Bang^{1,2*}

¹Department of Food and Nutrition, Yeungnam University

²LED-IT Fusion Technology Research Center, Yeungnam University

Abstract This study was conducted to evaluate the disinfection effects of *Staphylococcus aureus*, and *Escherichia coli* treated with 461-nm LED and pH 5 at 15°C for 10 h. *S. aureus* strains were decreased by about 4 log CFU/mL after 461-nm LED irradiation treatment alone for 10 h. *E. coli* strains were inactivated by irradiation. However, when microorganisms were subjected to a combined treatment of 461-nm LED and pH 5, both strains were inactivated by irradiation for 7 h. The highest D-value was 5.05 h for *S. aureus* ATCC 27664 and the lowest D-value was 1.39 h for *E. coli* O157: H7 ATCC 35150 ($p < 0.05$) with 461-nm LED irradiation. For the combined treatment (461-nm LED and pH 5), the highest D-value was 1.58 h for *S. aureus* ATCC 19095, whereas the lowest D-value was 0.83 h for *S. aureus* ATCC 27664 ($p < 0.05$). These data showed that bactericidal effects of a combination of pH 5 with 461-nm LED irradiation were enhanced compared to 461-nm LED irradiation alone.

Keywords: 461-nm LED, combined stress, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*

서 론

식생활 환경 변화와 식품 공급의 세계화, 단체 급식의 증가 등으로 식중독 발생이 증가하고 있으며 그 규모는 대형화되고 있다(1,2). 식품의약품안전청에서 보고한 2002년-2011년까지 식중독 통계시스템의 원인 균별 식중독 발생 현황에 따르면 총 식중독 발생건수(2,357건) 중 병원성 대장균(277건), 살모넬라(240건), 장염 비브리오(185건), 황색포도상구균(174건) 순으로 발생하였으며 2007년 이후 매년 조금씩 증가하고 있다(3). 식중독 균은 식품 제조 공정 과정에서 다양하고 광범위한 미생물학적 위해 요소에 노출될 수 있으므로 식중독과 식품 부패 방지를 위한 제어 기술이 필요하다(4,5). 따라서 식품의 보존성을 향상시키기 위해 가열, 냉동 등의 물리적인 방법과 산, 보존제 등의 화학적 방법의 가공 기술을 사용하고 있다(4,6). 그러나 미생물은 이러한 제조 과정을 거치면서 생장에 불리한 조건이 주어진다 하더라도 환경에 적응하여 생존할 수가 있다(7,8). 예를 들면, 원료나 제조된 식품의 품질을 유지하기 위해 대부분 냉장 저장을 하나 균은 생리적, 형태

적인 변화를 거치며 저장 기간 동안 생존할 수 있다. 또한 미생물을 제어하는 수단으로 흔히 사용되는 산은 식품 보존에 효과적이나 이 환경에서 균은 세포 내 pH 항상성 유지, 유전자 발현, 세포막 지방산 성분 변화를 일으켜 생존이 가능해진다(9-12).

이러한 다양한 환경에 노출될 수 있는 미생물을 불활성화 시키기 위한 식품 가공 기술 중에는 광원을 이용하는 방법이 있다. 물질을 이온화하는 방사선은 X-선, γ -선, β -선, α -선, 중성자 등이 있으며, 식품에 조사가 허용되는 것은 Co_{60} , Cs_{137} 등의 γ -선, β -선이 있다. 일반적으로 식품에 조사하는 방사선량은 0.05-30 Gy이며 WHO (World Health Organization)에서는 최고 10 kGy까지 제한하는 것을 권장하고 있다(13). 대부분 감마선을 이용한 식품 조사 연구가 진행되어 왔으며 감마선 에너지는 우수한 투과력을 장점으로 가지고 있다(14). 적절한 방법으로 방사선을 조사한 경우 식품의 안전성에는 문제가 없는 것으로 밝혀졌지만 아직 방사선에 대한 소비자의 불안한 인식이 있기 때문에 소비자 인식이 변화되어야 이용이 늘어날 것이다(13,15,16). 따라서 감마선을 식품에 조사 하는 것보다 안전하고, 미생물 생육 제어에 효과적인 새로운 광선 조사 방법을 찾기 위해 LED (Light emitting diode)를 활용하는 연구가 진행되고 있다. LED는 전기를 자외선, 가시광선, 적외선 등으로 전환시키는 반도체 소자로 백열등이나 형광등에 비해 크기가 작고 가벼우며 기계적 충격에 강한 장점을 가진 반영구적인 차세대 광원이다. LED 연구는 공업 분야에서 많이 이루어져 왔으며 최근 LED 빛을 이용한 광치료(Light therapy) 등과 같은 의학적 용도와 살균, 노광 및 감식을 위한 UV 사용, 피부 미용, 식물 성장 조절 등으로도 사용되고 있다(17,18).

*Corresponding author: Woo-Suk Bang, Department of Food and Nutrition, Yeungnam University, Gyeongsan, Gyeongbuk 712-749, Korea

Tel: 82-53-810-2877

Fax: 82-53-810-4768

E-mail: wsbang@ynu.ac.kr

Received May 7, 2013; revised May 28, 2013;

accepted May 28, 2013

식품 위생 및 미생물 생장 제어에 관한 연구는 고춧가루에 조사하여 미생물 저감화와 품질 특성을 알아본 연구(18), UV LED 광원으로 안질한 세균의 살균 효과(19), UV-A, UV-C LED 조사하여 미생물 불활성화를 조사한 연구(20), 405 nm의 LED를 이용하여 methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA)의 살균 효과 연구(21,22), red, blue와 green light LED의 미생물 생육 제어 연구(23) 등이 있다. 하지만 식중독 균을 대상으로 저온과 산 환경에서 LED 조사 후 살균 효과에 대해 알아본 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구는 식중독을 일으키는 대표적인 식중독 균 중 병원성 대장균과 황색포도상 구균을 대상으로 저온(15°C)의 pH 5 환경에서 461-nm의 광원을 조사하였을 때 미생물의 생장의 제어와 그 효과에 대해 알아보려고 수행하게 되었다.

재료 및 방법

사용균주

본 연구에 사용된 균주는 모두 중앙대학교 식품공학과에서 분양 받은 것으로 *Escherichia coli* (ATCC 8739), *E. coli* O157:H7 (ATCC 35150, ATCC 43894), *Staphylococcus aureus* (ATCC 19095, ATCC 27664), methicillin-resistant *S. aureus* (ATCC 43300)는 실험 전 stock culture되어 -70°C에 보관된 균을 사용하였다(Table 1). 멸균된 tryptic soy broth (TSB, Merck, Darmstadt, Germany)에 접종하여 37°C의 배양기에서 20-24시간 배양하였으며 적어도 3번 이상 계대배양을 거친 정지기 균을 실험에 사용하였다.

461-nm LED light source

실험에 사용된 461-nm blue light LED는 X.H.Y OPTOELECTRONICS (GX-HP10W-B, China)에서 생산된 제품으로 열 발생에 따른 cooling fan과 heat sink가 부착되었다. 시험장비는 10.4×10.4×7 cm³ 크기의 ABS수지(acrylonitrile butadiene styrene copolymer) 박스를 제작한 후 박스의 상부에 LED를 부착하여 제

Table 1. List of microorganisms used in 461-nm LED irradiation test

Microorganisms	Strain
<i>Escherichia coli</i> O157: H7	ATCC 35150
<i>Escherichia coli</i> O157: H7	ATCC 43894
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 8739
MRSA (methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>)	ATCC 43300
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 19095
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 27664

Table 2. D-value of strains treated with 461-nm LED irradiation

Strains		Stress type	
		461nm irradiation	pH 5 TSB+461-nm irradiation
<i>E. coli</i> O157: H7	ATCC 35150	1.39±0.02 ^{1)d2)A3)}	0.86±0.48 ^{abA}
<i>E. coli</i> O157: H7	ATCC 43894	3.36±0.68 ^{bcA}	1.26±0.25 ^{abB}
<i>E. coli</i>	ATCC 8739	1.40±0.06 ^{dA}	1.29±0.19 ^{abA}
MRSA (methicillin-resistant <i>Staphylococcus aureus</i>)	ATCC 43300	2.80±0.67 ^{cA}	1.31±0.15 ^{abB}
<i>S. aureus</i>	ATCC 19095	4.07±0.08 ^{ba}	1.58±0.17 ^{aB}
<i>S. aureus</i>	ATCC 27664	5.05±0.65 ^{aA}	0.83±0.00 ^{bb}

¹⁾The results represent Mean±SD

²⁾Means with same capital letter in a row are not significantly different at $p<0.05$ level by Dunnett's test.

³⁾Means with same small letter in a column are not significantly different at $p<0.05$ level by Dunnett's test.

작하였다. 전류 전원은 AC adapter (0-2A, 0-12V)를 이용하여 공급하였다.

Exposure experiments

모든 실험은 15°C로 맞춰진 저온 배양기(Sanyo Electric Co., Ltd. Tokyo, Japan)에서 실험을 실시하였다. 배지와 LED간의 조사거리는 3.3 cm로 상부 중앙에 위치되어 샘플의 중앙으로 빛이 잘 전달되도록 하였으며 배지의 깊이는 12 mm이며 평균온도는 15±1°C를 유지하였다. 방사조도(irradiance)는 22.1 mW/cm²로 Thorlabs Laser Power and Energy Meter Console PM100D을 이용하여 측정되었다.

Plating and enumeration

461-nm LED 조사에 따른 살균효과를 평가하기 위해서 각각의 균은 6 log CFU/mL 수준으로 희석한 후 60×15 mm petri dish에 10 mL 분주하여 15°C에서 10시간 동안 조사하였다. 0시간부터 1 시간 간격으로 0.1 mL씩 샘플링 하여 tryptic soy agar (TSA, Difco™, Sparks, MD, USA)로 주입평판배양 후 37°C의 배양기에서 24-48시간 배양하여 생성된 집락의 수를 계산하였다.

Acidic condition

HCl (Hydrochloric acid, DC chemical Co., Seoul, Korea)과 멸균 증류수를 이용하여 1 N HCl로 만들어 사용하였다. pH 5로 맞추어진 TSB를 사용해 초기 균수를 10⁶ CFU/mL이 되게 하였다. 샘플들을 60×15 mm petri dish에 10 mL 분주하여 15°C에서 10시간 동안 조사하였다. 1시간 간격으로 0.1 mL씩 샘플링 하여 0.1% 멸균 펩톤수에 희석하여 TSA로 주입평판배양 후 37°C의 배양기에서 24-48시간 배양하여 생성된 집락의 수를 계산하였다.

통계처리

각 실험은 3회 반복 수행되었으며 통계분석 결과는 SAS program (Version 9.2, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 회귀분석으로 D값(일정한 온도에서 90%의 미생물을 사멸하는데 걸리는 시간)을 계산하였고, 유의성 검정은 5% 유의수준 ($p<0.05$)에서 이루어졌다.

결과 및 고찰

식중독 균을 대상으로 대조구, 처리구(pH 5 TSB)를 6 log CFU/mL가 되도록 하여 15°C에 저장하면서 461-nm 파장의 LED를 조사한 결과를 Table 2에 나타냈다. 대조구의 경우는 그람 양성균인 *S. aureus*가 그람 음성균인 *E. coli*보다 생존률이 높은 것

(h)

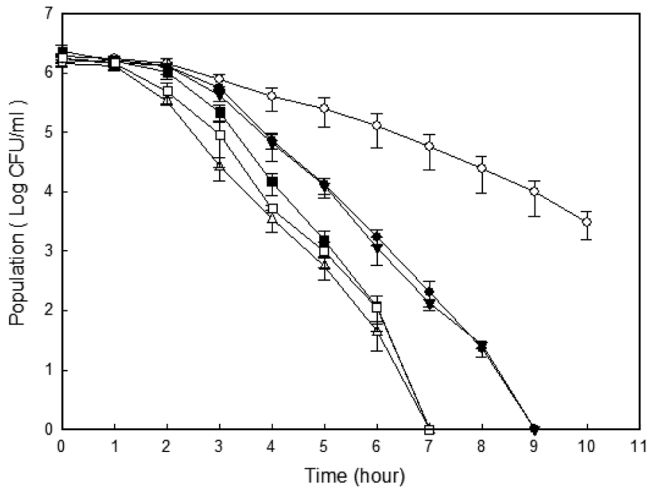


Fig. 1. Survival curves of *E. coli* strains at 461-nm LED irradiation, 461nm LED irradiation with pH 5 environment. ●: 461nm led irradiation at *E. coli* O157: H7 ATCC 35150, ○: 461nm led irradiation at *E. coli* O157: H7 ATCC 43894, ▼: 461nm led irradiation at *E. coli* ATCC 43894, △: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* O157: H7 ATCC 35150, ■: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* O157: H7 ATCC 43894, □: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* ATCC 8739

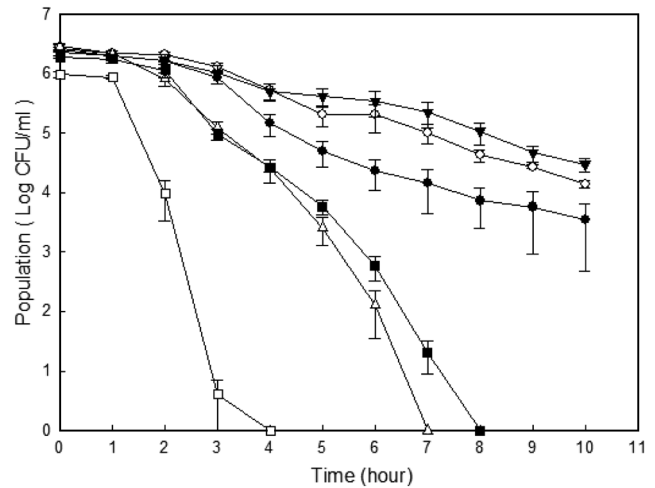


Fig. 2. Survival curves of *S. aureus* strains at 461-nm LED irradiation, 461nm LED irradiation with pH 5 environment. ●: 461nm led irradiation at *E. coli* O157: H7 ATCC 35150, ○: 461nm led irradiation at *E. coli* O157: H7 ATCC 43894, ▼: 461nm led irradiation at *E. coli* ATCC 43894, △: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* O157: H7 ATCC 35150, ■: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* O157: H7 ATCC 43894, □: 461nm led irradiation with pH 5 environment at *E. coli* ATCC 8739

으로 나타났다. 3종의 *S. aureus*는 15°C에서 10시간동안 461-nm LED를 조사했을 때 약 4 log CFU/mL 저해되는 것을 보였으며, 2종의 *E. coli*는 9시간만에 모두 사멸되었다. 본 실험 결과는 400-500 nm의 파장 범위에서 *S. aureus*가 시간에 따라 균의 감소를 보였다. 이는 430 nm 파장 이상에서는 살균 효과가 나타나지 않았다는 보고(24)와 다른 결과이지만, 살균 효과 및 항종양효과를 나타내는 치료법으로 쓰이는 PDT (Photodynamic therapy)법을 이용하여 470 nm의 blue light의 조사량에 따라 *S. aureus*, MRSA의 살균 효과를 보고한 연구(25,26)와는 유사한 결과를 나타냈다. 이는 사용한 균주와 LED 조사 시간의 차이 때문으로 사료된다.

PDT법은 photosensitizer와 특정 파장의 빛을 이용하여 이때 발생하는 ROS가 세포벽, 세포막을 손상함으로써 살균 효과를 얻는 방법으로 세포 내 porphyrin의 광자극 결과로 살균 효과를 나타낸다(24,27). 본 실험에서는 광감작제 없이 461-nm의 LED를 조사하여 조사 시간에 따라 *S. aureus*와 *E. coli*의 살균 효과를 얻을 수 있었다. 또한 UV-C영역의 파장대가 자외선으로서 살균효과가 가장 크며, 그 이유는 미생물의 DNA, RNA의 구조를 파괴하기 때문에 미생물의 증식 및 재생에 영향을 미친다고 보고된 바 있다(17,28,29). 461-nm는 가시광선 영역으로 UV영역대의 살균선은 아니지만 광원 조사로 미생물의 구조적 파괴를 일으켜 살균 효과가 일어난 것으로 사료된다.

일정한 온도에서 90%의 미생물을 사멸하는데 걸리는 시간인 D값을 계산한 결과, 대조구의 경우 가장 높은 D값을 나타낸 것은 *S. aureus* (ATCC 27664)로 5.05시간이었으며 가장 낮은 D값을 나타낸 균은 *E. coli* O157: H7 (ATCC 35150)로 1.39시간이었다($p < 0.05$). 461-nm의 LED를 조사하였을 때 *S. aureus* 3균주가 *E. coli* 3균주들보다 D값이 더 큰 경향을 나타냈으며, *E. coli*가 *S. aureus*보다 461-nm파장에 민감하여 살균 효과가 크게 나타난 것으로 보인다. 반면, pH 5의 환경에서 461-nm LED를 조사한 결과에서는 *S. aureus* (ATCC 19095)의 D값이 1.58시간으로 가장 크게 나타났으며 *S. aureus* (ATCC 27664)는 0.83시간으로 가장

작게 나타났다($p < 0.05$). 하지만 대조구와 달리 *E. coli*, *S. aureus*의 D값은 평균 1.81시간으로 비슷한 수준이었다.

대조구와 처리구를 비교해볼 때 균주들에서 D값의 차이가 나타났는데 산성 환경과 함께 광원을 조사 시, *S. aureus* 균종들이 *E. coli* 균종보다 살균 효과가 큰 것으로 나타났다. 특히 *S. aureus* (ATCC 27664)는 461-nm만 조사하였을 때는 6균주들 중 가장 큰 D값을 보였으나 산성 환경과 함께 461-nm를 조사 시 가장 낮은 D값을 나타냈다($p < 0.05$). 따라서 461-nm파장을 이용하여 *S. aureus* 균종의 살균 효과를 높이기 위해서는 광원 조사 시 산성 환경과 함께 가할 때 균 성장 제어가 더 향상될 것으로 사료된다. 미생물은 산 환경에 노출되면 세포 외막이 손상되거나 세포질 pH 항상성에 영향을 받아 증식이 저해되는데(30), 미생물에 영향을 미칠 수 있는 산과 광원이 함께 가해져 두 가지 요소의 상승 효과로 살균효과가 증가된 것으로 사료된다. 본 실험 결과, 대조구와 처리구 모두 조사 시간이 길어질수록 균 수가 감소하는 경향을 나타냈으며 산과 광원을 함께 처리하였을 때 둘 간의 상호작용으로 살균 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

요 약

이 연구는 15°C에서 10시간동안 pH 5 환경과 461-nm LED를 조사하였을 때 *S. aureus* (MRSA 포함), *E. coli* (*E. coli* O157: H7 포함)의 살균 효과를 측정하고자 수행하게 되었다. 461-nm LED만을 10시간동안 조사하였을 때, *S. aureus* (MRSA 포함)은 4 log CFU/mL 감소하였다. 그리고 *E. coli* (*E. coli* O157: H7 포함)는 9시간동안 조사하였을 때 불활성화되었다. 그러나 pH 5와 461-nm LED를 함께 조사한 결과, 모든 균주들은 7시간동안 조사하였을 때 불활성화되었다. 이 가시광선 불활성화 결과는 외인성의 광감작제없이 이루어 졌다. 461-nm LED만을 조사하였을 때, 가장 높은 D값은 *S. aureus* (ATCC 27664)으로 5.05시간이었으며 가장 낮은 D값은 *E. coli* O157: H7 (ATCC 35150)으로

1.39시간이었다. pH 5와 461-nm LED를 함께 조사한 결과, 가장 높은 D값은 *S. aureus* (ATCC 19095)의 1.58시간이었으며, 가장 낮은 D값은 *S. aureus* (ATCC 27664)의 0.83시간이었다. 본 연구 결과는 pH 5와 461-nm LED를 함께 조사한 것이 461 nm LED 한가지 환경보다 살균효과가 증가되었다는 것을 보여준다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부 산업기술연구기반조성사업(산업융합 기반구축사업)으로 지원된 연구입니다. 이에 감사드립니다.

References

- Choi JH, Park JY, Lim EG, Choi MK, Kim JS, Choi GB, Jeong SG, Hahm YS. An investigation of microbial contamination of side dishes sold at traditional market and super market in Ulsan. *J. Fd. Hyg. Safety* 27: 87-95 (2012)
- Kim YS, Kim HJ, Yoon YH, Shin MG, Kim CJ, Shin MH, Lee JW. Antimicrobial effects retort and gamma irradiation on bacterial populations in spicy chicken sauce. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 30: 141-147 (2010)
- Korea Food and Drug Administration. Occurrence of foodborne disease from 2002 to 2011. Available from: <http://www.mfds.go.kr/e-stat/index.do?nMenuCode=20>. Accessed Aug. 25, 2012.
- Park JY, Na SY, Lee YJ. Present and future of non-thermal food processing technology. *Food Sci. Ind.* 43(1): 2-20 (2010)
- Kim JH, Lim SY, Song HP, Kim BK, Chung JW, Yoon HJ, Byun MW, Kim DH. Microbiological contamination level and radiation sterilization in disposable kitchen utensil. *Korean J. Food Preserv.* 12: 317-322 (2005)
- Capozzi V, Fiocco D, Amodio ML, Gallone A, Spano G. Bacterial stressors in minimally processed food. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 3076-3105 (2009)
- Alegre I, Abadias M, Anguera M, Oliveira M, Vinas I. Factors affecting growth of foodborne pathogens on minimally processed apples. *Food Microbiol.* 27: 70-76 (2010)
- Oliveira M, Usall J, Solsona C, Alegre I, Vinas I, Abadias M. Effects of packaging type and storage temperature on the growth of foodborne pathogens on shredded 'Romain' lettuce. *Food Microbiol.* 27: 375-380 (2010)
- Aguayo E, Escalona V, Artes F. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. *Eur. Food Res. Technol.* 219: 492-499 (2004)
- Artes F, Allende A. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. *Eur. J. Hort. Sci.* 70: 231-245 (2005)
- Hodges DM, Toivonen PMA. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. *Postharvest Biol. Technol.* 48: 155-162 (2008)
- Beales N. Adaptation of microorganisms to cold temperatures, weak acid preservatives, low pH, and osmotic stress: A review. *Compr. Rev. Food Sci. F.* 3: 1-20 (2004)
- So MH, Lee H, Lee HG, Hong JH, Hwang HJ. *Food Microbiology*. Hyoilbooks, Seoul, Korea. pp. 144-147 (2006)
- Kwon JH, Byun MW, Cho HO. Development of food irradiation technology and consumer attitude toward irradiation food in Korea. *Radioisotopes.* 41: 654-662 (1992)
- No YS, Kim YJ, Kim WJ, Nam JS, Park CS, Bae JH, Son HS, Yoo CB, Jung SY, Jo GY, Jo DB, Jo SG. *New Food Microbiology*. Jigu Publishing Co., Paju, Korea. pp. 186-188 (2009)
- Lee JW, Yoon YH. Use of irradiation in food processing as green technology. *Food Sci. Ind.* 43(1): 53-63 (2010)
- Bang GW, Kim YH. LED for plant growth regulators for the study of light on the device. *J. Digit. Policy Manage.* 10: 267-272 (2012)
- Yun HJ, Park KH, Ryu KY, Kim SR, Yun JC, Kim BS. Effects of LED treatment on microbial reduction and quality characteristics of red pepper powder. *J. Fd. Hyg. Safety* 27: 442-448 (2012)
- Lee CW, Jeong KI, Hwang KH, Lee SJ, Yoo GC. A study of sterilization effect of long-wavelength UVA-LED irradiation on bacteria causing eye diseases. *J. Korean Oph. Opt. Soc.* 17: 99-105 (2012)
- Chevremont AC, Farnet AM, Sergent M, Coulomb B, Boudenne JL. Multivariate optimization of fecal bioindicator inactivation by coupling UV-A and UV-C LEDs. *Desalination* 285: 219-225 (2012)
- Enwemeka CS, Williams D, Hollosi S, Yens D, Enwemeka SK. Visible 405 nm SLD light photo-destroys methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) *in vitro*. *Laser. Surg. Med.* 40: 734-737 (2008)
- Maclean M, Macgregor SJ, Anderson JG, Woolsey GA. The role of oxygen in the visible-light inactivation of *Staphylococcus aureus*. *J. Photoch. Photobio. B* 92: 180-184 (2008)
- Kim SW. *In vitro* bactericidal effects of Red, Green and Blue (RGB) light emitting diode (LED) Irradiation. MS thesis. Chonnam National University, Gwangju, Korea (2011)
- Maclean M, Macgregor SJ, Anderson JG, Woolsey GA. High intensity narrow-spectrum light in activation and wavelength sensitivity of *Staphylococcus aureus*. *FEMS Microbiol. Lett.* 285: 227-232 (2008)
- Enwemeka CS, Williams D, Enwemeka SK, Hollosi S, Yens D. Blue 470-nm light kills methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) *in vitro*. *Photomed. Laser. Surg.* 27: 221-226 (2009)
- Guffey JS, Wilborn J. Effects of combined 405-nm and 880-nm light on *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa in vitro*. *Photomed. Laser Surg.* 24: 680-683 (2006)
- Park YN, Kim HJ, Choi SS. The role of *Helicobacter pylori*'s Fur protein in the oxidative stress induced by photodynamic therapy. *Korean J. Microbiol.* 47: 124-129 (2011)
- Aurelio LM, Enrique P. Ultraviolet light and food preservation. pp 405-421. In: *Novel Food Processing Technologies*. Canovas GVB, Tapia MS, Cano MP (eds). CRC Press, Boca Raton, FL, USA (2005)
- Jeong SH. Study on bacteria sterilization effects of UN-LEDs. MS thesis. Chosun University, Gwangju, Korea (2009)
- Brown JL, Ross T, McMeekin TA, Nichols PD. Acid habituation of *Escherichia coli* and the potential role of cyclopropane fatty acids in low pH tolerance. *Int. J. Food Microbiol.* 37: 163-173 (1997)