

팽이버섯 재배 농가에서 *Listeria monocytogenes* 오염과 성장억제를 위한 관리기술 효과

이하경¹ · 전지혜¹ · 이지수¹ · 윤서영¹ · 김원영² · 윤기선^{1,*}

¹경희대학교 식품영양학과

²호남버섯 영농조합

Effect of control measures on the contamination and growth inhibition of *Listeria monocytogenes* in *Flammulina velutipes*

Ha Kyoung Lee¹, Ji Hye Jeon¹, Ji Soo Lee¹, Seo Young Yoon¹, Won Young Kim², and Ki Sun Yoon^{1,*}

¹Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

²Honam Mushroom Agricultural Association, Naju 58242, Republic of Korea

ABSTRACT: The consumption of *Flammulina velutipes* mushroom imported from Korea has been associated with the cases of listeriosis in the United States, Canada, and Australia. We investigated the effect of sanitizing the plastic wrapper (used in packaging *F. velutipes*) with slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultraviolet C waterproof light-emitting diode (UVC-W-LED) on reducing the *Listeria monocytogenes*. Further, the effect of UVC-LED on *L. monocytogenes* growth in *F. velutipes* at different storage temperatures (2, 4, and 10°C) was determined. The combined (SAEW+UVC-W-LED) treatment for 5–10 min reduced 99.9% of bacterial population from the contaminated plastic wrapper. In addition, the UVC-LED treatment for 3 min reduced the *L. monocytogenes* concentration in *F. velutipes* by 0.47 log CFU/g. Moreover, the growth of *L. monocytogenes* in the treated mushrooms was slower than that of the untreated (control) ones. *L. monocytogenes* concentration in *F. velutipes* increased over 3 log CFU/g at 2°C and 10°C for 60 and 10 days, respectively. The growth of *L. monocytogenes* at the bottom of mushrooms was faster than that at the top at both the temperatures. These results indicate that the combined SAEW+UVC-W-LED treatment of plastic wrappers and the UVC-LED treatment of mushrooms can be used as potential hurdle technologies to control the risk of *L. monocytogenes* in mushrooms prior to packaging at farms.

KEYWORDS: *Flammulina velutipes*, Hurdle technology, *Listeria monocytogenes*, Plastic wrapper

서론

팽이버섯(*Flammulina velutipes*)은 담자균류 주름버섯목(Agaricales) 뿔나무버섯과(Physalacriaceae)에 속하는 버섯으로 팽나무 버섯이라고도 하며 자실체는 4-12°C의 저온에서 발생되어 겨울버섯으로 알려져 있다(Jhune *et al*, 2010; Kim *et al*, 2018). 팽이버섯은 칼로리가 낮고 비타민류 및 식이섬유가 풍부하며 항산화 물질 및 항암작용이 있는 단백질 다당류가 함유되어 있어 면역력 증진 효과가 보고되었다(Woo, 1983; Bao *et al*, 2008; Kim *et al*, 2016; Im *et al*, 2021). 팽이버섯은 재배 면적의 대규모화와 시설 자동화로 연중 생산이 가능하여 2019년 기준 국내 농림버섯 생산량의 21%를 차지하며(MAFRA, 2021), 2020년 기준 버섯 류 수출의 66%를 점유하고 있다(Kati, 2021a). 그러나 팽이버섯은 주로 미국, 캐나다 등 원거리

J. Mushrooms 2022 June, 20(2):78-85
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2022.20.2.78>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Ha Kyoung Lee(Student), Ji Hye Jeon(Student), Ji Soo Lee(Student),
 Seo Young Yoon(Student), Won Young Kim(Team Leader), Ki Sun Yoon
 (Professor)

*Corresponding author
 E-mail : ksyoon@khu.ac.kr
 Tel : +82-2-961-0264

Received April 6, 2022
 Revised April 22, 2022
 Accepted May 30, 2022

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.

수출이 이루어지고 있어 장기간 운송에 따른 버섯 품질 하락이 수출에 큰 걸림돌이 되고 있다(Kim *et al.*, 2020). 또한 2020년에는 국내 3개 업체가 수출한 팽이버섯에서 병원성 식중독 균인 *Listeria monocytogenes* 검출로 제품이 리콜 조치되었다(CDC, 2020). 최근 코로나 19 및 *L. monocytogenes* 검출로 2019년 팽이버섯 수출액은 22,732천불에서 2021년 14,404천불로 63% 감소되었다(Kati, 2021b).

국내에서는 팽이버섯을 일반적으로 가열 조리하여 섭취하고 있기 때문에, 현재까지 팽이버섯 섭취로 인한 *Listeria* 균 식중독 사례는 보고되지 않았으며 특히 가열하여 먹는 팽이버섯은 농산물로 구분되어 국내에서는 *Listeria* 균에 대한 별도의 관리 규정이 없는 상황이다. 그러나 유럽의 경우 샐러드용으로 분류되어 즉석 섭취 기준을 적용하여 *L. monocytogenes*가 100 CFU/g 이하로 검출되어야 한다(FSAI, 2006). 최근 국내에서 표고, 느타리, 새송이, 팽이, 양송이를 대상으로 진행된 연구에서 팽이버섯에서만 *L. monocytogenes*가 검출되었다(Yang, 2021). 따라서 팽이버섯 재배공정과 과정에서 *L. monocytogenes* 오염원을 제거하고 공정과정에서 추가 저감화 시킬 수 있는 기술이 필요하다.

Listeria 속 균 중 대표적인 균인 *L. monocytogenes*는 냉장 식품에서도 생존 가능한 저온균이다. 팽이버섯은 냉장 온도에서 유통·소비되기 때문에 *L. monocytogenes* 생산과정에서 제어되지 않을 경우, 유통과정에서 증식 우려가 있다. 특히 *Listeria* 속의 모든 종은 매우 적은 양(100-1000 CFU/g)으로도 식중독을 일으킬 수 있고 임산부, 고령층 등 고위험군에게 매우 치명적이라 특히 생으로 섭취하는 식품에 대해서는 공정 및 유통 관리가 매우 중요하다(MFDS, 2019).

팽이버섯은 배합, 입병, 접종, 배양, 균 굵기, 발이, 억제, 고깔작업(권지), 생육 및 수확, 포장 단계의 제조공정으로 이루어진다. 이와 같이 여러 단계의 팽이버섯 제조공정은 환경, 도구 및 작업자에 의한 교차 오염 발생 가능성이 매우 높아 작업 단계별 위생관리가 매우 중요하다. 내수 및 수출용 팽이버섯의 안전한 유통을 위해서는 팽이버섯 제조 단계 중 중요관리점을 찾아 추가 허들 기술을 사용할 필요성이 있다. 최근 연구에서는 고깔작업에서 사용하는 권지의 거친 면에서 *Listeria* 균의 생존율이 높고, 플라스틱 재질인 권지의 경우 화학적 살균처리가 효과적인 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2021c).

전기분해수 중 미산성 차아염소산수(Slightly acidic electrolyzed water; SAEW) 2-6% 염산을 무격막 전기분해조 안에서 전기분해해서 얻어지는 수용액을 말하며 pH 5-6.5, 유효염소농도 10-30 ppm으로 강한 살균력을 갖고 있어 식중독균 뿐만 아니라 바이러스에도 소독효과가 높은 것으로 보고되었다. 최근 무격막 전해조를 이용하여 미산성 차아염소산 용액 생성이 저 비용으로 가능하게 되

었다. 현재 전 세계적으로 식품산업과 농업, 의료기기 등 여러 분야에 걸쳐 사용되고 있으며 국내에서는 식품용 살균제로서 SAEW의 경우 제품에 따라 20-70 ppm 사용을 허용하고 있다(MFDS, 2020).

UV-LED (Ultra Violet Light Emitting Diode)는 발광 다이오드인 Ga (갈륨), P (인), As (비소)를 재료로 하여 만들어진 반도체로 전구에 비해 수명이 길고, 가시광선 파장을 사용하기 때문에 인체에 무해하다. UVC-LED는 200-280 nm 영역의 자외선 파장으로 최근 발표된 연구보고에 따르면 절단과일, 절단채소와 같은 신선편의식품에서도 *L. monocytogenes*, *S. aureus*, 장출혈성 대장균 제어 및 외관품질 유지에도 효과가 있어 유통기한 연장에도 도움이 되는 것으로 확인되었다(Lee *et al.*, 2021a, 2021b). 특히 UVC 방수 모듈(Ultraviolet C waterproof light emitting diodes; 275 nm)은 세척과 조사를 동시에 수행할 수 있다. 선행 연구에 따르면 세척수는 물을 재사용 할 때 식중독균을 오염 시킬 수 있는 수단이 될 수 있기 때문에 농산물 가공 중 세척수 관리를 통해 교차오염을 방지하는 것이 중요하다(Banach *et al.*, 2015; Huang *et al.*, 2018). UVC-W-LED는 제품과 제품 세척에 사용하는 세척수에도 함께 조사되기 때문에 세척수로 인한 교차오염을 방지할 수 있다. 최근 연구에서도 절단 과일에서 *L. monocytogenes*, *S. aureus*에 대해 UVC-W-LED 활용한 병합처리가 효과적으로 균을 억제함을 나타냈으며, 외관 품질도 비교적 일정하게 유지되는 것으로 확인되었다(Kim *et al.*, 2021). 또한 UVC-W-LED에 조사된 세척수에서는 장출혈성 대장균 등 병원성 식중독 균이 사멸하는 것을 확인하였다(Jeon *et al.*, 2021). 따라서 본 연구에서는 팽이버섯 생산과정과 수확 후 포장 전 미산성 차아염소산수(SAEW), UVC-LED, UVC-Waterproof LED 병합처리로 *L. monocytogenes* 교차오염방지 및 제어 효과 연구를 통해 내수 및 수출용 팽이버섯의 안전한 유통에 기여하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 균주

본 연구에서는 한국미생물보존센터(KCCM, Seoul, Korea)에서 분양 받은 *L. monocytogenes* (KCCM 40307, 43155) 표준균주를 각각 Tryptic Soy Broth (TSB, MB Cell, Seoul, Korea)에 배양한 후 glycerol이 20%가 되도록 첨가하여 -80°C에서 냉동 보관하였다. 보관한 균주를 각각 상온에서 해동한 뒤, 0.6% yeast extract가 포함된 TSB 10 ml에 *L. monocytogenes* 10 µl 접종하여 24 시간 동안 36°C와 140 rpm에서 전배양(VS-8480, Vision, Daejeon, Korea) 한 균을 카테일하여 멸균된 0.1% 펩톤수(Difco™ Peptone Water, Becton Dickinson and Company, MD, USA) 로 실험 목적에 따라 10배 희석하여 실험에 사용하였다.

권지소독에 미산성 차아염소산수(SAEW)와 UVC-waterproof LED 병합처리

본 실험을 위한 권지는 팽이버섯 재배공정단계에서 사용 전 및 사용 중 권지(31×13.5 cm)를 직접 수거하여 물로 세척 후 건조시킨 후 사용하였다. 세척 건조된 권지에서는 *L. monocytogenes*가 오염되지 않은 것을 확인 후 실험을 진행하였다. 권지표면에 *L. monocytogenes* 인위적으로 부착하기 위해 *L. monocytogenes* 각테일 균주의 최종 농도가 3.5 log CFU/ml가 되도록 희석하여 희석액 0.2 ml씩 권지 중앙 표면(7×7 cm)에 접종 후 *L. monocytogenes*가 권지표면에 부착되게 하기 위해 클린벤치(VS-1400LSNM Vision Scientific, Bucheon, Korea) 안에서 45분간 건조시켰다. 세척수로 30 ppm SAEW는 무격막 전기분해조(BC-120, Cosmic Round Korea Co., Seongnam, Korea)에서 생성하여 사용하였다. 권지 소독을 위한 스테인리스 스틸 용기(32.5×17.5×15 cm) 양쪽에 UVC-W-LED 방수 모듈(BlueLumi Co., Ltd., Gyeonggi-do, Korea)을 장착하여 30 ppm SAEW를 3 L 담아 오염된 권지를 5, 10분간 세척하였다.

오염된 권지로부터 팽이버섯으로 교차오염 가능성 분석

L. monocytogenes 각테일 균주 1 ml을 세척 건조된 3개의 권지에 각각 3 log CFU/ml, 2 log CFU/ml, 1 log CFU/ml 수준으로 권지표면을 전체적으로 오염시킨 후 *L. monocytogenes* 표면 부착을 위해 클린벤치 안에서 45분간 건조 후 교차오염 가능성 분석연구에 사용하였다. 팽이버섯 생산 영농조합에서 제공받은 팽이버섯 28 g을 클린벤치에서 무균적으로 채취하여 오염된 권지표면으로 팽이버섯을 감싼 후 클린벤치 안에서 3시간 보관 후 오염된 권지에서 팽이버섯으로 *L. monocytogenes* 전이 가능성을 분석하였다. 3시간 후 팽이버섯에 225 ml 0.1% 펩톤수를 넣어 2분 동안 균질화 후 1 ml을 PALCAM agar (PALCAM Agar Base, Oxoid, Hampshire, England)에 분주하여 36°C에서 48시간 배양 후 *L. monocytogenes* 콜로니를 계수하였다.

팽이버섯 부위별 *L. monocytogenes* 성장특성 분석

팽이버섯의 미생물학적 품질특성 실험 결과 팽이버섯 밑동(아랫부분)의 오염도가 높은 것을 확인하여 본 연구에서는 팽이버섯 부위별 *L. monocytogenes*의 성장특성을 분석하였다. 실험에 사용한 팽이버섯은 팽이버섯 영농조합에서 받아 사용하였으며 클린벤치 안에서 무균적으로 윗부분(25 g, 14 cm)과 아랫부분(20 g, 4 cm)으로 절단하여 시료를 준비하였다. 팽이버섯 윗부분과 아랫부분 시료에 초기농도가 2-2.5 log CFU/g이 되도록 희석한 *L. monocytogenes* 각테일 균주 100 µl 접종한 후 각각 MAP tray (225×170×30 mm, GB 30, HyperVac, Korea), PET container (92×50 mm, Modenpack, Seoul, Korea)에 담아

플라스틱 랩(Clean wrap, Gimhae, Korea)을 사용하여 최대한 공기가 들어가지 않도록 반 진공 상태로 포장 밀봉한 후 2, 10°C에서 각각 보관하였다. 각 온도에 따라 시간 간격을 두고 수거한 팽이버섯 시료를 멸균된 0.1% 펩톤수 225 ml (윗부분), 180 ml (아랫부분)과 함께 stomacher (Interscience, Paris, France)로 2분 동안 균질화 후, 단계별로 10배 희석하여 PALCAM Agar에 분주한 후 36°C에서 48시간 배양하여 저장 온도 및 시간 변화에 따른 *L. monocytogenes* 집락을 계수하였다.

L. monocytogenes 저감화를 위한 UVC-LED 처리

팽이버섯에 오염된 *L. monocytogenes*의 저감화를 위한 UVC-LED 조사효과를 분석하기 위해 서울 동대문구의 한 대형마트에서 구입한 팽이버섯을 클린벤치 안에서 무균적으로 25 g (4×14 cm)씩 절단한 후 MAP tray에 보관하였다. 팽이버섯 표면에 초기농도가 2-2.5 log CFU/g이 되도록 희석한 *L. monocytogenes* 200 µl를 접종하여 UVC-LED 처리 조사에 사용하였다. UVC-LED 조사를 위해 총 10개 모듈(Bluelumi, Yongin-si, Korea)을 소독 chamber (500×400×520 mm, HA-811H, Incheon, Korea)에 설치하여 2개의 bar-type electronic printed circuit boards (PCBs)에 연결하였다. UVC-LED chip과 시료 간의 거리를 6 cm로 설정하여 3분 동안 조사한 시료 (Treatment)와 UVC-LED를 조사하지 않은 시료(Control)를 비교 분석하였다. 조사 처리 후 시료 25 g을 멸균된 0.1% 펩톤수 225 ml와 함께 stomacher로 2분 동안 균질화하였다. 이후 10진 희석하여 PALCAM agar에 분주한 후 36°C에서 48시간 배양하였으며 UVC-LED 조사에 따른 *L. monocytogenes* 저감화 효과를 확인하였다.

UVC-LED 조사 처리의 *L. monocytogenes* 성장 영향 분석

팽이버섯에 오염된 *L. monocytogenes*에 UVC-LED를 조사 후, 2, 4, 10°C 보관온도에서 UVC-LED에 노출된 *L. monocytogenes*의 성장 특성을 분석하기 위한 실험을 진행하였다. 팽이버섯은 25 g(4×16 cm)씩 무균적으로 클린벤치 안에서 절단하여 MAP tray에 보관하였다. *L. monocytogenes* 각테일한 균주를 희석하여 버섯 표면에 200 µl 접종하여 초기농도가 1.5-2 log CFU/g 되도록 하여 UVC-LED chamber에서 3분 동안 조사 후 각각 2, 4, 10°C에 보관하였다. 각 보관 온도에 따라 적절한 시간에 UVC-LED 처리 전(Control)·후(Treatment) 시료 25 g을 균질화한 후 희석액을 PALCAM 한천선택배지에 분주한 후 36°C에서 48시간 배양하여 2, 4, 10°C 각각의 온도에서 UVC-LED 3분 조사가 팽이버섯에서 *L. monocytogenes* 성장에 미치는 영향을 분석하였다.

통계 분석

본 연구에서는 Statistical Analysis System SAS 9.4

(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)를 사용하여 3반복한 실험 결과에 대하여 통계 분석을 진행하였다. $p < 0.05$ 수준에서 권지에 오염된 *L. monocytogenes*의 세척 효과는 Duncan's multiple range test에 의해 분석되었으며, UVC-LED 조사에 따른 저감화 효과 분석 실험은 t-test를 사용하여 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

권지 세척에 미산성차아염소산수(SAEW)와 UVC-waterproof LED 병합처리 효과

팽이버섯을 재배할 때 대의 생육을 촉진시키고 버섯 벌 어짐을 방지하고 수분과 탄산가스 농도를 유지시켜 팽이버섯의 생육을 촉진하기 위해 재배농장에서는 고깔(권지)을 사용하고 있다. 그러나 현재 버섯농가에서는 고깔을 세척·소독 없이 재사용하고 있어 권지에 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 미생물이 오염되었을 경우 교차오염의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 *L. monocytogenes*에 오염된 권지를 세척하기 위해 UVC waterproof-LED (방수모듈)를 부착한 용기에 30 ppm SAEW를 담아 오염된 권지를 5분, 10분간 침지 세척하여 저감화 효과를 확인하였다(Fig. 1). 권지표면의 초기 오염도는 3.45 log CFU/ml에서 30 ppm SAEW와 UVC-W-LED를 병합처리하여 5분, 10분간 노출된 권지의 오염도가 각각 0.51 log CFU/ml, 0.12 log CFU/ml로 감소하여 10분 처리 시 3 log (99.9%) 이상의 저감화를 확인하였다. 최근 연구에서 절단 과일과 같은 신선편의식품에서도 30 ppm SAEW, 0.5% 푸마르산과 UVC-W-LED를 병합 처리한 결과 *L. monocytogenes* 및 *S. aureus*를 최대 2.63 log 저감화시키는 효과가 보고되었다(Kim *et al.*, 2021). 또한 UVC-W-LED가 부착된 세척수에서는 장출혈성 대장균(*E. coli* O157:H7), *Salmonella*,

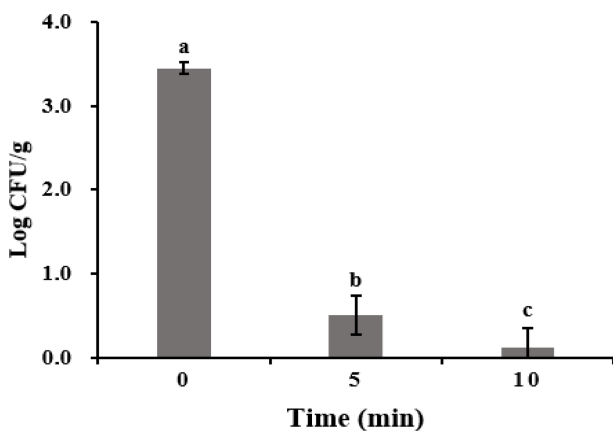


Fig. 1. Reduction effect of *L. monocytogenes* on plastic wrapper by combined treatment with SAEW and UVC-W-LED; ^{a-c} mean values in each bar with different letter are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

Bacillus cereus 등이 사멸하는 것을 확인하였는데, 균의 종류에 따라 완전히 사멸하는데 차이가 있음을 확인하였다. 장출혈성 대장균이 가장 빠르게 사멸(4분) 하였으며 그 뒤를 이어 *Salmonella* (1분 30초), 설사형 *B. cereus* (3분)가 사멸하였다(Jeon *et al.*, 2021). 또한 팽이버섯의 생산성 및 수출 경쟁력 향상을 위해 고깔을 구연산 3% 용액에 3-5분간(구연산 0.5%의 경우 1시간) 담가 미생물을 제거하고 고깔세척 장치로 이물질과 구연산을 씻어낸 후 건조하여 재사용하는 방법이 제시되었다(RDA, 2018). 본 연구 결과를 통해 오염된 권지 소독에 30 ppm 미산성차아염소산수와 UVC-W-LED를 병합처리 했을 때 *L. monocytogenes*의 오염도를 최대 99.9%(3 log 이상 감소) 이상 저감화 시켜 권지의 세척·소독에 활용 가능성을 확인하였다.

권지오염이 팽이버섯에 미치는 영향

최근 연구에서 플라스틱 권지의 거친 면에서 *L. innocua*의 생존율이 가장 높은 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 2021c). 본 연구에서는 팽이버섯을 오염된 권지로 씌웠을 때 권지에 오염된 *L. monocytogenes*가 팽이버섯으로 전이되는 실험을 진행하였다. 실험에서는 팽이버섯을 감싸는 권지 안쪽 표면에 3 log CFU/ml, 2 log CFU/ml, 1 log CFU/ml 수준으로 *L. monocytogenes* 접종한 후 3시간 동안 실온에서 방치 후 팽이버섯으로 전이된 *L. monocytogenes* 수준을 확인한 실험 결과는 다음 Table 1 과 같다. 3 log CFU/ml 정도로 오염시킨 권지로부터 팽이버섯의 최종 오염도 값은 3.71 log CFU/ml, 2 log CFU/ml에서는 2.13 log CFU/ml, 1 log CFU/ml에서는 1.83 log CFU/ml으로 초기 오염농도와 유사한 수준을 보였다. 따라서 본 실험을 통해 오염된 권지로부터 팽이버섯으로 교차오염 가능성을 확인하였으며 권지실에서 권지의 표면을 주기적으로 세척·소독하는 것이 필요함을 재확인하였다.

팽이버섯 부위별 *L. monocytogenes* 성장 특성

팽이버섯의 pH가 6.61, A_w 가 0.90인 점을 고려할 때 팽이버섯은 *L. monocytogenes*와 같은 그람 양성균의 성장에 매우 좋은 시료이다. 본 연구에서는 팽이버섯의 아랫부분이 일반세균과 대장균 균의 오염도가 높았던 현상을 반영하여 팽이버섯 부위별 *L. monocytogenes* 성장에

Table 1. Effect of transfer of *L. monocytogenes* from plastic wrapper to *F. velutipes* according to the contamination level

Contamination level (Log CFU/ml)	Contact time (h)	Final contamination level ^a (Log CFU/ml)
3.00	3	3.71±0.25
2.00		2.13±0.49
1.00		1.83±0.07

^a Means±standard deviation

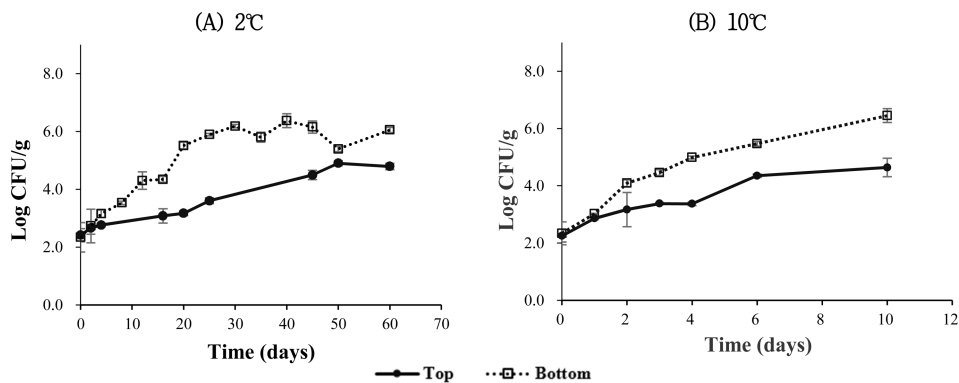


Fig. 2. Growth curves of *L. monocytogenes* on different parts of *F. velutipes* at 2 and 10°C.

차이가 있는지 비교 분석하였다. 실험에서는 팽이버섯 윗부분과 아랫부분(밑동)에 *L. monocytogenes*를 2-2.5 log CFU/g 수준으로 오염시켜 플라스틱 랩을 이용하여 반진공상태로 포장한 후 수출용 팽이버섯 유통환경이 2°C인 점과 국내 냉장식품의 권장 유통온도가 10°C임을 고려하여 각각의 온도에서 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*의 성장특성을 분석하였다.

팽이버섯 초기 오염도는 윗부분이 2.41 log CFU/g, 아랫부분(밑동)은 2.35 log CFU/g으로 각각 오염시켜 2°C에서 60일 저장 후 윗부분은 4.79 log CFU/g, 아랫부분은 6.05 log CFU/g까지 증식하는 것을 확인하였다(Fig. 2A). 수출 팽이버섯의 유통온도인 2°C에서 60일 동안 저장 시 부위에 상관없이 모두 3 log CFU/g 이상 성장함을 확인하였다. 이와 같은 결과는 2°C에서 *L. monocytogenes*는 매우 느리게 성장하나 60일 간의 긴 유통환경에서 계속적으로 증식할 것을 예측할 수 있다. 따라서 미국, 유럽의 식문화에 따라 팽이버섯을 신선편의식품으로 분류하고 있다는 점을 고려할 때 수출용 팽이버섯의 경우 *L. monocytogenes*의 오염을 재배초기과정에서 방지하는 방안이 필요하며, 오염된 권지에 의해 교차오염 되지 않도록 하여야 하며, 최종 수확·포장실에서 다시 오염되지 않도록 수확·포장실 작업자, 환경에 대한 철저한 위생관리가 지속적으로 적용될 수 있는 방안이 필요하다.

또한 팽이버섯의 윗부분, 아랫부분을 각각 2.25, 2.34 log CFU/g 수준으로 오염시킨 후 10°C에서 10일 동안 저장 시 윗부분은 4.64 log CFU/g, 아랫부분은 6.45 log CFU/g까지 성장하였다(Fig. 2B). 10일 저장기간 동안 아랫부분(밑동)에서의 *L. monocytogenes* 성장률이 윗부분보다 2배 빠른 것을 확인하였다. 따라서 가정에서 팽이버섯을 보관할 때 밑동을 잘라 보관하도록 권장한다면 품질 면에서 보관기간을 연장시킬 수 있을 것으로 판단된다. *L. monocytogenes*는 통성혐기성 균으로 산소가 부족한 환경에서도 성장이 잘 이루어지며 본 연구결과 팽이버섯의 아랫부분(밑동)에 더 많은 양이 오염되어 있을 가능성이 높으며 같은 양이 오염되었을 경우에도 아래 부분에서 성장

이 빠르게 진행됨을 확인하였다. 따라서 포장지 표시사항에 밑동을 제거 후 섭취함을 권고할 수 있다. 국내에서는 아직 팽이버섯에 오염된 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 사고는 보고되지 않았지만 *L. monocytogenes*가 냉장 온도에서도 증식하는 특성을 고려할 때 팽이버섯의 경우 유통 권장 냉장온도를 10°C에서 4°C로 낮추는 방안도 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서 팽이버섯에서 검출한 *L. monocytogenes* 균주와 *L. monocytogenes* 표준균주(KCCM 40307, 43155)의 성장 특성을 10°C에서 비교한 결과 팽이버섯에서 검출된 *L. monocytogenes* 증식 속도는 본 연구에서 사용한 표준균주와 거의 일치하였다(Data not shown). 따라서 본 연구에서 진행된 팽이버섯에서 *L. monocytogenes* 성장특성 실험결과를 실제 팽이버섯에 오염된 *L. monocytogenes* 행동 특성을 예측하는데 참고할 수 있을 것으로 사료된다.

L. monocytogenes 저감화를 위한 UVC-LED (Light-emitting diodes) 조사 효과

팽이버섯 수확 후 포장 전에 허들 기술의 하나로 UVC-LED 조사에 따른 *L. monocytogenes* 저감화 효과 연구를 진행하였다. 팽이버섯에 *L. monocytogenes*를 2.5-3 log CFU/g 오염시켜 UVC-LED에 3분 조사 후 0.47 log CFU/g 감소하는 것을 확인하였다(Table 2). UVC-LED 조사 처리는 초기 오염도에 따라 그 효과에 영향을 받는

Table 2. Treatment effect of UVC-LED for reduction of *L. monocytogenes* in *F. velutipes*

Treatment	Treatment time (min)	Mean ^a (Log CFU/g)	Log reduction (Log CFU/g)
Control	0	2.76±0.34	0.47±0.06*
Treatment	3	2.29±0.28	

^a Means±standard deviation, n=4

* Significant difference between control and treatment was observed by t-test ($p < 0.05$).

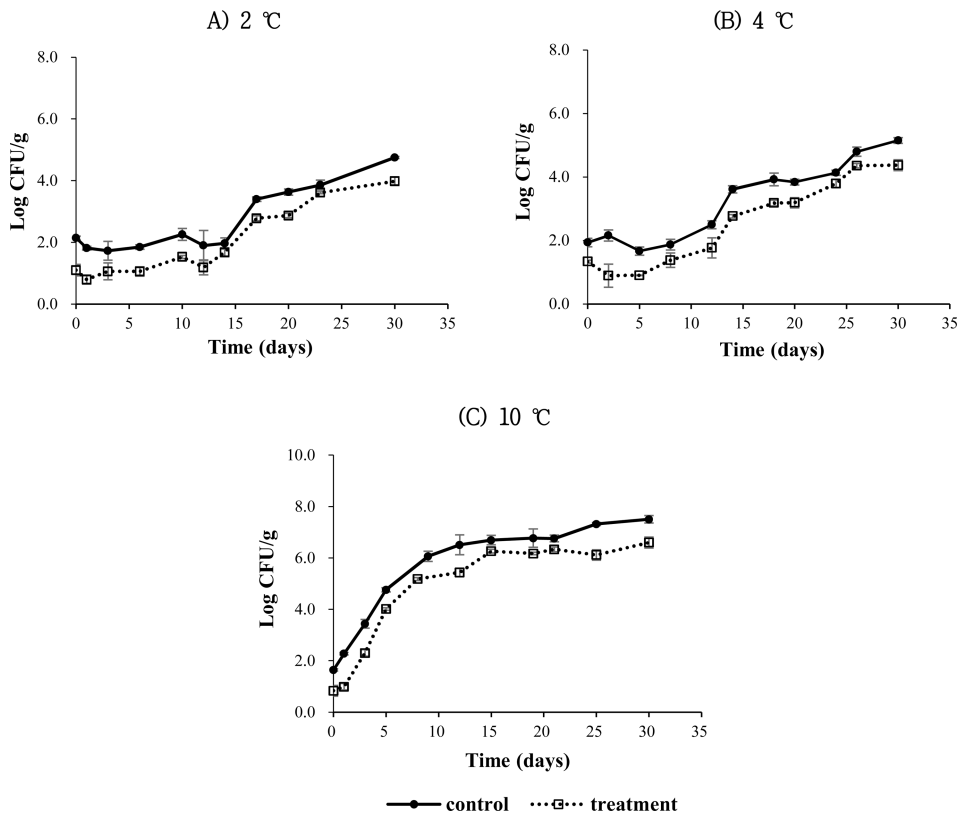


Fig. 3. Effect of UVC-LED treatment on the growth behavior of *L. monocytogenes* at 2, 4, and 10°C.

것으로 확인되어 실제 핑이버섯에 *L. monocytogenes* 가 매우 낮게 오염된 수준을 고려할 때, UVC-LED 조사 처리의 효과는 더 클 것으로 기대할 수 있다. 절단된 양파, 양배추, 당근 등 신선편의채소에 UVC-LED 조사를 했을 때 장출혈성 대장균이 0.47-0.61 log CFU/g, *S. aureus*는 0.44-0.46 log CFU/g 범위로 병원성 식중독 균의 종류와 채소에 따라 저감화 효과에 차이가 있으며 특히 장출혈성 대장균과 같은 그람 음성균에 더 효과가 있는 것으로 확인되었다. 또한 UVC-LED는 표면 오염에 살균 효과가 있는 비 가열 처리 방법으로 포장 방법과 같은 다른 방법과 병합 처리하여 사용하였을 때 미생물 저감화 효과가 극대화된 연구가 보고되었다(Kim, 2022).

핑이버섯에서 UVC-LED 조사 처리의 유통 온도별 *L. monocytogenes* 생장 특성

핑이버섯에 *L. monocytogenes*를 낮은 수준으로 오염시킨 후 UVC-LED를 처리하였을 때 저감화 효과가 증가하는 것을 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 핑이버섯에 *L. monocytogenes*를 1.5-2 log CFU/g 수준으로 오염시켜 UVC-LED 3분 조사 후 각각 2, 4, 10°C에서 저장하여 *L. monocytogenes* 생장 특성을 분석하였다.

실험을 진행할 수 있는 최저 낮은 수준으로 *L. monocytogenes*를 오염시킨 후 UVC-LED를 처리하였을

때 초기오염 농도에서 평균적으로 0.81 log CFU/g 감소함을 확인하였다. 2°C에서 진행된 저장 실험 결과, 14일까지는 UVC-LED 처리에 상관없이 초기오염 농도를 유지하였으나 그 이후 UVC-LED를 처리하지 않은 군(control)과 처리한 군(treatment)에서 각각 4.75, 3.98 log CFU/g까지 성장하여 저장 30일 만에 모두 2 log CFU/g 이상 *L. monocytogenes* 군 수가 증가하였다(Fig. 3A). 4°C 저장한 경우 8일까지는 UVC-LED 처리에 상관없이 초기농도를 유지하였으나 그 이후 control과 treatment에서 모두 군 수가 점차 증가하는 경향을 확인하였다. 4°C에서는 30일 후 UVC-LED를 처리하지 않았을 때 5.15 log CFU/g, 처리하였을 때 4.37 log CFU/g까지 성장함을 확인하였는데 이는 UVC-LED 조사처리에 따라 초기 오염도가 감소하여 생장이 지연되는 것으로 판단된다(Fig. 3B). 10°C에서는 보관 1일째부터 control과 treatment 모두에서 *L. monocytogenes* 군 수가 증가하는 경향을 보였으며, 6 log CFU/g 이상 증가가 control group은 9일(6.06 log CFU/g), treatment group은 보관 후 15일(6.26 log CFU/g) 이후에 확인되었으며 그 이후 더 이상 증식하지 않고 일정하게 군 수를 유지하였다(Fig. 3C).

본 연구에서는 내수 및 수출용 핑이버섯의 경우 포장 전 UVC-LED 처리로 인하여 *L. monocytogenes*의 초기 오염도를 낮추고 그에 따라 보관기간 동안 생장이 지연됨

을 확인하였다. 따라서 허들 기술의 하나로 UVC-LED를 적용한다면 팽이버섯 유통과정에서 *L. monocytogenes* 생장 지연 효과가 있을 것으로 사료된다. 신선편의식품에서 UVC-LED 조사처리가 유통환경에서 병원성 식중독균의 성장 저해 효과는 선행연구에서도 관찰되었다(Kim, 2022).

적 요

팽이버섯에서 권지로 *L. monocytogenes*의 교차오염 가능성과 권지의 세척·소독과정에서 SAEW와 UVC-W-LED 방수 모듈 병합효과를 확인하였다. 또한 팽이버섯의 부위별 *L. monocytogenes*의 생장과 포장 전 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*를 저감화 할 수 있는 UVC-LED 조사 처리하여 효과를 분석하였다. 오염된 권지를 소독하기 위하여 SAEW와 UVC-W-LED를 병합처리 했을 때 *L. monocytogenes*의 오염도를 최대 99.9% 이상 저감화시켜 권지의 세척·소독에 활용 가능성을 확인하였다. 또한 오염된 권지의 *L. monocytogenes*가 팽이버섯에 전이되어 권지 표면을 주기적으로 세척·소독 작업이 필요하다.

팽이버섯의 유통 온도인 2°C에서 60일, 10°C 저장 시 10일 저장기간 동안 팽이버섯 부위에 상관없이 *L. monocytogenes* 모두 3 log CFU/g 이상 성장함을 확인하였으며 아랫부분에서 생장이 더 빠르게 일어나는 것을 확인하였다. 팽이버섯에 오염된 *L. monocytogenes*의 초기 오염도가 2.76 log CFU/g였을 때 UVC-LED 3분 조사 후 0.47 log CFU/g 감소하는 것을 확인하였다. UVC-LED 조사 처리는 초기 오염도에 따라 영향을 받는 것으로 확인되어 실제 팽이버섯에 *L. monocytogenes*의 초기 오염도를 2 log CFU/g 이하로 낮게 오염시켰을 때 저감화 효과는 0.81 log CFU/g으로 두 배 증가하였다. 그러나 UVC-LED가 표면 살균 효과만 있고 UVC-LED를 조사한 팽이버섯에서도 *L. monocytogenes*의 증식이 완전 억제되는 것은 아니므로 포장방법 개선 등과 같은 추가 기술 적용이 필요하다. 앞으로, 팽이버섯 재배 농장에서도 안전하고 품질이 우수한 팽이버섯이 국내·외로 공급될 수 있도록 위생관리 강화가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2020년도 J&K 연구소 연구지원(과제 번호: 20212022)에 의하여 이루어진 것이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

Banach JL, Sampers I, Haute SV, Fels-Klerx VD. 2015. Effect of disinfectants on preventing the cross-

- contamination of pathogens in fresh produce washing water. *Int J Environ Res Public Health* 12: 8658-8677.
- Bao HN, Ushio H, Ohshima T. 2008. Antioxidative activity and antidiscoloration efficacy of ergothioneine in mushroom (*Flammulina velutipes*) extract added to beef and fish meats. *J Agric Food Chem* 56: 10032-10040.
- Centers for Disease Control and Prevention. 2020. *Listeria* (Listeriosis) outbreaks. Available at: [cdc.gov/listeria/outbreaks/enoki-mushrooms-03-20/index.html](https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/enoki-mushrooms-03-20/index.html).
- Food Safety Authority of Ireland. 2006. 1st trimester national microbiological survey: Microbiological safety/quality of raw mushrooms. Available at: https://www.fsai.ie/uploadedfiles/raw_mushrooms.pdf.
- Huang R, Vries D, Chen H. 2018. Strategies to enhance fresh produce decontamination using combined treatments of ultraviolet, washing and disinfectants. *Int J Food Microbiol* 283: 37-44.
- Im JH, Oh MJ, Oh YL, Kim MS, Lee YS. 2021. Breeding of a new cultivar of white *Flammulina velutipes*, 'Seolhan'. *J Mushrooms* 19: 279-284.
- Jeon JH, Lee HK, Yoon KS. 2021. Washing effects of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and UVC waterproof LED on the control of *E. coli* O157:H7, *S. Typhimurium*, and diarrheal *B. cereus* in fresh-cut apples. In International Association for Food Protection, Proceedings of the 6th Asia-Pacific Symposium on Food Safety. Jeju. Korea.
- Jhune CS, Leem HT, Yun HS, Kong WS, Cho JH, Sung GH, Lee CJ. 2010. The influence on cultivation characteristics of fruiting body of winter mushroom by growing humidity. *J Mushrooms* 8: 116-121.
- Kim D, Kim KJ, Kim SG, Park HS. 2020. Growth and storage characteristics of fruiting body by nitrogen content of sawdust media and restriction stage temperature during *Flammulina velutipes* cultivation. *J Mushrooms* 18: 311-316.
- Kim GH, Lee CL, Yoon KS. 2021. Combined hurdle technologies using UVC waterproof LED for inactivating foodborne pathogens on fresh-cut fruits. *Foods* 10: 1712.
- Kim HJ. 2022. Innovative biodegradable functional films for active food packaging applications. Master Thesis. Kyung Hee University. Seoul, Korea.
- Kim KJ, Jin SW, Choi BS, Kim JK, Koh YW, Ban SE, Seo KS. 2016. Evaluation of the nutrition properties of *Flammulina velutipes*. *J Mushrooms* 14: 44-50.
- Kim MJ, Lee KW, Chang WB, Jeon JO, Kim IJ. 2018. Characteristics and breeding of 'Yeoreumhyang2ho': a new blackish-brown variety of *Flammulina velutipes* that is adaptable to high temperature. *J Mushrooms* 16: 192-197.
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. 2021a. KATI agri-food export information. Available at: <https://www.kati.net/product/basisInfo.do?lcdCode=MD163>.
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. 2021b. KATI agri-food export information. Available at: <https://www.kati.net/product/basisInfo.do?lcdCode=MD163>.
- Lee CL, Kim GH, Yoon KS. 2021a. Effects of combined aerosolization with ultraviolet C light-emitting diode on

- enterohemorrhagic *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* attached to soft fresh produce. *Foods* 10: 1834.
- Lee JY, Yang SY, Yoon KS. 2021b. Control measures of pathogenic microorganisms and shelf-life extension of fresh-cut vegetables. *Foods* 10: 655.
- Lee HD, Yu BK, Seo DS, Kim SR, Lee CJ, Kwak KS. 2021c. Efficacy of *Listeria innocua* reduction on enoki mushrooms by utilization of an air sterilization device. *J Mushrooms* 19: 210-215.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2021. Major statistics on Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Available at: <https://mafra.go.kr/bbs/mafra/131/327491/artclView.do>.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2019. Risk assessment and reduction of *Listeria monocytogenes* in agriculture, livestock and fishery products. Available at: <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO202000029896&dbt=TRKO&r>.
- Ministry of Food and Drug Safety. 2020. Field guidelines for food sterilizing agent (revised). Available at: https://www.mfds.go.kr/brd/m_218/view.do?seq=33333&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1.
- Rural Development Administration. 2018. Safe production wings with the development of enoki mushroom plastic wrapper washing equipment. Available at: https://www.rda.go.kr/board/board.do?boardId=farmprmninfo&prgId=day_farmprmninfoEntry&currPage=1&dataNo=100000749877&mode=updateCnt&searchSDate=&searchEDate.
- Woo MS. 1983. Studies on antitumor components of *Flammulina velutipes* of Korea (II)-Production of antitumor component of *Flammulina velutipes* by submerged culture. *Korean J Mycol* 11: 147-150.
- Yang CH. 2021. Detection of *Listeria monocytogenes* in enoki mushrooms distributed in Korea. Master Thesis. Korea University. Seoul, Korea.