

공기 살균 장치 적용 팽이버섯 재배사의 *Listeria Innocua* 저감 효과

이현동 · 유병기* · 서다솜 · 김세리¹ · 이찬중² · 곽강수

국립농업과학원 스마트팜개발과

¹국립농업과학원 유해생물과

²국립원예특작과학원 버섯과

Efficacy of *Listeria Innocua* Reduction on Enoki Mushrooms by Utilization of an Air Sterilization Device

Hyun-Dong Lee, Byeong-Kee Yu*, Da-Som Seo, Se-Ri Kim¹, Chan-Jung Lee², and Kang-Su Kwak

Smart Farm Development Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Jeonbuk, 54875, Korea

¹Microbial Safety Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju, Jeonbuk, 55365, Korea

²Mushroom Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, RDA, Eumseong, Chungbuk, 27709, Korea

ABSTRACT: For sterilization of microorganisms of the *Listeria* genus contaminating enoki mushroom, pilot mushroom grower equipped with air sterilization devices were developed. Sterilization experiments were performed using physical and chemical treatments. Internal temperature and humidity were controlled, maintaining $6.62^{\circ}\text{C}\pm 0.30$ in the upper shelves, $6.46^{\circ}\text{C}\pm 0.24$ in the middle shelves, and $6.48^{\circ}\text{C}\pm 0.25$ in the lower shelves. Humidities were $79.97\%\pm 4.42$, $79.43\%\pm 4.06$, and $79.94\pm 4.30\%$, respectively, with a temperature setting of 6.5°C , and a relative humidity of 75%. A suitable enoki mushroom cultivation stage for air sterilizer application was during the growth stage, with temperature in the $6.5\sim 8.5^{\circ}\text{C}$ range, and humidity of 70~80%. At these same internal conditions, the ozone concentration in the mushroom cultivator was found to be 160 ppb during ion-cluster generator operation. After physical sterilization, the *Listeria innocua* survival rate was 0.1 to 0.9% using ion cluster sterilization, and 9.3 to 10.6% using UV air sterilization. The *Listeria innocua* survival rates on different materials were 9.3~10.6% on the metal specimen, and 9.9~16.2% on the plastic wrapper. The survival rate was particularly high on the rough side of the plastic wrapper. Ion cluster air sterilization is a labor-saving and effective method for suppressing the occurrence of *Listeria* bacteria on mushroom growers walls and shelves. For the plastic wrapper, chemical sterilization is more effective than physical sterilization.

KEYWORDS: Enoki mushroom, *Listeria monocytogenes*, *Listeria Innocua*, Ion-cluster, UV

J. Mushrooms 2021 September, 19(3):210-215
<http://dx.doi.org/10.14480/JM.2021.19.3.210>
 Print ISSN 1738-0294, Online ISSN 2288-8853
 © The Korean Society of Mushroom Science

Hyun-Dong Lee(Senior researcher), Byeong-Kee Yu(Researcher),
 Da-Som Seo(Post-Master's reseacher), Se-Ri Kim(Senior researcher),
 Chan-Jung Lee(Senior researcher), Kang-Su Kwak(Senior researcher)

*Corresponding author

E-mail : ybk@korea.kr

Tel : +82-63-238-4051

Received September 15, 2021

Revised September 16, 2021

Accepted September 17, 2021

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.

서 론

팽이버섯은 2019년 기준 국내 버섯 생산 면적의 7.2%, 생산량의 20.8%를 차지하고 있으며, 전체 버섯류 수출의 약 59.4%를 차지하고 있는 중요한 작목이다. 국내 농가에서는 주로 백색계 팽이버섯 품종을 재배하고 있으며, 2019년 기준 생산량은 31,818톤이며, 수출량은 10,515톤으로 전체 생산량의 약 33%가 수출되고 있다(2019 특용작물 생산실적). 팽이버섯의 주요 수출국은 미국, 호주, 캐나다 및 인도네시아이며, 미국은 2018년 기준 10.4톤으로 가장 많은 물량이 수출되고 있다. 2020년 수출실적은 코로나19의 영향과 *Listeria Monocytogenes* 검출로 미국 28.9%, 호주 14.1% 및 캐나다 5.4% 등 주요 수출국 전체에서 감소한 것으로 나타나고 있다(KATI 2020). *L.*

*monocytogenes*는 인체에 감염되면 발열, 두통, 설사, 근육통 및 관절통 등의 증상이 발생하는 식중독을 유발하는 그람 양성 간균, 통성혐기성균으로 토양, 물, 하수 및 목초 등 자연환경과 식품 등에 분포되어 있다. 감염을 일으킬 수 있는 균의 양은 1 g당 $10^4 \sim 10^6$ 개 정도이며, 면역력이 저하되거나 위장 산도가 떨어지면 더 적은 양으로도 감염이 가능한 것으로 알려져 있다(감염병 포털, 질병관리청). 국내에서는 팽이버섯을 일반적으로 가열 조리하여 섭취하여 식중독 발생 사례에 대한 보고는 없으나, 국내 소비량이 많은 5종의 버섯(표고, 느타리, 새송이, 팽이, 양송이)을 대상으로 *L. monocytogenes* 오염 여부를 조사한 결과, 팽이버섯에서만 검출된 것으로 보고되고 있다(Yang, 2021). 국외의 경우 주로 샐러드 형태의 생식용으로 섭취하고 있어 리스테리아(*Listeria*)균에 의한 식중독 사례가 보고되고 있는데, 미국의 경우 2016년 11월부터 2019년 12월까지 17개 주에서 보고되고 있으며, 2020년 CDC 조사 후 국내 3개 업체 제품을 리콜 조치하였다(2020, CDC). 유럽의 경우 샐러드용으로 분류되어 즉석 섭취식품의 기준을 적용하여 *L. monocytogenes*가 100 CFU/g 이하로 검출되어야 한다(FSAI, 2020). 네덜란드에서는 2014년부터 2017년까지 한국산 팽이버섯에서 총 5건의 *L. monocytogenes* 검출사례가 보고된 바가 있다(Pennone et al., 2018). 팽이버섯은 다발로 구성된 특이한 구조로 인하여 수확 후 물을 이용한 세척으로는 잔여 미생물을 완벽하게 제거하기 어려워 *Listeria*균의 오염에 대한 적절한 관리 방법이 필요하다(Yang, 2021). 본 연구에서는 팽이버섯 재배사의 *Listeria*균 억제를 위한 공기 살균장치를 부착한 파일럿 재배사를 제작하였고, 팽이버섯 재배에 사용되는 소재를 대상으로 살균실험을 수행하고, 재배사 관리에 필요한 살균방법을 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

파일럿 버섯 재배사 제작 및 성능 실험

재배사 소재에 따른 살균효과 실험을 수행하기 위하여 파일럿 버섯 재배사를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 재배사의 온·습도를 조절하기 위하여 상부에 공기 조화실을 설

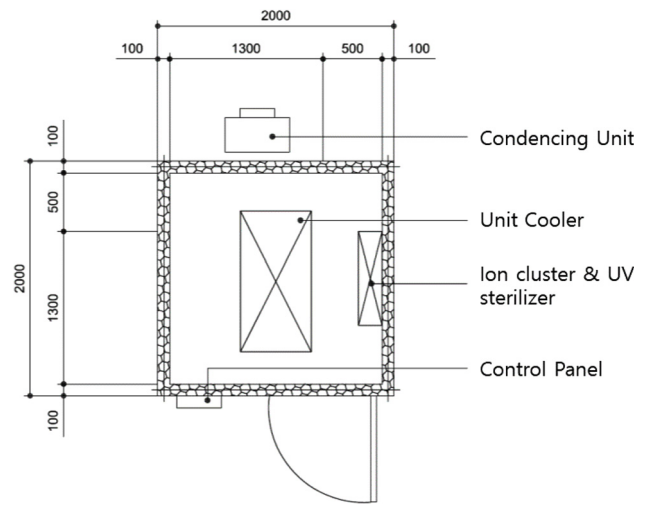


Fig. 1. A schematic diagram of pilot mushroom grower.

치하여 설정 온도로 맞추어진 공기를 버섯 재배사로 순환시키는 시스템으로 제작하였다. 온도 센서는 공기 조화실과 버섯 재배실 내부 2곳에 설치하여, 공기 조화실의 온도가 설정 온도에 도달하면 히트펌프 열교환기의 동작을 중단하고, 재배사 내부 공기 순환을 계속시켜 열교환기에 남아있는 열에 의한 영향을 최소화하여 재배사의 온도 편차를 줄일 수 있도록 설계하였다. 내부습도 제어는 재배실에 설치된 습도 센서로 제어되며, 설정 습도보다 높을 경우에는 히트펌프의 제습 운전으로 제어하고, 설정 습도보다 낮을 때는 초음파 가습기를 가동하여 재배사 내부습도를 제어하게 된다. 재배사 소재의 물리적 살균 실험을 위하여 이온클러스터 살균장치와 UV 공기 살균장치를 장착하였다. 파일럿 재배사의 환경제어 성능은 온·습도 계측 데이터 로거(TR-72wb, T&D Corp. Japan)를 사용하여 재배사 내부 선반의 상·중·하 위치별로 측정하였다. 이온클러스터 살균장치 가동 시 재배사 내부 오존 농도는 오존측정기(500 series, aeroQual. NewZealand)를 사용하여 측정하였다. UV 공기살균기에 대해서 조도(DT8808, CEM. China)와 UV조도(UVA-365SD, Lutron Elect. Taiwan)를 측정하였다.

Table 1. Specification of pilot mushroom grower.

Item	Type and specification
Dimension (L × W × H) mm	2,000 × 2,000 × 2,500
Source of power & Condensing unit	Three phase electric & 1HP
Input power	AC 230 V
Ion cluster	Output power
	3.6 kV ± 0.3
	O ₃ emission
	Less than 0.04 ppm
UV	Light Technical
	UV-C 253.7 nm
	Operating & Electrical
	15.5 W, 0.335 A, 55 V

공시재료

본 실험에 사용된 버섯 재배 관련 소재는 재배사 벽면과 선반에 사용되는 컬러도색강판(0.38 mm), 아연도금강판(0.5 mm)과 재배에 사용되는 플라스틱 권지(0.22 mm)의 거친면과 매끈한 면을 2 × 5 cm 실험용 시편으로 제작하여 사용하였다.

실험 균주 및 균주액 조제

본 실험에서 사용한 미생물 균주는 국립농업과학원 유해생물과에서 팽이버섯으로부터 동정한 *Listeria innocua* SK1717, 1718, 1719를 각각 분양받아 활용하였다. *L. innocua*는 독성이 없는 균으로 위험성을 회피하기 위하여 *L. monocytogenes*의 살균 실험 대체균주로 일반적으로 사용되는 균주이다(Tomas *et al.*, 2018, Mengyi and Joshua 2017). 살균 실험용 균주(*L. innocua* SK 1717, 1718, 1719)를 5 ml의 TSB YE + 50 µg ml⁻¹ rifampicin에 접종하여 37°C, 180 rpm에 각각 진탕 배양하였다. 각 균주별 배양액 1 ml를 e-tube에 분주하고 13,000 rpm에서 5분간 원심분리 후 상등액을 제거한 후 1 ml의 PBS로 현탁하였다. 3종류 균주의 현탁액을 코니컬 튜브에 혼합하고, 27 ml의 PBS에 분주하여 10배 희석 균주액을 조제하여 실험에 사용하였다.

균주 접종 및 회수 방법

L. innocua 희석 균주액 100 µl를 마이크로 피펫으로 멸균된 금속 시편과 플라스틱 시편 표면에 spot 형태로 도포하고, 클린벤치에서 2시간 건조하였다. 균주액 도포와 건조 처리된 시편은 50 ml 코니컬 튜브에 넣고 40 ml의 DE broth와 glass bead 2 g을 넣고 30초간 볼텍스 믹서로

회수하였다. 회수액은 10¹~10²으로 희석하고, 희석액 100 µl를 취하여 TSA-R 배지에 도말하여 37°C에서 48시간 배양하여 균수를 측정하였다.

시편 살균처리 방법

파일럿 버섯 재배사 온도를 6.5°C, 상대습도 70~80%로 내부 환경을 팽이버섯 생육 단계 조건으로 설정하였다. 살균 방법은 물리적 살균으로 이온클러스터와 UV살균처리 하였고, 화학적 살균으로는 75% 에탄올, 3% 구연산 수용액을 각각 처리하였다. 물리적 살균처리는 *L. innocua* 희석 균주액을 처리한 컬러도색강판(0.38 mm), 아연도금강판(0.5 mm), 플라스틱 권지(0.22 mm)를 멸균 접시에 올려 두고, 건조에 의한 미생물 사멸을 방지하기 위해 2시간 간격으로 멸균수를 분부하며 6시간 동안 처리한 후 *L. innocua*를 회수하였다. 화학적 살균처리는 물리적 살균처리의 멸균수 대신 75% 에탄올 수용액, 3% 구연산 수용액으로 2시간 간격으로 6시간 동안 3회 분부 처리하였다.

결과 및 고찰

파일럿 버섯 재배사 내부 환경

파일럿 버섯 재배사의 위치별 온도와 습도를 측정하여 실험 환경의 균일도를 분석하였다(Fig. 2). 파일럿 재배사 내부 환경을 온도 6.5°C, 상대습도 75%로 설정하였을 때 재배단 위치별 온도 편차는 상부 6.62°C±0.30, 중간 6.46°C±0.24, 하부 6.48°C±0.25, 습도는 각각 79.97%±4.42, 79.43%±4.06, 79.94±4.30%로 편차가 매우 작은 것으로 측정되었다(Table 2). 팽이버섯 재배사에서 생육단계 온도편차는 -1.0~1.0°C범위로 보고(Lee *et al.*, 2019) 되고 있어

Table 2. Temp & RH variation during sterilization experiment in pilot mushroom grower.

Item	Air temperature (°C)			Relative humidity(%)		
	Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom
Location	Top	Middle	Bottom	Top	Middle	Bottom
Average	6.62	6.47	6.48	79.97	79.43	79.94
St Dev.	0.30	0.24	0.25	4.42	4.06	4.30

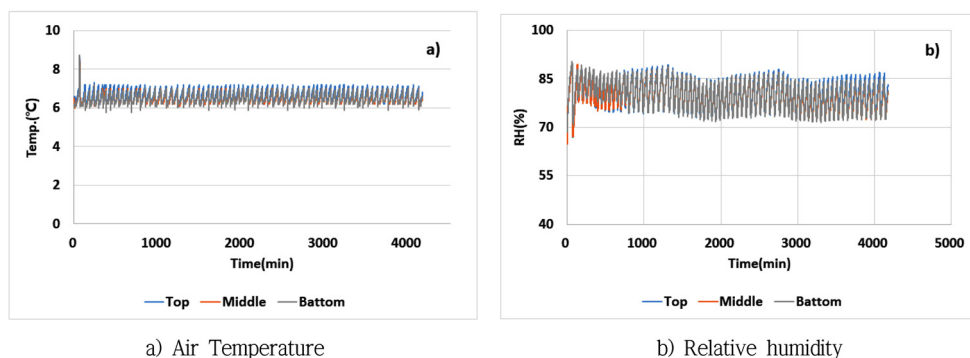


Fig. 2. Cultivation Environment(Temp. & RH) control of pilot mushroom grower.

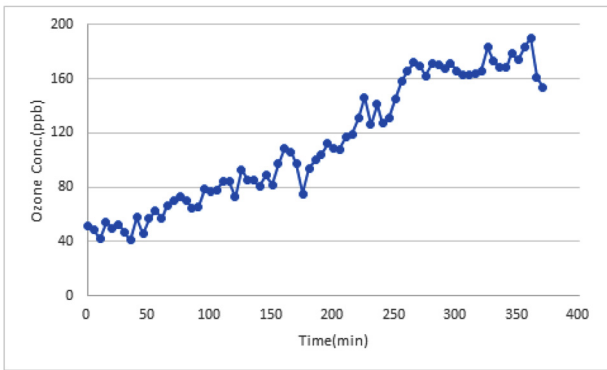


Fig. 3. Changes of O₃ concentration during ion-cluster sterilization in pilot mushroom grower.

본 연구에서 제작한 듀얼 온도센서 제어와 상부 공기 조화실을 설치하였을 때 재배사 내부 온도와 습도 편차를 줄일 수 있는 방법으로 판단된다.

이온클러스터 공기 살균장치

이온 클러스터 살균장치는 대기중의 공기에 고압으로 코로나 방전을 하여 생성되는 클러스터 이온을 살균에 이용하게 된다. 클러스터 이온은 이온이 여러 개의 물 분자에 둘러싸여 있는 소이온 상태의 모양이라고 정의하고 있다(Lee et al., 2020). 고압전극과 접지전극으로 구성된 장치에 고전압 발생을 위한 회로부를 통해 고전압 전극에 고전압을 인가하여 플라즈마를 방전한다. 이 과정에서 산화기와 수산화기 이온이 다량으로 생성되어 산화 반응에 의하여 살균과 탈취효과가 생기는 것으로 보고하고 있다. 이 과정에서 대기는 O²⁺이온, O²⁻이온, O₂로 구성된 50~60 개의 누적 집합체인 산소클러스터 이온을 형성하며, 오존 발생기보다 낮은 수준의 기체상 O₃도 발생하게 된다(Yeo et al., 2010). 파일릿 버섯 재배사의 온도를 팽이버섯 생육 온도인 6.5°C, 상대습도 70~80%로 조절하였을 때 이온클러스터 발생장치에 의한 재배사 내부 오존농도는 시간이 지남에 따라 증가하여 약 6시간 경과 후 최고 농도인 160 ppb에 도달하는 것으로 측정되었다(Fig. 3).

UV 공기살균 장치

UV 공기 살균기는 253.7 nm 파장의 빛을 조사하여 미생물을 살균시킬 수 있다. UV 공기 살균장치 가동 시 조도를 측정된 결과, 재배 선반 위치에 따라 0.7~3.2 lux 수준으로 나타났다. UV 공기 살균기는 투명 재질로 차폐되어 있어 소량의 가시광선이 방출되어 낮은 조도는 측정되고 있으나, UV 조도계 측정결과 인체에 유해한 UV의 방출은 없는 것으로 측정되었다. UV처리 시간 동안 온도 변화는 5.6°C±0.4로 무처리구의 온도 변화 5.8±0.1와 유사하여 UV램프에 의한 발열의 영향은 없는 것으로 나타났다.

팽이버섯 생산 공정 분석

팽이버섯 재배사 소재에 따른 살균효과 실험 조건을 설계하기 위하여 팽이버섯 재배 과정을 농가 현장 조사와 실험실 재배를 통하여 분석하였다. 팽이버섯은 일반적으로 병배지에서 재배하고 있으며, 미송톱밥, 미강 등이 혼합된 배지의 입병단계, 잡균의 오염을 방지하기 위한 살균 단계를 거쳐 배지 냉각 후 팽이버섯 종균을 접종하게 된다(Jhune et al., 2010). 균사가 병 전체에 골고루 퍼지게 하여 온도 16~24°C, 습도 70%를 유지하며 25~28일간 배양을 진행하고, 배양이 끝난 팽이버섯은 균 굵기 과정을 통하여 노화된 종균을 제거하고 버섯의 발생을 촉진시킨다. 균 굵기를 마친 병재배 팽이버섯은 발이 과정 → 억제단계 → 권지 썬우기 → 생육단계의 순서로 재배하여 수확하게 된다. 실험실의 항온항습기를 이용하여 Fig. 4.의 조건에서 팽이버섯을 재배한 결과, 수확 가능한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 이 등이 보고한 팽이버섯 스마트팜 재배 생육환경과도 일치하는 결과이다(Lee et al., 2019).

국립원예특작과학원 버섯과에서 조사한 팽이버섯 재배 단계별 식중독균 발생 현황을 조사한 결과에 따르면 *L. monocytogenes*는 균 굵기, 억제, 수확 단계에서 주로 검출되며, 접종, 배양 단계에서는 검출되지 않는 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서 사용할 이온클러스터 살균 장치와 UV 공기 살균 장치는 전기를 사용하는 장치이며, 이온클러스터의 경우 방전 원리를 활용하여 한계 동작 상대습도 70~80% 범위인 것을 고려하였을 때, 재배사 내부

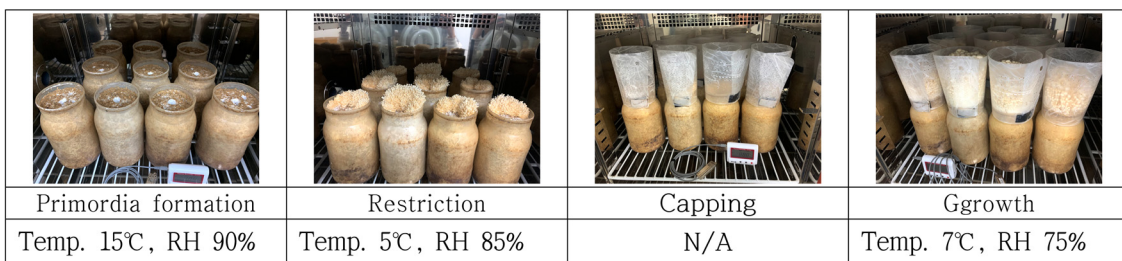


Fig. 4. Analysis of environmental condition to adopt sterilization condition during enoki mushroom cultivation.

에 물리적 공기 살균 방법은 팽이버섯 재배 공정의 온·습도 조건을 분석한 결과 생육 단계가 적용 가능할 것으로 판단되었다.

살균처리 방법별 효과 비교

버섯 재배사 소재 시편 대상 살균효과 실험에서 대조구로 멸균증류수를 처리하였고, 물리적 살균은 이온클러스터, UV 공기 살균 처리를 하였고, 화학적 살균으로는 75% 에탄올과 3% 구연산 수용액 분무를 각각 처리하였다. 팽이버섯에서 동정한 균주를 배양하여 실험에 사용하여 도포하는 균주액의 *L. innocua*의 수준이 처리시점에 따라 조금씩 차이가 있었다. 이를 해결하고자 각 처리 조건 별로 균주액 도포 2시간 건조 시편에서 회수하여 배양한 *L. innocua* 콜로니 숫자를 기준으로 6시간 처리 후 회수한 배양액의 콜로니 수를 생존율(%)로 환산하였다. 실험 결과, 증류수 처리의 경우 권지 거친면을 제외하고 모든 소재에서 살균 조건별 초기 접종 균주 대비 약 20.3~20.4%로 나타났고, 권지 거친면은 27%가 회수되어 다소 높은 것으로 나타났으나, 큰 차이는 없는 것을 확인하여 본 실험 방법으로 균주액으로 접종된 *L. innocua*의 살균처리 방법에 따른 생존율 측정이 가능함을 알 수 있었다. 금속 시편에 대한 살균방법에 따른 *L. innocua*의 생존율은 이온 클러스터 처리에서는 약 0.1~0.9% 생존하는 것으로 나타내서 약 99% 이상 살균되는 것을 알 수 있었다. UV 공기 살균 처리의 경우에는 약 9.3~10.6% 생존하는 것으로 나타났고, 대조구인 멸균 증류수 처리 대비 50% 수준 생존하는 것으로 나타나 살균효과는 있었으나 효과는 그다지 크지 않음을 알 수 있었다. 플라스틱 소재인 권지는 면의 형상에 따라 거친면과 매끈한 면으로 구분하여 분석하였다. 이온클러스터 살균 처리에서 거친면은 약 0.1% 생존하였고, 매끈한 면에서는 7 CFU/cm²로 매우 낮은 수준으로 검출되었다. UV 공기 살균 처리에서는 거친면은 약 16.2%, 매끈한 면은 약 9.9% 생존하는 것으로 관찰되어 소재의 면 형상에 따른 차이가 있음을 알 수 있었다. 특히, 권지 거친면의 경우 증류수 처리에서

생존율이 높게 나타나고 있어, 흠이 있는 형상의 재질에 *Listeria*균이 잘 부착되고 생존율도 높음을 알 수 있었다. 물리적 살균에서 이온클러스터 살균 방법이 UV 공기 살균보다 *L. innocua* 살균효과가 우수한 것으로 나타난 것은 이온클러스터 장치에서 공기살균과 함께 발생하는 오존 기체가 시편에 접촉하여 살균효과를 나타내는 것으로 해석할 수 있다(Yeo et al., 2010).

화학적 살균 처리인 75% 에탄올 수용액과 3% 구연산 수용액을 분무한 처리구에서는 금속과 플라스틱 소재 모두 *L. innocua*가 검출되지 않았다(Table 3). 75% 에탄올과 3% 구연산 수용액을 분무하는 화학적 살균은 분무액이 시편에 잔존 하며 지속적으로 살균이 진행되어 검출되지 않는 것으로 판단된다. 3% 구연산 수용액 처리는 선행 연구에서 젓산과 말산의 유기산 수용액 처리가 *L. Monocytigenes* 저감에 효과가 있다는 연구결과와 일치하였다(Kim et al., 2020).

플라스틱 권지 균주 회수 방법 비교

L. innocua 균주액을 시편에 고정시키기 위하여 클린벤치에서 2시간 건조한 후 블랭크 회수 실험을 수행하였다. 금속시편의 경우 특별한 전처리 없이 유리비드와 볼텍스 믹서를 이용하여 킬러강판 20,600 CFU/cm², 아연도금강판은 17,653 CFU/cm²로 2시간 건조 후 블랭크용 균주의 회수가 가능하였다. 플라스틱 권지의 경우 Table 4와 같이 2시간 건조 시편을 유리비드와 볼텍스 믹서 처리하여 회수하였을 경우에는 *L. innocua*가 10¹~10²로 낮은 수준으로 검출되었고, 50 ml 코니칼튜브에 멸균증류수 30 ml 와 2시간 건조시킨 시편을 넣고 5분간 방치한 후 시편을 꺼내어 블랭크 회수용으로 사용하였을 때 권지 매끈한 면은 6,317~16,583 CFU/cm², 권지 거친면은 8,177~9,500 CFU/cm² 수준으로 검출되었다. 이러한 현상은 *L. monocytogenes*는 biofilm을 형성하여 식재료 및 식기에 부착 및 생존이 가능하다는 이 등의 연구결과와 일치한다고 해석할 수 있으며(Lee et al., 2018), 팽이버섯 재배 소재 중 플라스틱 권지는 세척과 살균에 적절한 관리 및 방법이 필요한 것을

Table 3. Temperature & Relative humidity variation during sterilization experiment in pilot mushroom grower

Specimen Treatment	Painted steel		Galvanizes steel		Plastic wrapper (rough side)		Plastic wrapper (smooth side)	
	<i>L. innocua</i> (CFU/cm ³)	Survival rate (%)	<i>L. innocua</i> (CFU/cm ³)	Survival rate (%)	<i>L. innocua</i> (CFU/cm ³)	Survival rate (%)	<i>L. innocua</i> (CFU/cm ³)	Survival rate (%)
Blank*	20,600	-	17,653	-	38,000	-	25,267	-
D.W.	4,180	20.3	3,653	20.7	10,317	27	5,167	20.4
Ion -cluster	13	0.1	33	0.9	27	0.1	7	0.0
UV	2,180	10.6	1,640	9.3	1,667	16.2	2,490	9.9
75%-ethanol	0	0	0	0	0	0	0	0
3%-citric acid	0	0	0	0	0	0	0	0

* 최초 접종한 균주액 2시간 건조 후 *L. innocua* 균수

Table 4. Comparison of recovery rate according to treatment on plastic support for enoki mushroom.

Classification	Plastic wrapper(rough side)		Plastic wrapper(smooth side)	
	Before soaking	After soaking	Before soaking	After soaking
<i>L. innocua</i> (CFU/cm ³)	17-817	8,177-9,500	67-520	6,317-16,583

알 수 있었다.

적 요

팽이버섯 재배사의 *Listeria*속 미생물 살균을 위하여 공기 살균 장치가 부착된 파일릿 버섯 재배사를 개발하여 물리적, 화학적 살균처리에 대한 살균 효과 검증실험을 수행하였다. 파일릿 버섯 재배사의 내부 온도는 상부 6.62°C±0.30, 중간 6.46°C±0.24, 하부 6.48°C±0.25, 습도는 79.97%±4.42, 79.43%±4.06, 79.94±4.30%로 설정 온도 6.5°C, 상대습도 75%에 근사하게 제어되었다. 공기 살균 장치 적용에 적합한 팽이버섯 재배단계는 생육단계 조건인 온도 6.5~8.5°C, 습도 70~80% 범위였고 유사 조건에서 이온 클러스터 발생기의 오존 발생농도는 160 ppb 수준으로 나타났다. 물리적 살균처리 후 *Listeria innocua*의 생존율은 이온클러스터 살균의 경우 0.1~0.9%, UV공기 살균은 9.3~10.6%로 나타났고, 화학적 살균처리인 75% 에탄올과 3% 유기산 수용액 처리구에서는 모두 사멸하는 것으로 나타났다. 소재에 대한 *Listeria innocua* 생존율은 금속시편의 경우 9.3~10.6%, 플라스틱 권지 9.9~16.2%로 나타났는데, 특히 권지의 거친면에서 생존율이 높게 나타났다. 본 연구 결과에 따르면 버섯 재배사의 *Listeria*균 발생을 억제하기 위해서 금속 소재로 구성된 재배사 벽면과 재배 선반에 대해서는 이온클러스터 공기 살균처리가 노동력을 절감하면서 살균 가능한 방법이며, 플라스틱 재질의 권지의 경우 화학적 살균처리가 효과적 인 것으로 나타났다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01414201, 팽이버섯 재배사 친환경 살균기술 개발)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

REFERENCES

Centers for Disease Control and Prevention. 2020. Outbreak of *Listeria* infections linked to enoki mushrooms. Available at: <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/enoki-mushrooms-03-20/index.html/>.

Food Safety Authority of Ireland. 2020. 1st Trimester National Microbiological Survey: Microbiological safety/quality of raw mushrooms. Available at: https://www.fsai.ie/uploadedfiles/raw_mushrooms.pdf.

Hu M, Gurtler JB. 2017. Selection of surrogate bacteria for use in food safety challenge studies. *J Food Prot* 80: 1506-1536.

Jee YJ. 2010. Cluster ion generation technology for a comfortable indoor environment. *Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea* 39: 17-23 (in Korean).

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 (in Korean).

KATI (Korea Agro-Fisheries & Food Distribution Corporation). 2020. Export statistics of Enoki mushroom. Available at: <https://www.kati.net>.

KDCA (Korea Disease Control and Prevention Agency Infectious Disease Portal). *Listeria monocytogenes* infection. Available at: <http://www.kdca.go.kr/npt/biz/npp/portal/nppSumryMain.do?icdCd=ND0611&icdgrpCd=04&icdSubgrpCd=ND0006>.

Kim SR, Kim WI, Yoon JH, Jeong DY, Choi SY, Hwang IJ, Nagendran R. 2020. Growth survival of *Listeria monocytogenes* in Enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) at different temperatures and antilisterial effect of organic acids. *J Food Hyg Saf* 35: 630-636 (in Korean).

Lee HH, Kwon YL, Cho YM. 2020. A study on the effect of ventilation and ion cluster on the distribution of bioaerosols in multi-use facilities. In Abstracts from the Meeting of the Korean Society for Atmospheric Environment. pp. 168 (in Korean).

Lee JE, Kim SA, Shim WB. 2018. Reduction measures and contamination status of *Listeria monocytogenes* among fresh produce. *Safe Food* 13: 24-33 (in Korean).

Lee KW, Jeon JO, Lee KJ, Kim YH, Lee CJ, Jang M-J. 2019. Analysis of growth environment of *Flammulina velutipes* using the smart farm cultivation technology. *J Mushrooms* 17: 197-204 (in Korean).

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2019. Cash crop production records.

Pennone V, Leahy A, Coffey A, McAuliffe O, Jordan K. 2018. Diversity of *Listeria monocytogenes* strains isolated from *Agaricus bisporus* mushroom production. *J Appl Microbiol* 125: 586-595.

Saunders T, Wu J, Williams RC, Huang H, Ponder MA. 2018. Inactivation of *Salmonella* and surrogate bacteria on cashews and macadamia nuts exposed to commercial propylene oxide processing conditions. *J Food Prot* 81: 417-423.

Yang CW. 2021. Inspection of *Listeria monocytogenes* in Enoki mushrooms distributed in Korea. Master Thesis. Korea University, Seoul, Korea (in Korean).

J The Korean Institute of Electrical and Electronics Material Eng, Hong YW. 2010. Thick film type cluster in Mg₂SiO₄/glass composite ceramics for anion generation. *J Korean Inst Electr Electron Mater Eng* 23: 118-123 (in Korean).