

Research note

팽이버섯에서 *Listeria monocytogenes*의 온도별 생존과 유기산에 의한 저감화

김세리* · 김원일 · 윤재현 · 정도영 · 최송이 · 황인준 · 나겐드란 라잘링감

농촌진흥청 국립농업과학원 유해생물팀

Growth Survival of *Listeria monocytogenes* in Enoki Mushroom (*Flammulina velutipes*) at Different Temperatures and Antilisterial Effect of Organic Acids

Se-Ri Kim*, Won-Il Kim, Jae-Hyun Yoon, Do-Yong Jeong, Song-Yi Choi, Injun Hwang, Nagendran Rajalingam
Microbial Safety Team, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju, Korea

(Received December 2, 2020/Revised December 8, 2020/Accepted December 11, 2020)

ABSTRACT - *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) was responsible for several recall cases owing to its incidence in mushrooms exported from the Republic of Korea. In this study, we investigated the survival of *L. monocytogenes* in enoki mushroom (*Flammulina velutipes*) at different temperatures and the antilisterial effect of its organic acids. Enoki mushrooms were inoculated with *L. monocytogenes* (initial concentration 4.5 log CFU/g) and stored at 1-35°C. No growth of *L. monocytogenes* in enoki mushrooms was observed at 1°C for 30 days. 3.0 log CFU/g growth of *L. monocytogenes* was also achieved after 36 h and 24 h at 30°C and 35°C, respectively. To evaluate the antilisterial effect of the organic acids (acetic acid, lactic acid, malic acid), enoki mushrooms were treated with 1-3% of each acid for 10-30 min. The efficacy of malic acid and lactic acid was significantly higher than that of acetic acid. Over 3.0 log reductions were observed when *L. monocytogenes* in enoki mushrooms was immersed in 3% lactic acid and malic acid over 10 minutes or more. Therefore, it is necessary to keep enoki mushrooms at 1°C during the export process and treat them with 3% lactic acid and malic acid for 10 min prior to consumption.

Key words : *Listeria monocytogenes*, Enoki mushrooms, Growth, Organic acid

*Listeria monocytogenes*는 그람 양성 통성혐기성, 무포자 간균으로 저온(5°C)에서도 증식 가능하며 건강한 성인이 감염될 가능성은 낮으나 임산부, 신생아, 고령자 등 면역력이 낮은 사람에서는 감염 가능성이 높은 식중독세균이다^{1,2}). *L. monocytogenes*는 농식품 가공 환경에 유입되면 농식품 접촉표면에 생물막을 형성하고 장기간 생존하는 능력 때문에 지속적으로 농식품 생산현장에서 문제가 되고 있다^{3,4}). 지난 20년 동안 *L. monocytogenes*는 주로 유제품, 육류에서 식중독을 유발하여 사회적으로 문제가 되

었지만 최근에는 버섯과 같은 농산물에서 *L. monocytogenes*가 지속적으로 검출되고 있다⁴). Chen 등⁵)의 연구에 따르면 중국의 소매 시장에서 식용버섯을 수거하여 미생물을 조사한 결과 *L. monocytogenes*가 조사한 시료의 21.2% (141/665)에서 검출되었으며 오염농도는 평균 110 MPN/g을 초과하는 것으로 나타났다. 또한 조사한 팽이버섯의 55.5%에서 *L. monocytogenes*가 검출되었다고 보고하였다. 이에 유럽에서는 버섯을 샐러드용으로 이용한다는 점을 감안하여 버섯에 대해 즉석섭취식품(ready-to-eat food)의 기준을 따르도록 규정하고 있다. 이 기준에 따르면 유통단계 버섯에서는 *L. monocytogenes*가 100 CFU/g이하로 검출되어야 한다⁶). 이 기준으로 인하여 유럽으로 수출한 국내산 팽이버섯이 리콜되는 사례가 발생하고 있고⁷), 올해는 미국으로 수출한 국내산 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*가 검출되어 수출이 중단되는 사건도 발생하였다. 이런 리콜사태가 지속적으로 발생함에 따라 팽이버섯의 미생물 안전성 확보가 매우 시급한 상황이다⁸). 팽이버섯의 미생물 안전성을 확보하기 위해서는 버섯생산단계에서 오염을 예방하는 것이 가장

*Correspondence to: Se-Ri Kim, Microbial Safety Team, Agro-Food Safety & Crop Protection Department, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, 166 Nongsaengmyeong, Iseo, Wanju 55365, Korea
Tel: +82-63-238-3395, Fax: +82-63-238-3840
E-mail: seri81@korea.kr

Copyright © The Korean Society of Food Hygiene and Safety. All rights reserved. The Journal of Food Hygiene and Safety is an Open-Access journal 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.

중요하지만 수출 과정에서 *L. monocytogenes*의 생육을 억제시킬 방안을 고려하는 것도 상당히 중요하다. 유통과정 중 *L. monocytogenes*를 억제시키기 위해서는 팽이버섯에서 온도별로 *L. monocytogenes*가 증식 가능한 범위를 이해해야 하지만 아직도 팽이버섯 중에 오염된 *L. monocytogenes*의 생존을 연구한 사례는 매우 부족한 실정이다.

또한 소비단계에서는 팽이버섯 중에 존재하는 *L. monocytogenes*를 감소시키는 절차가 필요하다. 그동안 농산물 중 식중독세균을 감소시키기 위해 사용된 비가열 처리기술에는 차아염소산나트륨(NaOCl), 전해수, 유기산, 이산화염소(ClO₂) 및 UV-C, 전자선, 감마선 조사 등이 있으며, 가장 널리 이용되는 기술은 주로 차아염소산나트륨, 이산화염소 등 살균성이 있는 화학소독제를 이용하는 방법이다^{9,10}. 차아염소산나트륨은 다루기 쉽고 가격이 저렴하여 식품업계에서 많이 사용하는 살균소독제이며, 미국의 경우 수확한 과일과 채소의 미생물을 제거하기 위하여 50-200 ppm의 농도로 사용하고 있다¹¹. 하지만 차아염소산나트륨은 유기물과 결합하면 트리할로메탄과 같은 발암성 물질을 생성할 수 있어 이를 대체할 수 있는 기술들이 개발되어 오고 있다¹²⁻¹⁴. 그 중 유기산은 인체에 무해하고 미생물의 성장을 방지하며 신선 농산물의 유통 기한을 연장하기 위해 사용되어왔고, 상추와 같은 신선 농산물에 존재하는 *E. coli* O157:H7, *L. monocytogenes*의 저감효과가 상당히 뛰어난 것으로 보고되어 왔다^{15,16}. 하지만 유기산을 이용하여 팽이버섯 중에 존재하는 *L. monocytogenes*를 저감한 연구는 드문 실정이다.

따라서 본 연구는 유통 중 온도에 따른 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 성장을 조사하고 유기산을 이용한 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 저감화 기술을 개발하여 보고하고자 한다.

Materials and Methods

L. monocytogenes 사용균주

팽이버섯에서 *L. monocytogenes*의 생존을 조사하기 위하여 팽이버섯에서 분리된 *L. monocytogenes* 5균주를 사용하였다. 시료 중 존재하는 background microflora의 생육을 억제하고 팽이버섯에 존재하는 미생물과 구분하기 위하여 본 연구에 사용할 *L. monocytogenes*에 rifampicin 저항성을 유도하였다. Rifampicin 저항성 유도는 0.6% yeast extract가 함유된 tryptic soy agar (TSA-YE; Oxoid, Basingstoke, Hampshire, England)상에서 배양한 각 균주를 1 loop 취하여 50 µL/mL의 rifampicin (R; Biosesang, Sungnam, Korea)과 0.6% yeast extract가 함유된 tryptic soy broth (TSB-YER, Oxoid, England)에 접종하고 37°C에서 24시간 진탕 배양하였다. 이후 50 µL/mL의 rifampicin과 0.6% yeast extract가 함유된 tryptic soy agar (TSA-

YER; Oxoid, England)에 접종하고 37°C에서 24시간 배양하여 rifampicin 저항성 균주를 얻었다. Rifampicin 저항성 균주는 20% glycerol을 함유하는 TSB-YER를 사용하여 -70°C에서 보관하였다. 사용 시에는 상온에서 해동한 후 각각 10 µL를 취하여 7 mL의 TSB-YER에 접종 후 30°C에서 18시간 동안 배양하였다. 배양된 균은 각각 4,500 rpm에서 15분간 원심분리 한 후 상등액을 제거하고 phosphate buffered saline (PBS; Difco Laboratories, Detroit, MI, USA)에 현탁하였다. 이후 4,500 rpm에서 15분간 원심분리 한 후 시험균을 PBS에 재 현탁하였다. 이후 5균주를 동량 혼합하고 생균수가 6 log CFU/mL가 되도록 희석하여 본 연구에 사용하였다.

팽이버섯에 균주 접종 및 저장은도별 균수 조사

팽이버섯 25 g에 *L. monocytogenes* 현탁액 1 mL을 버섯 표면에 고르게 접종하고 2시간 건조하였다. 이후 PVC 재질의 비닐백에 넣고 진공포장 한 후 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 그리고 35°C에 각각 저장하였다. 저장기간은 *L. monocytogenes*의 성장속도와 품질을 고려하여 1-5°C는 30일, 10-15°C는 9일, 20-25°C는 3.5일, 30-35°C는 1.5일이었다. 시료 중 *L. monocytogenes*의 균수변화 조사를 위하여 시간대별로 시료를 꺼낸 후 25 g을 취하여 멸균백에 넣고 225 mL의 0.1% peptone water (Oxoid, England)를 가하였다. 이 후 stomacher (Bagmixer 400VW, Interscience®, Paris, France)를 이용하여 균질화한 후 단계희석 하였다. 희석액을 TSB-YER 배지에 도말하고, 37°C 배양기에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 콜로니 수를 산정한 후 1 g 당 log 값으로 변환하였다.

팽이버섯추출물에 균주 접종 및 균수 조사

*L. monocytogenes*가 팽이버섯에서 유래된 영양원을 활용하여 성장 가능 여부 조사하였다. 이를 위하여 팽이버섯 추출액을 제조하였다. 팽이버섯 100 g에 멸균 증류수 1 L를 가하여 마쇄하고 4000 rpm에서 5분간 원심분리하여 상등액을 취하였다. 이후 상등액을 0.45 µm 필터(Merck Millipore, Ltd., Cork, Ireland)를 이용하여 1차 여과 후 0.22 µm 필터(Merck Millipore)로 2차 여과하였다. 착즙액을 희석하여 2%로 조제하였다. 96 well 플레이트에 착즙액 180 µL를 주입하고 5 log CFU/mL의 *L. monocytogenes*를 20 µL를 접종하였다. 대조구로는 TSB과 PBS를 사용하였다. 접종한 플레이트는 35°C에 배양하였고 0, 4, 6, 8, 10, 12, 24 시간에 흡광도(Hidex sense, Hidex, Turku, Finland)를 측정하여 증식 여부를 확인하였다.

유기산을 이용한 팽이버섯 중 *L. monocytogenes* 저감화 효과

유기산을 이용한 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 저감

효과를 분석하기 위하여 rifampicin에 저항성을 가진 *L. monocytogenes*를 앞서 언급한 바와 같이 배양하고 회석하여 최종농도 7-8 log CFU/g으로 조정하였다. 팽이버섯은 표면에 존재하는 미생물을 제거하기 위하여 600-700 g을 200 ppm의 차아염소산나트륨 3 L에 10분 침지하고 2차례 행군 다음 1시간 건조시켰다. 이후 *L. monocytogenes* 현탁액을 최종농도가 5-6 log CFU/g이 되도록 팽이버섯 표면에 고르게 접종하고 2시간 건조시켰다. 이후 팽이버섯 100 g을 500 mL의 1-3% 초산(Daejung Co. Ltd., Siheung-si, Republic of Korea), 1-3% 젓산(Daejung) 그리고 1-3% 말산(Daejung)에 10-30분 동안 처리하였다.

미생물 저감효과를 확인하기 위하여 팽이버섯 25 g에 D/E broth (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 100 mL을 넣고 stomacher로 2분간 처리하였다. 그중 1 mL을 취하여 십진회석하고 각 회석액을 100 µL씩 취하여 TSA-YER 배지에 도말하였다. 이후 37°C에서 24-48시간 배양하여 집락수를 계수하였다. 최종균수는 균주 × 회석배수로 계산하였다.

통계처리

모든 실험은 3반복으로 수행되었으며 관찰된 실험결과와 처리 간 효과는 SAS 통계 프로그램(version 9.1, SAS Institute, NC, USA)의 분산분석(ANOVA procedure)을 이용하여 분석하였다. $P < 0.05$ 수준에서 처리효과가 유의적인 경우에는 Duncan test를 이용하여 평균간 다중비교를 하였다.

Results and Discussion

팽이버섯 저장 온도별 *L. monocytogenes*의 균수 변화

팽이버섯 저장온도에 따른 *L. monocytogenes*의 균수 변화를 조사한 결과는 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 나타난 바와 같이 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*의 초기 균수는 약 4.5 log CFU/g의 수준이었다. 1°C에서는 1개월 동안 *L. monocytogenes*가 증가하지 않았으나, 5°C이상에서는 시간이 경과함에 따라 균수가 유의하게 증가하였으며, 온도가 상승함에 따라 균수가 비교적 빠르게 증가하는 경향을 나타내었다. 5°C, 10°C 저온에서는 각각 120시간, 84시간이 경과했을 때 1.0 log CFU/g가 증가하였고 5°C에서 1개월(720시간), 10°C와 15°C에서 7일(168시간)이 경과하면 2.0 log CFU/g가 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 25°C에서는 24시간 내에 1.42 log CFU/g가 30°C, 35°C에서는 10시간 내에 1.33 log CFU/g, 1.38 log CFU/g가 각각 증가하였다. 30°C, 35°C에서는 최대 성장값이 약 7.5 log CFU/g였으며 최대성장값에 도달하는 시기는 각각 36시간, 24시간이었다. 이렇게 *L. monocytogenes*의 성장과 사멸은 온도에 영향을 받게 되는데 특히 저온에서 1개월 이상 생존할

수 있는 이유는 저온에서는 대사가 줄어들 뿐만 아니라 저온스트레스에 견디는데 필요한 단백질의 발현이 증가하고 동결을 방지하는 물질의 흡수가 증가하기 때문이다¹⁷⁾.

또한 *L. monocytogenes*의 생장은 버섯의 종류에 따라 다소 차이가 있었다. Leong 등¹⁸⁾은 절단한 것과 절단하지 않은 양송이버섯에 *L. monocytogenes*를 약 2.0 log CFU/g 수준으로 접종하고 8°C와 15°C에 10일 동안 저장하면서 생장을 조사하였다. 그 결과 15°C에서 두 종류의 버섯 모두 2일 만에 약 2.5 log CFU/g가 증가하였고 최종 절단한 버섯과 절단하지 않은 버섯에서 최대 9.5 log CFU/g, 7.3 log CFU/g 수준으로 각각 증가하였다. 8°C에서도 15°C와 비슷한 경향을 나타낸다고 보고하였다. 한편 Gonzalez-Fandoz 등¹⁹⁾의 연구에 따르면 4°C, 10°C에서 양송이버섯 중 *L. monocytogenes*가 48시간 이내에 1-2 log CFU/g정도 증식하며 48시간 이후에는 3-8일 동안 균수가 유지되다가 8일 이후에는 감소하는 것으로 보고하였다. 즉 *L. monocytogenes*의 증식속도는 팽이버섯보다 양송이버섯에서 증식속도가 빠르고 같은 버섯이라 하더라도 포장상태나 절단 여부에 따라 성장에 차이는 있다고 판단된다.

팽이버섯 생산 후 미국이나 유럽으로 수출되고 현지에서 유통되는 데 1개월 정도 소요된다고 할 때 팽이버섯에 *L. monocytogenes*가 오염되면 5°C이상에서는 1개월 내에 유럽의 기준치인 100 CFU/g에 도달 할 수 있으며 유통과정 중에 30°C 내외의 고온에 노출되게 되면 1-2일 이내에 *L. monocytogenes*가 100배 증식하여 기준치를 초과하는 경우가 발생할 수 있다고 판단된다. 따라서 수출 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 검출로 리콜을 예방하기 위해서는 생산단계에서 최대한 *L. monocytogenes*의 오염을 예방하여야 하며 수출 시에는 가능한 1°C로 유지하고, 현지에서 유통·판매 시에도 온도를 5°C이하로 유지하는 것이 필요하다.

팽이버섯 추출물에서 *L. monocytogenes*의 균수 변화

*L. monocytogenes*가 팽이버섯 표면에서 미량으로 공급되는 영양분을 활용하여 성장 가능한지를 분석하기 위해 2% 팽이버섯 착즙액에 *L. monocytogenes*를 접종 후 35°C에서 24시간 저장하면서 흡광도를 측정하였다. 풍부한 영양원이 제공되는 양성대조군으로 TSB를 사용하였고 영양원이 없는 음성대조군으로 PBS를 사용하였다. 2% 팽이버섯 착즙액에서는 6시간 이후부터 TSB에서는 4시간 이후부터 증식하기 시작하였다. 한편 영양원이 함유되어 있지 않은 PBS에서는 증식하지 않았다. 버섯에서 분리한 *L. monocytogenes*를 TSB에 접종하고 4, 6, 8, 10, 12시간 증식시켰을 때 흡광도가 평균 0.2, 0.53, 0.66, 0.67, 0.67이었으며 2% 팽이버섯 착즙액에서는 각각 0.10, 0.13, 0.16, 0.17, 0.18로 TSB에 비해서는 활발하게 성장하지 않았지만 팽이버섯 착즙액을 이용하여 증식은 가능한 것으로 확인되었다. 앞서 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*가 팽이버

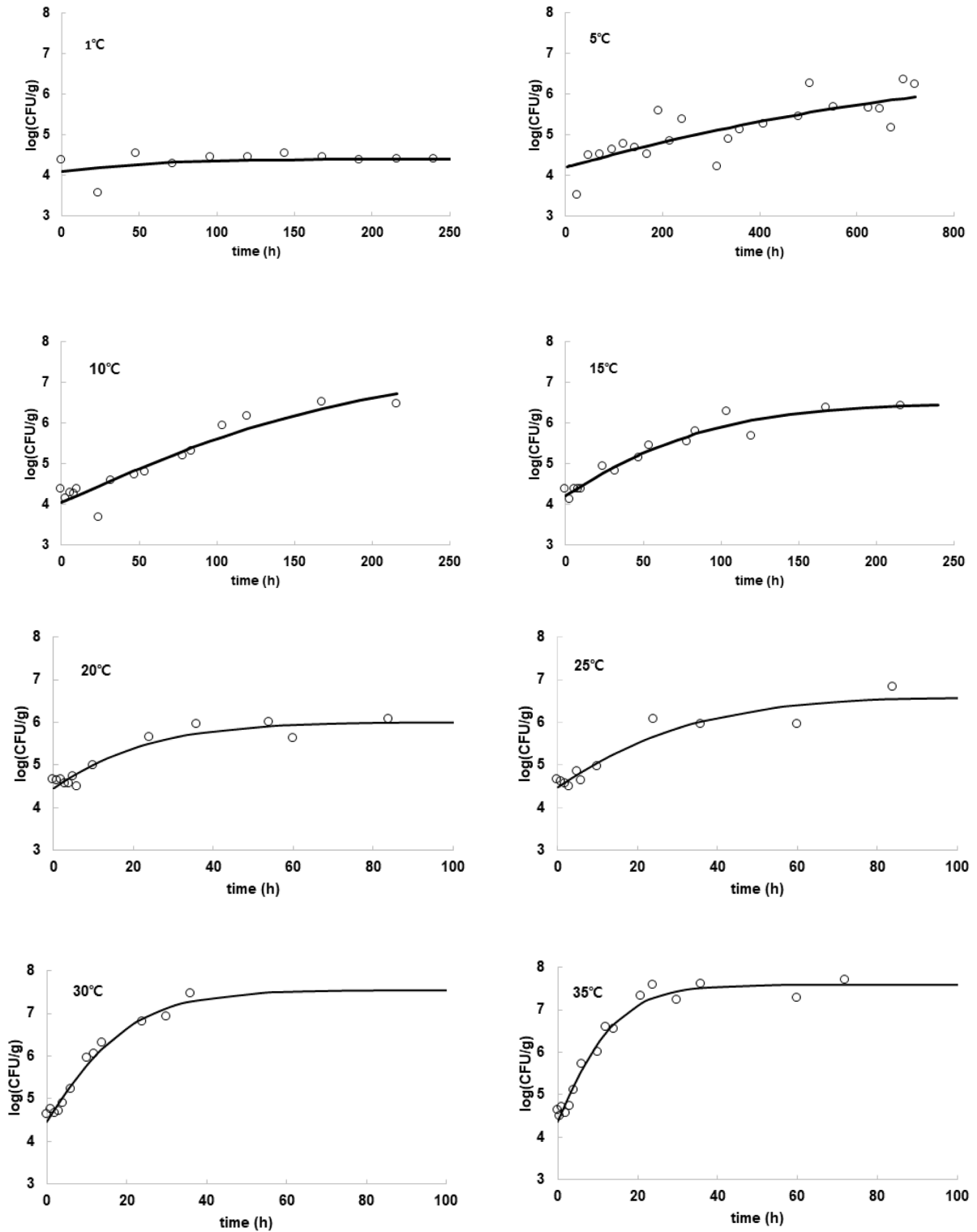


Fig. 1. Survival of *L. monocytogenes* on enoki mushroom during the storage at different temperatures.

섯에서 증식은 가능하지만 단백질 등 영양분이 풍부한 식품에서처럼 활발하게 증식하지는 못하는 것으로 나타났다. 즉 최대 증식량은 3.0 log CFU/g 수준이라는 것을 증명해

주는 결과라 할 수 있다. 국가표준식품성분표에 따르면 팽이버섯에는 100 g 당 수분 89.2 g, 단백질 2.2 g, 지질 0.22 g, 탄수화물 7.54 g이 함유되어 있으며 그 외에도 각종 무기

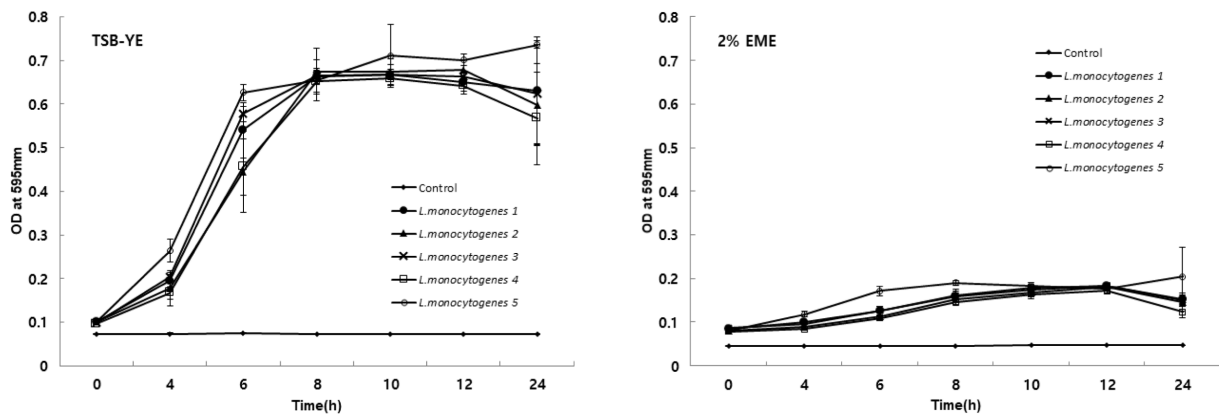


Fig. 2. Growth of *L. monocytogenes* isolated from enoki mushroom in (A) TSBYE and (B) 2% enoki mushroom extracts at 35°C.

Table 1. Reduction levels of *Listeria monocytogenes* inoculated on enoki mushrooms after treatment with 1-3% organic acids

Organic acids	Treatment time (min)	Concentration		
		1%	2%	3%
Acetic acid	10	1.49 ± 0.38 ^{A*a**}	1.49 ± 0.17 ^{Aa}	1.95 ± 0.07 ^{Aa}
	20	1.68 ± 0.31 ^{Aa}	1.80 ± 0.18 ^{Aab}	2.17 ± 0.14 ^{Aa}
	30	1.85 ± 0.39 ^{Aa}	1.96 ± 0.14 ^{Ab}	2.38 ± 0.11 ^{Aa}
Lactic acid	10	1.35 ± 0.62 ^{Aa}	1.92 ± 0.33 ^{Aa}	3.56 ± 0.58 ^{Ba}
	20	1.49 ± 0.58 ^{Aa}	2.14 ± 0.27 ^{Aab}	3.98 ± 0.36 ^{Ba}
	30	1.92 ± 0.09 ^{Aa}	2.92 ± 0.66 ^{Bb}	4.18 ± 0.15 ^{Ca}
Malic acid	10	1.30 ± 0.44 ^{Aa}	1.98 ± 0.40 ^{Aa}	3.31 ± 0.65 ^{Ba}
	20	1.83 ± 0.18 ^{Aab}	2.47 ± 0.18 ^{Ba}	4.12 ± 0.23 ^{Cb}
	30	2.23 ± 0.21 ^{Ab}	3.61 ± 0.22 ^{Bb}	4.12 ± 0.23 ^{Bb}

Reduction level(log CFU/g) = The number of *L. monocytogenes* before treatment - The number of *L. monocytogenes* after treatment.

*Means in the same row with different capital letters denote significant ($P < 0.05$) differences.

**Means in the same column with different lowercase letters denote significant ($P < 0.05$) differences.

질과 비타민이 포함되어 있는데 이러한 영양원들을 활용하여 증식 가능할 것으로 판단된다²⁰⁾.

유기산을 이용한 팽이버섯 중 *L. monocytogenes* 저감화 효과

팽이버섯 중 *L. monocytogenes*를 감소시키기 위하여 초산, 젖산, 말산을 처리하고 농도와 시간에 따른 저감화 효과를 나타낸 결과는 Table 1과 같다. 전반적으로 초산을 처리했을 때에 비하여 말산, 젖산을 처리한 실험구에서 *L. monocytogenes*의 저감효과가 높은 것으로 나타났으며 초산을 제외한 말산과 젖산의 처리 농도가 증가할수록 *L. monocytogenes*의 저감효과가 높은 것으로 나타났다 ($P < 0.05$). 처리 농도에 따른 유기산 종류별 저감효과를 보면 1%, 2%, 3% 초산을 10분간 처리하였을 때 저감효과는 각각 1.49 log CFU/g, 1.49 log CFU/g, 1.95 log CFU/g

가 감소하였다. 한편 1%, 2%, 3% 젖산을 10분간 처리하였을 때는 1.35 log CFU/g, 1.92 log CFU/g, 3.56 log CFU/g가 감소하였으며 말산을 농도별로 10분간 처리하였을 때는 젖산과 유사한 수준으로 감소하였다. 유기산 처리 시간에 따른 저감효과는 초산을 처리하였을 때는 유의적 차이가 없었으나 3% 말산을 처리하였을 때는 3.31 log CFU/g, 4.12 log CFU/g, 4.12 log CFU/g가 감소하여 처리 시간이 증가할수록 저감효과도 증가하는 것으로 나타났다 ($P < 0.05$). 이전에도 버섯에서 *L. monocytogenes*를 저감하려는 연구는 시도된 바 있다. Murray 등²¹⁾은 양송이버섯에 *L. monocytogenes*를 접종하고 3% 과산화수소, 70 ppm 과초산, 4 ppm 오존수, 전해수(ORP 700, 900 mV), 0.5% 키토산, 0.2% 젖산, 박테리오파지(5-7 PFU/100mL)를 30초간 처리하였으며 그 결과, 저감효과는 0.5 log CFU/g 내외로 미미한 수준으로 나타났다. 또한 UV와 2% 과산화

수소를 결합처리하였을 때 상승효과가 나타나긴 하였지만 저감효과는 1.0 log CFU/g 수준이었다. 하지만 Yoon 등²²⁾의 연구에 따르면 3% 젓산과 말산에 10분간 처리하였을 때 2.0 log CFU/g, 4.0 log CFU/g가 감소하였다고 보고하였다. 이는 저감화에 활용되는 소재와 처리 조건에 따른 차이가 상당히 큰 것으로 판단된다.

그리고 본 연구에 활용된 유기산이 *L. monocytogenes*와 같은 병원성 미생물에 살균효과를 보이는 이유는 유기산이 병원성 미생물의 지질막을 가로 질러 병원균을 내부로 유입되면 병원성 미생물 세포는 세포질에서 과도하게 유입된 양성자를 강제로 내보내게 되는데 이 과정에 많은 에너지가 소모되고 그 결과 에너지 고갈로 인해 세포가 사멸하게 된다고 알려져 있다. Ricke 등²³⁾과 Wang 등²⁴⁾의 연구에서도 0.5-2.0% 젓산을 처리하였을 때 병원성 미생물의 세포 내 단백질이 누출되고 세포질 막이 변성되었을 뿐만 아니라 *L. monocytogenes*의 세포 크기와 부피가 감소하였다고 보고하였다. 결국 유기산은 *L. monocytogenes*의 에너지 고갈과 세포 변성을 통하여 사멸시킨다고 할 수 있다.

이상의 결과들을 종합해 보면 말산, 젓산과 같은 유기산은 인체에 유해한 물질을 생성하지 않고 팽이버섯에 존재하는 *L. monocytogenes*를 효과적으로 제어할 수 있어 소비 단계에서 3% 젓산이나 말산에 10분 이상 침지한 후 팽이버섯을 조리해 활용하면 *L. monocytogenes*로부터 안전한 팽이버섯을 섭취할 수 있을 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호 : PJ01353601)의 지원에 의해 이루어진 것임

국문요약

본 연구는 수출 팽이버섯에서 *L. monocytogenes*가 검출되어 리콜 됨에 따라 팽이버섯의 안전성을 확보하기 위하여 유통 온도에 따른 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 생존을 조사하고 유기산을 이용한 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 저감화 기술을 개발하였다. 저장 온도에 따른 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 생존을 조사하기 위하여 *L. monocytogenes*가 오염된 팽이버섯(초기 농도 4.5 Log CFU/g)을 1-35°C에 각각 저장하고 균수변화를 조사하였다. 그 결과 팽이버섯을 1°C에 저장하였을 때 *L. monocytogenes*는 1개월 내에 증식하지 않았고 30°C, 35°C에서는 각각 36시간, 24시간 이내에 3.0 log CFU/g 증가하였다. 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*의 저감화를 위하여 1-3% 유기산 3종 (초산, 젓산, 말산)에 10-30분 동안 처리하였을 때 팽이버섯 중 *L. monocytogenes*는 초산보다는 말산, 젓산의

저감효과가 높았고 젓산과 말산의 처리 농도가 증가할수록 저감효과는 증가하는 것으로 나타났다. 3% 젓산과 말산을 10분 이상 처리하면 약 3.0 log CFU/g이상 감소하였다. 따라서 팽이버섯의 안전성을 확보하기 위해서는 수출할 때는 1°C 내외의 저온을 유지하고 소비단계에서는 3% 젓산과 말산에서 10분 정도 처리 후 섭취하는 것이 필요하다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflict of interest.

ORCID

Se-Ri Kim	https://orcid.org/0000-0001-6857-8317
Won-Il Kim	https://orcid.org/0000-0001-9032-1921
Jae-Hyun Yoon	https://orcid.org/0000-0002-8144-7458
Do-Yong Jeong	https://orcid.org/0000-0003-1876-2663
Song-Yi Choi	https://orcid.org/0000-0002-5343-2945
Injun Hwang	https://orcid.org/0000-0001-8960-9354
Nagendran Rajalingam	https://orcid.org/0000-0003-0585-4606

References

- Schlech, W., Foodborne listeriosis. *Clin. Infect. Dis.*, **31**(3), 770-775 (2000).
- Liu, D., Identification, subtyping and virulence determination of *Listeria monocytogenes*, an important foodborne pathogen. *J. Med. Microbiol.*, **55**(6), 645-659 (2006).
- Hilliard, A., Leong, D., O'Callaghan, A., Culligan, E.P., Morgan, C.A., DeLappe, N., Hill, C., Jordan, K., Cormican, M., Gahan, C.G., Genomic characterization of *Listeria monocytogenes* isolates associated with clinical listeriosis and the food production environment in Ireland. *Genes*, **9**(3), 171 (2018).
- Melo, J., Andrew, P., Faleiro, M., *Listeria monocytogenes* in cheese and the dairy environment remains a food safety challenge: The role of stress responses. *Food Res. Int.*, **67**, 75-90 (2015).
- Chen, M., Cheng, J., Wu, Q., Zhang, J., Chen, Y., Zeng, H., Ye, Q., Wu, S., Cai, S., Wang, J., Prevalence, potential virulence, and genetic diversity of *Listeria monocytogenes* isolates from edible mushrooms in Chinese markets. *Front Microbiol.*, **9**, 1711 (2018).
- Food Safety Authority of Ireland, (2020, April. 16). 1st Trimester National Microbiological Survey: Microbiological safety/quality of raw mushrooms. Retrieved from https://www.fsai.ie/uploadedfiles/raw_mushrooms.pdf
- Lee, J.E., Kim, S.A., Shim, W.B., Occurrence and reduction of *Listeria monocytogenes* in fresh produces. *Safe Food*, **13**(2), 24-33 (2018).

8. Centers for Disease Control and Prevention, (2020, April 25). Outbreak of *Listeria* infections linked to enoki mushrooms. Retrieved from <https://www.cdc.gov/listeria/outbreaks/enoki-mushrooms-03-20/index.html/>
9. Sekiya, S., Ohmori, K., Harii, K., Treatment of infectious skin defects or ulcers with electrolyzed strong acid aqueous solution. *Artif. Organs.*, **21(1)**, 32-38 (1997).
10. Seong, K.H., Kang, J.H., Song, K.B., Effects of combined acetic acid and UV-C irradiation treatment on the microbial growth and the quality of sedum during its storage. *Korean J. Food Preserv.*, **21(4)**, 581-586 (2014).
11. Lee, H.H., Hong, S.I., Kim, D.M., Microbiological characterization and chlorine treatment of buckwheat sprouts. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **41(4)**, 452-457 (2009).
12. Cliffe-Byrnes, V., O'Beirne, D., Effects of washing treatment on microbial and sensory quality of modified atmosphere (MA) packaged fresh sliced mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biol. Technol.*, **48(2)**, 283-294 (2008).
13. Ding, T., Rahman, S., Oh, D.H., Inhibitory effects of low concentration electrolyzed water and other sanitizers against foodborne pathogens on oyster mushroom. *Food Control*, **22(2)**, 318-322 (2011).
14. Ho, K.L.G., Luzuriaga, D.A., Rodde, K.M., Tang, S., Phan, C., Efficacy of a novel sanitizer composed of lactic acid and peroxyacetic acid against single strains of nonpathogenic *Escherichia coli* K-12, *Listeria innocua*, and *Lactobacillus plantarum* in aqueous solution and on surfaces of romaine lettuce and spinach. *J. Food Prot.*, **74(9)**, 1468-1474 (2011).
15. Park, S.H., Choi, M.R., Park, J.W., Park, K.H., Chung, M.S., Ryu, S., Kang, D.H., Use of organic acids to inactivate *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on organic fresh apples and lettuce. *J. Food Sci.*, **76(6)**, 293-298 (2011).
16. Stanojević-Nikolić, S., Dimić, G., Mojović, L., Pejčin, J., Djukić-Vuković, A., Kocić-Tanackov, S., Antimicrobial activity of lactic acid against pathogen and spoilage microorganisms. *J. Food Process. Preserv.*, **40(5)**, 990-998 (2016).
17. Cordero, N., Maza, F., Navea-Perez, H., Aravena, A., Marquez-Fontt, B., Navarrete, P., Different transcriptional responses from slow and fast growth rate strains of *Listeria monocytogenes* adapted to low temperature. *Front. Microbiol.* **7**, 229 (2016).
18. Leong, D., Alvarez-Ordóñez, A., Guillas, F., Ordan, K., Determination of *Listeria monocytogenes* growth during mushroom production and distribution. *Foods*, **2(4)**, 544-553 (2013).
19. González-Fandos, E., Olarte, C., Giménez, M., Sanz, S., Simón, A., Behaviour of *Listeria monocytogenes* in packaged fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*). *J. Appl. microbiol.*, **91(5)**, 795-805 (2001).
20. Rural development administration, 2016. The 9th Korean standard food composition table, development administration. Wanju, Korea. pp. 186-187.
21. Murray, K., Wu, F., Aktar, R., Namvar, A., Warriner, K., Comparative Study on the Efficacy of Bacteriophages, Sanitizers, and UV Light Treatments To Control *Listeria monocytogenes* on Sliced Mushrooms (*Agaricus bisporus*). *J. Food Prot.*, **78(6)**, 1147-1153 (2015).
22. Yoon, J.H., Chu, H., Jeong, D.Y., Choi, S., Hwang, I.J., Lee, S.Y., Kim, S.R., Decontamination of *Listeria monocytogenes* in enoki mushrooms using a 405-nm light-emitting diode illumination combined with organic acid dipping. *LWT Food Sci. Technol.*, **133**, 110048 (2020).
23. Ricke, S., Perspectives on the use of organic acids and short chain fatty acids as antimicrobials. *Poult. sci.*, **82(4)**, 632-639 (2003).
24. Wang, C., Chang, T., Yang, H., Cui, M., Antibacterial mechanism of lactic acid on physiological and morphological properties of *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, **47**, 231-236 (2015).