



과제구분	기본	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
안전농산물 생산을 위한 작물안전성 연구		농산물 안전성	'23~'24	농업기술원 환경농업연구과	한정아
느타리 유해미생물 현황조사 및 관리기술 개발		농산물 안전성	'23~'24	농업기술원 환경농업연구과	조동현
색인용어	농산물, 느타리, 유해미생물, 식중독세균				

ABSTRACT

Oyster mushrooms are widely consumed for their nutritional and functional benefits. However, contamination by pathogenic microorganisms during production and distribution poses a food safety risk.

The monthly relative detection levels of hygienic indicator bacteria in the fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus* exhibited an increasing trend beginning in June, with aerobic bacteria reaching their peak in September and coliforms showing the highest detection level in October.

Among the 60 oyster mushroom samples collected from farms, *Bacillus cereus* was detected in 24 (40%) and *Staphylococcus aureus* in one, while pathogenic *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella* spp. were not detected. *B. cereus* was consistently detected across seasons, highlighting the need for strict hygiene throughout cultivation.

Qualitative analysis of hygiene indicator bacteria (total bacteria and coliforms) and pathogenic microorganisms at different stages of mushroom cultivation showed that hygiene indicator bacteria were most concentrated in the growing room, packaging area, and cooling room. In particular, *B. cereus* exhibited the highest contamination levels on the walls (3.83 log CFU/m²), floors (3.82), and cultivation shelves (3.22) of the growing room. These findings suggest a potential risk of cross-contamination during post-harvest handling and highlight the importance of maintaining facility cleanliness and proper hygiene management for workers.

Seven natural antimicrobial agents, including “GyunOpa,” were tested for their activity against *B. cereus*. When these agents, which showed antimicrobial effects against *B. cereus*, were applied during oyster mushroom cultivation, no phytotoxicity was observed. Eugenol, a component of clove extract in “GyunOpa,” effectively inhibited *B. cereus* and *S. aureus*. These agents may enhance the microbial safety of oyster mushrooms by controlling pathogenic microorganisms.

Key words: Agricultural products, Oyster mushroom, Pathogenic microorganisms, Foodborne bacteria

1. 연구목표

느타리는 담자균문 주름버섯목 느타리과에 속하는 식용 버섯으로 한국을 포함하여 전 세계적으로 분포하고 있다(Oh *et al.*, 2017). 국내 버섯생산량은 1990년대 이후 자동화된 병재배기술과 생산시설의 발전으로 대규모 생산과 연중생산 체계가 구축되어 버섯의 생산과 소비가 증가하는 추세이다(Lee *et al.*, 2018). 2023년 기준으로 국내 버섯 생산량은 154,623톤이며, 이 가운데 느타리는 58,879톤으로 버섯 생산량의 38%를 차지하는 주요 버섯이다. 경기도는 느타리버섯의 주요 생산지로 2023년도에 42,935톤을 생산하여 전국 느타리 생산량의 72.9%를 차지하는 경제적으로 중요한 농산물로 자리 잡게 되었다(MAFRA, 2024a).

버섯 수출은 국내 버섯 산업의 국제 경쟁력이 높아지면서 2019년도에 22천톤의 버섯이 팽이버섯을 중심으로 미국 등 전세계적으로 수출하게 되었다(MAFRA, 2024b). 그러나, 코로나19 확산과 함께 한국산 팽이버섯에서 리스테리아(*Listeria*)균 검출로 인하여 안전성 문제가 제기되었고 이로 인해 2023년에는 수출량이 12천톤으로 급격히 감소하게 되었다(Lee *et al.*, 2022).

*L. monocytogenes*는 상온과 냉장 상태에서도 생존 가능한 병원성 미생물로, 한국산 팽이버섯에서의 검출 사례는 2020년 미국 CDC(질병통제예방센터)에 의해 보고되었고, 이에 따라 미국 FDA(식품의약국)와 USDA(농무부)는 한국산 팽이버섯에 대한 수입 제한 및 리콜 조치를 취하였다(CDC, 2020). 팽이버섯은 유럽의 경우 샐러드용으로 분류되어 즉석 섭취 기준을 적용하여 *L. monocytogenes*를 100 CFU/g 이하로 규정하고 있다(FSAI, 2006). 반면, 국내에서의 팽이버섯은 주로 가열 조리하여 섭취되므로 *L. monocytogenes*에 의한 식중독 사례는 발생하지 않았고, 현재까지 리스테리아에 대한 별도의 관리 규정은 마련되어 있지 않다. 또한, 느타리버섯을 포함한 표고, 새송이, 양송이 등의 국내 생산 버섯에서 *L. monocytogenes*는 검출되지 않았다(Yang, 2021).

느타리버섯은 생육 온도 15~20°C, 습도 90% 이상에서 재배되며, 밀폐된 재배사 내부에서 광차단과 환기 시스템을 통해 공기를 순환시키는 환경에서 재배되고 있다. 이러한 환경은 버섯뿐만 아니라 다른 미생물들이 번식하기에 적합한 조건을 제공한다. 따라서, 느타리버섯의 생산과정에서 병원성 미생물이 오염되는 것을 방지하려면 재배 환경 관리, 수확 후 관리 및 수확 과정에서 사용하는 도구나 기계에 대하여 철저한 위생 관리가 필요하다. 또한, 작업자의 개인 위생관리를 철저히 하고 병원성 미생물의 위험성과 이를 방지하기 위한 추가적인 위생 관리 방법에 대한 연구가 필요하다.

본 연구는 경기지역에서 생산되는 느타리버섯에 대해 위생지표세균과 병원성 미생물의 오염도를 조사하여 유해미생물 저감 방안을 구명하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 느타리 유해미생물 모니터링

가. 시료 채취 대상 및 방법

2023년부터 2024년까지 2년간 경기지역 느타리버섯 재배 농가를 대상으로 2월부터 10월까지 느타리 시료를 수집하였다. 분석시료는 채취 시 알코올로 소독한 칼을 사용하였다. 모든 시료는 냉장상태로 실험실로 운반하였으며, 시료채취 후 24시간 이내에 실험에 사용되었다.

나. 위생지표세균(호기성세균, 대장균군) 정량분석

위생지표세균(호기성세균, 대장균군)의 정량분석을 위해서 검체 25g을 취하여 멸균 생리식염수(Saline, Microgiene, South Korea) 225mL와 혼합한 후 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료는 멸균생리식염수를 이용하여 10배 단계 희석하였다. 위생지표세균은 농도별 희석액 1mL를 건조필름배지(3M petrifilm, 3M, St. Paul, MN, USA)에 분주하여 배양한 후 colony를 계수하였다. 배양조건은 호기성세균은 35°C에서 48시간, 대장균군은 35°C에서 24시간으로 하였다.

다. 병원성대장균, *B. cereus*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes* 정성분석

병원성대장균, *B. cereus*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*의 정성분석을 위해서 검체 25g을 취하여 TSB(Tryptic Soy Broth, MBcell, South Korea), UVMB(UVM Modified Listeria Enrichment Broth, MBcell, South Korea) 225mL와 혼합한 후 2분간 균질화하였다. TSB에서 균질화된 시료는 35°C에서 24시간, UVMB에서 균질화된 시료는 35°C에서 48시간 배양하였으며 DNA 추출 후 PCR을 진행하였다. *B. cereus*, *S. aureus*의 경우 양성인 확인된 시료에 한해 추가적으로 독소 유전자 분석을 PCR로 진행하였다.

<시험 2> 느타리 유해미생물 오염 요인 평가 및 유입경로 구명

가. 시료 채취 대상 및 방법

<시험 1> 결과 *B. cereus*가 검출된 3개 농가 대상으로 해당 균의 유입경로를 구명하기 위해 버섯 재배사의 주요 시설에서 시료를 연 5회 채취하였다. 시료채취 지점은 냉각실(벽체, 바닥), 집종실(벽체, 바닥), 배양실(벽체, 바닥, 배양병), 균굽기(칼날), 생육실(벽체, 바닥, 배양병, 생육대, 가습기), 포장실(벽체, 바닥, 수확칼, 선반) 예냉실(벽체, 바닥)로 유해미생물 오염 가능성이 있는 위치로 선정하였으며, 채취한 시료수는 표 1과 같다. 표면 시료 채취는 swab kit(3M Pipet Swab Plus, Korea 3M, Seoul, Korea)를 이용하여 각 조사 지점의 100 cm² 표면을 문질러 수집하였으며, 농업용수 시료는 멸균 채수병을 사용하여 채취하였다. 모든 시료는 냉장상태로 실험실로 운반하였으며, 시료채취 후 24시간 이내에 실험을 실시하였다.

표 1. 느타리재배 주요시설 및 농업용수 시료수

지점	벽체	바다	배양병	균굽기 칼날	생육대	수확칼	선반	가습기
냉각실	15	15	0	0	0	0	0	0
접종실	15	15	0	0	0	0	0	0
배양실	15	15	15	0	0	0	0	0
균굽기	0	0	0	15	0	0	0	0
생육실	15	15	15	0	15	0	0	15
포장실	10	10	0	0	0	15	15	0
예냉실	15	15	0	0	0	0	0	0
합 계	85	85	30	15	15	15	15	15

나. 위생지표세균, *B. cereus* 정량분석

위생지표세균(호기성세균수, 대장균군)의 정량분석 방법은 <시험 1>과 동일하며, *B. cereus* 정량분석을 위해서 검체 25g을 취하여 멸균생리식염수(Saline, Microgiene, South Korea) 225mL와 혼합한 후 2분간 균질화하였다. 균질화된 시료는 멸균생리식염수를 이용하여 10배 단계 희석하였다. 농도별 희석액을 각각 100μL씩 취해 MYPA (Mannitol Egg YolK Polymyxin Agar, MBcell, South Korea) 배지에 도말하여 35°C에서 24시간 동안 배양한 후 형성된 콜로니를 계수하였다.

다. 병원성대장균, *B. cereus*, *S. aureus*, *Salmonella spp.*, *L. monocytogenes* 정성분석
병원성대장균, *B. cereus*, *S. aureus*, *Salmonella spp.*, *L. monocytogenes*의 정성분석은 <시험 1>과 동일하게 분석하였다.

<시험 3> 느타리 유해미생물 저감 및 저장성 향상기술 개발

*B. cereus*의 성장을 효과적으로 억제할 수 있는 물질을 선별하기 위하여 유기농업 자재 및 천연추출물 등의 항균 활성을 조사하였다. 본 실험에 사용된 유기농업자재 및 천연추출물은 표 2와 같다. 항균 활성 평가는 디스크 확산법(Disk Diffusion Test)을 적용하였으며 각각의 항균제는 10배 희석하여 처리하였다. 실험은 TSA(Tryptic Soy Agar, MBcell, South Korea) 배지에 *B. cereus* 균주를 균일하게 도말한 후, 직경 8mm의 페이퍼디스크(Paper disk filter, Advantec, Tokyo, Japan)에 각 희석된 항균제를 처리하여 배지 위에 올리고 30°C에서 24시간 배양하였다. 배양 후 페이퍼디스크 주변에 형성된 저지환(zone of inhibition)의 크기를 측정하여 각 시료의 *B. cereus*의 성장 저해 효과를 평가하였다. 항균활성이 우수한 시료는 느타리버섯 병재배 단계에서 버섯 표면에 분무 살포하여 약해 발생 유무를 관찰하였다. 선별된 7종의 항균제는 각각의 추천 희석배수로 희석하여 *B. cereus*와 *S. aureus*를 대상으로 항균활성을 측정하였다. 또한



항균력이 우수한 시료의 주요 항균 성분인 Eugenol에 대하여 *B. cereus*와 *S. aureus*에 대한 항균력을 디스크확산법을 통해 추가적으로 평가하였다.

표 2. *B. cereus* 및 *S. aureus* 항균활성 평가에 사용된 유기농업자재 및 천연추출물

구분	품목
유기농업자재 (36종)	균○파, 오○라, 랜○○이버유제, 모○쌈, 바○○이신액상, 박○○골드, 자○황, 진○, 티○○스골드, 박○호, 케○○이오, 그○○수, 대○○사탄, 진○○골드, J-○○터, 톡○○ 파워, 쓰○고, 충○○골드, 대○○진쌈, 칭○○패, 아○○왕, 트○텍, 희○줄, 온○이, 응○이, 어○리, 마○○충, 단○탄, 멸○○장골드, 그○○유제, 대○○라즈마님유제, 뉴○청, 응○, 멜○줄, 사○유, 선○
식물 추출물 (11종)	계피 추출물, 고삼 추출물, 레몬 추출물, 박하 추출물, 오메자 추출물, 은행잎 추출물, 티트리 추출물, 페퍼민트 추출물, 프로폴리스 추출물, 황백 추출물, 자몽씨 추출물
천연 오일 (6종)	넙 오일, 동백 오일, 오렌지 에센셜 오일, 티트리 에센셜 오일, 피마자 오일, 페퍼민트 에센셜 오일

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 느타리 유해미생물 모니터링

느타리버섯의 위생학적 품질을 평가하기 위해 2월부터 10월까지 9개월간 위생지표 세균인 호기성세균과 대장균군의 월별 상대적 검출 수준을 조사하였다(그림 1). 그 결과, 호기성세균은 9월에 가장 높은 검출 수준(100%)을 보였으며, 7월(74.1%)과 8월(53.6%)에서도 상대적으로 높은 수치를 나타냈다. 반면, 4월에는 0.9%로 가장 낮았고, 2월부터 6월까지의 전반적으로 20% 이하의 낮은 수준을 유지하였다. 대장균군은 2월부터 4월까지 0.04%의 매우 낮은 수준으로 검출되었으며, 이후 8월 16.2%, 9월 74.0%로 증가하였고, 10월에는 최고치인 100%로 나타났다.

이러한 결과는 봄철의 낮은 온도와 습도가 미생물의 생장에 불리하게 작용하여 세균 검출량이 전반적으로 낮았던 반면, 여름철로 접어들면서 상승한 온도와 습도가 미생물 증식에 유리한 환경을 제공함에 따라 외부 오염원의 유입 및 증식이 활발해져 검출 수준이 증가한 것으로 판단된다.

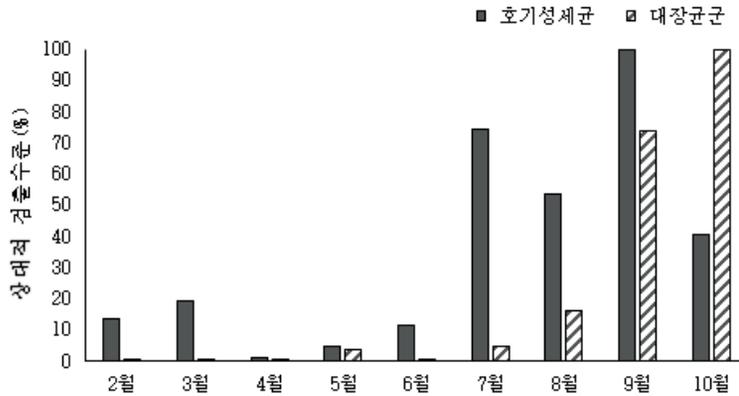


그림 1. 느타리버섯 자실체에서 호기성세균과 대장균군의 월별 상대적 검출 수준

시기별 느타리버섯의 유해미생물 정성 분석 결과는 표 3과 같다. 분석 결과, *B. cereus*는 전체 시료 60건 중 총 24건에서 검출되었으며, *S. aureus*는 단 1건에서 검출되었다. 반면, 병원성대장균, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp.는 모든 시료에서 검출되지 않았다.

표 3. 시기별 느타리버섯의 유해미생물 정성분석 결과 (단위: 건)

농가	시기	시료수	병원성대장균	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> spp.
A	2월	3		3			
	6월	3	ND	ND	ND	ND	ND
	9월	3		ND			
	10월	3		2			
B	2월	3		3			
	3월	3	ND	ND	ND	ND	ND
	6월	3		ND			
	9월	3		ND			
C	4월	3		ND			
	8월	3	ND	3	ND	ND	ND
	9월	3		2			
	10월	3		ND			
D	4월	3		ND	1		
	9월	3	ND	ND	ND	ND	ND
	10월	6		3	ND		
E	5월	3		3			
	9월	6	ND	5	ND	ND	ND
	10월	3		ND			
합 계		60	ND	24	1	ND	ND

※ ND: Not Detected

*B. cereus*는 토양 및 농산물에서 흔히 발견되며, 음식 섭취 후 식중독을 유발할 수 있는 병원성 미생물로 알려져 있다. 조사 결과, *B. cereus*는 특정 생산 시기와 관계없이 꾸준히 검출되는 경향을 보였다. 식품의약품안전처의 ‘식품의 기준 및 규격’에 따르면 *B. cereus*의 허용 기준은 생식류, 즉석섭취식품 및 편의식품에서 g당 1,000 CFU 이하로 정하고 있다. *S. aureus*는 장독소(enterotoxin)를 생산하는 대표적인 식중독균으로 자연계에 널리 분포하여 농축산물 생산 과정에서 쉽게 오염될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 *B. cereus*가 검출률이 높았던 A, C, E 농가를 중심으로 오염 경로 및 발생 원인을 순차적으로 추적하는 것이 중요할 것으로 판단되었다.

<시험 2> 느타리 유해미생물 오염 요인 평가 및 유입경로 구명

<시험 1>에서 *B. cereus*가 검출되었던 A, C, E 농가에 대한 느타리버섯 재배단계별 위생지표세균 및 *B. cereus*의 정량분석 결과는 표 4와 같다. 위생지표세균인 호기성세균과 대장균군은 주로 생육실, 포장실, 예냉실에서 높게 나타났다. 호기성세균은 생육실 생육대, 균굽기 칼날, 생육실 바닥, 예냉실 바닥에서 각각 8.31, 7.79, 7.42, 7.18 log CFU/m²순으로 높게 나타났다. 대장균군은 생육실 바닥, 균굽기 칼날, 생육실 배양병, 예냉실 벽체에서 각각 4.97, 4.73, 4.25, 3.69 log CFU/m²순으로 높게 나타났다. *B. cereus*는 주로 생육실(벽체 3.83, 바닥 3.82, 생육대 3.22 log CFU/m²), 포장실(벽체 0.89, 바닥 1.53 log CFU/m²), 균굽기 칼날(0.42 log CFU/m²) 및 배양실 바닥(1.65 log CFU/m²)에서 검출되었다.

느타리버섯 재배단계별 유해미생물 정성분석 결과는 표 5와 같다. 분석 결과 병원성대장균, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp.는 모든 시료에서 검출되지 않아 일부 병원성 미생물에 대한 위생 관리 상태는 양호한 것으로 나타났다. 그러나 *B. cereus*는 생육실 벽체(12건), 생육실 바닥(12건), 생육대(12건), 가습기(9건), 생육실 배양병(6건), 예냉실 벽체(6건), 예냉실 바닥(6건), 배양실 바닥(6건), 냉각실 바닥(5건), 수확칼(5건), 포장실 바닥(5건), 수확 선반(4건), 접종실 바닥(2건), 균굽기 칼날(2건), 포장실 벽체(2건)의 순으로 검출되었다.

생육실의 버섯 재배 환경 조건은 온도 15~20°C, 습도 95% 이상으로 호기성세균과 *B. cereus*가 증식하기에 적합한 환경이다. 특히 생육실의 생육대에는 버섯 찌꺼기, 배지 잔재물, 포자 등이 슬러지 형태로 축적되어 세균의 먹이원이 되므로, 이로 인해 세균 밀도가 높아진 것으로 판단된다. 생육실 바닥과 벽체에서도 높은 농도의 세균이 검출되었는데, 이는 냉난방기 내부에 포자 잔재물과 찌꺼기가 축적되면서 세균이 번식하고, 냉난방기 작동 시 증식된 세균이 생육실 전체로 확산되어 나타난 결과로 추정된다. 따라서 생육실의 위생지표 세균을 감소시키기 위해서는 철저한 청소 및 건조 관리를 수행하고, 버섯 수확 후에는 배양병을 신속히 제거하여 세균 증식을 최소화해야 한다. 또한, 냉난방기는 주기적인 청소가 이루어져야 한다.

표 4. 느타리버섯 재배단계별 위생지표세균 및 *B. cereus* 정량분석 결과

(단위: log CFU/m²)

지점		호기성세균		대장균군		<i>B. cereus</i>	
		평균±표준편차	최대	평균±표준편차	최대	평균±표준편차	최대
냉각실	벽체	2.37±1.3	3.52	0.17±0.6	2.52	ND	-
	바닥	4.16±1.3	6.02	ND	-	1.26±1.8	4.22
접종실	벽체	1.93±1.7	4.22	ND	-	ND	-
	바닥	5.63±1.5	8.50	ND	-	0.47±1.2	3.52
배양실	벽체	2.85±1.3	4.61	ND	-	ND	-
	바닥	4.36±1.5	6.96	0.62±1.3	3.67	1.65±2.1	4.52
	배양병	2.15±1.4	3.56	ND	-	ND	-
균굽기	칼날	7.79±3.4	11.15	4.73±4.1	9.09	0.42±1.6	6.30
	벽체	6.45±0.7	7.99	2.07±1.8	4.47	3.83±2.8	6.56
생육실	바닥	7.42±1.0	9.20	4.97±1.7	6.74	3.82±2.8	6.59
	배양병	6.94±1.0	8.53	4.25±2.5	6.79	1.04±2.2	5.52
	생육대	8.31±1.2	10.06	3.14±2.3	7.23	3.22±2.8	6.52
	가습기	0.60±0.9	2.95	0.07±0.3	1.01	0.07±0.2	0.84
포장실	벽체	4.70±1.4	5.90	1.29±1.7	4.01	0.89±1.9	5.52
	바닥	7.02±2.2	8.94	3.02±2.4	5.75	1.53±2.7	6.52
	수확칼	5.19±1.4	8.15	1.64±2.1	4.23	0.35±1.1	3.52
예냉실	선반	6.98±1.4	8.88	1.29±2.1	5.00	0.58±1.8	5.82
	벽체	6.89±1.5	10.18	3.69±2.9	7.13	0.73±1.9	6.00
	바닥	7.18±1.7	10.77	3.59±3.3	8.26	0.25±1.0	3.82

※ ND: Not Detected

예냉실은 수확된 버섯을 포장하기 전에 품온을 낮추기 위해 저온(2~4℃)으로 관리하는 공간이다. 예냉실에서 위생지표세균 밀도가 높은 이유는 버섯 배지 잔여물과 찌꺼기 등이 바닥에 떨어지고, 작업자의 빈번한 출입으로 인한 외부 오염이 유입된 결과로 추정된다. 또한 생육 중 버섯 표면에 증식된 세균이 예냉실 내부 공기 순환 과정에서 공간 전체로 전파되어 세균 밀도가 증가했을 것으로 판단된다.

포장실은 생육 단계에서 이미 오염된 버섯이 수확 및 포장 과정에서 작업자의 손이나 포장 기자재를 통해 오염이 확산될 가능성이 높다. 또한 포장실 바닥에는 작업 중 떨어진 버섯 찌꺼기, 배지 등 다양한 부산물이 존재하며 작업자들의 잦은 출입으로 위생지표 세균의 증식 가능성이 크다. 따라서 포장 중 주기적인 바닥 청소와 철저한 작업자 위생관리를 통해 교차 오염을 방지해야 한다.

균굽기 칼날과 포장 선반에서도 높은 오염 수준이 확인되었는데, 이는 작업 도구의 반복



사용과 위생 관리에 대한 작업자의 인식 부족이 원인으로 생각된다. 균굽기 칼날에서 *B. cereus*가 검출된 것은 작업 도구가 세균의 주요 교차 오염 매개체임을 시사한다. 오염 전파를 방지하기 위해 작업 도구는 사용 후 즉시 철저히 세척하고 소독해야 한다.

배양실과 접종실 바닥에서는 위생지표 세균과 유해 세균이 상대적으로 낮게 검출되었으나, 작업자의 손과 신발, 공기 중 부유 입자 등을 통해 전파될 가능성이 있으므로 출입 시 위생적인 작업 절차 및 소독 과정이 필요하다. 또한 배양실 내부로 주입되는 공기는 별도의 여과 시스템을 설치하여 오염된 외부 공기의 유입을 철저히 차단해야 한다.

표 5. 느타리버섯 재배단계별 유해미생물 정성분석 결과

(단위: 건)

지점	시료수	병원성 대장균	<i>B. cereus</i>	<i>S. aureus</i>	<i>L. monocytogenes</i>	<i>Salmonella</i> spp.
냉각실	벽체	15	ND	ND		
	바닥	15	ND	5	ND	ND
접종실	벽체	15	ND	ND		
	바닥	15	ND	2	ND	ND
배양실	벽체	15		ND		
	바닥	15	ND	6	ND	ND
	배양병	15		ND		
균굽기	칼날	15	ND	2	ND	ND
생육실	벽체	15		12		
	바닥	15		12		
	배양병	15	ND	6	ND	ND
	생육대	15		12		
	가습기	15		9		
포장실	벽체	10		2		
	바닥	10	ND	5	ND	ND
	수확칼	15		5		
	선반	15		4		
예냉실	벽체	15	ND	6	ND	ND
	바닥	15		6		
합 계	275	ND	94	ND	ND	ND

※ ND: Not Detected

<시험 3> 느타리 유해미생물 저감기술 개발

*B. cereus*에 대한 항균활성을 평가하기 위해 유기농업자재 및 천연추출물 53종을 대상으로 디스크확산법(10배 희석)을 수행한 결과는 그림 2와 같다. 이 중 저해환(zone of inhibition) 지름이 15mm 이상을 나타내어 상대적으로 우수한 항균 효과를 보였던 자재는 균○과, 랜드○○○유제, 바이○○○액상, 박스타○○, 대유○○○, 멸충○○폴드, 선○ 총 7종이었다.

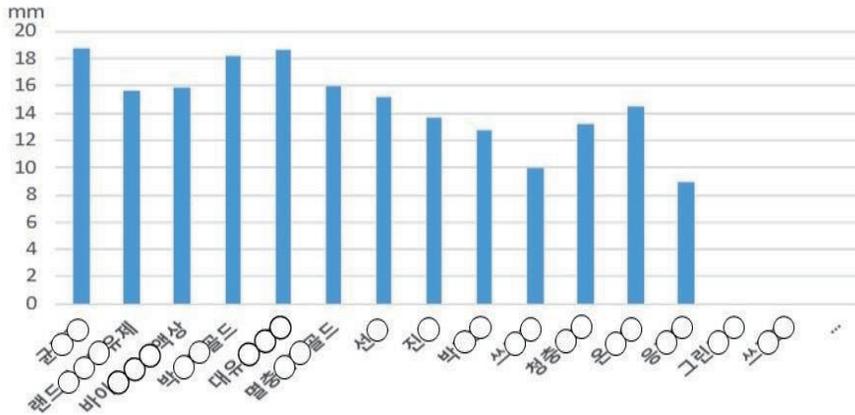


그림 2. 유기농업자재 및 천연추출물의 *B. cereus* 생육저해환 지름

선발된 유기농업자재 7종을 느타리버섯 자실체에 분무 처리하여 약해 발생 여부 및 생육 특성을 평가한 결과는 표 6과 같다. 시험 결과 처리한 모든 자재에서 약해는 발생하지 않았으며, 느타리버섯의 생육 및 수량에도 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.

표. 6. 선발된 유기농업자재 7종의 분무 처리별 느타리버섯 약해 발생 유무 및 생육 특성

구분	자실체 기형발생유무	갓직경 (mm)	갓두께 (mm)	대직경 (mm)	대길이 (mm)	유효 경수 (개/병)	수량 (g/병)
귤과	무	25.3	13.5	9.4	65.1	31.1	172.3
랜드세이버	〃	24.1	13.1	10.1	64.6	26.9	168.4
바이마이신	〃	22.7	13.1	11.2	68.7	27.2	171.5
박스타폴드	〃	23.6	11.6	10.7	62.4	22.3	158.9
대유총사탄	〃	23.8	10.3	9.9	56.4	28.8	161.4
멀충대장골드	〃	22.9	11.7	10.5	60.9	21.4	159.0
선초	〃	24.4	11.3	9.8	60.1	22.2	166.8
대조(무처리)	〃	23.6	10.5	9.0	61.1	22.4	164.0

선발된 유기농업자재 7종을 권장 희석 배수별로 희석하여 *B. cereus*와 *S. aureus*에 대한 생장 억제 효과를 평가한 결과, '귤〇과' 1종에서만 유의한 항균 활성을 나타냈다. '귤〇과'의 주요 성분은 목초액과 정향추출물로 구성되어 있으며, 정향추출물의 주된 항균성분은 Eugenol이다. 추가적으로 *B. cereus*에 대한 항균활성을 평가하기 위해 Eugenol(24% 농도)을 대상으로 디스크확산법을 수행한 결과 *B. cereus*와 *S. aureus*에 대해 각각 13.4mm, 12.0mm 크기의 생육저해환을 형성하였다(그림 3). 이 등(2004)의 연구



에서는 정향 메탄을 추출물이 5% 농도에서 *S. aureus*에 대해 17mm 크기의 생육저해환을 형성한다고 보고하였다. Cui 등(2023)은 정향나무(*Syzygium aromaticum*)에서 추출한 Eugenol 성분이 *B. cereus* 및 그 포자에 대해 강력한 항균 활성을 보이며, 세균의 세포막 손상, 이온 불균형 유도, DNA 결합 등을 통해 정상적인 성장과 대사활동을 저해한다고 보고한 바 있다. 또한 Zhang 등(2024)은 Eugenol 추출물이 6종의 *B. cereus* 균주에 대하여 우수한 성장 억제 및 감소 효과가 있음을 보고하였다.

본 연구에서도 정향유(Clove oil)의 주요 활성 성분인 Eugenol이 *B. cereus*와 *S. aureus*의 성장을 효과적으로 억제할 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 식품 안전성 확보와 유해미생물 제어를 위한 천연 항균제 개발의 이론적 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구에서는 선발된 물질들의 작용 기전을 더욱 구체적으로 분석하고, 다양한 환경 조건에서의 항균 효과를 검증하여 느타리버섯의 미생물 안전성을 향상시키는 방안이 마련되어야 할 것이다.

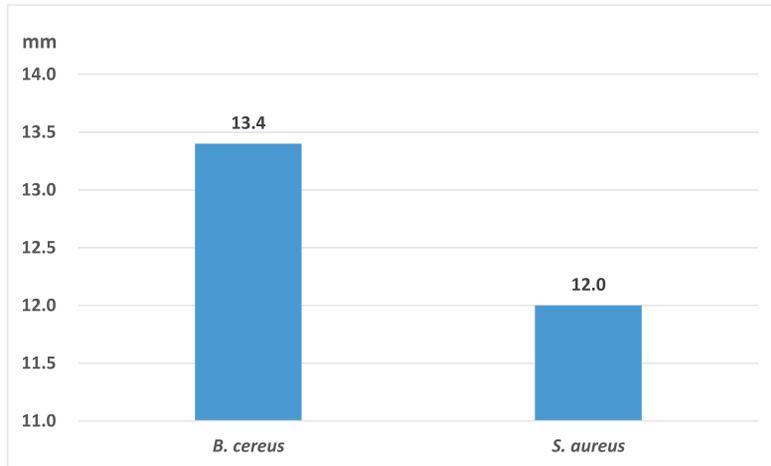


그림 3. Eugenol(24% 농도)의 *B. cereus* 및 *S. aureus*의 생육저해환 지름

4. 적 요

본 연구는 경기지역 느타리버섯과 주요 재배시설의 미생물학적 안전성을 평가하고 유해미생물 저감방안을 구명하고자 수행하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

<시험 1> 느타리 유해미생물 모니터링

- 가. 느타리버섯 자실체에서의 위생지표세균에 대한 월별 상대 검출 수준은 6월부터 증가하는 경향을 보였으며, 호기성 세균은 9월에, 대장균군은 10월에 각각 최고치를 나타냈다
- 나. 느타리버섯의 유해미생물 정성 분석 결과, 전체 시료 60건 중 *B. cereus*는 24건, *S. aureus*는 1건에서 검출되었다.

<시험 2> 느타리 유해미생물 오염 요인 평가 및 유입경로 구명

- 가. <시험 1>에서 *B. cereus*가 검출되었던 A, C, E 농가에 대한 느타리버섯 재배단계별 위생지표세균 및 *B. cereus* 정량분석 결과 호기성세균과 대장균군은 주로 생육실, 포장실, 예냉실에서 높게 나타났으며, *B. cereus*는 생육실(벽체 3.83, 바닥 3.82, 생육대 3.22 log CFU/m²), 포장실(벽체 0.89, 바닥 1.53 log CFU/m²), 균굽기 깔날(0.42 log CFU/m²) 및 배양실 바닥(1.65 log CFU/m²)에서 주로 검출되었다.
- 나. 느타리버섯 재배단계별 유해미생물 정성 분석 결과, 전체 시료 275건 중 *B. cereus*는 생육실 75건 중 51건, 포장실 50건 중 16건, 예냉실 30건 중 12건, 배양실 45건 중 6건, 냉각실 30건 중 5건에서 검출되었다.

<시험 3> 느타리 유해미생물 저감기술 개발

- 가. 느타리버섯 주요 재배시설 환경에서 검출된 *B. cereus*에 대한 항균 활성을 평가하기 위해 유기농업자재 및 천연추출물 53종을 대상으로 디스크 확산법을 수행한 결과, '균○파'에서 유의한 항균 활성이 확인되었다. 또한, 느타리버섯 자실체에 분무 처리한 결과 약해가 발생하지 않았으며, 생육 특성과 수량에도 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다.
- 나. 균○파의 주요 성분인 Eugenol(24% 농도)을 대상으로 디스크 확산법을 수행한 결과, *B. cereus*와 *S. aureus*에 대해 각각 13.4mm, 12.0mm 크기의 생육저해환을 형성하여 두 균주의 생장을 효과적으로 억제할 수 있음을 확인하였다.

5. 인용문헌

- Centers for Disease Control and Prevention. 2020. *Listeria*(*Listeriosis*) outbreaks.
- Cui H, Yang M, Chen XC, Li C, Lin L. 2023. Mechanism of eugenol inhibiting the growth of vegetative cells and spores of *Bacillus cereus* and its application in rice cakes. *Food Bioscience*. 54.
- Food Safety Authority of Ireland. 2006. 1st trimester national microbiological survey 2006(06NS1): Microbiological safety/quality of raw mushrooms.
- Lee CJ, Lee SH, Lee EJ, Park HS, Kong WS. 2018. Analysis of growth environment for precision cultivation management of the oyster mushroom 'Suhan'. *J Mushrooms*. 16(3): 155-161.
- Lee HK, Jeon JH, Lee JS, Yoon SY, Kim WY, Yoon KS. 2022. Effect of control measures on the contamination and growth inhibition of *Listeria monocytogenes* in *Flammulina velutipes*. *J Mushrooms*. 20(2): 78-85.
- Lee OH, Jung SH and Son JY. 2004. Antimicrobial activity of clove extract by extraction solvents. *J. Korean Soc Food Sci Nutr*. 33(3): 494-499.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2024a. Cash crop production records.
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2024b. Import and export trends and statistics of agricultural, forestry, and fishery products.
- Oh MJ, Im JH, Shin PG, Oh YL, Jang KY, Kong WS. 2017. Characterization and breeding of a new cultivar *Pleurotus ostreatus* 'Heuksol'. *J Mushrooms*. 15(3): 129-133.
- Yang CW. 2021. Inspection for *Listeria monocytogenes* in Enoki mushrooms distributed in Korea. Master's Thesis. Korea University, Seoul, Korea.
- Zhang Y, Yang Z, Huang Q, Zhan X, Liu X, Guo D, Wang S, Rui W, Lu X, Shi C. 2024. Antimicrobial Activity of Eugenol Against *Bacillus cereus* and Its Application in Skim Milk. *Foodborne Pathogens and Disease*. 21(3): <https://doi.org/10.1089/fpd.2023.0013>.

6. 연구결과 활용제목

- 경기지역 느타리버섯 및 느타리 재배단계별 유해미생물 모니터링('24 기초활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도	
						'23	'24
느타리 유해미생물 현황조사 및 관리기술 개발	책임자	환경농업연구과	농업연구사	조동현	시험총괄	-	○
	공동연구자	환경농업연구과	농업연구관	심상연	연구자문	○	-
		작물연구과	농업연구관	임성희	연구자문	-	○
		환경농업연구과	농업연구사	한정아	미생물조사	○	○
		〃	농업연구사	윤승환	미생물관리	○	○
		친환경미생물연구소	농업연구사	최종인	시험수행	○	-
		종자관리소	농업연구사	최준영	시험수행	-	○
		환경농업연구과	농업연구관	박중수	결과검토	○	○