

*Saccharomyces cerevisiae*의 폐달걀 분해과정에서 발생하는 악취 감소효과

이창훈[†] · 이용호^{1,†} · 유재홍² · 박준영³ · 심명용^{3,*}

한경대학교 식물생명환경과학과, ¹고려대학교 야생자원식물종자은행
²국립농업과학원 농업미생물과, ³한경대학교 식물생태화학연구소

The Malodor Decreasing Effect of *Saccharomyces cerevisiae* on Decomposing Waste Egg

Chang Hoon Lee[†], Yong Ho Lee^{1,†}, Jae Hong Yoo², Jun Young Park³ and Myoung Yong Shim^{3,*}

Department of Plant Life & environmental Science, Hankyong National University, Anseong-si, Gyeonggi-do 17579, Republic of Korea

¹Seed Bank of Wild Resources Plants, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

²Agricultural Microbiology Division, National Academy of Agricultural Science, Wanju-gun, Jeollabuk-do 55365, Republic of Korea

³Institute of Ecological Phytochemistry, Hankyong National University, Anseong-si, Gyeonggi-do 17579, Republic of Korea

Abstract - Malodor emitted while producing fertilizer from hatchery egg waste treated with microorganism is an important limiting factor. To reduce this problem, we attempted to use two yeast strains, *Saccharomyces cerevisiae*, KACC 30008 and KACC 30068. Both yeast strains reduce ammonia gas emission 35.4% than only treated with bacterium, *Bacillus amyloliquefaciens*. When both strains were used together, that was reduced as 57.1%. KACC 30008 and 30068 strains reduced hydrogen sulfide 42 and 90.4%, respectively. Both strains together reduced hydrogen sulfide gas as 98.5%. KACC 30008 did not decrease methyl mercaptan emission. However KACC 30068 decreased 40% and both strains together decreased the gas emission as 66.7%. Overall, this study showed that yeast treatment could enhance the effect of *B. amyloliquefaciens* treatment in the reduction of malodorous gas emission.

Key words : hatchery waste egg, malodor, *Saccharomyces cerevisiae*

서 론

양계업은 양질의 단백질원 공급을 위하여 닭고기와 달걀을 생산하는 중요한 축산업 중 하나이다. 전국적으로 2014

년에는 약 1억 8천만 마리 이상의 닭이 사육되었고, 닭 사육을 위하여 약 9백만 마리 이상의 종계가 사육되었다(한국양계협회, Korea Poultry Association). 그러나 부화장에서 많은 달걀이 부화에 성공하지 못하고 폐기되고 있다. 한 달에 20만개의 달걀을 부화하는 경우에 약 13톤의 폐달걀이 생산되고 있다. 이 폐달걀은 거의 대부분 매립이나 소각 등으로 폐기하거나 소량은 처리하여 비료 등으로 재활용한다. 폐달걀

[†]These authors equally contributed to this work.

* Corresponding author: Myoung Yong Shim, Tel. 031-678-4750, Fax. 031-678-4751, E-mail. myshim@hknu.ac.kr

을 처리하기 위하여 2013년에는 전국적으로 약 40억 원 이상의 비용이 필요하였다(축산물품질평가원, Korean Institute of animal product Evaluation).

많은 가축의 폐기물이 토양개량을 위해 비료로 사용되고 있다. 폐달걀도 비료를 생산하기 위한 양질의 재료로 이용될 수 있다. 이에 따라 여러 가지 시도가 이루어지고 있다. 특히 미생물을 이용한 폐달걀 처리는 달걀을 분해하여 아미노산을 생산할 수 있어 액비 등의 생산에 이용할 수 있다. 그러나 이 과정에서 악취가 발생하여 민원이 발생하고 있어 폐달걀을 비료로 이용하는데 제한 요인이 되고 있다. 대부분 동물성 폐기물의 악취는 암모니아 또는 황화수소나 메틸메르캅탄 같은 황 화합물에 의해 발생한다. 이런 악취원은 2005년 제정된 악취방지법의 악취목록에 기재되어있다(환경부, The Ministry of Environment). 황화수소는 일반적으로 달걀 썩는 냄새로 표현되고 있고, 다른 두 성분도 악취로 인식되고 있어 폐달걀을 비료로 이용하기 위하여 전환하는 과정에서 이들 악취를 저감하는 것은 매우 중요하다.

조류, 진균, 세균 등 많은 미생물이 악취를 경감한다고 알려져 있다(Yoo *et al.* 2012). 조류, 진균, 세균이 악취를 저감한다고 보고되어 있다. 암모니아나 아민계 화합물의 악취경감을 위하여 *Alcaligenes fecalis*, *Vibrio alginolyticus*, *Arthrobacter sp.*, *Lactobacillus*, *Bacillus subtilis*, *Candida rugose*, *Pichia farinose*와 *Saccharomyces cerevisiae* 등을 이용한 연구 보고가 있다(Cha *et al.* 1999; Ho *et al.* 2008; Lee *et al.* 2009). 황 화합물에 의한 악취의 감소를 위하여 *Thiobacillus*, *Pseudomonas*, *Beggiatoa*, *Thiotrix*, *Chlorobium*, *Chromatium*, 그리고 *Acidithiobacillus thiooxidans* 등을 이용한 연구를 하였다는 보고가 있다(Lee *et al.* 2003; Chen *et al.* 2004; Kim *et al.* 2004a). 또한 *Corynebacterium spp.*, *Micrococcus spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Bacillus spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Pseudomonas spp.*와 *Streptococcus spp.* 같은 세균이 효과적으로 악취를 저감하였다는 보고도 있고, *Mucor spp.*, *Copinus spp.*, *Helminthosporium spp.*와 같은 진균과 효모가 악취를 경감할 수 있다는 보고가 있다(Kim *et al.* 2004b; Rappert *et al.* 2005a; Nakasaki *et al.* 2006; Yoon *et al.* 2009; Yan *et al.* 2013). 이와 같이 여러 미생물이 악취를 저감하기 위하여 이용되고 있으며, 가축사양농가, 식품생산산업, 화학산업과 오폐수처리장 등 여러 분야에서 악취저감을 하기 위하여 적용될 수 있다(Rappert *et al.* 2005b; Kim *et al.* 2008).

최근 예비실험에서 유기화합물을 빠르고 효과적으로 분해하는 세균, *Bacillus amyloliquefaciens*를 발견하여 부화장의 폐달걀을 분해하여 비료로 사용하려고 시도하였으나 처리과정에서 악취가 발생하였다. 그 결과 발생하는 악취를 저감해야 하는 문제가 발생하여 이를 친환경적으로 해결하기 위하

여 미생물을 이용하는 방법을 모색하게 되었다. *S. cerevisiae*는 식물생장을 증진하는 비료로 사용할 수 있다는 보고가 있으며(Lonhienne *et al.* 2014), 여러 미생물 중에서 효모를 활용한 악취저감 가능성이 제기되었다. 이에 따라 본 연구는 *B. amyloliquefaciens*를 이용하여 폐달걀을 분해하는 과정에서 발생하는 악취물질 저감에 *S. cerevisiae*가 유용한 효과를 내는지 알아보고자 수행되었다.

재료 및 방법

1. 효모 및 세균 균주

두 개의 효모, *Saccharomyces cerevisiae* (KACC 30008 와 KACC 30068) 균주는 농촌진흥청 미생물은행(KACC)에서 분양 받았다. 효모 균주는 YPD 배지(yeast extract 10 g, peptone 20 g, dextrose 20 g, agar 15 g, distilled water 1 L)에 접종하여 25°C에서 배양하여 냉장고에 보관하여 사용하였다. 사전 예비 실험에서 단백질과 지질 분해능력이 뛰어난 세균을 토양에서 분리하였고 16S ribosomal RNA gene sequence를 기준으로 *Bacillus amyloliquefaciens*로 동정된 균주를 세균 균주로 사용하였다. 세균 균주는 trypticase soy agar 배지(TSA, trypticase soy broth 30 g, agar 15 g, distilled water 1 L, adjust pH to 7.3)에 접종하고 30°C에서 18시간 배양한 후 냉장고에 보관하여 사용하였다.

2. 달걀 현탁액에 대한 균주 처리

효모는 YPD 액체배지(yeast extract 10 g, peptone 20 g, dextrose 20 g, distilled water 1 L)에서 배양하고, *B. amyloliquefaciens*는 trypticase soy broth(trypticase soy broth 30 g, distilled water 1 L, adjust pH to 7.3)에 배양하였다. 폐달걀은 70% 에탄올에 1분간 침지하여 표면 소독을 한 뒤, 껍데기를 제거한 후 살균수에 1:4(v:v) 비율로 잘 섞어 현탁액을 만들었다. 달걀 현탁액 200 mL를 1000 mL 삼각 플라스크에 분주한 뒤 *B. amyloliquefaciens* 배양액 4 mL를 접종하였다. 효모 처리구는 세균을 접종한 플라스크에 효모배양액 4 mL를 추가로 접종하였다. 접종한 달걀 현탁액은 실온에서 rotary shaker에 놓고 150 rpm으로 7일간 배양하였다. 모든 처리는 3반복을 시행하였다

3. 달걀 펩타이드의 변화 분석

세균을 처리하여 배양한 달걀 현탁액의 펩타이드의 변화를 분석하기 위해 SELDI-TOF MS로 분석하였다. 각각 강한 음이온과 약한 양이온 교환자인 Q10 and CM10 단백질 칩

으로 달걀 현탁액을 분석하였다. 현탁액을 4°C, 13000×g에서 10분간 원심분리하여 상등액을 취하여 syringe filter (0.45 µm, Whatmann, USA)로 여과한 뒤 단백질 칩에 점적하였다. 단백질 칩 어레이는 다음과 같이 준비하였다(Park *et al.* 2013). 여과한 시료(100 µL)는 binding buffer (단백질 칩의 종류에 따라 각각 다름, Q10은 pH 9.0의 10 mM Tris, 그리고 CM10은 pH 4.0의 100 mM sodium acetate)를 사용하여 10 배로 희석하였다. Q10과 CM10 어레이는 시료를 점적하기 전 2×200 µL의 binding buffer로 5분간 미리 평형시켰다. 시료를 점적한 후 binding buffer로 각각 5분간 3회 세척하고 물로 2회 세척한 다음 30분 동안 건조하였다. 그리고 50% C2H3N (acetonitrile)과 0.25% C2HF3O2 (trifluoroacetic acid)이 포함된 1 µL의 2×50% 포화된 CHCA 용액을 점적한 뒤 완전히 건조하여 SELDI-TOF MS로 분석하였다. 준비한 단백질 칩 어레이는 SELDI-TOF MS (Bio Rad, USA)을 사용하여 분석하였다. 각각의 시료에 대하여 3반복을 실시하였다. 검출된 피크 분석은 Protein Chip Data Manager Software (Bio Rad, USA)를 이용하여 분석하였다.

4. 냄새 분석

분해된 달걀에서 발생하는 암모니아, 황화수소 그리고 메틸메르캅탄을 측정하였다. 암모니아 가스는 휴대용 가스측정기 (GV-110S, Gastec, Japan)과 검지관 3 L (Ammonia detector tube, Gastec, Japan)를 사용하여 측정하였다. 측정 전에 플라스크를 세계 흔들고 검지관을 플라스크 입구와 마개 사이로 삽입하여 검지기 제조사의 측정방법에 따라 측정하였다. 황화합물인 황화수소와 메틸메르캅탄은 암모니아 시료 채취방법과 동일하게 10 mL의 GC용 시료채취 주사기를 사용하였고 시료를 측정하기 적당한 농도로 희석하였다. 시료는 pulsed flame photometric detector (PFPD)와 thermal desorption unity (Unity 2, Airserver, Markes, UK)를 장착한 gas chromatograph (GC, 6890N, Agilent, USA)를 사용하여 분석하였다. 분석조건은 Table 1과 같다.

5. 통계분석

실험결과는 SAS (Statistic Analysis System, Version 9.02) 프로그램을 사용하여 ANOVA를 통하여 분석하였다.

결과 및 고찰

CM10과 Q10 단백질 칩을 사용하여 SELDI-TOF MS로 분석한 달걀 현탁액의 펩타이드 스펙트럼이 각각의 처리에

Table 1. Instrumental conditions of the combined application of Gas chromatography and Thermal desorption system for the analysis of hydrogen sulfide and methyl mercaptan.

Thermal desorption	Sampling time	25 mL min ⁻¹
	Cold trap temp	Low: -30°C, high: 400°C
	Hold time	5.0 min
	Outlet split	10.0 mL min ⁻¹ (10:1 split ratio)
	Flow path temp	100°C
GC/PFPD	Detector	PFPD
	Column	CP-5 (60 m×0.25 µm×1.0 µm)
	Carrier gas	He 1.0 mL min ⁻¹
	Air-1 flow rate	17 mL min ⁻¹
	Air-2 flow rate	10 mL min ⁻¹
	H2 flow rate	13 mL min ⁻¹
Oven temp	4°C to 450°C	

따라 다르게 나타났다(Fig. 1). 미생물을 사용하여 분해한 달걀의 저분자 스펙트럼 패턴이 약 5000 D의 범위에서 무처리 대조구의 저분자 펩타이드 패턴에서는 없던 피크가 각각의 단백질칩에서 나타났으며, 저분자 펩타이드 스펙트럼에서 대조구의 피크 패턴과 각 처리구의 피크 패턴이 달랐다. 이와 같이 다른 피크 패턴은 달걀의 단백질 분해와 미생물의 대사과정에서 생산된 저분자 펩타이드로 인해 나타나는 것으로 생각된다. 또한 미생물에 의하여 처리되며 달걀의 단백질이 작은 저분자 펩타이드로 분해된 것을 확인할 수 있었다. 물론 이 피크 패턴에서 세균과 효모의 냄새에 대한 상관관계를 보여주는 패턴의 변화는 관찰되지 않았지만 이 미생물을 사용하여 분해된 페달걀 현탁액으로 시비하여 고추와 토마토 등 식물을 재배하였을 때 시판 아미노산 액비와 동일하거나 더 좋은 식물생장 증진효과를 보였고, 다른 피해는 나타나지 않았다(Lee *et al.* 2016). 이러한 결과는 효모 *S. cerevisiae*가 이미 식물생장을 증진하는 비료로 사용하고 있다는 사실에 비추어 볼 때(Lonhienne *et al.* 2014), 효모의 악취 제거 효과만 확인된다면 페달걀을 처리하여 비료를 생산하는데 매우 효율적인 처리 미생물로 효모를 사용할 수 있는 가능성을 제시한다. 이에 따라 효모의 악취제거 효과를 검정하기 위해 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄 등의 발생을 감소시키는지 조사하였다.

달걀 현탁액을 *B. amyloliquefaciens*로 7일간 분해하였을 때 발생한 암모니아는 1.75 ppm이었고, *B. amyloliquefaciens*와 *S. cerevisiae* KACC 30008과 KACC 30068 균주를 각각 같이 접종하였을 때는 암모니아 발생량이 두 균주 모두 각각 1.13 ppm으로 세균만을 사용하여 분해하였을 때의 64.6%였다. 또한 세균과 두 개의 효모 균주를 동시에 사용하였을 때는 0.75 ppm이 발생하였는데 이는 세균만 사용했을 때의 42.9% 수준으로 감소하였다(Fig. 2). 이 같은 결과는 효모를 사용함으로써 세균으로 달걀을 분해할 때 발생하는 암모니

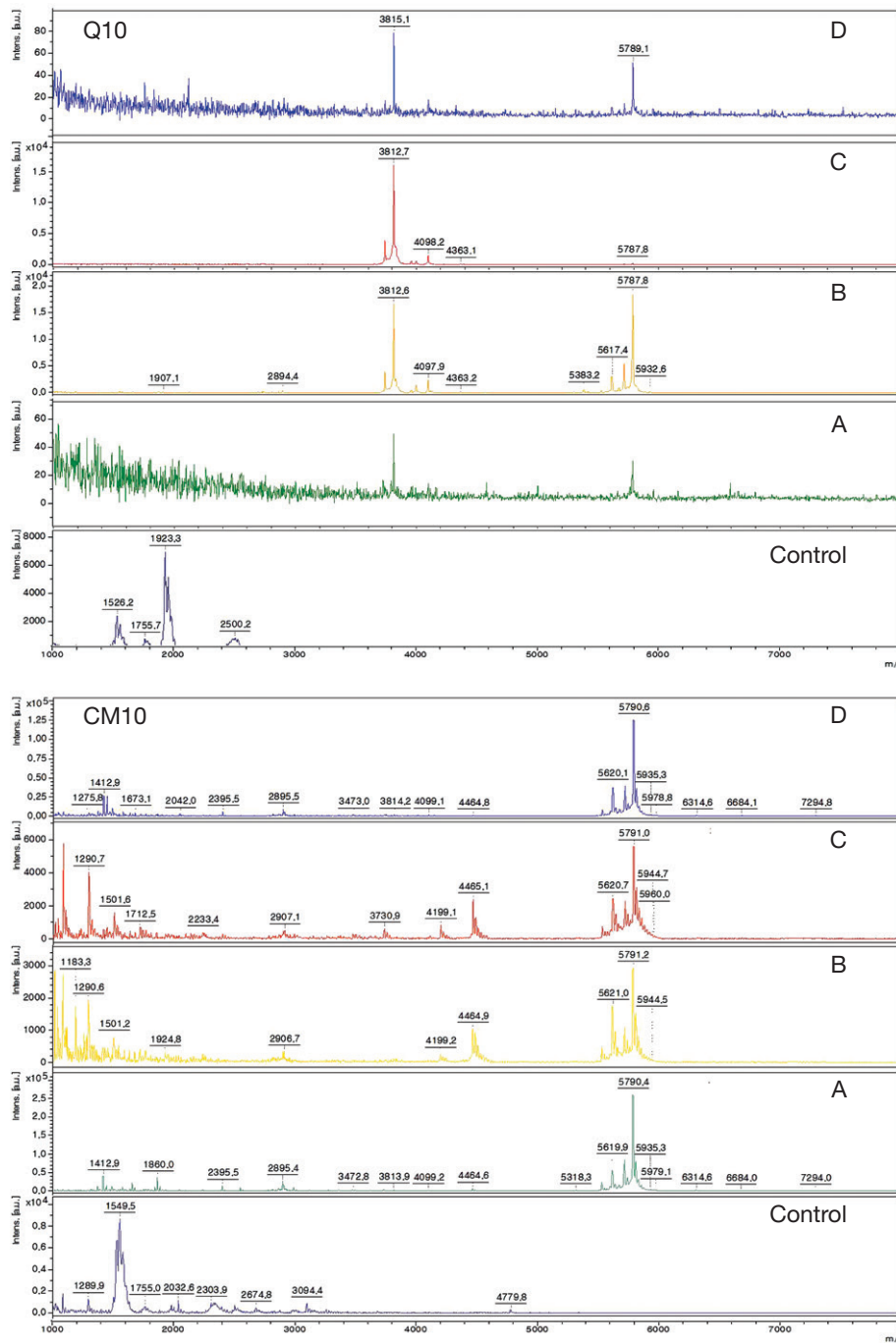


Fig. 1. Peak spectra of protein chip arrays Q10 and CM10 arrays of surface enhanced laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry in egg suspension treated with a bacterium or yeasts. Control: only egg suspension, A: egg suspension decomposed with only *Bacillus amyloliquefaciens*, B: egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens* and treated with *Saccharomyces cerevisiae* (KACC 30008), C: B: egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens* and treated with *S. cerevisiae* (KACC 30068), D: egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens* and treated with *S. cerevisiae* (KACC 30008 and KACC 30068).

아의 발생을 감소시킬 수 있음을 보여준다. 황화수소의 경우 세균만 접종하여 달걀을 분해하였을 때 7일 후 발생농도는 58.88 ppm이었고, 효모 KACC 30008과 KACC 30068을 세

균과 동시에 접종하였을 경우 발생농도는 각각 34.16과 5.69 ppm으로서 세균만 처리하였을 때에 비하여 58%와 9.6% 수준으로 각각 감소하였다. 두 개의 효모 균주를 같이 접종하였

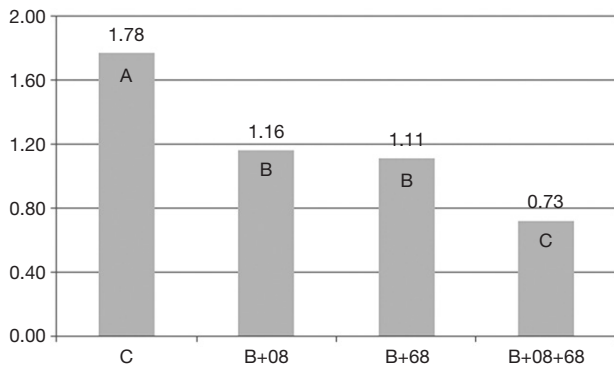


Fig. 2. Ammonia gas emitted from egg suspension decomposed by *Bacillus amyloliquefaciens*, and odor decreasing effect of *Saccharomyces cerevisiae*. The gas was measured with GASTEC with ammonia detector tube 3 L. C: Ammonia gas emitted from egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens*, B + 08: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30008) treated. B + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30068) treated. B + 08 + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (both KACC 30008 and KACC 30068) treated. Results were analyzed by ANOVA tests. Same letters on column means not significantly different ($p < 0.01$).

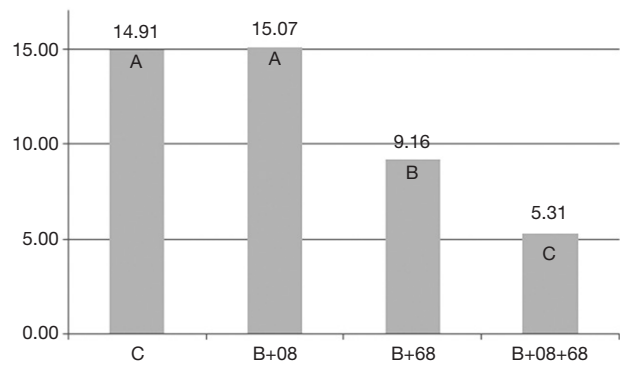


Fig. 4. Methyl mercaptan gas emitted from egg suspension decomposed by *Bacillus amyloliquefaciens* and odor decreasing effect of *Saccharomyces cerevisiae*. The gas was analyzed with gas chromatograph with pulsed flame photometric detector. C: Methyl mercaptan gas emitted from egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens*, B + 08: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30008) treated. B + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30068) treated. B + 08 + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (both KACC 30008 and KACC 30068) treated. Results were analyzed by ANOVA tests. Same letters on column means not significantly different ($p < 0.01$).

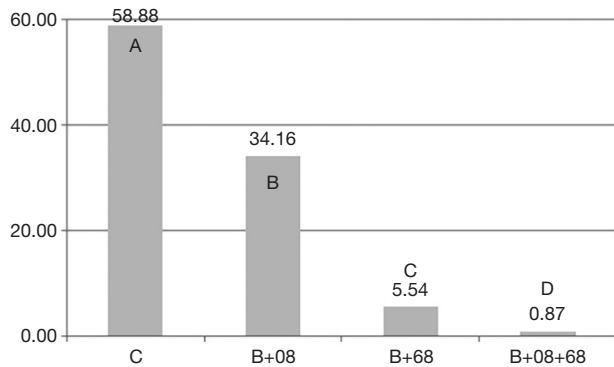


Fig. 3. Hydrogen sulfide gas emitted from egg suspension decomposed by *Bacillus amyloliquefaciens* and odor decreasing effect of *Saccharomyces cerevisiae*. The gas was analyzed with gas chromatograph with pulsed flame photometric detector. C: Hydrogen sulfide gas emitted from egg suspension decomposed with *B. amyloliquefaciens*, B + 08: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30008) treated. B + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (KACC 30068) treated. B + 08 + 68: Same as A and *S. cerevisiae* (both KACC 30008 and KACC 30068) treated. Results were analyzed by ANOVA tests. Same letters on column means not significantly different ($p < 0.01$).

을 경우 농도는 0.87 ppm으로 세균만 사용했을 때보다 1.5% 수준으로 감소되었다(Fig. 3). 세균인 *B. amyloliquefaciens*을 사용하여 7일 동안 분해한 달걀에서는 15 ppm의 메틸메르캅탄이 발생하였고, 세균과 함께 효모 KACC 30008과 KACC 30068을 접종한 경우 각각 15와 9 ppm으로 세균만 사용했

을 때와 비교하여 100%와 60% 수준이었다. 세균과 두 개의 효모 균주를 동시에 사용한 경우는 메틸메르캅탄 발생량이 5 ppm으로 세균만 사용한 경우에 비하여 33.3% 수준으로 더욱 감소하였다(Fig. 4). 이러한 결과는 본 실험에서 사용한 두 효모 균주 모두 달걀의 분해과정에서 발생하는 악취 원인 물질을 감소시키는데 효과가 있음을 보여준다. 특히 달걀 썩는 냄새로 일컬어지는 황화수소의 경우 효모의 사용은 현저하게 냄새를 저감하였음을 알 수 있었다. 그러나 두 균주 중에서 KACC 30068 균주가 KACC 30008보다 더 효과적으로 냄새를 감소하였는데 이는 균주에 따라 감소 정도가 다를 수 있음을 보여준다. 이상의 결과를 종합하면 본 연구에서는 *S. cerevisiae*가 달걀의 분해과정에서 발생하는 악취를 효과적으로 감소시키고, *B. amyloliquefaciens*와 함께 달걀에 처리하였을 때 달걀 분해를 방해하지 않았음을 확인하였다.

적 요

부화장에서 폐기하는 달걀을 *Bacillus amyloliquefaciens*를 이용 분해하여 비료화하는 데 있어 발생하는 악취는 폐기물 처리에 있어 중요한 제한요소 중 하나이다. 이런 문제를 해결하기 위하여 두 개의 효모, *Saccharomyces cerevisiae* KACC 30008와 KACC 30068를 사용하여 실험하였다. 효모 균주는 모두 세균만을 사용하여 분해 처리하였을 때보다 썩

어서 사용한 경우 암모니아 발생을 약 35.4% 감소하였고, 두 균주를 같이 섞어 사용한 경우는 57.1% 감소시켰다. 두 균주는 황화수소 또한 42%와 90.4%씩 각각 감소시켰고, 동시에 두 균주를 같이 사용했을 때에는 황화수소 발생을 98.5% 감소시켰다. 메틸메르캡탄의 경우 KA30008은 감소시키지 못하였으나 KA30068은 40%, 두 균주를 함께 사용한 경우는 66.7% 감소시켰다. 전체적으로 본 연구는 효모의 처리가 *B. amyloliquefaciens*를 사용하여 폐달걀 분해 시 악취 발생을 저감하는 효과를 더 증진시킴을 보여주었다.

사 사

이 논문은 농촌진흥청 어젠다과제(과제번호: PJ01071701, 과제명: 미생물을 이용한 부화장 동물성 폐기물 자원화 연구)의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

- Cha JM, WS Cha and JH Lee. 1999. Removal of organo-sulphur odour compounds by *Thiobacillus novellus* SRM, sulphur-oxidizing microorganisms. *Process Biochem.* 34:659-665.
- Chen XG, AL Geng, R Yan, WD Gould, YL Ng and DT Liang. 2004. Isolation and characterization of sulphur-oxidizing *Thiomonas* sp. and its potential application in biological deodorization. *Letters Appl. Microbiol.* 39:495-503.
- Ho KL, YC Chung, YH Lin and CP Tseng. 2008. Microbial populations analysis and field application of biofilter for the removal of volatile-sulfur compounds from swine wastewater treatment system. *J. Hazard. Mater.* 152:580-588.
- Kim JS, YK Yu and SS Lee. 2004a. Isolation and Identification of Bacteria Removing Sulfur Compound Odor. *Kor. J. Microbiol.* 40:127-132.
- Kim KY, HJ Ko, HT Kim, YS Kim, YM Rho, CM Lee and CN Kim. 2008. Odor reduction rate in the confinement pig building by spraying various additives. *Bioresour. Technol.* 99:8464-8469.
- Kim TI, JS Ham, CB Yang and MK Kim. 2004b. Deodorization of pig feces by fungal application. *Asian-Australasian J. Animal Sci.* 17:1286-1290.
- Korea Poultry Association. Statistical Information. <http://www.poultry.or.kr>
- Korean Institute of animal product Evaluation. Animal product information. <http://www.ekape.or.kr/view/user/main/main.asp>
- Lee EY, KS Cho and HW Ryu. 2003. Degradation characterization of sulfur-containing malodorous gases by *Acidithiobacillus thiooxidans* AZ11. *Kor. J. Odor Res. Eng.* 2:46-53.
- Lee JK, JS Lee, IC Park, WK Kim and JH Yoo. 2016. Plant growth enhancing effect of decomposed hatchery waste egg using microorganism. *Proc. Kor. Soc. Crop Sci.* spring:104.
- Lee SJ and EY Lee. 2009. Screening and isolation of ammonia removal microorganism for the improvement of livestock environment. *Kor. J. Microbiol. Biotech.* 37:408-412.
- Lonhienne T, MG Mason, MA Ragan, P Hugenholtz, S Schmidt and C Paungfoo-Lonhienne. 2014. Yeast as a biofertilizer alters plant growth and morphology. *Crop Sci.* 54:785-790.
- Nakasaki K, SH Kwon, H Tanaka and K Oyamada. 2006. Suppression of malodor from garbage during storage periods by yeast producing fragrances. *Process Biochem.* 41:1932-1939.
- Park SJ, YH Lee, YJ Nam, BK Baik and TW Kim. 2013. Peptide-based biomarker discovery for identification of rice cultivars using surface enhanced laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry. *Crop Sci.* 53:987-995.
- Rappert S and R Müller. 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manage.* 25:887-907.
- Rappert S and R Müller. 2005. Microbial degradation of selected odorous substances. *Waste Manage.* 25:940-9547.
- The Ministry of Environment. Malodor control act. 2014.
- Yan Z, X Liu, Y Yuan, Y Liao and X Li. 2013. Deodorization study of the swine manure with two yeast strains. *Biotech. Bioprocess Engin.* 18:135-143.
- Yoo JH, IC Park and WK Kim. 2012. Decrease efficiency of offensive odor from pig excreta by yeast strain, *Pichia farinose* NASS-2 isolated from soy bean paste. *Kor. J. Mycol.* 40:254-257.
- Yoon DH, DW Kang and KW Nam. 2009. The effect of yeast (*Saccharomyces exiguus* SJPAF1) on odor emission and contaminants reduction in piggy slurry. *Kor. J. Environ. Agricul.* 28:47-52.

Received: 6 September 2016

Revised: 12 September 2016

Revision accepted: 17 September 2016