

# 발효식품에서 분리된 *Saccharomyces cerevisiae*를 이용한 Trimethylamine 저감화

박슬기 · 이재화 · 조두민 · 강민균 · 장유미 · 조연진 · 홍동리 · 김영목\*

부경대학교 식품공학과

## Reduction of Trimethylamine by *Saccharomyces cerevisiae* Isolated from Fermented Food

Seul-Ki Park, Jae-Hwa Lee, Du-Min Jo, Min-Gyun Kang, Yu-Mi Jang, Yeon-jin Cho, Dong-lee Hong and Young-Mog Kim\*

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Trimethylamine (TMA) is a nitrogen-based aliphatic organic compound. It is a major odorous component of fish and fishery products and is often used as an indicator of fish quality. The efficacy of TMA removal by various yeast strains was investigated. The five yeast strains found to be most effective in removing TMA were isolated from fermented foods and were identified as *Saccharomyces cerevisiae* based on biochemical and 18S rRNA sequence analyses. These strains were designated as *S. cerevisiae* SK1511, SK1512, SK1513, SK1514 and SK1515. Yeast cultures were treated with a TMA solution (0.3%, v/v), and the level of TMA reduction was analyzed by headspace gas chromatography. The five *S. cerevisiae* strains removed 32.02-50.34% of the TMA from the solution. This study is the first to demonstrate TMA reduction by microbial treatment.

Key words: Trimethylamine, Fish off-odor, *Saccharomyces cerevisiae*, Deodorization, Seafood

### 서론

어류의 비린내는 어류 자체에서 발생 또는 부패 과정 중에 발생하거나 생선유의 불포화 지방산의 산화물에 의한 냄새 등 복합적인 요인에 의하여 구성되어 있다(Lee and Rhee, 1982). 또한 질소와 황을 함유한 알코올, 케톤 및 알데하이드가 비린 냄새의 주성분으로 보고되고 있다(Josephson et al., 1984; Yoshiwa et al., 1997; Campo et al., 2003). 특히 해양 어류에서 발생하는 trimethylamine (TMA)은 수산물의 신선도의 지표로 주로 사용되며, trimethylamine N-oxide (TMAO)가 세균성 효소의 작용에 의해 환원되어 TMA를 생성하는데(Castell et al., 1971; Lundstrom and Racicot 1983) TMA은 매우 낮은 threshold limit level (0.002 ppm)을 가져 강한 비린내를 발생시켜 어류의 부패 및 구취 등과 관련이 있는 것으로 알려진 물질이다(Namiesnik et al., 2003; Chung and Lee 2009). TMA로 인해 어류에서 발생하는 비린내는 소비자들에게 이취로 인식되어 제

품의 폭넓은 이용에 한계점으로 작용할 수 있다(MacLeod and Ames, 1988; Song et al., 2005). 이러한 어류의 비린내 성분을 제거 혹은 감소시키려 하는 연구는 그동안 많이 시도 되어 왔으며, Jung et al. (2004)은 고등어 제조 시 유자액 처리가 TMA를 감소시키고 산패를 감소시키며 관능평가에서도 효과적이라고 보고된 바 있으며, Hong et al. (2009)은 mass spectrometer를 기반한 전자코를 이용하여 TMA과 쌀뜨물간의 결합 분석을 통하여 반응 시간이 길어질수록 이취물질 발생이 적어진다고 보고하였고, Lee and Rhee (1982)은 관능 검사와 GC 분석 결과 유기산은 TMA와 반응하여 이취 감소에 효과가 있으며 유기산에 의한 비린내 억제는 주로 masking 효과에 기인한다고 보고하였다. 또한 Kim et al. (2006)에 따르면 TMA은 미생물 효소 반응에 의하여 trimethylamine N-oxide (TMAO)로부터 환원되어 발생하므로 썩치 등의 어류에 이산화염소 용액을 처리하여 미생물을 감소시켜 이취 발생이 감소되었다고 보고한 바 있다. 이외에도 어류의 비린내를 제거하기 위한 연구는 지속되고

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5832 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: ymkim@pknu.ac.kr



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.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0121>

Korean J Fish Aquat Sci 52(2), 121-126, April 2019

Received 30 January 2019; Revised 19 February 2019; Accepted 16 March 2019

저자 직위: 박슬기(대학원생), 이재화(대학원생), 조두민(대학원생), 강민균(대학원생), 장유미(대학원생), 조연진(대학원생), 홍동리(대학원생), 김영목(교수)

있으나 TMAO가 환원되어 생성되는 TMA를 미생물을 이용하여 TMAO로 재 산화 시키거나, 대사 및 발효 시키는 등의 연구는 미비한 상황이다. TMA에서 발생하는 비린내를 감소 및 제거하기 위해서는 TMAO로 산화시키거나, 다른 화합물로 반응을 유도하는 방법이 있다. TMA을 TMAO로 전환시키는 효소는 trimethylamine monooxygenase (TMO)로 Yin et al. (2011)에 의하면 박테리아 유래 flavin-containing monooxygenase (FMO)는 TMO와 같은 역할을 한다고 보고된 바 있으며, 해양 유래 미생물인 *Roseovarius* sp. 와 *Pelagibacter ubique* 및 효모에 속하는 *Saccharomyces cerevisiae* 등에서 발견되는 것으로 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 어류에서 발생하여 비린내의 원인물질이 되는 TMA을 다양한 발효식품에서 분리한 *S. cerevisiae*와 반응시켜 냄새 강도 측정기를 이용하여 휘발성 냄새 물질의 발생 정도를 분석하고, head space gas chromatography (HS-GC)를 이용하여 TMA을 분석하여 미생물을 이용한 TMA의 저감화 가능성에 대해 연구하고자 한다.

## 재료 및 방법

본 실험에서 사용된 효모균은 2017년 가을에 부산시에 소재한 전통시장에서 구입한 누룩, 와인 및 막걸리 등의 발효식품에서 분리하였다.

### 효모의 분리 및 동정

다양한 발효 식품에서부터 효모의 분리 및 배양을 위하여 yeast extract peptone dextrose (YPD; Difco Co., USA) 배지를 사용하였다. YPD 배지 조성은 증류수 1 L 당 yeast extract 10 g, peptone 20 g, dextrose (glucose) 20 g, sodium propionate 0.5 g과 chloramphenicol 100 mg로 구성된다. 효모의 분리를 위하여 YPD 배지는 30℃에서 72시간에서 96시간까지 배양하였다. 다양한 식품원료로부터 효모를 분리하기 위하여 각각의 시료 25 g을 취하여 225 mL의 멸균된 0.1% peptone water (Difco Co., USA)를 첨가하여 균질화 시킨 뒤 시료로 사용하였다. 균질화된 시료는 연속 희석법을 이용하여 10<sup>-5</sup>까지 희석하여 YPD 배지에 접종하여 30℃에서 72시간에서 96시간까지 배양한 후 단일 집락을 선별하였다. 분리한 효모는 단일 집락을 배양한 후 API 20C AUX (Bio Merieux, Marcy l'Etoile, France)의 사용방법에 따라 각 스트립에 접종한 후 30℃에서 48시간에서 72시간 동안 배양한 후 다양한 당류에 관한 분해능을 확인하여 생화학적 동정을 실시하였다.

분자생물학적 방법을 이용하여 분리균을 동정하기 위해 genomic DNA purification kit (Promega Co., USA)로 genomic DNA를 추출하였으며, 추출된 DNA를 이용하여 18S rRNA 증폭을 위하여 O'Donnell (1993)이 제안한 universal primer NL 1 (5'-GCA TAT CAA TAA GCG GAG GAA AAG-3') 및 NL

4 (5'-GGT CCG TGT TTC AAG ACG G-3')를 이용하였다. Polymerase chain reaction (PCR) 반응 조건은 PCR premix (Bioneer Co., Korea)에 template DNA 3 µL, 각 primer 1 µL 첨가한 후 총량을 25 µL로 맞추어 수행하였다. PCR 증폭 조건은 pre-denaturation 95℃/15분, denaturation 95℃/20초, annealing 50℃/40초, extension 72℃/90초, final extension 72℃/5분의 조건으로 30회 반복하여 18S rRNA 단편을 증폭하였다.

18S rRNA 염기 서열 분석은 바이오닉스(Bionics, Seoul, Korea)에 의뢰하였으며, NCBI (National center for Biotechnology Information, USA)의 BLAST program을 이용하여 18S rRNA 단편의 유전자 염기서열 상동성을 근거로 동정하였다(Baleiras et al., 2005).

### 냄새 강도기를 이용한 휘발성 성분 분석

효모 배양액과 TMA의 반응에서 냄새 물질의 저감화를 측정하기 위하여 냄새 강도 측정기(Odor level indicator, XP-329 III R, New Cosmos Electric Co., Japan)를 사용하여 측정하였다. 냄새 강도 측정기는 고감도 금속산화물(Stannic oxide, zinc oxide)로 코팅된 백금 열 코일을 센서로 사용하며, 이를 이용한 휘발성 성분 분석은 Hideyuki et al. (2010)의 방법을 사용하였다. 분리된 효모를 TMA과 반응시키기 위하여 YPD배지에 접종한 뒤 30℃에서 72시간동안 배양하여 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> CFU (Colony-forming unit)/mL로 배양된 배양액을 사용하여 실험하였다. 배양된 분리 효모 배양액 15 mL를 50 mL conical tube에 옮긴 후 TMA 30% (JUNSEI, Japan) 수용액 시약을 최종 농도 0.3%로 첨가한 이후 분리 효모 배양액과의 1시간 반응하여 50 mL conical tube의 뚜껑에 냄새 강도 측정기의 흡입기를 부착하여 10분간 측정을 3번 반복하였다. 실험 측정 시 실내온도는 25℃를 유지하였다

### Head-space gas chromatography (HS-GC)를 이용한 TMA 분석

효모 배양액과 반응한 TMA를 측정하기 위하여 gas chromatography를 flame ionization detector (FID; Agilent technologies 6890N, Palo Alto, CA, USA)와 함께 head-space (HS) 방법을 사용하였다(Zhang et al., 1992). 컬럼은 HP-5 (30 m×0.320 mm id, 0.25 µm)를 사용하였으며, injector temperature 250℃, detector temperature 250℃를 splitless mode로 사용하였다. Carrier gas는 nitrogen (30 mL/분), hydrogen (25 mL/분) 그리고 air (300 mL/분)을 사용하였으며, oven temperature 조건은 5분간 80℃ 유지, 150℃까지 10℃/분으로 상승시키고 마지막 15분은 150℃를 유지시켰다. 분석 후 post-run time으로 5분간 250℃ 조건을 진행하였다. 시료는 효모 배양액 5 mL에 TMA 30% solution (v/v)을 최종 농도 0.3%가 되게끔 22 mL glass vial에 첨가한 후 4 M NaOH를 시료와 동량으로 첨가한 후 10℃에서 7분간 방치한 뒤 syringe (Hamilton, 1725SL, USA)를 이용하여 시료의 상층기체 250 µL를 취하여

직접 injector에 주입하였다.

**통계분석**

본 연구에서 실시한 모든 실험은 3회 반복하였으며, 결과는 모두 SPSS (v.23.0, SPSS Inc., USA) 통계 프로그램을 이용하여 각 시험군의 평균과 표준편차를 산출하고 Duncan (1955)의 다중범위분석법을 실시하여 각 시험 구간의 유의차를 5% (P<0.05) 유의 수준에서 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**효모의 분리 및 동정**

다양한 발효식품에서 총 32종의 효모를 분리하였으며, API 20C AUX kit를 이용한 생화학적 분석 결과 5종의 균주가 *S. cerevisiae* 로 추정 되었다 (Table 1). API 20C AUX kit의 당 분해 실험 결과 SK1511, 1512, 1513, 1514 및 1515는 모두 D-glucose, D-galactose, D-maltose, D-saccharose (sucrose), 및 D-trehalose를 분해 할 수 있었으며, 1511, 1512 및 1515는 추가

적으로 methyl  $\alpha$ -D-glucopyranoside (MDG)를 분해 할 수 있었으며 1513과 1514는 MDG를 분해하지 못했다. 1511, 1512, 1514 및 1515는 D-melezitose 및 D-raffinose를 분해 가능하였으나, 1513은 분해하지 못하였다. Kang (2008) 및 Kim et al. (1998)에 따르면 발효식품에서 분리한 효모가 glucose, D-galactose, D-maltose, sucrose, xylitol, inositol, D-sorbitol, D-lactose 및 D-melezitose 등을 대사하는 것으로 나타났으며 본 연구에서 분리한 효모도 위 보고와 유사한 결과를 나타내고 있으며, API 20C AUX kit을 이용하여 동정한 결과는 SK1511부터 1515까지 각각 99.9%, 99.9%, 86.8% 99.0% 및 99.9%로 모두 *S. cerevisiae* 로 동정되었다.

이들 5종의 효모 균주를 18S rRNA 유전자 염기서열을 이용하여 분자생물학적으로 동정 결과 *S. cerevisiae*와 높은 염기서열 유사성을 나타내었다(Table 2). 이상의 생화학적 및 18S rRNA 염기서열 결과를 종합하여 5개의 분리된 효모는 각각 *S. cerevisiae* SK1511, SK1512, SK1513, SK1514 및 SK1515로 명명하였다.

Table 1. Results of identification based on the biochemical properties of the isolated strains using an API 20C AUX-kit

Characteristics	Strains				
	SK1511	SK1512	SK1513	SK1514	SK1515
D-glucose	+	+	+	+	+
Glycerol	-	-	-	-	-
2-keto-d-gluconate	-	-	-	-	-
L-arabinose	-	-	-	-	-
D-xylose	-	-	-	-	-
Adonitol	-	-	-	-	-
Xylitol	-	-	-	-	-
D-galactose	+	+	+	+	+
Inositol	-	-	-	-	-
D-sorbitol	-	-	-	-	-
$\alpha$ -methyl-d-glucoside	+	+	-	-	+
N-acetyl-d-glucosamine	-	-	-	-	-
D-cellobiose	-	-	-	-	-
D-lactose	-	-	-	-	-
D-maltose	+	+	+	+	+
D-saccharose	+	+	+	+	+
D-trehalose	+	+	+	+	+
D-melezitose	+	+	-	+	+
D-raffinose	+	+	-	+	+
Significant taxa	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2				
Decision	Good identification				

+, positive; -, negative.

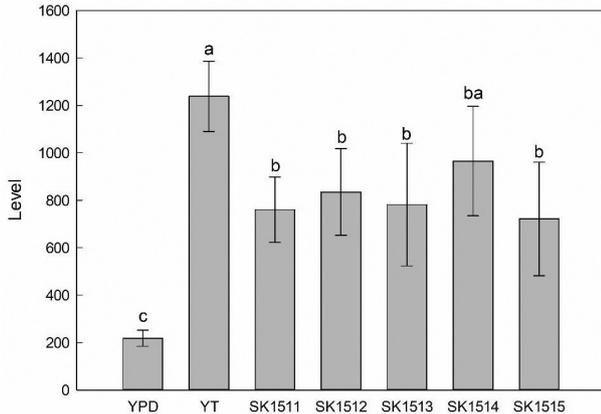


Fig. 1. Analysis of removal efficacy of trimethylamine (TMA; 0.3%, v/v) by the treatment of yeasts culture using odor level indicator. YPD, yeast extract peptone dextrose (YPD) medium only; YT, YPD with TMA; SK1511, SK1511 strains culture to YT; SK1512, SK1512 strains culture to YT; SK1513, SK1513 strains culture to YT; SK1514, SK1514 strains culture to YT; SK1515, SK1515 strains culture to YT. Means within a row with different superscripts are significantly different.

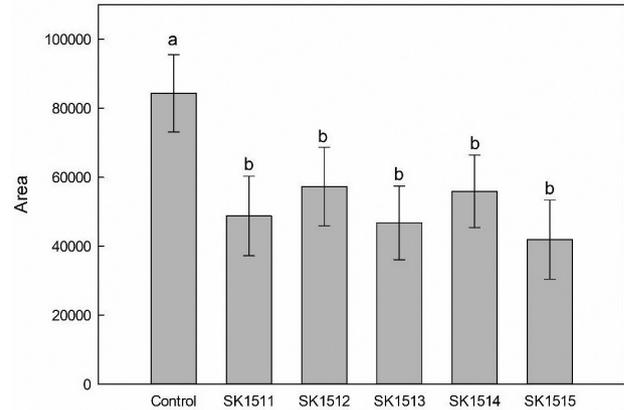


Fig. 2. Analysis of removal efficacy of trimethylamine (TMA; 0.3%, v/v) by the treatment of yeasts using head space-gas chromatography. YPD, yeast extract peptone dextrose (YPD) medium only; YT, YPD with TMA; SK1511, SK1511 strains culture to YT; SK1512, SK1512 strains culture to YT; SK1513, SK1513 strains culture to YT; SK1514, SK1514 strains culture to YT; SK1515, SK1515 strains culture to YT. Means within a row with different superscripts are significantly different.

냄새 강도기를 이용한 휘발성 냄새 성분 분석 결과

전통식품에서 분리한 5종의 *S. cerevisiae*의 TMA 저감화 활성을 측정하기 위하여 냄새 강도기를 이용한 휘발성 성분 분석을 진행하였다(Fig. 1). 시료 중 휘발성 냄새 성분의 총량을 level로 나타내는 냄새 강도기를 이용한 분석 결과에서 비교군보다 효모 배양액을 첨가한 시험군에서 최소 22.02%에서 최대 41.73%까지 휘발성 냄새 성분의 강도가 낮게 측정되었다. 음성 비교군으로 YPD 배지만 사용하여 측정된 경우 냄새 성분 값은 218.0 ± 33.8 level로 나타났으며, TMA를 첨가한 YPD 배지는 1,238.0 ± 148.1 level로 나타났다. 분리 효모 중 *S. cerevisiae* SK1515의 경우 감소율이 41.7%로 휘발성 냄새 물질의 저감화가 가장 높게 나타났으며 *S. cerevisiae* SK1514의 경우 감소율이 22.02%로 가장 낮게 나타났다. Rogério et al. (2011)에 따르면 문어류 즉석 섭취 식품의 CO<sub>2</sub> 가스 포장 시 저장 기간에 대한 연구에서 냉장 온도와 상온에서 저장 실험 시, 냄새 강도기를

이용하여 측정된 휘발성 냄새 성분의 경향과 TMA의 발생 경향이 유사하다고 보고 한바 있으며 본 연구의 결과에서도 냄새 강도기를 이용하여 휘발성 냄새 물질을 분석한 경우 TMA의 발생 정도와 유의미한 관련이 있는 것으로 판단된다.

Head-space Gas Chromatography (HS-GC)를 이용한 TMA 분석 결과

HS-GC방법을 이용하여 효모와 반응한 TMA의 함량 분석 결과는 Fig. 2와 같다. 냄새 강도기를 이용하여 휘발성 냄새 성분을 분석한 것과 유사한 경향으로 유의미적인 TMA 감소 결과를 나타내었지만 냄새 강도기로 측정된 경우 평균 감소율이 34.36%이었던 것에 비해 HS-GC 방법을 이용하여 TMA를 측정하였을 때는 평균감소율이 40.56%로 냄새 강도기로 측정된 경우보다 더 높은 감소율을 나타내었다. 분리된 효모 별로 감소율은 SK1511부터 SK1515까지 각각 42.20%, 32.02%, 44.54%, 33.69% 및 50.34%로 나타났다. 냄새 강도기의 경우

Table 2. Results of BLAST searching of the 18S rRNA region sequence

Origin	Strains	Species and strain designation	GenBank accession No.	Similarity (%) <sup>1</sup>
Wine	SK1511	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> strain Y169	CP033491.1	99
	SK1512	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> clone ITS	MK262975.1	100
Makgeolli	SK1513	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> isolate 50	AY529516.1	99
	SK1514	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> X55	CP033498.1	100
Nuruk	SK1515	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> CR-Y123	KY273294.1	99

<sup>1</sup>Relation of similarity of nucleotide in 18S rRNA fragment between isolated strains and GenBank accession.

배지에서 발생하는 휘발성 냄새 성분이 함께 측정되기 때문에 HS-GC를 이용하여 TMA만을 측정하였을 때 감소율이 더 높았던 것으로 판단된다.

발효 식품에서 분리한 효모가 TMA와 반응하여 냄새 강도 측정기를 이용하여 휘발성 냄새 성분을 분석한 결과에서 평균 34.36%의 휘발성 냄새 성분을 유의적으로 감소시키는 결과를 나타내었고, 동일한 방법으로 처리한 시료를 HS-GC법을 이용하여 TMA를 분석한 결과에서도 평균 40.56%의 TMA를 유의적으로 감소시키는 결과를 나타내었다. TMA 및 생선 비린내 등의 저감화와 관련하여 국내에서는 식초, 생강, 유기산, 두유, 유자 및 매실 농축액 등 여러 가지 소재를 이용한 연구가 진행되어 왔으나(Lee and Rhee 1979; Lee and Rhee 1982; Heu et al., 2008; Kang et al., 2014) 효모 등 미생물을 이용한 연구는 시도되지 않았다. 전구물질인 TMAO가 산화되어 발생하는 TMA은 생선 등에서 미생물에 의해서 생성된다고 알려져 있지만(Castell et al., 1971; Lundstrom and Racicot 1983), TMO 등의 미생물 유래 효소는 TMA를 산화시켜 TMAO 형태로 전환시킬 수 있으며 또한 미생물 유래의 FMO는 TMO와 같은 역할을 한다는 연구 결과가 있으며(Yin et al., 2011) *S. cerevisiae*의 경우 FMO 효소 발현이 가능한 균주로 알려져 있다. 그 외 FMO 효소를 발현할 수 있는 진균류는 *Schizosaccharomyces pombe* (Sergio et al., 1991) 가 있으며 균류는 *Roseovarius* sp. 217 (Yin, 2012), *Ruegeria pomeroyi* DSS3 (Jonathan et al., 2012), *Methylophaga* sp. SK1 (Andrea et al., 2008), *Methylocella silvestris* BL2 (Peter et al., 2003) 및 *Pelagibacter ubique* HTCC 1002 (Mario et al., 2014) 등이 보고되어 있다(Yin et al., 2011). FMO 발현 가능 균주가 대다수 해양 유래인 것은 TMAO 또는 TMA의 경우 해양에 다량으로 존재하는 물질이므로 미생물이 질소원 등으로 대사하기 위함인 것으로 판단된다. 발효식품에서 분리한 5종의 *S. cerevisiae* 분리 균주는 FMO 효소를 발현할 수 있을 것으로 판단되며(Suh et al., 1996; Ian and Elizabeth 2008) 냄새 강도를 이용하여 휘발성 냄새 성분의 분석과 HS-GC를 이용하여 TMA를 분석한 결과, 휘발성 냄새 성분이 유의적으로 감소하고 TMA의 함량이 유의적으로 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 본 연구에서는 *S. cerevisiae*가 발현할 수 있는 FMO가 bacterial TMO와 유사한 역할을 할 수 있다는 보고에 따라(Yin et al., 2011) 연구한 결과로써 최초로 효모를 이용하여 TMA를 감소시킬 수 있다는 가능성을 보고하였다. 이러한 결과는 어류의 부패과정 중 미생물의 작용으로 인하여 발생하는 것으로 알려진 TMA를 제어하는 새로운 방안으로 미생물 제어를 제안하였고 그에 대하여 증명한 최초의 보고이다.

## 사 사

이 논문은 2018년도 한국해양과학기술진흥원에서 시행한 해양수산생명공학기술 개발과제의 연구개발비 지원(20150220)

에 의해 수행되었습니다.

## References

- Andrea A, Enrico M, Roberto O, Marco WF and Andrea M. 2008. Revealing the moonlighting role of NADP in the structure of a flavin-containing monooxygenase. *Proc Natl Acad Sci USA* 105, 6572-6577. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800859105>.
- Baleiras Couto MM, Reizinho RG and Duarte FL. 2005. Partial 26S rDNA restriction analysis as a tool to characterize non-*Saccharomyces* yeast present during red wine fermentations. *Int J Food Microbiol* 102, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.01.005>.
- Castell CH, Smith B and Neal W. 1971. Production of dimethylamine in muscle of several species of gadoid fish during frozen storage, especially in relation to presence of dark muscle. *Can J Fish Aquat Sci* 28, 1-5.
- Campo MM, Nute GR, Wood JD, Elmore SJ, Mottram DS and Enser M. 2003. Modelling the effect of fatty acids in odour development of cooked meat in vitro: part I-sensory perception. *Meat Sci* 63, 367-375. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00095-5).
- Chung KH and Lee KY. 2009. Removal of trimethylamine by adsorption over zeolite catalysts and deodorization of fish oil. *J Hazard Mater* 172, 922-927. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.081>.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F-tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Heu MS, Park SH, Kim HS, Kim HJ, Han BW, Ji SG, Kim JG, Yoon MS and Kim JS. 2008. Improvement on fish odor of extracts from salmon frame soaked in soybean milk. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37, 223-230. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2008.37.2.223>.
- Hideyuki K, Satoshi K and Osamu T. 2010. Relationship between biophotons and gases generated from cucumber pieces. *J Intl Soc Life Info Sci* 28, 84-94.
- Hong EJ, Son HJ, Kang JH and Noh BS. 2009. Analysis of binding trimethylamine with rice-washed solution using electronic nose based on mass spectrometer. *Korean J Food Sci Technol* 41, 509-514.
- Ian R Phillips and Elizabeth A Shephard. 2008. Flavine-containing monooxygenases: mutations, disease and drug response. *Trends Pharmacol Sci* 29, 249-301. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2008.03.004>.
- Josephson DB, Lindsay RC and Stuibler DA. 1984. Biogenesis of lipid-derived volatile aroma compounds in the emerald shiner (*Notropis atherinoides*). *J Agric Food Chem* 32, 1347-1352. <https://doi.org/10.1021/jf00126a032>.
- Jonathan DT, Mark K, Simone NP and Andrew WB. 2012. DddW, a third DMSP lyase in a model *Roseobacter* marine bacterium, *Ruegeria pomeroyi* DSS-3. *Microb Ecol* 6, 223-

226. <https://doi.org/10.1038/ismej.2011.79>.
- Jung BM, Chung GH, Jang MS and Shin SU. 2004. Quality characteristics of citron treated *mackerel* oil and fillet during refrigerated storage. *Korean J Food Sci Technol* 36, 574-579.
- Kang OJ. 2008. Isolation and identification of yeast strain from fermented tea. *Korean J Food Cookery Sci* 24, 11-15.
- Kang BK, Kim KBWR, Kim MJ, Bark SW, Pak WM, Kim BR, Ahn NK, Choi YU, Byun MW and Ahn DH. 2014. Effects of Immersion Liquids Containing *Citrus junos* and *Prunus mume* Concentrate and High Hydrostatic Pressure on Shelf-life and Quality of *Scomber japonicus* during Refrigerated Storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43, 1555-1564.
- Kim S, Son JH, Woo HS, Seung TS and Choi C. 1998. Isolation and characterization of lactic acid bacteria and yeast from traditional and on sikhe. *Korean J Food Sci Technol* 30, 941-947.
- Kim SK, Ma YH, Gu KJ, Lee YJ, Kim EJ and Song KB. 2006. Effect of chlorine dioxide treatment on microbial safety and quality of saury during storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 1258-1264.
- Lee SY and Rhee HS. 1979. A study on the suppressing effects of spices for fishy odor; the effect of vinegar and ginger. *Korean J Food Sci Technol* 11, 126-130.
- Lee YE and Rhee HS. 1982. Effect of organic acids on suppression of fishy odor in salted clam pickle. *Korean J Food Sci Technol* 14, 6-10.
- Lundstrom RC and Racicot LD. 1983. Gas chromatographic determination of dimethylamine and trimethylamine in seafoods. *J Assoc Off Anal Chem* 66, 1158-1163.
- MacLeod G and Ames J. 1988. Soy flavor and its improvement. *Crit Rev Food Sci Nutr* 27, 218-400.
- Mario LP, Ana-Belen MC and Francisco RV. 2014. Homologous recombination is involved in the diversity of replacement flexible genomic islands in aquatic prokaryotes. *Front Genet* 5, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fgene.2014.00147>.
- Namiesnik J, Jastrzebska A and Zygmunt B. 2003. Determination of volatile aliphatic amines in air by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography with flame ionization detection. *J Chromatogr A* 1016, 1-9. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)01296-2](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)01296-2).
- O'Donnell K. 1993. *Fusarium* and its near relatives. In *The Fungal Holomorph: Mitotic, meiotic and pleomorphic speciation in fungal systematics*, CAB international, Wallingford, 225-233.
- Peter FD, Valentina NK, Natalia ES, Yuri AT and Svetlana ND. 2003. *Methylocella silvestris* sp. nov., a novel methanotroph isolated from an acidic forest cambisol. *Int J Syst Evol Microbiol* 53, 1231-1239. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.02481-0>.
- Rogério M, Helena AS, Patrícia A and Carlos C. 2011. Effect of CO<sub>2</sub> dissolution on the shelf life of ready-to-eat *Octopus vul-garis*. *Innov Food Sci Emerg Technol* 12, 551-561. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.07.003>.
- Sergio M, Amar K and Paul N. 1991. Molecular genetic analysis of fission yeast *Schizosaccharomyces pombe*. *Methods Enzymol* 194, 795-823. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(91\)94059-L](https://doi.org/10.1016/0076-6879(91)94059-L).
- Suh JK, Poulsen LL, Ziegler DM and Robertus JD. 1996. Molecular cloning and kinetic characterization of a flavin-containing monooxygenase from *Saccharomyces cerevisiae*. *Arch Biochem Biophys* 336, 268-274 <https://doi.org/10.1006/abbi.1996.0557>
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK and Hwang IK. 2005. Quality changes of salted and semi-dried *mackerel* fillets by UV treatment during refrigerated storage. *Korean J Food Cook Sci* 21, 662-668.
- Yin C, Nisha AP, Andrew C, James HS and J Colin M. 2011. Bacterial flavin-containing monooxygenase is trimethylamine monooxygenase. *Proc Natl Acad Sci USA* 108, 17791-17796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112928108>.
- Yin Chen. 2012. Comparative genomics of methylated amine utilization by marine *Roseobacter* clade bacteria and development of functional gene markers (*tmm*, *gmaS*). *Environ Microbiol* 14, 2308-2322. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2012.02765.x>.
- Yoshiwa T, Morimoto K, Sakamoto K, Ishikawa Y, Tokita M and Morita M. 1997. Volatile compounds of fishy odor in sardine by simultaneous distillation and extraction under reduced pressure. *Fish Sci* 63, 222-230.
- Zhang AQ, Mitchell SC, Ayesh R and Smith RL. 1992. Determination of trimethylamine and related aliphatic amines in human urine by head-space gas chromatography. *J Chromatogr B Biomed Sci Appl* 584, 141-145. [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(92\)80569-C](https://doi.org/10.1016/0378-4347(92)80569-C).