

전통 수산발효식품의 향기성분에 관한 연구

차용준 · 김진현 · 심진하 · 유대웅*

창원대학교 식품영양학과

Studies on the Flavor Compounds in Traditional Salt-Fermented Fishes

Yong-Jun Cha, Jin Hyeon Kim, Jin Ha Sim and Daeung Yu*

Department of Food and Nutrition, Changwon National University, Changwon 51140, Korea

Nowadays, two types, *Yumhae* and *Sikhae* methods, remained as traditional seafood fermentation methods in Korea. In this study, flavor compounds in two types of salt-fermented fishes made by *Yumhae* method such as anchovy *Engraulidae* sp., shrimp *Caridea* sp., squid *Decapodiformes* sp., big eyed herring *Clupea* sp., gizzard shad *Dorosoma* sp. and hairtail *Trichiurus* sp., and made by *Sikhae* method such as Alaska pollack *Gadus Chalcogrammus* and squid. Volatile compounds detected in all salt-fermented fishes were composed mainly of aldehydes (45), ketones (39), alcohols (45), acids (12), esters (47), N-containing compounds (43), aromatic hydrocarbons (37), S-containing compounds (26), furans (10), and miscellaneous compounds (40) in salt-fermented fishes made by *Yumhae* method. Meanwhile, alcohols (47), terpenes (38), S-containing compounds (22), carbonyl compounds (19 aldehydes, 18 ketones), esters (13), and acids (14). Aroma-active compounds were identified by Gas chromatography/mass spectrometry/olfactometry and aroma extract dilution analysis in salt-fermented anchovy, shrimp and tuna (*Thunnini* sp.) sauce. Ethyl 2-methylbutanoate (candy/sweet) and 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine (nutty/baked potato-like) were predominant odorants in salt-fermented anchovy, whereas dimethyl trisulfide (cooked cabbage/soy sauce-like), 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine, and (E,E)-2,4-heptadienal (fatty/grainy) in salt-fermented shrimp, and dimethyl trisulfide, 3-methylbutanal (dark chocolate-like), and 3-methylthiopropional (baked potato-like) in tuna sauce.

Keywords: Salt-fermented fishes, Flavor, Aroma-active, *Yumhae*, *Sikhae* method

서론

젓갈류는 어패류의 근육, 내장 또는 생식소 등에 다량의 식염을 가하여 자가소화 및 미생물이 분비하는 효소작용에 의하여 알맞게 분해시켜 숙성시킨 우리나라의 전통적인 수산발효식품으로 독특한 풍미가 있어 예로부터 즐겨 애용하여 왔다(Cha and Lee, 1985). 중국의 기록을 보면, 기원전 3세기에 쓰여진 주례(周禮)에 수산발효식품의 문자인, 해(醢), 자(鮓), 지(鮓)가 나타나며, 5세기경에 저술된 제민요술(齊民要術)에서도 수산발효기술이 소개되고 있다(Lee, 1993). 한편 우리나라 젓갈에 대한 최초의 문헌적 기록을 보면, 삼국사기 8편(신문왕 3년, AD 683년)에 기록된 왕의 왕비에 대한 폐백음식에 술, 간장, 된장 및 육포와 함께 젓갈(醢)이 소개되고 있다. 그 후 조선시대의 음

식디미방(1670년), 산림경제(1715년) 및 증보산림경제(1765년)에서는 4가지의 수산발효법이 소개되는데, 어패류에 단지 식염만을 첨가하여 발효시킨 염해법(鹽醢法), 생선에 식염, 술, 곡분, 야채유 및 향신료 등을 첨가하여 발효시킨 주국어법(酒麴漁法), 생선에 식염, 누룩, 향신료 등을 넣어 알코올 발효를 시킨 어육장법(魚肉醬法)과 어패류의 육질에 찹쌀, 맥아가루 및 향신료로 발효시킨 식해법(食醢法) 등이 있다(Lee, 1993; Cha et al., 2019). 그러나 우리나라 전통적 수산발효식품은 염전이나 계절별 어획 여부 등과 같은 지역 및 환경적인 특성에 의해 염해법과 식해법만이 계승 발전되었다(Suh, 1987). 대부분의 염해법(*Yumhae* method)은 어체에 25-30%의 식염을 첨가하여 3개월에서 수년간 발효시킨 다음, 젓(fermented fish paste)과 젓국(fish sauce) 형태로 제조되어 유통되고 있으며, 식해법은 다

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 213. 3513 Fax: +82. 55. 287. 7924

E-mail address: duyu@changwon.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.2020.0259>

Korean J Fish Aquat Sci 53(3), 259-272, June 2020

Received 21 April 2020; Revised 12 May 2020; Accepted 25 May 2020

저자 직위: 차용준(명예교수), 김진현(대학원생), 심진하(대학원생), 유대웅(교수)

량의 식염을 첨가하는 대신에 어패류에 곡류 및 맥아가루를 첨가하여 저식염(5-10%)의 젖산발효(lactic acid fermentation)를 시키는 방법으로 염전이 없는 동·남해안을 중심으로 발전하였다(Cha et al., 2019).

한편 우리나라에서 전통 계승된 수산발효식품을 조사한 결과를 보면, 첫째, 전(whole fish)어체에 고식염을 처리하여 제조한 젓갈류는 18종으로, 멸치젓, 정어리젓, 조기젓, 황새기젓, 오징어젓, 자리젓, 볼락젓, 반지젓(밴댕이젓), 메가리젓, 곤쟁이젓, 갈치젓, 꼴뚜기젓, 병어젓, 모쟁이젓(송어새끼젓), 준치젓, 가자미얼간젓, 청어젓(비웃젓) 및 낙지젓 등이며, 둘째, 내장을 이용하여 제조한 젓갈류는 9종으로, 창란젓, 명란젓, 대구아가미

젓, 해삼창자젓, 고등어내장젓, 갈치내장젓(갈치숙젓), 전복내장젓, 전어밤젓, 성게알젓 등이며, 셋째, 패류를 이용한 젓갈류는 7종으로, 조개젓, 굴젓, 바지락젓, 피조개젓, 소라젓(또는 무럭젓), 오분자기젓, 홍합젓 등이고, 넷째, 갑각류젓은 3종으로 새우젓, 게장 및 방게젓 등으로, 총 37종의 염해법이 소개되고 있다(Lee, 1993). 한편 식해법으로는 가자미식해, 멸치식해, 명태밥식해, 동태식해 등 4종이 소개되고 있으나(Lee, 1993), 현재는 오징어 식해가 강원지역에서 많이 제조된다는 것을 감안하면 품목도 시대에 따라 많이 변화한다고 볼 수 있다.

한편 우리나라 젓갈류(염신류)의 총 생산량을 보면, 2012년에 35,107 M/T이 생산되었고, 2015년에 40,091 M/T으로 약

Table 1. Volatile compounds identified in salt-fermented fishes^{1,2}

Alcohols (45)	Ester (47)
Ethanol(B,G), 1-Propanol(B,D,E,G), 2-Methyl-1-propanol(B,C,D,E), 2-Methyl-2-propanol(B), 1-Butanol(A,B,C,D,E), (E)-2-Butanol(A,B,C,D), 2-Methyl-1-butanol(B), 3-Methyl-1-butanol(A,B,C,D,E,F,G), 3-Methyl-2-butanol(B), 2-Ethyl-1-butanol(A,D,E,F), 1-Pentanol(A,B,C,D,F,G), 2-Pentanol(B,D,E), 3-Pentanol(B,D,E,F), (E)-2-Penten-1-ol(A,B,D,E,F), (Z)-2-Penten-1-ol(A,B,D,E,F), 1-Penten-3-ol(A,B,C,D,E,F,G), 4-Penten-2-ol(D,F), Hexanol(A,B,D,E,F,G), 4-Methyl-1-hexanol(G), 5-Methyl-3-hexanol(A,D,E,F), 2-Ethyl-1-hexanol(A,C,D,F,G), (E)-2-Hexen-1-ol(A), (E)-2-Octen-1-ol(A,G), (Z)-2-Octen-1-ol(A), 1-Hexen-3-ol(A,E), Heptanol(A,D,E,F), Octanol(A,B,C,D,E,F,G), 1-Octen-3-ol(A,C,D,E,F,G), Nonanol(D,G), Decanol(D), Dodecanol(A,D), Pentadecanol(A), Hexadecanol(A), 1,4-Tetradecanediol(A), 2-(2-Butoxyethoxy)ethanol(G), 2,4-Hexadien-1-ol(B), (5Z)-Octa-1,5-dien-3-ol(A), 2-Furanmethanol(A,B,D,F), 2-Nitro-tert-butanol(B), 2-Phenylethanol(A,B,D,E,F,G), 3-Methylthio-1-propanol(B,G), 5-Methoxy-1-pentanol(C), Benzenemethanol(A,B,C,D,E,F,G), Cyclopentanol(F), Isoamyl alcohol(G),	2-Methylpropyl butanoate(A,E), 2-Methylpropyl propanoate(A,D), 2-Phenylethyl butanoate(D,E), Butyl butanoate(A), Butyl butanoate(A,D,E), Ethenylcyclopentane acetate(A), Ethyl acetate(A,B,C,D,F,G), Ethyl propanoate(B,E), Methyl butanoate(C), Ethyl butanoate(A,B,D,E,F), Ethyl pentanoate(A,D,E), Ethyl hexanoate(A,E), Ethyl heptanoate(A), Ethyl octanoate(A), Ethyl nonanoate(A), Ethyl decanoate(A), Ethyl undecanoate(A), Ethyl dodecanoate(A,D,E,F), Ethyl tridecanoate(A), Ethyl tetradecanoate(A,B,D,E,F), Ethyl pentadecanoate(A), Ethyl hexadecanoate(A,B,D,E), Ethyl heptadecanoate(A), Ethyl octadecanoate(A), Ethyl lactate(G), Ethyl phenylacetate(A), Ethyl-(Z)-3-hexenoate(A), Ethyl-2-hydroxy propanoate(A), Ethyl-2-methyl butanoate(A,E), Ethyl-2-methyl propanoate(A), Ethyl-3-(2-Furyl)-propanoate(A), Ethyl-3-methylbutanoate(A), Ethyl-3-phenylpropionate(F), Ethylenyl cyclopentaneacetate(A), Hexyl hexanoate(G), Hexyl butanoate(D,E), Isoamyl propionate(G), Isopropyl butanoate(D,E), Isopropyl propanoate(D), Methyl-2,8-dimethyl undecanoate(A), Pentyl butanoate(D,E), Pentyl propanoate(D), Propyl butanoate(A,D,E), S-Methyl butanethioate(A,D), S-Methyl ethanethioate(A), tert-Butyl propanoate(B), Geranyl acetate(C),
Aldehydes (44)	Ketones (39)
Acetaldehyde(B), Propanal(B), 2-Methylpropanal(A,B), Butanal(A,B,D,F), (E)-2-Butanal(A,C,F), (E)-2-Butenal(A,B), 2-Methylbutanal(A,B,C,D,E,F), 3-Methylbutanal(A,B,C,D,E,F,G), 3-Methyl-2-butenal(B), 2-Methyl-(E)-2-butenal(A,B), Pentanal(A,C,E), (E)-2-Pentanal(A,B,D,F), 2-Methyl-(E)-2-pentenal(A), Hexanal(A,B,C,D,E,F,G), (E)-2-Hexenal(A,F), (E,E)-2,4-Hexadienal(A,B,D), Heptanal(A,B,C,D,E,F,G), (E)-2-Heptenal(A,F), (Z)-2-Heptenal(G), (Z)-4-Heptenal(A,C,E,F), (E,E)-2,4-Heptadienal(A,B,D,E,F), Octanal(A,D,E,F,G), (E)-2-Octenal(A,C,D,E,F), (Z)-2-Octenal(G), (E,E)-2,4-Octadienal(A,B,G), Nonanal(A,D,F,G), (E)-2-Nonenal(A), (E,E)-2,4-Nonadienal(D), (E,E)-2,6-Nonadienal(A,D,E,F), (E,Z)-2,6-Nonadienal(A,D,F), Decanal(G), (E)-2-Decenal(A), (E,E)-2,4-Decadienal(A,D,E,F), 2-Undecenal(A,F), Tetradecanal(A,F), Pentadecanal(A), Hexadecanal(A,E,F), 2-Chlorobenzaldehyde(A), 3-(Methylthio)propanal(B,D,E,F), Furfural(A), Benzaldehyde(A,B,C,D,E,F,G), Phenylacetaldehyde(A,B), Ethylbenzaldehyde(A), α -Ethlidene-phenylacetaldehyde(A,F),	Acetone(G), 2-Propanone(B), 1-Hydroxy-2-propanone(B), 2-Butanone(B), 3-Methyl-2-butanone(B,G), 3-Hydroxy-2-butanone(A,D,E,F,G), 2,3-Butanedione(A,B,C,D,E,F,G), 2-Pentanone(B), 3-Methyl-2-pentanone(B), 4-Methyl-2-pentanone(A,C), 1-Penten-3-one(D,F), (E)-3-Penten-2-one(A,B,D,E,F), 2,3-Pentanedione(A,B,D,E,G), 2-Hexanone(B,C,E), 5-Methyl-3-hexanone(B), 2,3-Hexanedione(E), 3-Hydroxy-3,5-dimethyl-2-hexanone(A), 2-Heptanone(A,C,D,E,F,G), 6-Methyl-5-hepten-2-one(C), 2-Octanone(A,F), 3-Octanone(A,C,D,E), 1-Octen-3-one(D,E), 7-Octen-2-one(C), 2,3-Octanedione(G), (E,E)-3,5-Octadien-2-one(A,B,D,E,F), 2-Nonanone(A,B,D,E,F,G), 2-Undecanone(A,C,D,E,G), 2-Tridecanone(D,E,G), Pentadecanone(A), 1-(2-Aminophenyl)-ethanone(C), 1-(2-Furyl)-ethanone(A,B), 1-(3-Ethylcyclobutyl)-ethanone(A), 1-Phenylethanone(C), 2-(1-Methylpropyl)cyclopentanone(B), 2-Methyltetrahydrothiophen-3-one(G), 5-Ethylcyclopent-2-en-1-one(A), Cyclohexanone(B), Geranylacetone(A,C), β -Ionone(D,F),

Table 1. Continued

N-Containing compounds (43)	S-Containing compound (26)
1H-Pyrrole(C), 2-Methyl-1H-pyrrole(C), 3-Ethyl-1H-pyrrole(A), Pyrazine(B,C), Methylpyrazine(B,C), 2,3-Dimethylpyrazine(B,C), 2,5-Dimethylpyrazine(B,C,E), 2,6-Dimethylpyrazine(A,B,C,E,G), Trimethylpyrazine(A,B,C,D,E), Tetramethylpyrazine(A,B,C,E), 2-Ethylpyrazine(B), 2-Ethyl-5-methylpyrazine(B,C), 2-Ethyl-6-methylpyrazine(A,C), 2,3,5-Trimethyl-6-ethylpyrazine(C), 3-Ethyl-5-methylpyrazine(C), 3-Ethyl-2,5-dimethylpyrazine(B,C), 3-Ethyl-3,6-dimethylpyrazine(D,F), 2,3-Diethyl-5-methylpyrazine(C), 2-Allyl-3-methylpyrazine(C), 2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine(C,D,E), 2-Ethyl-3,6-dimethylpyrazine(B,C,D,F), 2-Isopropylpyrazine(B), 5-Isopropyl-2-methylpyrazine(B), 3,5-Diethyl-2-methylpyrazine(A,C), Pyridine(A,C,D,E,F), 2-Methylpyridine(A,C,D,E), 4-Methylpyridine(B), 2,5-Dimethylpyridine(B), 2,3-Dimethylpyridine(B), 2,4-Dimethylpyridine(A,C), 2,6-Dimethylpyridine(B), 2-Ethylpyridine(A,B,D,E), 3-Ethylpyridine(A,D,E,F), 2-Propylpyridine(B), 1-Methyl-2(1H)-pyridinone(C), 3-Acetoxy-pyridine(A,F), 4,5-Dimethylpyrimidine(B,C), 4,6-Dimethylpyrimidine(B), 5-Ethyl-2-ethylpyridine(C), Benzenemethanamine(B), Hexamethyl enetetramine(A,C,F), Hydrogen azide(B), Indole(C,D), Trimethylamine(B), Trimethyloxazole(B)	Dimethyl sulfide(B), Dimethyl disulfide(A,B,C,D,E,F), Dimethyl trisulfide(A,B,C,D), Isobutylisopropylsulfide(D), Allyl sulfide(B,D,E), (Methylthio)ethane(B), 1-Ethenyl-methyl disulfide(B), 2-(Methylthio)propane(B), 2,4-Dithiapentane(B), 3-(Methylthio)-propanal(F), Thiazole(B), 2-Acetylthiazole(A,C), Benzothiazole(A,B,D,E,F), 2-Methylthiophene(D,E), 2-Ethylthiophene(A,D), 2-Propylthiophene(A,D), 2-Thiophenecarboxaldehyde(A), 3,5-3-Thiophenecarboxaldehyde(C), 3,5-Dimethyl-1,2,4-trithiolane(C,D,F), Isothiocyanatocyclopentane(B), Methanesulfonyl chloride(B), Methanethiol(B), Methyl thioacetate(D,E), Methyl thiobutanoate(D), S-Methyl butanethioate(B), S-Methyl ethanethioate(B)
	Acids (12)
	Acetic acid(B,G), Propiolic acid(G), Propanoic acid(B,C), 2-Methylpropanoic acid(B), 2,2-Dimethylpropanoic acid(B), Butanoic acid(A,B,C), 2-Methylbutanoic acid(B), 3-Methylbutanoic acid(B,G), Pentanoic acid(C,G), Hexanoic acid(G), Octanoic acid(G), Nonanoic acid(G),
Furans (10)	Miscellaneous compounds (40)
2-Ethylfuran(A,B,D,E,F), 2-Propylfuran(A), 2-Butylfuran(A), 2-Pentylfuran(A,D,E,F,G), 2-Furancarboxaldehyde(C,D), 5-methyl-2-furancarboxaldehyde(B), 2-Furanmethanol(A,B), (E)-(Penten-ethyl)furan(G), 5-Ethyl-2(5H)-furanone(B), Dihydro-5-propyl-2(3H)-furanone(B),	Ethylcyclopropane(A,C), Ethylcyclopentane(A), Heptane(A,C,D,F), 2-Methylheptane(A,C,D,F), 1,1,2,3-Tetramethylcyclopropane(A,C,D,F), 1,2-Dimethyl-(E)-cyclohexane(A,C,D,F), 1,2-Dimethylcyclohexane(A), Propylcyclohexane(C), Propylcyclopentane(C), 1-Ethyl-2-methylcyclopentane(A,C,F), 3-Ethylheptane(B), Octane(A,C,D,F), 2-Methyloctane(A,C,D,F), Nonane(A,C,D,F), 3-Methylnonane(C,D,F), Decane(A,B,C,D,F), 3-Methyldecane(B), Undecane(A,B,D), 2-Undecene(C), Dodecane(B,D), 4-Methylundecane(B), 5-Methylundecane(B), 2,6-Dimethylundecane(B,D,F), 3-Methyldodecane(B), 4-Methyldodecane(B), Tridecane(B,D,E), Tetradecane(A,B,C,D,E,F,G), Pentadecane(A,B,C,D,E), 2,6,10,14-Tetra-methylpentadecane(A,C,D,E,F), Hexadecane(A,B,D,E,F), Heptadecane(A,B,C,D,E,F), Heptadecene(A,E), 2,6,10,14-Tetramethylhexadecane(D,F), Octadecane(A,E), Nonadecane(A,E), Nonadecene(A), 2-Nitropropane(B), 4-Octyne(G), 3-Dodecyne(C), Chloroform(C,D,E)
Aromatic hydrocarbons and terpenes (37)	
α -Amorphene(B), α -Copaene(B), α -Pinene(B), γ -Cadinene(B), δ -Cadinene(B), Camphene(B), (-)-Limonene(B,D,E,G), (+)-Limonene(G), (-)-Calamenene(B), Benzene(B,E), C ₄ -Alkylbenzene(B), Toluene(A,B,C,F), o-Xylene(A,C,D), m-Xylene(A,C,D,F), p-Xylene(A,C,F), Ethylbenzene(A,C,F,G), Styrene(A,C,D,G), 1,2,3-Trimethylbenzene(B), 1,2,4-Trimethylbenzene(E), Propylbenzene(E), 1,2,3,4-Tetramethylbenzene(G), 1,2,4,5-Tetramethylbenzene(E), 1,4-Dichlorobenzene(C), Methyl(1-methylethyl)benzene(B), Pentamethylbenzene(B), Phenol(A,B,C,D,E,F), o-Cresol(D), m-Cresol(B), Phenylether(C), 2-(1,1-dimethylethyl)-5-methylphenol(G), 4-(Methylthio)-phenol(F), Naphthalene(A,B,C,D,E,F), 1-Methylnaphthalene(A,B,D,E), 2-Methylnaphthalene(B,D,E), 2,7-Dimethylnaphthalene(B), 1-Ethyl-naphthalene(B), 3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole(A,D),	

¹Anchovy *Engraulidae* sp. (A) referred by Cha (1992, 1994a, 1994b) and Cha and Cadwallader (1995); Anchovy *Engraulidae* sp. sauce (B) by Udomsil et al. (2011), Cha et al. (1998a) and Shimoda et al. (1996); Shrimp (*Caridea* sp.) (C) by Pongsetkul et al. (2015), Pongsetkul et al. (2019) and Cha and Cadwallader (1995); Big-eyed-herring *Clupea* sp. (D) by Cha (1994b), Cha et al. (1998c) and Cha and Cadwallader (1995); Gizzard shad *Dorosoma* sp. (E) by Cha et al. (1998b); Hairtail *Trichiurus* sp. (F) by Cha (1994b) and Cha and Cadwallader (1995); Squid *Decapodiformes* sp. (G) by Choi et al. (1995) and Huang et al. (2018). ²Alphabets in parentheses indicates identified salt-fermented

간 증가하였다가 그 후로 2018년까지 30,000 M/T 내외의 수준에 머물러 있다. 품목별 생산량(2018년도 기준)은 멸치젓이 9,012 M/T으로 가장 많고, 다음으로 새우젓이 9,003 M/T, 명란

젓 5,119 M/T, 오징어젓 3,850 M/T, 창란젓 1,598 M/T, 굴(어리굴)젓 276 M/T, 조개젓 143 M/T, 황석어젓 107 M/T 순이며, 8 제품만 오로지 통계에 적용되고 있는 실정이다(KOSIS, 2020).

Table 2. Volatile compounds in salt-fermented *Sikhae*^{1,2}

Alcohols (47)	Aldehydes (19)
Ethanol(A,B), 1,2-Ethanediol(B), 2-Methyl-1-propanol(A,B), Propanol(A,B), 1-Cyclopentyl-1-propanol(B), 2-Propen-1-ol(B), 2-Butanol(A), 3-Methyl-1-butanol(A), Butanol(A), 2-Buten-1-ol(A,B), 2,3-Butanediol(A), 3-Methyl-2-butene-1-ol(A), 2-Pentanol(A,B), 3-Pentanol(A), Pentanol(A,B), 4-Methyl-1-pentanol(A), 2-Penten-1-ol(A), 1-Penten-3-ol(A,B), Hexanol(A,B), 3-Hexen-1-ol(A,B), 2-Heptanol(A,B), 3-Heptanol(A), 6-Methyl-5-hepten-2-ol(B), 2-Nonanol(B), (E)-2-Decen-1-ol(B), Undecanol(B), Tetradecanol(B), 2,6-Dimethylcyclohexanol(A), Benzylalcohol(A), 2-Furanmethanol(A,B), 2-Phenylethanol(A,B), 1-Phenyl-1,2-ethanediol(B), 4,4-Dimethyltetraicyclotrideca-8-en-1-ol(B), α -Terpineol(A,B), 4-Terpineol(A,B), (Z)-Geraniol(A), (E)-Geraniol(A,B), 1,8-Cineol(B), (E)-Nerolidol(B), Borneol(A,B), Citronellol(A), Elemol(B), Levomenol(B), Linalool(A), Myrtenol(B), Nerol(B), Veridiflorol(B),	Acetaldehyde(B), 2-Propenal(B), 2-Methylbutanal(B), 3-Methylbutanal(B), 2-Methyl-2-butanal(B), (E)-2-Butenal(A), Pentanal(B), 4-Pentenal(B), Hexanal(A,B), Nonanal(A,B), (E)-2-Nonenal(B), (E)-2-Decenal(B), (E)-Citral(A), (Z)-Citral(A,B), Benzaldehyde(A), Cuminaldehyde(B), Furfural(B), Safranal(B), β -Cyclocitral(B)
S-Containing compounds (22)	Ketones (18)
3-(Methylthio)-1-propene(A), Propylene sulfide(B), Dimethyl sulfide(B), Dimethyl disulfide(A,B), Dimethyl trisulfide(A,B), Allylmethyl sulfide(A,B), Diallyl sulfide(A,B), Methylallyl disulfide(A), Diallyl disulfide(A,B), Dipropyl disulfide(B), Di-allyl trisulfide(A,B), (E)-Methylpropenyl disulfide(A,B), (Z)-1-Propenylmethyl disulfide(B), (Z)-di-2-Propenyl disulfide(B), Methylpropyl trisulfide(B), 2-Methylpropenyl trisulfide(A,B), 2-Propenyl propyl disulfide(A), 3-Butenylisothiocyanate(B), 4-Methylpentyl isothiocyanate(B), Cyclohexyl isothiocyanate(A), Benzothiazole(A), Dimethyl sulfoxide(B)	2-Propanone(B), 1-Hydroxy-2-propanone(B), 2,3-Butanedione(A), 2-Pentanone(A), 2,3-Pentanedione(A), Cryptone(B), 2-Heptanone(B), Heptanone(B), Acetoin(A), 6-Methyl-5-hepten-2-one(A,B), 2-Nonanone(B), 2-Undecanone(B), 2-Tridecanone(B), Acetophenone(A), Diethyl mercaptal acetone(B), Piperitenone(B), β -Ionone(B), (E)-Geranylacetone(B),
Terpenes (38)	Esters (13)
(E)-Phellandrene(B), (E)- β -Bergamotene(B), (E)- β -Caryophyllene(B), α -Farnesene(A), (E)- β -Farnesene(B), (E)- β -Ocimene(B), (E,E)- α -Farnesene(B), (Z)- β -Ocimene(B), α -Pinene(A,B), α -Pineneoxide(B), 2- β -Pinene(B), ar-Curcumene(A,B), Camphene(A,B), Camphor(B), Germacrene D(B), Isolimonene(B), Limonene(A,B), Junipene(B), Linalool(B), p-Cymene(B), Sabinene(A,B), Valencene(B), Zingiberene(A,B), β -Sesquiphellanderene(A,B), α -Cedrene(B), α -Copaene(B), α -Elemene(B), α -Fenchene(B), α -Humulene(B), β -Bisabolene(A,B), β -Cubebene(A), β -Myrcene(A,B), β -Phellandrene(A), γ -Cadinene(B), δ -Cadinene(B), γ -Terpinene(B), δ -Selinene(B), Tricyclene(B)	Ethyl formate(A,B), Ethyl acetate(A,B), 3,7-Dimethyl-6-octen-1-ol acetate(B), 3-Ethyl-1,2-dithi-5-ene(B), 3-Methyl butyldecanoate(B), Methyl pentadecanoate(B), Bornyl acetate(B), Citronellyl acetate(B), Ethyl lactate(A), Ethyl tetradecanoate(B), Geranyl acetate(B), Methyl-2-hydroxy benzoate(A), Methyl salicylate(B),
Aromatic hydrocarbones (11)	Acids (14)
Toluene(A,B), Ethylbenzene(A), Methyl-4-ethenylbenzene(A), 4-Isopropyltoluene(A), o-Xylene(A), m-Xylene(A), p-Xylene(A,B), Styrene(A), Phenol(A), 4-Methoxyphenol(A), Naphthalene(A),	Acetic acid(A,B), Propanoic acid(A), Isobutyric acid(A), Butanoic acid(A), 3-Methylbutanoic acid(A,B), Pentanoic acid(A), Hexanoic acid(A,B), 2-Ethylhexanoic acid(B), Heptanoic acid(A,B), Octanoic acid(A,B), Nonanoic acid(A), Decanoic acid(A), Undecanoic acid(A), Dodecanoic acid(A)
	Hydrocarbones (17)
	1,3,5-Tris(methylene)cycloheptane(B), 1-Ethoxy-1-(Z)-hex-3-enoxyethane(B), 3-Ethyl-3-methylpentane(A), 2-Methyl-2-heptene(B), 2-Methyl-1,6-heptadiene(B), 2-Methyl-2-phenylundecane(B), Tetradecane(A), Pentadecane(A), 2,6,10,14-Tetramethylpentadecane(A), Acoradiene(B), Hexadecane(A), Heptadecane(A,B), Nonadecane(A), Eicosane(A), Heneicosane(A), 1,3-Cyclooctadiene(A), 1-Cyano-4,5-epithiopentane(A)
	Miscellaneous compounds (21)
	1-Nitropropane(B), 2-Ethylfuran(B), 2-Pentylfuran(A,B), 2-Acetylfuran(B), 2-Acetylpyrrole(A,B), 2-Allyl-1,3-dioxolane(B), 2-Butyl-1,3-dioxolane(B), 2-Pyrrolidinethione(B), 4-(Methylthio)butanenitrile(B), Butanenitrile(B), Chloroform(A), 4,5-Dehydroisolongifolene(B), Aromadrene(B), Calamenene(B), Perillene(B), β -Cedrenoxide(B), β -Elemene(B), β -Himachlene(B), β -Ionone epoxide(B), Butyrolactone(A), Tetramethylpyrazine(A)

¹Alaska Pollack *Gadus Chalcogrammus* (A) referred by Cha et al. (2002) and Cha et al. (2019); Squid (*Decapodiformes* sp.) (B) by Choi et al. (2001). ²Alphabets in parentheses indicates identified salt-fermented *Sikhae*.

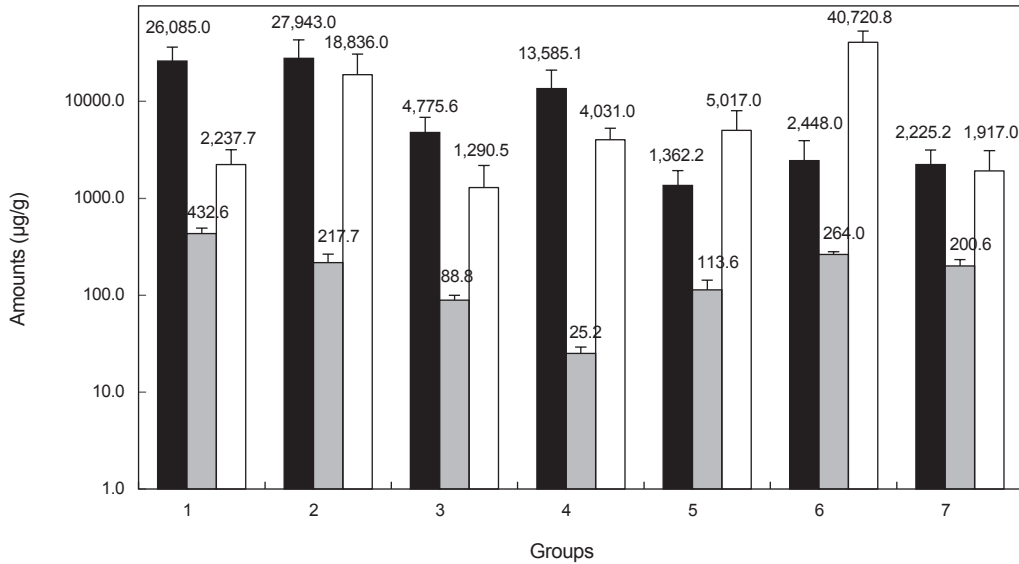


Fig. 1. Amounts of volatile compounds in salt-fermented anchovy *Engraulidae* sp. (■), anchovy sauce (▣) and shrimp *Caridea* sp. (□)^a. 1, Alcohols; 2, Aldehydes; 3, Ketones; 4, Esters; 5, S-containing compounds; 6, N-containing compounds; 7, Aromatic hydrocarbones. ^a Anchovy by Cha and Cadwallader (1995); anchovy sauce by Cha et al. (1998b); shrimp by Cha and Cadwallader (1995).

앞으로 오랜 전통을 가진 수산발효산업의 활성화를 위해서는 소비자가 선호하는 눈높이에 맞춘 젓갈제품으로 탈바꿈하는 연구가 많이 시도되어야 할 것으로 생각된다.

구글 스칼라(Google Scholar)에서 “젓갈”을 검색하면 1960년부터 2020년까지 3,840편의 논문이 있고, 이를 다시 “젓갈, 가공”으로 분류하면 1,960편, “젓갈”, “제조”로 하면 2,030편이 검색된다. “젓갈, 영양성분”은 330편이 검색되고 있어, 젓갈의 가공 개발에 많은 연구가 시도되었으나, 그 결과물은 산업현장의 호응에 만족하지 못한 것으로 생각된다. 더구나 “젓갈”, “향기성분”에 대한 검색결과는 단지 47편으로 나타났다. 향기성분의 분석 및 동정에 고가 장비 또는 첨단장비가 필요한 애로점은 있지만, 앞으로 젓갈의 품질향상과 소비자가 기대하는 감각적인 요소를 만족시켜 품질 고급화를 위해서는 향기성분에 관한 연구가 집중되어야 할 것이다. 이에 본 연구에서는 젓갈의 향기성분에 관한 그동안의 연구들을 정리하여 젓갈 제품의 품질 고급화를 위한 개발 연구에 기여하고자 한다.

염해법으로 제조한 젓갈류의 향기성분

우리나라에서 생산량이 많은 대표적인 젓갈인 멸치젓, 멸치액젓, 새우젓, 오징어젓을 비롯하여 전어젓, 갈치내장(속)젓 및 밴댕이젓에서 분리 동정된 휘발성 화합물을 각 그룹별로 정리한 결과는 Table 1과 같다. 원료의 식품학적 특성에 따라 발효과정 중 자가효소나 미생물 분비효소에 의한 분해과정을 거쳐 생성되는 저급 분자량의 휘발성물질 조성이 많이 다르겠지만, 개략적으로 보면, 지방의 분해 및 산화과정으로 거쳐 생성되는 알데

히드류(45종)나 케톤류(39종)과 같은 카르보닐 화합물이나 알코올류(45종) 대체로 많이 검출되었다. 또한 산류(12종)도 생성되고 이러한 산류와 알코올 간의 반응을 통하여 생성되는 에스테르류(47종)가 일반적인 경향이였다. 또한 질소함유화합물류(43), 방향족화합물류(테르펜류 포함, 37종), 황화합물류(26종) 및 퓨란류(10종)중 등으로 분류되었고, 탄화수소화합물(40종)이 주류인 기타화합물로 분류되었다.

알코올류

알코올류는 시판 멸치젓(Cha, 1992; Cha, 1994b; Cha and Cadwallader, 1995)과 koji로 숙성시킨 멸치젓(Cha, 1994a)의 경우 13-15종이 동정되었다(Table 1). 함량면에서는 알데히드류 다음으로 많이 검출되었고, 멸치액젓이나 새우젓에 비해 함량도 많았다(Fig. 1). C₄-C₈의 n-알코올이 주로 검출되었으며, 1-penten-3-ol, 1-octen-3-ol, (E)-2-penten-1-ol, hexanol, 3-methyl-1-butanol, (E)-2-butanol 등 6종의 함량이 많았으나, 높은 역치로 인하여 다른 화합물에 비해 젓갈의 냄새에 그 기여도는 낮다고 하였다(Heath and Reineccius, 1986). 멸치액젓에서는 향기성분의 포집방법에 따라 Headspace gas법(5-20종)과 Vacuum-SDE (Stream Distillation-Solvent Extraction) (16종)에서 화합물의 수가 상이하였다(Shimoda et al., 1996; Cha et al., 1998a; Udomsil et al., 2011). 동정된 알코올류는 멸치젓에서 검출된 것과 동일하게 C₄-C₇계열의 알킬-(또는 알케닐-)알코올류였다. 한편 새우젓의 알코올류는 SPME (solid phase microextraction)법으로 분석한 태국산 새우젓에서는 6-8종이 동정되었고, SDE (simultaneous steam distillation-solvent

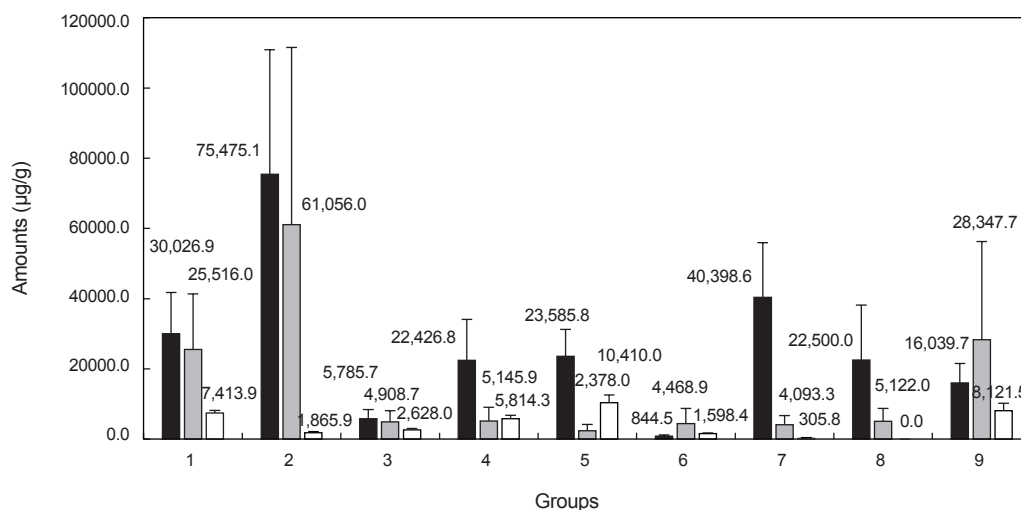


Fig. 2. Amounts of volatile compounds in salt-fermented big eyed herring *Clupea* sp. (■), hairtail *Trichiurus* sp. (▒) and gizzard shad *Dorosoma* sp. (□)^a. 1, Alcohols; 2, Aldehydes; 3, Ketones; 4, Esters; 5, S-containing compounds; 6, N-containing compounds; 7, Aromatic hydrocarbones; 8, Furans; 9, Miscellaneous compounds. ^aBig eyed herring by Cha (1994b), Cha et al. (1998c), and Cha and Cadwallader (1995); Hairtail by Cha (1994b), and Cha and Cadwallader (1995); Gizzard shad by Cha et al. (1998b).

extraction)법으로 분석한 한국산 새우젓에서 3종만이 검출되었다(Cha and Cadwallader, 1995; Pongsetkul et al, 2015; Pongsetkul et al, 2019). 알코올은 지방산의 2차적 분해산물로 알려져 있으며(Tanchotikul and Hsieh, 1989), 새우젓이 멸치젓에 비해 지방함량이 낮기 때문에 화합물 수나 함량이 적은 것으로 추정된다(Cha and Cadwallader, 1995). 밴댕이젓의 경우 총 17-20종의 알코올이 검출되었는데, 멸치젓에서 함량이 많았던 6종이외에 2-phenylethanol (floral, rose향)의 함량이 많이 검출되었다(Cha, 1994b; Cha and Cadwallader, 1995; Cha et al., 1998c). 전어젓에서는 총 18종의 알코올이 동정되었고, 1-penten-3-ol, butanol, 3-methyl-1-butanol, 1-hexen-3-ol, 1-octen-3-ol, hexanol 및 2-phenylethanol의 함량이 많이 검출되었다(Cha et al., 1998b). 그러나 전체적인 함량을 비교하여 볼 때 밴댕이젓, 갈치내장젓에 비하여 매우 낮았다(Fig. 2). 갈치내장젓의 알코올류는 멸치젓 및 밴댕이젓에서 검출된 화합물과 비슷한 경향을 보였으나, 특히 2-furanmetanol (burning향) 및 2-phenyletanol (Floral, rose향)의 함량이 지배적으로 많았다.

알데히드류

시판 멸치젓의 알데히드류는 14-17종이 검출되었고, 직접 담아서 30일 숙성한 경우 24종으로 다른 젓갈류에 비해 가장 많이 동정되었다(Table 1) (Cha, 1994a). 그리고 함량면에서도 멸치젓이 가장 많았다(Fig. 1). 주로 benzaldehyde (almond향), 3-methylbutanal (chocolate향), (E)-2-pentenal (grass향), hexanal (cut-glass향), (E)-2-hexenal, (E)-, (Z)-2-heptenal, (E,E)-2,4-heptadienal (green향), (E,E)-2,4-hexadienal, 2-phenylacetaldehyde (sweet향) 등의 화합물이 지배적이었는

데, 이들 alkanal 및 alkenal류는 멸치젓갈의 fatty-oily같은 향에 기여하며, dienal류는 좋은 fried-fatty향에 기여한다고 하였다(Heath and Reineccius, 1986; Vejaphan et al., 1988). 한편 alkanal, alkenal 및 alkadienal류는 발효 중 지방산화로부터 생성되는데, 멸치젓은 ω -3와 ω -6 지방산의 함량이 많으므로, 지방산화에 민감하다고 하였다(Cha and Cadwallader, 1995). 멸치젓에서는 benzaldehyde를 포함하여 C₄-C₈ 계열의 alkane, alkene 및 dienal류가 상당량 검출되었다. 또한 3-(methylthio)propanal (baked potato, soy sauce향)의 함량이 많았다. 이는 methionine의 Strecker degradation 반응으로 형성되는데, 역치가 0.02 ng/g으로 매우 낮고, OV (odor value)가 높아 멸치젓의 지배적인 물질로 사료된다(Cha et al., 1998a; Jeong et al., 2008). 새우젓에서는 5종이 동정되었다. 지방 함량은 멸치젓(11.1%)에 비해 새우젓(2.1%)이 매우 낮기 때문에 상대적으로 적게 검출되었다고 추정되며(Cha and Cadwallader, 1995), benzaldehyde와 2-, 3-methylbutanal, 4-heptenal, (E)-2-butenal 등이 검출되었다. 한편 밴댕이젓에서는 12-14종이 동정되었는데, 3-methylbutanal (dark chocolate, roast bean향)의 함량이 지배적이었으며(Cha et al., 1997), 이로 인하여 알데히드류의 함량도 어떤 젓갈류에 비해 많이 검출되었다(Fig. 2). 그리고 2-methylbutanal (chocolate향), (E,E)-2,4-heptadienal, benzaldehyde, (E,Z)-2,6-nonadienal 등의 함량이 많았다. 전어젓에서는 hexanal (cut-grass향), benzaldehyde의 함량이 가장 많았고, 다음으로 (E,E)-2,4-heptadienal (stale, grainy향), 3-methylbutanal 및 (Z)-4-heptenal (boiled potato향)의 순이었다. 갈치내장젓에서 동정된 21-22종의 알데히드류는 모두 C₄-C₁₆ 계열의 alkanal, alkenal 및 dienal류이었는데, 이 중 benzaldehyde와

3-methylbutanal의 함량이 지배적이었다. 저식염 오징어젓에서는 methional (3-methyl thiopropanal)이 검출되었으며, 대부분이 앞에 소개된 젓갈류에서와 마찬가지로 지방산 산화로부터 생성된 지방족 알데히드류가 대부분이었다(Choi et al., 1995; Huang et al., 2018).

케톤류

멸치젓에서는 4-10종의 케톤류가 동정되었는데, 함량은 알코올 및 알데히드에 비하여 상대적으로 적었다(Fig. 1). 케톤류는 지방산의 가열 산화 및 분해로 생성되며, 낮은 역치로 인하여 신선한 생선 냄새에 기여한다고 알려져 있는데(Josephson and Lindsay, 1986), 대부분의 멸치젓에서 (E,E)-3,5-octadien-2-one (fatty-fruity향), 1-(2-furanyl)-ethanone 및 2,3-butanedione (butter향)의 함량이 매우 많아, 이들 화합물이 멸치젓의 냄새성분에 어느정도 기여할 것으로 사료된다(Cha, 1994; Cha and Cadwallader, 1995). 멸치액젓에서는 4-7종의 케톤류가 검출되었고, 이 중에서 2-propanone, (E)-3-penten-2-one, 2-butanone (cheese향), 3-methyl-2-butanone, 2-pentanone, (E,E)-3,5-Octadien-2-one 및 2,3-butanedione의 함량이 상대적으로 많았다. 새우젓에서는 동정된 6-9종의 화합물 중 2-pentanone, 2-hexanone, 2-heptanone 및 (E,E)-3,5-Octadien-2-one의 함량이 많았고, 한국산 새우젓에서는 카로테노이드색소의 분해산물인 β -ionone과 terpene유도체인 geranylacetone이 검출되었다(Cha and Cadwallader, 1995). 밴댕이젓의 케톤류 함량은 멸치젓, 멸치액젓 및 새우젓에 비해 많았다(Fig. 2). 대표적으로 2,3-butanedione, (E,E)-3,5-octadien-2-one, (E)-3-penten-2-one, 2,3-pentanedione, 2-undecanone 등의 함량이 많았다. 전어젓에서는 14종의 케톤류가 동정되었으나, 함량 면에서는 밴댕이젓에 비해 적었다. 2,3-Butanedione이 가장 많은 함량이었고, 다음으로 2,3-pentanedione 및 (E)-3-penten-2-one 순이었다. 갈치내장젓에서는 2,3-butanedione이 가장 지배적이었고, β -ionone도 상당량 검출되었다. 오징어젓에서는 버터향을 가지는 acetoin (3-hydroxy-2-butanone)을 비롯하여, 3-methyl-2-butanone, 2-heptanone, 2-nonanone 등의 화합물 함량이 많았다(Choi et al., 1995; Huang et al., 2018).

에스테르류

멸치젓에서 동정된 에스테르류(13-19종)에서 ethyl acetate, ethyl butanoate, propyl butanoate, butyl butanoate, ethyl tetradecanoate 및 ethyl hexadecanoate 등 6종의 함량이 많았다. 에스테르는 젓갈의 숙성 중 자가효소나 미생물 효소의 작용으로 단백질 및 지방으로부터 생성된 카르복실산과 알코올류와의 에스테르화로 생성된다(Cha and Cadwallader, 1995). Ethyl butanoate는 치즈의 독특한 풍미에 관여한다고 알려져 있다(Cha, 1994b). 멸치액젓에서도 ethyl acetate의 함량이 가장 많았고, 다음으로 ethyl butanoate, tert-butyl propanoate 등의 순이었다. 이러한 경향은 새우젓에서도 ethyl acetate가 함량이 지배

적이었으며, geraniol로부터 acetate ester화 유도물인 geranyl acetate는 한국산 새우젓에서 소량 검출되었다(Cha and Cadwallader, 1995). 밴댕이젓에서는 10-13개의 에스테르류가 검출되었는데, butanoate 계열의 에스테르류가 종류도 많고 함량도 지배적이었다. 한편 전어젓의 에스테르류(15종)는 멸치젓이나 밴댕이젓과 같이 butanoate 계열의 에스테르류가 대부분이며, ethyl butanoate가 지배적인 함량을 차지하였다. 반면에 갈치내장젓에서는 ethyl acetate와 ethyl tetradecanoate의 함량이 지배적으로 많았으며, 오징어젓에서는 ethyl acetate, ethyl lactate, hexyl hexanoate, isoamyl propionate 등의 에스테르류가 동정되었다.

함질소화합물류

멸치젓에서 동정된 함질소화합물(5-7종)은 대부분 pyridine 화합물로서 pyridine, 2-methylpyridine, 3-ethylpyridine 및 3-acetoxypyridine이 대부분이었고, 일부는 trimethylpyrazine, tetramethylpyrazine, 3,5-diethyl-2-methylpyrazine 등의 nutty 향을 가지는 pyrazine계열과 popcorn 및 nutty향을 가지는 3-ethyl-1H-pyrrole도 검출되었다. Alkylpyridine류는 불쾌한 생선냄새를 가지는 물질로 알려져 있는데, 멸치젓에서 그 함량은 낮았다(Cha and Cadwallader, 1995). 멸치액젓에서는 pyridine류, pyrazine류, pyrimidine류 및 amine류 등의 다양한 함질소화합물이 검출되었다. Pyrimidine류는 pyridine류 같은 냄새를 가지며, pyrazine류는 아미노산 또는 다양한 질소화합물로부터 가열 중 Strecker degradation을 거쳐 Maillard반응에 의해 형성되어지며, 많은 식품에서 nutty, peanut/almond향을 가진다고 알려져 있다(Shimoda et al., 1996; Cha et al., 1998a). 이와 같이 멸치젓에서 검출되지 않았던 pyrazine류가 멸치액젓에서 많이 검출된 것은 멸치젓에서 착즙후 제품화하는 과정에서 열처리가 동반되었기 때문으로 추정된다. 새우젓에서는 동정된 휘발성 화합물의 50%이상을 함질소화합물이 차지하였으며, 이 중에서도 alkylpyrazine류가 대부분을 차지하였고, nutty향을 가지는 1H-pyrrole 및 2-methyl-1H-pyrrole도 검출되었다. 이와 같이 새우젓에서 pyrazine류가 많이 검출되는 이유를 Cha and Cadwallader (1995)는 새우젓의 높은 pH (8.50)가 pyrazine류의 형성에 크게 기여하지 않았나 추정하였다. 밴댕이젓에서는 3종의 pyridine류(pyridine, 2-methylpyridine, 3-ethylpyridine)와 2종의 pyrazine류(trimethylpyrazine, 2-ethyl-3,5(6)-dimethylpyrazine)가 소량 검출되었으나, 전어젓에서는 밴댕이젓에서 동정된 함질소화합물 이외에 2-ethylpyridine, 2,5-, 2,6-dimethylpyrazine 등 3종의 화합물이 추가로 검출되었으며, 함량도 많았다. 또한 갈치내장젓에서 동정된 5종의 함질소화합물 중에서 pyrazine은 2-ethyl-3,6-dimethylpyrazine이 유일하였고, 오징어젓에서도 2,6-dimethylpyrazine이 유일하였다. 이처럼 어류 및 갑각류로 담근 젓갈류에서 pyrazine류의 생성은 젓갈류의 pH (멸치젓, 6.68; 밴댕이젓, 7.09; 갈치내장젓, 6.23; 새우, 8.50)와 밀접한 관련이 있을 것으로 추정된다.

함황화합물류

멸치젓에서 동정된 함황화합물은 dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide와 같은 alkyl sulfide류와 alkylthiophene류(2-ethylthiophene, 2-propylthiophene) 및 benzothiazole 등이었다. Dimethyl disulfide (fresh garlic, green onion향) 및 dimethyl trisulfide (soy sauce, cooked cabbage향)의 함량은 적으나 자체의 아주 낮은 역치(각각 12 및 0.01 ng/g)로 인하여 멸치젓의 특징적 냄새에 크게 기여할 것으로 사료되며, benzothiazole (nutty, popcorn향)도 positive하게 기여한다고 하였다(Cha and Cadwallader, 1995; Cha et al., 2019). 멸치액젓에서는 allyl sulfide, benzothiazole, dimethyl disulfide, dimethyl trisulfide, S-methyl ethanethioate, S-methyl butanethioate의 함량이 매우 높았으며, 그의 thiazole, methanethiol, (methylthio)ethane, 2-(methylthio)propane, dimethyl sulfide 등은 미량으로 검출되었다. Thiazole류는 N, S를 가지는 heterocyclic화합물로서 가열중 불포화지방산과 함황화합물과의 반응에 의해 생성된다고 하였다(Cha et al., 1998a). 새우젓에서는 6종의 함황화합물이 동정되었는데, 이 중에서 양파향을 가지는 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane의 함량이 지배적으로 많았는데, 이는 알데히드와 H₂S의 반응으로 생성된다고 하였다(Ho et al., 1989). 밴댕이젓의 경우 dimethyl disulfide의 함량이 가장 많이 검출되었으며, 다음으로 dimethyl trisulfide, isobutylisopropyl sulfide, 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane 등이 많았고, methyl thioacetate, allyl sulfide, methyl thiobutanoate, benzothiazole 등도 검출되었다. 시판 전어젓에서 동정된 8종은 함량의 차이가 있으나 밴댕이젓에서와 마찬가지로 함황에스테르류가 검출되었으며, alkyl sulfides 및 benzothiazole도 존재하였다. 갈치내장젓에서도 3-5종의 함황화합물이 동정되었는데, 새우젓과 마찬가지로 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane의 함량이 가장 많았다.

방향족화합물

멸치젓에서 4-8종의 방향족화합물이 동정되었다. 대체적으로 함량이 많은 것은 toluene 및 phenol이었다. 카로테노이드가 수산물에서 발견되는 toluene의 전구물질이라고 추론되고 있으나, 이들 화합물은 대부분의 수산식품의 냄새에 negative효과를 가진다고 하였다(Borenstein and Bunnell, 1969). 멸치액젓에서는 21종의 방향족화합물 중 13종이 benzene류로 구성되었으며, 대부분이 C₄-alkylbenzene 이성체로 밝혀졌으며, 9종의 테르펜화합물도 같이 검출되었다. 이러한 방향족화합물은 높은 역치로 인하여 멸치액젓의 냄새에 기여도가 낮을 것으로 사료된다. 새우젓에서도 멸치액젓에서 동정된 것과 마찬가지로 11종의 방향족화합물이 동정되었다. 한편 밴댕이젓에서는 phenol이, 전어젓에서는 1,2,4-trimethylbenzene이 가장 많은 함량으로 검출되었고, 갈치내장젓에서는 phenol, toluene 및 naphthalene의 함량이 많았다. 그리고 오징어젓에서는 (-), (+)-limonene 이성체와 alkylbenzene류 및 2-(1,1-dimethylethyl)-

5-methylphenol도 검출되었다.

퓨란 및 산류

총 6개의 퓨란류(2-ethylfuran, 2-propylfuran, 2-butylfuran, 2-pentylfuran, 2-furancarboxaldehyde, 2-furanmethanol)가 멸치젓에서 동정되었다. 퓨란류는 많은 식품에서 burnt, sweet, bitter, coconut향을 가진 물질이며, 일부는 가열반응에서 생성되는 것으로 알려져 있다. 멸치젓에서는 2-ethylfuran과 2-pentylfuran의 함량이 가장 많았다. 그리고 butanoic acid가 유일하게 검출되었다. 멸치액젓에서는 2-ethylfuran, 5-methyl-2-furancarboxaldehyde, 2-furanmethanol, 5-ethyl-2(5H)-furanone, dihydro-5-propyl-2(3H)-furanone 등 5종의 퓨란류가 미량 동정되었다. 이러한 퓨란류의 높은 역치와 적은 함량으로 인하여 멸치액젓의 냄새에 기여도는 낮을 것으로 사료되었다(Shimoda et al., 1996). 또한 멸치액젓의 동정된 7종의 산류 가운데, acetic acid, propanoic acid, 2-methylpropanoic acid, butanoic acid, 3-methylbutanoic acid 등의 화합물의 함량이 지배적이었고, 치즈향과 비교적 낮은 역치로 인하여 멸치액젓의 냄새에 기여도가 높을 것으로 사료되었다(Shimoda et al., 1996). 새우젓에서는 2-furancarboxaldehyde와 3종의 산류(propanoic acid, butanoic acid, pentanoic acid)가 동정되었고, 그 함량도 적었다. 한편 밴댕이젓, 전어젓 및 갈치내장젓에서 동정된 퓨란류는 각각 3종, 2종 및 2종이며, 이 중에서 2-ethylfuran의 함량이 가장 많았고, 산류는 모두 검출되지 않았다. 반면 오징어젓의 퓨란류에서는 2-ethylfuran, 2-pentylfuran 및 (E)-(penten-ethyl)furan 등 3종과 acetic acid, propionic acid, 3-methylbutanoic acid, pentanoic acid, hexanoic acid, octanoic acid 및 nonanoic acid 등 7종이 동정되었다. 기타화합물에서 동정된 화합물은 대부분이 알칸류이었으며, 이들은 높은 역치로 인하여 젓갈류의 특징적인 냄새에 거의 관여하지 않을 것으로 추정되었다.

식해법으로 제조한 젓갈류의 향기성분

식해류의 휘발성 향기성분에 대한 연구는 명태식해와 오징어식해를 중심으로 정리하여 Table 2에 나타내었고, 그룹별 향기성분(명태식해)의 함량은 Fig. 3과 같다. 알코올류가 47종으로 가장 많았고, 멸치액젓이나 오징어젓에서 일부 검출된 테르펜류가 38종으로 다음이었다. 함황화합물이 22종, 알데히드와 케톤류가 각각 19종 및 18종이었고, 에스테르는 13종만이 동정되었다. 반면에 산류는 14종이 동정되었고, 함량면에서도 지배적으로 많았다. 따라서 식해류의 휘발성향기성분은 발효방식에 따라 향기성분의 패턴이 완전히 다를 수 있었다. Table 2의 명태식해는 명태육에 소금, 곡류밥(멥쌀 및 조), 무채, 고춧가루, 엿기름, 마늘 및 생강을 넣고 제조한 것이며, 오징어식해는 멥쌀, 고춧가루, 생강, 무, 엿기름 및 소금을 첨가하여 젓산 발효를 시키는 방법이므로, 발효과정에서 당분해산물인 알코올과 산류, 부원료로부터 유래된 테르펜류가 지배적이고, 어육

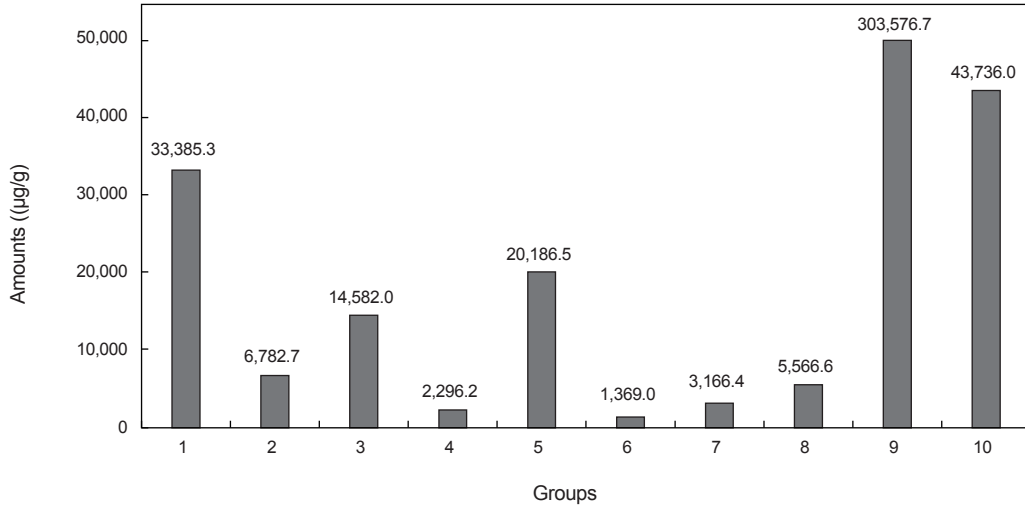


Fig. 3. Amounts of volatile compounds in Alaska pollack *Gadus Chalcogrammus Sikkhae*^a. 1, Alcohols; 2, Terpenes; 3, S-containing compounds; 4, Aldehydes; 5, Hydrocarbones; 6, Ketons; 7, Aromatic hydrocarbons; 8, Esters; 9, Acids; 10, Miscellaneous compounds. ^aAlaska pollack *Sikkhae* by Cha et al. (2019).

의 분해산물인 카르보닐화합물은 상대적으로 적게 나타난 것으로 사료된다.

명태식해의 알코올은 총 29종이 동정되었는데, 함량면에서 ethanol이 대부분을 차지하고 있었다(>76%) (Fig. 3). 그러나 알코올은 역치가 매우 높아 식해의 향기성분에 기여도는 낮았다. 주로 C₂-C₇계열의 n-alcohol류가 동정되었고, 테르펜이 산화된 terpene alcohol류가 7종이었다. C₄-C₈계열의 알코올은 염해법의 젓갈류에서도 많이 동정되었다. 특히 ethanol 및 2-phenylethanol은 비린내의 억제효과가 있다고 알려져 있다 (Kasahara and Nishibiri, 1991). 7종의 terpene alcohol은 무, 생강으로부터 유래되었으며, 특히 linolool (floral향)은 낮은 역치 (6 ppb)로 명태식해의 냄새에 기여도가 높을 것으로 사료된다. Terpene alcohol은 terpenoid glycoside로부터 효소, 산 및 열처리를 통하여 유래된다고 알려져 있다. 오징어식해에서도 명태식해와 비슷한 경향을 보였는데, 22종의 n-alcohol류와 terpene alcohol류 11종이 동정되었다. n-alcohol에서는 pentanol의 함량이 가장 많았다.

명태식해의 함황화합물은 13종이 검출되었는데, 이 중에서 methylallyl disulfide, diallyl disulfide, methyl-2-propenyl tridulfide, dimethyl disulfide 등 4종의 화합물의 양이 지배적으로 많았다. Allyl 함황화합물은 염해법의 젓갈에서는 검출되지 않았으며, 이들 화합물은 부원료로 사용된 마늘에서 유래된 것으로 낮은 역치와 함께 garlic, garlic salt, green onion향을 가지고 있어 식해의 특징적인 향이 기여할 것으로 사료된다(Cha et al., 2019). 오징어식해에서도 4종의 allyl화합물을 포함하여 17종의 함황화합물이 동정되었는데, allyl화합물이 지배적으로 많았다. 따라서 염해법의 젓갈류에서 주로 검출된 dimethyl disul-

fide, dimethyl trisulfide, alkylthiophene, 3,5-dimethyl-1,2,4-trithiolane등과 비교하면, 식해법은 garlic salt와 같은 특징적인 향으로 차별화가 된다고 볼 수 있다.

총 12종의 테르펜류가 명태식해에서 동정되었고, 명태식해 발효 중에 점차 감소하는 것으로 나타났다. 7종의 테르펜류(β -phellandrene, zingiberene, camphene, α -farnesene, β -bisabolene, β -sesquiphellanderene, ar-curcumene)는 함량이 높았고 발효기간에도 일정하게 유지되었다. 이러한 sesquiterpene류는 부원료인 생강으로부터 오며, 비교적 높은 역치로 인하여 명태식해의 냄새에 기여도는 낮을 것으로 사료된다. 오징어식해에서는 총 34종의 테르펜이 동정되었다. 명태식해와 마찬가지로 생강 및 고추와 같은 부원료로부터 유래되었으며, 특히 zingiberene과 ar-curcumene 등 2종의 함량이 전체 동정된 휘발성화물 중에서 독보적으로 많았다. 한편 생강의 주성분인 zingiberene과 β -sesquiphellanderene은 산화적 분해과정을 거쳐 ar-curcumene으로 전환되어 진다고 하였다(Cha et al., 2002).

명태식해의 알데히드 및 케톤류는 각각 6종씩이 동정되었는데, 염해법의 젓갈류에서 동정된 alkanal, alkenal 및 alkadienal 등과 비교하면 화합물의 수나 함량도 상대적으로 매우 낮았다. 오징어식해에서는 알데히드 15종 및 케톤 13종이 동정되어 명태식해에 비해 화합물의 수가 많았지만, 함량은 매우 낮았다. 이들 카르보닐화합물은 알코올과 함께 지방산화과정에서 생성되는 물질이나, 명태식해의 냄새에는 기여하지 않을 것으로 사료된다. 방향족화합물은 명태식해에서 11종이 동정되었는데, toluene과 phenol의 함량이 많았다. 그러나 염해법의 젓갈류와 비교하면 동정된 화합물의 수와 함량은 매우 낮았다. 방향족화

Table 3. Aroma-active compounds in salt-fermented fishes

Compound	RI ⁴	Anchovy ¹		Shrimp ²		Tuna sauce ³		Tuna viscera ³		Odor threshold (ng/g) ⁷	Odor description ¹⁻³
		Conc (ng/g) ⁵	Odor value ⁶	Conc (ng/g) ⁵	Odor value ⁶	Conc (ng/g) ⁵	Odor value ⁶	Conc (ng/g) ⁵	Odor value ⁶		
Aldehydes											
2-Methylpropanal	789	-	-	-	-	182	260	ND ⁸	-	0.7 ³	Dark chocolate
3-Methylbutanal	902	63.26	158.15	9.40	47.00	1,395	3,488	140	350	0.4 ³	Malty, dark chocolate
(Z)-4-Heptenal	1225	67.63	1,690.75	-	-	2.1	53	37.0	925	0.04 ¹	Fishy, rancid
(E,E)-2,4-Hexadienal	1404	28.51	0.48	-	-	-	-	-	-	-	Stale, grainy
(E)-2-Octenal	1421	-	-	-	-	8.3	2.8	26	8.7	3 ³	Coffee, nutty, stale, baked potato
3-Methylthiopropional	1450	75.42	377.10	-	-	187	935	23.0	115	0.2 ²	Soy sauce, baked potato
(E,E)-2,4-Heptadienal	1510	979.68	1.26	4.68	258.75	6	0.008	41	0.05	778 ¹	Fatty, traditional soy sauce, grainy, stale, bitter, peanut
(E)-2-Nonenal	1524	-	-	-	-	12	150	21	263	0.08 ³	Cucumber-like; green, stale, bitter, hay
(E,Z)-2,6-Nonadienal	1568	90.17	4,508.50	-	-	1.5	75	20.0	1,000	0.02 ¹	Cucumber-like, melon, cucumber, steet, fresh
Phenylacetaldehyde	1628	-	-	-	-	67	17	18	4.5	4 ³	Floral, honeysuckle
(E,E)-2,4-Decadienal	1805	56.34	804.86	-	-	4.4	147	13	433	0.07 ¹	Fried-fat like, fatty, cooked soybean, fried, rancid
Ketones											
1-Octen-3-one	976	-	-	-	-	ND	-	ND	-	0.01 ³	Mushroom-like, earthy, Mushroom
2,3-Butanedione	980	-	-	61.69	20.56	274	105	ND	-	3 ²	Sour, buttery
1-Penten-3-one	1020	126.24	126.24	-	-	-	-	-	-	1 ¹	Plastic, PVC
2,3-Pentanedione	1061	122.45	6.12	-	-	-	-	-	-	20 ¹	Butter-like, sour, buttery
(E,E)-3,5-Octadien-2-one	1550	164.34	1.10	-	-	-	-	-	-	150 ¹	Fatty, fruity
2-Aminoacetophenone	2237	-	-	-	-	9.2	-	ND	-	NA ⁹	Phenolic, indole, grape-like
Alcohols											
1-Penten-3-ol	1168	-	-	5.22	0.01	-	-	-	-	400 ²	Butter, fatty, hay, green
Octanol	1537	-	-	-	-	ND	-	46	0.42	-	Fruity, sour, spicy, floral
3-Ethylphenol	2214	-	-	1.81	-	-	-	-	-	N/A	Phenolic, hospital
N-Containing compounds											
2-Acetyl-1-pyrroline	1326	-	-	-	-	ND	-	ND	-	0.1 ³	Roasty, popcorn-like, popcorn, nutty
Trimethylpyrazine	1392	79.16	3.44	3.27	0.14	37	0.09	ND	-	23 ¹	Nutty
2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine	1437	300.04	7,501.00	10.35	258.75	-	-	-	-	0.04 ¹	Nutty, baked potato

Table 3. Continued

2-Acetylpyrazine	1618	-	-	-	-	15	0.24	ND	-	62 ³	Nutty, popcorn
S-Containing compounds											
Dimethyl disulfide	1078	-	-	2.98	0.25	-	-	-	-	12 ²	Sulfury, rubber, disinfectant, rotten onion
Allyl sulfide	1137	-	-	18.75	-	-	-	-	-	N/A	Sulfury, garlic
Methylethyl disulfide	1148	-	-	-	-	9.2	-	ND	-	NA	Rotten, amine, putrid
Dimethyl trisulfide	1379	-	-	7.06	706.00	70	8,750	5	625	0.01 ²	Cooked cabbage, soy sauce, rotten, sulfury
2-Acetylthiazole	1650	-	-	1.50	0.15	-	-	-	-	10 ²	Grainy, nutty
Diallyl trisulfide	1771	-	-	2.02	-	-	-	-	-	N/A	Garlic salt, green onion
Benzothiazole	1965	23.49	-	-	-	-	-	-	-	N/A	Seaweed
Esters											
Ethyl-2-methyl butanoate	1051	80.38	13,396.67	-	-	-	-	-	-	0.006 ¹	Candy, sweet
Ethyl-3-methyl butanoate	1069	19.06	1,906.00	-	-	-	-	-	-	0.01 ¹	Sweet, floral, candy
Ethyl pentanoate	1135	25.65	5.13	-	-	-	-	-	-	5 ¹	Candy, fruity

¹Cha et al. (1999a). ²Cha et al. (1999b). ³Cha and Cadwallader (1998). ⁴Retention indices. ⁵Concentrations. ⁶Odor value=compound concentration divided by odor threshold. ⁷Odor thresholds in water. ⁸Not detected. ⁹Not available.

합물은 발효과정에서 어육으로부터 미생물 및 효소의 작용에 의해 생성되나, 본 연구의 명태식해는 저온(-2°C)에서 숙성하였기에 그 생성량이 상대적으로 낮았다고 생각된다. 오징어식해에서는 toluene과 o-xylene만이 검출되었다.

4종의 에스테르류가 명태식해에서 검출되었다. 저분자의 ethyl acetate (sweet, fruit향)는 숙성기간에 따라 유의적으로 증가하였는데, 낮은 역치로 인하여 명태식해의 향에 긍정적으로 기여할 것으로 사료된다. 반면에 오징어식해에서는 11종의 에스테르류가 검출되었는데, ethyl acetate와 methyl salicylate의 함량이 매우 높게 검출되었다. 한편 산류는 명태식해 및 오징어식해에서 각각 13종 및 6종이 동정되었다. 명태식해에서는 acetic acid의 함량이 지배적이었는데, 산류 함량의 대부분을 차지하였다(Fig. 3). 또한 acetic acid, butanoic acid, isobutylic acid 및 isovaleric acid 등 4종은 숙성기간과 함께 증가하였다. 오징어식해에서도 acetic acid 및 isovaleric acid (3-methylbutanoic acid) 등 2종의 함량이 매우 높았다. 식해에서 동정된 산류는 sour, rancid, cheese향을 가지며, 숙성 후반부에 식해의 특징적인 냄새에 기여할 것으로 사료된다(Cha et al., 1998d).

탄화수소는 명태식해에서 11종, 오징어식해에서 7종이 동정되었다. alkane류의 함량은 발효 중에 서서히 증가하였다. 한편 기타화합물에서 2종의 nitrile화합물인 4-(methylthio)butanenitrile 및 butanenitrile과 3종의 함황화합물인 isothiocyanate 화합물(3-butenyl isothiocyanate, 4-methylpentyl isothiocyanate, cyclohexyl isothiocyanate)은 부원료인 무로부터 유래된 것으로 glucosinolate가 thioglucosidase의 작용으로 분해되

어 isothiocyanate와 nitrile류가 생성되는 것으로 알려져 있다(Chin and Lindsay, 1993).

젓갈류의 Aroma-active 성분 구명 연구

지금까지 젓갈류의 휘발성 향기성분은 GC/MSD (gas chromatography/mass spectrometer detector)를 이용한 정량적 분석 결과만을 소개하였다. 그러나 이러한 기기분석만을 행한 결과가 실제 젓갈의 관능적 냄새결과와는 상당한 차이가 있어 산업적 적용성이 매우 낮았다. 한편 1990년 후반부터 Gasser and Grosch (1988)가 제시한 aroma extract dilution analysis (AEDA)법이 큰 주목을 받게 되고, 향기성분에 관한 관심이 매우 증대됨에 따라 분석법에 대한 많은 연구와 발전이 있었다고 생각한다. 종전의 추출법인 SDE법에서 발생하는 문제점인 열유도화합물(artificial flavor)의 생성을 낮추고 개량된 vacuum-simultaneous steam distillation-solvent extraction (V-SDE)법, liquid liquid continuous extraction (LLCE)법 등으로 분석한 연구들이 많이 발표되었다(Cha et al., 2002). 또한 직접 추출법에서 보다 개량된 dynamic headspace (DHS) 농축법과 또 간편하고 신속하게 분석할 수 있는 solid phase microextraction (SPME)법도 등장하였다(Cha et al., 1999b). 그리고 gas chromatography/olfactometry (GC/O)법과 접목을 함으로서 V-SDE/GC/MSD/O법이나 SPME/GC/MSD/O법도 등장하여, 식품의 관능적 품질 개량 또는 부가가치를 높이는 요소에 향기성분이 중요한 역할을 하며, 큰 관심을 가지게 되었다(Kim

and Baek, 2005).

Table 3은 우리나라 젓갈류 중에서 멸치젓, 새우젓 및 참치액젓 등의 휘발성 향기성분에서 냄새의 지배적인 향기성분을 V-SDE/AEDA법과 GC/MSD/O법을 병용하여 구명한 연구 결과들을 정리하였다. 멸치젓에서는 총 41종의 화합물이 GC/O로 검출되었지만, 이중 표준품과 mass spectrum (MS), retention index (RI) 및 odor를 통하여 동정한 물질은 24종이며, 후각으로 느끼는 냄새 강도(9 score)와 시료를 희석하였을 때 농도(flavor dilution, FD)를 감안하여 구명한 화합물은 모두 16종이었다(Cha et al., 1999a). 이와 같이 GC/O로 동정한 41종의 화합물에서 GC/MSD장비를 동원하여 16종 밖에 물질을 구명 못하는 것(GC/O에서는 냄새가 인지되나 GC/MSD에서는 검출이 안되는 경우)은 기기의 정밀도(1-10 ng, 기계적 감도)가 인간의 후각을 따라가기에는 현재 기술로는 매우 부족하다는 것을 의미한다. 또한 멸치젓에서 함량이 가장 많은 (E,E)-2,4-heptadienal (979.68 ng/g)은 실제 그 화합물의 역치(778 ng/g)로 나눈 OV를 보면 1.26으로 인간이 코로 느끼는 농도보다 조금 높다는 것을 의미한다. 반면에 함량이 낮았던 ethyl 2-methylbutanoate (candy, sweet향), 2-ethyl-3,5-dimethylpyrazine (nutty, baked potato향), ethyl 3-methylbutanoate (sweet, floral, candy향)의 OV는 각각 13,396.67배, 7,501.00배 및 1,906.00배를 나타내어, 멸치젓의 지배적인 냄새물질로 검증될 수 있다. 즉, 실제 함량에서는 (E,E)-2,4-heptadienal이 이들보다 12배, 3.2배 및 51배 정도로 많으나, 인간이 후각으로 느끼는 실제적 강도는 역으로 이들 물질이 각각 13,396배, 7500배 및 1900배 정도로 높다는 것이다. 이러한 모순으로 인하여 향기성분을 분석하여도 그 결과가 실제로 산업현장에서는 거의 적용되지 못하였다.

새우젓의 경우 GC/O 분석을 통하여 32종을 동정하였고, 표준품과의 비교로 18종이 동정되었다. Table 3에서는 12종을 정리하였다. Dimethyl trisulfide는 함량은 매우 적었으나, OV값은 706배로 가장 높았다. 이와 같이 기계적 분석 함량보다는 GC/O와 OV에 의하여 식품 자체의 aroma-active화합물을 구명하는 것이 앞으로 매우 필요하다는 것을 의미한다. 자료에 제시되지 못했지만, FD값이 높은 것은 그만큼 희석하여도 냄새가 인지된다는 것이다. 새우젓에서는 FD=7에서 butyl 3-methylbutanoate (nutty, popcorn, fruity향)이 유일하게 검출되었고, 2,3-butanedione (sour, buttery향), dimethyl trisulfide (cooked cabbage, soysauce향)이 모두 FD>6 이상에서 동정되었다(자료 미제시) (Cha et al., 1999b).

효소 처리한 참치액젓의 aroma-active화합물의 구명은 원료인 참치내장과 함께 비교하였다. 참치내장에서 26개의 냄새물질이 가공처리를 한 액젓에서는 38개로 증가하였다. GC/O 분석법으로 표준품과 동정한 화합물은 19종이며, 이들 중 GC/MSD상에서 함량이 검출된 것과 비교하면 모두 19종이었다(Table 3). 원료에서 FD>6 이상의 물질은 unknown (metallic, earthy, fish향) 2종을 포함하여, (E,E)-2,4-heptadienal (stale,

bitter향), (E)-2-nonenal (stale, bitter, hay향), (E,Z)-2,6-nonadienal (sweet, cucumber향) 및 (E,E)-2,4-decadienal (fatty, rancid향) 등 6종이었으나, (E,E)-2,4-heptadienal과 (E)-2-nonenal을 제외하고 모두 GC/O에서 FD값이 >2 이하로 감소하였다(자료 미제시) (Cha and Cadwallader, 1998). 이를 OV로 살펴보면 (E,E)-2,4-heptadienal은 0.05에서 0.008로 낮아졌고, (E)-2-nonenal은 263에서 150으로, (E,Z)-2,6-nonadienal은 1,000에서 75로, (E,E)-2,4-decadienal은 433에서 147로 낮아진 것을 후각을 통하여 바로 판단할 수 있다. 대신에 참치액젓의 dimethyl trisulfide는 OV값이 8,750으로 지배적이었고, 3-methylbutanal (dark chocolate향), 3-(methylthio)propanal (baked potato, soy sauce향), 2-methylbutanal (dark chocolate향) 등과 함께 참치액젓의 냄새성분에 관여하는 것을 알 수 있었다.

Aroma-active화합물의 구명을 포함한 분석향 기술은 고부가 가치 식품의 개발이나 응용분야에 크게 기여할 것이나, 앞으로 사람의 후각과 분석기기와 상호 호용성을 높이는 기술이 많이 보완되어야 할 것이다. 수산발효식품을 포함한 수산식품은 미래의 먹거리 식품 소재이며, 무한한 가공기술이 접목할 수 있는 잠재력이 있다. 특히 수산발효식품은 어떤 식품에도 손색없는 많은 가능성을 가진 천연 조미료 소재이다. 이러한 자원의 응용 및 개발에 향분석, 반응향 유도 및 불쾌취 차폐기술 등 향응용 기술과 연구인력이 접목되면, 수산산업 분야의 미래 전망은 매우 밝다고 생각된다.

References

- Borenstein B and Bunnell RH. 1969. Carotenoids: properties, occurrence and utilization in foods. In: Advances in food research 15. Chichester CO, Mrak EM and Stewart GF, eds. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 195-276. [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60081-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60081-6).
- Cha YJ. 1992. Volatile flavor components in Korean salt-fermented anchovy. J Korean Soc Food Nutr 21, 719-724.
- Cha YJ. 1994a. Changes of volatile flavor compounds in low salt-fermented anchovy paste by adding koji. J Korean Soc Food Nutr 23, 481-489.
- Cha YJ. 1994b. Volatile flavor compounds in salt-fermented fishes on the market. Food Sci Biotech 3, 189-197.
- Cha YJ and Cadwallader KR. 1995. Volatile components in salt-fermented fish and shrimp pastes. J Food Sci 60, 19-24. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb05597.x>.
- Cha YJ and Cadwallader KR. 1998. Aroma-active compounds in skipjack tuna sauce. J Agric Food Chem 46, 1123-1128. <https://doi.org/10.1021/jf970380g>.
- Cha YJ, Jeong EJ, Kim H, Lee YM and Cho WJ. 2002. Changes of volatile components in Alaska pollack *Sik-hae* during low-temperature fermentation. J Korean Soc Food Sci Nutr 31, 566-571. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2002.31.4.566>.

- Cha YJ, Kim H and Cadwallader KR. 1998a. Aroma-active compounds in *kimchi* during fermentation. *J Agric Food Chem* 46, 1944-1953. <https://doi.org/10.1021/jf9706991>.
- Cha YJ, Kim H, Cho WJ and Jeong EJ. 2019. Volatile flavor compounds and nutritional values in Alaska pollack *sikhae* made by two-stage fermentation. In: *Chemistry of Korean foods and beverages*. Do CH, Rimando AM and Kim YM, eds. ACS Symposium Series 1303, American Chemical Society, Washington DC, U.S.A., 25-42. <https://doi.org/10.1021/bk-2019-1303.ch003>.
- Cha YJ, Kim H, Jang SM, Park JY, and Kim SJ. 1998b. Volatile flavor components in salt-fermented anchovy sauce. *J Hum Ecol* 2, 163-169.
- Cha YJ, Kim H, Jang SM, Park JY and Park SY. 1998c. Identification of volatile flavor components in salt-fermented gizzard shad on the market. *J Hum Ecol* 2, 155-161.
- Cha YJ, Kim H, Jang SM and Park JY. 1999a. Identification of aroma-active compounds in Korean salt-fermented fishes by aroma extract dilution analysis. 1. Aroma-active components in salt-fermented anchovy on the market. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28, 312-318.
- Cha YJ, Kim H, Jang SM and Park JY. 1999b. Identification of aroma-active compounds in Korean salt-fermented fishes by aroma extract dilution analysis. 2. Aroma-active components in salt-fermented shrimp on the market. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28, 319-325.
- Cha YJ, Kim H, Jang SM and Yoo YJ. 1998d. Identification of aroma-active components in salt-fermented big-eyed herring on the market. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 27, 1053-1058.
- Cha YJ and Lee EH. 1985. Studies on the processing of low salt fermented sea foods. 5. Processing conditions of low salt fermented anchovy and yellow corvenia. *Bull Korean Fish Soc* 18, 206-213.
- Cha YJ, Lee GH and Cadwallader KR. 1997. Aroma-active compounds in salt-fermented anchovy. In: *Flavor and Lipid Chemistry of Sea Foods*. Shahidi F and Cadwallader KR, eds. ACS Symposium Series 674, American Chemical society, Washington DC, U.S.A., 131-147. <https://doi.org/10.1021/bk-1997-0674.ch013>.
- Chin HW and Lindsay RC. 1993. Modulation of volatile sulfur compounds in cruciferous vegetables. In: *Sulfur Compounds in Foods*. Mussinan CJ and Keelan ME, eds. ACS Symposium Series 564, American Chemical society, Washington DC, U.S.A., 90-104. <https://doi.org/10.1021/bk-1994-0564.ch008>.
- Choi C, Lee HD, Choi HJ, Son JH, Kim S, Son GM and Cha WS. 2001. Functional and volatile flavor compounds in traditional kyungsando squid *sikhe*. *Korean J Food Sci Technol* 33, 345-352.
- Choi SH, Im SI, Kim YM and Hur SH. 1995. Processing conditions of low salt fermented squid and its flavor components. 1. volatile flavor components of low salt fermented squid. *J Korean Soc Food Nutr* 24, 261-267.
- Gasser U and Grosch W. 1988. Identification of volatile flavor compounds with high aroma values from cooked beef. *Z Lebensm Unters Forsch* 186, 489-494. <https://doi.org/10.1021/jf00046a031>.
- Heath HB and Reineccius G. 1986. Off-flavors in foods. In: *Flavor chemistry and technology*. Heath HB and Reineccius G, eds. Macmillan Publishers Ltd., Basingstoke, England, 121-127.
- Ho CT, Bruechert LJ, Zhang Y and Chiu EM. 1989. Contribution of lipids to the formation of heterocyclic compounds in model systems. In: *Thermal Generation of Aromas*. Parliament TH, McGorin RJ and Ho CT, eds. ACS Symposium Series 409, American Chemical society, Washington DC, U.S.A., 105-113. <https://doi.org/10.1021/bk-1989-0409.ch010>.
- Huang L, Zufang W, Chen XQ, Weng PF and Zhang X. 2018. Characterization of flavour and volatile compounds of fermented squid using electronic nose and HPMS in combination with GC-MS. *Int J Food Prop* 21, 760-770. <https://doi.org/10.1080/10942912.2018.1454466>.
- Jeong EJ, Cho WJ and Cha YJ. 2008. Aroma-active compounds in omandungi *Styela plicata* -doenjang (soybean paste) stew. *Korean J Fish Aquat Sci* 41, 414-418. <https://doi.org/10.5657/kfas.2008.41.6.414>.
- Josephson DB and Lindsay RC. 1986. Enzymic generation of volatile aroma compounds from fresh fish. In: *Biogenesis of aromas*. Parliament TH and Croteau R, eds. ACS Symposium Series 317, American Chemical society, Washington DC, U.S.A., 201-219. <https://doi.org/10.1021/bk-1986-0317.ch017>.
- Kasahara K and Nishibiri K. 1991. Effect of fermented seasoning flavoring on improvement of sardine odor in Mirin-boshi. *Nippon Suisan Gakkaishi* 57, 737-741.
- Kim HJ and Baek HH. 2005. Characterization of the aroma of salt-fermented anchovy sauce using solid phase microextraction-gas chromatography-olfactometry based on sample dilution analysis. *Korean J Fish Aquat Sci* 14, 238-241.
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2020. Statistic database for fisheries production. Retrieved from http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&statId=2002027&themaId=F#SelectStatsBoxDiv on Mar 29, 2020.
- Lee CH. 1993. Fish fermentation technology in Korea. In: *Fish fermentation technology*. Lee CH, Steinkraus KH and Reilly PJA, eds. United Nations University Press, Tokyo, Japan, 187-201.
- Pongsetkul J, Benjakul S, Sampavapol P, Osako K and Faithong N. 2015. Chemical compositions, sensory and antioxidative properties of salted shrimp paste (*Ka-pi*) in Thailand. *Int*

- Food Res J 22, 1454-1465.
- Pongsetkul J, Benjakul S, Sumpavapol P, Vongkamjan K and Osako K. 2019. Chemical compositions, volatile compounds and sensory property of salted shrimp paste (*Kapi*) produced from *Acetes vulgaris* and *Macrobrachium lanchesteri*. Iran J Fish Sci 18, 1101-1114. <https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118094>.
- Shimoda M, Peralta RR and Osajima Y. 1996. Headspace gas analysis of fish sauce. J Agric Food Chem 44, 3601-3605. <https://doi.org/10.1021/jf960345u>.
- Suh HK. 1987. A study on the regional characteristics of Korean chotkal. The way of preservation of chotkal. J Korean Soc Food Cult 2, 149-161.
- Tanchotikul U and Hsieh TCY. 1989. Volatile flavor components from crayfish waste. J Food Sci 54, 1515-1520. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb05149.x>.
- Udomsil N, Rodtong S, Choi YJ, Hua Y and Yongsawatdigul J. 2011. Use of *Tetragenococcus halophilus* as a starter culture for flavor improvement in fish sauce fermentation. J Agric Food Chem 59, 8401-8408. <https://doi.org/10.1021/jf201953v>.
- Vejaphan W, Hsieh TCY and Williams SS. 1988. Volatile flavor components from boiled crayfish (*Procambarus clarkia*) tail meat. J Food Sci 53, 1666-1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb07811.x>.