

동결건조로 제조한 어류 알 농축물의 식품성분 특성

김형준 · 윤인성¹ · 박선영¹ · 강상인¹ · 김진수^{1,2} · 허민수^{2,3*}

식품의약품안전처, ¹경상대학교 해양식품생명과학과/해양산업연구소, ²경상대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상대학교 식품영양학과/해양산업연구소

Food Component Characteristics of Fish Roe Concentrates Prepared by Freeze-drying

Hyung Jun Kim, In Seong Yoon¹, Sun Young Park¹, Sang In Kang¹, Jin-Soo Kim^{1,2} and Min Soo Heu^{2,3*}

Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju 28159, Korea

¹Department of Seafood and Aquaculture Science/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

²Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Korea

³Department of Food and Nutrition/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

Fish roe is among the most valuable food resources produced by fisheries. Raw fish roe requires processing for conversion into hygienic, marketable, and consumer-acceptable forms. In this study, to investigate the food compositional characteristics of various types of fish roe, we applied vacuum freeze-drying to prepare fish roe concentrates (FRCs) from roe of Alaska pollack *Theragra chalcogramma*, bastard halibut *Paralichthys olivaceus*, and skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. The FRC yield ranged from 22.7 to 26.7 g/100 g roe. The major constituents of FRCs were protein (65.4-79.6%), moisture (2.8-6.2%), lipids (8.5-18.3%), and ash (4.8-7.2%). Potassium, sulfur, sodium, and phosphorus were the major mineral elements of FRCs, and the major amino acids were aspartic acid (9.0-10.4 g/100 g protein), glutamic acid (13.2-14.5 g/100 g protein), lysine (8.4-8.6 g/100 g protein), and leucine (8.3-9.7 g/100 g protein). Vacuum freeze-dried FRCs differed among fish species in terms of amino acid composition and electrophoresis protein band distribution. Therefore, FRCs are an excellent source of protein nutrition and an appropriate protein fortification material in human foods or animal feed.

Keyword: Fish roe concentrate, Alaska pollack, Bastard halibut, Skipjack tuna, Freeze-drying

서론

어류의 가공 중에는 40-55%의 가식부를 제외한 나머지가 머리, 중골, 내장, 껍질 및 알 등과 같은 가공부산물로 발생하며, 특히 알의 경우, 명태, 대구, 청어, 날치 및 철갑상어 알 등을 제외한 대부분의 어류 알은 그 일부만이 어유(fish oil), 어분(fish meal), 동물 사료, 질소성분 비료 등으로 이용되고 있을 뿐(Dong and Bechtel, 2010), 폐기되고 있는 실정이다(Heu et al., 2006; Intarasirisawat et al., 2011). 어종에 따라 다양하지만 대체로 전어체 중량의 1.5-30%를 차지하는 어류 알(fish roe)은 알집(skeins)에 둘러싸인 알을 말하며, 단백질(Sikorski, 1994;

Heu et al., 2006; Lee et al., 2016; Park et al., 2016) 및 필수지방산(Heu et al., 2006; Mahmoud et al., 2008)이 풍부한 영양가가 높은 식품자원이다. 특히 우리나라에서 생산되는 성게, 명태, 대구, 연어 및 청어 알 가공품은 대부분 알젓의 형태로 판매되고 있어, 그 이용은 매우 한정적이다. 한편, 어류 알의 식품소재 및 식품성분으로서의 이용을 위한 연구로는, 명란젓의 shelf-life 연장에 관한 연구(Kim, 1996), 명태, 가다랑어 및 황다랑어 알(Heu et al., 2006) 및 3종 다랑어류 알(Intarasirisawat et al., 2011), 붕메기 알(Eun et al., 1994), 송어 알(Joe and Jo, 1993), 성게알(Shimada and Ogura, 1990), 연어 알(Kim et al., 1988), 대구 알(Park et al., 1983) 및 은어 알(Jeong et al., 2000)의 식품

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 1440 Fax: +82. 55. 772. 1430

E-mail address: minsheu@gnu.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.2020.0165>

Korean J Fish Aquat Sci 53(2), 165-173, April 2020

Received 3 March 2020; Revised 30 March 2020; Accepted 13 April 2020

저자 직위: 김형준(주무관), 윤인성(대학원생), 박선영(대학원생), 강상인(대학원생), 김진수(교수), 허민수(교수)

성분에 관한 연구 등, 다양한 어류 알을 대상으로 시도되었다. 또한 어류 알의 유효성분에 관한 연구로는 가다랑어 알(Jung et al., 2003) 및 연어 알(Shina et al., 2002)의 lectin에 관한 연구, 청어(Oda et al., 1998), 잉어(Tsai et al., 1996), 연어(Yamashita and Konagaya, 1991) 및 명태(Ustadi et al., 2005) 알의 protease inhibitors에 관한 연구가 있으며, An et al. (1996)은 수산 및 축산 식품의 선도유지, 조직감 개선 및 surimi 산업에 protease inhibitor를 응용한 연구가 있다. 아울러 본 연구자들(Ji et al., 2011)은 8종의 어류 알 모두에서 protease inhibitor의 분포를 확인한 바 있으며, 대부분 식품소재로 이용되지 못하는 어류 알에 대한 선행연구(Heu et al., 2006)를 바탕으로 보다 효율적인 유용 단백질자원 및 식품소재로서의 이용을 위하여, 어류 알로부터 분말농축물의 제조(Lee et al., 2016)와 그 식품기능특성(Park et al., 2016)에 대해 연구를 수행한 바 있다.

식품의 건조에는 건조방법, 온도, 시간, 태양 광선의 존재 여부 등 다양한 조건이 관여하고 있으며 이들 조건은 식품의 색, 질감, 영양성분을 변화시킬 뿐 아니라, 식품에 함유된 생리활성 물질이나 기능에도 영향을 미칠 수 있다(Kurozawa et al., 2014). 건조 방법에는 열풍, 냉풍, 동결 및 동결건조 등이 식품건조에서 활용되고 있는데, 이 중에서 동결건조는 건조 방법 가운데 열에 민감한 물질의 손상을 최소화시키는 장점이 있다(Ezhilarasi et al., 2013). 또한 수산물의 건조공정은 박테리아 및 곰팡이 등 미생물의 생육에 필요한 수분을 제거하여 부피와 중량을 현저히 감소시켜 보관 안정성을 높이고, 가수분해효소의 활성을 불활성화하기 때문에 제품의 품질과 영양적 손실을 최소화한다고 알려져 있다(Duan et al., 2011).

따라서 이 연구에서는 우리나라에서 기호도가 높고, 소비량이 많거나 대량 양식이 이루어지는 어종으로, 전통 젓갈제품인 명태(AP, Alaska pollack *Theragra chalcogramma*) 알, 주로 생선횡감으로 섭취하는 넙치(BH, bastard halibut *Paralichthys olivaceus*)의 알 그리고 통조림 가공부산물로 대량 발생하는 가다랑어(ST, skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*) 알을 대상으로 하여, 보관 안정성 및 가공적성을 확대하는 동결건조법을 통하여 품질 및 영양적 손실을 최소화한 농축분말을 제조하고, 이의 식품성분 특성에 대해 알아보하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

명태(AP, *Theragra chalcogramma*) 알은 부산시 소재 덕화푸드(주) (Busan, Korea)에서, 넙치(BH, *Paralichthys olivaceus*) 알은 통영시 소재 수산시장에서, 가다랑어(ST, *Katsuwonus pelamis*) 알은 창원시 소재 동원산업(Dongwon F&B Co., Ltd. Changwon, Korea)으로부터 동결상태의 알을 분양을 받아 사용하였다. 동결된 어류 알들은 부분 해동(4°C, 12 h)하여 약 1.5 cm 크기로 세절하고, 식품분쇄기(SFM-555SP, Shinil

Industrial Co., Ltd., Seoul, Korea)를 사용하여 마쇄하였다. 마쇄한 알은 -55°C에 보관하면서 실험에 사용하였다.

동결건조법을 통한 어류 알 농축물의 제조는 300 g의 마쇄한 알을 파우치형 티백(tea bag, polyethylene polypropylene, 16×14.5 cm)에 담은 다음, 동결건조기(FDU-8612, Operon Co., Ltd., Gimpo, Korea)에 넣어 건조시킨 후, 분쇄하여 분말 상태로 식품성분 실험에 사용하였다.

일반성분

3종의 어류 알로부터 동결건조 농축물(fish roe concentrates, FRCs)의 일반성분은 AOAC (2005)방법에 따라 수분(No. 950.46), 조회분(No. 920.153), 조단백질(No. 928.08) 및 조지방 함량(No. 960.39)을 분석하여 시료 100 g에 대한 백분율(%)로 나타내었다.

수율

3종 어류 알로부터 제조한 FRCs의 수율(yield, g)은 100 g의 시료로부터 얻어진 FRCs의 중량으로 나타내었으며, FRCs의 단백질 수율(protein yield, g)은 수율(g)에 단백질 함량(%)을 곱하여 나타내었다.

무기질

3종 어류 알 FRCs의 무기질 함량은 유도결합플라즈마분석기(inductively coupled plasma optical emission spectrophotometer, ICP; Optima 4300 DV, Perkin Elmer, Shelton, CT, USA)로 분석하였다. 즉, 테프론 분해용기에 1 g의 시료를 담아 10 mL의 중 금속 분석용 고순도 70% (v/v) 질산을 가해 시료가 완전히 분해될 때까지 hot plate에서 가열하였다. 가열 분해한 시료에 5 mL의 2% (v/v) 질산을 가하고, 여과지(Advantec No. 2, Toyo Roshi Kaisha, Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 여과한 다음, 2% 질산으로 최종 100 mL로 정용하여, 이를 분석에 사용하였다. 무기질의 농도는 100 g의 시료에 대한 mg으로, 중금속에 대하여는 mg/kg으로 나타내었다.

총 아미노산

3종 어류 알 FRCs의 총 아미노산분석은 AOAC (1995)법에 따라 측정하였다. 즉, 각 시료(20 mg)는 2 mL의 6 N HCl과 혼합한 후, 110°C의 heating block (HF21; Yamoto Science Co, Tokyo, Japan)에서 24시간동안 가수분해를 실시하였다. 시료의 가수분해물은 glass filter를 장착한 감압여과장치(ASPIRATOR A-3S, EYELA, Tokyo, Japan)로 여과한 다음, sodium citrate buffers (pH 2.2)로 50 mL로 정용하였다. 이렇게 제조한 시료는 0.2 µm syringe filter (13HP020AN, Hydrophilic type, AVANTEC, Tokyo, Japan)로 여과하여 아미노산 분석기(model 6300; Biochrom 30, Biochrom Ltd., Cambridge, UK)로 총 아미노산을 분석하였으며, 분석 결과는 100 g 단백질에 대한 개별 아미노산의 g으로 나타내었다.

전기영동

3종 어류 알 FRCs의 단백질 분자량 분포는 Laemmli (1970)의 방법에 따라 sodium dodecyl sulphate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)로 측정하였다. 먼저, 시료(10 mg)는 1 mL의 2% β -mercaptoethanol (v/v) 및 2% sodium dodecyl sulfate (w/v)를 함유하는 8 M urea 용액과 혼합하여 용해하였다. 이 용액에 SDS-PAGE 시료조제용 완충액[2% SDS (w/v), 10% glycerol (v/v), 2% β -mercaptoethanol (v/v) 및 0.002% bromophenol blue (w/v)을 함유하는 62.5 mM Tris-HCl buffer pH 6.8]과 4:1 (v/v) 비율로 혼합한 후, 100°C에서 3 min 동안 가열하여 전기영동 시료를 조제하였다. 이렇게 준비한 시료(20 μ g의 단백질)는 10% Mini-PROTEAN® TGX™ Precast gel (Bio-Rad Lab., Inc., California, USA)에 주입하고, Mini-PROTEAN® Tetra cell (Bio-Rad Lab. Inc., California, USA)에 장착한 다음, 일정한 전류(10 mA per gel)를 통하게 하여 전기영동 실시하였다. 단백질의 분자량 분포는 Precision Plus Protein™ standards (10-250 K, Bio-Rad Lab., Inc., California, USA)를 사용하여 확인하였다.

통계처리

모든 실험은 3회 반복 실시하여, 평균(average)과 표준편차(standard deviation)로 나타내었다. 데이터는 SPSS 12.0 K (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계프로그램을 이용하여 ANOVA test를 통해 분산분석을 실시하고, Duncan의 다중위 검정법으로 최소유의차검정($P < 0.05$)을 실시하였다.

결과 및 고찰

수율 및 일반성분

명태(AP), 넙치(BH) 및 가다랑어(ST) 알로부터 동결건조를 통해 제조한 어류 알 농축물(fish roe concentrates, FRCs)의 수율 및 일반성분은 Table 1에 나타내었다. 어류 알 시료 100 g에 대해 FRCs의 수율(yield, g)은 AP는 22.7 g이었으며, BH와 ST는 각각 24.4 및 26.7 g으로 겉보기 수율은 가다랑어가 가장

우수하였다. 이는 3종의 어류 알의 일반성분 조성의 차이에 따른 결과라 판단되었다. FRCs의 수분함량은 각각 2.8% (AP), 6.0% (BH) 그리고 6.2% (ST)이었으며, 단백질 함량은 AP가 79.6%로 가장 높았으며, ST는 68.1% 그리고 BH가 65.4% 순이었다. 조지방 함량은 BH가 18.3%로 가장 많이 차지하였고, 다음으로 ST (15.2%) 그리고 AP (8.5%) 순이었다. ST의 조회분(7.2%)은 BH (5.1%)와 AP (4.8%)에 비하여 유의적으로 그 함량이 높았다($P < 0.05$). 또한 어류 알의 동결건조 공정에 따른 단백질 수율(protein yield, g)은 AP (18.6 g)와 ST (18.2 g)에 비하여 BH (16.0 g)가 낮은 것으로 확인되었으며, 이는 어류 알의 조지방 함량에 따른 차이에 기인하는 것으로 추정되었다. 난백 농축분말로서 EW (egg white)는 3.4% 수분 그리고 81.2% 단백질로서 AP와 유사한 반면 BH, ST 및 YT에 비하여 높은 수준을 나타내었다(Table 1). 동결건조 황다랑어(YT) 알 농축물의 지방함량은 10.6%이며, 이때의 수율 및 단백질 수율이 각각 25.3 g 및 18.3 g이라고 하여(Table 1, Lee et al., 2016), AP와 ST와 유사한 반면, 조지방 함량이 상대적으로 가장 높은 BH가 가장 낮은 단백질 수율을 나타내, 일반 성분 중에서 조지방 함량이 동결건조 FRCs의 수율 및 단백질 수율 미치는 것으로 확인되었다. 한편 Bledsoe et al. (2003)은 연중 연어 알의 지질함량을 살펴본 결과, 최소 5%이하에서 최대 20%까지의 큰 변화 폭을 보인다고 하여, 계절 및 산란기의 지방축적 정도에 차이가 있다고 하였다. BH의 지방함량이 높은 것은 한대성 어류(AP) 및 회유성 어종(ST 및 YT)에 비해 저서성 양식어종으로 사료급이에 의한 지방 축적량이 상대적으로 높은 것에 기인하는 것으로 추정되었다. 또한 어종 간의 수율, 단백질 수율 및 일반성분에 있어서도 유의적인 차이($P < 0.05$)를 보였다. 이상의 결과로부터 FRCs의 일반성분 중에서 단백질의 함량이 가장 높아, 동결건조에 의한 어류 알 농축물은 단백질 강화소재로서 이용가능성이 높을 것으로 판단되었다. 그러나, FRCs의 지방함량이 8.5-18.3% 범위로서 상온보관 시 공기 중의 노출로 인해 산패가 일어날 가능성이 있어, 이를 제어하고 보관 안정성을 높이기 위해서는 동결건조 후, 탈지하는 공정이 필요할 것으로 사료되었다. Sathivel et al.(2009)은 어류 알의 분무건조 가용성 단백

Table 1. Proximate composition of fish roe concentrates prepared by vacuum freeze-dried process

Sample	AP	BH	ST	YT ¹	EW ¹
Yield ² (g)	22.7	24.4	26.7	25.3	
Protein yield ³ (g)	18.6	16.0	18.2	18.3	
Moisture (%)	2.8±0.4 ^b	6.0±0.1 ^a	6.2±0.9 ^a	4.3±0.2	3.1±0.6
Protein (%)	79.6±0.7 ^a	65.4±0.5 ^c	68.1±0.7 ^b	72.3±0.4	81.4±0.5
Lipid (%)	8.5±0.5 ^c	18.3±2.2 ^a	15.2±1.3 ^b	10.6±0.1	
Ash (%)	4.8±0.4 ^b	5.1±0.4 ^b	7.2±0.1 ^a	5.7±0.5	

¹Quoted from Lee et al., 2016. ²Yield is weight (g) of fish roe concentrates obtained from 100 g of raw sample. ³Protein yield (g)=yield×protein (%). Data is given as mean values±SD (n=3). Means with different letters within the same row are significantly different at $P < 0.05$ by Duncan's multiple range test. AP, Alaska pollack; BH, bastard halibut; ST, skipjack tuna; YT, yellowfin tuna; EW, egg white.

질분말의 수분, 단백질, 조지방 및 조회분의 함량은 각각 4.5%, 67.1%, 18.3% 그리고 10.0%로서 건조방법에 따른 차이를 제외하면, 이 실험결과와 유사하였다. Yoon et al. (2018)은 가다랑어 알의 열탕(boil-dried) 및 증자(steam-dried) 처리한 농축분말의 단백질회수율은 알 시료(20.4 g protein/100 g sample)에 대해 각각 16.4 및 18.5 g으로 각각 80.4% 및 90.7%의 회수율을 나타내어 열탕처리가 증자처리에 비해 단백질 및 가용성분의 손실이 상대적으로 크다고 하였다. 또한 황다랑어 알 가열처리 농축분말의 경우에는 가열처리 공정에 따른 차이는 인정되지 않았으나, 단백질 회수율은 알 시료에 대해 95%가 회수되었다고 하였다(Lee et al., 2016). 한편 Heu et al. (2006)은 3종의 어류 알 수분함량은 71.1-75.6% 범위이며, 단백질 함량은 명태 알이 19.3%, 가다랑어 알은 21.4% 그리고 황다랑어 알은 21.5%이었고, 조지방은 1.6-2.1% 범위, 조회분은 1.4-1.9% 범위라고 하였다. Lee et al. (2016)은 황다랑어 알의 일반성분이 77.3% 수분, 18.2% 단백질, 2.6% 조지방 및 1.5% 조회분이라고 보고하였고, Yoon et al. (2018)은 가다랑어 알의 일반성분이 75.3% 수분, 20.4% 단백질, 1.9% 조지방 그리고 1.1%라고 보고한 바 있다.

Intarasirisawat et al. (2011)은 3종의 다랑어류 알(skipjack, tongol 및 bonito)은 72.2-73.0% 수분, 18.2-20.2% 단백질, 3.4-5.7% 조지방 그리고 1.8-2.1% 조회분으로 구성되어 있다고 보고하였으며, Iwasaki and Harada (1985)는 18종의 수산동물의 알의 화학조성에 관한 연구에서 단백질함량이 11.5-30.2% 범위로 어종에 따라 다양한 분포를 나타낸다고 하였고, Narsing Rao et al. (2012)은 *Channa* 및 *Lates* 알에 대한 단백질 농축물의 수율이 각각 20.7% and 22.5%이며, 이때의 단백질 회수율은 각각 90.2%와 82.5%라고 보고한 바 있다. 이상의 보고와 연구결과에서 수율 및 일반성분에서 나타난 수분과 단백질함량에서의 차이가 전체 식품 구성분의 함량에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이외에 어종 및 가공 공정에서의 차이가 영향

을 미치는 것으로 확인되었다(Mahmoud et al., 2008; Yoon et al., 2018).

무기질

진공 동결건조를 통해 제조한 어류 알 농축물(FRCs)의 무기질의 조성은 Table 2에 나타내었다. FRCs의 주요 무기질들은 포타슘(K, 903.0-1097.4 mg/100 g), 황(S, 613.2-974.3 mg/100 g), 소듐(Na, 344.0-615.2 mg/100 g) 그리고 인(P, 210.8-247.9 mg/100 g)의 순이었다. YT의 주요 무기질 조성은 3종의 FRCs와 유사한 결과를 나타낸 반면에, EW는 황(1341.3 mg/100 g), 소듐(1015.8 mg/100 g) 그리고 포타슘(787.0 mg/100g) 순이었다(Lee et al., 2016). 대체로 백색육 어류인 AP와 BH의 포타슘, 황, 소듐, 인, 마그네슘 및 아연의 함량이 혈합육 어류인 ST와 YT에 비해 유의적으로 낮은 수준이었으나, 칼슘의 경우는 ST와 YT가 AP 및 BH에 비해 2배가량 높은 수준을 나타내었다($P<0.05$). 한편 가열처리한 가다랑어(Yoon et al., 2018) 및 황다랑어 알 농축분말들과 EW (Lee et al., 2016)는 황 함량이 포타슘 함량에 비해 높다고 하였으며, 이들 가열처리 농축물의 각각 무기질 함량에 있어서도 진공 동결건조 FRCs보다 낮았다. 이는 진공 동결건조 FRCs와는 달리, 가열처리 공정(열탕 및 증자)에 사용한 가공수로 무기질 성분들이 이행했기 때문이라 판단되었다(Lee et al., 2016; Yoon et al., 2018). Bekhit et al. (2009)은 연어 알의 황 함량이 1,647-2,443 mg/kg (wet basis)라고 하였으며, 이상의 결과와 보고를 통해 어류 알들과 egg white에는 다량의 함황 화합물을 함유하고 있어 저장 또는 보관 중에 이들 함황 화합물이 분해됨으로서 이취를 유발 할 수 있을 것으로 추정되었다. 어류 알의 식품소재로서 영양특성을 검토한 보고에 따르면, 가다랑어(Heu et al., 2006; Yoon et al., 2018)와 황다랑어(Heu et al., 2006; Lee et al., 2016) 및 명태(Heu et al., 2006) 알의 무기질 함량은 포타슘이 325.4-459.0 mg/100 g 범위로, 인(371.5-437.4 mg/100 g) 그리고 소듐(167.0-191.0

Table 2. Mineral content of fish roe concentrates prepared by vacuum freeze-dried process

Sample	AP	BH	ST	YT ¹	EW ¹
K	916.4±10.1 ^b	903.0±10.0 ^b	1,097.4±9.0 ^a	1,179.9±8.3	787.0±13.2
S	622.3±71.9 ^b	613.2±70.8 ^b	974.3±57.7 ^a	992.3±92.6	1,341.3±1.2
Na	349.1±3.8 ^b	344.0±3.8 ^b	615.2±1.4 ^a	676.2±2.1	1,015.8±8.8
P	213.9±1.9 ^b	210.8±1.9 ^b	247.9±1.5 ^a	257.7±2.8	92.5±0.4
Minerals (mg/100 g)					
Ca	105.9±1.7 ^a	104.4±1.7 ^a	36.3±0.2 ^b	33.5±0.3	65.2±0.6
Mg	59.3±0.9 ^b	58.5±0.9 ^b	66.9±0.1 ^a	66.8±0.4	-
Zn	16.4±0.2 ^b	16.2±0.2 ^b	39.3±0.3 ^a	45.0±0.3	-
Fe	9.2±0.8 ^a	9.1±0.7 ^a	9.2±0.2 ^a	9.8±0.1	0.6±0.0
Mn	0.3±0.0 ^a	0.3±0.0 ^a	0.0±0.0 ^a	0.1±0.0	0.0±0.0

¹Quoted from Lee et al., 2016. Data is given as mean values±SD (n=3). Means with different letters within the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. AP, Alaska pollack; BH, bastard halibut; ST, skipjack tuna; YT, yellowfin tuna; EW, egg white.

mg/100 g)과 함께 가장 많은 부분을 차지하였고, 그 다음으로 칼슘(11.0-66.4 mg/100 g)과 마그네슘(22.0-27.8 mg/100 g)의 순이라고 보고하였다. 따라서 어류 알보다는 이 연구의 FRCs가 동결건조 공정을 통해 포타슘, 마그네슘 및 아연의 경우 약 2-4배가량의 무기질성분 농축효과가 인정되었으며, 어종 간에도 무기질 함량에 있어서는 다소 차이가 있었다. 그러나 칼슘과 인에 있어서는 어류 알이 FRCs에 비해 상대적으로 높은 함량을 나타내어 농축효과는 인정되지 않았다.

한편, 한국영양학회(The Korean Nutrition Society, 2000)에서는 어류 알의 칼슘 및 인 함량에 대하여, 명태 알은 각각 24.0 mg/100 g 및 378.0 mg/100 g, 대구 알이 각각 23.0 mg/100 g 및 385.0 mg/100 g, 송어 알은 각각 56.0 mg/100 g 및 380.0 mg/100 g, 청어 알이 38.0 mg/100 g 및 127.0 mg/100 g이었으며, Eun et al. (1994)은 붕메기 알의 경우 각각 3.6 mg/100 g 및 470 mg/100 g이라고 보고하여, 어류 알의 칼슘 함량은 인 함량이 비하여 현저히 낮음을 알 수 있었다. 이에 비해 EW의 경우 이상적인 칼슘과 인의 비율이었다. 인 함량은 세포막의 구성 성분으로 인지질의 함량과 인단백질의 존재와 밀접한 관련성이 있다(Mahmoud et al., 2008). 한편 가다랑어(Yoon et al., 2018)와 황다랑어 알(Lee et al., 2016)의 철분 함량은 미량성분으로서 흔적량이었으나, 동결건조 농축물인 FRCs의 철분 함량이 9.1-9.2 mg/100 g 범위로 나타나, 동결건조에 따른 농축효과가 있는 것으로 확인되었다. 철분, 구리 및 마그네슘과 같은 금속이온은 해양 생물의 생리학적 대사 및 금속대사 과정에 필요한 필수 미량원소로 분류되며(Thanonkaew et al., 2006), 수산물가공 원료의 무기질함량의 변화에는 계절적 추이, 생물학적 차이, 어획 지역, 가공 방법, 원료공급원 및 서식지(염분, 온도 및 오염원)와 밀접한 관련이 있다(Alasalvar et al., 2002). 따라서 동결건조 농축물을 제조하는 공정은 수분활성을 낮춤으로써 미생물의 번식을 억제하여 저장 중 성분변화를 최소화할 뿐만 아니라, 식품중의 영양성분을 농축함으로써, 영양강화 식품소재로서의 이용 가능성과 보관 안정성이 높아질 것이라 판단된다.

중금속

3종의 어류 알로부터 제조한 동결건조 FRCs의 식품소재로서

안전성을 검토하기 위하여 중금속 함량을 분석한 결과는 Table 3과 같다. FRCs의 중금속함량의 범위는 구리(Cu) 0.5-1.5 mg/kg, 납(Pb) 0.0-0.2 mg/kg, 카드뮴(Cd) 0.1-0.5 mg/kg, 크롬(Cr) 0.0-0.5 mg/kg 및 니켈(Ni) 0.0-0.3 mg/kg인 것으로 나타났다. AP와 BH는 구리의 함량(1.5 mg/kg)에 있어 ST와 YT보다 유의적으로 높은 함량을 보였으며(P<0.05), ST와 YT는 0.5 mg/kg 수준이었다. 또한 EW은 분석한 중금속 함량이 모두 0.1 mg/kg이하였다. AP는 구리 및 카드뮴, BH는 구리 및 크롬 함량에서 유의적으로 높았으나(P<0.05), 납 함량은 어종 간에 유의적인 차이가 없었다(P>0.05). 또한 ST는 YT (Lee et al., 2016)와 유사한 중금속 함량을 나타내었으며, 대체로 다랑어류 알이 명태와 넙치 알의 중금속함량이 유의적으로 낮은 것으로 확인되었다(P<0.05). 한편, codex code (2004) 규정에 따르면, 식품소재로서 중금속의 안전치는 납의 경우 0.2-0.4 mg/kg, 크롬의 경우 0.2-1.0 mg/kg이며, 수은과 카드뮴의 경우 검출되어서는 안 된다고 제시하고 있으며, 어류 알에 대해서는 납과 카드뮴은 각각 0.5 및 0.1 mg/kg을 초과하지 않도록 규정하고 있다. Heu et al. (2006)은 명태, 가다랑어 및 황다랑어 알의 납 함량이 각각 0.08 mg/kg, 0.03 mg/kg 및 0.04 mg/kg으로 납을 제외한 카드뮴, 수은 및 크롬의 경우 어류 알의 종류에 관계없이 검출되지 않았다고 보고하여, 이 연구결과에 비하여 낮은 수준이었으나, 이는 동결건조에 따른 농축효과로 나타난 결과로서 FRCs의 분석결과를 습식중량(wet basis) 기준으로 환산한다면 codex code (2004) 규정의 기준치에 미달하는 것으로 나타났다. 따라서 동결건조 FRCs는 중금속 측면에서 안전한 식품소재로서 사용 가능할 것으로 판단되었다.

아미노산 조성

동결건조 FRCs의 총 아미노산 조성(g/100 g, %)에 대한 분석결과는 Table 4와 같다. 건조중량(% dry basis)으로 나타낸 FRCs의 단백질 함량은 AP가 81.9%로 가장 높았으며, ST 72.6% 그리고 BH 69.6% 순이었다. 황다랑어(YT) 알 및 egg white의 경우, 각각 75.5 및 84.0%로 보고한 바 있으며(Lee et al., 2016), 동결건조공정을 통해 제조한 FRCs은 건조중량으로 70% 이상의 단백질 함량을 나타내어 단백질 강화소재로서의

Table 3. Heavy metal content of fish roe concentrates prepared by vacuum freeze-dried process

Sample	AP	BH	ST	YT ¹	EW ¹	
Heavy metal (mg/kg)	Cu	1.5±0.0 ^a	1.5±0.0 ^a	0.5±0.0 ^b	0.5±0.0	0.1±0.0
	Pb	0.2±0.2 ^a	0.2±0.2 ^a	0.0±0.2 ^a	0.2±0.1	0.0±0.0
	Cd	0.5±0.0 ^a	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0 ^b	0.1±0.0	0.0±0.0
	Cr	0.0±0.0 ^c	0.5±0.0 ^a	0.2±0.0 ^b	0.1±0.0	0.1±0.0
	Ni	0.3±0.0 ^a	0.3±0.0 ^a	0.0±0.0 ^b	0.0±0.0	0.0±0.0

¹Quoted from Lee et al., 2016. Data is given as mean values±SD (n=3). Means with different letters within the same row are significantly different at P<0.05 by Duncan's multiple range test. AP, Alaska pollack; BH, bastard halibut; ST, skipjack tuna; YT, yellowfin tuna; EW, egg white.

이용 가능할 것으로 판단되었다. AP의 7% 이상 주요 필수아미노산(EAAs) 및 비필수 아미노산(NEAAs)은 각각 Val (7.0%), Leu (9.7%) 및 Lys (8.6%) 그리고 Asp (10.4%), Glu (14.5%) 및 Ala (7.3%)이었으나, BH 및 ST의 경우, Leu 및 Lys 그리고 Asp 및 Glu으로 아미노산 조성비와 함량에 있어 유의적인 차이가 있었다($P<0.05$). EW는 Val, Leu, Lys, Asp, 및 Glu 등이 주요 아미노산에 있어서 어류 알과 거의 유사한 함량비를 나타내었다 (Lee et al., 2016). 한편, AP의 Met, Arg, Pro, Cys 및 Tyr의 함량에 있어서는 BH와 ST에 비하여 유의적으로 낮은 것으로 확인되었고, BH와 ST간의 유의적인 함량 차이를 보이는 아미노

산은 His, Pro, Gly, Ala 그리고 Tyr이었다($P<0.05$). 또한 이 실험의 BH와 ST의 아미노산 조성비는 YT의 조성비와 유사한 경향이었으나, EW의 그것과는 주요아미노산을 제외한 다른 아미노산들의 조성비에 있어서는 상당한 차이를 나타내었다. 명태, 가다랑어 및 황다랑어 알의 주요 구성 아미노산으로는 알의 종류에 관계없이 모두 Asp, Glu, Leu 및 Lys이며, 전체 아미노산의 38.4-41.2%를 차지한다고 하여 (Heu et al., 2006), 어류 알과 이 실험의 동결건조 FRCs의 아미노산 조성비 있어서는 차이가 없었다. 필수/비필수 아미노산의 비율(TEAAs/TNEAAs)에 있어서는 AP (1.07), BH (0.96) 그리고 ST (0.98)으로서 AP의 필수 아미노산 함량이 높은 것으로 나타났으나, EW (1.10)보다는 상대적으로 단백질의 영양적인 측면에서 다소 낮은 것으로 확인되었다 (Lee et al., 2016). Lysine은 곡류식품의 제1제한 아미노산으로서, FRCs의 lysine 함량(8.0-8.6%)은 EW (8.2%)보다 유사하거나 다소 높은 수준이었다 (Yoon et al., 2018). Intarasirisawat et al. (2011)은 3종의 다랑어류(skipjack, tongol 그리고 bonito)의 탈자알의 leucine (8.3-8.6%) 및 lysine (8.2-8.3%)이 주요 필수아미노산이라고 보고하여, 가공처리 방법의 차이가 있음에도 불구하고 아미노산 조성비에 있어서는 유사하였다. 한편, 소수성(hydrophobicity)은 식품기능성에 있어 거품성 및 유희특성을 결정하는데 중요한 역할을 한다 (Chalamaiah et al., 2013). 이와 관련하여 맛, 용해도, 거품성 및 유희특성과 같은 식품기능성에 영향을 주는 소수성 아미노산 조성비(THAA, %)는 각각 42.7% (AP), 43.4% (BH) 그리고 43.8% (ST)로서, YT 및 EW에 비해 다소 낮은 수준이었다 (Lee et al., 2016). 또한 가다랑어 알 및 가열처리 농축분말의 소수성 아미노산의 조성비는 43.8-45.2% 수준으로 이 실험결과와 유사한 수준을 나타내었다 (Yoon et al., 2018).

이상의 결과와 보고에 따르면, 어류 알 및 동결건조 FRCs는 필수아미노산으로서 곡류의 제한아미노산인 lysine이 다량 함유되어 있을 뿐만 아니라 (Kim et al., 2005b), 필수아미노산의 비율에 있어서도 곡류의 평균 비율인 30% 보다 훨씬 높았고 (Joe et al., 1989), 성계 알(27%) (Shimada and Ogura, 1990) 및 송어알(40%) (Nam, 1986) 보다도 높아 이들 어류 알을 식품 소재로 이용하여 상품화한다면 단백질의 영양균형적인 면에서 상당히 의미가 있으리라 판단되었다.

단백질 분자량 분포(SDS-PAGE)

3종의 어류 알로부터 제조한 동결건조 FRCs의 SDS-PAGE에 의한 단백질분자량 분포는 Fig. 1에 나타내었다. AP의 단백질분포(Lane 2)는 250 kDa 이상에서 1개, 150-100 kDa에서 1개, 100-75 kDa에서 2개, 75-50 kDa에서 2개, 그리고 37-25 kDa에서 1개로 모두 7개의 단백질 밴드가 확인되었으며, BH (Lane 3)는 100-75 kDa에서 3개, 75-50 kDa에서 2개, 그리고 50-25 kDa에서 5개로 모두 10개의 단백질 밴드의 분포를 확인할 수 있었다. ST의 경우(Lane 4)는 AP 및 BH와는 달리 100-75

Table 4. Total amino acid content of fish roe concentrates prepared by vacuum freeze-dried process

Amino acid ¹	AP	BH	ST	YT ¹	EW ¹
Protein content (%) (based on dry basis)	81.9	69.6	72.6	75.5	84.0
Thr	5.6 ^a	5.1 ^b	5.0 ^b	5.0	4.7
Val ³	7.0 ^a	6.1 ^b	6.1 ^b	6.3	8.2
Met ³	1.6 ^b	2.5 ^a	2.7 ^a	2.9	2.0
Ile ³	5.9 ^a	4.9 ^b	5.2 ^b	5.4	6.2
Leu ³	9.7 ^a	8.7 ^b	8.5 ^b	8.5	9.2
Phe ³	4.8 ^a	4.1 ^b	4.3 ^b	4.4	6.4
His	2.6 ^b	2.6 ^b	3.1 ^a	3.4	2.7
Lys	8.6 ^a	8.4 ^a	8.0 ^b	8.5	8.2
Arg	6.1 ^b	6.6 ^a	6.6 ^a	6.6	4.8
TEAA (%)	51.8	49.0	49.5	51.0	52.4
Asp	10.4 ^a	9.1 ^b	9.0 ^b	8.7	11.8
Ser	6.1 ^a	6.2 ^a	5.8 ^{ab}	5.6	5.7
Glu	14.5 ^a	13.4 ^b	13.0 ^{bc}	13.1	14.9
Pro ³	1.7 ^b	5.8 ^a	6.3 ^b	6.1	3.7
Gly ³	4.7 ^{ab}	5.0 ^b	5.1 ^a	4.9	4.0
Ala ³	7.3 ^a	6.4 ^c	7.0 ^{ab}	6.5	6.6
Cys	0.5 ^b	1.2 ^a	1.1 ^a	0.7	0.7
Tyr	3.0 ^c	3.9 ^a	3.2 ^b	3.4	0.2
TNEAA (%)	48.2	51.0	50.5	49.0	47.6
Total (%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
TEAA/TNEAA	1.07	0.96	0.98	1.04	1.10
THAA(%)	42.7	43.4	43.8	45.0	46.3

¹Amino acid (g/100 g protein) expressed a ratio of a kind of amino acid amount vs. total amino acid. ²Quoted from Lee et al., 2016.

³Hydrophobic amino acid, TEAA, total essential amino acids; TNEAA, total nonessential amino acids; THAA, total hydrophobic amino acids. Means with different letters within the same row are significantly different at $P<0.05$ by Duncan's multiple range test. AP, Alaska pollack; BH, bastard halibut; ST, skipjack tuna; YT, yellowfin tuna; EW, egg white.

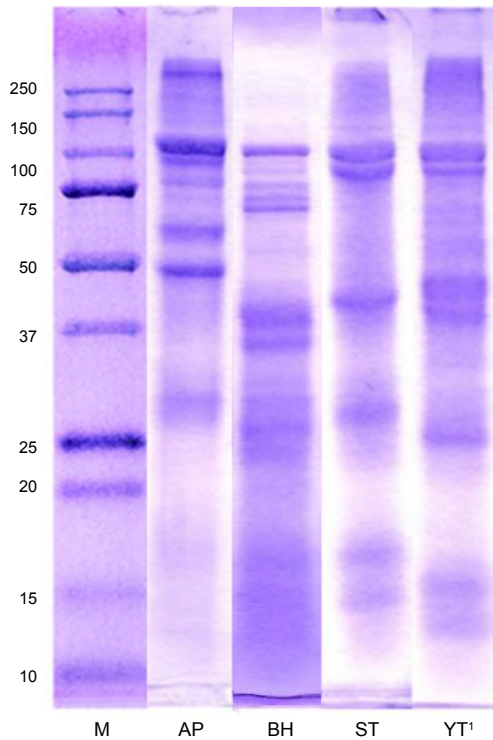


Fig. 1. Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis patterns of fish roe concentrates prepared by vacuum freeze-dried process. M, molecular marker protein; AP, Alaska pollack; BH, bastard halibut; ST, skipjack tuna; YT, yellowfin tuna. ¹Quoted from Lee et al., 2016.

kDa에서 명확한 2개의 밴드, 50-37 kDa에서 1개, 37-25 kDa에서 1개 그리고 20-10 kDa에서 2개로 모두 6개의 단백질 밴드를 확인할 수 있었으나, YT (Lee et al., 2016)의 경우, 5개의 단백질 밴드(50-10 kDa)에서는 분자량 분포에서의 차이가 확인하였다. 따라서 어류 알의 단백질 분자량 분포에 있어서 어종간의 차이가 확연히 구분되었다. 일반적으로 서로 다른 종의 알은 전기영동 패턴에 있어서도 차이를 보여, 이는 어종간의 단백질 조성 차이에 기인한 것으로, 어류 알에는 albumins과 ovoglobulin이 총 질소량의 각각 11%와 75%를 차지하고, collagen의 함량은 총 단백질의 13%정도를 차지한다고 하였다 (Sikorski, 1994). 97 K 부근의 단백질 밴드는 3종의 다량어류 알(Intarasirisawat et al., 2011)과 난황(Losso et al., 1993)에서 발견되는 단백질인 vitelline-like protein인 것으로 추정되었으며, 가다랑어 알의 vitelline-like protein 밴드는 egg white의 그것보다 뚜렷하게 관찰되었다고 하였다(Lee et al., 2016). Yoon et al. (2018)은 가열처리한 가다랑어 알 농축분말의 250 kDa의 단백질 밴드는 가다랑어 알에서는 발견되지 않아 열탕 및 증자와 같은 가열처리에 의해 알 단백질의 응집 또는 응고에 의한 것이라고 하였으며, 25-15 kDa에서 단백질 분포가 감소한 것은

가열처리과정 중에 일부 단백질의 분해, sarcoplasmic proteins과 같은 저분자량의 수용성 단백질성분이 가공처리로 유리되어 나타난 결과라고 보고하였다. 한편, 50-37, 37-20 그리고 15 kDa에서 관찰된 단백질 밴드들은 각각 actin, troponin-T and myosin light chain (MLC)로 추정되며, 특히 32.5 및 29 kDa 단백질은 다량어류 알(Intarasirisawat et al., 2011)에서 관찰되었으며, 이들 단백질들은 ovomucoid (Al-Holy and Rasco, 2006) 또는 phosvitin (Losso et al., 1993)이라고 보고한 바 있다. 또한 sturgeon caviar의 가용성 획분에는 27 kDa 부근의 단백질은 27-29 kDa의 분자량을 갖는 당단백질로서 ovomucoid일 것이라고 보고하였다(Al-Holy and Rasco, 2006).

이상의 보고와 실험결과를 통해 동결건조 어류 알 농축물(FRCs)은 탈지(Intarasirisawat et al., 2011) 및 가열처리(Lee et al., 2016; Yoon et al., 2018)에 비해 영양적인 손실 및 단백질 변성 등을 최소화하면서 어류 알 자체의 식품성분을 농축하는 효과뿐만 아니라 보관 안정성을 높이는 효과를 기대할 수 있었다. 이를 통해 전통적인 농산제품인 면, 제과제빵, 그리고 수산가공품으로서 연제품 등의 단백질강화 가공보조제로서, 또는 새로운 수산융합제품의 개발소재로 가공적성의 확대 가능성이 있을 것으로 기대되었다. 새로운 수산융합제품의 개발소재로 이용을 위해서는 동결건조 FRCs의 용해성, 보수력, 거품형성능 및 유희능과 같은 식품기능성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

이 연구는 2019년도 경상대학교 연구년제 연구교수 연구지원비에 의하여 수행되었음.

References

- Alasalvar C, Taylor KDA, Zubcov E, Shahidi F and Alexis M. 2002. Differentiation of cultured and wild sea bass (*Dicentrarchus labrax*): total lipid content, fatty acid and trace mineral composition. Food Chem 79, 145-50. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00122-x](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00122-x).
- Al-Holy MA and Rasco BA. 2006. Characterisation of salmon *Oncorhynchus keta* and sturgeon *Acipenser transmontanus* caviar proteins. J Food Biochem 30, 422-428. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2006.00069.x>.
- An H, Peters MY and Seymour TA. 1996. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation. J Food Sci 7, 321-326. [https://doi.org/10.1016/0924-2244\(96\)10035-2](https://doi.org/10.1016/0924-2244(96)10035-2).
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official methods of analysis. 16th ed. AOAC, Washington DC, U.S.A., 69-74.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official method of analysis. 18th ed. Association of Official Chemists, Gaithersburg, MD, U.S.A.

- Bekhit A, Morton JD, Dawson CO, Zhao JH and Lee HYY. 2009. Impact of maturity on the physicochemical and biochemical properties of chinook salmon roe. *Food Chem* 117, 318-325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.04.009>.
- Bledsoe GE, Bledsoe CD and Rasco B. 2003. Caviars and fish roe products. *Crit Rev Food Sci Nutr* 43, 233-271. <https://doi.org/10.1080/10408690390826545>.
- Chlapanidas T, Farago S, Lucconi G, Perteghella S, Galuzzi M, Mantelli M and Torre ML. 2013. Sericins exhibit ROS-scavenging, anti-tyrosinase, anti-elastase, and in vitro immunomodulatory activities. *Int J Biol Macromol* 58, 47-56. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.03.054>.
- Codex Code. 2004. European community comments for the codex committee on food additives and contaminants-agenda item 15 (a) and 16 (f). FAO, Rome, Italy.
- Dong FD and Bechtel P. 2010. New fish feeds made from fish byproducts. Retrieved from <http://www.ars.usda.gov/is/AR/archive/oct10/leftovers1010.htm> on Feb 24, 2019.
- Duan ZH, Jiang LN, Wang JL, Yu XY and Wang T. 2011. Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food Bioprocess* 89, 472-6. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.11.005>.
- Eun JB, Chung HJ and Heansberg JO. 1994. Chemical composition and microflora of channel catfish *Ictalurus punctatus* roe and swim bladder. *J Agric Food Chem* 42, 714-717. <https://doi.org/10.1021/jf00039a022>.
- Ezhilarasi PN, Indrani D, Jena BS, Anandharamakrishnan C. 2013. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *J Food Eng* 117, 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.009>.
- Heu MS, Kim HS, Jung SC, Park CH, Park HJ, Yeum DM, Park HS, Kim CG and Kim JS. 2006. Food component characteristics of skipjack *Katsuwonus pelamis* and yellowfin tuna *Thunnus albacares* roes. *Korean J Fish Sci* 39, 1-8. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.1.001>.
- Intarasirisawat R, Benjakul S and Visessanguan W. 2011. Chemical compositions of the roes from skipjack, tongol and bonito. *Food Chem* 124, 1328-1334. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.076>.
- Iwasaki M and Harada R. 1985. Proximate and amino acid composition of the roe and muscle of selected marine species. *J Food Sci* 50, 1585-1587. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10539.x>.
- Jeong BY, Moon SK, Jeong WG and Ohshima T. 2000. Lipid class and fatty acid compositions of wild and cultured sweet smelt *Plecoglossus altivelis* muscles and eggs in Korea. *Fish Sci* 66, 716-724. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2000.00117.x>.
- Ji SJ, Lee JS, Shin JH, Park KH, Kim JS, Kim KS and Heu MS. 2011. Distribution of protease inhibitors from fish eggs as seafood processing byproducts. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 8-17. <https://doi.org/10.5657/kfas.2011.44.1.008>.
- Joe SJ and Jo JH. 1993. Changes in the fatty acid composition of phospholipid in the dried and salted mullet roe during processing and storing. *J Kor Soc Food Nutr* 22, 286-290.
- Joe SJ, Rhee CO and Kim DY. 1989. Study on the processing and compositions of salted and dried mullet roe. *Korean J Food Sci Technol* 21, 242-251.
- Jung WK, Park PJ and Kim SK. 2003. Purification and characterization of a new lectin from the hard roe of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. *Int'l J Biochem Cell Biol* 35, 255-265. [https://doi.org/10.1016/s1357-2725\(02\)00176-0](https://doi.org/10.1016/s1357-2725(02)00176-0).
- Kim HS, Park CH, Choi SG, Han BW, Kang KT, Shim NH and Heu MS. 2005. Food component characteristics of red-tanner crab *Chionoecetes japonicus* paste as food processing source. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 1077-1081. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.7.1077>.
- Kim JW, Min TJ and Lee TY. 1988. Subunits and composition of carotenoprotein from *Salmo salar* eggs. *J Kor Appl Chem* 32, 377-384.
- Kim SM. 1996. The effect of sulfite salts on the shelf-life of lowsalted Myungranjeot (Soused roe of Alaska pollack). *Kor J Food Sci Technol* 28, 940-946.
- Kurozawa LE, Terng I, Hubinger MD and Park KJ. 2014. Ascorbic acid degradation of papaya during drying: Effect of process conditions and glass transition phenomenon. *J Food Eng* 123, 157-164. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.039>.
- Laemmli UK. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature* 227, 680-685. <http://dx.doi.org/10.1038/227680a0>.
- Lee HJ, Park SH, Yoon IS, Lee GW, Kim JS and Heu MS. 2016. Chemical composition of protein concentrate prepared from yellowfin tuna *Thunnus albacares* roe by cook-dried process. *Fish Aquat Sci* 19:12. <http://dx.doi.org/10.1186/s41240-016-0012-1>.
- Losso JN, Bogumil R and Nakai S. 1993. Comparative studies of phosphatidylcholine from chicken and salmon egg yolk. *Comparative Biochemistry and Physiology* 106, 919-923. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(93\)90051-6](https://doi.org/10.1016/0305-0491(93)90051-6).
- Mahmoud KA, Linder M, Fanni J and Parmentier M. 2008. Characterisation of the lipid fractions obtained by proteolytic and chemical extractions from rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* roe. *Process Biochem* 43, 376-383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2008.01.011>.
- Nam HG. 1986. The composition of fatty acid and amino acid for sea urchin. *Kor Oil Chem* 3, 33-37.
- Narsing Rao G, Prabhakara Rao P, Satyanarayana A and Balaswamy K. 2012. Functional properties and in vitro antioxidant activity of roe protein hydrolysates of *Channa striatus* and *Labeo rohita*. *Food Chem* 135, 1479-1484. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.098>.
- Oda S, Igarashi Y, Manaka KI, Koibuchi N, Sakai-Sawada M,

- Sakai M, Morisawa M, Otake H and Shimizu N. 1998. Sperm-activating proteins obtained from the herring eggs are homologous to trypsin inhibitors and synthesized in follicle cells. *Dev Biol* 204, 55-63. <https://doi.org/10.1006/dbio.1998.9056>.
- Park JO, Kim HJ and Sung NJ. 1983. The taste compounds of the fermented cod-roe, *Gadus macrocephalus*-Change of nucleotides and their related compounds in cod roe. *J Home Econ Assoc* 21, 51-57.
- Park SH, Lee HJ, Yoon IS, Lee GW, Kim JS and Heu MS. 2016. Protein functionality of concentrates prepared from yellow-fin tuna *Thunnus albacares* roe by cook-dried process. *Food Sci Biotechnol* 25, 1569-1575. <http://dx.doi.org/10.1007/s10068-016-0242-0>.
- Sathivel S, Yin H, Bechtel PJ and King JM. 2009. Physical and nutritional properties of catfish roe spray dried protein powder and its application in an emulsion system. *J Food Eng* 95, 76-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.04.011>.
- Shimada K and Ogura N. 1990. Lipid changes in sea urchin gonads during storage. *J Food Sci* 55, 967-971. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01576.x>.
- Shina N, Tateno H, Ogawa T, Muramoto K, Saneyoshi M and Kamiya H. 2002. Isolation and characterization of L-rhamnose-binding lectins from chum salmon *Oncorhynchus keta* eggs. *Fish Sci* 68, 1352-1366. <https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2002.00575.x>.
- Sikorski ZE. 1994. Seafood proteins. The contents of proteins and other nitrogenous compounds in marine animals. Sikorski ZE, Pan BS, Shahidi F editors. Chapman and Hall, New York, NY, U.S.A., 6-12.
- Thanonkaew A, Benjakul S, Visessanguan W and Decker EA. 2006. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish *Sepia pharaonis* subjected to multiple freeze-thaw cycles. *Food Chem* 95, 591-599. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.040>.
- The Korean Nutrition Society. 2000. Recommended dietary allowances for Koreans. 7th revision. Seoul, Korea, 157-204.
- Tsai YJ, Chang GD, Haung CJ, Chang YS and Haung FL. 1996. Purification and molecular cloning of carp ovarian cystatin. *Comp Biochem Physiol B* 113, 573-580. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(95\)02070-5](https://doi.org/10.1016/0305-0491(95)02070-5).
- Ustadi K, Kim KY and Kim SM. 2005. Characteristics of protease inhibitor purified from the eggs of Alaska pollock *Theragra halcogramma*. *Korean J Fish Sic* 38, 83-88. <https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.2.083>.
- Yamashita M and Konagaya S. 1991. Cysteine protease inhibitor in egg of chum salmon. *J Biochem* 110, 762-766. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a123655>.
- Yoon IS, Lee GW, Kang SI, Park SY, Lee JS, Kim JS, and Heu MS. 2018. Chemical composition and functional properties of roe concentrates from skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* by cook-dried process. *Food Sci Nutr* 6, 1276-1286. <https://doi.org/10.1002/fsn3.676>.