

유통중인 양식산 냉동전복(*Haliotis discus hannai*)의 미생물학적·화학적 위해요소분석 및 안전성 평가

전은비¹ · 강상인² · 허민수³ · 이정석¹ · 박신영^{1,2*}

¹경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ²신라대학교 수산물종합연구센터, ³경상국립대학교 식품영양학과

Risk Analysis of Microbiological and Chemical Hazards in Cultured Frozen Abalone *Haliotis discus hannai* Distributed in Markets

Eun Bi Jeon¹, Sang-In Kang², Min Soo Heu³, Jung-Suck Lee¹ and Shin Young Park^{1,2*}

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

²Seafood Research Center, Industry-Academic Cooperation Foundation, Silla University, Busan 49277, Republic of Korea

³Department of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

Shin Young Park, Dept. of Seafood Science and Technology, Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

Fifteen cultured frozen abalone *Haliotis discus hannai* samples were purchased from supermarkets, traditional markets, online markets, and processing factories throughout Korea for the safety assessment of microbiological and chemical hazards. Sanitary-indicative (total viable bacteria, coliforms, and *Escherichia coli*) and pathogenic (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, and Enterohemorrhagic *E. coli*) bacterial contamination levels were assessed quantitatively or qualitatively. Additionally, heavy metal content (lead, cadmium, and total mercury) and radioactivity (¹³⁴CS+¹³⁷CS, ¹³¹I) were quantitatively assessed. The total viable bacterial count was 4.3×10² CFU/g, while coliform count was 50 CFU/g. *E. coli* was not detected in any of the samples (count < 10 CFU/g). All six pathogenic bacteria tested negative qualitatively. The average lead, cadmium, and total mercury contamination levels in the cultured frozen abalone were 0.100±0.057, 0.145±0.061, and 0.015±0.001 mg/kg, respectively. Moreover, none of the samples were radioactive. According to the results of this study, cultured frozen abalones distributed in all types of markets were safe from all microbiological and chemical hazards.

Keywords: Cultured frozen abalone, Chemical hazards, Microbiological hazards

서론

전복은 조수가 잘 통하는 수심 5–50 m 정도의 암초지대에 주로 서식하며, 암석에 붙어 생활하는 원시복족목(Archaeogastropoda) 전복과에 속하는 복족류의 수산생물이다. 전 세계적으로 약 100여종 이상 알려져 있으며 우리나라 연안에 분포하고 있는 전복류는 참전복(*Haliotis discus hannai*), 말전복(*H. gigantea*), 까막전복(*H. discus discus*), 시볼트전복(*H. sieboldii*), 오분자기(*H. diversicolor superfecta*) 5종이 있다(Lee et

al., 2015). 그 중 참전복은 우리나라의 90% 이상 전라남도 완도 및 진도 일대에서 대량 양식하고 있으며 미역, 다시마 등의 해조류를 주된 먹이로 하고 있다(Ham et al., 2021). 다른 어패류에 비하여 특유의 조직감을 가지고 있는 전복은 수분 함량이 높은 저열량, 저지방, 고단백 식품이다. 또한 철분, 타우린, 비타민 B₁, B₂가 많고 칼슘, 인 등의 영양소가 많이 함유되어 피부미용, 자양강장, 산후조리 등에 효능이 있다. 특히 타우린이 풍부하여 간장의 해독기능을 강화하고 심근경색에 대한 예방효과를 가지고 있어 영양면에서나 기호적인 부분 둘 다 우수한 것으로 알려

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9143 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: sypark@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.2024.0203>

Korean J Fish Aquat Sci 57(3), 203-208, June 2024

Received 20 March 2024; Revised 12 April 2024; Accepted 18 June 2024

저자 직위: 전은비(대학원생), 강상인(연구원), 허민수(교수), 이정석(교수), 박신영(교수)

져 있다(Kim et al., 2006).

전복 양식은 2000년대에 내파성 가두리양식 기술개발로 시설량 및 생산량이 급증하게 되고 2001년부터 전복 가두리 양식 면허제도가 시행되면서 대량생산이 가능해지면서 2003년부터 본격화되었다(Kim, 2018). 이후, 전복 양식생산량은 2001년 29톤에서 2018년 20,053톤으로 급증하였으며, 온라인 판매와 다양한 식재료로 활용되는 등 소비량이 매년 증가하는 추세이다(Kim et al., 2020). 그러나 2019년에는 18,436톤으로 소폭 감소되어 전복 소비 촉진을 위해 생 전복을 급속 냉동 후 진공 포장하여 소비자 맞춤형 택배사업으로 추진되고 있다. 이는 가정집, 산업체, 식품전문점에서 전복 죽, 전복버터구이 등의 원료로 광범위하게 이용되고 있다.

한편, 산업기술개발로 인해 각종 산업폐수, 생활하수, 분변 등 다양한 유해물질들에 노출될 우려가 높으며, 해양환경으로 유입되면 해양생물에 축적된다. 부유성 식물플랑크톤을 여과 섭이 하는 패류는 중금속에 노출될 경우 체내 흡수 및 이용되며, 특히 냉동전복은 내장을 포함한 전체 부위를 섭취하므로 미량의 중금속 함량을 인간이 섭취하게 되면 독성위험에 노출하게 된다(Kim et al., 2021).

냉동식품은 식품을 제조·가공한 후 동결처리한 것으로 제조 공정으로 인해 미생물에 오염되는 경우가 있다. 또한 우리나라 배송시스템은 콜드체인(cold chain) 시스템이 갖추어진 차량이 아닌 상온용 택배 차량으로 대부분 배송되고 있으며, 이와 같은 방법은 유통과정에서의 미흡한 온도 관리로 미생물 증식이 억제되어 있다가 다시 증식하는 경우에는 식품 변질로 이어질 수 있다(Han, 2019).

따라서, 이러한 배경하에 국내 유통중인 양식산 냉동전복의 위생지표세균(일반세균수, 대장균군, 대장균) 및 6종의 식중독 세균(*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens* 및 *Enterohemorrhagic Escherichia coli*)의 미생물학적 오염 정도와 중금속(납, 카드뮴, 총수은), 방사능의 화학적 오염도를 분석하여 냉동전복의 미생물학적 및 화학적 안전성 실태를 파악하고 이에 근거한 위해평가의 기초자료로써 활용하고자 한다.

재료 및 방법

연구 재료

양식산 냉동전복(*H. discus hannai*) 시료는 총 15건을 수거하여 사용하였다. 시료는 대형마트 5건(경남 창원, 사천, 전남 여수, 순천, 광양), 전통시장 1건(경남 거제), 온라인 쇼핑몰 1건 및 가공공장 8건(전남 완도)을 수거하였으며, 그 방법은 식품공전(MFDS, 2021) 제7. 검체의 채취 및 취급방법에 따라 실시하였다. 시료는 2차 오염을 방지하기 위하여 구매 즉시 냉장고에 보관하여 24시간 이내에 분석에 사용하였고, 인터넷을 통하여 구매한 시료는 24시간 이내 도착하였으며 즉시 분석에 사용하였

다. 검체 채취는 멸균된 가위와 핀셋을 이용하여 여러 부위를 잘게 자른 후 25 g을 채취하여 사용하였다.

위생지표세균의 분석

냉동전복에 대한 위생지표세균(일반세균수, 대장균군 및 대장균)의 오염도 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에 따라 실시하였다. 시료용액 제조는 시료 25 g에 0.85% NaCl 수용액 225 mL를 가하였다. 이후 stomacher (BagMixer 400; Interscience, Saint-Nom la Breteche Arpents, France)를 이용하여 약 1분간 균질화 하였다. 균질 된 시료용액 1 mL와 0.85% NaCl 수용액을 10진 희석법에 따라 희석하여 그 용액을 실험에 사용하였다.

일반세균수는 시료용액 1 mL와 표준한천배지(Plate Count Agar; BD Difco, Sparks, MD, USA) 15–20 mL를 충분히 식힌 뒤 Petri dish에 분주하고, 35 ± 1°C에서 48 ± 2시간 배양하였다. 대장균군 및 대장균은 3M Petrifilm *E. coli*/Coliform count plate (3M, Saint Paul, MN, USA) 건조필름을 사용하였으며, 시료용액 1 mL를 건조필름 I (Petri film™ CC; 3M, St Paul, MN, USA)에 수직으로 접촉 후 35 ± 1°C에서 24 ± 2시간 배양하였다. 대장균군의 경우 적자색과 그 주위로 기포가 생성된 집락을 대장균은 청색과 그 주위로 기포가 생성된 전형적인 집락을 각각 계수하였다. 평판당 15–300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 계수하였으며, 미생물 집락의 단위는 시료용액 1 mL당 colony forming unit (CFU/g)으로 표시하였다.

식중독 세균의 분석

본 연구에서 양식산 냉동전복의 식중독 세균은 총 6종류로 *S. aureus*는 정량분석, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens* 및 EHEC는 정성분석으로 측정하였다. 식중독 세균 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에 따라 실시하였다.

*S. aureus*의 시료용액 제조는 앞서 언급한 일반세균수 측정용 시료용액과 동일하게 제조하여 실험에 사용하였다. *S. aureus* 정량을 위한 배지는 Baird-parker agar (BD Difco, Sparks, MD, USA)를 사용하였다. 3장의 배지에 각각 0.3 mL, 0.4 mL, 0.03 mL씩 접종액이 총 1 mL가 되게 spread 하여 완전히 흡수시킨 후 35–37°C에서 48 ± 3시간 배양하였다. 배양 후 광택성 검정색 집락을 택하여 계수하였다. 계수한 평판에서 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 접종하고 35–37°C에서 18–24시간 배양하여 그람양성 구균, coagulase 응집 유무 등의 확인시험을 실시한 후, 확인 동정된 균수의 평균에 희석배수를 곱하여 최종 정량 하였다.

Salmonella spp. 분석을 위해 시료 25 g과 펩톤식염완충용액(buffered peptone water; BD Difco, Sparks, MD, USA) 225 mL를 가하여 균질화 한 후 36 ± 1°C에서 18–24시간 증균배양하였다. 이 용액 1 mL를 Tetrathionate broth (BD Difco)에 접종함과 동시에 Rappaport vassilidas broth (RV; BD Difco)에 0.1 mL 접종하여 각각 36 ± 1°C 및 41.5 ± 1°C에서 20–24시간으로

2차 증균배양 하였다. 이어 각각의 증균배양액을 1 loop 취하여 xylose lysine desoxycholate agar (XLD; Oxoid, Hampshire, UK) 및 Brilliant green sulfä (BG Sulfä; Oxoid) agar에 희선도 말한 후 $36 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 20–24시간 배양하였다. 그 후 의심 집락을 5개 이상 채취하여 triple sugar iron agar (TSI)에 희선도말하고 배양($37 \pm 1^\circ\text{C}$, 20–24시간)하였다.

L. monocytogenes 분석을 위해 시료 25 g에 Listeria enrichment broth (Oxoid) 225 mL를 혼합하여 균질화 한 후 30°C 에서 48시간 증균배양 하였다. 증균배양액을 1 loop를 Oxford 한천배지에 도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24–48시간 배양하였다. 의심 집락을 확인하여 0.6% yeast extract가 포함된 tryptic soy agar (TSA)에 접종 후 30°C 에서 24–48시간 배양하였다.

V. parahaemolyticus 분석을 위해 시료 25 g과 alkaline peptone water (APW; BD Difco) 225 mL를 혼합하여 30°C 에서 48시간 증균배양 하였다. 이후 증균배양액을 thiosulfate citrate bile salt sucrose agar (TCBS; BD Difco)에 희선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24–48시간 분리배양하였다. 그 결과 청록색 집락을 TSA에 희선도말 후 30°C 에서 24–48시간 배양하였다.

C. perfringens 분석을 위한 시료용액 제조는 앞에서 언급한 일반세균수 측정용 시료용액 1 mL를 Cooked Meat Medium (Cooked meat; MCell, Seoul, Korea) 배지에 10 mL를 접종하고, $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 동안 혐기배양 하였다. 난황이 첨가된 Tryptose sulfite cycloserine agar (TSC; Oxoid)에 증균배양액을 희선도말 한 다음, 이를 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 혐기배양 하였다. 배지 상 불투명한 환을 가진 황회색 집락을 보통한천배지에 희선도말하여 혐기 및 호기배양을 동시에 실시하였으며, 호기배양은 균의 비발육 확인에 대해 확인시험을 실시하였다. EHEC 분석을 위해 시료 25 g과 Modified tryptone soya broth (mTSB; Oxoid) 225 mL를 혼합하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 24시간 증균배양 하였다. 이후 Tellurite cefixime-sorbitol macconkey agar (TC-SMAC; BD Difco) 및 5-bromo-4-chloro-3-indolyl- β -D-glucuronide (BCIG; BD Difco)에 희선도말하여 $35\text{--}37^\circ\text{C}$ 에서 18–24시간 배양하였다. TM-SMAC은 무색집락 및 BCIG는 청록색으로 형성된 전형적인 집락은 보통한천배지에 옮겨 배양한 후 Verotoxin PCR법에 의해 확인시험을 수행하였다.

식중독 세균의 확인시험

분리배양 결과 각 식중독 세균의 전형적인 집락에 대하여 VITEK 카드(bioMerieux, Durham, NC, USA)를 사용하여 확인 시험 진행 후 최종 결과를 판단하였다.

중금속 분석

양식산 냉동전복의 중금속 분석은 납, 카드뮴 및 총수은 항목에 대하여 분석하였다. 납, 카드뮴 분석은 동결건조한 시료 1 g을 취하여 Teflon bomb에 넣음과 동시에 중금속 분석용 고순도 질산 10 mL를 가한 후 상온에서 약 150분간 반응시켜 제조하

였다. 이어서 시료의 완전 분해를 위해 Teflon bomb를 밀폐시킨 후 가열판으로 $150 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 400분간 가열하여 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 실시하였다. 분해 과정 후 Teflon bomb 코크를 열어 압력 제거 및 뚜껑을 열고 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 질산이 1 mL 정도가 되도록 증발시켰다. 그리고 Teflon bomb에 중금속 분석용 순도가 높은 질산 10 mL를 다시 가하고 시료의 완전 분해를 위한 Teflon bomb의 밀폐, 가열($150 \pm 5^\circ\text{C}$, 400분)하는 과정을 한 번 더 반복하였다. Teflon bomb의 질산이 약 1 mL 남도록 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% (v/v) 질산으로 재 용해하여 여과 및 100 mL로 정용하여 시험용액으로 사용하였다. 이 시험용액을 이용하여 유도결합플라즈마 분석기(inductively coupled plasma spectrophotometer, ICP; ELAN DRC II, PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 진행하였다. 총수은은 균질화 된 시료 0.1 g을 직접수은분석기(DMA-80; Milestone, Milano, Italy)로 분석하였다. 총수은 분석은 수은분석기에 시료를 주입하고, 건조(650°C , 90초), 분해(650°C , 180초) 및 아말감화(amalgamation; 850°C , 12초)하여 실시하였다. 총수은 분석에 대한 모든 결과는 easy-DOC3 프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone; GitHub, Inc, San Francisco, CA, USA)을 이용하여 산출하였다. 총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인은 표준인증물질(certified reference material)인 DORM-4 (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada) 및 1566b (dried sea mustard; NIST, Gaithersburg, MD, USA)을 사용하여 실시하였다. 이때 수은 분석기의 분석조건은 온도는 $1,000^\circ\text{C}$, detection은 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장은 253.7 nm, 주입량은 10–50 mg, absorption cell은 dual cell/thermostat로 carrier gas은 산소로 하였다.

방사능 분석

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2021)의 방법을 참고하여 실시하였다. 방사능 분석을 위한 시료의 전처리 20 mesh의 표준체에 얹어 5분간 물기를 제거하였다. 이후 분쇄기(HMF-3800SS; Hanilec, Ulsan, Korea)로 갈은 후 Marinelli 비이커에 넣고 약 1 kg을 취하여 밀봉하여 고순도 게르마늄 감마핵종 분석기(OCTEC GEM-60195-P; Ortec, Tennessee, TN, USA)로 측정하였다. 측정에너지의 범위는 0–2 MeV로 하였으며, 측정시간은 최소 10,000초, 분석 대상 핵종은 세슘($^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$)과 요오드(^{131}I)로 하였다.

결과 및 고찰

양식산 냉동전복의 위생지표세균 분석

양식산 냉동전복의 위생지표세균(일반세균수, 대장균군, 대장균)에 대한 분석결과는 Table 1에 나타내었다. 일반세균수의 경우 평균값이 8.8×10^3 CFU/g였으며, 그 범위는 최소 3.5×10

CFU/g 및 최대 3.1×10^4 CFU/g으로 측정되었다. Solberg et al. (1990)가 제시한 식품 중 일반세균수의 안전기준치는 6 log CFU/g으로 제시하였으며, 이와 비교했을 때 본 연구에서는 현저히 낮은 결과로 나타났다. 또한 Son et al. (2014)의 결과와 비교했을 때 굴 수확 후 초기 일반세균수는 2.36–2.68 log CFU/g이었으며, 2일간 저장 후 3.45 log CFU/g으로 증가하여 본 연구의 최대값과 유사하였다. 이는 저장기간이 지날수록 선도가 저하되면서 pH 및 글리코젠 함량은 지속적으로 감소하며 일반세균수는 증가하게 될 가능성이 있기 때문이다(Son et al., 2014). 더욱이 같은 시료일지라도 미생물 오염도 차이를 보인 가장 큰 이유는 시료의 종류, 서식 지역의 환경, 채취시기, 판매/유통장소 및 보관온도 등 다양한 원인에 기인하는 것으로 사료된다.

양식산 냉동전복의 대장균군을 분석한 결과 15개의 시료 중 3개에서 검출되었으며, 평균값이 5.0×10 CFU/g 및 그 범위는 불검출- 3.0×10^2 CFU/g의 결과를 보였다. 대장균은 15개의 모든 시료에서 불검출(검출한계 <10 CFU/g)로 나타났다. Kwon et al. (2017)은 냉동 패류(굴, 바지락, 진주담치)에서 대장균군 및 대장균을 분석했을 때 각각 130–35,000 MPN/100 g 및 <18–23,000 MPN/100 g으로 검출되어 본 연구의 오염도는 이들의 결과보다 낮았다. 수산물의 경우 시료의 종류와 관계없이 기온이 상승하는 4월부터 대장균군 검출 빈도와 오염수준이 증가하였으며 이외 제조, 가공 및 유통 조건 등 여러 요인들에 의해 오염수준에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다. 다만 대장균의 경우 식품 중 분변오염의 여부를 직간접적으로 판단할 수 있는 위생지표세균이기 때문에 원료에 다양으로 존재할 시 대장균 수를 현저히 낮출 수 있는 과학적인 관리 방안이 필요할 것으로 판단되었다.

양식산 냉동전복의 식중독세균 분석

Table 1. Results of sanitary indicative bacteria in frozen abalone *Haliotis discus hannai*

Microbiological property	Positive no./ total	Mean (CFU/g)	Range (CFU/g)
Viable cell count	15/15	8.8×10^3	(3.5×10^3 – 3.1×10^4)
Coliform group	3/15	5.0×10	(ND– 3.0×10^2)
<i>E. coli</i>	0/15	ND	

CFU, Colony forming unit. Data represent means±standard deviations of three measurements. ND (not detected) at <10 CFU/g.

Table 2. Results of 6 food-borne pathogenic bacteria in frozen abalone *Haliotis discus hannai*

Food-borne pathogenic bacteria	Total	Food-borne pathogenic bacteria	Total
<i>Staphylococcus aureus</i>	15	ND	Negative
<i>Salmonella</i> spp.	15	Negative	Negative
<i>Listeria monocytogenes</i>	15	Negative	Negative
EHEC		15	Negative

EHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*. ND, Not detected. *S. aureus*, Qualitative analysis. Data represent means ± standard deviations of three measurements. ND at <10 CFU/g.

수산물 관련 질병사례 중 약 76%는 식중독 세균이 원인이었으며, 이 중 자주 발견되는 식중독 세균은 *Vibrio* spp. 및 *Salmonella* spp.인 것으로 보고되었다(Iwamoto et al., 2010). 본 연구에서 양식산 냉동전복에 대한 주요 식중독 세균(*S. aureus*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens* 및 EHEC)에 대한 분석결과는 다행히도 *S. aureus*의 경우 불검출이었으며, 나머지 세균 역시 모두 음성으로 나타났다(Table 2). Ha et al. (2020)의 연구에서는 유통되고 있는 굴 88건을 채취하여 *V. vulnificus*와 *V. cholerae*의 오염실태를 조사한 결과 모든 시료에서 불검출이었으며, Kang et al. (2016)은 양식산 굴에서 EHEC, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens*를 조사하였을 때 모두 검출되지 않아 본 연구의 불검출된 결과와 일치하였다. 반면에 Mabuhay-Omar et al. (2021)의 양식 전복의 미생물학적 오염도를 보았을 때 *Vibrio* spp. (101 CFU/g), Enteric bacteria (93 CFU/g) 및 *Salmonella* spp. (52 CFU/g) 순서로 높은 오염도를 나타내었다. 또한 Kim et al. (2018)은 유통중인 생담치 및 냉동담치의 *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp. 및 *E. coli* O157:H7을 조사한 결과 모두 불검출로 나타났다. 다만 *S. aureus*의 경우 생담치 10개 중 모든 제품에서 10×10^2 CFU/g 이상, 냉동담치 6개 제품에서 4개 제품이 1.0×10^2 CFU/g 이상 검출되어 위생학적으로 문제가 있는 것으로 나타났다. 그러나 냉동전복과 유사하게 생담치 및 냉동담치의 경우 가열·조리 비중이 높은 제품이기 때문에 충분한 가열조리 섭취 시 위생학적 문제는 없을 것으로 판단되나 국민 안심을 위해 위생적으로 zero detect의 안전한 제품 생산으로 이어져야 하기에 식중독 세균은 불검출로 관리되어야 한다. 본 연구의 미생물학적 분석 결과는 우리나라 이외에도 수출되는 국가마다 각기 다른 위생 법규가 적용됨에 따라 냉동전복과 관련한 각 식중독세균 오염 연구의 기초 자료로 활용될 것으로 기대한다. 정량적 미생물 위해 평가를 위한 과학적 근거마련의 초석인 식중독 미생물 오염도의 모니터링 연구는 지속적으로 행해져야 하며 이를 바탕으로 한 특정 위해 미생물의 정량규격 설정 역시 요구된다.

양식산 냉동전복의 화학적 위해요소 분석

납, 카드뮴, 수은 등의 중금속은 토양이나 물에서부터 식품까지 이행되며 인체 흡수량은 개인의 건강상태 및 섭취 식품의 종류 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2003).

시료 별 중금속(납, 카드뮴, 총수은) 결과는 Table 3에 나타낸 바와 같다. 양식산 냉동전복 15건의 중금속 함량은 납의 경우 0.100 ± 0.057 (0.035–0.205) mg/kg로 나타났고, 카드뮴의 경우 0.145 ± 0.061 (0.078–0.273) mg/kg이었으며, 총수은의 경우 0.015 ± 0.001 (0.003–0.035)로 나타났다. 여러 가지 식품 중 중금속 함량에 관한 연구를 한 Kim et al. (2003)의 연구에서 납의 경우 육류>갑각류>어류>연체류 순으로 높게 나타났으며, 카드뮴의 경우 육류에 비해 수산물에서 다소 높은 것으로 나타났다. Kim et al. (2022)의 연구에서는 납의 경우 동족(0.1885 mg/kg), 가리비(0.1285 mg/kg), 모시조개(0.1020 mg/kg)에서 각각 나타났으며, 카드뮴의 경우 가리비(0.2655 mg/kg), 동족(0.1298 mg/kg), 모시조개(0.0652 mg/kg) 순으로 가장 높게 나타났다. 이는 대부분의 패류가 본 연구결과에 비해 비교적 높은 수치를 나타내었는데, 이때패류 내 중금속은 여과 섭이 과정을 통해 생물농축되지만 양식 전복의 경우에는 깨끗한 바다에서 주로 서식하기 때문에 산업단지 오염폐수, 생활하수 등 주변 환경으로부터의 영향을 적게 받았을 것으로 사료된다. 본 연구와 유사하게 Park et al. (2017)은 시판 생굴 75건의 총수은 함량은 평균 0.021 mg/kg이었으며, 납의 경우 평균 0.156 mg/kg으로 보고한 바가 있다. 앞선 연구와 같이 식품 별 중금속 함량의 차이는 상대적으로 어류보다 패류 및 갑각류에서 많이 축적되는 경향이 있으며 수증 생물은 섭식방법, 서식환경 특성으로 인해 중금속 축적 우려가 높다(Batvari et al., 2013). 다만 정확한 판단을 위해서는 채취시기와 동일 지역의 지속적인 중금속 함량 조사 및 해수 중 중금속 자연농도에 대한 추가적인 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

국내에는 1989년 식품의약품안전처 고시 제89-19호 방사능 잠정허용기준을 제정(식품공전)하여 종합적으로 관리하고 있으며, 2011년 후쿠시마 원자력발전소 사고 이후에 일본산 수입 식품에 대한 임시강화기준이 재설정 되어 ^{137}CS , ^{134}CS , ^{131}I 항목을 모두 100 Bq/kg으로 적용하고 있다(KFDA, 2010). 이러한 기준에 의해 방사능 오염이 관리되고 있음에도 불구하고 소비자들은 방사능 오염 수산물 섭취에 대한 불안함을 느끼고 있으며 수산물 소비량 급감 등 수산업계의 피해 역시 우려되고 있다.

Table 3. Results on the chemical sanitation properties of frozen abalone *Haliotis discus hannai*

Chemical property	Total	Mean (Range)
Heavy metal (mg/kg)	Pb	15 0.100±0.057 (0.035–0.205)
	Cd	15 0.145±0.061 (0.078–0.273)
	Total Hg	15 0.015±0.001 (0.003–0.035)
Radioactivity (Bq/kg)	^{131}I	15 ND
	$^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$	15 ND

ND, Not detected. Data represent means±standard deviations of three measurements.

이에 따라 본 연구에서는 양식산 냉동전복 15개의 방사능(^{131}I 및 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$)의 함량을 측정하였으나 다행이도 모두 불검출로 확인되었다(Table 3). 국내 시중 유통 수산물에 대한 방사능을 조사한 Kim et al. (2015)의 연구에서는 서울, 대전, 부산 시장을 대상으로 하여 총 48종의 수산물(전복, 갈치, 주꾸미, 새우, 멧게, 해삼, 해조류 등)을 2013년부터 2015년까지 분석한 결과 ^{137}CS , ^{134}CS , ^{131}I 모두 최소검출가능농도(minimum detectable activity, MDA) 이하의 결과를 나타내어 안전한 수준인 것으로 판단되었다. Park et al. (2017)의 양식산 굴 29건에 대하여 방사능을 측정한 결과 모두 불검출로 나타났으며, Kim et al. (2021)의 연구에서도 생바지락에 대해 방사능을 측정한 결과 모두 불검출로 나타나 본 연구의 결과와 일치하였다. 또한 국내 기준 규격에도 모두 적합하여 본 연구에서 분석한 양식산 냉동전복은 방사능에 대한 안전성이 확보되었음을 확인되었다. 그러나 시료가 양식산 냉동전복 15개에 한정되어 있기 때문에 추후에는 자연산 수산물을 포함한 다양한 수산원물과 수산가공물에 대한 방사능 오염 모니터링을 할 필요가 있을 것으로 생각된다.

본 연구결과를 요약해보면 양식산 냉동전복의 일반세균수, 대장균군 및 대장균의 오염수준은 각각 8.8×10^3 , 5.0×10 CFU/g 및 불검출로 관찰되었다. 또한 *S. aureus*는 불검출, 나머지 식중독 세균(*Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens* 및 EHEC)은 모두 음성의 결과를 나타내었다. 중금속 중에서 납, 카드뮴 및 총수은의 경우 각각 평균 0.100 mg/kg, 0.145 mg/kg 및 0.015 mg/kg으로 나타나 중금속은 안전한 수준인 것으로 판단되었으며, 방사능은 기준 규격 이내로 나타났다. 따라서 양식산 냉동전복을 활용한 수산가공식품 제조 및 유통 시 미생물 위해평가 관리 기준을 설정하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 수산물 섭취에 의한 비의도적인 중금속 노출 및 방사능오염을 관리하기 위해 수산물에 대한 중금속 오염도 모니터링 및 위해 평가 연구는 지속적으로 수행되어야 한다고 생각된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(대일 검사강화조치 대응 수출시장 다변화 수산식품 개발).

References

Batvari BPD, Sivakumar S, Shanthi K, Lee KJ, Oh BT, Krishnamoorthy RR and Kamala-Kannan S. 2013. Heavy metals accumulation in crab and shrimps from Pulicat lake, north Chennai coastal region, southeast coast of India. *Toxicol Ind Health* 32, 1-6. <https://doi.org/10.1177/0748233713475500>.
 Ha J, Lee J, Oh H, Shin IS, Kim YM, Park KS and Yoon Y. 2020. Microbial risk assessment of high risk *Vibrio* food-borne illness through raw oyster consumption. *J Food Hyg*

- Saf 35, 37-44. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2020.35.1.37>.
- Ham JR, Lee H, Kim CB, Shin EC and Lee MK. 2021. Nutritional composition and taste properties of abalone and short-neck clam in Wando. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50, 1010-1018. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2021.50.9.1010>.
- Han KH. 2019. A study on safety enhancement of frozen food delivery service in Korea. 2019. *Korean-Japanese J Econ Manag Stu* 82, 31-54.
- Iwamoto M, Ayers T, Mahon BE and Swerdlow DL. 2010. Epidemiology of seafood-associated infections in the United States. *Clin Microbiol Rev* 23, 399-411. <https://doi.org/10.1128/CMR.00059-09>.
- Kang KT, Kim MJ, Park SY, Choi JD, Heu MS and Kim JS. 2016. Risk assessment of oyster *Crassostrea gigas* processing site for an HACCP system model. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 533-540. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0533>.
- KFDA (Korea Food and Drug Administration). 2010. Standard of Radioactivity Safety Management. In: Risk Profile. KFDA, Osong, Korea.
- Kim CJ, Lim CS, Lee W, Jang M, Ji YY, Chung KH and Kang MJ. 2015. Survey study on radioactivity of domestic fishery product. *Korean J Food Sci Technol* 47, 789-792. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2015.47.6.789>.
- Kim HJ, Lee DS, Lee JM, Kim YM and Shin IS. 2018. Bacteriological hazard analysis in minimally processed shellfish products purchased from Korean seafood retail outlets. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 121-126. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0121>.
- Kim HL, Kang SG, Kim IC, Kim SJ, Kim DW, Ma SJ, Gao T, Li H, Kim MJ, Lee TH and Ham KS. 2006. *In vitro* anti-hypertensive, antioxidant and anticoagulant activities of extracts from *Haliotis discus hannai*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35, 835-840. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2006.35.7.835>.
- Kim JE, Hwang SI, Lee SB, Shin SW, Kwon HJ, Lee JY, Lee BH, Mo AR and Choi OK. 2022. Analysis of heavy metal contamination and shellfish poisoning toxins in marketed shellfishes. *J Food Hyg Saf* 37, 159-165. <https://doi.org/10.13103/JFHS.2022.37.3.159>.
- Kim JY, Jeon EB, Song MG, Kim JS, Lee JS, Heu MS and Park SY. 2021. Risk analysis and safety assessment of microbiological and chemical hazards in the raw short-neck clams *Ruditapes philippinarum* distributed in the Yeongnam and Honam area during the spring season. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 896-903. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0896>.
- Kim M, Kim JS, Sho YS, Chung SY and Lee JO. 2003. The study on heavy metal contents in various food. *Korean J Food Sci Technol* 35, 561-567.
- Kim NL, Kim SY and Kim DH. 2020. A comparison of the economic performance of abalone sea-cage aquaculture by seed. *JFMSE* 32, 923-934. <https://doi.org/10.13000/JFMSE.2020.8.32.4.923>.
- Kim NE. 2018. An Analysis on Management Performance of Abalone Sea-Cage Aquaculture. M.S. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Kwon KO, Rye DG, Jeong MC, Kang EH, Shin IS and Kim YM. 2017. Microbiological and physicochemical hazard analysis in processing process of simple-processed shellfish products. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 352-358. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0352>.
- Lee SJ, Oh SJ, Kang MJ, Shin JH and Kang SK. 2015. Antioxidant and anti-fatigue effects of abalone (*Haliotis discus hannai*) composites containing natural plants. *Korean J Food Preserv* 22, 598-606. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2015.22.4.598>.
- Mabuhay-Omar JA, Cayabo GDB and Creencia LA. 2021. Bacteriological quality of cage-cultured abalone *Haliotis asinina*. *Aquat Res* 4, 151-159. <https://doi.org/10.3153/AR21012>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021. Notification of Partial Revision of Criteria and Specification of Food. Retrieved from https://www.mfds.go.kr/brd/m_207/view.do?seq=13810&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=2 on Jun 28, 2021.
- Park SY, Lee KD, Lee JS, Heu MS, Lee TG and Kim JS. 2017. Chemical and biological properties on sanitary of cultured oyster *Crassostrea gigas* intended for raw consumption or use in seafood products. *Korean J Fish Aquat Sci* 50, 335-342. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0335>.
- Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner D, O'Neill K, McDowell J, Post L and Boderck M. 1990. Microbiological safety assurance system for food service facilities. *Food Technol* 44, 68-73.
- Son KT, Shim KB, Lim CW, Yoon NY, Seo JH, Jeong SG, Jeong WY and Cho YJ. 2014. Relationship of pH, glycogen, soluble protein, and turbidity between freshness of raw oyster *Crassostrea gigas*. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 495-500. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0495>.