

봄철 영·호남 지역에서 유통되는 생바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 미생물학적·화학적 위해요소 분석 및 안전성 평가

김지윤¹ · 전은비¹ · 송민규¹ · 김진수^{1,2} · 이정석^{1,2} · 허민수^{2,3} · 박신영^{1*}

¹경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ²경상국립대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상국립대학교 식품영양학과

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

Ji Yoon Kim¹, Eun Bi Jeon¹, Min Gyu Song¹, Jin Soo Kim^{1,2}, Jung Suck Lee^{1,2}, Min Soo Heu^{2,3} and Shin Young Park^{1*}

¹Department of Seafood Science and Technology/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, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

For the safety assessment of microbiological and chemical hazards in raw short-neck clam *Ruditapes philippinarum* distributed in the Yeongnam and Honam areas during the spring season, the contamination levels of total viable bacteria, coliforms, *Escherichia coli*, and nine pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, enterohemorrhagic *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*) as microbiological hazards, and heavy metals (lead, cadmium, total mercury), benzopyrene, shellfish poison (paralytic, diarrhetic, amnesic), and radioactivity (¹³¹I, ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs) were also analyzed in 15 samples based on the methods of the Korean Food Code. The average contamination levels of total viable bacteria were 3.11 (1.40-4.49) log CFU/g, and coliforms were detected in 5 out of 15 samples (1.18-1.85 log CFU/g). *E. coli* and *S. aureus* were not detected in all samples. Furthermore, the presence of 8 pathogens were not detected in all samples. The average contamination levels of lead, cadmium, and total mercury were 0.155 (0.079-0.264), 0.160 (0.040-0.287), and 0.017 (0.008-0.026) mg/kg, respectively. Benzo(a)pyrene, shellfish poison, and radioactivity were not detected in all samples. The results of this study suggest that the safety against all microbiological and chemical hazard factors in raw short-neck clams distributed in markets has been assured.

Keywords: Short-neck clam, Food poisoning, Microbiological analysis, Chemical analysis

서 론

바지락(short-neck clam *Ruditapes philippinarum*)은 백합목(Veneroida), 백합과(Veneridae)에 속하는 소형 이매패류로써, 그 서식지는 한국, 일본, 중국 등 아시아를 포함하여 스페인, 미국 북서부 연안 및 남시베리아에 이르기까지 넓은 지역에 걸쳐 분포하고 있다(Park et al., 2015; Lim, 2016). 특히 우리나라에

서는 조석간만의 차가 큰 연안의 간석지에 다량 서식하고 있으며 일반 해면어업 및 천해양식을 통해 생산되고 있다(Park et al., 2015). 바지락은 감칠맛과 시원한 맛을 내는 taurine, glutamate, methionine 및 핵산 등의 성분이 풍부하여 영양적 가치가 높은 식품이며 현재 우리나라에서는 굴, 전복 등과 함께 생산 및 소비가 많은 패류수산물 중 하나이다(Song et al., 2001; Park et al., 2015). 이러한 영양학적 특성과 더불어 특유의 감칠맛 향미

*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.2021.0896>

Korean J Fish Aquat Sci 54(6), 896-903, December 2021

Received 13 September 2021; Revised 7 November 2021; Accepted 30 November 2021

저자 직위: 김지윤(대학원생), 전은비(대학원생), 송민규(대학원생), 김진수(교수), 이정석(교수), 허민수(교수), 박신영(교수)

로 인해 그 인기가 날로 높아지고 있으며 바지락탕, 바지락술찌, 바지락 파스타 등 바지락을 이용한 다양한 요리들이 선보이고 있다. 그러나 바지락은 바지락 젓갈, 바지락 무침 등 특별한 가공이나 열처리 없이 섭취되는 경우도 많아 세균 및 바이러스 등 병원성 미생물에 의한 식중독 발생이 다소 우려되는 상황이다.

한편, 부유 플랑크톤 등의 먹이생물을 여과섭이 하는 바지락, 굴, 홍합 등의 이매패류는 생육 연안의 생활폐수, 분변 등의 오염원으로부터 영향을 받아 유해한 미생물, 중금속 및 독소 등이 체내에 쉽게 축적될 수 있으므로 날 것으로 섭취하거나, 가열처리 하더라도 화학적 위해요소인 경우 식중독을 일으킬 위험성이 큰 식품이다(Lees, 2000; Song et al., 2001). 2016년에서 2020년까지 우리나라에서 발생한 식중독의 현황을 살펴보면, 세균에 의한 식중독이 전체 발생건수의 30-40%를 차지하고 있으며 병원성 대장균, 살모넬라, 클로스트리디움 퍼프린젠스, 캄필로박터 제주니, 장염비브리오균 등이 주요 원인균으로써 발생되었다(MFDS, 2021b). 유통중인 생바지락의 오염도 연구에서는 대장균군 및 대장균이 180-380 및 18-20 MPN (most probable number)/100 g으로 나타났으며, 병원성 세균인 *Staphylococcus aureus* 및 *Vibrio parahaemolyticus*가 검출되기도 하였다(Kim et al., 2018). 시판중인 바지락 젓갈의 경우 총균수가 2.4×10^5 - 4.1×10^7 CFU (colony forming unit)/g였으며, 대장균군은 3.5×10^2 CFU/g으로 보고되었다(Lee et al., 1999; Ham and Jin, 2002). 또한 Sheo et al. (1993) 및 Ahn et al. (2006)의 연구에서는 생바지락에서 납(Pb), 카드뮴(Cd), 아연(Zn), 구리(Cu), 크롬(Cr) 및 수은(Hg) 등의 중금속이 검출되었고, 몇몇 연구에서는 국내에서 채취, 유통되는 바지락에서 마비성 패류독소(paralytic shellfish poison, PSP) 및 설사성 패류독소(diarrhetic shellfish poison, DSP) 등이 검출되었음을 보고한 바 있다(Park et al., 2000; Jang et al., 2005a, 2005b; Lee et al., 2007). 이에 본 연구에서는 유통중인 패각 상태의 생바지락을 각 지역에서 구입하여 위생지표세균인 일반세균, 대장균군, 대장균 및 식중독을 일으킬 수 있는 9종의 병원성 세균(*S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, Enterohemorrhagic *Escherichia coli* (EHEC), *Yersinia enterocolitica*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*)의 미생물학적 오염도와 중금속(납, 카드뮴, 총수은), 벤조피렌, 패류독소(PSP, DSP; amnesic shellfish poison, ASP) 및 방사능(^{131}I , $^{134}\text{CS}+^{137}\text{CS}$)과 같은 화학적 오염도를 측정·분석하여 영·호남 지역에서 봄철(3-4월)에 유통중인 생바지락의 안전성 실태를 파악하고 이에 근거한 위해평가의 기초자료로써 활용하고자 한다.

재료 및 방법

시료 준비

본 연구에서는 패각이 제거된 상태의 바지락을 구입했을 시

업체 내 제거 공정 중 2차 및 교차 오염의 가능성이 있을 것이라 판단하여 패각이 있는 원물상태의 것을 구입하였으며, 실험실에서 위생적으로 탈각하여 실험에 사용하였다. 생바지락 시료는 2021년 3월에서 4월 사이, 패각이 제거되지 않은 원물 상태로 총 15건을 구입하여 사용하였다. 이들 시료는 통영에서 약 2-3시간 이내 거리의 경상남도 거제시, 고성군, 진주시, 사천시, 창원시, 마산시, 전라남도 광양시, 전라북도 고창군 및 경상북도 포항시 소재의 대형마트 및 식자재 마트 등에서 위생적으로 취급하며 구입하였다. 유통 현장에서 실험실까지 시료 이동 시 아이스팩이 동봉된 아이스박스로 냉장상태를 유지하여 운반하였으며 당일 도착 즉시 분석에 사용하였다.

일반세균, 대장균군 및 대장균의 분석

일반세균, 대장균군 및 대장균의 정량적인 측정을 위해 식품공전에서 고시한 시험법과 동일한 방법으로 진행하였다. 시료 용액을 제조하기 위해 시료 25 g에 멸균생리식염수 225 mL를 가하였고 균질기(BagMixer 400; Interscience, Saint-Nom la Breteche Arpents, France)를 이용하여 약 2분간 균질화 하였다. 균질된 시료액 1 mL와 멸균생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 그 용액을 실험에 사용하였다. 일반세균은 시료 용액 1 mL와 plate count agar (Difco Co., Sparks, NV, USA) 15-20 mL를 petri dish에 분주 후 균일하게 혼합하여 $37.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 24-48시간 배양하였다. 대장균군 및 대장균수는 3M Petrifilm E. coli/Coliform Count Plate (3M, St. Paul, MN, USA) 건조필름을 사용하였으며, 시료액 1 mL를 건조필름에 접촉 후 $35.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 48±2시간 배양하였다. 대장균군의 경우 적자색을 띄며 그 주위로 기포가 생성된 집락, 대장균은 주위로 기포가 생성된 청색의 전형적인 집락을 계수하였다. 평판당 15-300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 계수하였으며, 미생물 집락의 단위는 colony forming unit (CFU/g)으로 표시하였다.

병원성 세균의 분석

본 연구에서는 사람에게 식중독을 일으킬 수 있는 원인균으로써 *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens*, *L. monocytogenes*, EHEC, *Y. enterocolitica*, *B. cereus*, *C. jejuni* 총 9종류의 병원성 세균을 선정하였으며, 이에 대한 분석은 식품공전에서 고시한 시험법과 동일하게 진행하였다(MFDS, 2021a).

황색포도상구균(*S. aureus*)의 정량적 분석을 위해 시료 25 g에 멸균생리식염수 225 mL를 가하여 균질기를 이용해 2분간 균질화 하였으며 균질화된 시료액 1 mL와 멸균생리식염수를 10진 희석법에 따라 희석하여 실험에 사용하였다. 황색포도상구균 정량용 baird-parker agar (Difco Co.)를 사용하였으며 시료액 1 mL를 3장의 배지에 spread하여 완전히 흡수시킨 후 $37.0 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 48±2시간 배양하였다. 배양 후 평판당 15-300개의 집락이 생성된 평판을 택하여 투명한 띠로 둘러싸인 광택성의 검정색의 집락을 계수하였다.

Salmonella spp.의 정성분석을 위해 시료 25 g과 펩톤식염완충용액(MBCcell, Seoul, Korea) 225 mL를 혼합하여 37±1°C에서 18-24시간 1차 증균배양한 후, 이 시험용액 1 mL를 tetrathionate 배지(Oxoid Ltd., Hampshire, UK)에 접종함과 동시에 RV (rappaport-vassiliadis broth; Difco Co.,) 배지에 0.1 mL에 접종하여 각각 37.0±1°C 및 41.0±1°C에서 20-24시간 2차 증균배양 하였다. 이어 각각의 증균배양액을 XLD (xylose lysine deoxycholate) agar (Difco Co.) 및 BG sulfa (Difco Co.) 배지에 희선도말한 후 37±1°C에서 20-24시간 배양하였다. 그 후의 심집락을 5개 이상 채취하여 TSA 배지(tryptic soy agar; Difco Co.)로 옮겨 37.0±1°C에서 20-24시간 배양하였다.

*V. parahaemolyticus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 alkaline 펩톤수 225 mL를 혼합하여 35-37°C에서 18-24시간 증균배양 하였으며, 이 후 증균배양액을 TCBS (thiosulfate citrate bile salt sucrose agar; Difco Co.)에 희선도말하여 37.0±1°C에서 18-24시간 분리배양 하였다.

*C. perfringens*의 정성분석을 위해 cooked meat 배지(MB-cell, Seoul, Korea)의 아랫부분에 1 mL의 시료용액을 접종하여 35-37°C에서 18-24시간 동안 혐기조건에서 증균배양 하였다. 난황첨가 TSC 한천배지(tryptose sulfite cycloserine agar; MBCcell, Seoul, Korea) 증균배양액을 접종하여 35-37°C에서 18-24시간 배양하였다.

*L. monocytogenes*의 정성분석을 위해 시료 25 g에 listeria enrichment broth (Difco Co.) 225 mL를 가하여 30°C에서 48시간 증균배양 하였으며, 증균배양액을 oxford 한천배지에 도말하여 35-37°C에서 24-48시간 배양하였다. 의심집락이 확인 되면 0.6% yeast extract가 포함된 TSA 한천배지에 접종하여 30°C에서 24-48시간 배양하였으며, 그람염색 후 양성간균으로 확인 시 확인시험을 진행하여 최종 결과를 판단하였다.

EHEC의 정성분석을 위해 시료 25 g과 mTSB (Difco Co.) 225 mL를 혼합하여 35-37°C에서 24시간 증균배양 하였으며, tellurite cefixime-sorbitol macconkey agar (MBCcell, Seoul, Korea)에 도말하여 35-37°C에서 18-24시간 배양하였다.

*Y. enterocolitica*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 peptone sorbitol bile broth (MBCcell) 225 mL를 가한 시험용액 10 mL를 irgasan ticarcillin and potassium chlorate broth (MBCcell) 90 mL와 혼합하여 35-37°C에서 18-24시간 증균배양하였다. 증균배양액 0.1 mL를 0.5% KOH가 함유된 0.5% 멸균생리식염수 1 mL와 골고루 혼합하여 MacConkey agar (MBCcell)와 cefsulodin irgasan novobiocin agar (MBCcell)에 각각 접종하였으며 30°C에서 24±2시간 배양하였다.

*B. cereus*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 멸균생리식염수 225 mL를 혼합하여 MYP (mannitol egg yolk polymyxin agar; Difco Co.)에 도말하여 30°C에서 24±2시간 배양하였다.

*C. jejuni*의 정성분석을 위해 시료 25 g과 campylobacter growth supplement (MBCcell)가 첨가된 preston broth (MBCcell)

100 mL를 혼합하여 42±1°C에서 44±4시간 미호기적으로 증균배양 하였다. 증균배양액을 preston agar (MBCcell)에 도말하여 42°C에서 24-48시간 미호기적으로 배양하였다.

병원성 세균의 확인시험

분리배양 결과 각 병원성 세균의 전형적인 집락에 대하여 VI-TEK (Compact 30; Biomerieux, Marcy-l'Étoile, France)을 사용하여 확인시험을 실시한 후 최종 결과를 판단하였다.

중금속 분석

바지락 중 중금속 분석은 납, 카드뮴 및 총수은 항목에 대하여 실시하였다. 중금속 분석을 위한 시료의 전처리에는 Kim et al. (2016)의 연구에서 언급한 방법에 따라 진행하였다. 동결건조한 시료 1 g을 테프론 분해기(teflon bomb; Anton Paar, Graz, Austria)에 투입하여 중금속 분석용 질산 10 mL를 가한 후 상온에서 약 150분간 반응시켰다. 이어 테프론 분해기를 밀폐시켜 가열판으로 150±5°C에서 400분간 가열 후 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 시료의 완전분해를 위한 과정을 실시하였다. 분해 과정 후 테프론 분해기의 압력을 천천히 제거하여 뚜껑을 열고 100±5°C에서 질산이 약 1 mL 정도가 될 때까지 증발시켰다. 그 후 10 mL의 질산을 가하고 분해기를 밀폐시켜 시료를 분해시키는 과정을 한번 더 반복하였으며, 질산이 거의 증발하였을 때 분해를 종료하고 2% 질산으로 재용해하여 여과 및 정용 후(100 mL) 전처리 시료로 사용하였다. 이러한 과정을 거쳐 전처리된 시료의 납, 카드뮴 분석은 유도결합플라즈마 분석기(inductively coupled plasma spectrophotometer, ICP; ELAN DRC II; PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)를 사용하여 진행하였고, 분석조건은 식품공전(MFDS, 2021a)에 제시된 조건으로 설정하여 실시하였다.

총수은의 분석은 식품공전(MFDS, 2021a)에 제시된 방법과 동일하게 진행하였으며, 직접수은분석기(DMA-80; Milestone, Milano, Italy)를 사용하여 분석하였다. 총수은은 균질화된 시료 0.1 g을 취하여 수은분석기에 투입하여 건조(650°C에서 90초), 분해(650°C에서 180초) 및 아말감화(amalgamation) (850°C에서 12초)의 과정으로 실시하였다. 분석조건은 온도를 1,000°C, detection은 dual-beam A.A. spectrophotometer, 파장 253.7 nm, 주입량 10-50 mg, absorption cell은 dual cell/thermostat 및 carrier gas는 산소로 설정하여 진행하였다. 총수은 분석의 정확성 및 재현성 확인은 표준인증물질(certified reference material)인 DORM-4 (Fish protein; NRC-CNRC, Ottawa, Ontario, Canada) 및 1566b (Oyster; NIST, Gaithersburg, MD, USA)을 사용하였다. 총수은 분석에 대한 결과는 easy-DOC3 (Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone; GitHub Inc., San Francisco, CA, USA)를 이용하여 산출하였다.

벤조피렌 분석

벤조피렌의 분석은 식품공전(MFDS, 2021a)에 제시된 방법

을 참고하여 진행하였다. 시료용액을 제조한 후 Supelguard LC-18을 연결한 Supelcosil LC-PAH (25 cm×4.6 mm)이 장착된 high performance liquid chromatograph/fluorescence detector (HPLC/FLD) (A-10 Solvent&Sample Module; PDA Detector, FL Detector, PerkinElmer, MA, USA) 분석장치를 사용하였다. 이에 따른 분석조건은 칼럼온도의 경우 35°C, 이동상의 경우 3차 증류수와 acetonitrile의 혼합액(2:8), 유속의 경우 1 mL/min, 검출기 파장은 여기파장이 294 nm 및 방출파장이 404 nm로 설정하여 실시하였다.

패류독소 분석

패류독소는 마비성 패류독소(PSP), 설사성 패류독소(DSP) 및 기억상실성 패류독소(ASP)의 세 항목을 분석하였으며, 식품공전(MFDS, 2021a)에서 제시된 방법으로 실시하였다. 마비성 패류독소를 분석하기 위해 바지락의 표면을 물로 깨끗이 세척하여 약 200 g을 채취하였다. 채취된 육은 전량을 표준체(20 mesh)에 얹어 5분 동안 물기를 제거한 후 균질기(Waring, Torrington, CT, USA)를 사용하여 균질화 하였다. 이어 균질된 시료는 0.1 N 염산으로 가온 추출하였으며 추출액의 상층액을 마비성 패류독소 분석을 위한 시험용액로 하였다. 독력의 측정은 19-21 g의 수컷 ICR (Institute of Cancer Research)계 마우스 복강에 시험용액을 주입하고 치사시간으로부터 독량을 계산하였다. 독력은 식품공전에 제시된 Sommer의 표와 마우스 체중 보정표를 이용하여 산출하였다(MFDS, 2021a).

설사성 패류독소의 분석을 위한 시험용액은 마비성 패류독소 분석을 위하여 제조하였던 균질화물 1 g과 90% 메탄올 9 mL를 교반기(C-Mag HS 7; IKA, Staufen, Germany)를 이용하여 3분 동안 교반, 추출한 후 이를 원심분리관에 넣고 90% 메탄올로 10 mL를 맞춘 후 원심분리하여 제조하였다. 분석을 위한 시험용액은 원심분리한 상층액 중 2 mL를 membrane filter (Whatman International, Maidstone, Kent, UK)를 이용해 여과하여 제조하였다. 분석 장비는 BEH C₁₈ (2.1×100 mm, 1.7 μm)을 장착한 LC/MS/MS (Xevo TQ-S; Waters, MA, USA) 장치를 사용하였고, 설사성 패류독소의 주요 독소성분인 okadaic acid와 dinophysistoxin-1의 크로마토그램상의 특성 이온 피크는 표준용액 특성이온 피크의 머무름 시간과 비교하여 일치 여부로 확인하였다.

기억상실성 패류독소의 분석을 위해 바지락 시료를 깨끗이 세척하고 탈수 과정을 거쳐 가식부 약 200 g을 취하여 균질화한 후, 균질화 된 검체 10 g을 취하여 추출용 50% 메탄올용액 40 mL를 가한 후 다시 2분간 균질화하였다. 제조된 전처리용액을 원심분리한 후 상층액을 0.2 μm membrane filter로 여과한 것을 시험용액으로 하였다. 분석 장비는 BEH C₁₈ (2.1×100 mm, 1.7 μm)을 장착한 LC/MS/MS (Xevo TQ-S; Waters, MA, USA) 장치를 사용하였고, 동일한 측정조건에서 기억상실성 패류독소인 domoic acid의 특성이온 피크와 표준용액 피크의 머

무름 시간과 비교하여 일치여부로 확인하였다.

방사능 분석

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2021a)에서 언급한 방법을 참고하여 실시하였다. 방사능 분석을 위한 시료의 전처리 는 표준체(20 mesh)에 얹어 약 5분간 물기를 제거한 후 분쇄기(HMF-3800SS; Hanilec, Ulsan, Korea)로 같이 제조하였다. 이어 Marinelli 비커에 넣고 약 1 kg을 취한 후 밀봉하여 고순도 게르마늄 감마핵종분석기(OCTEC GEM-60195-P; Ortec, Tennessee, TN, USA)를 사용하여 방사능을 측정하였다. 측정에너지의 범위는 0-2 MeV로 하였으며, 측정시간은 최소 10,000초 및 분석 핵종은 아이오딘(Iodine; ¹³¹I)과 세슘(Cesium; ¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)으로 하였다.

결과 및 고찰

유통중인 생바지락 중 일반세균, 대장균군 및 대장균의 오염도 분석

유통중인 생바지락 중 일반세균 및 대장균군의 오염도 분석을 위해, 각 지역의 대형마트 및 식자재 마트에서 총 15건을 구입하여 실험한 결과를 Table 1에 나타내었다. 일반세균수의 경우 평균값이 3.11 log CFU/g였으며, 그 범위는 최소 1.40 log CFU/g 및 최대 4.49 log CFU/g으로 측정되었다. Kwon et al. (2017)의 연구에서는 생바지락의 일반세균이 3.65 log CFU/g으로 본 연구의 평균값과 유사하였다. Solberg et al. (1990)는 식품 중 일반세균의 안전기준치를 10⁶ CFU/g (or CFU/mL)로 제시하였으며, 본 연구에서는 이와 비교해 현저히 낮은 결과로 나타났다. 그러나 유통 중 온도관리 미흡이나 취급자의 손을 통한 2차 및 교차오염 등으로 인해 일반세균수가 식품에 10⁷-10⁸ CFU/g 가량 오염될 경우 이것이 간접적인 원인이 되어 다른 식품과의 복합작용을 일으키거나 또는 면적이 약한 영유아나 노인에게서 식중독을 유발할 가능성이 있다(Park et al., 2005). 특히 무침이나 젓갈 등 생으로 섭취되는 경우가 많은 바지락의 특성상 미생물학적 안전성을 확보하기 위한 비가열 세척 및 화학적 살균제 사용 등의 추가적인 살균소독 방안이 필요할 것으로 생각된다.

Table 1. Contamination levels of total viable bacteria, coliform group and *Escherichia coli* in raw short-neck clam *Ruditapes philippinarum* distributed at the market

| | Total viable bacteria (log CFU/mL) | Coliform group (log CFU/mL) | <i>E. coli</i> (log CFU/mL) |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Positive no./total | 15/15 | 5/15 | 0/15 |
| Mean | 3.11±0.86 | 1.63±0.27 | ND* |
| Min. | 1.40 | 1.18 | ND |
| Max. | 4.49 | 1.85 | ND |

*ND, not detected. Data represent mean±standard deviations.

생바지락 중 대장균군의 경우 15개의 시료 중 5개에서 검출되었으며, 검출 평균값이 1.63 log CFU/g 및 그 범위는 1.18-1.85 log CFU/g의 결과를 보였다(Table 1). 대장균은 모든 바지락 시료에서 검출되지 않았다(Table 1). Kwon et al. (2017)의 연구에서는 생바지락 중 대장균군이 790-15,000 MPN/100 g 및 대장균이 220-3,300 MPN/100 g이었으며, Kim et al. (2018)는 생바지락 중 대장균군이 250-480 MPN/100 g 및 대장균의 경우 최대 18 MPN/100 g으로 검출되었음을 보고하였다. 대장균군은 일반적으로 *Escherichia* spp., *Salmonella* spp. 및 *Shigella* spp. 등과 같은 장내 병원성 세균의 존재 가능성을 나타낸다. 또한 대장균의 경우 식품 중 분변오염의 여부를 직접적으로 판단할 수 있는 지표세균으로써 식품에서 검출될 시 신체에 대한 위험도 낮으나, 다량으로 존재할 시 일부 대장균은 면역기능이 약한 어린이나 노약자 등에게 기회감염균으로 작용하여 질병을 유발할 가능성이 있는 세균이다(Chun and Hong, 2009). 한편, 국내의 식품공전에는 생바지락에 대한 대장균군 및 대장균의 미생물학적 기준이 없으나, 캐나다(n=5, c=1, m=230, M=330 MPN/100 g), CODEX (Codex Alimentarius Commission; n=5, c=1, m=230, M=700 MPN/100 g), 태국(n=5, c=1, m=10, M=100 MPN/g), 베트남(10^2 CFU/g) 및 EU (European Union; n=5, c=1, m=230, M=700/100 g)에서는 수산물 중 대장균의 기준규격을 설정하여 관리하고 있다. Solberg et al. (1990)는 식품 중 3 log CFU/g을 대장균군의 안전기준치로 제시하였으며, 본 연구에서 분석한 바지락 샘플은 검출된 대장균군이 모두 2 log 이하로써 안전하게 유통되고 있는 것으로 판단된다. 그러나 온도 관리 미흡 및 취급 부주의 등으로 인해 및 세균 증식 및 교차 오염의 우려가 있으므로 최종 유통 및 섭취까지 각별한 주의가 요구된다.

유통중인 생바지락 중 병원성세균의 오염도 분석

유통중인 생바지락 중 병원성세균의 오염도 실험결과는 Table 2와 같다. *S. aureus*의 정량분석 결과 불검출, 나머지 8종에서는 모두 음성으로 판정되었다. Kwon et al. (2017)의 생바지락 중 식중독세균 분석 결과 *S. aureus*가 1.80-2.56 log CFU/g, *V. parahaemolyticus*는 1.50-3.05 log CFU/g로 측정되었으며 EHEC, *Salmonella* spp. 및 *L. monocytogenes*는 음성이었다. 해당 연구에서는 마트에서 구입한 것이 아닌 가공업체에서 직접 채취하였음을 고려하여 채취과정이나 가공작업 중 작업자의 손이나 작업도구에 의해 일정량의 *S. aureus* 및 *V. parahaemolyticus* 오염 및 증식이 이루어졌을 것으로 생각된다. Kim et al. (2018)의 연구에서는 생바지락 중 *S. aureus*가 6.6×10^2 - 3.8×10^3 CFU/g 및 *V. parahaemolyticus*의 경우 8.5×10^1 - 3.1×10^2 CFU/g로 검출되었으며, *L. monocytogenes*, *Salmonella* spp. 및 EHEC는 음성으로 나타났다. 국내 식품공전에는 생바지락의 병원성세균에 대한 기준규격이 없으나, 미국의 경우 *V. parahaemolyticus* (10^4 CFU/g) 및 *V. cholerae* (Negative), 캐

나다는 *Salmonella* spp. (Negative) 및 *S. aureus* (n=5, c=1, m=10³, M=10⁴ CFU/g), 중국은 *Salmonella* spp. (Negative), *V. parahaemolyticus* (n=5, c=1, m=10³, M=10⁴ CFU/g) 및 *S. aureus* (n=5, c=1, m=10³, M=10⁴ CFU/g), 태국은 *Salmonella* spp. (n=5, c=0, m=0) 및 *S. aureus* (n=5, c=2, m=10³, M=10⁴ MPN/g), 베트남은 *Salmonella* spp. (Negative), *V. parahaemolyticus* (10^2 CFU/g), *C. perfringens* (10^2 CFU/g) 및 *S. aureus* (10^2 CFU/g), EU에서는 *Salmonella* spp. (Negative)에 대한 기준규격들을 제시하여 관리하고 있다. 본 연구에서 분석된 생바지락 시료 15종의 경우 모든 식중독세균 항목에서 음성으로 판정되어 유통과정에서 밀봉, 온도관리 등 위생적으로 관리되고 있음이 확인되었다.

유통중인 생바지락 중 중금속 오염도 분석

유통중인 생바지락의 화학적 오염도 조사를 위한 납, 카드뮴 및 총수은 분석 결과는 Table 3에 나타난 바와 같다. 15개의 생바지락 시료에 대한 납의 평균값은 0.155 mg/kg 및 검출범위는 0.079-0.264 mg/kg였고, 카드뮴은 평균값이 0.160 mg/kg 및 검출범위는 0.040-0.287 mg/kg로 나타났으며, 총수은의 경우 0.017 (0.008-0.026) mg/kg로 측정되었다. Ham (2002)의 연구에서는 바지락 중 납이 0.143 (0.01-0.66) mg/kg 및 카드뮴이

Table 2. Contamination levels of food poisoning bacteria in raw short-neck clam *Ruditapes philippinarum* distributed at the market

| | | Positive no./total | Short-neck clam | |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|----------|
| Quantitative | <i>Staphylococcus aureus</i> | 0/15 | ND* | |
| | <i>Salmonella</i> spp. | 0/15 | Negative | |
| | <i>Vibrio parahaemolyticus</i> | 0/15 | Negative | |
| | <i>Clostridium perfringens</i> | 0/15 | Negative | |
| | Qualitative | <i>Listeria monocytogenes</i> | 0/15 | Negative |
| | | EHEC | 0/15 | Negative |
| | | <i>Yersinia enterocolitica</i> | 0/15 | Negative |
| | | <i>Bacillus cereus</i> | 0/15 | Negative |
| | <i>Campylobacter jejuni</i> | 0/15 | Negative | |

*ND, not detected. EHEC, Enterohemorrhagic *Escherichia coli*. Triplicate samples were analyzed for microbial counts.

Table 3. Contamination levels of heavy metal, benzo(a)pyrene in raw short-neck clam *Ruditapes philippinarum* distributed at the market

| Chemical property | Sample no. | Short-neck clam (Range) |
|------------------------|------------|-------------------------|
| Heavy metal (mg/kg) | Pb | 0.155 (0.079-0.264) |
| | Cd | 0.160 (0.040-0.287) |
| | Total Hg | 0.017 (0.008-0.026) |
| Benzo(a)pyrene (μg/kg) | 15 | ND* |

*ND, not detected.

0.223 (ND-1.38) mg/kg로 검출되었으며, Kwak et al. (2001)은 바지락 중 카드뮴이 0.07-0.20 mg/kg 검출되었다고 보고하여 본 연구결과와 유사하였다. 중금속은 농·축·수산물 등 식품의 생태 내에서 강한 결합 상태로 축적된 독성물질로써 인체에 유해한 영향을 끼치는 금속물질이다(Mason et al., 1995). 그 중 납은 신경 장애 및 헤모글로빈 감소로 인한 빈혈을 유발하며 체내의 호흡기계와 소화기계로 흡수되어 납중독을 일으킨다(Cha et al., 2001). 카드뮴의 경우 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer)의 발암물질 group 1에 지정되어 암을 유발하는 독성물질로 분류되어 있으며(Waalkes, 2000; Waisberg et al., 2003), 중금속 중독 공해병으로써 신체의 골조직 및 장기에 심각한 손상을 일으키는 ‘이타이이타이병’의 원인물질이다(Vieira et al., 2011). 특히 카드뮴은 여타의 이매패류보다 바지락의 생화학적 조절물질인 transaminase에 잘 반응하는 것으로 알려져(Blasco and Puppo, 1999) 카드뮴의 오염에 더욱 주의가 필요하다. 수은 또한 ‘미나마타병’으로 잘 알려진 중금속 중독 질병을 일으키는 원인물질이며, 인체에 축적시 뇌, 척수 등 중추신경계에 장애를 유발하는 유해중금속이다(Choi, 2011).

이와 같은 중금속의 여러 인체유해성으로 인해 국내외 기관에서는 어패류의 중금속 기준규격을 마련하여 위생관리를 실시하고 있으며, 국내 식품공전에는 생바지락의 화학적 기준규격으로 납 2.0 mg/kg, 카드뮴 2.0 mg/kg 및 총수은 0.5 mg/kg을 제시하였다. CODEX는 국내외 유사한 규격인 납 0.3 mg/kg, 카드뮴 2.0 mg/kg 및 중국은 납 1.5 mg/kg과 카드뮴 2.0 mg/kg을 포함하여 비소 0.5 mg/kg, 크롬 0.5 mg/kg, 아연 2.0 mg/kg 항목이 설정되어 있다. 또한 태국, 베트남 및 EU의 경우 납과 총수은의 기준규격이 각각 2.0 mg/kg 및 0.5 mg/kg으로 동일하였으며, 카드뮴은 각각 1.0, 2.0 및 1.0 mg/kg으로 제시 되어 있다. 따라서 본 연구에서 분석한 생바지락은 국내외의 기준규격에 모두 적합하여 중금속에 대한 화학적 안전성이 확인되었다.

유통중인 생바지락 중 벤조피렌 오염도 분석

유통중인 생바지락의 벤조피렌 분석 결과를 Table 3에 나타냈으며, 모든 시료에서 불검출로 확인되었다. 벤조피렌은 다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons)의 한 종류로써 나무, 식물, 석탄 등의 유기물질의 불완전연소과정에서 생성되며, 이러한 오염물질들이 도로 유수, 하수, 산업폐수 및 낙진 등의 경로로 해수, 해안퇴적물, 플랑크톤, 해초 등의 해양환경으로 유입되어 최종적으로 수산물을 오염시킨다(Rodríguez and Sanz, 2000; Nikolaou et al., 2009). 또한 인체 내의 잔류기간이 길고 각종 암과 유전자 돌연변이를 일으키는 환경오염물질로써(Jeong et al., 2010), 국제암연구센터(International Agency for Research on Cancer)에서는 발암물질 group 1으로 분류하고 있으며 오염된 환경에 노출된 어패류에서도 검출될 가능성이 있으므로 주의가 요망된다(Park et al., 2020). 국내에서는 벤

조피렌 10 µg/kg을 기준규격으로 제시하였으나, 국내를 제외한 국외의 경우 생바지락의 벤조피렌 항목이 설정되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서 분석한 생바지락은 국내의 기준규격에 적합하였으며 벤조피렌에 대한 안전성을 확인하였다.

유통중인 생바지락 중 패류독소 오염도 분석

유통중인 생바지락의 패류독소는 마비성 패류독소(PSP), 설사성 패류독소(DSP) 및 기억상실성 패류독소(ASP)로 나누어 분석하였다. 본 연구에서 분석한 바지락의 경우 세 종류의 패류독소 모두 불검출로 판정되었다(Table 4). Lee et al. (2007)의 연구에서는 3-7월까지의 바지락 중 설사성 패류독소가 0.05 MU (mouse unit)/g 이하의 미량으로 검출 되었다. Jang et al. (2005a)은 각 지역에서 구입한 바지락 중 마비성 패류독소를 분석하여 ND-0.04 MU/g의 결과로 검출되었으며, Jang et al. (2005b)은 서울, 부산, 대구 및 울산에서 3-7월까지 패류의 마비성 패류독소 모니터링을 실시하여 지역별로 각각 ND-0.03, ND-0.03, ND-0.04 및 ND-0.01 MU/g의 결과를 보고하였다. 이들 보고에 따르면 패류 및 바지락의 서식지역별 마비성 패류독소 검출량의 차이는 크지 않았으나 기온 및 계절적 영향을 많이 받아 대부분의 고농도 패류독소 함량은 3-6월에 밀집되었다. 패류독소는 독성분을 함유한 식물성 미세 플랑크톤(*Alexandrium sp.*, *Gymnodinium sp.*, *Pyrodinium sp.*)을 여과섭이 한 굴, 바지락 등의 이매패류를 사람이 섭취할 시 식중독을 일으키게 되는 물질을 통칭한다(Lee et al., 2007; Park et al., 2020). 패류독소의 경우 현재까지 세척, 가열, 냉동처리 등을 통한 감소 효과가 매우 미비하므로 산업 및 가정의 오·폐수 처리 조사, 적조·녹조 제거 등 오염원 방지를 위한 생산단계에서의 예방이 매우 중요하다. 국내의 경우 남해안 등지에서는 매년 마비성 패류독소가 검출되고 있으며, 이로 인한 식중독 사고도 종종 보고되고 있다(Park et al., 2000; Jang et al., 2005b; Shon et al., 2009). 일반적으로 마비성 패류독소의 발생시기는 2-3월이며, 4-5월 경(수온 13-17°C) 가장 최고치에 이르게 되나, 수온이 상승하는 6월말에는(수온 18°C 이상) 자연소멸된다(Cho et al., 2012). 따라서 패류독소 발생 및 상승시기인 2-6월 사이에는 패류독소 발생지역의 패류 채취 및 가공·유통을 금지하는 등의 강력한 예방

Table 4. Contamination levels of shellfish poison toxin, radioactivity in raw short-neck clam *Ruditapes philippinarum* distributed at the market

| Chemical hazard | Sample no. | Short-neck clam |
|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Shellfish poison toxin (mg/kg) | Paralytic | 15 ND* |
| | Diarrhetic | 15 ND |
| | Amnesic | 15 ND |
| Radioactivity (Bq/kg) | ¹³¹ I | 15 ND |
| | ¹³⁴ CS+ ¹³⁷ CS | 15 ND |

*ND, not detected.

대책이 필요하다.

한편 국내를 포함하여 미국, 캐나다, CODEX, 중국, 태국 및 EU에서는 패류독소에 관한 기준을 마련하여 패류독에 의한 식중독을 예방·관리하고 있다. 국내의 경우 마비성 패류독소 0.8 mg/kg, 설사성 패류독소 0.16 mg/kg 및 기억상실성 패류독소 20 mg/kg으로 제시되어 있으며, 태국의 패류독소 기준규격은 국내와 동일하다. 미국과 EU의 경우 국내와 항목과 기준이 동일하나 AZP (azaspiracid poisoning) 항목이 0.16 mg/kg으로 추가되어 있다. 캐나다의 마비성 및 기억상실성 패류독소의 기준규격은 국내와 동일하며 설사성 패류독소는 국내보다 다소 높은 0.2 mg/kg으로 설정되어 있다. CODEX는 AZP만 0.16 mg/kg으로 제시되어 있으며, 중국은 마비성 패류독소의 기준규격이 다소 높은 4.0 mg/kg 및 설사성 패류독소는 0.05 mg/kg이었다. 이러한 결과들을 바탕으로 본 연구의 생바지락은 마비성, 설사성 및 기억상실성 패류독소의 모든 기준규격에 적합한 것으로 확인되었다.

유통중인 생바지락 중 방사능 오염도 분석

유통중인 생바지락의 방사능은 아이오딘(¹³¹I)와 세슘(¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs) 함량을 측정하였으며 모두 불검출로 확인되었다(Table 4). Kang et al. (2004)의 연구에서는 국내에서 채취되는 생패류 중 ¹³⁷Cs의 함량이 0-28.4 Bq/kg였으며 바지락은 28.4 Bq/kg로 보고하였다. 방사능은 전세계적인 원자력 산업의 증가에 따른 방사성 폐기물 등의 오염물질, 핵실험 및 원전사고 등으로 인해 해양생태계를 작·간접적으로 오염시키며, 먹이사슬을 통하여 인간이 섭취할 시 인체피해를 일으키는 위험물질이다 (Kang et al., 2004; Oh and Rye, 2006). 특히 2011년 일본 후쿠시마에서 발생한 원전사고 및 방사능 누출로 인해 인접해 있는 우리나라와 아시아 지역을 포함한 전세계의 수산물 중 방사능 오염에 대한 우려가 높은 상황이다. 이에 국내에서는 식품 중 ¹³¹I 및 ¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs를 모두 100 Bq/kg으로 설정하였으며, ¹³¹I 및 ¹³⁴Cs + ¹³⁷Cs 항목에 대해 미국의 경우 1,200 Bq/kg 및 170 Bq/kg, 캐나다는 두 항목 모두 1,000 Bq/kg, CODEX와 베트남은 1,000 Bq/kg 및 100 Bq/kg, 중국은 260 Bq/kg 및 190 Bq/kg, 태국은 500 Bq/kg 및 100 Bq/kg, EU에서는 각각 1,250 Bq/kg 및 2,000 Bq/kg으로 방사능의 기준규격을 설정하여 관리하고 있다. 따라서 본 연구에서 분석한 생바지락은 방사능에 대한 안전성이 확보되었음이 확인되었다.

본 연구에서 실시한 미생물학적 및 화학적 분석결과들은 생바지락 및 생바지락을 원료로 하는 최종제품 생산업체의 자사규격 수립, 제품의 안전성 검증 등의 과정에 유용한 자료로써 이용될 수 있을 것이며, 나아가 최종제품을 외국으로 수출하는 경우에도 미생물학적 및 화학적 규격에 적합하여 수출증진에 도움이 될 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 패류의 위해요소 평가 및 패류를 이용한 제품의 개발·생산·유통 연구를 위한 기초자료로도 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(PJT201277, 대일 검사강화 조치 대응 수출시장 다변화 수산식품 개발).

References

- Ahn IY, Ji JY, Choi HS, Pyo SH, Park H and Choi JW. 2006. Spatial variations of heavy metal accumulation in Manila clam *Ruditapes philippinarum* from some selected intertidal flats of Korea. *Ocean Polar Res* 28, 215-224. <https://doi.org/10.4217/OPR.2006.28.3.215>.
- Blasco J and Puppo J. 1999. Effect of heavy metals (Cu, Cd and Pb) on aspartate and alanine aminotransferase in *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia). *Comp Biochem Physiol part C* 122, 253-263.
- Cha YS, Han HJ, Lee JI and Lee JJ. 2001. Heavy metals in fishery products, sold at fish markets in Seoul. *J Food Hyg Saf* 16, 315-323.
- Cho SD, Lee SH, Yoon EK and Kim GH. 2012. Safe intake methods of meat and fish & shellfish. *Safe food* 7, 9-14.
- Choi EH. 2011. A study on heavy metal contents in various foods consumed in Ulsan. M.S. Thesis, Ulsan University, Ulsan, Korea.
- Chun MS and Hong SH. 2009. Identification of microorganisms from eggs in hypermarket in the Northern Gyeonggi Area. *Korean J Food Nutr* 22, 396-401.
- Ham HJ and Jin YH. 2002. Bacterial distribution of salt-fermented fishery products in Seoul Garak wholesale market. *J Food Hyg Saf* 17, 173-177.
- Ham HJ. 2002. Distribution of hazardous heavy metals (Hg, Cd and Pb) in fishery products, sold at Garak wholesale markets in Seoul. *J Food Hyg Saf* 17, 146-151.
- Jang JH, Kim BY, Lee JB, Yun SM and Lee JS. 2005a. Monitoring of paralytic shellfish poison by highly sensitive HPLC from commercial shellfishes and sea squirts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 915-923. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.6.915>.
- Jang JH, Yun SM and Lee JS. 2005b. Paralytic shellfish poison profile in commercial shellfishes. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34, 924-928. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2005.34.6.924>.
- Jeong JY, Choi CW, Ryeom TK, Cho KH, Park SR, Shin HS, Lee KH and Lee HM. 2010. Analysis and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seafood from oil contaminated bay. *Anal Sci Technol* 23, 187-195. <https://doi.org/10.5806/AST.2010.23.2.187>.
- Kang TW, Hong KA, Park WP and U ZK. 2004. ¹³⁷Cs and ⁴⁰K activities of foodstuffs consumed in Jeju. *Korean J Environ Agric* 23, 52-58.
- 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 KH, Kim YJ, Heu MS and Kim JS. 2016. Contamination and risk assessment of lead and cadmium in commonly consumed fishes as affected by habitat. Korean J fish Aquat Sci 49, 541-555. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0541>.
- Kwak YS, Hwangbo JG and Lee CI. 2001. Heavy metal concentrations of sediment and *Ruditapes philippinarum* inhabited in the intertidal zone of Kwangyang Bay. Korean J Ecol 24, 297-301.
- 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 JS, Yun SM, Jang JH, Shin IS and Lee JO. 2007. Detection of diarrhetic shellfish poisons by LC-MS/MS. J Korean Soc Food Sci Nutr 36, 926-931. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2007.36.7.926>.
- Lee KH, Kim JH, Cha BS, Kim JO and Byun MW. 1999. Quality evaluation of commercial salted and fermented seafoods. Korean J Food Sci Technol 31, 1427-1433.
- Lees D. 2000. Viruses and bivalve shellfish. Int J Food Microbiol 59, 81-116. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)00248-8](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)00248-8).
- Lim HS. 2016. Growth of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* cultured in Gomso tidal flat, Korea. Korean J Malacol 32, 189-195. <https://doi.org/10.9710/kjm.2016.32.3.189>.
- Mason RP, Reinfelder JR and Morel FM. 1995. Bioaccumulation of mercury and methylmercury. Water Air Soil Poll 80, 1573-2932. <https://doi.org/10.1007/BF01189744>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021a. Standard for food. Retrieved from www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp on Jul 20, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021b. Statistics of food poisoning. Retrieved from https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/healthyfoodlife/foodPoisoningStat.do?menu_no=3724&menu_grp=MENU_NEW02 on Jul 22, 2021.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021c. Paralytic shellfish poisoning toxin. Retrieved from http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_03.jsp?idx=12081 on Nov 22, 2020.
- Nikolaou A, Kostopoulou M, Lofrano G and Meric S. 2009. Determination of PAHs in marine sediments: analytical methods and environmental concerns. Glob Nest J 11, 391-405. <https://doi.org/10.30955/gnj.000662>.
- Oh YK and Ryu SP. 2006. The radioactivity in shellfish on the Jeju island. J Environ Sci 15, 689-694.
- Park MJ, Lee HJ, Lee TS, Son KT, Byun HS, Park JH and Jang DS. 2000. Comparison of paralytic shellfish poison contents and components in the different bivalve species. J Food Hyg Saf 15, 293-269.
- Park SH, Jang SJ, Lee HJ, Lee GW, Lee JK, Kim YJ, Kim JS and Heu MS. 2015. Optimization of calcium acetate preparation from littleneck clam *Ruditapes philippinarum* shell powder and its properties. Korean J Food Sci Tech 47, 321-327. <https://doi.org/10.9721/KJFST.2015.47.3.321>.
- Park SY, Choi JW, Yeon JH, Lee MJ, Oh DH, Hong CH, Bahk GJ, Woo GJ, Park JS and Ha SD. 2005. Assessment of contamination level of foodborne pathogens in the main ingredients of Kimbab during the preparing process. Korean J Food Sci Technol 37, 122-128.
- Park SY, Cho HJ, Lee SM, Heu MS and Kim JS. 2020. Safety evaluation of frozen oyster *Crassostrea gigas* as a raw material for seafood products. Korean J Fish Aquat Sci 53, 861-869. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0861>.
- Rodríguez JJS and Sanz CP. 2000. Fluorescence techniques for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine environment: an overview. Analisis 28, 710-717. <https://doi.org/10.1051/analisis:2000280710>.
- Sheo HJ, Hong SW and Choi JH. 1993. Study on the contents of heavy metals of fishery products in south coast of Korea. J Korean Soc Food Sci Nutr 22, 85-90.
- Shon MB, Kim YS and Kim CH. 2009. Paralytic shellfish poisoning of mediterranean mussels from Jinhae Bay in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 366-372. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.4.366>.
- Solberg M, Buckalew JJ, Chen CM, Schaffner DW, O'Neill K, Mcdowell J, Post LS and Boderck M. 1990. Microbiological safety assurance system for food service facilities. Food Technol 44, 68-73.
- Song KC, Mok JS, Kang CS and Chang DS. 2001. Sand elimination in shortnecked clam, *Ruditapes philippinarum*, harvested from Western Coast of Korea. J Korean Fish Soc 34, 179-183.
- Vieira C, Morais S, Ramos S, Delerue-Matos C and Oliveira MBPP. 2011. Mercury, cadmium, lead and arsenic levels in three pelagic fish species from the Atlantic ocean: Intra- and inter-specific variability and human health risks for consumption. Food Chem Toxicol 49, 923-932. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.12.016>.
- Waalkes PM. 2000. Cadmium carcinogenesis in review. J Inorg Biochem 79, 241-244.
- Waisberg M, Joseph P, Hale B and Beyersmann D. 2003. Molecular mechanisms of cadmium carcinogenesis. Toxicology 192, 95-117. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(03\)00305-6](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(03)00305-6).