

양식산 굴(*Crassostrea gigas*)의 생굴 및 가공소재용으로서 화학적 및 생물학적 위생 특성

박선영^{1,2} · 이경돈^{1,2} · 이정석² · 허민수^{2,3} · 이태기⁴ · 김진수^{1,2*}

¹경상대학교 해양식품생명의학과/해양산업연구소, ²경상대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상대학교 식품영양학과, ⁴전남도립대학교 호텔조리제빵과

Chemical and Biological Properties on Sanitary of Cultured Oyster *Crassostrea gigas* Intended for Raw Consumption or Use in Seafood Products

Sun Young Park^{1,2}, Kyung Don Lee^{1,2}, Jung Suck Lee², Min Soo Heu^{2,3}, Tae-Gee Lee⁴ and Jin-Soo Kim^{1,2*}

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, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea
⁴Department of Hotel Cuisine & Baking, Jeonnam Provincial College, Damyang 57337, Korea

Oysters *Crassostrea gigas* are a globally popular shellfish for human consumption. As filter-feeding bivalve mollusks, oysters may harbor many microorganisms and chemicals that could pose potential human health risks. The objective of this study was to investigate the suitability of cultured oysters for raw consumption or use in seafood products by measuring concentrations of harmful microorganisms and chemicals in their flesh. Microbial concentrations in cultured oysters were found to be: 1.0×10^2 - 6.0×10^4 CFU/g (viable cell counts), not detected (ND)- 5.4×10^3 CFU/g (coliform bacteria), ND- 1.3×10^2 CFU/g (*E. coli*), and ND- 4.6×10^3 CFU/g (*Vibrio parahaemolyticus*). Other pathogenic bacteria, including Enterohemorrhagic *E. coli* (EHEC), *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, and *Salmonella* spp., were not detected in any samples. Heavy metal concentrations of cultured oysters were ND-0.239 mg/kg (total mercury), ND-1.091 mg/kg (lead), ND-0.968 mg/kg (cadmium). The concentrations of benzo(a)pyrene ranged from 0.280-0.880 μ g/kg. Paralytic shellfish poison ranged from ND-0.58 mg/kg, while diarrhetic shellfish poison was not detected. No radioactivity was detected. These results suggest that oysters intended for raw consumption or use in seafood products should be subjected to chemical and biological controls.

Key word: Oyster, Cultured oyster, *Crassostrea gigas*, Shellfish, Sanitation

서 론

굴은 글리코젠, 비타민 A, B₁₂ 및 아연 함량이 풍부하면서, 타 우린 등과 같은 여러 가지 건강 기능성분을 함유하고 있을 뿐만 아니라 열량이 낮으면서 굴 특유의 향미가 있어, 예로부터 세계적으로 어느 나라 소비자들이나 즐겨먹고 있는 대표적인 패류 자원이다(Shiozaki et al., 2010; Chen et al., 2016). 우리나라에서도 굴은 예로부터 선호되어 왔고, 생산량도 최근 10년간

253천-351천 M/T 범위에 이를 정도로 점차 증가되어 전체 패류 생산량의 63.1-72.9% 범위에 이르고 있다(KOSIS, 2017). 우리나라에서 굴의 소비 패턴은 예전과는 달리 최근에는 해당 연도 10월부터 다음 해 4월까지의 경우 주로 고가의 생굴로 소비되었고, 이후부터 8월까지의 경우 냉동굴, 건조굴 및 통조림 등과 같은 가공품의 형태로 다량 소비되는 패턴을 나타내었다(Shin et al., 2002; Kim et al., 2005). 이와 같은 굴의 소비 패턴은 최근 노로바이러스에 의한 집단 식중독의 발생(Kang et al.,

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0335>



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.

Korean J Fish Aquat Sci 50(4) 335-342, August 2017

Received 22 March 2017; Revised 19 April 2017; Accepted 17 July 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: jinsukim@gnu.ac.kr

2016), 이상기후변화 등에 따른 산란기의 변화로 인하여 생굴 보다는 가공품으로 소비될 조짐을 나타내고 있다. 굴은 생굴과 여러 가지 가공품과 같은 최종 산물에 관계없이 모두 생물학적 및 화학적 위생 안전성을 확보하여야 상품성을 가질 수 있다. 하지만, 최근 굴이 양식되는 해양생태계는 원자력 발전소의 이상 현상 발생, 이상기후변화, 경제발전 등에 따른 하수량의 증가, 레저(낚시선 등)에 의한 오물 등으로부터 야기되는 일반세균, 대장균군 및 식중독균 등과 같은 미생물학적 오염원뿐만 아니라, 중금속, 방사능, 벤조피렌, 플라크톤에 의하여 야기되는 여러 가지 패류독소 등과 같은 이화학적 오염원도 점차 증가하고 있는 추세이다(Koopmans and Durzer, 2004). 또한, 굴은 서식 생태 특성상 정착성이어서 주변 환경으로부터의 오염을 피할 수 없을 뿐 아니라, 대부분의 서식 환경이 폐쇄 내만에 집중되어 있다(Kim et al., 2012). 특히, 굴은 먹이를 여과하여 섭취하는 이때 패이어서 일부 오염된 지역에 서식하는 경우 이화학적 위해 요인뿐만 아니라 미생물에도 오염되어 있을 수도 있어 이를 섭취한 소비자들에게 아주 심각한 위해를 일으킬 수도 있다. 이러한 측면에서 최근 굴에 대한 국내외 기준 규격의 강화가 두드러지게 나타나고 있다(Kim, 2016).

한편, 굴의 위생 안전성에 대한 연구는 굴의 미생물학적 특성에 대한 연구(Chen et al., 2016), 중금속에 대한 모니터링(Kim, 2014), 수산물의 벤조피렌 분석 및 위해 평가(Jeong et al., 2010), 양식산 굴의 노로바이러스 저감화 방안(Yu et al., 2016), 수산물에 대한 방사능 측정 및 설문조사(Kim et al., 2016), 패류독소 모니터링(Jang et al., 2005) 및 이의 정량법(Kim et al., 2012) 등과 같이 다양하게 진행된 바가 있다. 하지만, 이들 연구는 생산 환경이 지금과 동일하지 않은 오래된 연구이거나, 굴의 위생 안전성 항목 중 1종목에 한정되어 있어 생물학적, 화학적 위해 요인을 동시에 살펴본 국내 연구 자료가 절실하다.

본 연구에서는 양식산 생굴 및 가공소재로서 굴의 생물학적 및 화학적 위생 안전성을 확보하기 위한 일련의 연구로 양식산 굴의 일반세균, 대장균군, 대장균, 식중독균 등과 같은 미생물학적 특성과 중금속, 방사능, 벤조피렌 및 패류 독소 등과 같은 화학적 특성에 대하여 살펴보았다.

재료 및 방법

시료

시료 굴(*Crassostrea gigas*)은 경상남도 창원시, 통영시, 남해군, 전라남도 고흥군, 여수시 연안 소재 양식장들과 경상남도 거제시 소재 굴 가공공장에서 2015년 11월부터 2016년 10월 사이에 생굴을 채취하여 사용하였다.

일반세균수, 대장균군 및 대장균

일반세균수, 대장균군 및 대장균의 측정을 위한 전처리 시료는 굴을 균질화한 다음, 이를 각각 3개씩 취하여 멸균팩에 넣고,

시료의 9배(v/w)가 되는 멸균 식염수(0.85%)를 가하여 stomacher (BagMixer 400, Interscience, France)로 균질화(2분)한 후 시료액을 단계적으로 희석하여 제조하였다.

일반세균수는 전처리 시료 1 mL를 PCA (plate count agar) 배지에 접종하고, 배양(35±1℃, 48±2시간)한 후 집락(colony)을 계수한 다음, 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 산출하였다.

대장균군과 대장균은 전처리 시료 1 mL를 건조필름배지(3M Petrifime, Petrifim™ EC, 3M Health Care, USA)에 접종하고, 배양(35±1℃에서 24±2시간)한 후 대장균군의 경우 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성한 것을, 대장균의 경우 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성한 것을 각각 계수한 다음 이들의 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 각각 산출하였다.

식중독균

본 연구에서 양식산 굴의 식중독 세균에 대한 검토는 식품공전(MFDS, 2016)에 따라 실시하였고, 식중독세균은 *Enterohemorrhagic Escherichia coli* (EHEC), *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Vibrio parahaemolyticus*로 한정하였다. EHEC의 확인은 정성시험으로 실시하였다. EHEC의 확인을 위한 최종산물의 반응액은 검체로부터 template DNA를 추출하고, 이를 PCR kit인 AccuPower EHEC Taq PCR kit (Bioneer, Daejeon, Korea)에 분주하여 GeneAmp PCR system 9,700 (Applied Biosystems, Boston, USA)으로 증폭하여 제조 하였다. EHEC의 확인은 증폭 최종산물의 반응액 5 μL를 2% agarose gel (Gibco, Gaithersburg, USA)에 주입하여 전기영동 (MINIS-150VS, Major Science, USA)을 실시하고, 이어서 이를 SafeView (Applied Biological Materials Inc., Richmond, Canada)로 염색한 다음 염색된 DNA band를 이용하여 UV (ImageQuant 300, GE Healthcare Bio-Sciences, USA)로 실시하였다.

Salmonella spp.의 확인은 정성분석에 의하여 실시하였는데, 검체(25 g)에 펩톤식염완충액 225 mL를 가하여 stomacher로 균질화(2분)한 후 배양(36±1℃, 18-24시간)하고, 이 배양액 0.1 mL를 10 mL Rappaport-Vassiliadis broth (Merck, Germany)에 접종하여 증균배양(42±0.5℃, 20-24시간)하였다. 이어서, *Salmonella* spp.의 확인은 증균배양액을 다시 XLD 한천배지(Merck, Germany)와 BG Sulfa 한천배지(Merck, Germany)에 희석 도말하고 배양(36±1℃, 20-24시간)하여 의심되는 집락을 TSA (Merck, Germany)에 옮겨 배양한 다음 Spicer-Edwards 등과 같은 H 혼합혈청과 O 혼합혈청을 사용하여 응집반응으로 실시하였다.

*L. monocytogenes*의 확인은 정성분석에 의하여 실시하였는데, 검체(25 g)에 *Listeria* enrichment broth 225 mL를 가하여 stomacher로 균질화(2분)한 후, 증균배양(30℃, 48시간)하였다. 이어서 *L. monocytogenes*의 확인은 증균배양액을 Palcam 한천배지에 희석 도말하고, 배양(30℃, 24-48시간)하여, 전형적인 집락을 0.6% yeast extract가 포함된 TSA (tryptic soy

agar)에 분리배양(30°C, 24-48시간)하여, 그람염색을 통하여 실시하였다.

*S. aureus*의 측정엔 정성실험을 진행하여 집락을 확인한 다음, 집락이 형성된 경우 정량시험을 진행하였다. *S. aureus*의 측정을 위하여 일반세균수 측정용 전처리 시료 1 mL에 멸균 인산 완충희석액 9 mL를 단계별로 희석한 후, Baird-Parker 한천배지(Becton Dickinson GmbH, Heidelberg, Germany)와 Baird Parker (RPF) 한천배지(Becton Dickinson GmbH, Heidelberg, Germany) 각 3장에 총 접종액이 1 mL가 되게 도말하였다. 사용된 배지는 완전히 건조시켜 사용하였고, 접종액이 배지에 완전히 흡수되도록 도말한 후 10분간 실내에서 방치시킨 후 배양(35-37°C, 48±3시간)하였다. *S. aureus*의 산출은 성장한 집락 주변에 투명한 띠가 있으면서, 광택이 있는 검은색 둥근 집락 중 5개 이상의 전형적인 집락을 선별하여 보통한천배지에 배양(35-37°C, 18-24시간)한 후 그람양성 구균, coagulase 응집 유무 등을 확인하여 계수한 다음, 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 실시하였다.

*V. parahaemolyticus*의 측정엔 정성실험을 진행하여 집락을 확인한 다음, 집락이 형성된 경우 정량시험을 진행하였다. *V. parahaemolyticus*의 확인을 위하여 검체(25 g)에 225 mL의 alkaline 펩톤수를 가하여 stomacher로 균질화(2분)한 후, 증균 배양(35-37°C, 18-24시간)하였고, 이의 증균 배양액을 백금이를 취하여 TCBS 한천배지(Merck, Germany)에 희석 도말한 후 분리배양(35-37°C, 18-24시간)하였다. *V. parahaemolyticus*의 확인은 배양결과 직경 2-4 mm인 청록색의 서당 비분해 집락을 TSI 사면배지에 희석 도말하고 배양(35-37°C, 18-24시간)한 후 의심되는 균은 0, 3, 8, 10% NaCl을 가한 alkaline 펩톤수에 의한 내염성 시험을 통해 실시하였다. 확인 실험에서 사용한 동일한 검체 10배 단계 희석액을 만들어 TCBS 한천배지 3장에 총 접종액이 1 mL가 되게 도말하고 배양(35-37°C, 18-24시간)하였다. *V. parahaemolyticus*의 농도는 청록색의 서당 비분해 집락을 계수하여 희석배수를 곱하여 계산하였다.

중금속

본 연구에서 중금속은 총수은, 납, 카드뮴에 한정하여 측정하였다. 총수은은 균질화된 시료 약 0.1 g을 이용하여 금아말감법으로 자동수은분석기(DMA-80, Milestone, Milano, Italy)로 분석하였고, 모든 결과는 Easy-DOC3 프로그램(Easy-DOC3 for DMA, Ver. 3.30, Milestone, USA)을 이용하여 산출하였다.

총수은을 제외한 나머지 중금속(카드뮴, 납)의 분석은 동결건조한 시료를 사용하여 Kim (2014)이 언급한 방법에 따라 테프론 분해장치와 분해기(teflon bomb)로 전처리한 다음 ICP-MS (ELAN DRC II, PerkinElmer, Santa Clara, USA)를 이용하여 실시하였다.

방사능

방사능 분석은 식품공전(MFDS, 2016)에 따라 실시하였다.

방사능 분석 시료는 물로 세척 및 탈수한 후 분쇄기로 갈고 균질화하여 약 1 kg을 marinelli 비이커에 넣고 밀봉한 다음 고순도 게르마늄 감마핵종분석기(HPGe, ORTEC Advanced Measurement Technology Inc, TN, USA)로 측정하였다. 측정에너지 범위는 0-2 MeV로 조정된 후 차폐용기 내의 검출기에 검체를 올려놓고, 최소 측정시간은 10,000초, 시험 대상핵종은 요오드(¹³¹I)와 세슘(¹³⁴Cs+¹³⁷Cs)으로 하였다.

벤조피렌[benzo(a)pyrene]

Benzo(a)pyrene의 분석은 식품공전(MFDS, 2016)에 따라 시험용액을 제조한 다음 Supelguard LC-18을 연결한 Supelcosil LC-PAH (25 cm × 4.6 mm)이 장착된 HPLC/Fluorescence Detector, HPLC/FLD (A-10 Solvent&Sample Module, PDA Detector, FL Detector, PerkinElmer, Massachusetts, USA)를 사용하여 실시하였다. 또한, benzo(a)pyrene의 분석은 칼럼온도의 경우 35°C로, 이동상의 경우 3차 증류수와 아세트니트릴의 혼합액(2:8)으로, 유속은 1 mL/min로, 검출기 파장은 여기 파장의 경우 294 nm, 형광파장의 경우 404 nm로 하였다.

패류독소

패류독소는 마비성과 설사성 패류독소로 나누어 식품공전(MFDS, 2016)에 따라 분석하였다. 마비성 패류독소 시험용액은 패류의 외부부를 물로 깨끗하게 씻고 패육이 200 g 이상이 되도록 취하여 균질화한 다음 이 검체를 0.1 N 염산으로 가온 추출한 추출액의 상층액으로 하였다. 마비성 패류독소는 추출한 시료액을 19-21 g의 수컷 ICR계 마우스에 주입하고 치사시간으로부터 독량을 Sommer의 표와 마우스 체중 보정표를 이용하여 산출하였다.

설사성 패류독소 시험용액 추출을 위한 검체는 물로 패류의 외부부를 깨끗하게 씻은 다음 패육이 100-150 g 범위가 되도록 취하고 균질화하여 제조하였다. 설사성 패류독소 시험용액은 이 검체 1 g을 비이커에 넣고, 90% 메탄올 9 mL를 가하여 교반하면서 3분 동안 추출한 다음 이 추출액을 15 mL 원심분리관에 넣고 90% 메탄올로 10 mL 눈금에 맞춘 후 원심분리(1,000 × g, 5분)한 상층액 2 mL를 막 여과지(membrane filter)로 여과한 것으로 하였다. 설사성 패류독소의 분석은 시험용액을 LC/MS/MS (Acquity UPLC® H-Class, Xevo® TQ-S Waters, MA, USA)로 실시하였고, 설사성 패류독소의 독소성분인 okadaic acid와 dinophysistoxin-1의 크로마토그램상의 특성이온 피크는 표준용액 특성이온 피크의 머무름 시간과 비교하여 일치 여부를 확인하였다.

결과 및 고찰

미생물학적 특성

굴의 일반세균수, 대장균군, 대장균 및 식중독균 농도는 Table

1과 같다. 굴의 일반세균수는 범위가 1.0×10^2 - 6.0×10^4 CFU/g이었고, 평균이 3.9×10^3 CFU/g이었다.

한편, 생굴의 일반세균수에 대하여 Choi et al. (1998)은 경상남도 고성군 인근 해역인 자란만에서 월별로 수확 채취 직후의 것이 1.4×10^2 - 7.5×10^3 CFU/g 범위가었다고 보고한 바 있고, Son et al. (2014)은 경상남도 통영시 인근 해역에서 채취 직후의 것이 2.36-2.68 log CFU/g 범위가었고, 이를 5°C에서 8일간 저장한 결과 4.00-4.34 log CFU/g 범위가었고, 10°C에서 4일간 및 8일간 저장한 결과 각각 3.70-3.79 및 6.25 log CFU/g로, 20°C에서 2일간 및 4일간 저장한 결과 각각 3.45 및 5.94 log CFU/g로 증가하였다고 보고한 바 있다. 또한, Cao et al. (2009)은 굴의 일반세균수가 3.2×10^3 CFU/g이었고, 0°C에 저장 중 완만히 증가하였으나 5 및 10°C에 저장 중 급격히 증가하였으며, 1.0×10^5 CFU/g에 도달하는 기간이 10°C가 2일, 5°C가 4일, 0°C가 8일이었다고 보고한 바 있다. 따라서, 굴의 일반세균수는 본 연구에서 검토한 것(평균 농도)이 위에서 언급한 다른 연구자들이 검토한 것에 비하여 약간 높았는데, 이는 본 연구에서 검토한 굴의 시료가 다른 연구자의 시료와 달리 수온이 높은 6월부터 8월 사이의 시료도 포함되었기 때문이라 판단된다.

굴의 일반세균수에 대한 국내의 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 현재 냉동굴에 한하여 10^5 CFU/g으로 제시되어 있으나, 식품의약품안전처 고시 제2016-154호 식품의 기준 및 규격 전부개정고시의 경우 $n=5, c=2, m=100,000$ CFU/g, $M=500,000$ CFU/g으로, 미국의 경우 $n=5, c=1, m=500,000$ CFU/g, $M=1,500,000$ CFU/g로, 일본의 경우 생식용 굴에 한하여 5×10^4 CFU/g로, 베트남의 경우 10^6 CFU/g로, EU의 경우 $n=5, c=2, m=10,000$ CFU/g, $M=100,000$ CFU/g로 제시되어 있고, 중국, CODEX의 경우 제시되어 있지 않다(Kim, 2016). 따라서, 본 연구에서 시료로 검토한 굴의 일반세균수의 경우 EU, 일본 기준 규격에 비하여 부적절한 건수가 있었으나, 국내, 미국, 베트남의 기준 규격에는 모두 적절하였다. 즉, 본 연구에서 시료로 검토한 48건 굴의 일반세균수 중 국내의 기준 규격을 초과한 건수는 국내, 미국, 베트남 기준 규격의 경우 없었고, 일본 기준 규격의 경우 1건, EU 기준의 경우 m 에 대하여 4건, M 에 대하여 0건이었다.

굴의 대장균군 농도는 범위가 불검출- 5.4×10^3 CFU/g이었고, 평균이 1.9×10^2 CFU/g이었다. 한편, Choi et al. (1998)과 Choi and Jeong (1998)은 경상남도 고성군 인근 해역인 자란만과 북만에서 생굴의 대장균군 농도를 월별로 검토한 결

과, 농도는 범위의 경우 모두 18-16,000 MPN/100 g, 중앙값의 경우 각각 47 및 176 MPN/100 g이었고, 해역의 종류에 관계없이 대체로 1-4월이 낮았으며, 6-8월이 높았는데, 이는 해수의 온도와 강우와 같은 환경과 깊은 관련이 있다고 보고한 바 있다. 그리고, Kang et al. (2016)은 생식용 탈각굴의 제품화를 위한 공정 중 대장균군은 수확 직후 각부굴이 1.1×10^2 MPN/100 g이었고, 이를 육상으로 양육하는 단계의 수세 공정에서 7.0×10 MPN/100 g, 저온저장 중 7.5×10 MPN/100 g, 탈각굴이 8.3×10 MPN/100 g이었으며, 재수세 및 냉각굴이 각각 4.4×10 MPN/100 g 및 4.5×10 MPN/100 g이었다고 보고한 바 있다. 또한, Andrews et al. (1975)은 시판 굴 539건의 대장균군 농도를 검토한 결과 범위가 불검출-100 MPN/100 g의 경우 57건, 101-1,000 MPN/100 g의 경우 119건, 1,001-10,000 MPN/100 g의 경우 121건, 10,001-100,000 MPN/100 g의 경우 113건, 100,000 MPN/100 g 이상 경우 129건이었다고 보고한 바 있다.

굴의 대장균군에 대한 국내의 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 냉동굴에 한하여 10 CFU/g으로, 미국의 경우 $n=5, c=1, m=230$ MPN/100 g, $M=330$ MPN/100 g으로 제시되어 있고, 나머지 중국, 일본, CODEX, 베트남, EU의 경우 제시되어 있지 않다(Kim, 2016). 따라서, 본 연구에서 시료로 검토한 66건 굴의 대장균군 중 기준 규격을 초과한 건수는 국내 기준 규격의 경우 19건이었고, 특정 가공공장에서 탈각한 제품에 한정되었다.

굴의 대장균 농도는 범위가 불검출- 1.3×10^2 CFU/g이었고, 평균이 0.6×10 CFU/g이었으며, 46건 중 7건(15.2%)에서 검출되었다. 한편, Ham and Jin (2003)은 월별 패류에서 대장균을 검토한 결과 1-2월을 제외한 모든 월에서 검출되었고, 총 242건 중 35건에서 검출되어 14.5%의 검출율을 보였다고 보고한 바 있다. 굴의 대장균에 대한 국내의 기준 규격은 국내(식품공전), 베트남, 일본 및 EU의 경우 모두 230 MPN/100 g, 미국, CODEX의 $n=5, c=1, m=230$ MPN/100 g, $M=330$ MPN/100 g, CODEX의 경우 $n=5, c=1, m=230$ MPN/100 g, $M=700$ MPN/100 g으로 제시되어 있고, 중국의 경우 제시되어 있지 않다(Kim, 2016). 한편, 본 연구에서 검토한 굴의 대장균 농도 단위와 국내, 베트남, 일본, EU 기준 규격에서 제시한 대장균 농도의 단위와 차이가 있어 직접적인 비교는 곤란하나, 동일 시료량으로 환산하였을 때 기준치에 대하여 초과하는 건수는 없었다.

굴의 식중독균은 EHEC, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Sal-*

Table 1. Biological properties of oyster *Crassostrea gigas*

Biological hazard	N	Oyster	Biological hazard	N	Oyster
Viable cell counts	48	3.9×10^3 (1.0×10^2 - 6.0×10^4)	<i>Listeria monocytogenes</i>	20	ND ¹
Coliform group	66	1.9×10^2 (ND- 5.4×10^3)	<i>Staphylococcus aureus</i>	20	ND
<i>E. coli</i>	46	0.5×10 (ND- 1.3×10^2)	<i>Salmonella</i> spp.	20	ND
<i>Enterohemorrhagic E. coli</i>	20	ND	<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	25	7.1×10^2 (ND- 4.6×10^3)

¹ND, Not detected.

monella spp., *V. parahaemolyticus*이었다. 굴의 식중독균에 대한 농도는 EHEC, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella* spp.의 경우 모두 불검출이었고, *V. parahaemolyticus*의 경우 범위가 불검출- 4.6×10^3 CFU/g이었으며, 평균이 7.1×10^2 CFU/g이었다.

한편, Kang et al. (2016)은 수확 직후 각부굴의 식중독균 (EHEC, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *C. perfringens* 및 Norovirus)을 분석한 결과 모두 검출되지 않았다고 보고하였고, Bunruk et al. (2013)도 수확 직후 각부굴의 *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae*, *V. vulnificus*을 분석한 결과 모두 음성이었다고 보고하였으나, Son and Fleet (1980)은 호주 New South Wales의 인근 강에 소재하고 있는 굴양식장 6곳에서 수확한 굴 (*Crassostrea commercialis*)에서 *V. parahaemolyticus*와 *C. perfringens*의 농도를 살펴본 결과 각각 17-425 cell count/g 및 5-30 cell count/g 범위로 존재하였다고 보고한 바 있다. Chen et al. (2016)은 굴의 미생물의 종류 및 농도의 경우 서식 환경, 선도, 작업, 저장 및 유통 환경 등에 따라 달라질 수 있다고 보고한 바 있다.

굴의 식중독균에 대한 국내외 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 *S. aureus*와 *V. parahaemolyticus*에 대하여 모두 100 CFU/g으로 *Salmonella* spp.와 *L. monocytogenes*에 대하여 모두 음성으로, 미국의 경우 *S. aureus*에 대하여 10,000 MPN/g (또는 enterotoxin의 경우 음성이거나 10^4 MPN/g), *Salmonella* spp.와 *V. cholerae*에 대하여 모두 음성, *V. vulnificus* 및 *V. parahaemolyticus*에 대하여 모두 30 MPN/g, *C. botulinum*에 대하여 포자 생성 및 독소가 없어야 함으로, 일본의 경우 *Salmonella* spp.와 *V. parahaemolyticus*에 대하여 각각 음성 및 100 CFU/g, 베트남의 경우 *S. aureus*와 *C. perfringens*에 대하여 모두 100 CFU/g, *Salmonella* spp.에 대하여 음성으로 규정하고 있고, 중국, CODEX 및 EU의 경우 언급되어 있지 않다. 한편, 본 연구에서 굴의 식중독균(EHEC, *L. monocytogenes*, *S. aureus*, *Salmonella* spp., *V. parahaemolyticus*)은 국내외 모든 기준 규격에 적합하였으나, *V. parahaemolyticus*는 일본 (100 CFU/g) 기준 규격에 비하여 16건이 초과하였다. 이와 같

은 결과는 조사해역의 해수온이 20.7-31.0°C로서 해수에서도 *V. parahaemolyticus*가 높은 수준으로 검출되는 하절기이었기 때문에 판단된다(Na et al., 2016). 월별 *V. parahaemolyticus* 농도는 모든 조사지점에서 9월에 가장 높은 값을 나타내었다 (데이터 미제시). 그러나 *V. parahaemolyticus*에 의한 식중독은 주요 병원성 인자인 내열성용혈독소(thermostable direct hemolysin, TDH) 및 내열성용혈독소 유사독소(TDH-related hemolysin, TRH)를 생성하는 유전자를 보유하고 있는 *V. parahaemolyticus*에 의해 발생한다고 알려져 있다(Kanungo et al., 2012). 본 연구에서는 병원성 인자의 유무 실험을 실시하지 않았으나, Park et al., (2016)은 우리나라 남해안 굴 양식장에서 2013년부터 2015년까지 채취한 39개 굴 시료 중 TDH 유전자는 모든 시료에서 검출되지 않았으며, TRH 유전자는 5개 시료 (12.8%)에서만 검출되었다고 보고하고 있어 생굴 섭취로 인한 식중독 발생 가능성은 매우 낮은 것으로 판단된다.

따라서, 양식산 생굴 및 가공소재로서 굴은 미생물에 대한 위생 안전성 확보 방안을 검토한 다음 활용하여야 할 것으로 판단되었다.

화학적 특성

굴의 총수은, 납 및 카드뮴과 같은 중금속 농도와 benzo(a) pyrene 및 폐류독소(마비성 및 설사성)에 대한 함량은 Table 2와 같다. 굴 중금속의 범위 및 평균농도는 총수은이 각각 불검출-0.239 mg/kg 및 0.021 ± 0.043 mg/kg이었으며, 납이 각각 불검출-1.091 mg/kg 및 0.156 ± 0.195 mg/kg이었으며, 카드뮴이 각각 불검출-0.968 mg/kg 및 0.352 ± 0.259 mg/kg이었다. 한편, Choi et al. (1992)은 한국 연안 21개 지역으로부터 수확한 굴의 중금속 농도 범위를 검토한 결과 총수은의 경우 0.002-0.079 mg/kg, 납의 경우 0.10-2.95 mg/kg, 카드뮴의 경우 0.20-1.89 mg/kg이었다고 보고한 바 있고, Kim et al. (2003)은 우리나라 남해안 11개의 패류 양식장에서 채취한 총 72건의 굴 시료에 대하여 중금속 농도 범위를 검토한 결과 총수은이 0.004-0.015 mg/kg 범위(평균 0.008 mg/kg), 납이 trace-0.864 mg/kg 범위(평균 0.220 mg/kg), 카드뮴이 0.030-1.198 mg/kg (평균 0.519 mg/kg)이었다고 보고한 바 있으며, Chen and Chen

Table 2. Chemical properties of oyster *Crassostrea gigas*

Chemical hazard	N	Monitored results		
		Range	Mean	
Heavy metal (mg/kg, dry weight)	Total Hg	75	ND ¹ -0.239	0.021±0.043
	Pb	75	ND-1.091	0.156±0.195
	Cd	58	ND-0.968	0.352±0.259
Benzo(a)pyrene (µg/kg)		5	0.280-0.880	0.522±0.256
Shellfish poison toxin ² (mg/kg)	PSP	90	ND-0.58	0.02±0.09
	DSP	37	ND	ND

¹ND, Not detected; ²PSP, paralytic shellfish poison; DSP, diarrhetic shellfish poison.

(2003)은 타이완 남서부 해안 3개 도시 연안에서 155건의 굴을 채취한 다음 중금속 농도를 건물당으로 검토했던 결과 총수는 농도는 0.025-0.288 mg/kg, 카드뮴 농도는 0.312-2.452 mg/kg이었다고 보고한 바 있다.

한편, 굴의 중금속에 대한 국내의 기준 규격은 국내(식품공전)의 경우 총수은이 0.5 mg/kg, 납과 카드뮴이 모두 2.0 mg/kg으로, 미국의 경우 납이 2.0 mg/kg, 카드뮴이 4.0 mg/kg, 메틸수은이 1.0 mg/kg, 크롬이 13 mg/kg, 비소가 86 mg/kg, 니켈이 80 mg/kg으로, 중국의 경우 납이 1.5 mg/kg, 크롬과 카드뮴이 모두 2 mg/kg, 메틸수은이 0.5 mg/kg, 무기비소 2.0 mg/kg으로, 일본의 경우 총수은이 0.4 mg/kg으로, 베트남의 경우 총수은이 0.5 mg/kg, 납이 1.5 mg/kg, 카드뮴이 2.0 mg/kg으로, EU의 경우 납이 1.5 mg/kg, 총수은이 0.5 mg/kg, 카드뮴이 1.0 mg/kg으로 제시되어 있고, CODEX의 경우 제시되어 있지 않다(Kim, 2016). 따라서, 양식산 굴은 생굴용 및 가공소재용으로 중금속에 대한 위생 안전성이 확보되어 있다고 판단되었으나, 카드뮴의 경우 EU의 기준 규격에는 최고치에 한하여 거의 위험치 수준에 도달하여 있어 EU에 수출 등을 고려하는 경우 이에 대한 대비가 필요하리라 판단되었다.

굴 29건에 대하여 방사능을 측정된 결과 모두 불검출로 나타났다(데이터 미제시). 한편, 굴의 방사능에 대한 국내의 기준 규격은 $^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$ 와 ^{131}I 가 국내의 경우 각각 370 Bq/kg 및 300 Bq/kg, 중국의 경우 각각 800 Bq/kg 및 470 Bq/kg, 일본의 경우 각각 100 Bq/kg 및 2,000 Bq/kg, EU의 경우 각각 1,250 Bq/kg 및 2,000 Bq/kg, 베트남의 경우 각각 미설정 및 100 Bq/kg로 설정되어 있고, 미국과 CODEX의 경우 미설정되어 있다. 굴의 방사능에 대한 국내의 기준 규격으로 이들 기준 규격 이외에도 일본, 베트남, EU의 경우 더 세부적으로 다양하게 제시되어 있다. 따라서, 양식산 생굴 및 가공소재로서 굴은 방사능에 대한 위생 안전성이 확보되어 있다고 판단되었다.

Benzo(a)pyrene은 내분비계장애물질이면서 발암가능물질로 잔류기간이 길고, 독성이 강하여 CODEX 및 JECFA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 위해성 평가를 위한 우선 순위 목록에 포함하는 등 세계적 관심 물질이 되고 있다. 이의 일환으로 국제암연구소[IARC (International Agency for Research on Cancer), 2017]는 최근 벤조피렌을 Group 1의 확인된 인체발암물질(carcinogenic to humans)로 등급을 상향 조정한 바 있으며, 환경오염으로 인해 어패류 등에 검출 될 수 있을 뿐만 아니라 식품의 고온 조리, 가공 시 식품 중 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방 등이 분해되어 생성이 가능하다. 이러한 일면에서 굴 5건의 벤조피렌 함량과 농도를 살펴본 결과 이들은 각각 0.280-0.880 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 의 범위이었으며, 평균 농도는 $0.522 \pm 0.256 \mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다.

한편, 굴의 benzo(a)pyrene 함량에 대하여 식품의약품안전처(MFDS, 2009)는 불검출, Shin (2010)는 2.592 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Eghtesadi-Araghi et al. (2011)의 경우 5.78 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다고 보고한 바

가 있다. 따라서 본 연구에서 굴의 benzo(a)pyrene 함량은 식품의약품안전처(MFDS, 2009)의 결과에 비하여는 높았고, Shin (2010)과 Eghtesadi-Araghi et al. (2011)의 결과에 비하여는 낮았다.

그리고, 패류의 benzo(a)pyrene에 대한 국내의 기준 규격은 국내의 경우 10.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 제시되어 있으나, 미국, 중국, 일본, CODEX, 베트남, EU 등과 같은 국외 기준은 아직 제시가 되어 있지 않다. 이상의 굴에 대한 benzo(a)pyrene 분석 결과를 국내의 패류의 benzo(a)pyrene 기준 규격에 적용하였을 때 이를 초과하는 것이 없어 식품위생 측면에서 안전하다고 판단되었다.

패류에서 공중 위생상 문제가 되고 있는 자연독은 치사율이 높은 신경성 급성독인 마비성패독(paralytic shellfish poison, PSP)과 지용성의 설사성 패독(diarrhetic shellfish poison, DSP), 기억상실성 패독(amnesic shellfish poison, ASP)이 있으며, 그 외 신경성 패독(neurotoxic shellfish poison, NSP) 등이 알려져 있다(Tamao, 1983). 이들 패류 독소 중 우리나라 뿐만 아니라 전 세계적으로 가장 문제시 되고 있는 것이 마비성 패류독소이고, 이들 마비성 패류독소는 *Alexandrium* sp., *Gymnodinium* sp., *Pyrodinium* sp. 등과 같은 편모조류에 속하는 식물성 플랑크톤이 생산하는 독소로(Hall et al., 1990), 사람이 독소가 축적된 패류를 섭취하고 중독이 되는 경우 마비현상이 발생한다(Bricelj and Shumway, 1998). 이러한 일면에서 굴의 마비성(90건)과 설사성(37건) 패류독소에 대하여 분석한 결과, 이들 굴의 마비성 패류독소 함량은 평균이 $0.02 \pm 0.09 \text{ mg}/\text{kg}$, 범위가 불검출-0.58 mg/kg이었으며, 이 중 검출된 건수는 3건 [연중 분석 건수(90건)에 대하여 3.3%, 산란기(5-8월) 분석 건수(24건)에 대하여 12.5%]이었으며, 설사성 패류독소는 모두 검출되지 않았다.

한편, Kim et al. (2012)은 2011년부터 6월까지 서울 시내 유통 중인 굴 28건에 대하여 설사성 패류독소를 측정된 결과 2건의 굴만이 okadaic acid의 형태(0.004 mg/kg)로 검출되었고, dinophysistoxin-1, pectenotoxin-2, yessotoxin의 경우 불검출되었으며, 26건의 굴의 경우 이들 마비성 독소 성분 모두가 불검출되었다고 보고한 바가 있다. 그리고, 패류의 기억 상실성, 마비성, 설사성 패류독소에 대한 기준 규격은 국내의 경우 각각 미제시, 0.8 mg/kg 및 0.16 mg/kg으로 제시되어 있고, 국외의 경우 CODEX가 각각 20 mg/kg, 0.8 mg/kg 및 0.16 mg/kg, 미국이 각각 20 mg/kg, 0.8 mg/kg 및 0.2 mg/kg, 일본이 각각 미제시, 미제시 및 0.05 MU/g, 베트남이 각각 20 mg/kg, 0.8 mg/kg 및 0.16 (Azaspiracids) mg/kg; 1 (Yessotoxin) mg/kg, EU가 각각 20 mg/kg, 0.8 mg/kg 및 0.16 (OA+DTW+PTX, Azaspiracids) mg/kg; 1 (Yessotoxin) mg/kg 등으로 제시하고 있으며, 국외 중 중국의 경우 모두 제시하지 않고 있다(Kim, 2016). 이상의 굴에 대한 패류 독소 결과를 국내의 굴의 패류독소 기준 규격에 적용하였을 때 이를 초과하는 것이 없어 굴은 패류독소 측면에서의 경우 식품위생 측면에서 안전하다고 판단되었다. 하지

만, 패독이 다수 발생하고 있는 봄철에는 철저히 모니터링에 의한 제어가 있어야 할 것으로 판단되었다.

이상의 굴에 대한 생물학적 및 이화학적 특성의 결과로 미루어 보아 미생물학적으로는 일반세균수와 대장균군에서 기준 규격과 비교하여 우려할 만한 결과가 나왔으므로 국내산 굴은 생식용 또는 가공소재로 이용되기 위하여는 미생물학적 제어 방법은 검토되어야 하나, 이화학적 제어 방법은 크게 필요하지 않다고 판단되었다.

사 사

이 논문은 2016년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(수산식품산업기술개발사업의 해역별 특성을 고려한 전통수산가공식품 개발 및 상품화).

References

- Andrews WH, Diggs CD, Presnell MW, Miescier JJ, Wilson CR, Goodwin CP, Adams WN, Furfari SA and Musselman JF. 1975. Comparative validity of members of the total coliform and fecal coliform groups for indicating the presence of *Salmonella* in the Eastern oyster, *Crassostrea virginica*. J Milk Food Technol 38, 453-456.
- Bricelj VM and Shumway SE. 1998. Paralytic shellfish toxins in bivalve molluscs: Occurrence, transfer kinetics and biotransformation. Rev Fish Sci 6, 315-383. <http://dx.doi.org/10.1080/10641269891314294>.
- Bunruk B, Siripongvutikorn S and Sutthirak P. 2013. Combined effect of garlic juice and Sa-Tay marinade on quality changes of oyster meat during chilled storage. Food Nutr Sci 4, 690-700. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2013.46088>.
- Cao R, Xue CH, Liu Q and Xue Y. 2009. Microbiological, chemical, and sensory assessment of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) stored at different temperatures. Czech J Food Sci 27, 102-108.
- Chen CY and Chen MH. 2003. Investigation of Zn, Cu, Cd and Hg concentrations in the oyster of Chi-ku, Tai-shi and Tapeng Bay, Southwestern Taiwan. J Food Drug Analysis 11, 32-38.
- Chen H, Liu Z, Shi Y and Ding HH. 2016. Microbiological analysis and microbiota in oyster: a review. ISJ 13, 374-388.
- Choi HG, Park JS and Lee PY. 1992. Study on the heavy metal concentration in mussels and oysters from the Korean coastal waters. Bull Korean Fish Soc 25, 485-494.
- Choi JD and Jeong WG. 1998. A bacteriological study on the sea waters and oyster in Puk Man, Korea. Korean J Malacol 14, 19-26.
- Choi JD, Jeong WG and Kim PH. 1998. Bacteriological study of sea water and oyster in Charan bay, Korea. J Korean Fish Soc 31, 429-436.
- Eghtesadi-Araghi P, Haffner PD, Drouillard K and Maghsoudlou W. 2011. Polycyclic aromatic hydrocarbons contaminants in Black-lip (Pearl) oyster *Pinctada margaritifera* from Island (Persian Gulf). Iranian J Fish Sci 10, 25-34.
- Hall S, Strichartz G, Moczydlowski E, Ravindran A and Reichardt PB. 1990. The saxitoxins: Sources, chemistry and pharmacology. In: Marine Toxins. Hall S and Strichartz G, eds. American Chemical Society, Washington D.C., U.S.A., 29-65.
- Ham HJ and Jin YH. 2003. Serotypes and biochemical properties of *Escherichia coli* isolated from seafood products. J Food Hyg Saf 18, 1-5.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 2017. benzo[a]pyren. Retrieved from <http://www.Iarc.fr/index.php> on Feb 12, 2017.
- Jang JH, Kim BY, Lee JB, Yun SM and Lee JS. 2005. Monitoring of paralytic shellfish poison by highly sensitive HPLC from commercial shellfish and sea squirts. J Korean Soc Food Sci Nutr 34, 915-923.
- Jeong JY, Choi CW, Ryeom TY, Cho KH, Park SY, Shin HS, Lee KH and Lee HM. 2010. Analysis and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in seafood from oil contaminated bay. Analytical Sci Technol 23, 187-195. <http://dx.doi.org/10.5806/AST.2010.23.2.187>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0533>.
- Kanungo S, Sur D, Ali M, You YA, Pal D and Manna M. 2012. Clinical, epidemiological and spatial characteristics of *Vibrio parahaemolyticus* diarrhea and cholera in the urban slums of Kolkata, India. BMC Public Health 12, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-12830>.
- Kim JH, Lim CW, Kim PJ and Park JH. 2003. Heavy metals in shellfishes around the South Coast of Korea. J Food Hyg Saf 18, 125-132.
- Kim JS. 2016. Development and commercialization of traditional seafood products based on the Korean coastal marine resources. KIMST report on the 1st Project. Korea Institute of Marine Science & Technology, Seoul, Korea. 33-56.
- Kim JS, Yeum DM, Kang HG, Kim IS, Kong CS, Lee TG and Heu MS. 2005. Fundamentals and Applications for Canned Foods. Hyoil Publishing Co., Seoul, Korea, 59-62.
- Kim KH. 2014. Concentration and risk assessment of heavy metal in mainly consumed fishes. MS Thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea.
- Kim MJ, Kang SM and Kweon DC. 2016. Effects of the questionnaire and radioactivity measurement of fishery from the Fukushima nuclear disaster. J Korean Soc Radiol 10, 53-57. <http://dx.doi.org/10.7742/jksr.2016.10.1.53>.
- Kim SU, Yuk DH, Park YA, Kim JA, Park AS and Kim YC. 2012. Analysis of diarrhetic shellfish poisoning toxins by liquid chromatography-electrospray ionization mass spec-

- trometry. Korean J Food Sci Technol 44, 390-392. <http://dx.doi.org/390-392.10.9721/KJFST.2012.44.4.390>.
- Koopmans M and Durzer E. 2004. Foodborne viruses: An emerging problem. Int J Food Microbiol 90, 23-41. [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00169-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00169-7).
- KOSIS (Korean Statistical Information Service). 2017. Fishery-scale variety-scale fishery-scale statistic. Daejeon, Korea. Retrieved from http://kosis.kr/statisticsList/statisticsList_01List.jsp?vwcd=MT_ZTITLE&parentId=F#SubCont on Feb 12, 2017.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2009. Monitoring of PAHs contents in marine products. MFDS, Osong, Korea. Retrieved from <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201000012755> on Feb 12, 2017.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2016. 9. General test method in Food Code. MFDS, Osong, Korea. Retrieved from <https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvlv/foodRvlv.do> on Feb 12, 2017.
- Na HY, Hong SH and Chung GT. 2016. The relationship of pathogenic *Vibrio* spp. with marine environmental factors, Korea, 2013-2015. Public Health Weekly Report 9, 154-158.
- Park YS, Park K, Kwon JY, Yu HS, Lee HJ, Kim JH, Lee TS and Kim PH. 2016. Antimicrobial resistance and distribution of virulence factors of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from shellfish farms on the southern coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci, 49, 460-466. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0460>.
- Shin HS. 2010. Improvement of analytical method for benzo[a]pyrene in foods and study on monitoring and exposure. Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), Osong, Korea, 79-82. Retrieved from <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/report/reportSearchResultDetail.do?cn=TRKO201100007654> on Mar 2, 2017.
- Shin YK, Kim SY, Moon TS, Park MS and Kim Y. 2002. Seasonal changes of biochemical composition in cultured bivalves. Korean J Malacol 18, 1-8.
- Shiozaki K, Shiozaki M, Masuda J, Yamauchi A, Ohwada S, Nakano T, Yamaguchi, T, Saito, T, Muramoto K and Sato M. 2010. Identification of oyster-derived hypotensive peptide acting as angiotensin-I-converting enzyme inhibitor. Fisheries Sci 76, 865-872. <http://dx.doi.org/10.1007/s12562-010-0264-0>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0495>.
- Son NT and Fleet GH. 1980. Behavior of pathogenic bacteria in the oyster, *Crassostrea commercialis*, during depuration, re-laying, and storage. Appl Environ Microb 40, 994-1002.
- Tamao N. 1983. Shellfish toxins. Hygienic Chem 29, 10-25.
- Yu HS, Park YS, An SR, Park KB, Shim KB, Song KC and Lee TS. 2016. Defecation of norovirus from the oyster *Crassostrea gigas* by depuration following translocation of the growing area. Korean J Fish Aquat Sci 49, 109-115. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0109>.