

굴(*Crassostrea gigas*), 멧게(*Halocynthia roretzi*) 및 해삼(*Apostichopus japonicus*)에서 분리한 대장균의 항균제 내성 특성

박큰바위* · 류아라 · 김송희 · 함인태 · 권지영 · 김지회¹ · 유홍식² · 이희정 · 목종수

국립수산과학원 식품위생가공과, ¹국립수산과학원 연구기획과, ²국립수산과학원 서해수산연구소

Antimicrobial Resistance of *Escherichia coli* isolated from Oyster *Crassostrea gigas*, Sea Squirts *Halocynthia roretzi* and Sea Cucumbers *Apostichopus japonicus*

Kunbawui Park*, A Ra Ryu, Song Hee Kim, In Tae Ham, Ji Young Kwon, Ji Hoe Kim¹, Hong Sik Yu², Hee Jung Lee and Jong Soo Mok

Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹Research and Development Planning Department, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

²West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Incheon 22383, Korea

This study evaluated the abundance of fecal coliforms in oysters *Crassostrea gigas*, sea squirts *Halocynthia roretzi* and sea cucumbers *Apostichopus japonicus* in fisheries along the coast of Korea in 2014, and investigated the prevalence of antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolated from these fishery products. The ranges of fecal coliforms found in oysters, sea squirts and sea cucumbers were <18-20, <18-330 and <18-3,300 MPN (most probable number)/100 g, respectively. Sea squirts contained the greatest range of *E. coli* (<20-140 MPN/100 g), followed by sea cucumbers (<20-130 MPN/100 g) and oysters (<20-20 MPN/100 g). A total of 26 strains of *E. coli* were isolated from 34 sea squirt, 25 sea cucumber and 13 oyster samples. Strains thus isolated were tested for their susceptibility to 22 antimicrobial agents used in Korea for medical or veterinary therapy. *E. coli* isolates showed the greatest resistance to ampicillin (84.6%), followed by trimethoprim (34.6%), nalidixic acid (34.6%), tetracycline (30.8%), pipemidic acid (26.9%), streptomycin (23.1%), chloramphenicol (23.1%), trimethoprim/sulfamethoxazole (23.1%), and gentamicin (15.4%). Resistance to at least one antimicrobial agent was present in 88.5% of *E. coli* isolates. Of the 26 isolated, six strains (23.1%) were resistant to multiple antimicrobial agents.

Key words: Antimicrobial resistance, *Escherichia coli*, Fishery products, Sanitary state

서론

수산물은 수 천년 동안 인류에게 없어서는 안 될 중요한 동물성 단백질 공급원이며, 국민소득 향상과 건강에 대한 국민적 관심이 높아져 수산물에 대한 1인당 소비량은 2009년 49.8 kg, 2014년 58.9 kg으로 증가하는 추세이다(KREI, 2015). 우리나라에서 생산되는 여러 수산물 중 많은 국민들이 날 것으로 많이 즐겨먹는 대표 수산물이 굴, 멧게, 해삼이며, 2014년 굴은 25만 톤, 멧게는 1.1만톤, 해삼은 0.2만톤 생산되었다(MOF, 2015).

굴, 멧게 및 해삼이 생산되는 해역은 육상오염원과 인접한 연

안해역에 대부분 위치하고 있어 육상에서 유입되는 오염물질의 영향을 받기가 쉽고, 이들 수산물은 이동성이 거의 없거나 한정된 해역에서만 이동하는 습성을 가지고 있어 생산해역의 수질 악화시 직접적인 영향을 받게 된다. 특히 사람이나 가축 분변 등과 같은 오염물질은 하수구나 하천을 통하여 연안해역으로 유입되어 수산물 생산해역의 수질을 악화시키는 주된 요인으로 평가되고 있다(Hill et al., 2006; Lee et al., 2010; Park et al., 2011). 유럽연합(EU)에서는 소비자가 별도의 가열처리 조리 과정 없이 날 것으로 섭취해도 되는 이매패류(Live bivalve molluscs), 피낭류(Live tunicates) 등의 수산물을 생산하기

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0494>



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(5) 494-499, October 2017

Received 11 September 2017; Revised 18 September 2017; Accepted 28 September 2017

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720.2632 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: pkbwt@korea.kr

위해 대장균 농도에 따라 생산해역을 구분하고, A 등급(≤230 MPN/100 g) 해역의 위생상태를 유지하기 위해 오염원 관리 등 지속적인 생산해역 위생관리를 실시하고 있다(European Commission, 2004). 대장균(*Escherichia coli*)은 사람이나 가축의 장내에 주로 서식하는 세균이며, 대부분의 대장균은 병원성이 없는 것으로 알려져 있으나, 일부의 특이 혈청형은 유아에게 설사를 일으킬 뿐만 아니라 성인에게도 급성 위장염을 일으킬 수 있는 것으로 알려져 있다(Song et al., 2004). 또한, 대장균은 항균제에 빈번하게 노출되는 대표적인 세균으로 항균제에 의한 내성 획득 과정을 이해하고, 항균제 내성균 출현 및 내성 패턴의 변화 등 내성균 모니터링에 매우 유용한 세균으로 알려져 있다(Levin et al., 1997).

한편, 패류 생산해역으로 유입되는 육상 유래 오염물질이 패류의 위생학적 성상에 미치는 연구와 패류에서 분리되는 대장균의 항균제 내성에 미치는 영향 연구는 부분적으로 이루어져 있으나, 멍게 및 해삼에 대한 위생학적 성상 파악과 이들 수산물에서 분리된 대장균의 항균제 내성 특성에 관한 연구는 미미한 실정이다(Lee et al., 2010; Park et al., 2012; Park et al., 2013).

따라서 본 연구에서는 날 것으로 섭취하는 굴, 멍게 및 해삼 생산해역에 대한 위생관리, 육상 오염물질 유입 저감화 및 항균제 내성균 확산 방지 대책 마련에 기초자료를 제공하고자 굴, 멍게 및 해삼의 위생학적 성상을 파악하고, 분리된 대장균의 항균제 내성 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

굴, 멍게 및 해삼 시료

주로 날 것으로 많이 섭취하는 굴, 멍게 및 해삼에 대한 위생학적 성상 파악과 이들 수산물에서 분리한 대장균의 항균제

내성 특성을 파악하기 위하여 2014년 1월부터 11월까지 영덕 및 울진에서는 멍게(*Halocynthia roretzi*), 울산에서는 굴(*Crassostrea gigas*), 멍게(*H. roretzi*) 및 해삼(*Apostichopus japonicus*), 통영에서는 굴(*C. gigas*), 여수에서는 멍게(*H. roretzi*) 및 해삼(*A. japonicus*), 군산에서는 해삼(*A. japonicus*)을 생산해역에서 채취 또는 구입하여 실험에 사용하였다.

대장균균 및 분변계대장균 시험

굴, 멍게 및 해삼의 위생학적 성상 파악을 위해 대장균균 및 분변계대장균 시험을 Recommended Procedure for the Examination of Sea Water and Shellfish (APHA, 1970)에 준하여 실시하였다. 추정시험에는 lauryl tryptose broth (Difco, USA), 대장균균 및 분변계대장균 확정시험에는 각각 BRILA (Brilliant Green Bile Lactose) broth (Merck, Germany) 및 EC broth (Merck, Germany)를 사용하였다. 대장균균 및 분변계대장균균수는 각 희석단별로 5개 시험관을 사용하는 최확수법(most probable number, MPN)으로 측정하고, 그 결과는 MPN/100 g으로 표시하였다.

대장균 시험 및 분리 동정

대장균 시험은 ISO/TS 16649-3 (2005)의 방법에 따라 실시하였다. 각각의 굴, 멍게 및 해삼 시료에 0.1% peptone 희석수를 첨가하여 파쇄한 후 minerals modified glutamate medium (Oxoid, UK)에 접종하여 배양하고, 노랑색으로 변한 시험관액을 tryptone bile glucuronoide agar (Oxoid, UK)에 희석 배양하여 청색 집락(Blue colony) 또는 청녹색 집락(Blue-green colony) 생성 유무를 확인하는 최확수법으로 대장균 균수를 확인하고, 그 결과를 MPN/100 g으로 표시하였다. 청색 또는 청녹색 집락을 순수 분리 배양한 후 VITEK system (BioMerieux Vitek, France)를 이용하여 *Escherichia coli*로 동정하였다.

Table 1. Bacteriological examination results of fishery products collected in the coast of Korea

Fishery products	Location	Total coliform (MPN/100 g)	Fecal coliform (MPN/100 g)	<i>Escherichia coli</i> (MPN/100 g)	No. of samples
	Yeongdeok	230-3,300	<18-330	<20-20	6
	Ulsan	<18-3,300	<18-20	<20-<20	11
	Ulsan	<18-1,300	<18-78	<20-140	9
Sea squirt	Tongyoung	<18-78	<18-<18	<20-<20	2
	Yeosu	20-4,900	<18-230	<20-20	6
	Ulsan	45-170	<18-45	<20-78	6
Sea cucumber	Yeosu	<18-23,000	<18-3,300	<20-130	11
	Gunsan	<18-130	<18-45	<20-20	8
	Ulsan	<18-230	<18-20	<20-20	9
Oyster	Tongyoung	<18-230	<18-<18	<20-<20	4

MPN, most probable number.

항균제 감수성 시험

분리된 대장균의 항균제 감수성 시험은 Acar and Goldstein (1991)의 디스크 확산법을 이용하였다. 즉, 분리된 각 균주는 muller hinton broth (Merck, Germany)에서 35°C, 18-24시간 배양한 다음 균주 배양액의 농도를 McFarland No. 0.5로 희석 조정하였다.

각 희석된 균액은 미리 1% 농도가 되도록 NaCl를 첨가한 두께 4 mm의 Muller Hinton Agar (Merck, Germany) 평판에 도말하고, 5분간 방치한 후 항균제 디스크(Φ 8 mm)를 평판에 고착시켰다. 항균제는 Ampicillin (10 µg; AM), cefazolin (30 µg; CZ), cephalothin (30 µg; CF), gentamicin (10 µg; GM), streptomycin (10 µg; S), amikacin (30 µg; AN), amoxicillin/clavulanic acid (20 µg/10 µg; AMC), cefepime (30 µg; FEP), cefotetan (30 µg; CTT), nalidixic acid (30 µg; NA), pipemidic acid (20 µg; PIP), trimethoprim (5 µg; TMP), aztreonam (30 µg; ATM), ceftazidime (30 µg; CAZ), rifampin (5 µg; RA), chloramphenicol (30 µg; C), tetracycline (30 µg; TE), cefoxitin (30 µg; FOX), cefotaxime (30 µg; CTX), ciprofloxacin (5 µg; CIP), imipenem (10 µg; IPM), trimethoprim/sulfamethoxazole (1.25 µg/23.75 µg; SXT) 등 22종으로 OXOID사 제품을 사용하였으며, 미국 CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute, 2012)의 정도 관리 허용기준(Quality control range)에 부합됨을 확인한 후 분리한 대장균에 대한 항균제 감수성 시험을 실시하였다.

결과 및 고찰

굴, 멍게 및 해삼의 위생학적 성상

전국 연안해역에서 생산되는 수산물 중 충분한 가열 조리 과정 없이 주로 날 것으로 많이 섭취하고 있는 굴, 멍게 및 해삼의 위생학적 성상 확인을 위하여 2014년 1월부터 11월까지 영덕, 울진, 울산, 통영, 여수 및 군산 연안해역에서 채취 또는 구입한 멍게 34개, 해삼 25개, 굴 13개 시료를 대상으로 대장균군, 분변계대장균 및 대장균의 오염도를 조사하였으며, 그 결과를 Table 1에 나타내었다.

멍게 중의 대장균군 균수는 여수 시료에서 20-4,900 MPN/100 g으로 가장 높았고, 다음으로 영덕, 울진, 울산, 통영 순으로 나타났다. 분변계대장균은 영덕(<18-330 MPN/100 g), 여수(<18-230 MPN/100 g), 울산(<18-78 MPN/100 g), 울진(<18-20 MPN/100 g) 순으로 오염도가 확인되었으나, 대장균의 경우 EU의 패류 생산해역 위생기준인 A 등급(≤230 MPN/100 g) 기준을 초과하여 검출된 시료는 없었다(European Commission, 2004). 해삼은 여수 시료에서 대장균군, 분변계대장균 및 대장균 균수의 범위가 각각 <18-23,000 MPN/100 g, <18-3,300 MPN/100 g 및 <20-130 MPN/100 g으로 다른 지역의 해삼 중의 대장균군, 분변계대장균 및 대장균 균수 보다는 높게 검출되

었다. 울산 및 통영에서 채취한 굴에서의 대장균 균수는 우리나라의 생식용 생굴의 대장균 기준(≤230 MPN/100 g) 및 EU의 A 등급 해역 기준을 초과한 시료는 없었으며, 멍게 및 해삼보다 위생지표세균 균수가 낮은 것으로 나타났다. 이상의 결과, 굴, 멍게 및 해삼의 대장균 오염도는 매우 낮은 수준인 것으로 확인되었으며, EU의 패류 생산해역 위생기준과 비교해 볼 때 생식용으로 출하가 가능한 위생상태를 나타내었다.

한편, 패류(Bivalve molluscs), 피낭류(Tunicates) 등은 여과 섭식(filter-feeding) 과정을 통해 먹이를 섭취하는 수산물의 경우, 해수 중에 부유하는 세균들이 체내에 쉽게 축적하게 되고 (Grimes, 1991; Feldhusen, 2000; Lee et al., 2010), 패류 등이 서식하는 연안해역은 강우 발생 후 해역의 수질이 악화되었다

Table 2. Distribution of antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolates

Antimicrobial agents	Drug amount (µg) /disk	Diffusion zone break point (mm)	No. of resistant isolates (%)
Ampicillin (AM)	10	≤13	22 (84.6)
Cephazolin (CZ)	30	≤14	1 (3.8)
Cephalothin (CF)	30	≤14	1 (3.8)
Gentamicin (GM)	10	≤12	4 (15.4)
Streptomycin (S)	10	≤11	6 (23.1)
Amikacin (AN)	30	≤14	0 (0.0)
Amoxicillin/clavulanic acid (AMC)	20/10	≤13	0 (0.0)
Cefepime (FEP)	30	≤14	0 (0.0)
Cefotetan (CTT)	30	≤12	0 (0.0)
Nalidixic acid (NA)	30	≤13	9 (34.6)
Pipemidic acid (PIP)	20	≤17	7 (26.9)
Trimethoprim (TMP)	5	≤10	9 (34.6)
Aztreonam (ATM)	30	≤10	0 (0.0)
Ceftazidime (CAZ)	30	≤14	0 (0.0)
Rifampin (RA)	5	≤17	0 (0.0)
Chloramphenicol (C)	30	≤12	6 (23.1)
Tetracycline (TE)	30	≤14	8 (30.8)
Cefoxitin (FOX)	30	≤14	1 (3.8)
Cefotaxime (CTX)	30	≤14	0 (0.0)
Ciprofloxacin (CIP)	5	≤15	0 (0.0)
Imipenem (IPM)	10	≤13	2 (7.7)
Trimethoprim/Sulfamethoxazole (SXT)	1.25/23.75	≤10	6 (23.1)

는 연구결과가 있다(Park et al., 2012; Ha et al., 2013).

굴, 멩게 및 해삼은 국민들이 주로 날 것으로 즐겨먹는 수산물이며, 굴 및 멩게는 여과섭식, 해삼은 모래나 펄에 함유된 유기물을 섭취하는 방식으로 먹이를 섭취하는 특성이 있어 다른 수산물 보다는 체내에 세균이 축적되기가 용이하며, 또한 굴 및 멩게는 대부분 수하식 양식방법으로 생산되고, 해삼은 제한적이동만 하는 생활 특성이 있어 생산해역의 수질 악화시 직접적인 영향을 받을 수 있다.

따라서, 굴, 멩게 및 해삼의 지속적인 안전성 확보를 위해서는 수산물 생산해역 주변 육상오염원 관리를 통한 철저한 해역 위생관리가 필요하며, 수산물을 취급·판매하는 시설에서의 2차 오염 방지를 위해 사용 해수에 대한 살균처리 등 시설 위생관리도 필요할 것으로 사료된다.

대장균의 분리 및 항균제 내성 특성

굴, 멩게 및 해삼에서 검출된 대장균의 항균제 내성 특성을 파악하기 위해 굴 13개 시료, 멩게 34개 시료 및 해삼 25개 시료에서 *E. coli* 26균주를 분리하였으며, 분리된 *E. coli*에 대하여 22종의 항균제에 대한 내성을 조사하였고, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 항균제들 중 ampicillin (84.6%)에서 가장 높은 내성을 나타내었으며, trimethoprim (34.6%), nalidixic acid (34.6%), tetracycline (30.8%), pipemidic acid (26.9%), streptomycin (23.1%), chloramphenicol (23.1%), trimethoprim/sulfamethoxazole (23.1%), gentamicin (15.4%) 순으로 항균제 내성율이 높았다.

한편, imipenem, cephazolin, cephalothin, cefoxitin에 대해서

는 10% 이하의 내성율을 나타내었으나, amikacin, amoxicillin/clavulanic acid, cefepime, cefotetan, aztreonam, ceftazidime, rifampin, cefoxitin, cefotaxime, ciprofloxacin에 대해서는 모든 분리된 *E. coli* 균주에서 감수성인 것으로 확인되었다.

Park et al. (2013)은 남해안 굴, 바지락 및 피조개에서 분리한 *E. coli*의 ampicillin 내성율이 18.6%로 나타내었다고 보고한 연구 결과와 Jo et al. (2016) 서해안 굴, 바지락 및 가무락에서 분리된 대장균의 ampicillin 내성율이 37.2%로 조사된 연구결과보다 높은 ampicillin 내성율이 확인되었다. Lee et al. (2003)는 노랑진 수산시장에서 시판되는 어류, 패류 및 갑각류에서 분리한 대장균의 tetracycline 내성율이 37.5%로 본 연구에서 확인된 tetracycline 내성율(30.8%)과 비슷한 수준을 나타내었으나, streptomycin 및 nalidixic acid의 내성율은 각각 11.2% 및 5.4%으로 본 연구 결과의 nalidixic acid (34.6%) 및 streptomycin (30.8%) 내성율이 높게 나타났다. 이러한 항균제 내성율 결과 차이는 수산물 생산해역 주변 배수구역에 위치한 병원 및 가축사육시설의 분포, 마을에서 발생하는 오수의 처리 여부 등 생산해역으로 유입되는 오염물질 중에 함유되어 있는 대장균의 항균제 내성 차이에 기인한 것으로 사료된다.

Kwon et al. (2016)은 창선 해역의 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*) 양식장 및 육상오염원에서 분리한 대장균의 항생제 내성을 조사한 결과, Ampicillin 내성율은 지중해담치와 육상오염원에서 각각 76.4% 및 81.5%, tetracycline 내성율은 지중해담치와 육상오염원에서 각각 83.6% 및 96.7%으로 나타나 이동하기 어려운 지중해담치의 특성상 지중해담치에서 확인된 항생제 내성은 육상오염원의 영향으로 판단된다고 보고

Table 3. The antimicrobial resistance profiles of *Escherichia coli* isolates

No. of antimicrobials	Most frequent patterns ¹	No. of resistant isolates	Total (%)
0		3	11.5
1	AM	7	30.8
	TE	1	
2	AM, TE	1	26.9
	AM, NA	1	
	AM, TMP	3	
3	AM, IPM	2	7.7
	AM, NA, PIP	1	
	AM, NA, C	1	
8	AM, S, NA, PIP, TMP, C, TE, SXT	2	7.7
9	AM, GM, S, NA, PIP, TMP, C, TE, SXT	2	7.7
10	AM, CZ, CF, GM, S, NA, PIP, TMP, TE, SXT	1	7.7
	AM, GM, S, NA, PIP, TMP, C, TE, FOX, SXT	1	

¹AM, ampicillin; CZ, Cephazolin; CF, Cephalothin; GM, Gentamicin; S, Streptomycin; NA, Nalidixic acid; PIP, Pipemidic acid; TMP, Trimethoprim; C, Chloramphenicol; TE, Tetracycline; FOX, Cefoxitin; IPM, Imipenem; SXT, Trimethoprim/sulfamethoxazole.

하였다.

여러 개의 항균제에 내성을 가지는 다제내성균(multiple antimicrobial resistance bacteria, MARB)은 세계적인 문제로 대두되고 있다(Dennesen et al., 1998). 본 연구에서 4종 이상의 항균제에 내성을 나타내는 다제내성균은 6균주(23.1%)로 확인되었다(Table 3). Jo et al. (2016)는 서해안 굴, 바지락 및 가무락에서 분리된 대장균의 다제내성균의 비율은 15.9%로 나타났다고 보고하였고, Park et al. (2013)은 남해안 굴, 바지락 및 피조개에서 분리한 *E. coli* 중의 다제내성균의 비율은 14.2%이었다고 하였으며, Lee et al. (2003)는 노량진 수산시장에서 시판되는 어류, 패류 및 갑각류에서 분리된 *E. coli*에서 다제내성균의 검출율은 6.1%이었다고 보고한 연구 결과보다는 다소 높은 다제내성균 검출률을 나타내었으나, Kwon et al.(2016)은 지중해담치 및 육상오염원에서 분리한 *E. coli*에서 다제내성균의 검출률이 각각 91.0% 및 90.9%로 보고한 연구결과와 Son et al. (2009)은 넙치, 조피볼락, 참돔, 농어에서 분리한 *E. coli* 중의 다제내성균 검출률이 56.5%라고 보고한 연구결과보다는 낮았다.

한편, 항균제 내성균은 항균제 사용이 많은 병원, 가축사육장, 어류 양식장 등의 배출수에서 주로 분리되지만, 항균제 오염원이 없는 환경에서도 항균제 내성균이 분리된다(Mach et al., 1982; Sandas et al., 1992).

이상의 연구결과를 종합해 볼 때, 수산물에서 항균제 내성균과 다제내성균 검출을 저감화 하기 위해서는 어류양식장에서의 적절한 항균제 사용 등 오염용 방지 대책도 필요 할 뿐만 아니라 굴, 멍게 및 해삼 생산해역으로 유입되는 오염물질 중에 함유되어 있는 항균제 내성균 유입 저감화를 위해 병원 및 마을 오수, 축산폐수, 어류양식장 배출수 등에 대한 철저한 위생관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 2017년도 국립수산물품질관리원 수산과학연구소(R2017057)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Acar JF and Goldstein FW. 1991. Disk susceptibility test. In: antibiotics in laboratory medicine. Lorian V, ed. Williams & Wilkins, Baltimore, U.S.A., 17-52.
- CLSI 2012. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. CLSI document M100-S22. Clinical and Laboratory Standard Institute. Wayne, PA, U.S.A., 44-128.
- Dennesen PJ, Bonten MJ and Weinstein RA. 1998. Multiresistant bacteria as a hospital epidemic problem. *Ann Med* 30, 176-185.
- European Commission. 2004. Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific rules for the organization of official control on products of animal origin intended for human consumption. *Offici J Eur Uni L139*, 206-321.
- Feldhusen F. 2000. The role of seafood in bacterial foodborne disease. *Microbes Infect* 2, 1651-1660.
- Grimes DJ. 1991. Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries* 14, 345-360.
- Hill DD, Owens WE and Tchounwou PB. 2006. The impact of rainfall on fecal coliform bacteria in Bayou Dorcheat (North Louisiana). *Int J Environ Public Health* 3, 114-117. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph2006030013>.
- Jo MR, Park YS, Park K, Kwon JY, Yu HS, Song KC, Lee HJ, Oh EG, Kim JH, Lee TS and Kim PH. 2016. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli* Isolated from Shellfish Farms on the West Coast of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 13-19. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0013>.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). 2015. Food balance sheet. Retrieved from <http://www.krei.re.kr/web/eng/home> on Sep 5, 2017.
- Kwon SJ, Lee KJ, Jung YJ, Park SG, Go KR, Yang JH and Mok JS. 2016. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolates from mussel *Mytilus galloprovincialis* farms and inland pollution sources in the Changseon area, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 564-572. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0564>.
- Lee JI, Han GY and Park HH. 2003. Characteristics and antibiotics susceptibility of *Escherichia coli* isolated from fishery products. *Korean J Food Nutr* 16, 111-115.
- Lee TS, Oh EG, Yu HD, Ha KS, Yu HS, Byun HS and Kim JH. 2010. Impact of rainfall events on the bacteriological water quality of the shellfish growing area in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 406-414. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.406>.
- Levin BR, Lipsitch M, Perrot V, Schrag S, Antia R, Simonsen L, Walker NM and Stewart FM. 1997. The population genetics of antibiotic resistance. *Clin Infect Dis* 24, 9-16.
- Mach PA and Grimes DJ. 1982. R-plasmid transfer in a wastewater treatment plant. *Appl Environ Microbiol* 44, 1395-1403.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2015. Major statistics of oceans and fisheries. *Oceans and fisheries report*, 1-510.
- Park K, Jo MR, Lee HJ, Kwon JY, Son KT and Lee TS. 2011. Evaluation of the effect of the discharged water from Bong stream after events on the bacteriological water quality in Gangjinman, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 44, 622-629. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2011.0622>.
- Park K, Jo MR, Kim YK, Lee HJ, Kwon JY, Son KT and Lee TS. 2012. Evaluation of the effects of the inland pollution sources after rainfall events on the bacteriological water quality in Narodo area, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 45, 414-422. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0414>.
- Park K, Park JY, Jo MR, Yu HS, Lee HJ, Kim JH, Oh EG, Shin

- SB Kim YK and Lee TS. 2013. Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolated from shellfish farms in the southern coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 46, 528-533. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0528>.
- Sandas RA, Torsvik VL and Goksayr J. 1992. Transferable drug resistance in bacteria from fish-farm sediments. Canadian J Microbiol 38, 1061-1065.
- Son KT, Oh EG, Park K, Kwon JY, Lee HJ, Lee TS and Kim JH. 2009. Antimicrobial susceptibility of *Escherichia coli* isolated from fish farms on the southern coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 322-328. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2009.0322>.
- Song SW, Jung SC, Kim SI, Jung ME, Kim KH, Lee JY, Lim SK, Lee YJ, Cho NI, Park JM and Park YH. 2004. Surveillance of antimicrobial susceptibility of bacteria isolated from slaughterhouse in Korea, 2003. 1. Antimicrobial susceptibility of *E. coli* isolated from carcasses in slaughterhouse. Kor J Vet Publ Hlth 25, 215-221.
- Ha KS, Yoo HD, Shim KB, Kim JH, Lee TS, Kim PH, Lee HJ and Yu HS. 2013. The effects of inland pollution sources around the port of Jeokyang and Jangpo after rainfall events on bacteriological water quality in the Changseon area, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 46, 106-167. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0160>.