

2018–2019년 남해안 어류양식장에서 분리한 대장균(*Escherichia coli*)의 항생제 내성 특성 및 비교

박큰바위* · 정연중¹ · 유홍식¹ · 조미라¹ · 정연겸² · 손광태³ · 목종수¹

국립수산과학원 남해수산연구소 양식산업과, ¹국립수산과학원 식품위생가공과, ²국립수산과학원 서해수산연구소 양식산업과, ³국립수산과학원 동해수산연구소 양식산업과

Characteristics and Comparison of Antimicrobial Resistance Patterns of *Escherichia coli* Isolated from Fish Farms in the South Coast of Korea in 2018-2019

Kunbawui Park*, Yeoun Joong Jung¹, Hong Sik Yu¹, Mi Ra Jo¹, Yeon Gyeom Jeong², Kwang Tae Son³ and Jong Soo Mok¹

South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Republic of Korea

¹Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

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

³East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25522, Republic of Korea

Antimicrobial resistance patterns of *Escherichia coli* strains isolated from 30 seawater samples and 30 Korean rockfish *Sebastes schlegelii* collected from fish farms off the South Coast of Korea in 2018–2019, were investigated. The isolated *E. coli* (154 strains) showed the highest antimicrobial resistance to tetracycline (44.8%) followed by chloramphenicol (38.3%), streptomycin (37.6%), and trimethoprim/sulfamethoxazole (35.7%). The antimicrobial resistance rate was higher in *E. coli* strains isolated from Korean rockfish than those from seawater. Multiple antibiotic resistance (MAR) against at least three antimicrobials (MAR index: ≥ 0.2) was observed in 35.6% and 79.2% of the seawater and Korean rockfish isolates, respectively. In conclusion, continuous monitoring is required to identify changes in antimicrobial resistance and their correlations in the aquatic environment and products.

Keywords: Aquatic fish farm, *Escherichia coli*, Minimum inhibitory concentrations, Multiple antimicrobial resistance

서론

항생제는 사람뿐만 아니라 동물의 질병을 치료·예방하기 위해 1940년대부터 지속적으로 사용해 오고 있으며, 질병관리청에 따르면 2019년 국내 인체 항생제 사용량이 26.51 DID (Defined daily dose/1,000명/일)로 경제협력개발기구 회원국 중 그리스(34.1 DID)와 튀르키예(31.9 DID)에 이어 세번째로 항생제 사용량이 많은 것으로 나타났다. 또한, 축·수산물 항생제 판매량도 2017년 1,003톤, 2018년 960톤으로 축·수산물을 생산하기 위해 항생제는 꾸준히 사용되고 있다(MFDS, 2019). 항생제의 지속적인 사용은 항생제 내성이라는 공중 보건 이슈로

질병 치료의 어려움을 가중시킬 뿐만 아니라 축·수산 분야의 항생제 내성을 직·간접적으로 사람 및 환경에 전파될 수 있어 국가 차원의 항생제 내성 모니터링 중요성이 대두되고 있다(Moura et al., 2014; WHO, 2014; Kotlarska et al., 2015). 연안해역에 위치한 어류양식장은 생활하수, 축산농가의 폐수, 하천 등 육상 오염원과 인접한 곳에 위치하여 수산물 생산해역으로 유입되는 각종 오염물질의 영향을 쉽게 받을 수 있으며, 양식산 어류는 양식장의 그물 안에서 서식하기 때문에 다른 해역으로 이동을 할 수 없어 육상오염원의 방출수에 함유된 장내세균 등 다양한 세균의 영향에 노출될 수 있다. 대장균(*Escherichia coli*)은 인간과 가축 등 동물의 장내세균으로 패류 생산해역의 등급 분류

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 690. 8993 Fax: +82. 61. 685. 9073

E-mail address: pkbwt@korea.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.2023.0188>

Korean J Fish Aquat Sci 56(2), 188-195, April 2023

Received 5 March 2023; Revised 13 March 2023; Accepted 22 March 2023

저자 직위: 박큰바위(연구사), 정연중(연구사), 유홍식(연구관), 조미라(연구관), 정연겸(연구사), 손광태(과장), 목종수(과장)

와 수산물의 안전성을 평가하는 위생지표세균으로 사용될 뿐만 아니라 항생제 내성균 연구 등에도 활용되고 있다(Levin et al., 1997; European Commission, 2019). 육상 기인 항생제 내성균이 육상오염원의 방출수에 함유되어 해역으로 직접 유입될 경우 수산환경 및 수산물에서의 내성균 확산에도 영향을 미칠 우려가 있으며, 육상오염원이 패류양식장에서의 항생제 내성균의 내성 양상에 미치는 영향 등에 대해서는 다양한 연구가 수행되어 왔다(Park et al., 2013, 2018; Kwon et al., 2016, 2018, 2019). 2020년 우리나라 1인당 수산물 소비량은 수생동물(연간 41.3 kg)과 해조류(연간 27.1 kg)를 포함해 연간 68.4 kg으로 추산되며(KREI, 2022), 조피볼락(Korean rockfish *Sebastes schlegelii*)은 우리나라 연안에 위치한 해상가두리(어류양식장)에서 가장 많이 양식되는 어류 품종이며, 소비자들은 주로 회 등 날 것으로 많이 섭취하고 있다. 따라서 어류양식장에서의 항생제 내성과 어류의 안전성은 중요한 공중 보건 문제이다. 본 연구에서는 수산환경과 수산물에서 분리된 항생제 내성균에 대한 연구와 모니터링 결과를 토대로 수산용 항생제 사용 관리 등 항생제 내성균 저감 정책 결정에 기초자료로 제공하고자 어류양식장의 해수 및 조피볼락으로부터 대장균을 분리하고, 항생제

내성 패턴을 조사하였다.

재료 및 방법

시료 채취

남해안에서 위치한 어류양식장에서 분리된 대장균의 항생제 내성 조사 및 패턴을 비교하기 위하여 경상남도 거제시(A) 및 전라남도 여수시(B) 연안해역에 주로 분포하고 있는 조피볼락(*S. schlegelii*) 양식장을 각 1개소를 선정하여 조피볼락 및 해수 시료를 채취하였고, 채취 지점은 Fig. 1에 나타내었다.

조피볼락 양식장에서 시료 채취는 2018년에는 8회, 2019년에는 7회 실시하였다. 조피볼락 시료는 멸균 비닐백(whirl-pak bags; Nasco International Inc., Janesville, WI, USA)에 담았고, 해수 시료는 조피볼락 양식장에서 멸균된 비이커로 채수하여 멸균 채수병(1 L)에 옮겨 담아 10°C 이하로 유지하면서 실험실로 운반한 후 실험에 사용하였다.

대장균(*Escherichia coli*)의 분리 및 동정

대장균 분리는 The recommended procedures for the exami-

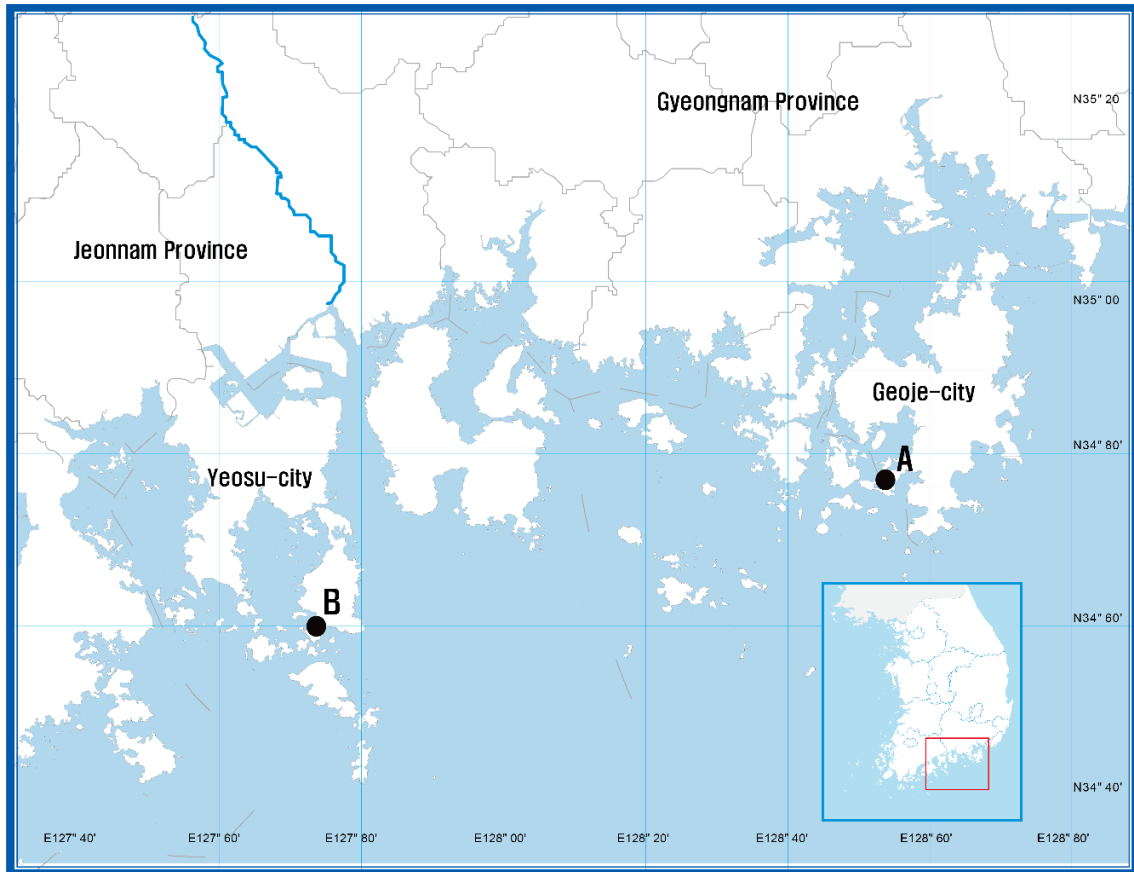


Fig. 1. Sampling stations of seawater and Korean rockfish *Sebastes schlegelii* of aquatic fish farms in the south coast of Korea.

nation of seawater and shellfish을 일부 변형하여 사용하였다 (APHA, 1970). 조피볼락은 표면을 세척하고 아가미와 내장만을 취한 후 동일한 양의 인산완충용액(phosphate buffer solution)을 첨가 및 균질화 하여 시험에 사용하였다. 균질화한 조피볼락과 해수 시료는 10 mL의 lauryl tryptose broth (LTB; Difco, Detroit, MI, USA)에 접종하고 배양한(35±0.5°C, 48시간) 후, 가스가 생성된 양성 시험관의 배양액은 멸균 일회용 loop (10 µL)로 10 mL의 EC broth (EC; Difco)에 접종 후 배양하였다(44.5±0.2°C, 24시간). 대장균을 분리하기 위하여 가스 생성이 확인된 EC broth는 tryptone bile X-glucuronide agar (TBX; Oxoid, Basingstoke, UK) 평판에 streak하여 배양(44±1°C에서 22±2시간) 후 대장균으로 추정되는 청색 또는 청녹색의 집락을 선택하여 VITEK2 system (BioMerieux, Marcy, France)으로 동정하였다.

대장균(*Escherichia coli*)의 항생제 내성 시험

조피볼락 및 해수에서 분리된 대장균의 항생제 내성 시험은 국가 항생제 사용 및 내성 모니터링(MFDS, 2019)의 방법에 따라 15종의 항생제가 농도별로 포함되어 있는 KRN5F panel (Sensititre, East Grinstead, UK)를 주문 제작하여 최소억제농도범(minimum inhibitory concentrations, MICs)으로 시험하였고, 시험에 사용한 항생제는 Table 1에 나타내었다. 먼저, tryptic soy agar (TSA; Merck, Billerica, Germany)에서 배양한 각 균주를 3 mL 멸균증류수에 현탁하여 0.5 McFarland로 조정된 후 cation adjusted muller hinton broth (Sensititre,

Lenexa, KS, USA) 11 mL에 10 µL씩 접종하여 균질화하였다. Cation adjusted muller hinton broth에 접종된 균액을 KRN-V5F panel의 각 well마다 50 µL씩 분주하여 35±0.5°C에서 18–24시간동안 배양한 후 Optiread (Sensititre, East Grinstead, UK)로 판독하여 완전히 균의 증식이 억제된 가장 낮은 농도를 최소억제농도로 판정하였다. 판정된 최소억제농도를 항생제 내성기준(breakpoints)과 비교하여 내성 및 감수성을 결정하였다(Table 1).

다제내성(Multiple Antimicrobial Resistance) 지수(Index)의 결정

항생제로 인한 환경오염 정도를 반영하여 항생제 사용에 따른 잠재적인 건강위해도 평가에서 사용되는 MAR index는 분리된 대장균이 내성을 나타낸 항생제의 수(A)를 본 연구에 사용된 총 항생제 수(B)로 나누어 결정하였다(Rotchell D and Paul D, 2016). 계산식은 다음과 같다.

$$\text{MAR index} = A/B$$

결과 및 고찰

대장균의 분리 현황 및 항생제 종류별 내성

2018년과 2019년에 조피볼락(*S. schlegelii*) 양식장에서 채취한 해수 및 조피볼락에 대한 대장균 분리 결과를 Table 2에 나타내었다. 해수의 경우, 30개 시료에서 101균주가 분리되었으며, 지역별로 살펴보면 거제에서 53균주, 여수에서 48균주가 분리되었다. 조피볼락은 여수에서만 53균주가 분리되었다. 조피볼락 양식장에서 분리된 대장균 총 154균주의 항생제 내성을 조사하기 위하여 각 분리 균주별로 총 15종의 항생제에 대한 MICs를 판정하였고, 항생제 내성 결과를 Table 3에 나타내었다.

해수 및 조피볼락에서 분리된 대장균(총 154균주)의 항생제 내성률은 tetracycline (44.8%)이 가장 높았고, chloramphenicol (38.3%), streptomycin (37.7%), trimethoprim/sulfamethoxazole (35.7%) 순으로 높은 항생제 내성률을 보였으며, 시료별 내성률은 해수(총 101균주)에서는 amoxicillin/clavulanic acid (31.7%), tetracycline (26.7%), cefepime (24.8%),

Table 1. Types of antimicrobials and breakpoints used in MIC test

Antimicrobial agents	Range tested (µg/mL)	Breakpoints (µg/mL)
Amoxicillin/Clavulanic acid (AmC)	2/1–32/16	≥32/16 ¹
Ampicillin (AMP)	2–64	≥32 ¹
Cefepime (FEP)	0.25–16	≥16 ¹
Cefoxitin (FOX)	1–32	≥32 ¹
Ceftazidime (CAZ)	1–16	≥16 ¹
Ceftiofur (XNL)	0.5–8	≥8 ²
Chloramphenicol (CHL)	2–64	≥32 ¹
Ciprofloxacin (CIP)	0.12–16	≥1 ¹
Colistin (COL)	2–16	≥4 ³
Gentamicin (GEN)	1–64	≥16 ¹
Meropenem (MEM)	0.25–4	≥4 ¹
Nalidixic acid (NAL)	2–128	≥32 ¹
Streptomycin (STR)	16–128	≥32 ²
Tetracycline (TET)	2–128	≥16 ¹
Trimethoprim/Sulfamethoxazole (SXT)	0.12/2.38–4/76	≥4/76 ¹

¹CLSI (2019). ²NARMS (2014). ³EUCAST (2019). MIC, Minimum inhibitory concentrations.

Table 2. Number of *Escherichia coli* isolated from seawater and Korean rockfish *Sebastes schlegelii* of aquatic fish farms

Samples	No. of Samples		No. of isolates strains	
	Geoje	Yeosu	Geoje	Yeosu
Seawater	15	15	53	48
Korean rockfish	15	15	0	53
Total	30	30	53	101

colistin (24.8%) 순으로 항생제 내성률이 높았고, 조피볼락 (총 53균주)에서는 tetracycline (79.2%), chloramphenicol (69.8%), trimethoprim/sulfamethoxazole (66.0%), ciprofloxacin (56.6%) 순으로 항생제 내성률이 높아 시료에 따라 분리된 대장균의 항생제 내성 경향이 달랐다.

한편, 여수 해수에서 분리된 대장균(48균주)의 항생제 내성률은 amoxicillin/clavulanic acid (52.1%), colistin (45.8%), ampicillin (37.5%), cefepime (37.5%), tetracycline (37.5%), ciprofloxacin (31.3%) 순으로 항생제 내성률이 높았으나, 거제 해수에서 분리된 대장균(53균주)에서는 tetracycline (17.0%), chloramphenicol (15.1%), streptomycin (15.1%), amoxicillin/clavulanic acid (13.2%), ampicillin (13.2%), cefepime (13.2%) 순으로 항생제 내성률이 나타나, 지역에 따라 해수에서 분리된 대장균의 항생제 내성 경향은 다소 차이가 있었다.

Son et al. (2009)은 남해안 어류 양식장(넙치 등)에서 분리된 대장균의 항생제 내성을 조사한 결과, tetracycline (74.1%) 및 같은 계열의 doxycycline (66.5%)에서 내성률이 높았다고 보고하였으며, Park et al. (2013)은 여수 가막만 해역의 굴에서 분리된 대장균은 streptomycin (90.0%)과 rifampin (10.0%)에 대해서만 내성을 나타내었다고, Jeong et al. (2021)은 서해안 조피볼락에서 분리된 대장균의 tetracycline 및 trimethoprim/sulfamethoxazole 내성률이 공히 89.5%로 보고하였고, 국가

항생제 사용 및 내성 모니터링(MFDS, 2019) 조사결과, 돼지 유래 대장균의 내성률은 chloramphenicol (74.8%)이 가장 높았고, streptomycin (71.2%), ampicillin (69.8%), tetracycline (68.3%) 순으로 내성률이 높았다고 보고하였다.

본 연구에서 분리된 대장균(154균주) 중 91균주(59.1%)만 항생제 내성을 나타내었으나, Son et al. (2009)은 거제 및 여수 지역의 양식어류 및 해수에서 분리된 대장균(120균주) 중 111균주(92.5%)가 1종 이상의 항생제에 내성을 가지고 있다고 보고하고 있어 본 연구와는 차이가 있었다.

한편, 본 연구에서 대장균은 6월(47.4%)에 가장 많이 분리되었고, 다음으로 7월(14.3%), 5월(13.0%), 9월(13.0%)순이었으며, 내성균은 6월(41균주)에 가장 많이 분리되었고, 5월 (20균주)에 분리된 대장균은 모두 항생제에 내성을 가지고 있었다 (Table 4). 이상의 결과로 볼 때, 시료의 종류와 채취 지역에 따라 항생제 내성률의 결과 차이는 어류양식장 주변에 위치한 가축사육장 등 항생제 사용빈도가 많은 시설에서의 폐수 등 해역으로 유입되는 육상오염원 종류와 수산 환경에서의 항생제 노출 정도 등에 기인하는 것으로 사료된다(Ferreira et al., 2007; Reinthaler et al., 2010; Roh et al., 2018). 또한, 2019년 수산물 항생제 판매량(242,013 kg) 중 oxytetracycline이 28.9% (69,889 kg)로 판매량이 가장 많았으며(MFDS, 2019), 이는 조피볼락에서 분리된 대장균의 tetracycline 내성률에 부분적으로

Table 3. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from seawater and Korean rockfish *Sebastes schlegelii* of aquatic fish farms

Antimicrobial agents	No. of resistant isolates (%)				Total (%)
	Seawater		Sub total (%)	Korean rockfish	
	Geoje	Yeosu		Yeosu	
<i>E. coli</i> (n=53)	<i>E. coli</i> (n=48)		<i>E. coli</i> (n=53)		
AmC	7 (13.2)	25 (52.1)	32 (31.7)	9 (17.0)	41 (26.6)
AMP	7 (13.2)	18 (37.5)	25 (24.8)	11 (20.8)	36 (23.4)
FEP	2 (3.8)	10 (20.8)	12 (11.9)	16 (30.2)	28 (18.2)
FOX	7 (13.2)	18 (37.5)	25 (24.8)	18 (34.0)	43 (27.9)
CAZ	3 (5.7)	11 (22.9)	14 (13.9)	15 (28.3)	29 (18.8)
XNL	2 (3.8)	10 (20.8)	12 (11.9)	16 (30.2)	28 (18.2)
CHL	8 (15.1)	14 (29.2)	22 (21.8)	37 (69.8)	59 (38.3)
CIP	5 (9.4)	15 (31.3)	20 (19.8)	30 (56.6)	50 (32.5)
COL	3 (5.7)	22 (45.8)	25 (24.8)	16 (30.2)	41 (26.6)
GEN	2 (3.8)	10 (20.8)	12 (11.9)	17 (32.1)	29 (18.8)
MEM	0 (0.0)	1 (2.1)	1 (1.0)	3 (5.7)	4 (2.6)
NAL	3 (5.7)	7 (14.6)	10 (9.9)	14 (26.4)	24 (15.6)
STR	8 (15.1)	13 (27.1)	21 (20.8)	37 (69.8)	58 (37.7)
TET	9 (17.0)	18 (37.5)	27 (26.7)	42 (79.2)	69 (44.8)
SXT	5 (9.4)	15 (31.3)	20 (19.8)	35 (66.0)	55 (35.7)

AmC, Amoxicillin/Clavulanic acid; AMP, Ampicillin; FEP, Cefepime; FOX, Cefoxitin; CAZ, Ceftazidime; XNL, Ceftiofur; CHL, Chloramphenicol; CIP, Ciprofloxacin; COL, Colistin; GEN, Gentamicin; MEM, Meropenem; NAL, Nalidixic acid; STR, Streptomycin; TET, Tetracycline; SXT, Trimethoprim/Sulfamethoxazole.

만 영향을 미쳤을 것으로 추정된다.

따라서, 수산 환경 및 양식장에서의 항생제 내성균 관리를 위해서는 해역으로 유입되는 육상오염원 방출수에 대한 적절한 관리 방안 마련과 더불어 수산용 항생제의 오·남용을 예방하기

위한 항생제의 사용 관리가 필요할 것으로 여겨진다.

대장균의 항생제 내성 패턴

다양한 항생제의 오·남용으로 인한 다제내성균(multiple antimicrobial resistance bacteria, MARB) 증가 문제는 질병 치료를 어렵게 만들고 공중보건에 있어 큰 위협이 된다(WHO, 2014; Lee et al., 2019). 이에 분리된 대장균의 내성 및 MAR 특성을 Table 5 및 Table 6에 나타내었다.

해수에서 분리된 대장균 중 모든 항생제에 감수성을 나타내는 균주는 54균주(53.5%)이었으며, MAR index가 0.2 이상으로 나타난 균주는 36균주(35.6%)로 이중 3개의 항생제에 내성을 가진 균주가 13균주(12.9%)로 가장 많았고, 10개 이상의 항생제에 내성을 가진 균주도 13균주(12.9%)이었으며, 그 중 10균주는 가장 많은 항생제(13개)에 내성을 가지고 있었다.

한편, 조피볼락에서 분리된 대장균 중 모든 항생제에 감수성을 나타낸 균주는 9균주(17.0%)에 불과하였고, 42균주(79.2%)가 0.2 이상의 MAR index를 나타내었으며, 11개 이상의 항생제에 내성을 가진 균주도 14균주(26.4%)로 그 중 1균주는 14개 항생제에 내성을 나타내었고, MARB 비율도 해수에서 분리된

Table 4. Monthly antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from seawater and Korean rockfish *Sebastes schlegelii* of aquatic fish farms

Monthly	No. of isolates strains (%)	No. of resistant isolates (%)
4	0 (0.0)	0 (0.0)
5	20 (13.0)	20 (100.0)
6	73 (47.4)	41 (56.2)
7	22 (14.3)	8 (36.4)
8	9 (5.8)	1 (11.1)
9	20 (13.0)	14 (70.0)
10	0 (0.0)	0 (0.0)
11	10 (6.5)	7 (70.0)
Total	154	91 (59.1)

Table 5. Multiple antimicrobial resistance (MAR) of *Escherichia coli* isolated from seawater of aquatic fish farms

No. of antimicrobials	Resistance patterns	No. of isolates	Total (%)	MAR index
0		54	53.5	0.00
1	COL	1	1.0	0.06
	TET	3	3.0	
	SXT	1	1.0	
2	AmC, COL	5	5.0	0.13
	COL, TET	1	1.0	
3	AmC, AMP, COL	9	8.9	0.20
	AmC, FOX, COL	1	1.0	
4	CHL, STR, TET	3	3.0	0.26
	AmC, AMP, FOX, COL	2	2.0	
6	FEP, CAZ, XNL, COL	1	1.0	0.40
	CHL, CIP, NAL, STR, TET, SXT	3	3.0	
7	AMP, CHL, CIP, COL, NAL, TET, SXT	1	1.0	0.46
	AmC, FOX, CHL, CIP, NAL, STR, TET, SXT	2	2.0	
8	FEP, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, NAL, TET	1	1.0	0.60
	AmC, AMP, FOX, CHL, CIP, COL, NAL, STR, TET, SXT	2	2.0	
9	AmC, AMP, CHL, CIP, COL, GEN, NAL, STR, TET, SXT	1	1.0	0.66
	AmC, AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, STR, TET, SXT	9	8.9	
10	AmC, AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, STR, TET, SXT	1	1.0	0.86
	AmC, AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, MEM, STR, TET, SXT	1	1.0	
Total		101	100.0	

AmC, Amoxicillin/Clavulanic acid; AMP, Ampicillin; FEP, Cefepime; FOX, Cefoxitin; CAZ, Ceftazidime; XNL, Ceftiofur; CHL, Chloramphenicol; CIP, Ciprofloxacin; COL, Colistin; GEN, Gentamicin; MEM, Meropenem; NAL, Nalidixic acid; STR, Streptomycin; TET, Tetracycline; SXT, Trimethoprim/Sulfamethoxazole.

대장균보다 다소 높았다. MAR index는 항생제에 의한 환경오염의 정도를 반영하여 항생제 사용에 따른 잠재적인 건강 위험도 평가에 사용되며 MAR index가 0.2보다 크다는 것은 항생제 오염에 대한 위험이 존재한다는 것을 의미하기 때문에 항생제에 직접적으로 노출되는 조피볼락이 해수보다는 항생제 오염에 대한 위험이 큰 것으로 사료된다(Krumperman, 1983; Titilawo et al., 2015).

Jeong et al. (2021)은 서해안 어류에서 분리한 대장균 중 27 균주(73.0%)가 MAR index가 0.2 이상이었고, 그 중 조피볼락에서 분리한 1균주는 15개의 항생제에 대해 내성을 가져 MAR index가 0.94로 가장 높았다고 보고하였다. Chitanand et al. (2010)은 수생환경에서 분리한 대장균의 다제내성률이 40.4%로 검출되었고, 시료 채취지점마다 도시화 정도의 차이로 인하여 MAR index가 달라질 수 있다고 보고하였다.

한편, colistin 및 tetracycline에 내성을 가진 대장균은 해수

및 조피볼락에서 각각 1균주씩 분리되었고, chloramphenicol, streptomycin 및 tetracycline에 내성을 가진 대장균은 해수 및 조피볼락에서 각각 3균주 및 4균주가 분리되었고, ampicillin, chloramphenicol, ciprofloxacin, colistin, nalidixic acid, tetracycline 및 tetracycline에 내성을 가진 대장균은 해수 및 조피볼락에서 각각 1균주 및 11균주가 분리되었으며, amoxicillin/clavulanic acid, ampicillin, cefepime, cefoxitin, ceftazidime, ceftiofur, chloramphenicol, ciprofloxacin, colistin, gentamicin, streptomycin, tetracycline, trimethoprim/sulfamethoxazole에 내성을 가진 대장균은 해수 및 조피볼락에서 각각 9균주 및 7균주가 분리되었다.

이상의 결과, 수산환경과 수산식품에서의 항생제 내성은 직·간접적으로 상호 전파될 것으로 여겨지며, 수산환경에 존재하는 동종 또는 이종 세균 간에 integron, plasmid 및 transposon과 같은 이동성 내성인자(mobile element)가 수평적 전이(hori-

Table 6. Multiple antimicrobial resistance (MAR) of *Escherichia coli* isolated from Korean rockfish *Sebastes schlegelii* of aquatic fish farms

No. of antimicrobials	Resistance patterns	No. of isolates	Total (%)	MAR index
0		9	17.0	0.00
2	AMP, COL	1	1.9	0.13
	COL, TET	1	1.9	
3	CHL, STR, TET	4	7.5	0.20
	CHL, TET, SXT	1	1.9	
	COL, STR, TET	1	1.9	
4	FOX, COL, NAL, TET	1	1.9	0.26
	CHL, CIP, STR, TET	1	1.9	
5	CHL, STR, TET, SXT	2	3.8	0.33
	CHL, CIP, GEN, NAL, TET	1	1.9	
	CHL, COL, STR, TET, SXT	1	1.9	
6	CHL, CIP, STR, TET, SXT	1	1.9	0.40
	CHL, CIP, NAL, STR, TET, SXT	11	20.8	
7	AmC, AMP, FOX, CHL, COL, TET, SXT	1	1.9	0.46
	CHL, CIP, GEN, NAL, STR, TET, SXT	1	1.9	
8	FEP, FOX, XNL, CHL, COL, STR, TET, SXT	1	1.9	0.53
	FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, STR, SXT	1	1.9	
9	FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, STR, SXT	1	1.9	0.60
	FEP, FOX, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, STR, TET, SXT	4	7.5	
11	FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, STR, TET, SXT	1	1.9	0.73
	FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, MEM, STR, TET, SXT	1	1.9	
12	AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CIP, COL, GEN, MEM, STR, TET, SXT	1	1.9	0.80
13	AmC, AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, STR, TET, SXT	7	13.2	0.86
14	AmC, AMP, FEP, FOX, CAZ, XNL, CHL, CIP, COL, GEN, MEM, STR, TET, SXT	1	1.9	0.93
Total		53	100.0	

AmC, Amoxicillin/Clavulanic acid; AMP, Ampicillin; FEP, Cefepime; FOX, Cefoxitin; CAZ, Ceftazidime; XNL, Ceftiofur; CHL, Chloramphenicol; CIP, Ciprofloxacin; COL, Colistin; GEN, Gentamicin; MEM, Meropenem; NAL, Nalidixic acid; STR, Streptomycin; TET, Tetracycline; SXT, Trimethoprim/Sulfamethoxazole.

zontal transfer)를 통해 항생제 내성균 확산 또는 MARB 출현을 야기시킬 수 있을 것으로 사료된다(Moura et al., 2012; Moura et al., 2014; Kotlarska et al., 2015).

세계보건기구(World Health Organization)는 항생제 내성 관리를 위해서는 내성 모니터링의 중요성을 강조하고 있기 때문에 수산환경과 수산식품에서의 항생제 내성 변화 및 상관관계를 명확하게 파악하기 위해서는 체계적인 모니터링이 지속되어야 할 것으로 여겨지며, 육상오염원을 통해 어류 등 수산물이 생산되는 해역으로 항생제 내성균이 유입되는 것을 저감·차단하기 위한 육상오염원 관리 노력이 더욱 강화되어야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2023년도 국립수산물과학원 수산시험연구사업(R2023054)의 지원으로 수행된 연구입니다.

References

- APHA (American Public Health Association) 1970. Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish. 4th Ed. American Public Health Association, Washington D.C., U.S.A., 1-47.
- Chitanand MP, Kadam TA, Gyananath G, Totewad ND and Balhal DK. 2010. Multiple antibiotic resistance indexing of *coliforms* to identify high risk contamination sites in aquatic environment. *Indian J Microbiol* 50, 216-220. <https://doi.org/10.1007/s12088-010-0042-9>.
- CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2019. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing: M100 (29th Edition). Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), Wayne, PA, U.S.A.
- Da Silva MF, Vaz-Moreira I, Gonzalez-Pajuelo M, Nunes OC and Manaia CM. 2007. Antimicrobial resistance patterns in *Enterobacteriaceae* isolated from an urban wastewater treatment plant. *FEMS Microbiol Ecol* 60, 166-176. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2006.00268.x>.
- EUCAST (The European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing). 2019. Clinical Breakpoints and Dosing of Antibiotics. Retrieved from <http://www.eucast.org/> on Mar 3, 2023.
- European Commission. 2019. Commission implementing regulation (EU) 2019/627. European Commission Press, Brussels, Belgium, 1-50.
- Jeong YG, Park BM, Kim MJ, Park JI, Jung YJ and Oh EG. 2021. Comparison of antimicrobial resistance and multi-drug resistance patterns of *Escherichia coli* isolated from aquatic organisms off the west coast of south Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 388-396. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0388>.
- Kotlarska E, Luczkiewicz A, Pisowacka M and Burzynski A. 2015. Antibiotic resistance and prevalence of class 1 and 2 integrons in *Escherichia coli* isolated from two wastewater treatment plants, and their receiving waters (Gulf of Gdansk, Baltic Sea, Poland). *Environ Sci Pollut Res* 22, 2018-2030. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3474-7>.
- KREI (Korea Rural Economic Institute). (2022). 2020 Food Balance Sheet. KREI, Naju, Korea.
- Krumperman PH. 1983. Multiple antibiotic resistance indexing of *Escherichia coli* to identify high-risk sources of fecal contamination of foods. *Appl Environ Microbiol* 46, 165-170. <https://doi.org/10.1128/aem.46.1>.
- Kwon SJ, Jung YJ, Yoon HY, Mok JS and Kwon JY. 2018. Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolated from oyster *Crassostrea gigas* and inland pollution sources in the Yongnam-Gwang-do area, Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 673-681. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0673>.
- 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. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0564>.
- Kwon JY, Kwon SJ, Yang JH, Mok JS, Jeong SH, Ha KS, Lee HJ and Jung YJ. 2019. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from oysters *Crassostrea gigas* and major inland pollution sources in the Jaranman-Saryangdo area in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 605-616. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0605>.
- Kwon JY, Kwon SJ, Yang JH, Mok JS, Jeong SH, Ha KS, Lee HJ and Jung YJ. 2019. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* isolated from oysters *Crassostrea gigas* and major inland pollution sources in the Jaranman-Saryangdo area in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 52, 605-616. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0605>.
- Lee EJ, Park JH, Lee GW and Kim DS. 2019. The use of broad spectrum antibiotics and antibiotics to treat antimicrobial resistant bacteria. *Yakhak Hoeji* 63, 43-53. <https://doi.org/10.17480/psk.2019.63.1.43>
- 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, S9-16. https://doi.org/10.1093/clinids/24.Supplement_1.S9.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2019. Report of the National Antimicrobial Use and Resistance Monitoring - Animals, Meats and Fishery Products 2019. MFDS, Osong, Korea, 1-153.
- Moura A, Pereira C, Henriques I and Correia A. 2012. Novel gene cassettes and integrons in antibiotic-resistant bacteria isolated from urban wastewaters. *Res Microbiol* 163, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2011.10.010>.
- Moura A, Araujo S, Alves MS, Henriques I, Pereira A and Correia ACM. 2014. The contribution of *Escherichia coli* from human and animal sources to the integron gene pool

- in coastal waters. *Front Microbiol* 419, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00419>.
- 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. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2013.0528>.
- Park K, Kim SH, Ham IT, Ryu AR, Kwon JY, Kim JH, Yu HS, Lee HJ and Mok JS. 2018. Antimicrobial resistance patterns of *Escherichia coli* isolated from discharged water from inland pollution sources in the Hansan-Heojeman and Jaranman-Saryangdo area of Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 1-7. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0001>.
- Reinthal FF, Feierl G, Galler H, Haas D, Leitner E, Mascher F, Melkes A, Posch J, Winter I, Zarfel G and Marth E. 2010. ESBL-producing *E. coli* in Austrian sewage sludge. *Water Res* 44, 1981-1985. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.11.052>.
- Rochell D and Paul D. 2016. Multiple antibiotic resistance index, fitness and virulence potential in respiratory *Pseudomonas aeruginosa* from Jamaica. *J Med Microbiol* 65, 261-271. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.000229>.
- Roh HJ, Kim NE, Chun WK, Kim WK, Kim AR, Lee YH, Kim YJ, Hwang JY and Kim DH. 2018. Distribution of indicator bacteria in seawater off the coasts of Jeju Island and Pohang in 2017. *Korean J Fish Aquat Sci* 51, 697-703. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0697>.
- 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. <https://doi.org/10.5657/kfas.2009.42.4.322>.
- Titilawo Y, Sibanda T, Obi L and Okoh A. 2015. Multiple antibiotic resistance indexing of *Escherichia coli* to identify high-risk sources of fecal contamination of water. *Environ Sci Pollut Res* 22, 10969-10980. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3887-3>.
- WHO (World Health Organization). 2014. Antimicrobial Resistance: Global Report on Surveillance. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/112642> on Mar 3, 2023.