KFAS 한국수산과학회지 Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences
한수지 59(5), 575-587, 2026

Original Article
Korean J Fish Aquat Sci 59(5),575-587,2026

인천광역시 강화군 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*) 양식장에서 분리한 병원성 세균의 분포 현황 및 항생제 내성 연구

유수연 · 김지윤 · 이사라 · 김영주 · 손광태*

국립수산과학원 서해수산연구소

Distribution and Antibiotic Resistance of Pathogenic Bacteria from Whiteleg Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Farms in Ganghwa-gun, Korea

Suyeon Yoo, Ji Yoon Kim, Sara Lee, Youngju Kim and Kwang Tae Son*

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

Antimicrobial resistance in bacteria associated with aquaculture products is an increasing public health concern. This study investigated annual changes in the occurrence and resistance patterns of bacteria isolated from cultured whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and rearing water in Ganghwa-gun, Incheon, Korea from 2023 to 2025. A total of 410 isolates were recovered: 150 in 2023, 132 in 2024, and 128 in 2025. *Escherichia coli* accounted for 16, 30, and 24 isolates, with resistance rates (to at least one antimicrobial) of 6.3%, 26.7%, and 37.5% and multiple antibiotic resistance rates of 0%, 16.7%, and 37.5%, respectively. *Vibrio parahaemolyticus* accounted for 123, 88, and 98 isolates and showed consistently high resistance rates of 100%, 98.9%, and 99.0%, whereas multiple antibiotic resistance rates were 82.1%, 36.4%, and 61.2%, respectively. All *Enterococcus* spp. isolates recovered in 2023 and 2024 exhibited resistance and multiple antibiotic resistance (100%). Six *Staphylococcus aureus* isolates (2025) showed resistance and multiple antibiotic resistance rates of 83.3% each. These findings reveal species- and year-dependent differences in bacterial occurrence and resistance, with persistently high levels of multiple antibiotic resistance in several bacterial groups, underscoring the need for continuous surveillance and management of antimicrobial resistance in aquaculture environments and seafood products.

Keywords: Antimicrobial resistance, Aquaculture environment, Cultured shrimp, Ganghwa-gun, Multiple antibiotic resistance

서 론

항생제는 세균성 감염질환의 예방과 치료에 필수적으로 사용되는 의약품이지만, 지속적인 사용과 부적절한 투여는 항생제 내성균의 출현과 확산을 촉진하는 주요 원인으로 작용할 수 있다(Kwon et al., 2019). 항생제 내성으로 인해 기존 치료제가 효과를 나타내지 못하면 감염병의 치료가 어려워지고, 치료 기간의 연장과 의료비 증가뿐만 아니라 중증 질환 및 사망 위험의 증가로 이어질 수 있다. 이에 따라 항생제 내성은 인간, 동물 및 환경의 건강을 통합적으로 관리해야 하는 One Health 관점의 주요 공중보건 문제로 인식되고 있다. 최근 세계보건기구는 전 세계적으로 주요 병원성 세균의 항생제 내성이 지속적으로 증가하고 있음을 보고하며 체계적인 내성 감시와 항생제 사용 관리의 필요성을 강조하였다(WHO, 2025).

환경 중 항생제 내성균의 출현은 의료 및 축산 분야에서의 항생제 사용뿐만 아니라 생활하수, 축산폐수, 산업 배출수 및 농업 유출수 등 다양한 오염원과도 관련되어 있다. 사람이나 동물에게 투여된 항생제의 일부는 체내에서 완전히 대사되지 않은 상태로 배출될 수 있으며, 배출된 항생제와 항생제 내성균 및 항생제 내성 유전자는 하·폐수와 토양을 거쳐 하천, 연안 및 양식장 등의 수계환경으로 유입될 수 있다(Larsson and Flach, 2022). 수계환경에 잔류하는 낮은 농도의 항생제는 감수성 세균보다

***Corresponding author:** Tel: +82. 32. 745. 0750 Fax: +82. 32. 745. 0729
E-mail address: ktson@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.2026.0575
Korean J Fish Aquat Sci 59(5), 575-587, October 2026
Received 18 August 2026; **Revised** 15 October 2026; **Accepted** 15 October 2026
저자 직위: 유수연(연구원), 김지윤(연구사), 이사라(연구원), 김영주(연구사), 손광태(연구관)

내성 세균이 생존하기 유리한 선택압으로 작용할 수 있으며, 내성 유전자의 환경 내 유지와 확산에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 수계환경은 항생제 잔류물과 내성균 및 내성 유전자가 상호작용하는 중요한 매개 환경으로 평가되고 있다(Gullberg et al., 2011).

양식 환경은 수산생물, 사육수, 퇴적물 및 다양한 미생물이 지속적으로 접촉하는 개방된 생태계이기 때문에 항생제 내성균과 내성 유전자의 저장소 또는 전파 경로로 작용할 가능성이 있다(Watts et al., 2017). 특히 양식장 사육수와 퇴적물에 존재하는 세균은 항생제에 직접 또는 간접적으로 노출될 수 있으며, 플라스미드, 인테그론 및 전이인자와 같은 이동성 유전인자를 통해 내성 유전자를 다른 세균에 전달할 수 있다. 실제로 양식생물의 장내 미생물과 양식장 퇴적물에서 다양한 항생제 내성 유전자가 검출되었으며, 일부 내성 유전자가 플라스미드와 연관되어 있어 병원성 또는 기회감염성 세균으로 전달될 가능성이 제시된 바 있다(Watts et al., 2017; Larsson and Flach, 2022). 이러한 수평적 유전자 전달은 양식장 내 세균뿐만 아니라 주변 수계환경으로 내성 유전자가 확산되는 데에도 관여할 수 있다.

수산물과 양식 환경에서 분리되는 세균 가운데 *Escherichia coli, Vibrio parahaemolyticus, Enterococcus* spp. 및 *Staphylococcus aureus*는 식품위생과 공중보건 측면에서 중요하게 관리되는 균종이다. *E. coli*와 *Enterococcus* spp.는 분변 오염과 환경위생 상태를 평가하는 지표로 이용될 수 있으며, 일부 균주는 다양한 항생제에 대한 내성을 보유할 수 있다(Shin et al., 2023). *V. parahaemolyticus*는 해수와 수산물에서 빈번하게 검출되는 대표적인 수산물 매개 식중독 원인균으로, 오염된 수산물을 날것 또는 불충분하게 가열하여 섭취할 경우 위장관 질환을 일으킬 수 있다(Letchumanan et al., 2014). *S. aureus*는 사람과 동물의 피부 및 비강 등에 존재하며(Tong et al., 2015), 식품의 생산·가공·유통 과정에서 위생관리가 적절하지 않을 경우 식품을 오염시킬 수 있다. 이들 세균에서 항생제 내성 또는 다중 항생제 내성이 나타날 경우 수산물의 위생학적 안전성과 감염 치료 측면에서 잠재적인 위해 요인이 될 수 있다(Dai et al., 2023).

국내에서도 수산생물 및 양식 환경에서 분리된 병원성 미생물의 항생제 내성에 관한 연구가 수행되어 왔다(Jeong et al., 2021; Mok et al., 2021; Shin et al., 2023). 그러나 특정 지역에서 동일한 수산물과 사육수를 대상으로 여러 연도에 걸쳐 세균의 분리 현황과 항생제 내성 및 다중 항생제 내성 변화를 비교한 자료는 상대적으로 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 인천광역시 강화군 지역 양식 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*) 및 사육수에서 분리된 세균의 항생제 내성에 관한 기초자료를 확보하고자 하였다. 이를 위해 2023년부터 2025년까지 채취한 양식 새우와 사육수로부터 *E. coli, V. parahaemolyticus, Enterococcus* spp. 및 *S. aureus*를 분리·동정하고, 분리 균주의 항생제 감수성을 조사하였다. 또한 균종별 항생제 내성률과 다중 항생제 내성률을 연도별로 비교·분석함으로써 인천광역시 강화군 새우 양식 환경에서 분리되는 주요 세균의 항생제 내성 양상과 변화 특성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

조사 지점 및 시료 채취

본 연구는 2023년부터 2025년까지 인천광역시 강화군 지역에 위치한 새우 양식장 2개소를 대상으로 수행하였으며, 연 4회 시료를 채취하였다. 각 조사 시 양식 새우와 해당 양식장의 사육수를 함께 수집하였으며, 3년간 총 24회의 조사에서 새우 시료 24건(양식장당 12건)과 사육수 시료 24건(양식장당 12건)을 확보하여 실험에 사용하였다. 채취한 시료는 냉장 상태(10℃ 이하)가 유지되도록 아이스박스에 넣어 실험실로 운반하였으며, 채취 후 24시간 이내에 세균 분리 및 동정 실험에 사용하였다.

주요 세균의 분리 및 동정

채취한 새우 및 사육수 시료를 대상으로 *E. coli*, *V. parahaemolyticus*, *Enterococcus* spp. 및 *S. aureus*를 분리 및 동정하였다. 새우 시료는 멸균된 가위와 핀셋을 사용하여 20개체 이상의 머리 및 내장 부분을 취한 뒤 멸균된 블렌더를 사용하여 균질화하였다. 사육수 시료는 충분히 흔들어 혼합한 뒤 균종별 시험에 필요한 배지에 25 mL씩 취하여 사용하였다. 균종별 분리 시험은 American Public Health Association (APHA), International Organization for Standardization (ISO), 식품의약품안전처 식품공전 및 국가 항생제 사용 및 내성 모니터링에서 제시한 방법을 준용하여 수행하였다(ISO, 2001; Salfinger and Tortorello, 2015; MFDS, 2019a, 2019b).

*Escherichia coli*의 분리

*E. coli*는 APHA의 Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods 제5판 및 ISO 시험법을 준용하여 분리하였다(ISO, 2001; Salfinger and Tortorello, 2015). 새우 균질액 25 g 또는 사육수 25 mL를 EC medium broth (Oxoid Ltd., Basingstoke, UK) 225 mL에 첨가하고 44.5℃의 항온수조에서 18–24시간 증균하였다. 증균 배양액을 tryptone bile X-glucuronide agar (Oxoid Ltd.) 5장에 획선도말하고 44±1℃에서 18–24시간 배양하였다. 배양 후 β-glucuronidase 활성에 의해 청색 또는 청록색을 나타내는 집락을 선별하였다. 배지별로 2개씩 선별한 집락은 tryptone soy agar (TSA; Oxoid Ltd.)에 계대하여 37±1℃에서 18–24시간 배양한 후 순수 분리하였다.

*Vibrio parahaemolyticus*의 분리

*V. parahaemolyticus*는 식품의약품안전처 식품공전의 장염비브리오 시험법을 준용하여 분리하였다(MFDS, 2019a). 균질화한 새우 시료 25 g 또는 사육수 25 mL를 2% NaCl이 첨가된 alkaline peptone water (Oxoid Ltd.)에 첨가한 뒤 37±1℃에

서 18–24시간 증균 배양하였다. 증균 배양액을 CHROMagar Vibrio (CHROMagar, Paris, France) 5장에 획선도말하고 37±1°C에서 18–24시간 배양하였다. CHROMagar Vibrio에서 보라색을 나타내는 전형적인 집락을 *V. parahaemolyticus* 추정 집락으로 선별하였다. 배지별로 2개씩 선별한 집락은 2% NaCl이 첨가된 TSA (Oxoid Ltd.)에 계대하여 37±1°C에서 18–24시간 배양한 후 순수 분리하였다.

Enterococcus spp.의 분리

Enterococcus spp.는 국가 항생제 사용 및 내성 모니터링에서 제시한 지표세균 분리 방법을 준용하여 분리하였다(MFDS, 2019b). 새우 균질액 25 g 또는 사육수 25 mL를 6.5% NaCl이 첨가된 azide dextrose broth (Oxoid Ltd.)에 첨가한 뒤 37±1°C에서 44–48시간 증균 배양하였다. 증균 배양액을 Enterococcosel agar (Becton, Dickinson and Company, Franklin Lakes, NJ, USA) 5장에 획선도말하고 37±1°C에서 44–48시간 배양하였다. 배양 후 esculin 가수분해로 갈색 또는 흑색을 나타내는 집락을 *Enterococcus* spp. 추정 집락으로 선별하였다. 배지별로 2개씩 선별한 집락은 TSA (Oxoid Ltd.)에 계대하여 37±1°C에서 18–24시간 배양한 후 순수 분리하였다.

*Staphylococcus aureus*의 분리

*S. aureus*는 식품의약품안전처 식품공전의 황색포도상구균 시험법을 준용하여 분리하였다(MFDS, 2019a). 새우 균질액 25 g 또는 사육수 25 mL를 10% NaCl이 첨가된 tryptic soy broth (Oxoid Ltd.)에 첨가하였다. 접종한 증균배지는 37±1°C에서 18–24시간 배양하였다. 증균 배양액을 egg yolk tellurite emulsion이 첨가된 Baird-Parker agar (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) 5장에 획선도말하고 37±1°C에서 18–24시간 배양하였다. 배양 후 검은색 또는 회흑색을 나타내며 표면에 광택이 있는 전형적인 집락을 *S. aureus* 추정 집락으로 선별하였다. 배지별로 2개씩 선별한 집락은 TSA (Oxoid Ltd.)에 계대하여 37±1°C에서 18–24시간 배양한 후 순수 분리하였다.

분리 균주의 최종 동정

순수 분리된 균주의 최종 동정은 자동화 미생물 동정 시스템(VITEK 2; bioMérieux SA, Marcy-l'Étoile, France) 또는 matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS, MALDI Biotyper; Bruker Daltonics GmbH & Co. KG, Bremen, Germany)를 이용하여 수행하였다.

VITEK 2 시스템을 이용한 경우 그람음성균인 *E. coli*와 *V. parahaemolyticus*에는 GN identification card를 사용하였고, 그람양성균인 *Enterococcus* spp.와 *S. aureus*에는 GP identification card를 사용하였다. 각 균주는 제조사의 지침에 따라 균현탁액을 조제한 후 동정카드에 접종하였으며, 장비에서 제시된 동정 신뢰도에 따라 균종을 판정하였다.

MALDI-TOF MS를 이용한 경우에는 순수 배양된 단일 집락을 표적판에 도말하고 matrix 용액을 첨가한 후 질량 스펙트럼을 측정하였다. 측정된 스펙트럼은 장비에 내장된 데이터베이스와 비교하였으며, 제조사에서 제시한 판정기준에 따라 동정하였다.

최소억제농도 측정 및 항생제 감수성 판정

분리 및 동정된 *E. coli, V. parahaemolyticus, Enterococcus* spp. 및 *S. aureus*의 항생제 감수성은 식품의약품안전처의 '국가 항생제 사용 및 내성 모니터링 지침'을 준용하여 평가하였다(MFDS, 2019b).

최소억제농도(minimum inhibitory concentration, MIC)는 항생제가 농도별로 건조·고정된 Sensititre MIC panel (Thermo Fisher Scientific, East Grinstead, UK)을 이용하여 측정하였으며, 균종별로 서로 다른 MIC panel을 사용하였다. *E. coli*와 *V. parahaemolyticus*에는 KRNV6F panel (Thermo Fisher Scientific)을 사용하였으며(Table 1), *Enterococcus* spp.에는 KRVP2F panel (Thermo Fisher Scientific)을 사용하였다(Table 2). *S. aureus*에는 EUST2 panel (Thermo Fisher Scientific)을 사용하였다(Table 3).

최종 동정이 완료된 순수 집락 중 형태가 동일한 단일 집락을 취하여 2.5 mL 멸균증류수에 현탁하여 0.5 McFarland로 탁도를 조정하였다. 탁도를 조정한 현탁액 100 μL를 Sensititre cation-adjusted Mueller–Hinton broth with TES (Thermo Fisher Scientific) 11 mL에 첨가하고 vortex로 충분히 혼합한 뒤, Sensititre AIM automated inoculation delivery system (Thermo Fisher Scientific)을 이용하여 각 MIC panel의 well에 50 μL씩 분주하였다. 모든 panel은 37±1°C에서 18–24시간 배양하였으며, 배양이 완료된 panel은 Sensititre plate reader (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 판독하였다. 각 항생제의 MIC는 양성대조 well에서 정상적인 균 증식이 확인된 경우, 판독장비상 균 증식이 관찰되지 않은 가장 낮은 항생제 농도로 결정하였다.

항생제별 감수성은 균종별 MIC 판정기준에 따라 감수성(susceptible), 중간(intermediate) 및 내성(resistant)으로 구분하였다. 본 논문에서 다중 항생제 내성(multiple antibiotic resistance)은 서로 다른 3개 이상의 항생제에서 내성을 나타낸 경우로 정의하였다. 다중 항생제 내성률은 전체 분리 균주 중 다중 항생제 내성으로 판정된 균주의 비율로 산출하였다.

결과 및 고찰

주요 세균의 연도별 분리 현황

2023년부터 2025년까지 인천광역시 강화군 새우 양식장에서 채취한 새우 및 사육수 시료로부터 4개 균종에서 총 410균주를 분리하였다(Fig. 1, Table 4). 연도별 분리 균주 수는 2023년

Table 1. Types of antimicrobial agents and breakpoints used for minimum inhibitory concentration (KRNV6F)

Antimicrobial agents (abbreviation)	Range tested (μg/mL)	MIC breakpoint (μg/mL)			Reference
		R	I	S	
Amoxicillin/ clavulanic acid (AUG2)	2/1–32/16	≥32/ 16[1)]	16/8	≤8/4	CLSI
Ampicillin (AMP)	2–64	≥32[1)]	16	≤8	CLSI
Cefepime (FEP)	0.25–16	≥16[1)]	4–8	≤2	CLSI
Cefotaxime (CTX)	0.5–8	≥4[1)]	2	≤1	CLSI
Cefoxitin (FOX)	1–32	≥32[1)]	16	≤8	CLSI
Ceftazidime (CAZ)	1–16	≥16[1)]	8	≤4	CLSI
Chloramphenicol (CHL)	2–64	≥32[1)]	16	≤8	CLSI
Ciprofloxacin (CIP)	0.12–16	≥4[1)]	2	≤1	CLSI
Colistin (COL)	2–16	≥4[1)]	-	≤2	CLSI
Gentamicin (GEN)	1–64	≥16[1)]	8	≤4	CLSI
Meropenem (MEM)	0.25–4	≥4[1)]	2	≤1	CLSI
Nalidixic acid (NAL)	2–128	≥32[1)]	-	≤16	CLSI
Streptomycin (STR)	16–128	≥32[2)]	-	≤16	NARMS
Sulfisoxazole (FIS)	16–256	≥512[1)]	-	≤256	CLSI
Tetracycline (TET)	2–128	≥16[1)]	8	≤4	CLSI
Trimethoprim/ sulfamethoxazole (SXT)	0.12/ 2.38–4/76	≥4/ 76[1)]	-	≤2/38	CLSI

[1)]Clinical and Laboratory Standards Institute, M100, 2024
[2)]National Antimicrobial Resistance Monitoring System, 2021
MIC, Minimum inhibitory concentration; R, Resistant; I, Intermediate; S, Susceptible; CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute; NARMS, National Antimicrobial Resistance Monitoring System; -, No established interpretive criterion.

150균주, 2024년 132균주 및 2025년 128균주였다. 전체 분리 균주 중 *V. parahaemolyticus*가 309균주(75.4%)로 가장 많았으며, *E. coli* 70균주(17.1%), *Enterococcus* spp. 25균주(6.1%) 및 *S. aureus* 6균주(1.5%) 순으로 확인되었다. 2023년에는 *V. parahaemolyticus* 123균주, *E. coli* 16균주, *Enterococcus* spp. 11균주가 분리되었다. 2024년에는 각각 88균주, 30균주 및 14균주가 분리되었으며, 2025년에는 *V. parahaemolyticus* 98균주, *E. coli* 24균주, *S. aureus* 6균주가 분리되었다. 시료별로는 2023년 새우 시료에서 81균주, 사육수에서 69균주가 분리되었으며, 2024년에는 각각 64균주, 68균주, 2025년에는 76균주, 52균주가 분리된 것으로 확인되었다.

*Escherichia coli*의 항생제 내성 및 다중 항생제 내성

2023년부터 2025년까지 새우 및 사육수에서 분리된 *E. coli* 총 70균주를 대상으로 항생제 내성을 조사하였다. 연도별 분리 균주 수는 2023년 16균주, 2024년 30균주, 2025년 24균주였다. 이 중 하나 이상의 항생제에 내성을 나타내는 균주는 2023년 1균주(6.3%), 2024년 8균주(26.7%) 및 2025년 9균주(37.5%)로 확인되었다. 연도별 전체 내성률은 증가하는 경향을 보였다.

항생제 내성률을 비교한 결과, 2023년에는 ampicillin에 대한 내성률이 6.3%로 가장 높았다. 2024년에는 colistin과 tetracycline에 대한 내성률이 23.3%로 가장 높았으며 streptomycin 20.0% 및 cefotaxime 16.7% 순으로 나타났다. 2025년에는 ampicillin, ciprofloxacin, nalidixic acid에 대한 내성률이

Table 2. Types of antimicrobial agents and breakpoints used for minimum inhibitory concentration (KRVP2F)

Antimicrobial agents (abbreviation)	Range tested (μg/mL)	MIC breakpoint (μg/mL)			Reference
		R	I	S	
Ampicillin (AMP)	1–16	≥16[3)]	-	≤8	CLSI
Chloramphenicol (CHL)	2–32	≥32[3)]	16	≤8	CLSI
Ciprofloxacin (CIP)	0.25–16	≥4[3)]	2	≤1	CLSI
Daptomycin (DAP)	0.5–32	≥8[3)]	-	≤4	CLSI
Erythromycin (ERY)	1–64	≥8[3)]	4	≤2	CLSI
Florfenicol (FFN)	2–32	≥16[4)]	-	≤8	DANMAP
Gentamicin (GEN)	128–2,048	≥1,024[1)]	-	≤512	NARMS
Kanamycin (KAN)	128–2,048	≥1,024[2)]	-	≤512	NARMS
Linezolid (LZD)	0.5–16	≥8[3)]	4	≤2	CLSI
Quinupristin/ dalfopristin (SYN)	1–32	≥4[3)]	2	≤1	CLSI
Salinomycin (SAL)	2–32	≥8[5)]	-	≤4	DANMAP
Streptomycin (STR)	128–2,048	≥1,024[1)]	-	≤512	NARMS
Tetracycline (TET)	2–128	≥16[3)]	8	≤4	CLSI
Tigecycline (TGC)	0.12–2	≥0.5[1)]	-	≤0.25	NARMS
Tylosin (tartrate/ base) (TYLT)	1–64	≥32[2)]	16	≤8	NARMS
Vancomycin (VAN)	2–32	≥32[3)]	8–16	≤4	CLSI

[1)]National Antimicrobial Resistance Monitoring System, 2021
[2)]National Antimicrobial Resistance Monitoring System, 2015
[3)]Clinical and Laboratory Standards Institute, M100, 2024
[4)]The Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme, 2007
[5)]The Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme, 2013
MIC, Minimum inhibitory concentration; R, Resistant; I, Intermediate; S, Susceptible; CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute; NARMS, National Antimicrobial Resistance Monitoring System; DANMAP, The Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme; -, No established interpretive criterion.

Table 3. Types of antimicrobial agents and breakpoints used for minimum inhibitory concentration (EUST2)

Antimicrobial agents (abbreviation)	Range tested (μg/mL)	MIC breakpoint (μg/mL)			Reference
		R	I	S	
Cefoxitin (FOX)	0.5–16	≥8[1)]	4	≤2	CLSI
Chloramphenicol (CHL)	4–64	≥32[1)]	16	≤8	CLSI
Ciprofloxacin (CIP)	0.25–8	≥4[1)]	2	≤1	CLSI
Clindamycin (CLI)	0.12–4	≥4[1)]	1–2	≤0.5	CLSI
Erythromycin (ERY)	0.25–8	≥8[1)]	1–4	≤0.5	CLSI
Fusidate (FUS)	0.25–4	≥2[3)]	-[5)]	-[5)]	EUCAST
Gentamicin (GEN)	0.5–16	≥16[1)]	8	≤4	CLSI
Kanamycin (KAN)	4–32	≥64[2)]	32	≤16	CLSI
Linezolid (LZD)	1–8	≥8[1)]	-[5)]	≤4	CLSI
Mupirocin (MUP)	0.5–256	>256[3)]	-[5)]	≤1	EUCAST
Penicillin (PEN)	0.06–1	≥0.25[1)]	-[5)]	-[5)]	CLSI
Quinupristin/ dalfopristin (SYN)	0.5–4	≥4[1)]	2	≤1	CLSI
Rifampin (RIF)	0.015–0.5	≥4[1)]	-[5)]	-[5)]	CLSI
Streptomycin (STR)	4–32	ND[4)]	-[5)]	-[5)]	-
Sulfamethoxazole (SMX)	64–512	≥512[1)]	-[5)]	-[5)]	CLSI
Tetracycline (TET)	0.5–16	≥16[1)]	8	≤4	CLSI
Tiamulin (TIA)	0.5–4	ND[4)]	-[5)]	-[5)]	-
Trimethoprim (TMP)	1–16	≥16[1)]	-[5)]	≤8	CLSI
Vancomycin (VAN)	1–8	≥16[1)]	4–8	≤2	CLSI

[1)]Clinical and Laboratory Standards Institute, M100, 2024
[2)]Clinical and Laboratory Standards Institute, M100, 2017
[3)]European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing, 2024
[4)]ND, Not determined
[5)]-, No established interpretive criterion was available for the corresponding susceptibility category.
MIC, Minimum inhibitory concentration; R, Resistant; I, Intermediate; S, Susceptible; CLSI, Clinical and Laboratory Standards Institute; EUCAST, European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing.

Table 4. Number of isolates recovered from shrimp and rearing water

Year	Species	Sample	No. of isolates
2023	*Escherichia coli*	Shrimp	6
		Rearing water	10
	Vibrio parahaemolyticus	Shrimp	64
		Rearing water	59
	Enterococcus spp.	Shrimp	11
		Rearing water	0
	Staphylococcus aureus	Shrimp	0
		Rearing water	0
2024	*Escherichia coli*	Shrimp	20
		Rearing water	10
	Vibrio parahaemolyticus	Shrimp	30
		Rearing water	58
	Enterococcus spp.	Shrimp	14
		Rearing water	0
	Staphylococcus aureus	Shrimp	0
		Rearing water	0
2025	*Escherichia coli*	Shrimp	24
		Rearing water	0
	Vibrio parahaemolyticus	Shrimp	52
		Rearing water	46
	Enterococcus spp.	Shrimp	0
		Rearing water	0
	Staphylococcus aureus	Shrimp	0
		Rearing water	6
Total			410

37.5%로 가장 높게 확인되었다. Ampicillin에 대한 내성률은 2023년 6.3%, 2024년 6.7%, 2025년 37.5%로 수치상 지속적으로 증가하는 양상을 보였다(Table 5).

다중 항생제 내성은 2023년 0균주(0%), 2024년 5균주(16.7%) 및 2025년 9균주(37.5%)에서 확인되었다(Fig. 2). 다중 항생제 내성률은 2023년도에 가장 낮았으며, 2025년도에 가장 높게 나타났다. 2024년과 2025년에 각각 최대 7개 및 5개 항생제에 대한 내성을 보이는 균주가 확인되었으며, 조사 연도에 따라 내성을 나타낸 항생제 수에 차이가 확인되었다. 주요 다중 항생제 내성 유형은 연도마다 차이를 보였으며, 2024년에는 CTX-COL-STR-TET (cefotaxime-colistin-streptomycin-tetracycline) 조합이 가장 빈번하게 확인되었으며, 2025년에는 AMP-CIP-NAL (ampicillin-ciprofloxacin-nalidixic acid)이 가장 빈번하게 나타났다.

본 연구에서 확인된 *E. coli*의 ampicillin 내성률은 서해안 수산생물 유래 균주를 조사한 Jeong et al. (2021)의 결과와 비교하였을 때 높은 수준이었다. Ryu et al. (2017) 또한 서해안 패류에서 분리된 *E. coli*에서 ampicillin에 대한 높은 내성률을 보고하였다. 본 연구에서도 조사 기간 동안 ampicillin 내성이 지속적으로 확인되었으며, 특히 2025년에 높은 내성률을 나타냈다.

연도별 내성률과 다중 항생제 내성률이 수치상 증가하는 경향을 보인 결과는 인천광역시 강화군 새우 양식 환경에서 내성균이 지속적으로 존재할 가능성을 보여준다. 그러나 본 연구에서는 양식장의 항생제 사용 이력, 환경 중 잔류 항생제 농도 및

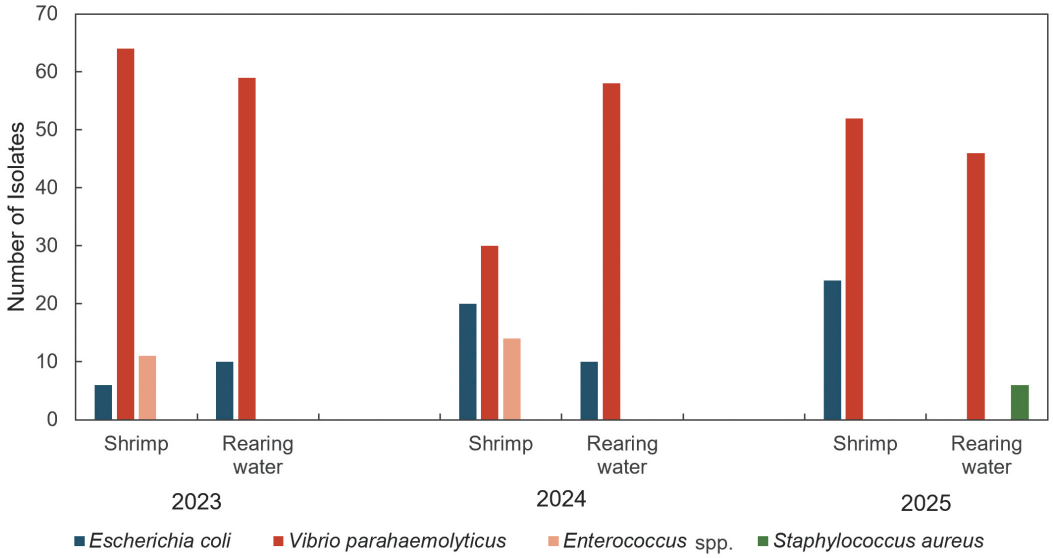


Fig. 1. Number of bacterial isolates recovered from shrimp farms in Ganghwa-gun, Incheon, Korea.

Table 5. Antimicrobial resistance of *Escherichia coli* strains isolated from shrimp and rearing water

Antimicrobial agents	No. of resistant isolates (%)		
	2023	2024	2025
Amoxicillin/clavulanic acid	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (4.2)
Ampicillin	1 (6.3)	2 (6.7)	9 (37.5)
Cefepime	0 (0.0)	2 (6.7)	0 (0.0)
Cefotaxime	0 (0.0)	5 (16.7)	0 (0.0)
Cefoxitin	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Ceftazidime	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Chloramphenicol	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Ciprofloxacin	0 (0.0)	0 (0.0)	9 (37.5)
Colistin	0 (0.0)	7 (23.3)	0 (0.0)
Gentamicin	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Meropenem	0 (0.0)	1 (3.3)	0 (0.0)
Nalidixic acid	0 (0.0)	0 (0.0)	9 (37.5)
Streptomycin	0 (0.0)	6 (20.0)	0 (0.0)
Sulfisoxazole	0 (0.0)	0 (0.0)	6 (25.0)
Tetracycline	0 (0.0)	7 (23.3)	0 (0.0)
Trimethoprim/sulfamethoxazole	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

내성 유전자의 보유 여부를 조사하지 않았으므로, 내성률의 연도별 변화 원인을 특정 항생제의 사용과 직접적으로 연결하기는 어렵다. 하지만 내성률과 다중 항생제 내성률이 수치상 증가하는 것으로 보아 지속적인 관리가 필요할 것으로 사료된다(Watts et al., 2017).

*Vibrio parahaemolyticus*의 항생제 내성 및 다중 항생제 내성

새우 및 사육수에서 분리된 *V. parahaemolyticus* 총 309균주의 항생제 내성을 조사하였다. 연도별로는 2023년 123균주, 2024년 88균주, 2025년 98균주를 대상으로 분석하였다. 하나 이상의 항생제에 내성을 나타낸 균주는 2023년 123균주(100%), 2024년 87균주(98.9%) 및 2025년 97균주(99.0%)였다. 전체 내성률은 조사 기간 동안 매우 높은 수준을 유지하였다.

항생제별로는 colistin에 대한 내성률이 2023년에 98.4%, 2024년에 79.5% 및 2025년 93.9%로 나타나 모든 조사 연도에서 가장 높은 수준을 보였으며, 이어 ampicillin에 대한 내성률이 63.6–95.1% 범위로 확인되었다. Sulfisoxazole에 대한 내성률은 2023년 57.7%에서 2024년 29.5%로 감소한 후 2025년에 65.3%로 나타났다. 반면 tetracycline에 대해서는 2023년 57.7%에서 2025년 0%로 내성률이 대폭 감소하였다(Table 6).

특정 항생제에 대해 모든 균주 또는 대부분의 균주가 내성을 나타낸 경우에는 전체 내성률이 높게 산출될 수 있다. 따라서 본 연구에서 확인된 높은 전체 내성률은 ampicillin과 colistin에 대한 높은 내성률의 영향을 받은 것으로 판단된다. 전체 내성률만으로 균주의 위해도를 판단하기보다는 각 항생제 계열에 대한 내성 분포와 다중 항생제 내성 여부를 함께 고려할 필요가 있다.

*V. parahaemolyticus*의 다중 항생제 내성률은 2023년 101균주(82.1%), 2024년 32균주(36.4%), 2025년 60균주(61.2%)로 나타났으며, 조사 기간 중 2023년에 가장 높은 다중 항생제 내성률이 확인되었다. 연도별 다중 항생제 내성률은 감소하다 증가하는 경향을 보였으며 모든 조사 연도에서 다중 항생제 내성

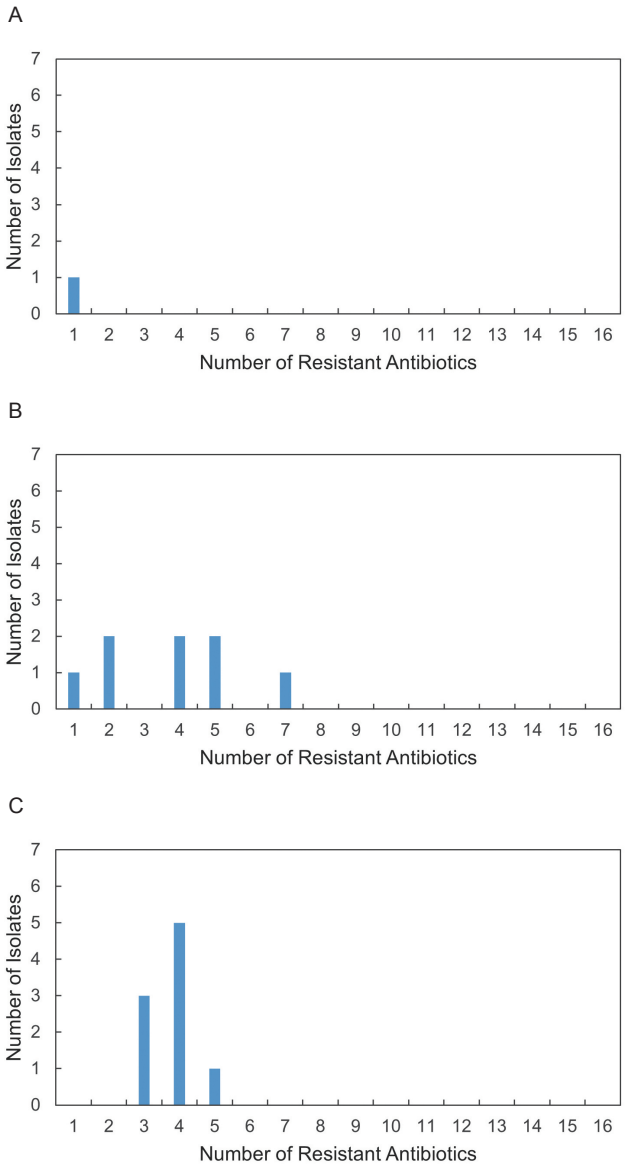


Fig. 2. Number of *Escherichia coli* isolates by number of resistant antimicrobial agents. A, 2023; B, 2024; C, 2025.

균주가 확인되었다(Fig. 3).

다중 항생제 내성 균주에서 가장 빈번하게 확인된 내성 유형은 AMP-COL-TET (ampicillin-tetracycline-colistin)으로 나타났다. 항생제 수에 따라 구분한 결과, 3개 항생제에 내성을 나타낸 균주는 2023년, 2024년 및 2025년에 각각 45균주(36.6%), 13균주(14.8%), 49균주(50.0%)였으며, 4개 항생제는 각각 41균주(33.3%), 0균주(0.0%), 11균주(11.2%)로 나타났다. 5개 이상 항생제에 내성을 가진 균주는 15균주(12.2%), 19균주(21.6%), 0균주(0.0%)로 확인되었다.

국내 어류 및 새우 양식장을 조사한 Mok et al. (2021)은 *V. parahaemolyticus* 분리주에서 colistin과 ampicillin에 대한 상대적으로 높은 내성률을 보고하였다. 본 연구에서도 두 항생제에 대한 높은 내성이 확인되어 국내 양식 환경 유래 분리주에서 유사한 내성 양상이 나타났다. 또한 Ryu et al. (2017)은 서해안 패류 유래 *V. parahaemolyticus*에서 ampicillin을 포함한 여러 항생제에 대한 내성을 보고하였다. 이러한 결과는 국내 수산물 및 양식 환경 유래 *V. parahaemolyticus*에서 ampicillin에 대한 내성이 반복적으로 확인되고 있음을 보여준다.

Table 6. Antimicrobial resistance of *Vibrio parahaemolyticus* strains isolated from shrimp and rearing water

Antimicrobial agents	No. of resistant isolates (%)		
	2023	2024	2025
Amoxicillin/clavulanic acid	8 (6.5)	0 (0.0)	0 (0.0)
Ampicillin	117 (95.1)	56 (63.6)	90 (91.8)
Cefepime	4 (3.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
Cefotaxime	10 (8.1)	19 (21.6)	0 (0.0)
Cefoxitin	0 (0.0)	1 (1.1)	12 (12.2)
Ceftazidime	1 (0.8)	0 (0.0)	0 (0.0)
Chloramphenicol	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Ciprofloxacin	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Colistin	121 (98.4)	70 (79.5)	92 (93.9)
Gentamicin	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
Meropenem	5 (4.1)	19 (21.6)	0 (0.0)
Nalidixic acid	0 (0.0)	4 (4.5)	0 (0.0)
Streptomycin	18 (14.6)	23 (26.1)	2 (2.0)
Sulfisoxazole	71 (57.7)	26 (29.5)	64 (65.3)
Tetracycline	71 (57.7)	26 (29.5)	0 (0.0)
Trimethoprim/sulfamethoxazole	1 (0.8)	0 (0.0)	0 (0.0)

또한 모든 조사 연도에서 높은 전체 내성률과 다중 항생제 내성균이 확인된 결과는 새우 양식 환경 유래 *V. parahaemolyticus*의 항생제 내성을 지속적으로 감시할 필요가 있음을 보여준다. 다만 특정 항생제에 대한 내성이 *Vibrio* 속 세균에서 일반적으로 빈번하게 관찰되는 특성인지, 양식 환경에서의 선택압에 의해 획득된 것인지를 구분하기 위한 추가 분석이 필요하다.

Enterococcus spp.의 항생제 내성 및 다중 항생제 내성

본 연구에서 분리된 *Enterococcus* spp.는 총 25균주로, 2023년에는 11균주, 2024년에는 14균주가 분리되었으며 2025년에는 분리되지 않았다. 분리된 균주는 *Enterococcus faecium* 15균주, *Enterococcus faecalis* 9균주, *Enterococcus gallinarum* 1균주로 확인되었다. 항생제 내성 시험 결과, 2023년과 2024년에 분리된 모든 *Enterococcus* spp.가 하나 이상의 항생제에 내성을 나타내어 두 연도의 항생제 내성률은 모두 100%였다.

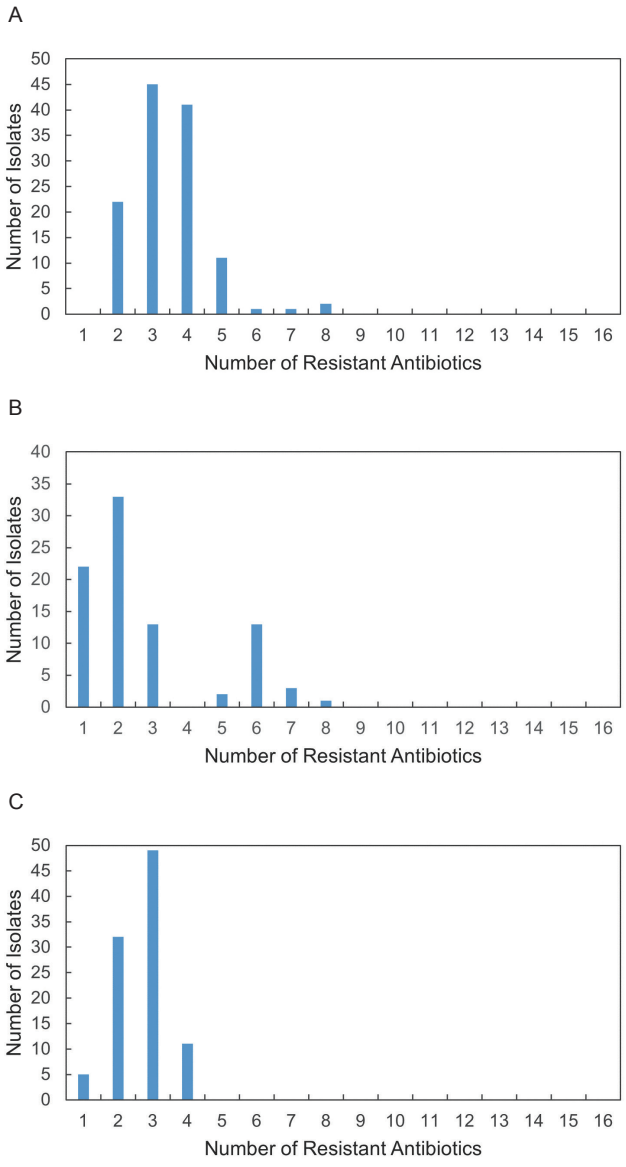


Fig. 3. Number of *Vibrio parahaemolyticus* isolates by number of resistant antimicrobial agents. A, 2023; B, 2024; C, 2025.

항생제별로 내성 양상을 분석한 결과, 2023년 분리주에서는 gentamicin, kanamycin, streptomycin에 대한 내성률이 100%로 가장 높았으며, tigecycline 27.3% 및 tetracycline 18.2% 순으로 나타났다. 2024년에도 gentamicin, kanamycin, streptomycin에 대한 내성률이 100%로 가장 높았으며 quinupristin/dalfopristin 28.6%, tetracycline 21.4% 순으로 확인되었다. Ampicillin, chloramphenicol 등의 항생제에서는 모든 균주가 감수성을 나타냈다(Table 7).

균종별로 비교한 결과, *E. faecium*은 3개의 항생제에 내성을 가진 균주가 5균주, 4개의 항생제에 내성을 가진 균주가 9균주였으며, 5개 이상의 항생제에 내성을 가진 균주가 1균주로 확인되었다. *E. faecalis*의 경우 3개의 항생제에 내성을 가진 균주가 5균주, 4개의 항생제에 내성을 가진 균주가 4균주로 나타났으며, *E. gallinarum*은 3개의 항생제에 내성을 가진 것으로 확인되었다.

다중 항생제 내성 분석 결과, 2023년에 분리된 11균주와 2024년에 분리된 14균주가 모두 서로 다른 3개 이상의 항생제에 내성을 나타내어 다중 항생제 내성률은 두 연도 모두 100%로 확인되었다(Fig. 4). 균종별로도 *E. faecium*, *E. faecalis* 및 *E. gallinarum*의 모든 분리주가 다중 항생제 내성으로 판정되었다.

다중 항생제 내성 유형을 분석한 결과, 가장 빈번하게 확인된 내성 조합은 GEN-KAN-STR (gentamicin-kanamycin-streptomycin)이었다. 항생제 개수에 따라 구분한 결과, 3개 항생제에 내성을 나타낸 균주는 11균주, 4개의 항생제에 내성을 나타낸 균주는 13균주, 6개의 항생제에 내성을 나타낸 균주는 1균주로 확인되었다.

본 연구에서 분리된 모든 *Enterococcus* spp.에서 하나 이상의 항생제에 대한 내성이 확인되었으며, 동시에 모든 균주가 다중 항생제 내성을 나타냈다는 점은 주목할 만하다. 이는 인천광역시 강화군 새우 양식장의 새우에 존재하는 *Enterococcus* spp.가 여러 항생제 계열에 대한 내성을 동시에 보유하고 있을 가능성을 보여준다. *Enterococcus* spp.는 사람과 동물의 장관에 널리 분포하고 환경에서도 비교적 오래 생존할 수 있어 분변 오염의 지표로 이용되며, 이동성 유전인자를 통해 내성 유

Table 7. Antimicrobial resistance of *Enterococcus* spp. strains isolated from shrimp and rearing water

Antimicrobial agents	No. of resistant isolates (%)		
	2023	2024	2025
Ampicillin	0 (0.0)	0 (0.0)	-
Chloramphenicol	0 (0.0)	0 (0.0)	-
Ciprofloxacin	1 (9.1)	0 (0.0)	-
Daptomycin	1 (9.1)	0 (0.0)	-
Erythromycin	0 (0.0)	1 (7.1)	-
Florfenicol	0 (0.0)	0 (0.0)	-
Gentamicin	11 (100.0)	14 (100.0)	-
Kanamycin	11 (100.0)	14 (100.0)	-
Linezolid	0 (0.0)	0 (0.0)	-
Quinupristin/dalfopristin	0 (0.0)	4 (28.6)	-
Salinomycin	0 (0.0)	0 (0.0)	-
Streptomycin	11 (100.0)	14 (100.0)	-
Tetracycline	2 (18.2)	3 (21.4)	-
Tigecycline	3 (27.3)	0 (0.0)	-
Tylosin (tartrate/base)	0 (0.0)	1 (7.1)	-
Vancomycin	0 (0.0)	0 (0.0)	-

-, Not isolated.

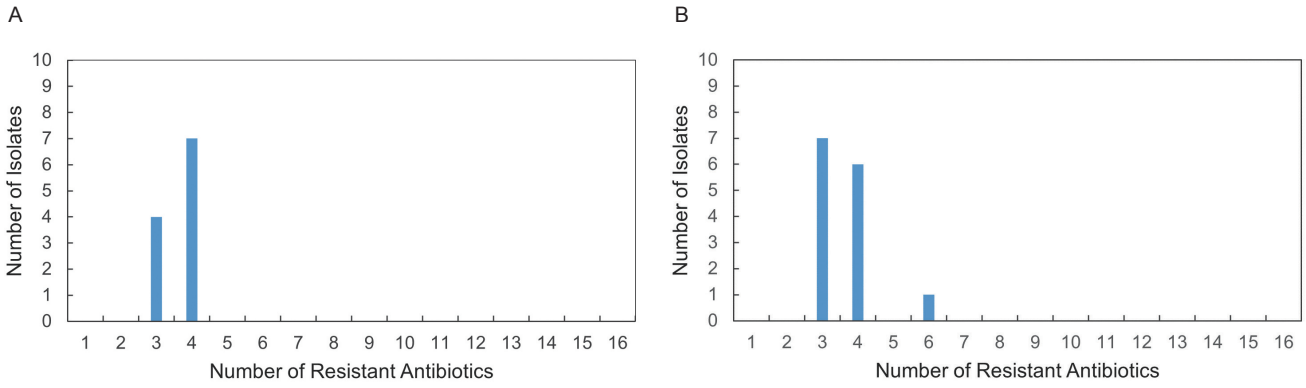


Fig. 4. Number of *Enterococcus* spp. isolates by number of resistant antimicrobial agents. A, 2023; B, 2024.

전자를 다른 세균에 전달할 가능성도 있는 것으로 알려져 있다 (Byappanahalli et al., 2012).

Shin et al. (2023)은 국내 연안 양식장의 사육수와 수산생물에서 분리한 *E. faecium*과 *E. faecalis*가 균종과 항생제에 따라 서로 다른 양상을 나타냈다고 보고하였으며, 본 연구에서도 gentamicin과 streptomycin에 대한 내성이 확인되었다. Jeong et al. (2022)은 서해안 패류양식장 인근 육상오염원에서 분리한 *Enterococcus* spp.에서 다양한 항생제 내성이 나타남을 보고하였다. 본 연구와 선행연구에서 나타난 내성 양상의 차이는 조사 시료, 균종 구성, 조사 지역 및 항생제 감수성 판정기준의 차이와 관련될 가능성이 있다.

다만 본 연구에서 분리된 *Enterococcus* spp.는 총 25균주로 다른 균종에 비해 분리 균주 수가 상대적으로 적었으며, 2025년에는 해당 균종이 분리되지 않았다. 따라서 모든 균주에서 항생제 내성 및 다중 항생제 내성이 확인된 결과를 인천광역시 강화군 전체 새우 양식장의 일반적인 특성으로 확대하여 해석하는 데에는 주의가 필요하다.

*Staphylococcus aureus*의 항생제 내성 및 다중 항생제 내성

본 연구에서 분리된 *S. aureus*는 2025년 사육수에서 총 6균주가 분리되었으며, 전체 분리 균주 중 하나 이상의 항생제에 내성을 나타낸 균주는 5균주(83.3%)였다.

항생제별로는 cefoxitin, ciprofloxacin, clindamycin, erythromycin, gentamicin, kanamycin, penicillin 및 streptomycin에 대한 내성률이 모두 83.3%로 동일하였다(Table 8).

다중 항생제 내성은 5균주(83.3%)에서 확인되었으며, 각 분리 균주가 내성을 나타낸 항생제 수의 분포 비교 결과는 Fig. 5에 나타내었다.

모든 내성 유형은 FOX-CIP-CLI-ERY-GEN-KAN-PEN-STR (cefoxitin-ciprofloxacin-clindamycin-erythromycin-gentamicin-kanamycin-penicillin-streptomycin)이었다. 다중 항생제 내성을 보인 5개 균주 모두 8개의 항생제에 내성을 보였다.

분리 균주 수가 적어 선행연구와 내성률을 직접 비교하기에는 제한이 있으나, 새우 유래 *S. aureus*에서도 다양한 항생제 내성과 다중 항생제 내성균이 보고된 바 있다. Dai et al. (2023)은 생새우에서 분리한 *S. aureus*에서 다양한 항생제 내성 양상을 보고하였다. 본 연구에서도 다수의 항생제에 동시에 내성을 나타내는 균주가 확인되었으나, 분리 균주가 총 6균주에 불과하므로 이러한 내성 양상의 빈도를 일반화하는 데에는 주의가

Table 8. Antimicrobial resistance of *Staphylococcus aureus* strains isolated from shrimp and rearing water

Antimicrobial agents	No. of resistant isolates (%)		
	2023	2024	2025
Cefoxitin	-	-	5 (83.3)
Chloramphenicol	-	-	0 (0.0)
Ciprofloxacin	-	-	5 (83.3)
Clindamycin	-	-	5 (83.3)
Erythromycin	-	-	5 (83.3)
Fusidate	-	-	0 (0.0)
Gentamicin	-	-	5 (83.3)
Kanamycin	-	-	5 (83.3)
Linezolid	-	-	0 (0.0)
Mupirocin	-	-	0 (0.0)
Penicillin	-	-	5 (83.3)
Quinupristin/dalfopristin	-	-	0 (0.0)
Rifampin	-	-	0 (0.0)
Streptomycin	-	-	5 (83.3)
Sulfamethoxazole	-	-	0 (0.0)
Tetracycline	-	-	0 (0.0)
Tiamulin	-	-	0 (0.0)
Trimethoprim	-	-	0 (0.0)
Vancomycin	-	-	0 (0.0)

-, Not isolated.

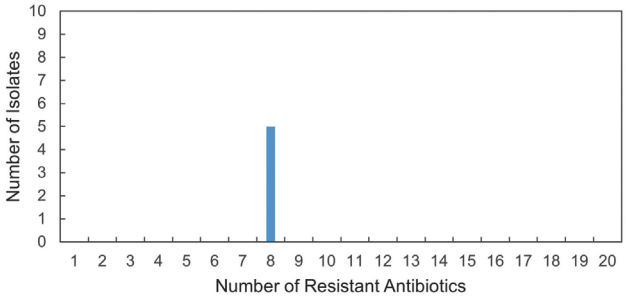


Fig. 5. Number of *Staphylococcus aureus* isolates by number of resistant antimicrobial antimicrobial agents in 2025.

필요하다.

*S. aureus*는 사람과 동물의 피부 및 비강 등에 존재할 수 있으므로, 사육수에서의 검출은 양식 환경뿐만 아니라 채취 취급 과정에서의 교차 오염 가능성과도 관련될 수 있다. 따라서 본 결과만으로는 오염원을 특정하기 어렵다.

균종별 항생제 내성 및 다중 항생제 내성 특성

조사 대상 균종의 항생제 내성률을 종합적으로 비교한 결과, *Enterococcus* spp.에서 가장 높은 전체 내성률(100%)이 확인되었으며, *E. coli* (25.7%)에서 가장 낮게 나타났다. 다중 항생제 내성률 또한 *Enterococcus* spp.가 100%로 가장 높았고, *S. aureus* 83.3%, *V. parahaemolyticus* 62.5% 및 *E. coli* 20% 순으로 확인되었다(Fig. 6).

연도별로는 2023년에 150균주 중 135균주(90%), 2024년에 132균주 중 109균주(82.6%) 및 2025년에 128균주 중 111균주(86.7%)가 하나 이상의 항생제에 내성을 나타냈다. 다중 항생제 내성 균주는 각각 112균주(74.7%), 51균주(38.6%), 74균주(57.8%)로 나타났다. 전체 균주를 기준으로 한 내성률은 2023년에 가장 높았으나, 연도별 균종 구성과 분리 균주 수가 서로 다르므로 단순한 전체 비율만으로 연도 간 차이를 평가하는 데에는 한계가 있을 것으로 판단된다(Fig. 7).

균종별로 내성이 높게 나타난 항생제 계열에도 차이가 있었다. *E. coli*에서는 ampicillin에 대한 내성이 주로 확인되었고, *V. parahaemolyticus*에서는 colistin, *Enterococcus* spp.에서는 gentamicin, kanamycin 및 streptomycin, *S. aureus*에서는 cefoxitin, ciprofloxacin, clindamycin, erythromycin, gentamicin, kanamycin, penicillin 및 streptomycin에 대한 내성이 상대적으로 높았다. 이는 균종별 고유 특성과 획득 내성 기전의 차이에 따른 결과일 가능성이 있다(Munita and Arias, 2016).

다중 항생제 내성 유형을 비교한 결과, 전체 분리 균주에서 균종에 따라 다양한 항생제 조합에 대한 다중 항생제 내성 양상을 보였다. 특히 *Enterococcus* spp.에서는 동일한 항생제 3종을 포함한 다수의 항생제에 대한 내성을 보이는 균주가 다수 확인되어 다른 균종과는 다른 내성 양상을 나타냈다. 이러한 결과는 인천광역시 강화군 새우 양식장의 새우 및 사육수에서 여러 종류의 항생제에 동시에 내성을 나타내는 세균이 지속적으로 상재하고 있음을 보여준다.

그러나 본 연구는 연도별 조사 양식장과 시료 수가 제한적이었으며, 동일 시료에서 분리된 여러 균주가 서로 유전적으로 동일하거나 유사한 계통일 가능성을 배제할 수 없다는 한계가 있다. 향후에는 조사 지점과 시료 수를 확대하고, 분리 균주의 내성 유전자와 이동성 유전인자 분석, 분자역학적 연관성 분석 및 양식장별 항생제 사용 자료를 함께 조사할 필요가 있다.

종합적으로, 인천광역시 강화군 새우 양식장의 새우 및 사육수에서 분리된 주요 세균은 균종과 조사 연도에 따라 서로 다른 항생제 내성 양상을 나타냈으며, 일부 균종에서는 높은 다중 항

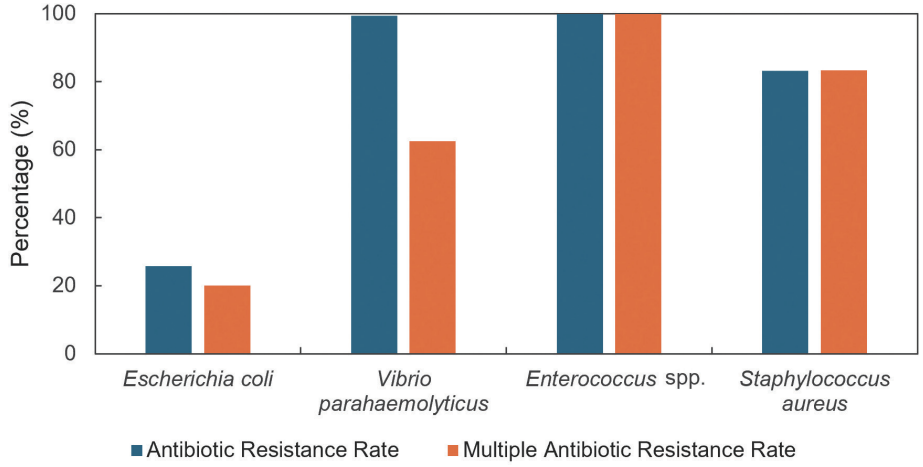


Fig. 6. Species-specific antimicrobial resistance and multiple antibiotic resistance rates.

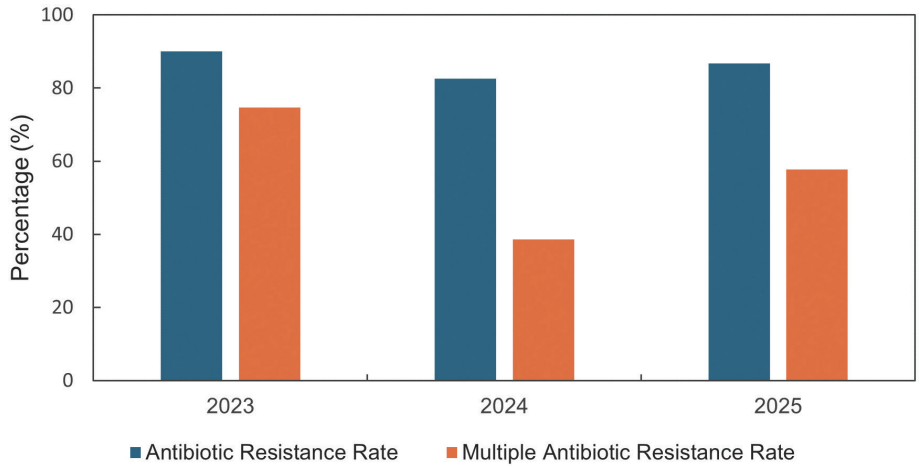


Fig. 7. Annual antimicrobial resistance and multiple antibiotic resistance rates.

생제 내성률이 지속적으로 확인되었다.

시료별 항생제 내성 및 다중 항생제 내성 특성

시료에 따른 항생제 내성 및 다중 항생제 내성 양상을 비교하기 위하여 새우와 사육수에서 분리된 균주를 연도별로 분석하였다. 2023년에는 새우 유래 81균주 중 76균주(93.8%)가 하나 이상의 항생제에 내성을 나타냈으며, 사육수 유래 69균주 중 59균주(85.5%)에서 내성이 확인되었다. 다중 항생제 내성 균주는 새우와 사육수에서 각각 61균주(75.3%)와 51균주(73.9%)로 나타났다. 2024년에는 새우 유래 64균주 중 52균주(81.3%), 사육수 유래 68균주 중 57균주(83.8%)에서 내성이 확인되었으며, 다중 항생제 내성 균주는 각각 26균주(40.6%)와 25균주(36.8%)로 나타났다. 2025년에는 새우 유래 76균주 중 61균주(80.3%)가 내성을 나타낸 반면, 사육수 유래 52균주 중 50균주(96.2%)에서 내성이 확인되었으며, 다중 항생제 내성 균주는 각각 40균주(52.6%)와 34균주(65.4%)로 확인되었다.

전체 조사 기간 동안 분리된 균주를 시료별로 종합하여 비교한 결과, 새우 유래 221균주 중 189균주(85.5%), 사육수 유래 189균주 중 166균주(87.8%)가 하나 이상의 항생제에 내성을 나타냈다. 다중 항생제 내성 균주는 새우에서 127균주(57.5%), 사육수에서 110균주(58.2%)로 확인되어(Fig. 8), 전체 조사 기간을 기준으로 두 시료의 내성률 및 다중 항생제 내성률은 유사한 수준으로 나타났다. 반면 연도별로는 2023년 새우에서 내성률과 다중 항생제 내성률이 사육수보다 다소 높았고, 2024년에는 두 시료에서 유사한 수준을 보였으며, 2025년에는 사육수에서 상대적으로 높은 내성률과 다중 항생제 내성률이 확인되는 등 연도에 따라 차이를 보였다.

새우와 사육수에서 공통적으로 다수 분리된 *V. parahaemolyticus*를 대상으로 시료별 내성 양상을 비교한 결과, 전체 조

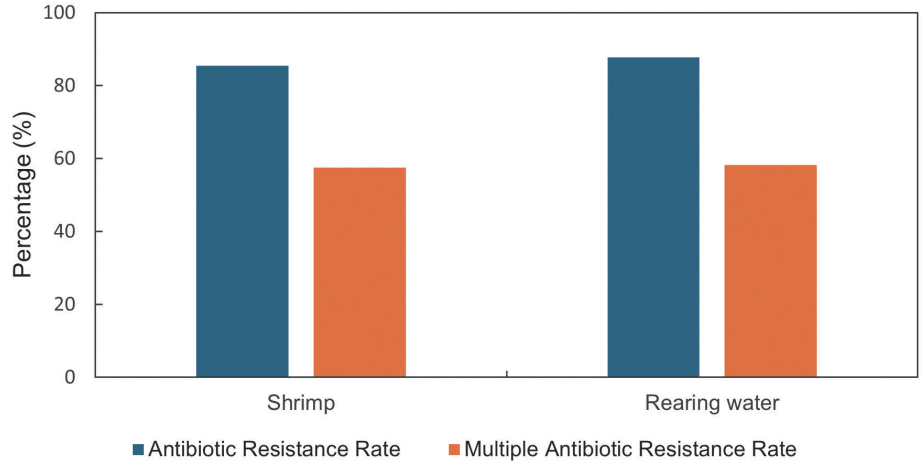


Fig. 8. Antimicrobial resistance and multiple antibiotic resistance rates by sample type.

사 기간 동안 새우 유래 균주에서는 146균주 모두(100%)에서 하나 이상의 항생제에 대한 내성이 확인되었으며, 사육수 유래 균주에서는 163균주 중 161균주(98.8%)가 내성을 나타냈다. 다중 항생제 내성 균주는 새우 유래 균주에서 88균주(60.3%), 사육수 유래 균주에서 105균주(64.4%)로 확인되었다. 또한 연도별 *V. parahaemolyticus*의 다중 항생제 내성률은 2023년 새우와 사육수에서 각각 78.1%와 86.4%, 2024년에는 23.3%와 43.1%, 2025년에는 59.6%와 63.0%로 나타나, 조사 기간 동안 사육수 유래 균주에서 수치상 높은 다중 항생제 내성률이 관찰되었다.

결론적으로, 새우와 사육수에서 항생제 내성균 및 다중 항생제 내성균이 지속적으로 확인되었으며, 시료 및 조사 연도에 따라 내성 양상에 차이가 나타났다. 이러한 결과는 양식생물과 사육환경이 항생제 내성 현황을 파악하는 데 함께 고려되어야 할 중요한 요소임을 보여준다.

본 연구 결과는 국내 새우 양식 환경 유래 세균의 항생제 내성 현황을 파악하기 위한 기초자료로 활용될 수 있으며, 양식 수산물과 사육환경을 대상으로 한 지속적인 항생제 내성 모니터링의 필요성을 시사한다.

사 사

본 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업「수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사(R2026055)」의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

Byappanahalli MN, Nevers MB, Korajkic A, Staley ZR and Harwood VJ. 2012. Enterococci in the environment. Microbiol Mol Biol Rev 76, 685-706. https://doi.org/10.1128/MMBR.00023-12.

CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2017. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 27th ed. CLSI supplement M100. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA, U.S.A.

CLSI (Clinical and Laboratory Standards Institute). 2024. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. 34th ed. CLSI supplement M100. Clinical and Laboratory Standards Institute, Wayne, PA, U.S.A.

Dai J, Huang J, Wu S, Zhang F, Li Y, Rong D, Zhao M, Ye Q, Gu Q, Zhang Y, Wei X, Zhang J and Wu Q. 2023. Occurrence, antibiotic susceptibility, biofilm formation and molecular characterization of *Staphylococcus aureus* isolated from raw shrimp in China. Foods 12, 2651. https://doi.org/10.3390/foods12142651.

DANMAP (Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme). 2007. Use of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, foods and humans in Denmark. Danish Institute for Food and Veterinary Research, Copenhagen, Denmark.

DANMAP (Danish Integrated Antimicrobial Resistance Monitoring and Research Programme). 2013. Use of antimicrobial agents and occurrence of antimicrobial resistance in bacteria from food animals, food and humans in Denmark. National Food Institute, Technical University of Denmark and Statens Serum Institut, Copenhagen, Denmark.

EUCAST (European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing). 2024. Breakpoint tables for interpretation of MICs and zone diameters. Version 14.0. Retrieved from https://www.eucast.org/clinical_breakpoints/ on October 16, 2026.

Gullberg E, Cao S, Berg OG, Ilbäck C, Sandegren L, Hughes D and Andersson DI. 2011. Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. PLoS Pathog 7, e1002158. https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002158.

ISO (International Organization for Standardization). 2001. ISO 16649-2:2001. Microbiology of food and animal feeding stuffs—Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive *Escherichia coli*—Part 2: Colony-count technique at 44°C using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl beta-D-glucuronide. ISO, Geneva, Switzerland.

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.

Jeong YG, Park BM, Hwang JI, Kim MJ and Oh EG. 2022. Detection of vancomycin resistance genes and antibiotic resistance characteristics of *Enterococcus* spp. isolated from inland pollution sources near shellfish farms on the west coast of South Korea. Korean J Fish Aquat Sci 55, 505-513. https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0505.

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.

Larsson DGJ and Flach CF. 2022. Antibiotic resistance in the environment. Nat Rev Microbiol 20, 257-269. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00649-x.

Letchumanan V, Chan KG and Lee LH. 2014. *Vibrio parahaemolyticus*: A review on the pathogenesis, prevalence, and advance molecular identification techniques. Front Microbiol 5, 705. https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00705.

MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2019a. Korean Food Standards Codex (Food Code). Ministry of Food and Drug Safety, Cheongju, Korea.

MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2019b. Report of the National Antimicrobial Use and Resistance Monitoring: Animals, Meats and Fishery Products 2018. MFDS, Cheongju, Korea.

Mok JS, Cho SR, Park YJ, Jo MR, Ha KS, Kim PH and Kim MJ. 2021. Distribution and antimicrobial resistance of *Vibrio parahaemolyticus* isolated from fish and shrimp aquaculture farms along the Korean coast. Mar Pollut Bull 171, 112785. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112785.

Munita JM and Arias CA. 2016. Mechanisms of antibiotic resistance. Microbiol Spectr 4, VMBF-0016-2015. https://doi.org/10.1128/microbiolspec.VMBF-0016-2015.

NARMS (National Antimicrobial Resistance Monitoring System). 2015. The National Antimicrobial Resistance Monitoring System: NARMS Integrated Report, 2015. U.S. Department of Health and Human Services, FDA, Laurel, MD, U.S.A.

NARMS (National Antimicrobial Resistance Monitoring System). 2021. 2021 NARMS Update: Integrated Report Summary. U.S. Food and Drug Administration. Retrieved from https://www.fda.gov/animal-veterinary/national-antimicrobial-resistance-monitoring-system/2021-narms-update-integrated-report-summary on October 16, 2026.

Ryu AR, Park K, Kim SH, Ham IT, Kwon JY, Kim JH, Yu HS, Lee HJ and Mok JS. 2017. Antimicrobial resistance patterns of *Escherichia coli* and *Vibrio parahaemolyticus* isolated from shellfish from the west coast of Korea. Korean J Fish Aquat Sci 50, 662-668. https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0662.

Salfinger Y and Tortorello ML, eds. 2015. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods. 5th ed. APHA Press, Washington, DC, U.S.A., 1-995.

Shin SB, Cho SR and Mok JS. 2023. Antimicrobial resistance of fecal-indicator bacteria isolated from aquatic animal farms along the Korean coast. Aquac Res 2023, 5014754. https://doi.org/10.1155/2023/5014754.

Tong SYC, Davis JS, Eichenberger E, Holland TL and Fowler VG. 2015. *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. Clin Microbiol Rev 28, 603-661. https://doi.org/10.1128/CMR.00134-14.

Watts JEM, Schreier HJ, Lanska L and Hale MS. 2017. The rising tide of antimicrobial resistance in aquaculture: Sources, sinks and solutions. Mar Drugs 15, 158. https://doi.org/10.3390/md15060158.

WHO (World Health Organization). 2025. Global antibiotic resistance surveillance report 2025: WHO Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System (GLASS). WHO, Geneva, Switzerland.