

# 칠천도 패류생산해역의 해수 및 패류에 대한 위생학적 안전성 평가연구

조성래, 윤민철, 김지훈, 이장원, 신혜영, 남기호<sup>1</sup>, 정상현<sup>2</sup>, 권지영<sup>3</sup>, 하광수<sup>3</sup>, 박큰비위

국립수산과학원 남동해수산연구소, <sup>1</sup>국립수산과학원 기후변화연구과, <sup>2</sup>국립수산과학원 연구기획과, <sup>3</sup>국립수산과학원 식품안전가공과

## Bacteriological quality evaluation of seawater and shellfish from the Chilcheondo area, Shellfish growing area in Korea

Sung Rae Cho, Minchul Yoon, Ji Hoon Kim, Jang Won Lee, Hye Young Shin, Ki Ho Nam<sup>1</sup>, Sang Hyeon Jeong<sup>2</sup>, Ji Young Kwon<sup>3</sup>, Kwang Soo Ha<sup>3</sup> and Kunbawui Park

*Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea*

<sup>1</sup>*Ocean Climate and Ecology Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

<sup>2</sup>*Research and Development Planning Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

<sup>3</sup>*Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea*

### ABSTRACT

The sanitary survey was evaluated for sanitary state of seawater and shellfish in Chilcheondo area from September 2020 to February 2023. The stations of sanitary survey in Chilcheondo area were composed of 28 seawater station, 3 oyster (*Crassostrea gigas*) and 1 mussel (*Mytilus galloprovincialis*). The samples were collected monthly at each station. The range of Fecal coliform, geometric mean and 90th percentile for 840 seawater samples were < 1.8-35,000 MPN/100 mL, < 1.8-3.3 and 1.8-34 MPN/100 mL, respectively and in addition to seawater in the Chilcheondo area satisfied as level of designated area according to Korea criteria and approved area according to US criteria. Also the range of Fecal coliform and *E. coli* for 88 oyster samples and 30 mussel samples were <18-35,000 and <18-9,200 MPN/100 g, respectively. The bacteriological quality of shellfish collected from Chilcheondo area meets the standard value based on shellfish hygiene of the Food Sanitation Act of Korea and the Grade B according to the classification of shellfish harvesting areas of European Union.

**Key words:** Chilcheondo area, *Escherichia coli*, Fecal coliform, Total coliform

### 서 론

우리나라의 패류 생산량은 연 평균 약 50만 톤으로 그 중 굴 (*Crassostrea gigas*) 이 30만 톤, 담치류 (*Mytilus galloprovincialis*) 가 5만3천 톤을 차지하고 있으며, 그 중

경남 지역에서 굴 생산량은 25만 톤으로 전국대비 83%, 담치류는 3만 5천 톤으로 전국의 66%로 경남 지역에 패류 생산이 집중되어있다 (KOSIS, 2022).

패류는 육상과 인접한 연안해역에서 주로 양식되고, 이동성이 거의 없으며, 여과섭식 (Filter feeding) 과정으로 먹이활동을 하는 특성 때문에 해수 중 부유하는 세균, 바이러스, 중금속 등과 같은 위해물질들을 체내에 축적한다 (Grimes, 1991; Park *et al.*, 2010).

따라서, 패류가 생산되는 해역 주변 육상 유역의 주거구역 및 가축 사육시설 등에서 발생한 분변이 하수처리장 등에서 위생처리 되지 않고, 하천 등을 통하여 패류 생산해역으로 오염물질이 유입될 경우 해역의 수질이 나빠지고, 패류의 안전성을 악화시킬 수 있다 (Mallin *et al.*, 2001; Jarde E., 2018). 또한, 엄격하게 패류에 대한 위생관리가 이루어지지 않을 경우에

Received: August 23, 2023; Revised: September 06, 2023; Accepted: September 14, 2023

Corresponding author: Sung Rae Cho

Tel: +82 (55) 640-4763, e-mail: srcho1113@korea.kr  
1225-3480/24844

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

는 패류가 생산되는 해역으로 위해물질이 유입되며 위해물질에 오염된 패류에 의해 식중독 사고가 발생할 수 있고 (Legnani *et al.*, 1998), 우리나라를 비롯한 세계 여러 나라에서 오염된 패류 매개 식중독 사고가 지속적으로 보고 되고 있다 (Postasman *et al.*, 2002; Shin *et al.*, 2014).

특히 굴은 날 것으로 섭취하는 식문화로 겨울철에 노로바이러스에 의한 식중독 발생 또는 주의 요령이 언론매체를 통해 보도가 되고, 많은 국가에서 식중독을 일으킬 고위험성 식품으로 분류되어 관리가 이루어지고 있으며 (Lees, 2000), 미국, EU, 캐나다 등의 선진국에서는 패류의 위생안전성을 확보하기 위한 패류 생산해역 위생관리 프로그램을 마련하여 패류의 안전성을 확보를 노력을 실시하고 있다 (European Commission, 2019; U.S. FDA, 2019).

우리나라도 외국으로 패류 수출을 목적하는 해역 (이하 지정해역) 의 수질 및 패류의 위생학적 안전성평가 등의 연구가 활발히 진행되고 있으며, 지정해역 주변 하수처리 구역이 아닌 마을 등에서 배출되는 오염물질이 강우 발생 시 지정해역의 수질과 패류 중의 세균학적 오염도를 증가시킨다고 보고된 바 있다 (Ha *et al.*, 2018; Choi *et al.*, 2021; Jeong *et al.*, 2021).

하지만 국내에서 생산되어 소비되는 패류가 생산되는 해역에 대한 위생학적 안전성 평가, 오염원이 해역에 미치는 영향 평가 등의 기초 연구가 부족한 실정이며 (Lee *et al.*, 2020; Shin *et al.*, 2022), 칠천도 해역에 대해서는 전무한 실정이다.

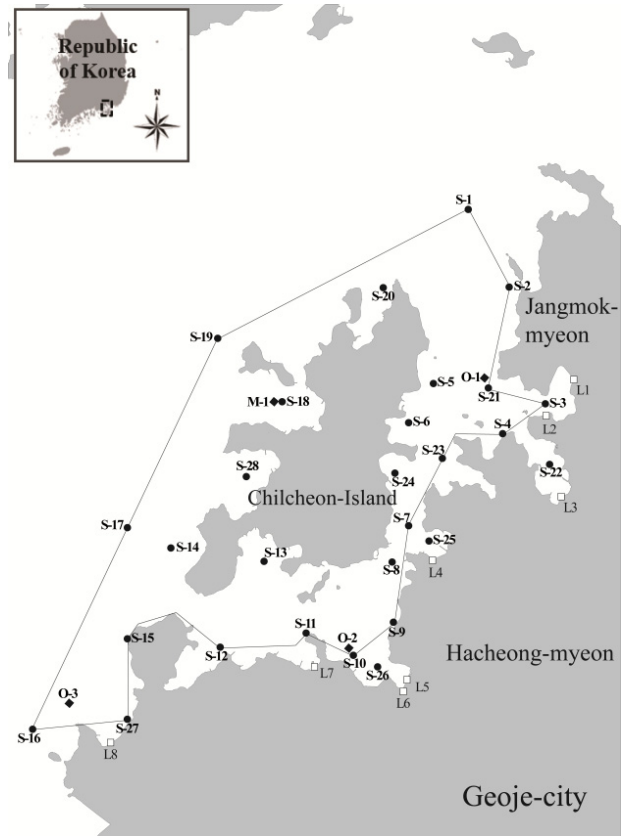
또한 전국의 패류생산율이 높은 경남지역 중 칠천도 해역은 거제시 장목면, 하청면 및 칠천도에 둘러싸여 있는 해역으로 진해만과 인접하여 있고, 동서 및 남북의 최대 길이가 각각 약 8.6 및 9.3 km이며, 수역 면적은 약 2,700 ha으로 주로 생산되는 패류는 굴, 담치류 등이다.

본 연구에서는 2020년 9월부터 2023년 2월까지 칠천도 해역의 해수 및 패류에 대한 위생상태를 조사하고, 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하여 칠천도 해역에서 생산되는 패류의 안전성 확보 및 오염원 관리 방안 수립을 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사정점 선정 및 시료채취

칠천도해역 위생조사를 위한 해수 및 패류 조사정점은 양식장의 분포, 지리학적인 요건, 배수유역과의 거리 등을 고려하여 28개소의 해수지점을 설정하였고, 칠천도해역의 주요 생산품종인 굴 (*Oyster*, *Crassostrea gigas*), 담치류 (*Mussel*, *Mytilus galloprovincialis*) 를 대상으로 4개소의 패류지점을 설정하였으며 2020년 9월부터 2023년 2월까지 월 1회 시



**Fig 1.** Sampling stations for major inland pollutants, seawater and shellfish in Chilcheondo area; ●, Seawater; ◆, Shellfish; □, Major inland pollution source.

료를 채취하였다 (Fig. 1). 주요 육상오염원 선정은 2021년 장목면, 하청면, 칠천도 유역으로 나누어 해안선을 따라 정밀조사하였으며, 이 중 분변오염도, 유량 등을 고려하여 8개의 주요 육상오염원을 선정하였고, 주요 패류생산시기인 2월, 4월, 10월 및 12월 매년 4회 시료를 채취하여 총 11회 시료를 채취하였다.

해수는 표층용 채수기를 이용해 해수면에서 약 10 cm 깊이에서 멸균처리된 용기에 채수하였으며, 패류는 수하연의 상, 중, 하층의 부착기를 채취하여 멸균처리된 Whirl-Pak (Nasco, USA) 에 담았으며, 수온, 염분, pH 등의 환경인자는 다항목수질측정기 (YSI ProDSS, YSI Life Science, USA) 를 사용하여 측정하였다. 육상오염원 시료에 대한 유량측정은 유속계 (Hach portable flowmeter FH950, Hach Science, USA) 를 사용하였으며, 해수가 유입되지 않는 간조시간 1시간 전후에 채수하였다. 모든 시료는 얼음 또는 아이스팩이 담긴 아이스박스를 이용하여 저온상태 (0-10℃) 를 유지하여 실험실로 운반한 즉시 실험에 사용하였다.

**2. 미생물분석**

대장균군 (Total coliform), 분변계대장균 (Fecal coliform) 및 일반세균수는 Recommended Procedures for the Examination of Sea water and Shellfish (APHA, 1970) 에 따라 분석하였다. 추정 및 확정시험은 Lauryl tryptose broth(Merck; Burlington, USA), Brilliant Green Bile Lactose Broth (Merck; Billerica, USA) 및 EC Broth (EC medium; Difco, Le pont de Claix, France) 를 사용하였으며, 각각 35 ± 0.5℃에서 24-48시간 및 44.5 ± 0.2℃에서 24 시간 배양하였다. 대장균 (*E. coli*) 분석은 Most probable number technique using 5-bromo-4chloro-3-indolyl-β-D-glucuronide에 따라 분석하였다 (ISO, 2015). 추정 및 확정 시험은 Mineral-modified glutamate medium (Oxoid; Basingstoke, UK) 및 Tryptone bile glucoronide agar (Merck; Billerica, USA) 를 사용하였으며, 각각 37 ± 1℃에서 24시간 및 44 ± 1℃에서 24시간 배양하였다. 각 희석단수 별로 5개 시험관을 사용하였고, 100 mL 또는 100 g당 최확 수법 (Most Probable Number, MPN) 으로 결과를 산출하였다. 일반세균수 분석은 패류희석액을 각각 2개의 멸균된 페트리디쉬에 1 mL씩 접종하고 Plate Count Agar (Merck; Billerica, USA) 를 18-20 mL 분주한 후 35 ± 0.5℃에서 48 시간 배양하여 확인된 집락을 CFU (Colony Forming Unit) 로 표시하였다.

Male-Specific Coliphage는 Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2015) 를 참고하여 한천중첩법 (Agar overlay method) 로 36.5 ± 2℃에서 24시간 분석하였다. 분석을 위한 숙주세포는 *E. coli* HS (qFamp) R (ATCC700891) 을 사용하였으며, 결과는 100 mL당 PFU (Plaque Forming Unit) 으로 나타내었다.

**3. 해수 및 패류의 위생학적 안전성평가**

해수의 위생상태평가는 우리나라 및 미국의 해역 분류 기준에 준하여 분변계대장균의 기하학적 평균 (Geometric mean,

GM) 및 계산된 백분위의 90번째 값 (Estimated 90th percentile, 90th percentile) 으로 평가하였다. 즉, 각 조사점 점별 총 30회의 분변계대장균 분석결과를 토대로 기하학적 평균 14 MPN/100 mL을 초과하지 않고 계산된 백분위의 90번째 값이 43 MPN/100 mL이하의 기준에 부합하는지 평가하였으며 90th percentile의 계산방법은 다음과 같다 (US FDA, 2017; MOF, 2022).

$$\text{Est. 90th} = \text{Antilog} [(\text{Slog})1.28 + \text{Xlog}]$$

Slog = 각 자료 그룹에서 각각의 MPN의 대수값의 표준편차

Xlog = 각 자료 그룹에서 각각의 MPN의 대수값의 평균

패류의 위생상태평가는 우리나라, 미국 및 EU의 위생기준에 준하여 분변계대장균, 대장균, 일반세균수 기준으로 평가하였다 (MOF, 2022; MOF, 2023; European Commission, 2019).

**4. 주요 육상오염원의 해역 영향평가**

칠천도 배수구역에 위치한 육상오염원 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가하기 위하여 미국 FDA에서 제시한 오염원 평가방법에 준하여 실시하였다 (Shim *et al.*, 2012; Mok *et al.*, 2016). 각 육상오염원의 배출수 유량과 검출된 분변계대장균 농도에 근거하여 일일 부하량 (Determine loading, MPN/day) 를 산출하였으며, 미국의 허가해역 수질 기준인 분변계대장균이 14 MPN/100 mL이하로 희석하는데 필요한 해수의 양 (Dilution water required) 을 계산하였다. 육상오염원의 최종 방류구부터 평균수심을 적용하여 최종적으로 해역에 미치는 영향평가를 하였다 (Table 1).

**5. 통계분석**

위생지표세균과 환경인자와의 상관성 분석을 위하여 R프로 그램 (<http://cran.r-project.org>, version 4.3.1) 환경에서 95% 신뢰수준으로 통계분석하였다. 위생지표세균의 농도와 강수량, 온도, 염도 등 환경인자와의 유의한 상관성 확인하기

**Table 1.** Method of calculating the impact range of pollutants

Items	Calculation
Determine loading (MPN/day)	Concentration of fecal coliform (MPN/100 mL) × Conversion (Liter to milliliter; 1,000 mL/L) × Conversion (Min per day; 1,440 min/day) × Flow (L/min)
Dilution water required (m <sup>3</sup> /day)	Determine loading (MPN/day) / [Standard (14 MPN/100mL) × Conversion (Milliliter to m <sup>3</sup> ; 100,000 mL/m <sup>3</sup> )]
Area required (m <sup>2</sup> /day)	Dilution water required (m <sup>3</sup> /day) / Average depth (m)
Radius of half-circle (m)	Area required (m <sup>2</sup> /day) × 2 / 3.14

**Table 2.** Results of the bacteriological examination of seawater in Chilcheondo area (2020.9-2023.2)

Station	Fecal coliform (MPN <sup>1)</sup> /100 mL)									No. of Samples
	Range	GM <sup>2)</sup>	90th <sup>3)</sup>	> 14		> 43		> 88		
				No.	%	No.	%	No.	%	
S-1	< 1.8-4.5	< 1.8	2.3	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-2	< 1.8-49	2.0	4.4	1	3.3	1	3.3	0	0.0	30
S-3	< 1.8-3,500	3.0	22	2	6.7	2	6.7	1	3.3	30
S-4	< 1.8-330	2.0	6.9	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-5	< 1.8-330	2.3	8.7	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-6	< 1.8-1,700	2.3	12	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-7	< 1.8-1,300	2.9	16	2	6.7	1	3.3	1	3.3	30
S-8	< 1.8-11,000	2.7	21	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-9	< 1.8-23,000	3.3	33	2	6.7	1	3.3	1	3.3	30
S-10	< 1.8-7,900	2.4	17	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-11	< 1.8-490	2.3	9.2	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-12	< 1.8-330	2.1	7.3	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-13	< 1.8-700	2.1	8.6	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-14	< 1.8-79	1.9	4.7	1	3.3	1	3.3	0	0.0	30
S-15	< 1.8-130	2.1	6.3	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-16	< 1.8-490	2.1	7.8	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-17	< 1.8-22	1.9	3.4	1	3.3	0	0.0	0	0.0	30
S-18	< 1.8-33	1.9	3.8	1	3.3	0	0.0	0	0.0	30
S-19	< 1.8-170	2.0	5.8	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-20	< 1.8-2.0	< 1.8	1.8	0	0.0	0	0.0	0	0.0	30
S-21	< 1.8-23,000	2.6	26	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-22	< 1.8-790	2.8	14	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-23	< 1.8-700	2.3	9.4	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-24	< 1.8-3,500	2.7	17	2	6.7	1	3.3	1	3.3	30
S-25	< 1.8-79	2.3	6.4	1	3.3	1	3.3	0	0.0	30
S-26	< 1.8-35,000	3.2	34	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-27	< 1.8-2,200	2.2	12	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
S-28	< 1.8-5,400	2.3	15	1	3.3	1	3.3	1	3.3	30
Total	< 1.8-35,000	< 1.8-3.3	1.8-34	30	3.6	25	3.0	21	2.5	840

<sup>1)</sup>MPN, Most probable number, <sup>2)</sup>GM, Geometric mean, <sup>3)</sup>90th, The estimated 90th percentile

위하여, “dplyr” package를 이용해 상관분석 (Pearson correlation) 을 수행하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 해수에 대한 위생학적 안전성평가**

2020년 9월부터 2023년 2월까지 칠천도 해역에 설정된 28 개의 해수정점의 각 30회, 총 840개 해수시료에서 검출된 분변계대장균의 농도범위는 < 1.8-35,000 MPN/100 mL이었으며, 분변계대장균의 기하학적 평균 및 90th percentile 값은 각각 < 1.8-3.3 및 1.8-34 MPN/100 mL으로 나타났다 ( Table 2). 먼저 우리나라의 패류생산해역 수질의 위생기준에

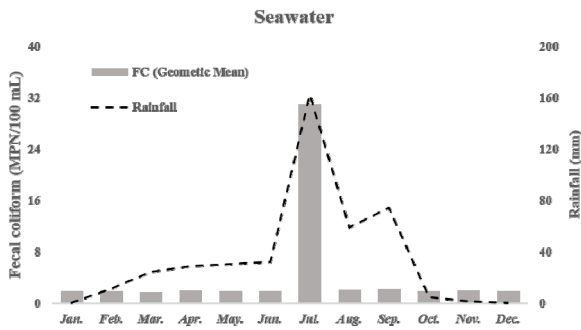


Fig 2. Comparison of monthly rainfall and fecal coliform value for seawater in Chilcheondo area.

따르면 해수에서 검출되는 분변계대장균 농도에 따라 지정해역 수준, 준지정해역 및 조건부해역으로 분류하고있으며, 상위 등급인 지정해역 수준의 경우에서는 모든 조사정점에서 분변계대장균의 기하학적 평균이 14 MPN/100 mL 미만인 해역으로 조사되어야 한다 (MOF, 2023). 본 해역의 연구결과, 칠천도 해역 해수 28개의 해수정점에서 검출된 분변계대장균의 기하학적 평균은 < 1.8-3.3 MPN/100 mL으로 나타났으며, 우리나라 지정해역 수준의 기준에 부합하는 것으로 평가되었다. 미국의 경우 미국 패류 위생관리 프로그램 (National Shellfish Sanitation Program) 에 준하여 각 해역의 위생조사를 30회 이상 수행하고 해수에서 검출되는 분변계대장균 농도의 기하학적 평균, 90th percentile 값에 따라 허가해역, 조건부 허가해역, 제한해역, 조건부 제한해역, 금지해역으로 분류하고있으며, 분변계대장균의 기하학적 평균이 14 MPN/100 mL을 초과하지 않고 90th percentile 값이 43 MPN/100 mL을 초과하지 않을경우 허가해역으로 규정하고 있다 (US FDA, 2019). 본 연구결과, 칠천도 해역의 분변계대장균의 기하학적 평균 및 90th percentile의 값은 각각 < 1.8-3.3 및

1.8-34 MPN/100 mL으로 미국의 허가해역 기준에 부합되는 것으로 평가되었다. 하지만 분변계대장균 농도가 43 MPN/100 mL을 초과하는 시료가 2021년 7월 및 9월에 확인 되었으며 특히 2021년 7월의 경우 해수 조사정점 28개소 중 24개소에서 초과하였으며, 이는 시료채취 전 발생한 100 mm 이상의 강우에 의해 인근 배수구역의 오염원이 해역으로 유입되어 영향을 받는 것을 나타내는 결과라 볼 수 있다. 또한 2020년 9월부터 2023년 2월까지의 칠천도 해역의 해수에서 조사 전 7일간의 강우량에 따른 분변계대장균의 기하학적 평균을 비교한 결과, 우리나라 기상학적 특성상 장마 및 태풍 등으로 인한 이유로 강우량이 높은 7-9월의 농도가 다소 높은 것으로 확인되었다 (Fig.2). 이는 우리나라의 패류가 생산되는 해역은 대체적으로 육지와 인접하게 위치하고 있으며 주변 주거구역 및 가축 사육시설 등의 오염원에 노출되어 있어 강우에 의해 영향을 많이 받아 지속적으로 위생관리하여야 된다고 보고된 바있다 (Jung *et al.*, 2017; Jeong *et al.*, 2020; Shin *et al.*, 2021). 따라서 칠천도 해역과 같이 육지와 인접한 해역은 특성상 주변 오염원이 다수 존재하고 있으므로 하수처리시설 신설 등과 같은 체계적인 오염원 관리가 진행되어야 되고, 이를 위해서는 정기적으로 해역의 위생상태 파악과 오염원에 대한 해역 영향평가가 수반되어야 한다.

2. 패류에 대한 위생학적 안전성평가

칠천도 해역의 주요 생산품종인 굴 및 담치류에 대한 위생학적 안전성을 평가하기 위하여 2020년 9월부터 2023년 2월까지 칠천도 해역 내 설정된 조사정점 4개소 (O-1, O-2, O-3, M-1) 에서 채취한 118개 패류의 분변계대장균 및 대장균의 범위는 각각 < 18-35,000 및 < 18-9,200 MPN/100 g이었으며, 일반세균수는 < 30-2,700 CFU/g으로 확인되었다 (Table 3). 우리나라 식품의약품안전처의 수산물에 대한 세균학적 공통 기준 및 해양수산부의 해역의 위생관리기준 중 생식용 굴

Table 3. Results of the bacteriological examination of shellfish in Chilcheondo area (2020.9-2023.2)

Station	Fecal coliform (MPN <sup>1</sup> /100 g)				<i>E.coli</i> (MPN/100 g)						Plate count (CFU <sup>2</sup> /g)				No. of samples
	Range	> 230		Range	> 230			> 700			Range	> 100,000			
		No.	%		No.	%	No.	%	No.	%		No.	%		
O-1	< 18-110	0	0.0	< 18-130	0	0.0	0	0.0	0	0.0	< 30-1,100	0	0.0	30	
O-2	< 18-11,000	2	6.7	< 18-9,200	1	3.3	1	3.3	1	3.3	< 30-1,200	0	0.0	30	
O-3	< 18-35,000	1	3.6	< 18-9,200	1	3.6	1	3.6	1	3.6	40-2,700	0	0.0	28	
M-1	< 18-790	2	6.7	< 18-790	2	6.7	1	3.3	0	0.0	< 30-1,400	0	0.0	30	
Total	< 18-35,000	5	4.2	< 18-9,200	4	3.4	3	2.5	2	1.7	< 30-2,700	0	0.0	118	

<sup>1</sup>MPN, Most probable number, <sup>2</sup>CFU, Colony forming unit

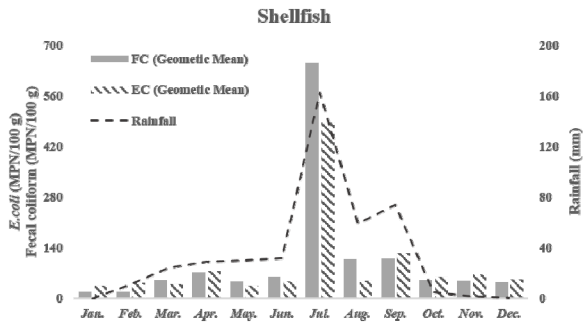


Fig 3. Comparison of monthly rainfall and fecal coliform value for shellfish in Chilcheondo area.

기준에 따르면 최종 소비자가 그대로 섭취할 수 있도록 유통판매를 목적으로 위생처리하여 용기·포장에 넣은 동물성 냉동수산물에 한하여 일반세균수 100,000 CFU/g이하, 대장균은 10 MPN/g이하로 규정하고 있으며, 또한 생식용 굴에 한하여서는 230 MPN/100 g이하로 규정하고 있다 (MFDS, 2023). 유럽연합의 경우는 패류에서 검출되는 대장균의 농도에 따라 해역을 4개 등급으로 분류하고 있다. 조사된 패류 시료수의 80% 이상이 230 MPN/100 g이하이어야 하고, 모든 시료에서 700 MPN/100 g이하일 때 A 등급, 패류 시료수의 90%가 4,600 MPN/100 g이하일 때 B 등급 그리고 46,000 MPN/100 g이하일 때 C 등급으로 분류하고있다 (European Commission, 2019). 본 연구결과, 칠천도 해역에서 분변계대장균 및 대장균의 범위는 < 18-35,000, < 18-9,200 MPN/100 g이었으며, 대장균 농도가 230 MPN/100 g을 초과하는 시료가 188개 중 4개로 3.4%이었고 700 MPN/100 g을 초과하는 시료는 188개 중 3개로 2.5%으로 나타났다. 따라서 우리나라의 생식용 굴 기준과 유럽연합의 패류 등급분류기준 중 A 등급에는 부합하지 않았으나, B 등급 기준에는 충족하는 것으로 확인되었다. 이는 2020년 10월 및 2021년 7월에

내린 100 mm이상의 강우로 인해 4개의 패류시료에서 230 MPN/100 g을 초과하였고 강우에 따른 오염원이 다량으로 유입되어 패류에 농축된 것으로 판단된다. 칠천도 해역의 패류에서 조사 전 7일간의 강우량에 따른 분변계대장균의 기하학적 평균을 비교한 결과, 강우량이 높은 7-9월의 분변계대장균 및 대장균의 농도가 다른 달에 비해 다소 높은 것으로 확인되며, 분변계대장균 및 대장균과 강우는 상관성이 있음을 알 수 있다 (Fig.3). 따라서 칠천도 해역의 패류에서 우리나라 및 유럽연합의 기준을 초과하였지만 우리나라에서의 주요 패류생산시기 (10월-5월) 와 비생산시기 (6월-9월) 로 나누어 봤을때, 주 생산시기가 아닌 비생산시기에는 소비자들에게 유통되는 양이 비교적 작고 대부분 굴국밥 등으로 가열조리하여 사용되기 때문에 생산시기에 비해 위해도가 상대적으로 낮을 것으로 사료된다.

3. 위생지표세균과 환경인자와의 상관성 분석

칠천도 해역의 2020년 9월부터 2023년 2월까지 해수 및 패류에서 분변계대장균 등 위생지표세균의 농도와 강수량, 온도, 염도 등 환경인자와의 상관성을 살펴본 결과, 강수량과 해수 중 분변계대장균 및 패류 중 분변계대장균, 대장균 농도와의 상관성은 0.38 및 0.53, 0.62로 유의한 양의 상관성을 보였으나 염도와는 상관성은 각각 - 0.62 및 - 0.30, - 0.59로 음의 상관성을 보였다. 그 밖의 다른 환경인자 (온도, pH, DO) 와는 유의적인 상관성을 나타내지 않았다 (p > 0.05) (Table 4).

Soueidan *et al.* (2021) 에 의하면 염분이 높은 강의 하구와 낮은 상류와 분변계대장균 농도를 비교하였을때 낮은 상류에서 분변계대장균 결과가 상대적으로 높았으며, Seo *et al.* (2019) 는 우리나라 강의 하구둑에서 여러 환경인자와 대장균, 분변계대장균의 상관관계를 분석한 결과, 대장균군 및 분변계대장균은 강수량과 정비례 관계, pH, DO값과는 반비례 관계가 있다고 하였고, Solic and Krstulovic (1992) 에서는

Table 4. Pearson correlation coefficients for the relationships between the bacteriological concentrations and seawater and shellfish in Chilcheondo

Variable	Element	Pearson correlation coefficients				
		Rainfall	Temp.	Salinity	pH	DO
Seawater	Fecal coliform	0.38*	0.07	- 0.62	- 0.01	- 0.05
	Fecal coliform	0.53*	0.10	- 0.30	0.02	- 0.10
Shellfish	<i>E. coli</i>	0.62*	0.11	- 0.59	0.02	- 0.10

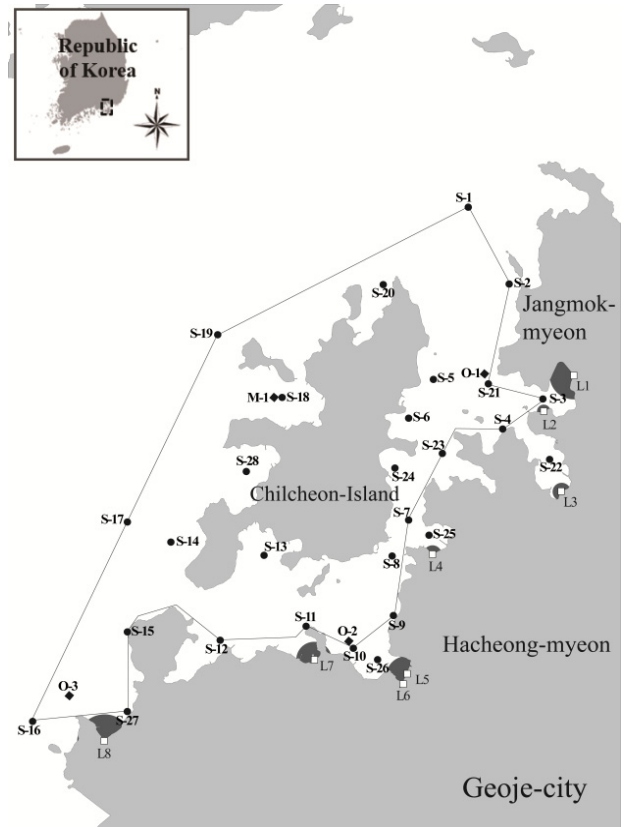
\*Level of significance (p < 0.05)



해수에서 일사량, 온도 및 염도가 분변계대장균을 생존에 부정적인 영향을 미쳤다고 보고하였다. 이상의 결과를 종합하여 보았을 때, 위생지표세균과 강수량, 염분과의 상관관계는 유사한 결과를 나타냈지만, 본 연구에서는 위생지표세균과 pH, DO의 상관관계는 나타나지 않았다. 따라서 강수량, 염분이 분변계대장균 등 위생지표세균에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다.

**4. 주요 육상오염원 배출수가 해역에 미치는 영향평가**

칠천도 배수유역에 분포한 하수처리시설, 하천 및 생활하수 등을 대상으로 배출수의 유량, 분변계대장균의 농도에 따라 주요한 육상오염원 8개소를 선정하였으며 이 중 2개소는 칠천도 배수유역에 위치한 하수처리시설이며, 우리나라 하수도법 시행규칙의 공공하수처리시설·간이공공하수처리시설의 방류수기준에 따라 대장균군 3,000 CFU/mL (300,000 MPN/100 mL)의 기준이 적용된다. 본 연구결과, 2020년 9월부터 2023년 2월까지 총 11회 조사하였으며, 조사기간 중 주요 육상오염원의 배출수에서 측정된 유량은 45.1-22,942.5 L/min이었고 대장균군 및 분변계대장균의 농도는 2.0-490,000 및 2.0-110,000 MPN/100 mL로 검출되었으며, 이를 토대로 계산한 주요 육상오염원 영향반경은 4.7-558.2 m로 확인되었다 (Table 5). 칠천도해역에 위치한 하수처리시설 2개소 (L2, L5)의 배출수에서 검출된 대장균군 및 분변계대장균의 농도는 각각 2.0-13,000 및 2.0-4,900 MPN/100 mL로 우리나라 하수도법 기준을 충족하였으며, L1, L3 조사정점은 장목면 서부에 위치하고 있는 소하천이고, L4,6-8 조사정점은 하청면에 위치하고 있는 소하천이다. 2020년 9월부터 2023년 2월까지의 결



**Fig 4.** Evaluation of radius of influence of major pollution sources impact in Chilcheondo area.

과를 토대로 해역에 미치는 영향이 가장 높을 때 해역영향반경을 산출하여 Fig.4에 나타내었다. L1 정점의 분변계대장균 농

**Table 5.** Results of the major pollution sources identified in the drainage area of Chilcheondo area

Station	Type	Discharge volume (L/min)	Total coliform (MPN <sup>1)</sup> /100 mL)	Fecal coliform (MPN/100 mL)	Male-specific coliphage (PFU <sup>2)</sup> /100 mL)	Residue of half-circle (m)	No. of Samples
L1	SW <sup>3)</sup>	72.5-1,559.3	40-490,000	4.5-92,000	< 10-1,340	16.7-498.7	11
L2	WWTP <sup>4)</sup>	168.7-256.3	2.0-4,900	2.0-2,300	< 10-< 10	4.7-88.6	11
L3	SW	45.1-2,547.5	330-17,000	79-4,900	< 10-1,100	20.8-178.3	11
L4	SW	148.2-651.5	17-28,000	17-4,600	< 10-3,050	14.6-187.9	11
L5	WWTP	256.3-391.7	79-13,000	33-4,900	< 10-< 10	61.1-309.6	11
L6	SW	82.0-1,369.9	200-24,000	33-3,300	< 10-420	21.7-291.9	11
L7	SW	453.7-22,942.5	23-7,000	4.5-330	< 10-80	19.6-291.8	11
L8	SW	142.4-605.4	2,800-110,000	700-110,000	80-1,500	94.6-558.2	7
Total		45.1-22,942.5	2.0-490,000	2.0-110,000	< 10-3,050	4.7-558.2	84

<sup>1)</sup>MPN, Most probable number, <sup>2)</sup>PFU, Plaque forming units, <sup>3)</sup>SW, Stream water, <sup>4)</sup>WWTP, Waste water treatment plant

도 및 해역에 미치는 영향반경은 각각 4.5-92,000 MPN/100 mL 및 16.7-498.7 m로 장목면에 위치한 주요 육상오염원 중 오염도와 해역에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 확인되었고 L8 정점의 분변계대장균 농도 및 해역에 미치는 영향반경은 각각 700-110,000 MPN/100 mL 및 94.6-558.2 m로 하청면에 위치한 주요 육상오염원 중 오염도와 해역에 미치는 영향이 가장 큰 것으로 확인되었지만 패류생산해역 경계선까지는 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 또한 L7 정점의 경우에는 453.7-22,942.5 L/min으로 주요 육상오염원 중 가장 많은 유량을 나타내었지만, 비교적 낮은 분변계대장균 농도로 해역에 미치는 영향은 크지 않았다. 하지만 이러한 육상오염원은 강우 등 기상학적 영향에 따라 오염부하량이 증가할 가능성이 크므로 지속적인 관리가 수반되어야 한다.

칠천도 해역의 해수 및 패류의 위생학적 안전성을 확보하기 위해서는 정기적으로 패류생산해역 인근 배수구역 오염원 파악과 오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하고 이러한 결과를 토대로 하수가 처리되지 않는 마을 등에 하수처리시설 신설 및 하수처리구역 확대에 과학적 근거자료가 필요한 것으로 판단된다. 또한 칠천도 해역에서는 굴, 담치류 및 피조개 양식이 활발히 이루어지고 있으며 본 연구의 결과를 종합하여 보았을 때, 칠천도 해역은 강우에 대한 영향을 많이 받는 해역으로 향후 강우량 및 회복기간을 세분화하여 합당한 패류채취 제한기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구에서는 우리나라 대부분의 패류생산이 집중된 경남 지역 중 칠천도 해역의 해수 및 패류에 대한 위생상태를 파악하고, 해역 인근 배수구역에 위치한 주요 육상오염원이 해역에 미치는 영향을 평가하여 동 해역에서 생산되는 패류의 안전성 확보 및 오염원 관리 방안 수립을 위한 과학적 근거자료를 확보하고자 하였다.

2020년 9월부터 2023년 2월까지 칠천도 해역에 설정된 28개 해수정점의 각 30회, 총 840개 해수시료에서 검출된 분변계대장균 농도범위는 < 1.8-35,000 MPN/100 mL이었고, 분변계대장균의 기하학적 평균 및 90th percentile 값은 각각 < 1.8-3.3 및 1.8-34 MPN/100 mL로 계산되어 우리나라의 지정해역 수준 및 미국의 허가해역 수질기준에 부합되는 것으로 평가 되었으며, 칠천도 해역에서 생산되는 주 생산 패류인 굴 및 담치류를 대상으로 해역 내 설정된 조사정점 4개에서 채취한 총 188개 패류에 대한 분변계대장균 및 대장균의 범위는 각각 < 18-35,000 및 < 18-9,200 MPN/100 g이었으며, 일반 세균수는 < 30-2,700 CFU/g으로 확인되어 우리나라의 생식용 굴 기준과 유럽연합의 패류 등급분류기준 중 A 등급에는

부합하지 않았으나, B 등급 기준에 충족하는 것으로 확인되었다. 또한 조사된 칠천도 해역의 해수 및 패류에서 분변계대장균 등 위생지표세균의 농도와 여러 환경인자간의 상관성을 살펴 보았을 때, 강우량과 양의 상관관계, 염분과 음의 상관관계를 나타내었으며, 강수량, 염분이 분변계대장균 등 위생지표세균에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었다. 칠천도 해역 주변에 분포한 주요 육상오염원의 배출수가 해역에 미치는 영향을 평가한 결과, 총 8개의 주요 육상오염원 배출수에서 측정된 유량은 45.1-22,942.5 L/min이었고 대장균군 및 분변계대장균의 농도는 2.0-490,000 및 2.0-110,000 MPN/100 mL로 검출되었으며, 이를 토대로 계산한 해역에 미치는 영향반경은 4.7-558.2 m로 확인되었다.

이상의 결과를 볼 때, 칠천도 해역의 수질은 우리나라의 지정해역 수준, 미국의 허가해역에 해당하였으나 패류는 우리나라의 생식용 굴 기준과 유럽연합의 패류 등급분류기준 중 A 등급에는 부합하지 않았으며 칠천도 해역과 같이 육지와 인접한 해역은 특성상 주변 오염원이 다수 존재하고 있으므로 하수처리시설 신설 등과 같은 체계적인 오염원 관리가 필요하고, 이를 위해서는 정기적인 해역의 위생상태 파악과 오염원에 대한 지속적인 조사 및 관리가 필요한 것으로 사료된다.

## 사 사

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

## REFERENCES

- APHA (1970) Recommended procedures for the examination of seawater and shellfish. 4th Edition. pp. 1-47. American Public Health Association, Washington.
- APHA (2015) Standard methods for the examination of water and wastewater 23rd edition. American Public Health Association, Washington.
- Choi, W.S., Shin, S.B., Yoon, M., Lee, J.H., Kim, K.Y. and Lim, C.W. (2021) The effect of major inland pollution sources on sea and shellfish in Narodo area, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **34**(4), 155-163. <http://doi.org/10.9710/kjm.2021.37.4.155>.
- European Commission (2019) Commission Regulation (EU) 2019/627 laying down uniform practical arrangements for the performance of official controls on products of animal origin intended for human consumption in accordance with Regulation (EU) 2017/625 of the European Prliament and of the Council and amending Commission Regulation (EC) No 2074/2005 as regards official controls. Official Journal of the European Union, L132/51.



- Grimes, D.J. (1991) Ecology of estuarine bacteria capable of causing human disease: A review. *Estuaries*, **14**: 345-360. <http://doi.org/10.2307/1352260>.
- Ha, K.S., Lee, K.J., Jeong, Y.J., Mok, J.S., Kim, P.H., Kim, Y.K., Lee, H.J., Kim, D.W. and Son, K.T. (2018) Evaluation of sanitary safety for shellfish in Hansan-Geojeman, Korea. *Journal of Food Hygiene and Safety*, **33**: 404-411. <http://doi.org/10.13103/JFHS.2018.33.5.404>.
- ISO (International Organization for Standardization). 2015. Microbiology of the food chain-Horizontal method for the enumeration beta-glucuronidase-positive *Escherichia coli* Part 3: Detection and most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indoly- $\beta$ -D-glucuronide. International Organization for Standardization. 16649-3.
- Jarde, E., Jeanneau, L., Harrault, L., Quenot, E., Solecki, O., Petitjean, P., Lozach, S., Cheve, J. and Gourmelon, Michele. (2018) Application of a microbial source tracking based on bacterial and chemical markers in headwater and coastal catchments. *Science of the Total Environment*, **610-611**: 55-63. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.235>.
- Jeong, S.H., Shin, S.B., Lee, J.H., Kwon, J.Y., Lee, H.C., Kim, S.J. and Ha, K.S. (2020) Level of contamination in the feces of several species at major inland pollution sources in the drainage basin of Yeolja Bay, Republic of Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, **192**(3): 170. <http://doi.org/10.1007/s10661-020-8131-7>.
- Jeong, S.H., Kwon, J.Y., Shin, S.B., Choi, W.S., Lee, J.H., Kim, S.J. and Ha, K.S. (2021) Antibiotic resistance in shellfish and major inland pollution sources in drainage basin of Kamak Bay, Republic of Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, **193**(8): 471. <http://doi.org/10.1007/s10661-021-09201-z>.
- Jung, Y.J., Park, Y.C., Lee, K.J., Kim, M.S., Go, K.R., Park, S.G., Kwon, S.J., Yang, J.H. and Mok, J.S. (2017) Spatial and seasonal variation of pollution sources in proximity of the Jaranman-Saryangdo area in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, **115**: 369-375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.003>.
- KOSIS (2022) Fishery production survey on statistical database. Statistics Korea. Retrieved from <https://kosis.kr> on August 18.
- Lee, J.H., Choi, W.S., Lim, C.W. and Shin, S.B. (2020) Investigation of terrestrial fecal bacteria affecting the sanitary status of ark shell (*Scapharca subcrenata*) farm in Yeolja bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **36**(4): 175-184. <http://doi.org/10.9710/kjm.2020.36.4.175>.
- Lees, D. (2000) Viruses and bivalve shellfish. *International Journal of Food Microbiology*, **59**: 81-116. [http://doi.org/10.1016/s0168-1605\(00\)02488](http://doi.org/10.1016/s0168-1605(00)02488).
- Legnani, P., Leoni, E., Lev, D., Rossi, R., Villa, G.C. and Bisbini, P. (1998) Distribution of indicator bacteria and bacteriophages in shellfish and shellfish growing waters. *Journal of Applied Microbiology*, **85**(5): 790-798.
- Mallin, M.A., Ensign, S.H., Mciver, M.R., Shank, G.C. and Fowler, P.K. (2001) Demographic, landscape and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters. *Hydrobiologia*, **460**: 185-193.
- MFDS (2023) Korea food standards. Article 2023-29. The Notification of Ministry of Food and Deug Safety, Korea. Retrieved from <http://www.law.go.kr> on April 28.
- MOF (2022) Korean Shellfish Sanitation Program. pp.1-102. Ministry of Ocean and Fisheries, Korea. Retrieved from <https://www.law.go.kr> on August 20.
- MOF (2023) Sanitary Standard of Water quality in Shellfish growing area. Ministry of Ocean and Fisheries, Korea. Retrieved from <https://www.law.go.kr> on August 20.
- Mok, J.S., Lee, T.S., Kim, P.H., Lee, H.J., Ha, K.S., Shim, K.B., Lee, K.J., Jung, Y.J. and Kim, J.H. (2016) Bacteriological quality evaluation of seawater and oysters from the Hansan-Geojeman area in Korea, 2011-2013: impact of inland pollution sources. *SpringerPlus*, **5**(1): 1412. <http://doi.org/10.1186/s40064-016-3049-9>.
- Park, K., Jo, M.R., Kwon, J.Y., Son, K.T., Lee, D.S. and Lee, H.J. (2010) Evaluation of the bacteriological safety of the shellfish-growing area in Gangjinman, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **43**(6): 614-622. <http://doi.org/10.13000/jfmse.2018.12.30.6.2241>.
- Potasman, I., Paz, A. and Odeh, M. (2002) Infectious outbreaks associated with bivalve shellfish consumption: A worldwide perspective. *Clinical Infectious Diseases*, **35**: 921-928. <http://doi.org/10.1086/342330>.
- Seo, M., Lee, H. and Kim, Y. (2019) Relationship between coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong river, South Korea. *Water*, **11**(6): 1171. <http://doi.org/10.3390/w11061171>.
- Shim, K.B., Ha, K.S., Yoon, H.D., Lee, T.S. and Kim, J.H. (2012) Impact of pollution sources on the bacteriological water quality in the Yongnam-Gwangdo shellfish growing area of western Jinhe bay, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **45**: 561-569. <http://doi.org/10.5657/kfas.2012.0561>.
- Shin, S.B., Oh, E.G., Lee, H.J., Kim, Y.K., Lee, T.S. and Kim, J.H. (2014) Norovirus quantification in oysters *Crassostrea gigas* collected from Tongyeong, Korea. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **47**: 501-507. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0501>.
- Shin, S.B., Choi, W.S., Lee, J.H. and Lim, C.W. (2021) Evaluation of the effect of the inland pollution source on seawater and oyster (*Crassostrea gigas*) after rainfall in the Kamak bay, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **37**(3): 113-123. <http://doi.org/10.9710/kjm.2021.37.3.113>.
- Shin, S.B., Choi, W.S., Lee, J.H., Kim, M.J. and Lim, C.W. (2022) Assessment of bacteriological safety of the seawater and abalone (*Haliotis discus hannai*) in Bogil-Nohwa area, Korea. *Korean Journal of Malacology*, **38**(3): 125-134. <http://doi.org/10.9710/kjm.2022.38.3.125>.
- Solic, M. and Krstulovic, N. (1992) Separate and combined effects of solar radiation, temperature,

- salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. *Marine Pollution Bulletin*, **24**(8): 411-416. [http://doi.org/10.1016/0025-326X\(92\)90503-X](http://doi.org/10.1016/0025-326X(92)90503-X).
- Soueidan, J., Warren, A., Pearson, M. and Montie, E.W. (2021) A changing estuary: Understanding historical patterns in salinity and fecal coliform levels in the May River, SC. *Marine Pollution Bulletin*, **168**: 112384. <http://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112384>.
- US FDA (2019) National Shellfish Sanitation Program, guide for the control of molluscan shellfish. U.S. Food and Drug Administration, silver Spring. Retrieved from <https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/FederalStateFoodPrograms/ucm2006754.htm> on August 15.