

# 경남 연안 해만 가리비(*Argopecten irradians*)의 부위별 마비성 패류독소 분포

김동욱 · 박큰바위 · 하광수<sup>1</sup> · 류아라 · 유현재 · 조성해 · 조성래 · 목종수\*

국립수산과학원 식품위생기공과, <sup>1</sup>국립수산과학원 남동해수산연구소

## Anatomical Distribution of Paralytic Shellfish Toxin in Bay Scallops *Argopecten irradians* Along the Gyeongnam Coast, Korea

Dong Wook Kim, Kunbawui Park, Kwang Soo Ha<sup>1</sup>, Ara Ryu, Hean Jae Yu, Seong Hae Jo, Sung Rae Jo and Jong Soo Mok\*

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

<sup>1</sup>Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Tongyeong 53085, Korea

To understand the characteristics of paralytic shellfish poisoning in a major production area of the bay scallop *Argopecten irradians* in Korea, the seasonal variation and anatomical distribution of paralytic shellfish toxin (PST) were determined in bay scallops collected from the Gyeongnam coast of Korea from March to May 2018. PST levels in bay scallops in the survey area showed remarkable seasonal variation. PST was first detected at a level of 0.42 mg/kg on April 2, 2018, and the highest toxin level (3.15 mg/kg) was recorded on April 12. Among the tissues of bay scallops, the highest proportion of PST was found in the viscera (54.9%±17.8%), followed by the adductor (22.8%±10.9%), gonads (8.9%±4.6%), gills (7.1%±3.7%), and mantle (6.3%±.8%). In addition, with higher PST levels in the whole tissues of bay scallops, the proportion of PST in the viscera increased, whereas those in the mantle, gill, and gonad tissues decreased. In a high-toxicity group with more than 2.0 mg/kg PST in the whole tissues, the proportion of PST in the viscera was 71.8%±6.7%.

Key words: Paralytic shellfish poison, Scallops, *Argopecten irradians*, Toxin, Korea

### 서 론

식중독의 원인으로는 크게 생물학적 식중독, 화학적 식중독으로 나누어지며, 화학적 식중독 중에서 자연독 식중독은 자연적으로 어떤 식물 또는 동물이 원래부터 가지는 성분이거나, 먹이사슬을 통해 동물의 체내에 축적되어 유독물질이 생긴 것을 말한다. 이때패류에 존재하는 자연독인 패류독소는 독소를 생성하는 원인 플랑크톤을 패류 등이 여과 섭식함으로써 체내에 축적하게 된다(Mok et al., 2012). 이때패류에서 검출되는 대표적인 패류독소는 증상에 따라 중독 시 마비를 일으키는 마비성 패류독소, 기억상실증을 유발하는 기억상실성 패류독소, 설사를 유발하는 설사성 패류독소가 있다. 이 외에도 아자스피르산과 신경성 패류독소 등 다수의 유독성분이 알려져 있다(No-

guchi, 2003; Toyofuku, 2006). 세계적으로 처음 기록된 마비성 패류독소로 인한 사고는 1790년 알래스카에서 100여명이 사망한 사례이며, 이후 세계적으로 마비성 패류독소가 지속적으로 발생하고 있다(Determan, 2003; Noguchi, 2003; Toyofuku, 2006). 이에 우리나라를 비롯하여 미국, 일본, EU, 캐나다 등 많은 나라에서 식품 허용기준을 정하여 지속적으로 모니터링을 수행하고 있다(Mok et al., 2013b). 우리나라 진해만 등의 경남 연안은 마비성 패류독소가 가장 먼저 발생되는 지역으로 매년 주기적으로 마비성 패류독소가 이 지역에서 발생되고 있다(Mok et al., 2013a, b). 현재까지 우리나라에서 패류 중의 마비성 패류독소에 대한 연구는 담치류 중심으로 많은 연구가 수행되었다(Chang et al., 1987; Chang et al., 1988a; Chang et al., 1988b; Park et al., 2000; Shon et al., 2009; Mok et al.,

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2640 Fax: +82. 51. 720. 2619

E-mail address: mjs0620@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.2019.0241>

Korean J Fish Aquat Sci 52(3), 241-246, June 2019

Received 11 April 2019; Revised 27 May 2019; Accepted 17 June 2019

저자 직위: 김동욱(연구사), 박큰바위(연구사), 하광수(연구관), 류아라(석사후연구원), 유현재(연구원), 조성해(연구원), 조성래(석사후연구원), 목종수(연구원)

2012). 반면, 우리나라에서 가리비에 대한 마비성 패류독소 연구는 Mok et al. (2012)에 의하여 진해만에서 인위적으로 이식한 가리비에서 독소의 함량 및 축적에 대해서만 수행되었으나, 아직까지 다양한 지역에서의 독소의 시기별 변화 및 부위별 독소의 분포에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 이 연구에서는 마비성 패류독소가 주로 발생하는 경남 연안에서 해만 가리비의 시기별 독소 함량의 변화 및 각 부위별 독소의 분포를 비교하였다.

## 재료 및 방법

### 시약 및 실험 동물

Saxitoxin (STX) 표준물질은 National Institute of Standard and Technology (NIST, CO, USA)에서 reference material 등급의 RM 8642를 구입하여 사용하였고, 추출용매로 사용한 hydrochloric acid (HCl; Merck, Darmstadt, Germany)을 이용하였다. 마비성 패류독소 분석에 사용된 실험동물은 SPF (specific pathogen free) 등급의 18-20 g 사이의 4주령 ICR (institute cancer research)계 수컷 mouse를 사용하였다.

### 시료

해만 가리비에서 마비성 패류독소 검출 경향을 파악하기 위하여 남해안의 가장 대표적인 가리비 생산해역인 경남 고성군 자란만에서 마비성 패류독소가 주로 발생하는 시기인 2018년 3월부터 5월까지 시료를 채취하였다(Fig. 1). 또한, 해만 가리비의 부위별 패류독소 분포를 파악하기 위하여 경남에 위치한 남해군(station 1), 고성군(station 2), 통영시(station 3) 및 거제시(station 4) 연안에서 5월에 시료를 채취하여 분석에 사용하였다. 모든 시료는 채취하여 표면에 묻어 있는 이물질을 제거한 후 지퍼백에 넣어 아이스 박스에 담아서 실험실로 운반하였다.

### 마비성 패류독소 분석

마비성 패류독소 분석은 AOAC (2006)의 bioassay법에 준하여 추출 및 정량을 하였다. 즉, 해만 가리비 시료를 운반한 즉시, 수도수로 깨끗이 씻어 껍질을 제거한 후 물기를 제거하고, 육질 약 100-150 g을 취하여 2분간 균질화한 시료 100 g에 0.1 N HCl 100 mL를 첨가하여 100°C에서 5분간 가열한 후 실온으로 냉각하였다. 가열 추출액을 pH 2.0-4.0가 되도록 조정하여 200 mL로 정용한 후 5,000 g에서 5분간 원심 분리하여 상층액을 분석용 시료 추출액으로 사용하였다. 그리고 시료 추출액을 3마리의 mouse 복강에 각각 1 mL 주입하고 사망여부를 확인하여 독력을 계산하였으며, 마비성 패류독소의 함량은 mg STX eq/kg (이하 mg/kg)으로 나타내었다. 이때, 해만 가리비의 가식부의 마비성 패류독소 함량을 측정하기 위하여 식품의약품안전처(KMFDS, 2019)의 식품공전에 따라 내장을 제거하고 가식부만 분리하여 사용하였다. 또한, 해만 가리비의 부위별 마비성

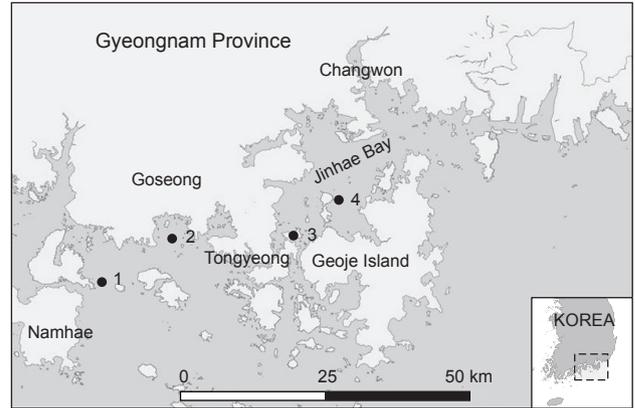


Fig. 1. Sampling stations of bay scallops *Argopecten irradians* along the Gyeongnam coast in Korea.

패류독소 분포를 파악하기 위하여 시료가 도착한 직후 껍질을 분리하여 씻어낸 후 패각근, 외투막, 아가미, 생식소, 내장 등으로 분리하여 각 부위의 무게와 독소 함량을 측정하였으며, 그리고 이를 토대로 전체 육질부의 독소 함량에서 차지하는 각 부위별 독소 비율을 계산하였다.

### 통계분석

모든 통계분석은 Windows용 R software (ver. 2.4.3)를 사용하였으며(R Development Core Team, 2018), 집단간의 차이를 분석하기 위해서는 R package의 “agricolae”를 사용하여 Duncan의 다중범위검정을 실시하였다(de Mendiburu, 2019).

## 결과 및 고찰

### 해만 가리비의 시기별 마비성 패류독소 변화

경남 연안에 양식되고 있는 해만 가리비의 시기별 마비성 패류독소 발생 경향을 알아보기 위하여 2018년 3월부터 5월까지 남해안의 가장 대표적인 가리비 생산해역인 경남 고성군 자란만에서 해만 가리비를 주기적으로 채취하여 마비성 패류독소를 분석하였다(Fig. 2). 우리나라는 식품공전에 의거하여 마비성 패류독소의 허용기준치를 패류 및 피낭류에 대하여 0.8 mg/kg으로 정하고 있다(KMFDS, 2019). 자란만 해역에서 해만 가리비 가식부 중의 마비성 패류독소는 4월 2일에 0.42 mg/kg으로 처음 검출되었다. 이후 4월 10일(0.64 mg/kg)까지 서서히 증가하여 우리나라 허용 기준치 이하로 유지되었으나, 4월 12일에 3.15 mg/kg으로 기준치의 약 5배로 급격히 증가하여 가장 높은 값을 나타내었다. 그리고 4일 이후인 4월 16일에는 기준치를 초과하였지만, 0.98 mg/kg으로 상당량 감소된 것이 확인 되었다. 또한 마비성 패류독소는 4월 19일부터 기준치 이하인 0.46 mg/kg으로 감소하였으며, 5월 10일까지 검출되다가 5월 17일에 완전히 소멸되었다. 반면, 이 연구에서 진해만에 위치한 통영시 지

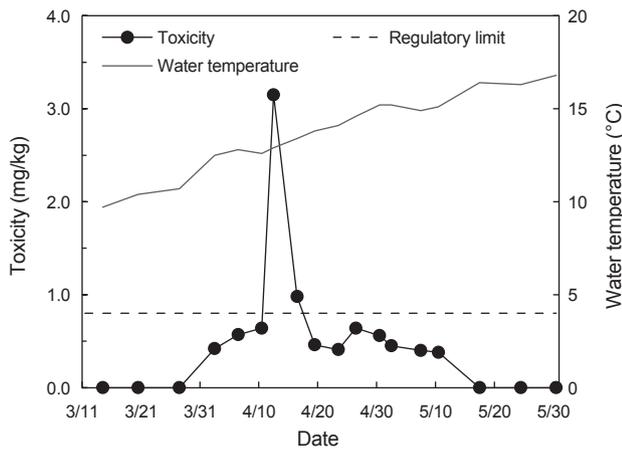


Fig. 2. Variation of paralytic shellfish toxin in edible tissue of bay scallops *Argopecten irradians* along the Gyeongnam coast of Korea in 2018.

도리 연안(station 3)에서 채취한 가리비에서는 6월 8일에도 마비성 패류독소가 검출되어 자란만 해역 보다 다소 늦게 소멸하는 경향을 나타내었다(Fig. 2 및 Table 2). Mok et al. (2012)의 연구에서도 진해만에 위치한 창원시 진해구 명동연안에서 가리비의 경우 2006년에는 6월 8일까지 기준치 이하로 검출된 이후 6월 14일에 완전히 소멸하였다고 하여 통영시 지도리 연안의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

한편, 해만 가리비 중의 마비성 패류독소가 처음 검출될 때의 수온은 12.5°C로, 2009년 진해만의 담치에서 12°C 내외에서 마비성 패류독소가 처음 검출되었다는 보고(Mok et al., 2013b)와 유사하였으나, 최종 소멸 시 온도는 15.1°C로 Lee et al. (2006)이 보고한 담치류에서 일반적인 소멸하기 시작하는 온도(약 18°C 내외) 보다 낮은 온도에서 일찍 소멸되었다. 또한, Mok et al. (2012)의 보고에 의하면, 2005년 및 2006년 진해만에서

가리비의 마비성 패류독소는 굴, 바지락 등과 비슷하게 검출되기 시작하였으나, 다른 품종에서는 독소가 감소하기 시작함에도 불구하고 지속적으로 증가하여 다른 품종에 비하여 늦게 최고치를 보였으며, 독화 기간도 길어지는 경향을 나타내었다고 하였다. 그러나, 고성군 자란만에서 해만 가리비의 경우 2일만에 독량이 약 5배 증가하여 최고 독량인 3.15 mg/kg으로 증가했다가 일주일 만에 다시 기준치 이하로 감소되어 상대적으로 빠른 기간 동안 축적과 감소가 이루어지는 것이 확인되었다. 더욱이, 본 연구에서 고성군 자란만 주변에 위치한 고성만 입구에서 채취한 굴에서는 4월 10일 및 4월 12일에만 마비성 패류독소가 0.42-0.54 mg/kg로 검출되었으며(결과 미제시), 동일 시기의 가리비 가식부에서 최고 독력인 3.15 mg/kg의 비하여 약 0.1-0.2배로 매우 낮은 수준이었다. Park et al. (2004)은 각 해역마다 원인 플랑크톤들의 조성차와 개체들마다 가지는 마비성 패류독소의 종류가 다르기 때문에 독성이 달라진다고 보고하였다. 또한, MacIntyre et al. (1997)과 Hwang and Lu (2000)은 동일한 마비성 패류독소를 생산하는 플랑크톤임에도 불구하고 바다환경 요인들의 변화로 인하여 독소의 조성이 바뀔 수 있다고 하는 것으로 보아, 해당 해역의 수온뿐만 아니라 염분, 강수량, 영양 염류, 해수 유동 등이 원인 플랑크톤의 증식에 영향을 미치는 요인들이 다르기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 가리비에서의 독성치 변동이 다른 패류와 다소 상이한 원인이 서식 환경 또는 생물자체의 특성 등에 의한 것인지는 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 해만 가리비의 부위별 무게 비교

해만 가리비의 부위별 독소 함량을 비교하기 위해 2018년 5월에 남해군 창선면 장포리(n=6), 고성군 자란만(n=2), 통영시 용남면 지도리(n=7), 거제시 사등면 창호리(n=6) 연안에서 시료를 채취하였다. 이때, 분석용 가리비 부위를 외투막, 아가미, 패각근, 생식소, 내장 등 다섯 부분으로 분리하여 각각의 무게를 측정하고 전체 육에서 차지하는 비율을 계산하였다(Table

Table 1. Anatomical weight composition of bay scallops *Argopecten irradians* along the Gyeongnam coast of Korea in 2018

Tissue	Weight (mean, g)					Composition rate of total weight (%)
	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4	Total	
Mantle	2.1-3.0 (2.4±0.4)	2.0-2.0 (2.0±0.0)	2.2-3.0 (2.7±0.3)	2.2-3.7 (2.9±0.6)	2.0-3.7 (2.6±0.5)	19.1±2.4
Gill	1.9-2.6 (2.2±0.3)	2.3-2.8 (2.5±0.4)	2.6-3.9 (2.9±0.4)	2.3-3.6 (3.0±0.5)	1.9-3.9 (2.7±0.5)	19.9±3.2
Adductor	2.5-3.2 (2.8±0.2)	2.2-2.3 (2.3±0.0)	2.8-4.4 (3.4±0.7)	2.5-5.3 (3.9±1.0)	2.2-5.3 (3.3±0.8)	23.6±3.0
Gonad	2.0-5.9 (3.4±1.3)	1.1-1.9 (1.5±0.6)	1.9-4.4 (3.1±0.9)	2.3-3.6 (2.9±0.5)	1.1-5.9 (3.0±1.0)	21.4±6.0
Viscera	1.5-2.1 (1.7±0.3)	1.9-2.0 (2.0±0.1)	1.9-3.6 (2.4±0.6)	2.0-3.4 (2.5±0.5)	1.5-3.6 (2.2±0.5)	16.0±3.3
Whole tissue	11.3-14.8 (12.6±1.2)	9.4-11.0 (10.2±1.1)	12.6-16.4 (14.5±1.7)	11.9-18.9 (15.2±2.5)	9.4-18.9 (13.7±2.3)	100

1). 가리비의 껍질을 제거한 전체 육질부의 중량은 9.4-18.9 g ( $13.7 \pm 2.3$  g) 이었고, 각 부위별 평균 중량은 외투막  $2.6 \pm 0.5$  g, 아가미  $2.7 \pm 0.5$  g, 패각근  $3.3 \pm 0.8$  g, 생식소  $3.0 \pm 1.0$  g 및 내장  $2.2 \pm 0.5$  g이었다. 또한, 전체 육에서 부위별로 차지하는 평균 중량 비율은 외투막  $19.1 \pm 2.4\%$ , 아가미  $19.9 \pm 3.2\%$ , 패각근  $23.6 \pm 3.0\%$ , 생식소  $21.4 \pm 6.0\%$ , 내장  $16.0 \pm 3.3\%$ 이었다. 이 연구에서 가리비의 부위별 무게 구성 비율은 Oh et al. (2002)의 해만 가리비 생식소의 후기 활성기 및 성숙기(3-5월)에 변화하는 생식소와 패각근의 무게 구성 비율과 유사한 것으로 확인되었다.

#### 해만 가리비의 부위별 마비성 패류독소 분포

남해안 4개 지역(남해군, 고성군, 통영시 및 거제시) 연안에서

5월에 채취한 해만 가리비 중 마비성 패류독소의 부위별 독성 비율을 Table 2에 나타내었으며, 독성 비율은 각 부위별 독력과 무게 비율을 곱하여 육질부 전체의 독력에서 차지하는 비율을 %로 표현하였다. 남해안 4개소에서 채취한 해만 가리비의 마비성 패류독소 함량은  $0.52-3.26$  mg/kg이었으며, 그들의 평균값은  $1.64 \pm 0.94$  mg/kg이었다. 또한 가리비의 각 부위별 차지하는 독성 비율의 평균값은 내장이  $54.9 \pm 17.8\%$ 로 가장 높았으며, 다음으로 패각근( $22.8 \pm 10.9\%$ ), 생식소( $8.9 \pm 4.6\%$ ), 아가미( $7.1 \pm 3.7\%$ ) 및 외투막( $6.3 \pm 3.8\%$ ) 순이었다. 그러나 각 지역별 마비성 패류독소 함량은 유의적인 차이는 나타내지 않았다.

한편, 가리비 전체 육질부의 독소 함량을 기준으로 세 그룹 ( $<1.0$  mg/kg,  $1.0-1.9$  mg/kg,  $\geq 2.0$  mg/kg)으로 나누어 각 부위

Table 2. Toxicity and anatomical distribution of paralytic shellfish toxin in bay scallops *Argopecten irradians* along the Gyeongnam coast of Korea in 2018

Station	Date	Toxicity (mg/kg)		Toxicity (%) in individual			
		Whole tissue	Mantle	Gill	Adductor	Gonad	Viscera
1	5/3	0.56	12.3	11.3	30.3	17.9	28.2
	5/10	3.11	1.7	1.9	19.4	6.6	70.4
	5/15	0.57	11.8	12.0	31.4	17.7	27.1
	5/17	0.66	10.1	9.9	17.5	15.7	46.8
	5/21	0.90	10.1	9.0	11.2	8.9	60.7
	5/24	1.64	5.6	5.1	23.9	4.8	60.6
	Subtotal		0.56-3.11	1.7-12.3	1.9-12.0	11.2-31.4	4.8-17.9
2	5/8	0.81	10.1	11.2	18.1	5.8	54.9
	5/10	0.78	8.9	12.5	11.1	8.6	58.8
	Subtotal		0.78-0.81	8.9-10.1	11.2-12.5	11.1-18.1	5.8-8.6
3	5/3	1.71	4.1	7.0	48.2	8.4	32.3
	5/8	3.16	2.1	3.6	11.6	4.5	78.2
	5/11	2.84	2.4	2.6	19.8	6.4	68.8
	5/18	1.60	4.1	7.5	12.9	10.4	65.1
	5/25	1.64	4.4	4.8	30.8	7.8	52.2
	5/31	1.21	6.2	7.7	24.8	13.8	47.5
	6/8	0.97	8.4	9.0	24.4	6.7	51.4
Subtotal		0.97-3.16	2.1-8.4	2.6-9.0	11.6-48.2	4.5-13.8	32.3-78.2
4	5/3	2.92	3.0	3.5	19.0	10.6	63.9
	5/8	3.26	2.0	3.0	9.5	3.8	81.7
	5/10	2.00	3.8	3.9	20.8	3.6	67.9
	5/16	1.92	3.8	4.7	35.2	4.5	51.8
	5/21	1.66	5.0	5.0	13.4	5.3	71.4
	5/29	0.52	13.3	13.9	45.5	14.5	12.8
Subtotal	-	0.52-3.26	2.0-13.3	3.0-13.9	9.5-45.5	3.6-14.5	12.8-81.7
Total (mean)	-	0.52-3.26 ( $1.64 \pm 0.94$ )	1.7-13.3 ( $6.3 \pm 3.8$ )	1.9-13.9 ( $7.1 \pm 3.7$ )	9.5-48.2 ( $22.8 \pm 10.9$ )	3.6-17.9 ( $8.9 \pm 4.6$ )	12.8-81.7 ( $54.9 \pm 17.8$ )

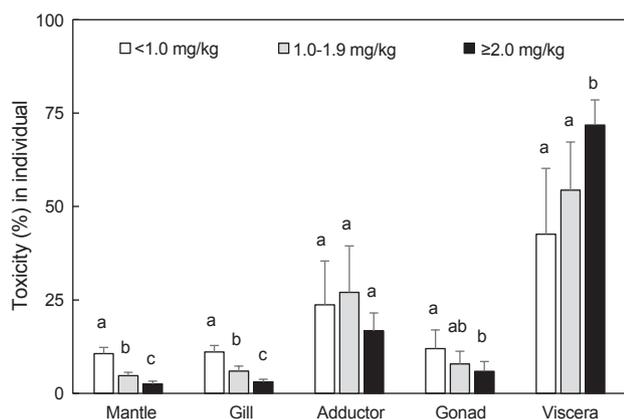


Fig. 3. Anatomical distribution of paralytic shellfish toxin (PST) in bay scallops *Argopecten irradians* by the contents of PST. Scale bar represents standard deviations. Sample tissues with similar letters are not significantly different ( $P=0.05$ ).

별 독성에 대하여 비교 분석한 결과 부위에 따라 다소 차이는 보였으나, 패각근을 제외하고는 대부분 부위에서 각 그룹별로 유의적인 차이를 보였다(Fig. 3). 즉, 내장의 경우 독력이 높은 그룹 순으로 각각  $71.8 \pm 6.7\%$ ,  $54.4 \pm 12.8\%$  및  $42.6 \pm 17.6\%$ 씩 전체 독력에 영향을 주었으며, 즉 독력이 높을 수록 전체 독량에 더 많은 영향을 주고 있는 것을 알 수 있었다. 반면, 외투막, 아가미 및 생식소의 경우, 독력이 낮을 수록 전체 독량에 더 많은 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 독력이 높은 그룹 순으로 외투막의 경우 각각  $2.5 \pm 0.8\%$ ,  $4.7 \pm 0.9\%$  및  $10.6 \pm 1.7\%$ 씩, 그리고 아가미의 경우 각각  $3.1 \pm 0.7$ ,  $6.0 \pm 1.3\%$  및  $11.1 \pm 1.7\%$ 씩 전체 독소 함량에 유의적으로 영향을 주었다. 생식소의 경우에는 독력이 높은 그룹 순으로  $5.9 \pm 2.6\%$ ,  $7.9 \pm 3.4\%$  및  $12.0 \pm 5.0\%$ 로 2.0 mg/kg 이상의 그룹과 1.0 mg/kg 미만의 그룹 사이에서만 유의적으로 차이를 보였다. Mok et al. (2012)은 진해만의 담치에서 부위별 마비성 패류독소 함량은 중장선에 60.6-95.1%로 대부분 축적되는 것으로 보고하였으며, 독소 함량이 높은 시기에 더 높은 비율로 중장선에 축적된다고 하여 본 연구의 결과와 유사하였다. 이는 마비성 패류독소의 함량이 증가하면서 대부분 담치의 중장선에 축적되며, 최고 값에 도달할 때 가장 많이 축적되었다가 감소하는 시기에는 중장선에 존재하던 독소가 빠르게 체외로 빠져나가기 때문인 것이라고 하였다(Mok et al., 2012). 또한, Maruyama et al. (1983)도 독화된 가리비의 중장선에 전체 독소 함량의 약 70%가 축적되었다고 보고하여 본 연구의 2.0 mg/kg 이상의 그룹의 결과와 유사하였다. 이러한 결과를 종합해 보면, 가리비에서 마비성 패류독소는 전체 육질부의 독량이 1.0 mg/kg 미만에서는 독소가 부위별로 골고루 분포해 있지만, 독성이 증가할수록 높은 비율로 독소가 내장에 축적되는 것으로 사료된다. 또한, 가식부의 독소 함량과 내장의 독소 함량의 상관성은  $R^2=0.55$ 로 낮았으며, 이는 가리

비의 가식부에 독소가 축적되면 내장에서도 독소의 함량이 증가하지만, 가식부의 독소 함량에 비례하여 증가하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 일반적으로 패류의 내장에 중금속 등 여러 가지 유해물질이 축적된다고 알려져 있고(Mok et al., 2015), 이와 유사하게 가리비에도 대부분의 마비성 패류독소가 내장에 축적되었다.

## 사 사

이 논문은 국립수산물과학원 수산과학연구사업 수출패류 생산 해역 및 수산물 위생조사(R2019050)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사 드립니다.

## References

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2006. Official methods of analysis. 18th ed. AOAC, Gaithersburg, MS, U.S.A.

Chang DS, Shin IS, Cho HR, Kim JH, Pyeun JH and Park YH. 1988a. Studies on distribution, characterization and detoxification of shellfish in Korea. 1. A study on the distribution of paralytic shellfish poison. Bull Kor Fish Soc 21, 113-126.

Chang DS, Shin IS, Goo HY, Oh EG, Pyun JH and Park YH. 1988b. Studies on distribution, characterization and detoxification of shellfish in Korea. 3. Detoxification of paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis*. Bull Kor Fish Soc 21, 297-302.

Chang DS, Shin IS, Pyeun JH and Park YH. 1987. A study on paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis*. Food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea, 1986. Bull Kor Fish Soc 20, 293-299.

de Mendiburu F. 2019. Package “Agricolae”. R package version 1.3-0. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=Agricolae/> on Jan 14, 2019.

Determan M. 2003. Paralytic shellfish poisoning (PSP) patterns in puget sound shellfish in 2001. Washington State Department of Health, Olympia, WA, U.S.A., 1-12.

Hwang DF and Lu YH. 2000. Influence of environmental and nutritional factors on growth, toxicity, and toxin profile of dinoflagellate *Alexandrium minutum*. Toxicon 38, 1491-1503. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(00\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(00)00080-5).

KMFDS (Korea Ministry of Food and Drug Safety). 2019. Korea food code. Retrieved from [https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvLv/foodRvLv.do?menu\\_grp=MENU\\_NEW04&menu\\_no=3101](https://www.foodsafetykorea.go.kr/portal/safefoodlife/food/foodRvLv/foodRvLv.do?menu_grp=MENU_NEW04&menu_no=3101) on Apr 8, 2019.

Lee TS, Mok JS, Son KT, Oh EG, Kim PH, Lee KJ, Lee HJ and Kim JH. 2006. Paralytic shellfish poisoning in mussel from coastal area of Korea. National Institute of Fisheries Science, Busan, Korea.

MacIntyre JG, Cullen JJ and Cembella AD. 1997. Vertical mi-

- gration, nutrition and toxicity in the dinoflagellate *Alexandrium tamarense*. Mar Ecol Prog Ser 148, 201-216.
- Maruyama J, Noguchi T, Onoue Y, Ueda Y, Hashimoto K and Kamimura S. 1983. Anatomical distribution and profiles of the toxins in highly PSP-infested scallops from Ofunato Bay during 1980-1981. Bull Jap Soc Sci Fish 49, 233-235.
- Mok JS, Kwon JY, Son KT, Choi WS, Kang SR, Ha NY, Jo MR and Kim JH. 2014. Contents and risk assessment of heavy metals in marine invertebrates from Korean coastal fish markets. J Food Prot 77, 1022-1030. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-485>.
- Mok JS, Kwon JY, Son KT, Choi WS, Kim PH, Lee TS and Kim JH. 2015. Distribution of heavy metals in internal organ and tissue of Korean molluscan shellfish and potential risk to human health. J Environ Biol 36, 1161-1167.
- Mok JS, Oh EG, Son KT, Lee TS, Lee KJ, Song KC and Kim JH. 2012. Accumulation and depuration of paralytic shellfish poison in marine organisms. Korean J Fish Aquat Sci 45, 465-471. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0465>.
- Mok JS, Song KC, Lee KJ and Kim JH. 2013a. Validation of precolumn HPLC oxidation method for analysis of paralytic shellfish poison. Korean J Fish Aquat Sci 46, 147-153. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0147>.
- Mok JS, Song KC, Lee KJ and Kim JH. 2013b. Variation and profile of paralytic shellfish poisoning toxins in Jinhae bay, Korea. Fish Aquat Sci 16, 137-142. <http://dx.doi.org/10.5657/FAS.2013.0137>.
- Noguchi T. 2003. Marine toxins. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 895-909.
- Park MJ, Lee HJ, Lee TS, Son KT, Byun HS, Park JH and Jang DS. 2000. Comparison of paralytic shellfish poison contents and components in the different bivalve species. J Fd Hyg Safety 15, 293-296.
- Park TG, Kim CH, Oshima Y, 2004. Paralytic shellfish toxin profiles of different geographic populations of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in Korean coastal waters. Phycological Res 52, 300-305. <https://doi.org/10.1111/j.1440-183.2004.00351.x>.
- R Development Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Austria. Retrieved from <http://www.cran.r-project.org/> on Jan 14, 2019.
- Shon MB, Kim YS and Kim CH. 2009. Paralytic shellfish poisoning of Mediterranean mussels from Jinhae Bay in Korea. Korean J Fish Aquat Sci 42, 366-372. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2009.42.4.366>.
- Toyofuku H. 2006. Joint FAO/WHO/IOC activities to provide scientific advice on marine biotoxins (research report). Mar Pol Bull 52, 1735-1745.