

진해만 해역에서 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*)의 마비성패독 독화 양상

손명백·김영수¹·김창훈^{2*}

(주)해양생태기술연구소, ¹한국조선기자재연구원, ²부경대학교 양식학과

Paralytic Shellfish Poisoning of Mediterranean mussels from Jinhae Bay in Korea

Myung-Baek SHON, Young-Soo KIM¹ and Chang-Hoon KIM^{2*}

Marine Eco-technology Institute Co., Ltd., 485-1 Yongdandong, Namgu,
Busan 608-830, Korea

¹Korea Marine Equipment Research Institute, 1631-10, Songjeong-dong,
Gangseo-gu, Busan 618-270, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University,
Busan 607-737, Korea

This study looked at toxicity of Mediterranean mussels, *Mytilus galloprovincialis*, which had accumulated paralytic shellfish toxins (PST) from early March to late May 2005 at Jinhae Bay, Korea. *Alexandrium* sp. was observed in low densities (< 1,000 cells/L) at the beginning of the study in March, increased rapidly in April, declined rapidly and disappeared in May. Although low densities of *Alexandrium* sp. were observed in March, mussel toxicity exceeded regulation level (80 μ g STXeq. /100 g). Peak PSP (Paralytic Shellfish Poisoning) toxicity in the mussels occurred during high *Alexandrium* sp. cell densities in April. Mussels toxicity decreased with decline of *Alexandrium* sp. cell density. Major toxin components identified were GTX₁, GTX₄, followed by C₁, C₂, GTX₂, GTX₃ and neoSTX. Trace or sporadic toxin components were STX, GTX₅, dcGTX₂, dcGTX₃ and dcSTX. Toxin component analysis from the middle to end of the study showed that 11 β -epimers (GTX_{3,4}, C₂) were converted into 11 α -epimers (GTX_{1,2}, C₁) and started to determine STX.

Key words: Paralytic shellfish poisoning, *Alexandrium* sp., *Mytilus galloprovincialis*

서 론

유독 와편모조류 *Alexandrium catenella*와 *A. tamarense*는 1970년대까지 유럽과 북미, 일본 등의 온대해역에서 분포하는 것으로 알려졌으나, 이 후 1990년대까지 이보다 남쪽 해역인 남아프리카, 호주, 뉴질랜드, 인도, 태국, 브루나이, 사바호, 필리핀, 파푸아뉴기니 등으로 그 분포 해역이 확장되어왔다 (Hallegraeff, 2003). 마비성패독에 의한 패류의 독화는 마비성패독을 생산하는 유독 와편모조류를 패류가 섭취하여 독화되는 것으로, 패류뿐만 아니라 패류를 먹이로 하는 갑각류에서도 마비성패독이 검출된 보고가 있으며 (Oikawa et al., 2004), 패류와 유사한 먹이 섭취방식을 취하는 우렁쟁이류는 패류보다 더 높은 독성을 가지기도 하였다 (Sekiguchi et al., 2001). 마비성패독으로 인한 패류의 독화는 그 현상만으로도 인류보건과 패류산업에 위협이 되기도 하지만, 먹이 사슬을 통한 1차, 2차 독화 또한 인류에게 피해가 될 뿐만 아니라 수산식품의 독화로 인하여 산업적으로 큰 손실을 초래할 수 있다.

유독 와편모조류가 생산하는 마비성패독은 신경계 독소로 carbamoyl계 (saxitoxin [STX], neosaxitoxin [neoSTX],

gonyautoxins₁₋₄ [GTX₁₋₄]), N-sulfocarbamoyl계 (C₁₋₄, gonyautoxins₅₋₆ [GTX₅₋₆])와 decarbamoyl (dc-)계 성분 (dcGTX₁₋₄, dcSTX) 등이 알려져 있다 (Oshima et al., 1995a). 마비성패독을 생산하는 와편모조류는 *Alexandrium acatenella*, *A. andersonii*, *A. angustitabulatum*, *A. catenella*, *A. cohorticula*, *A. fundyense*, *A. lusitanicum*, *A. minutum*, *A. ostenfeldii*, *A. tamarense*, *A. tamiyavanichii*, *Gymnodinium catenatum*과 *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* 등이 있다 (Taylor et al., 2003). 이 중에서 *A. catenella*, *A. tamarense* 및 *G. catenatum*은 국내 연안에서도 출현하고 있으며 특히, *A. tamarense*는 봄철에 독화를 일으키는 주요 원인생물로 확인된 바 있다 (Han et al., 1992, 1993; Kim and Shin, 1997; Park et al., 2004; Kim et al., 2005a).

국내에서는 1986년과 1996년에 독화된 담치로 인한 사망사건이 발생하였고 (Chang et al., 1987; Lee et al., 1997), 1987년 이후 마비성패독 모니터링이 국립수산물시험원에 의하여 지속적으로 이루어지고 있으며, 매년 진해만해역에 마비성패독 독화가 일어나는 것으로 보고되고 있다. 국내에서는 마비성패독 독화의 원인생물인 유독 와편모조류의 독 생산성에 관한 연구 (Han et al., 1992, 1993; Kim, 1995; Kim and Shin, 1997; Kim et al., 2005a,b)와 패류의 독화 양상과 독조성에 관한

*Corresponding author: chkpknu@hanmail.net

연구 (Jeon and Huh, 1989; Lee et al., 1992; Jeon and Han, 1998; Jeon et al., 1998)가 수행되었으나 유독 와편모조류의 현존량변화에 따른 독화양상과 이를 섭취한 패류의 체내에서 독소 전환에 관한 연구는 많이 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 해수 중의 유독 와편모조류의 세포 밀도변화에 따른 지중해담치의 독성과의 상관성, 독화된 지중해담치의 각 독소별 전환 및 독화 특성을 알아보고자, 마비성패독에 의한 담치류의 독화가 매년 봄철에 발생하는 진해만 해역에서 유독 와편모조류 *Alexandrium* sp.의 현존량과 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*)의 독성 및 각 독소별 함량 변화 및 독조성을 모니터하였다.

재료 및 방법

지중해담치와 식물플랑크톤의 채집 및 동정

진해만 해역의 마산시 구산면 수정리 (St. 1), 진동면 다구리 (St. 2) 그리고 진해만 외해역인 거제시 둔덕면 호곡리 (St. 3) 인근해역에서 2005년 3월부터 5월까지 매주 지중해담치와 식물플랑크톤을 채집하였다 (Fig. 1).

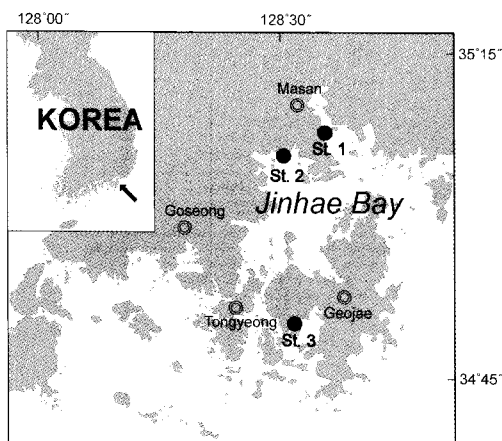


Fig. 1. Sampling stations of *Alexandrium* sp. and Mediterranean mussels, *Mytilus galloprovincialis* in Jinhae Bay, Korea (St. 1: Sujeongri; St. 2: Daguri; St. 3: Hogokri).

식물플랑크톤 채집은 3월에 주 2회, 4월과 5월에 주 1회 실시하였으며, 난센채수기로 표층과 저층의 해수를 각각 1 L씩 정량채수 후 망목 125 μ m와 20 μ m의 체로 여과 농축하여 폴리에틸렌 용기 (50 mL)에 넣고 루골 용액으로 최종 농도를 2-3%가 되도록 고정된 다음 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였다.

운반된 시료는 1 mL를 Sedgwick-Rafter chamber에 취하여 Fukuyo et al. (1990)과 Shim (1994)의 방법에 따라 광학현미경 (Axiovert 200, Zeiss)하에서 *Alexandrium* sp.세포를 고배율 ($\times 400$)로 동정 및 계수하였다.

지중해담치는 식물플랑크톤과 동일한 일자에 채집하였고, 채집된 담치는 낮은 (10°C)을 유지한 채 실험실로 운반 하였다. 종의 동정은 Min (2004)의 문헌을 따라 실시하였으며,

채집해온 담치들 중 지중해담치를 분석 시료로 사용하였다.

지중해담치의 마비성패독 분석

채집해온 지중해담치는 탈각 후 육질부 전체를 절취하여 50 mL 원심분리 튜브에 담고 동량의 0.1 N 염산을 첨가하여 얼음에 침지한 채 초음파 (Daigger Ultrasonic Processor, GE750, Japan)로 약 30초간 3-4회 정도 반복하여 파쇄하였다. 파쇄된 균질액은 100°C에서 5분간 증탕시킨 다음 pH 3-4사이의 범위로 조절하고 이를 원심분리 (3,000 \times g, 10분)하여 상등액 3 mL를 분취하였다. 재차 원심분리 (10,000 \times g, 10분)한 후 상등액을 Sep-pak C₁₈ cartridge column (Millipore, Japan)에 통과시켰다. 이때, 최초 1.5 mL는 버리고 뒤이어 나오는 1.5 mL를 한외여과기 (Ultrafree-MC; M. W., 10,000, Millipore, Japan)에 넣어 원심분리 (8,000 \times g, 10분)후 얻어진 여과 시료를 분석 전까지 -20°C에 보관하였다.

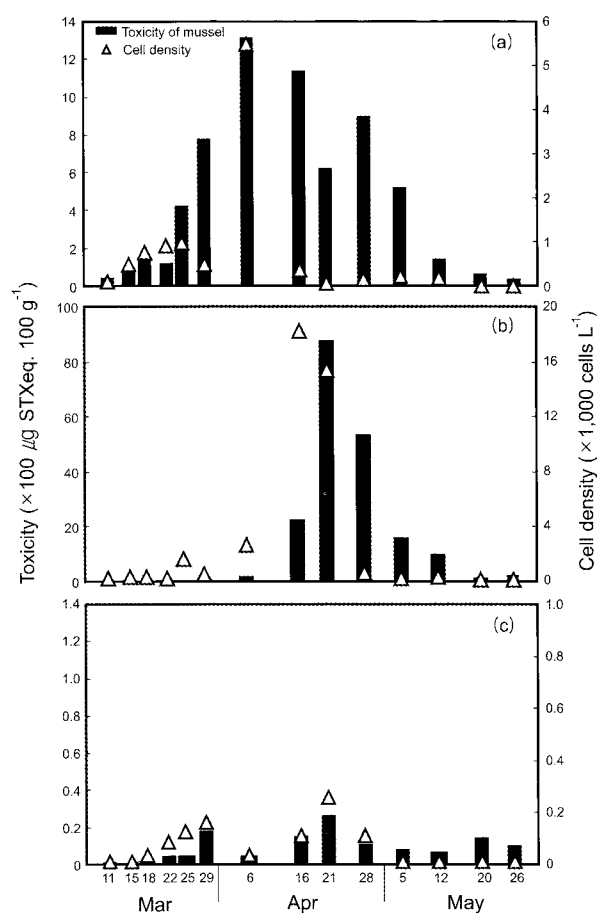


Fig. 2. Temporal changes of PSP toxicity of Mediterranean mussels, *Mytilus galloprovincialis* and *Alexandrium* sp. cell density from March to May 2005 at St. 1 (a), St. 2 (b), and St. 3 (c).

마비성패독 분석은 Oshima (1995a)의 방법에 따라 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)를 사용하여 분석

하였다. 분석된 시료의 독성분 및 함량은 표품독소와의 검출 시간 및 피크면적을 비교하여 구하였으며, 각 독성분별 비독성 (Specific toxicity)의 계산은 비독성이 가장 높은 saxitoxin (STX: 2,483 MU/ μ mole)을 1로 하여 그에 상응하는 각 독소별 비독성을 계산하였고 μ g STXeq./100 g로 표현 하였다. 분석에 사용된 표준 독소는 Tohoku University의 Oshima 교수로부터 제공받았다.

통계분석

본 연구에서 나온 결과들 사이의 상관관계를 알아보기 위한 상관분석은 SPSS for windows 10.0 통계패키지를 이용하여 분석하였으며, 유의수준 0.05에서 검정하였다.

Table 1. PSP toxin contents of Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* at St. 1-3 from March to May 2005

Station	Date	Toxin contents (nmol/g)												
		Carbamoyl toxins					N-sulfocarbamoyl toxins				decarbamoyl toxins			
		STX	neoSTX	GTX ₁	GTX ₂	GTX ₃	GTX ₄	GTX ₅	C ₁	C ₂	dcGTX ₂	dcGTX ₃	dcSTX	Total
1	11-Mar	0.01	-	0.29	0.14	0.33	0.52	-	0.32	0.42	0.01	-	-	13.04
	15-Mar	-	0.08	0.41	0.06	0.19	1.31	-	0.31	0.87	0.01	-	-	18.24
	18-Mar	-	-	0.74	0.09	0.28	2.85	-	0.60	0.03	-	-	-	22.59
	22-Mar	-	0.18	0.83	-	-	2.08	0.02	0.48	1.60	-	-	-	27.19
	25-Mar	-	0.69	2.43	-	1.11	7.25	-	0.86	4.08	-	0.02	-	41.44
	29-Mar	tr	1.16	7.17	0.19	0.60	11.06	-	1.27	7.01	-	-	-	57.46
	6-Apr	0.11	1.60	9.94	0.51	0.96	22.24	0.25	3.49	9.82	-	-	-	54.92
	16-Apr	0.36	1.68	11.34	2.70	3.17	11.71	-	5.21	5.75	0.10	0.01	0.14	58.03
	21-Apr	0.43	1.08	7.32	1.10	1.12	5.05	0.20	2.42	2.86	0.03	0.12	tr	42.73
	28-Apr	0.72	1.38	11.43	1.33	0.94	7.06	0.64	3.71	3.86	-	0.18	0.01	59.25
	5-May	0.51	0.80	6.60	0.94	0.61	3.89	0.41	2.36	2.01	0.01	0.11	0.01	23.25
	12-May	0.29	0.22	1.76	0.55	0.28	0.73	0.18	1.01	0.16	0.02	0.04	-	17.24
	20-May	0.14	0.08	0.85	0.25	0.10	0.27	0.19	0.58	0.11	-	0.01	-	22.58
26-May	0.10	-	0.54	0.12	0.04	0.09	0.01	0.40	0.08	tr	tr	-	27.38	
2	11-Mar	-	-	-	0.02	0.06	0.43	-	0.25	0.29	-	-	-	12.05
	15-Mar	-	0.06	0.21	0.03	0.05	0.76	-	0.25	0.37	-	-	-	16.73
	18-Mar	-	-	0.37	0.04	0.06	0.81	-	0.48	0.04	-	-	-	19.8
	22-Mar	-	0.08	0.21	-	0.07	0.58	-	0.17	0.32	-	0.02	-	23.45
	25-Mar	-	-	0.10	-	0.08	1.05	-	0.12	0.33	-	0.02	-	26.7
	29-Mar	-	-	0.53	0.04	0.08	1.63	-	0.26	0.81	-	-	-	32.35
	6-Apr	tr	0.46	1.02	0.09	0.17	4.20	-	0.41	1.34	-	0.04	-	13.73
	16-Apr	0.70	4.25	17.62	2.74	5.61	29.73	-	9.47	22.45	0.12	0.06	0.21	108.75
	21-Apr	1.89	17.75	90.48	7.61	13.16	104.99	0.91	22.65	-	0.12	1.56	0.01	282.12
	28-Apr	2.51	10.88	71.38	7.96	6.45	35.27	2.77	23.18	17.46	0.36	1.73	0.31	207.95
	5-May	1.42	1.16	24.40	6.83	2.81	6.36	1.25	13.33	0.18	0.27	0.51	0.11	63.52
	12-May	1.56	1.04	13.71	4.77	1.56	4.02	1.30	9.80	2.03	0.35	0.23	0.06	52.37
	20-May	0.45	0.31	2.13	0.88	0.30	0.63	0.26	1.89	0.45	-	0.05	-	27.35
26-May	0.19	-	0.80	0.15	0.06	0.12	0.08	0.85	0.27	0.15	0.09	-	28.76	
3	11-Mar	-	-	-	-	0.02	-	-	0.04	0.06	-	-	-	11.12
	15-Mar	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0.03	-	-	-	15.05
	18-Mar	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.01	-	-	-	18.02
	22-Mar	-	-	0.01	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	22.13
	25-Mar	-	-	0.01	-	-	0.09	0.05	-	0.07	-	-	-	25.22
	29-Mar	-	-	0.02	-	-	0.51	-	-	0.08	-	-	-	29.61
	6-Apr	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	6.12
	16-Apr	-	tr	0.01	0.02	0.05	0.08	-	0.17	0.03	-	-	-	16.36
	21-Apr	-	-	0.13	0.02	0.08	0.49	-	0.20	0.50	-	-	-	22.42
	28-Apr	-	-	0.18	0.03	0.03	-	-	0.23	0.25	-	-	-	28.72
	5-May	-	-	0.13	0.03	0.04	0.01	-	0.10	-	-	-	-	5.31
	12-May	-	-	0.10	0.03	0.03	0.01	-	0.10	0.07	-	-	-	12.34
	20-May	-	-	0.19	0.21	0.08	-	-	0.29	0.05	-	-	-	20.82
26-May	-	-	0.16	0.12	0.03	-	-	0.23	-	-	-	-	26.54	

-.: not detected, tr: trace (<0.005 nmol/g).

결 과

Alexandrium sp.의 현존량 변화와 지중해담치의 독성 변화를 Fig. 2에 제시하였다. 수정리 (St. 1)에서 *Alexandrium* sp.의 현존량은 3월까지 각각 125-975 cells/L의 범위에서 점차적으로 증가하였고, 4월 초순에 5,500 cells/L로 가장 높았으며, 이후 급속히 감소하였다 (Fig. 2a). 대구리 (St. 2)에서도 *Alexandrium* sp.의 현존량은 3월 하순까지 75-1,500 cells/L의 범위에서 점차적으로 증가하였고, 4월에 들어서면서 급증하

여 4월 중순에 18,100 cells/L로 가장 높았고, 이후 급속히 감소하였다 (Fig. 2b). 한편, 호곡리 (St. 3)에서는 3월부터 5월까지 *Alexandrium* sp.의 현존량은 산발적이었으며, 250 cells/L가 가장 높은 현존량으로 다른 두 지역에 비하여 상대적으로 낮게 출현하였다 (Fig. 2c). 한편, 수정리에서 채집한 지중해담치의 독성은 3월 중순까지 다소 높게 나타났으며 (43.7-74.4 μ g STXeq. /100 g), *Alexandrium* sp.의 현존량이 1,000 cells/L 이하로 낮은 밀도를 보인 3월 중순부터 규제치 (80.0 μ g

Table 2. PSP toxin composition of Mediterranean mussel, *Mytilus galloprovincialis* at St. 1-3 from March to May 2005

Station	Date	Toxin composition (mol%)												Total
		Carbamoyl toxins					N-sulfocarbamoyl toxins				decarbamoyl toxins			
		STX	neoSTX	GTX ₁	GTX ₂	GTX ₃	GTX ₄	GTX ₅	C ₁	C ₂	dcGTX ₂	dcGTX ₃	dcSTX	
1	11-Mar	0.3	0.0	14.1	6.7	16.3	25.8	0.0	15.7	20.6	0.4	0.0	0.0	100.0
	15-Mar	0.0	2.5	12.6	1.8	5.8	40.6	0.0	9.5	27.0	0.2	0.0	0.0	100.0
	18-Mar	0.0	0.0	16.2	1.9	6.1	62.0	0.0	13.1	0.7	0.0	0.0	0.0	100.0
	22-Mar	0.0	3.5	15.9	0.0	0.0	40.1	0.5	9.2	30.8	0.0	0.0	0.0	100.0
	25-Mar	0.0	4.2	14.8	0.0	6.7	44.1	0.0	5.2	24.8	0.0	0.1	0.0	100.0
	29-Mar	0.0	4.1	25.2	0.7	2.1	38.9	0.0	4.5	24.6	0.0	0.0	0.0	100.0
	6-Apr	0.2	3.3	20.3	1.0	2.0	45.5	0.5	7.1	20.1	0.0	0.0	0.0	100.0
	16-Apr	0.9	4.0	26.9	6.4	7.5	27.8	0.0	12.4	13.6	0.2	0.0	0.3	100.0
	21-Apr	2.0	5.0	33.7	5.1	5.2	23.2	0.9	11.1	13.2	0.1	0.6	0.0	100.0
	28-Apr	2.3	4.4	36.6	4.3	3.0	22.6	2.1	11.9	12.4	0.0	0.6	0.0	100.0
	5-May	2.8	4.4	36.2	5.2	3.3	21.3	2.3	12.9	11.0	0.0	0.6	0.0	100.0
	12-May	5.5	4.2	33.7	10.5	5.4	13.9	3.5	19.3	3.0	0.3	0.7	0.0	100.0
20-May	5.6	3.2	32.8	9.8	3.7	10.4	7.4	22.4	4.4	0.0	0.4	0.0	100.0	
26-May	7.0	0.0	38.9	8.7	3.2	6.6	0.4	29.1	6.0	0.0	0.0	0.0	100.0	
2	11-Mar	0.0	0.0	0.0	2.2	5.9	40.6	0.0	24.1	27.3	0.0	0.0	0.0	100.0
	15-Mar	0.0	3.5	12.3	1.9	3.1	43.6	0.0	14.6	21.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	18-Mar	0.0	0.0	20.5	2.4	3.4	45.1	0.0	26.4	2.4	0.0	0.0	0.0	100.0
	22-Mar	0.0	5.6	14.2	0.0	5.1	40.1	0.0	11.8	21.9	0.0	1.1	0.0	100.0
	25-Mar	0.0	0.0	5.8	0.0	4.9	61.6	0.0	7.2	19.1	0.0	1.3	0.0	100.0
	29-Mar	0.0	0.0	15.9	1.2	2.4	48.4	0.0	7.9	24.2	0.0	0.0	0.0	100.0
	6-Apr	0.0	6.0	13.2	1.2	2.2	54.3	0.0	5.3	17.3	0.0	0.5	0.0	100.0
	16-Apr	0.8	4.6	19.0	2.9	6.0	32.0	0.0	10.2	24.1	0.1	0.1	0.2	100.0
	21-Apr	0.7	6.8	34.7	2.9	5.0	40.2	0.3	8.7	0.0	0.0	0.6	0.0	100.0
	28-Apr	1.4	6.0	39.6	4.4	3.6	19.6	1.5	12.9	9.7	0.2	1.0	0.2	100.0
	5-May	2.4	2.0	41.6	11.6	4.8	10.8	2.1	22.7	0.3	0.5	0.9	0.2	100.0
	12-May	3.9	2.6	33.9	11.8	3.9	9.9	3.2	24.2	5.0	0.9	0.6	0.1	100.0
20-May	6.2	4.2	29.0	11.9	4.1	8.5	3.5	25.7	6.1	0.0	0.7	0.0	100.0	
26-May	7.0	0.0	29.1	5.4	2.3	4.2	2.8	30.6	9.8	5.6	3.3	0.0	100.0	
3	11-Mar	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	32.4	51.3	0.0	0.0	0.0	100.0
	15-Mar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.0	62.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	18-Mar	0.0	0.0	0.0	0.0	66.2	0.0	0.0	0.0	33.8	0.0	0.0	0.0	100.0
	22-Mar	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	92.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	25-Mar	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	40.0	23.3	0.0	30.5	0.0	0.0	0.0	100.0
	29-Mar	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	83.2	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	100.0
	6-Apr	0.0	0.0	0.0	2.2	3.7	94.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	16-Apr	0.0	0.0	4.0	5.0	13.1	21.1	0.0	47.6	9.3	0.0	0.0	0.0	100.0
	21-Apr	0.0	0.0	9.2	1.3	5.5	34.9	0.0	14.1	35.0	0.0	0.0	0.0	100.0
	28-Apr	0.0	0.0	25.1	4.5	4.7	0.0	0.0	31.4	34.3	0.0	0.0	0.0	100.0
	5-May	0.0	0.0	41.1	8.8	13.6	4.5	0.0	31.9	0.2	0.0	0.0	0.0	100.0
	12-May	0.0	0.0	29.7	9.3	10.2	1.9	0.0	29.5	19.3	0.0	0.0	0.0	100.0
20-May	0.0	0.0	23.5	25.3	10.0	0.0	0.0	35.5	5.7	0.0	0.0	0.0	100.0	
26-May	0.0	0.0	30.4	21.9	5.4	0.0	0.0	42.3	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	

STXeq. /100 g)를 초과하기 시작하여, 4월 초순에 1,314.0 μ g STXeq. /100 g으로 가장 높았다 (Fig. 2a). 4월 하순부터 서서히 감소하여 5월 하순에 규제치 이하로 감소하였고, *Alexandrium* sp.의 현존량과 지중해담치의 독성에 양의 상관관계가 있음을 보였다 ($n=14$, $r=0.547$, $p<0.05$). 대구리에서 채집한 지중해담치의 독성은 3월 하순까지 규제치 이하의 범위 (17.4-45.5 μ g STXeq. /100 g)로 검출되었고, 3월 하순부터 규제치를 초과하여 4월 하순에 8,751.0 μ g STXeq. /100 g으로 가장 높았다 (Fig. 2b). 이후 서서히 감소되었으나, 5월 하순 (255.0 μ g STXeq. /100 g)까지 지중해담치의 독성이 규제치 이하로 내려가지 않았다. 대구리에서도 *Alexandrium* sp.의 현존량과 지중해담치의 독성에 양의 상관관계가 있음을 보였다 ($n=14$, $r=0.616$, $p<0.05$). 호곡리에서 채집한 지중해담치의 독성은 연구기간 동안 규제치 이하의 낮은 독성 (0.1-26.5 μ g STXeq. /100 g)이 검출되었음에도 불구하고, *Alexandrium* sp.의 현존량과 지중해담치의 독성이 양의 상관관계가 있음을 보였다 (Fig. 2c; $n=14$, $r=0.723$, $p<0.05$).

2005년 3월부터 5월까지 수정리, 대구리 그리고 호곡리에서 채집한 지중해담치 내에서 검출된 마비성패독의 독소별 함량 (nmol g⁻¹)과 성분비 (mol%)를 Table 1과 2에 제시하였다. 수정리와 대구리에서 채집한 지중해담치의 마비성패독의 주요성분은 GTX₁과 GTX₄였고, 보조성분은 C₁, C₂, GTX₂, GTX₃, neoSTX였으며, 미량성분은 STX, GTX₅, dcGTX₂, dcGTX₃ 및 dcSTX였다. 한편, 독성이 낮은 호곡리에서 채집한 지중해담치의 마비성패독의 주요성분은 C₁, C₂, GTX₁과 GTX₄였고, 보조성분은 GTX₂, GTX₃였으며, GTX₅만 1회 검출되었을 뿐, STX, dcGTX₂, dcGTX₃ 및 dcSTX는 검출되지 않아 수정리와 대구리의 지중해담치와 다른 조성을 보였다.

수정리에서 채집한 지중해담치의 독소별 성분비의 변화 중 독성이 증가하는 시기인 4월 6일까지 11 β -epimers인 GTX₄와 C₂의 성분비가 11 α -epimers인 GTX₁과 C₁의 성분비보다 높았으나 독성이 감소하는 시기인 4월 16일 부터 11 α -epimers의 성분비가 11 β -epimers의 성분비보다 높아져 음의 상관관계를 보였다 (Table 2; GTX_{1,4}: $n=14$, $r=-0.695$, $p=0.006$; C_{1,2}: $n=14$, $r=-0.785$, $p=0.001$). 대구리에서 채집한 지중해담치에서도 수정리와 유사한 성분비의 변화가 나타났다. 독성이 증가하는 시기인 4월 21일까지 11 β -epimers인 GTX₄와 C₂의 성분비가 11 α -epimers인 GTX₁과 C₁의 성분비보다 높았으나 그 후 독성이 감소하는 시기부터 11 α -epimers의 성분비가 11 β -epimers의 성분비보다 높아져 음의 상관관계를 보였다 (Table 2; GTX_{1,4}: $n=14$, $r=-0.774$, $p=0.002$; C_{1,2}: $n=14$, $r=-0.424$, $p>0.05$). 한편, 많은 함량은 아니지만 독화가 진행되면서 검출되지 않았던 STX, dcGTX_{2,3}과 dcSTX가 독성이 감소하는 시기에 검출되었고, 그 중 STX 성분은 수정리와 대구리의 지중해담치에서 5월 하순까지 성분비가 점점 증가하였다 (Table 2).

고 찰

진해만에서 봄철 마비성패독의 원인생물인 *Alexandrium* sp.의 현존량과 지중해담치의 독화 양상을 모니터하였다. 진

해만 해역을 중심으로 한 남해 동부 연안에서 봄철 패류의 마비성패독 독화의 실질적인 원인생물은 *Alexandrium tamarense*이며 (Han et al., 1992; Lee et al., 1992; Jeon et al., 1996), 본 연구에서 *Alexandrium* sp.의 현존량이 증가하거나 감소할 때 지중해담치의 독성도 증가하거나 감소하는 양의 상관성을 보였고, 낮은 1,000 cells/L이하의 낮은 세포밀도에서도 지중해담치는 독을 축적하여 규제치를 초과하는 것을 확인할 수 있었다. 1997년부터 2000년까지 진해만의 식물플랑크톤 조사에 의하면 *Alexandrium* sp.은 매년 3월과 4월에 출현하는 것으로 나타났으며 (미발표 자료), 진해만 일대와 부산 일원의 가덕도, 다대포 등의 해역에 양식되거나 자생하는 진주담치 (*Mytilus edulis*)는 매년 2월과 3월에 독화가 진행되어 4월부터는 규제치 (80 μ g STXeq. /100 g)를 초과한 후, 5월 하순에 규제치 이하로 감소되는 것으로 보고되고 있다 (NFRDI, 1998-2003). Bricelj and Shumway (1998)는 독 축적에 영향을 미치는 요인으로 유독 외편모조류의 번식 특성, 마비성패독에 대한 패류의 노출이력과 군집 내 변이성 등이 있다고 하였다. 이는 매년 독화된 이력이 있는 진해만의 담치류는 독성에 대한 민감도가 낮으며 내만의 형태를 가진 진해만은 외해의 해수와 교환이 원활하지 못한 지역적 특성으로 인하여 유독 외편모조류의 밀도가 낮더라도 일정기간 지속된다면 지중해담치의 독성이 누적되어 규제치를 초과할 수 있음을 시사한다.

본 연구에서 지중해담치에서 검출된 마비성패독 성분은 GTX₁, GTX₄, C₁, C₂, GTX₂, GTX₃, neoSTX, STX, GTX₅, dcGTX₂, dcGTX₃ 및 dcSTX으로 매우 다양하였다. Kim et al. (2005b)은 진해만 해역에 분포하는 *A. tamarense* 영양세포의 독 조성은 GTX₁₊₄와 C₁₊₂가 주요성분, GTX₂₊₃과 neoSTX가 보조성분이었으며, 진해만 해역에서 지난 20년간 생리·화학적 환경 요소가 크게 변하지 않아, *A. tamarense*의 독 조성이 일정하게 유지되고 있다고 하였다. 본 연구에서 검출된 지중해담치의 독 조성은 진해만 해역에 분포하는 *A. tamarense*의 독 조성보다 더 다양한 미량성분들이 (STX, GTX₅, dcGTX₂₊₃ 및 dcSTX) 검출되었고, 이는 지중해담치에 의해 생체전환이 이루어졌기 때문으로 사료된다. 유독 외편모조류를 섭취한 패류는 낮은 pH에서 가수분해로 인한 이성질체화와 효소에 의한 생체전환과 같은 기작으로 인하여 영양세포와 유사하나 더 다양한 독 조성을 가지게 되며 (Oshima, 1995b), 이러한 독소성분들의 변화는 유독 외편모조류의 마비성패독 성분 중 불안정한 *N*-sulfocarbamoyl 독소성분 (C_{1,2,3,4} GTX_{5,6})이 많을 때 패류 조직 내에서 생체전환이 일어나 맹독성의 carbamoyl계 독 성분으로 전환되는 것으로 알려져 있다. (Beitler and Liston, 1990; Bricelj et al., 1991; Asakawa et al., 1995). 따라서, 유독 외편모조류가 *N*-sulfocarbamoly 독소 성분이 많아 독 강도가 낮더라도, 이를 섭취한 패류에 의해 독 강도가 높은 성분으로 전환되어 패류의 독성이 높아질 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 제독기간동안에 이성질체 (11 α , β -epimers) 독소들 사이의 함량 전환이 관찰되었고, dcGTX_{2,3}, dcSTX와 GTX₅, STX가 검출되었으며, 이는 독화된 지중해담치의 제독 과정에

나타나는 특징으로 판단된다. 패류에서 11 β -epimer 독소성분 (GTX_{3,4}와 C_{2,4})에서 11 α -epimer 독소성분 (GTX_{1,2}와 C_{1,3})으로 전환되는 것은 효소에 의한 전환으로 인하여 일어난다 (Oshima, 1990; Murakami et al., 1999). 마비성패독을 섭취한 패류는 구조적으로 불안정한 11 β -epimer 독소성분 보다 안정적인 11 α -epimer 독소성분으로 전환되어 β : α 의 비율이 점차 평균 1:3에 도달하는 것으로 보고되었다 (Oshima, 1995b). 또한 Shin and Kim (2000)은 독화 초기에 11 β -epimer 독소들 (GTX_{3,4}, C₂)이 두 패류에서 11 α -epimer 독소들 (GTX_{1,2}, C₁) 보다 높았으나 독화 시간이 경과함에 따라 후자의 비율이 전자보다 높게 되었고 STX의 성분이 다소 증가하였다고 보고하였으며, 이는 우리의 연구 결과와 일치하였다.

본 연구에서는 유독 외편모조류의 현존량과 패류의 독화와 의 상관관계 그리고 각 성분비의 변화에 관하여 확인하였으나, 패류에 축적된 독소의 성분들의 전환 기작에 관한 것은 밝히지 못하였으며, 이를 위해서는 실내 생물검정 실험을 이용한 연구가 필요할 것으로 판단되며, 패류 내 독소의 생체전환에 관한 연구 결과는 보다 효율적인 마비성패독 독화 모니터링에 기초 자료로써 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- Asakawa, M., K. Miyazawa, H. Takayama and T. Noguchi. 1995. Dinoflagellate *Alexandrium tamarense* as the source of paralytic shellfish poison (PSP) contained in bivalves from Hiroshima Bay, Hiroshima Prefecture, Japan. *Toxicon*, 33, 691-697.
- Beitler, M.K. and J. Liston. 1990. Uptake and tissue distribution of PSP toxins in butter clams. In: *Toxic Marine Phytoplankton*. Granéli, E., B. Sundström, L. Elder, and D.M. Anderson, eds. Elsevier Science Publishers, New York, U.S.A., 257-262.
- Bricelj, V.M., J.H. Lee and A.D. Cembella. 1991. Influence of dinoflagellate cell toxicity on uptake and loss of paralytic shellfish toxins in the northern quahog, *Mercenaria mercenaria*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 74, 33-46.
- Bricelj, V.M. and S.E. Shumway. 1998. Paralytic shellfish toxins in bivalve molluscs: occurrence, transfer kinetics, and biotransformation. *Rev. Fish. Sci.*, 6, 315-383.
- Chang, D.S., I.S. Shin, J.H. Pyeun and Y.H. Park. 1987. A study on paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis* - Specimen caused food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea, 1986. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 20, 293-300.
- Fukuyo, Y., H. Takano, M. Chikara and K. Matsuoka. 1990. Red tide organisms in Japan - An illustrated taxonomic guide. Uchida Rokakuho, Tokyo, Japan, 1-430.
- Hallegraef, G.M. 2003. Harmful algal blooms: a global overview. In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Hallegraef, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds. UNESCO, Paris, France, 19-49.
- Han, M.S., J.K. Jeon and Y.O. Kim. 1992. Occurrence of dinoflagellate *Alexandrium tamarense*, a causative organism of paralytic shellfish poisoning in Chinhae Bay, Korea. *J. Plankton Res.*, 11, 1581-1592.
- Han, M.S., J.K. Jeon and Y.H. Yoon. 1993. Distribution and toxin profiles of *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech (Dinoflagellate) in the Southeastern Coastal Waters, Korea. *Kor. J. Phycol.*, 8, 7-13.
- Jeon, J.K., M.S. Han and H.O. Kim. 1996. Paralytic shellfish toxins in the mussels and *Alexandrium tamarense* (dinoflagellate) from Gamraepo, Korea in 1989. In: *Harmful and Toxic Algal Blooms*, Yasumoto, T., Y. Oshima and Y. Fukuyo, eds. UNESCO, Paris, France, 65-68.
- Jeon, J.K. and M.S. Han. 1998. Monitoring of intoxication and toxin composition on wild mussels (*Mytilus corsucus*) from coastal waters near Koje island, Korea in 1996 and 1997. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 817-822.
- Jeon, J.K., M.S. Han, Y.J. Park and M.Y. Yoon. 1998. Paralytic shellfish toxin composition and intoxication of scallops (*Patinopecten yessoensis*) in Kangnung coastal waters of East Sea in 1997. *J. Kor. Fish. Soc.*, 31, 813-816.
- Jeon, J.K. and H.T. Huh. 1989. Paralytic shellfish poison in the cultured mussel, *Mytilus edulis galloprovincialis*. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 24, 79-83.
- Kim, C.-H. 1995. Paralytic shellfish toxin profiles of the dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 28, 364-372.
- Kim, C.-H. and J.B. Shin. 1997. Harmful and toxic red tide algal development and toxins production in Korean coastal waters. *Algae*, 12, 269-276.
- Kim, C.J., C.-H. Kim and Y. Sako. 2005a. Paralytic shellfish poisoning toxin analysis of the genus *Alexandrium* (Dinophyceae) occurring in Korean coastal waters. *Fish. Sci.*, 71, 1-11.
- Kim, Y.S., J.S. Lee, J.H. Jang, K.Y. Kim and C.H. Kim. 2005b. Occurrence of toxic *Alexandrium* and intoxication of two mollusk species by paralytic shellfish poisoning toxins on the southeastern coast of Korea. *J. Fish. Sci. Technol.*, 8, 76-82.
- Lee, J.S., J.K. Jeon, M.S. Han, Y. Oshima and T. Yasumoto. 1992. Paralytic shellfish toxins in the mussel, *Mytilus edulis* and dinoflagellate *Alexandrium tamarense* from Jinhae Bay, Korea. *Bull. Kor.*

- Fish. Soc., 25, 144-155.
- Lee, J.S., I.S. Shin, Y.M. Kim and D.S. Chang. 1997. Paralytic shellfish toxins in the mussel, *Mytilus edulis*, caused the shellfish poisoning accident at Geoje, Korea, in 1996. J. Kor. Fish. Soc., 30, 158-160.
- Min, D.K. 2004. Mollusks in Korea. Hanguel graphics, Busan, Korea, 1-566.
- Murakami, R., K. Yamamoto and T. Noguchi. 1999. Difference in PSP composition among various parts of surf clam. J. Food Hyg. Soc. Japan, 40, 55-61.
- NFRDI. 1998-2003. Report of research on the examination of bivalves sanitation in Korean coast. National Fisheries Research and Development Institute.
- Oikawa H., T. Fujita, K. Satio, S. Watabe, M. Satomi and Y. Yano. 2004. Comparison of paralytic shellfish poisoning toxin between carnivorous crabs (*Telmessus acutidens* and *Charybdis japonica*) and their prey mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in an inshore food chain. Toxicon, 43, 713-719.
- Oshima, Y., K. Sugino, H. Itakura, M. Hirota and T. Yasumoto. 1990. Comparative studies on paralytic shellfish toxin profile of dinoflagellates and bivalves. In: Toxic Marine Phytoplankton. Granéli, E., B. Sundström, L. Edler and D.M. Anderson, eds. Elsevier, New York, U.S.A., 391-396.
- Oshima, Y. 1995a. Post-column derivatization HPLC methods for paralytic shellfish poisons. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds. UNESCO, Paris, France, 81-94.
- Oshima, Y. 1995b. Chemical and enzymatic transformation of paralytic shellfish toxins in marine organisms. In: Harmful Marine Algal Blooms. Lassua, P., G. Arzul, E. Erard, P. Gentien and C. Marcaillou, eds., Lavoisier, Paris, France, 475-480.
- Park, T.-G., C.-H. Kim and Y. Oshima. 2004. Paralytic shellfish toxin profile of different geographic population of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in Korean coastal waters. Phycological Res., 52, 300-305.
- Shim J.H. 1994. Marine phytoplankton. In: Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea. Ministry of Education, Chungnam, Korea, 34, 1-487.
- Shin, I.S. and Y.M. Kim. 2000. Studies for reestablishment of approval toxin amount in paralytic shellfish poison-infested shellfish 5. Comparison of toxicity and toxin composition of paralytic shellfish poison between blue mussel, *Mytilus edulis* and oyster, *Crassostrea gigas*. J. Fd. Hyg. Safety, 15, 287-292.
- Sekiguchi, K., S. Sato, S. Kaga, T. Ogata and M. Kodama. 2001. Accumulation of paralytic shellfish poisoning toxins in bivalves and an ascidian fed on *Alexandrium tamarense* cells. Fish. Sci., 67, 301-305.
- Taylor, F.J.R., Y. Fukuyo, J. Larsen and G.J. Hallegraeff. 2003. Taxonomy of harmful dinoflagellates. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds., UNESCO, Paris, France, 389-432.

2009년 4월 13일 접수

2009년 5월 29일 수정

2009년 8월 17일 수리