

독성 *Alexandrium tamarense*를 섭취한 담치류 4종의 마비성패독 축적

김영수 · 손명백 · 김창훈*
부경대학교 수산생물학과

Paralytic Shellfish Poisoning Toxin Accumulation in Four Mussel Species Fed on Toxic *Alexandrium tamarense*

Young Soo KIM, Myung Back SHON and Chang Hoon KIM*
Department of Fisheries Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Cultured cells of the toxic *Alexandrium tamarense* were fed to four mussel species, *Mytilus coruscus*, *M. edulis*, *M. galloprovincialis* and *Septifer vulgatus*, to examine the interspecies and interlocality differences in the ability to accumulate paralytic shellfish poisoning (PSP) toxins. Toxin content of *A. tamarense* cells varied during culture period. In contrast, toxin composition in the cell (C1,2, GTX1-4 and neoSTX) was constantly stable. In feeding experiment, the four mussel species collected from Geoje intoxicated after uptake of *A. tamarense*. Toxin content (average±SD µg STXeq/100 g) of *M. coruscus*, *M. edulis*, *M. galloprovincialis* and *Septifer vulgatus* were 1,660±79, 3,914±2,242, 5,626±1,620 and 958±163, respectively. Toxin profiles included C1,2, GTX1,4 and neoSTX as the major components, and dcGTX2,3, GTX2,3, neoSTX and STX as the minor ones. Toxin accumulation of three mussel species collected from Pohang, Geoje and Anmyon-do showed interspecies and interlocality differences. Toxin content (average±SD µg STXeq/100 g) were 91±4, 151±14, 39±3 in *M. coruscus*, 189±1, 231±11, 206±15 in *M. edulis* and 214±28, 326±30, 291±26 in *M. galloprovincialis* in order of Anmyon-do, Geoje and Pohang.

Key words: *Alexandrium tamarense*, *Mytilus coruscus*, *M. edulis*, *M. galloprovincialis*, *Septifer vulgatus*, Paralytic shellfish poisoning (PSP) toxins

서 론

이때패류는 *Alexandrium* spp., *Gymnodinium catenatum* 및 *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* 등의 독성 와편모조류를 여과-섭취하여 마비성패독(paralytic shellfish poison, PSP)을 축적함으로써 세계 여러 나라에서 공중보건과 이때패류 양식 산업에 피해를 주고 있다(Taylor et al., 1995). 또한 독성 와편모조류는 선박의 발라스트수(Hallegraef et al., 1990), 양식 생물의 이식(Hallegraef, 1993) 및 물리적인 해류 흐름(Franks and Anderson, 1992) 등을 통해 타 지역으로의 이동이 가능한 것으로 알려지고 있으며, 이러한 PSP 원인생물의 이동은 연안해역의 생물학적 오염과 더불어 PSP 발생해역의 확산이라는 문제를 유발하고 있다.

한편, 현장 연구를 통해 이때패류는 그들의 각 조직에 서로 다른 양의 독을 축적하며(Bricelj and Shumway, 1998), 원인생물에 비해 고독성의 carbamoyl 계 성분(GTX1-4, neoSTX, STX) 비율이 증가하는 것으로 알려졌다(Oshima et al., 1990; Bricelj et al., 1991). 순독성 증가 차원에서 매우 중요한, 이 같은 독성분 변화는 산 가수분해, 자연 환원제 및 효소적 작용에 의해 부분적으로 설명되고 있다(Shimizu and Yoshioka, 1981; Sullivan et al., 1983; Oshima, 1995b). 많은 이때패류

종 가운데, 담치류는 다른 종에 비해 PSP 독 축적이 빠르고 고독성에 이르는 생물로서 PSP 발생의 초기 경보를 제공하는 전형적인 지표생물이다(Shumway, 1990). 따라서 여러 연구자들이 PSP 독 축적에 관한 보다 정확한 정보를 얻기 위해서 현장과 연구실에서 조개류의 독화 모니터링과 실험에 담치류를 이용해 왔다(Lee et al., 1992; Bricelj and Shumway, 1998; Sekiguchi et al., 2001).

한국 연안에 분포하는 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)와 진주담치(*M. edulis*)는 2차 세계대전을 전후로 유입된 것으로 추정되며(Yoo et al., 1990; Park et al., 2004b), 특히 진주담치는 1986년과 1996년에 PSP 식중독에 의한 인명피해 사고를 일으킨 바 있다(Chang et al., 1987; Lee et al., 1997). 이후 현장 독화 모니터링과 관련 연구를 통해, 독성 *Alexandrium tamarense*의 발생과 이에 따른 이때패류 독화의 연관성이 규명되었다(Chang et al., 1987; Han et al., 1993; Lee et al., 1997). 그러나 국내에서는 매년 이때패류의 독화가 발생하고 있음에도 불구하고, 담치 종 및 분포지역에 따른 PSP 독 축적능 비교에 관한 연구는 전무하다.

이 연구에서는 담치 종 및 분포 지역에 따른 PSP 독 축적능의 차이점을 알아보고자, 거제 연안에서 채집한 굽은줄격판담치(*Septifer vulgatus*), 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*), 진주담치(*M. edulis*) 및 홍합(*M. coruscus*)에게 독성 *Alexandrium*

*Corresponding author: chkpknu@hanmail.net

tamarensis 배양주를 섭취시켜 중간 독 축적능을 조사하였고, 거제, 안면도 및 포항에서 각각 채집한 지중해담치, 진주담치 및 홍합을 이용하여 분포지역에 따른 독 축적능을 조사하였다.

재료 및 방법

독성 먹이생물로 이용된 *Alexandrium tamarensis*는 2003년 4월 가덕도 연안에서 해수를 채집하여 영양세포를 분리하였다. 분리한 세포는 마이크로피펫으로 반복세정 한 다음 10 L의 f/2배지(Guillard and Ryther, 1962)를 담은 폴리프로필렌 생수병(18.9 L)에 약 16×10^6 세포를 접종하여 14L:10D (50 $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$), 18°C 조건에서 계대배양하였다. 성장용 배지는 제조한 다음 습식 멸균(121°C, 15 min)하고 4°C의 냉장암소에서 급속 냉각시킨 다음 3일 이상 숙성시킨 것을 사용하였다. 세포의 성장에 따른 마비성패독(paralytic shellfish poisoning, PSP) 분석을 위해서 접종 후 16일까지 2일 간격으로 밤 10시에 배지를 포함한 50 mL의 배양주를 취해 원심분리(3,000×g, 5 min)하여 상등액을 제거하고 세포를 수확하였다. 수확한 세포 펠릿에는 일정량의 증류수를 첨가하여 부유시킨 후 원심분리하여 세척하고, 0.05 N acetic acid (펠릿 부피의 약 10배)를 첨가한 다음, 얼음에 침치 시킨 채로 초음파(Daigger sonifier (GE750) for 1 min twice at a setting of 40% amplify)로 파쇄하였다. 파쇄를 마친 시료는 한외여과기(cut-off, 10,000 MW; Ultrafree C3GC, Millipore)에 넣고 원심분리(8,000×g, 5 min)하여 얻어진 추출액을 분석용 시료로 하였다.

담치들은 포항(St. 1), 거제(St. 2) 및 안면도(St. 3)에서 각각 채집한 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*), 진주담치(*M. edulis*) 및 홍합(*M. coruscus*)과 거제에서 채집한 굽은줄격판담치(*Septifer vulgatus*)를(Fig.1) 0.5 μm - 여과해수를 지속적으로 주수하고 있는 사각 아크릴용기(55×39×30 cm)에 수용해서 15일 동안 먹이 공급 없이 실험조건(14L:10D, 18°C)에 순치시켰다. 독화실험은 순치중인 담치 일정개체를 취하여 독이 남아있지 않은 것을 확인한 다음 실시하였다. 담치의 종별 독 축적 실험에는 거제산 굽은줄격판담치, 지중해담치, 진주담치 및 홍합(Table 1)을 10 L의 여과해수로 채운 사각의 아크릴용기에 모두 수용하고, 지수성장기의 *A. tamarensis* 세포(8×10^3 cells/mL)를 실험구 내 최종밀도가 866 cells/mL가 되도록 해서 1일 3회(12:00, 16:00, 20:00)씩 3일 동안 공급하였다. 담치의 분포지역별 독 축적 실험에는 각각 포항, 거제 및 안면도에서 채집한 지중해담치, 진주담치 및 홍합(Table 2)을 위와 동일한 조건에 모두 수용하고, 지수성장기의 *A. tamarensis* 세포(8×10^3

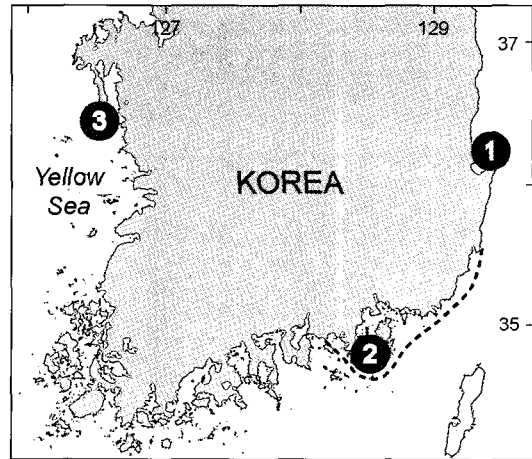


Fig. 1. Sampling station of mussels for intoxication experiment. Dotted line indicates the annual paralytic shellfish poisoning area. Station 1, 2 and 3 represent Pohang, Geoje and Anmyon-do, respectively.

cells/mL)를 실험구 내 최종밀도가 260 cells/mL가 되도록 해서 1일 3회(12:00, 16:00, 20:00)씩 3일 동안 공급하였다. 실험구의 해수는 먹이공급 시마다 전량 교환하였다. 종별 및 분포지역별 독화 실험에서, PSP 독 분석을 위한 담치의 수확은 최종 먹이 공급 이후 12시간이 경과한 다음 실시하였다. 한편 전처리 시약에 의한 독양상 차이를 알아보기 위해서 독화된 지중해담치를 각각 0.1 N 염산과 0.1 N 초산으로 처리해서 분석하였다.

담치의 PSP 독 분석은 각 종별로 9개체를 취해 3개체씩 따로 분석하였다. 시료의 전처리는 AOAC (2000) 방법에 따랐으며, PSP 독 분석은 형광검출기가 장착된 HPLC (high performance liquid chromatography)를 이용해서 Oshima (1995a)의 방법에 따라 실시하였다. 시료의 독성분과 독함량은 표품 독소의 분석피크와 비교해서 계산했고 분석에 사용된 표품독소(B1, C1-4, dcGTX2,3, GTX1-4, dcSTX, neoSTX, STX)는 일본 Tohoku 대학의 Oshima 교수로부터 제공받았다.

결 과

배양중인 *Alexandrium tamarensis* 독함량은 16일 동안 8.32-42.75 fmol/cell로 다양하였으며 배양 2일째에 8.32 fmol/cell로 최저, 배양 8일째에는 42.75 fmol/cell로 최대를 나타냈다(Table 3). 이후 10일이 경과하면서 독함량이 점차 감소하여 16일에는 15.14 fmol/cell이었다. 세포에서 검출된 독소는 C1,2, gonyautoxin1-4 (GTX1-4), neo-saxitoxin (neoSTX)으로

Table 1. Shell length and wet weight of soft tissue of mussels collected from Geoje

	<i>M. coruscus</i>	<i>M. edulis</i>	<i>M. galloprovincialis</i>	<i>S. vulgatus</i>
Shell length	8.13±0.92 cm	7.12±0.60 cm	6.86±0.55 cm	3.91±0.33 cm
Tissue weight	5.06±1.41 g	1.71±0.31 g	2.52±0.59 g	0.58±0.09 g
Specimens	n=9	n=9	n=9	n=16

Table 2. Shell length and wet weight of soft tissue of mussels collected from Pohang (St. 1), Geoje (St. 2) and Anmyon-do (St. 3)

Sampling station	<i>M. coruscus</i>	<i>M. edulis</i>	<i>M. galloprovincialis</i>
1	6.57±0.46 cm	5.89±0.53 cm	5.83±0.47 cm
	3.15±0.45 g n=10	2.61±0.54 g n=10	2.64±0.37 g n=10
2	5.89±0.53 cm	4.38±0.25 cm	5.86±0.55 cm
	5.67±0.27 g n=10	1.65±0.28 g n=10	3.06±0.31 g n=10
3	4.37±0.30 cm	5.23±0.36 cm	5.28±0.35 cm
	1.77±0.28 g n=10	2.80±0.70 g n=10	3.09±0.33 g n=10

총 7개였고 검출된 독소들은 배양기간 동안 변화하지 않았다. 검출된 독소 가운데(물농도 기준) C2와 GTX4가 주성분이었고 neoSTX가 보조성분이었다. 세포의 성장은 접종 후 6일까지 유도기, 8일에서 12일 사이에는 지수기, 이후에는 정지기였다 (data 제시 없음).

독화실험에서 담치들은 실험구 내로 투입된 *A. tamarensis* 세포들을 1시간 이내에 모두 섭취하였다. 거제산 담치의 종별 실험에서 독함량(평균±표준편차 µg STXeq/100 g)은 홍합 1,660±79, 진주담치 3,914±2242, 지중해담치 5,626±1,620, 굽은줄격판담치 958±163이었다(Fig. 2). 홍합은 개체 크기가 가장 컸음에도 불구하고 지중해담치 및 진주담치에 비해 낮은

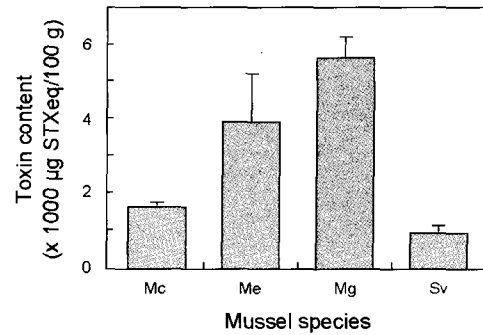


Fig. 2. PSP toxin content in four mussel species fed on toxic *Alexandrium tamarensis* (866 cells/mL×3 times/day×3 days). Mc, *Mytilus coruscus*; Me, *M. edulis*; Mg, *M. galloprovincialis*; Sv, *Septifer vulgaris*.

독함량을 나타냈다. 개체별 독함량 표준편차는 홍합과 굽은줄격판담치에서 작게 나타난 반면, 지중해담치와 진주담치는 매우 컸다. 담치에서 검출된 독소는 C1,2, GTX1-4, decarbamoyl-gonyautoxin2,3 (dcGTX2,3), neoSTX, saxitoxin (STX)으로 총 10개였다(Table 4). 검출된 독소 가운데(물농도 기준) 주성분은 C1,2, GTX1,4, neoSTX, 보조성분은 GTX2,3, 미량성분은 dcGTX2,3, STX이었다. 먹이생물의 독성분과 비교해서 dcGTX2,3 및 STX가 새롭게 검출되었으며 C1과 GTX1 함량비가 증가하였다.

Table 3. Variation of toxin contents (fmol/cell) of *Alexandrium tamarensis* as a function of culture time

Day	C1	C2	GTX1	GTX2	GTX3	GTX4	neoSTX	Total
2	0.12	1.13	0.05	0.01	0.21	6.52	0.28	8.32
4	0.11	2.12	0.11	0.01	0.42	13.05	0.56	16.38
6	0.37	9.61	0.14	0.01	0.52	25.59	2.59	38.83
8	0.50	11.95	0.17	0.01	0.40	26.36	3.36	42.75
10	0.31	9.27	0.02	0.01	0.25	17.71	1.90	29.47
12	0.43	8.27	0.15	0.01	0.20	16.34	1.54	26.94
14	0.21	5.34	0.04	0.01	0.14	9.79	1.09	16.62
16	0.19	4.27	0.16	0.01	0.10	8.59	1.82	15.14

Table 4. Toxin composition (nmol/g) of four mussel species collected from Geoje fed on toxic *Alexandrium tamarensis*

Toxin*	<i>M. coruscus</i>			<i>M. edulis</i>			<i>M. galloprovincialis</i>			<i>Septifer vulgaris</i>		
	Experiments			Experiments			Experiments			Experiments		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
C1	15	16	18	51	24	37	54	72	43	8	9	10
C2	20	24	16	56	17	32	58	88	36	10	12	9
GTX1	7	8	8	32	11	20	29	38	24	5	4	6
GTX4	17	20	19	67	21	45	69	73	47	11	10	14
GTX2	3	3	2	19	3	7	18	17	8	2	2	2
GTX3	3	4	3	24	3	8	24	21	8	3	3	2
dcGTX2	Tr	Tr	Tr	2	1	1	1	2	1	Tr	Tr	Tr
dcGTX3	Tr	1	1	2	1	1	2	2	2	Tr	Tr	1
neoSTX	13	9	9	31	9	17	29	36	14	5	2	6
STX	1	Tr	Tr	1	Tr	Tr	Tr	1	Tr	Tr	Tr	Tr
Total	80	85	75	285	89	169	285	349	184	47	43	49

*GTX, gonyautoxin; dcGTX, decarbamoyl-gonyautoxin; neoSTX, neo-saxitoxin; STX, saxitoxin. Tr, trace.

담치의 분포지역별 실험에서 독함량은 거제산, 포항산, 황해산 순서대로 높았으며, 종별로는 지중해담치, 진주담치, 홍합의 순서대로 높았다(Fig. 3). 홍합의 독함량(평균±표준편차 $\mu\text{g STXeq}/100\text{ g}$)은 포항산 91 ± 4 , 거제산 151 ± 14 , 안면도산 39 ± 3 , 진주담치의 독함량은 포항산 206 ± 15 , 거제산 231 ± 11 , 안면도산 189 ± 16 , 지중해담치의 독함량은 포항산 291 ± 26 , 거제산 326 ± 30 , 안면도산 214 ± 28 이었다. 3종의 담치에서 검출된 독성분들은 거제산 담치류 4종의 실험결과와 동일하였다(data 제시 없음).

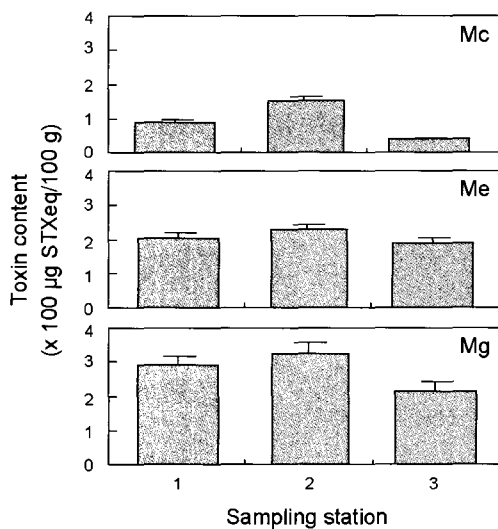


Fig. 3. PSP toxin content in three mussel species collected from Pohang (St. 1), Geoje (St. 2) and Anmyon-do (St. 3) fed on toxic *Alexandrium tamarense* (260 cells/mL×3 times/day×3 days). Mc, *M. coruscus*; Me, *M. edulis*; Mg, *M. galloprovincialis*.

한편 전처리 시약에 따른 지중해담치의 독성은 염산으로 처리한 것이 2.77 nmol/g 임에 반해, 초산으로 처리한 것이 1.17 nmol/g 이었다(Table 5). 두 실험구에서 검출된 성분은 C1,2, GTX1-4, dcGTX2,3, neoSTX, STX로 동일했으며, 독조성비는 이성질체 성분인 C1과 C2 및 GTX1과 GTX4에서 약간의 차이를 나타냈을 뿐 전체적으로 유사하였다.

Table 5. Comparison of toxin composition (nmol/g) between 0.1 N hydrochloric acid and 0.1 N acetic acid treatments

Toxin	Hydrochloric acid	Acetic acid
C1	0.48 (17.22)	0.32 (27.06)
C2	1.38 (49.86)	0.36 (31.27)
GTX1	0.15 (5.50)	0.19 (15.97)
GTX2	0.51 (0.79)	0.01 (0.89)
GTX3	0.02 (1.75)	0.01 (1.08)
GTX4	0.51 (18.37)	0.16 (13.87)
dcGTX2	0.01 (0.30)	0.02 (1.93)
dcGTX3	Tr (0.07)	Tr (0.20)
neoSTX	0.17 (6.13)	0.09 (7.72)
STX	Tr (0.00)	Tr (0.00)
Total	2.77 (100%)	1.17 (100%)

Tr. trace.

고 찰

PSP 원인 생물에 대한 노출 이력은 이매패류의 독 축적에 영향을 줄 수 있다고 보고된 바 있다(Twarog, 1974; Shumway and Gucci, 1987; Chebib et al., 1993). 우리 결과에서도 포항과 거제산 담치가 황해산에 비해 높은 독 함량을 나타냈다. 이 결과는 남해동부연안의 담치가 황해산에 비해 독성 *Alexandrium*에 대한 노출 빈도가 높았기 때문으로 사료된다. 실제로 진해만을 포함한 남해 연안과 동해 남부 해역에는 매년 봄과 가을에 유독 *A. tamarense*의 증식과 이매패류의 독화가 확인되고 있다(Fig. 1. 점선지역) (Han et al., 1993; Kim, 1995; Kim and Shin, 1997). 따라서 한국에서는 남해동부 연안에 분포하는 이매패류의 독 축적률이 다른 지역보다 더 높을 수 있음을 시사하는 것이다.

현장과 실험실 연구를 통해 이매패류는 동일한 지역에서 채집한 것이라도 개별적인 독 함량 차이가 나타나고 있으며, 이것은 조개의 개체별 섭취율, 독 축적과 배출 및 생리적 차이 등에 의한 것으로 보고되었다(Prakash et al., 1971; White et al., 1993; Sekiguchi et al., 2001). 우리 결과에서도 지중해담치와 진주담치에서 개체별 독 축적 차이가 크게 나타나 이를 뒷받침하고 있다. 한편 Bricelj and Shumway (1998)는 생리적 대사율이 높은 각장 6 cm 이하의 담치들이 큰 것에 비해 많은 독을 축적하는 것으로 보고했으나, 우리 결과에서는 개체 크기에 따른 차이를 확인할 수 없었다.

지금까지 이매패류에서 검출된 PSP 독성분은 그들이 섭취한 원인생물과는 다른 것으로 보고되었다(Oshima et al., 1976, 1990; Bricelj and Shumway, 1998). 특히 이매패류 내에서는 저독성의 *N*-sulfocarbamoyl 계 성분들(C1-4, B1, B2)이 풍부하게 존재할 때, 고독성의 carbamoyl 계 성분(GTX1-4, STX, neoSTX)으로의 변화가 나타나며(Cembella et al., 1987; Bricelj et al., 1990), 이러한 독소변화는 이매패류의 순독성 증가의 차원에서 매우 중요하다. 우리 결과에서도 *A. tamarense*의 주요 독소가 C2와 GTX4 임에 반해, 이를 섭취한 담치류에서는 고독성의 GTX1과 STX 성분비가 증가하여 전체 독성을 증가시키는 원인으로 작용하였다. 이것은 남해 연안에서 발생하는 것으로 보고된 *A. tamarense* (Kim, 1995) 및 *Gymnodinium catenatum* (Kim and Shin, 1997; Park et al., 2004a) 세포들이 비록 저독성 성분들을 함유하고 있더라도, 이들을 섭취한 이매패류는 상대적으로 독성이 증가되어 공중보건상의 위험을 초래할 가능성이 매우 높은 것을 시사한다.

이매패류의 생체 내 독소전환은 대합류 *Prototaca staminea*와 *Spisula solidissima* (Sullivan et al., 1983; Bricelj and Shumway, 1998), 그리고 가리비 *Placopecten magellanicus* (Shimizu and Yoshioka, 1981)에서 효소적 decarbamylation을 통해 매우 빠르게 진행되는 것이 보고되었으며, 산 가수분해 및 자연 환원체 등에 의한 화학적 독소전환도 보고되었다(Cembella et al., 1993; Oshima, 1995b). 한편 Sekiguchi et al. (2001)은 지중해담치를 포함한 5종의 실험생물들에서 모두

동일한 독조성 변화를 보여주었으며, 이러한 경향은 우리 결과에서도 나타났다. 따라서 우리 결과에서 보여준 담치류 내에서의 독소전환은 종-특이적인 효소 작용 보다는 자연 환원제 및 산 가수분해 작용에 의한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- AOAC. 2000. Paralytic shellfish poison. In: Official methods of analysis of the AOAC (17th). Williamm, H. ed. Association of Official Analytical Chemist, Virginia, 59-60.
- Bricelj, V.M., J.H. Lee, A.D. Cembella and D.M. Anderson. 1990. Uptake kinetics of paralytic shellfish toxins from the dinoflagellate *Alexandrium fundyense* in the mussel *Mytilus edulis*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 63, 177-188.
- 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 mollusks: occurrence, transfer kinetics, and biotransformation. Rev. Fish. Sci., 6, 315-383.
- Cembella, A.D., J.J. Sullivan, G.L. Boyer, F.J.R. Taylor and R.J. Anderson. 1987. Variation in paralytic shellfish toxin composition within the *Protogonyaulax tamarensis/catenella* species complex: red-tide dinoflagellates. Biochem. Syst. Ecol., 15, 171-186.
- Cembella, A.D., S.E. Shumway and N.I. Lewis. 1993. Anatomical distribution and spatio-temporal variation in paralytic shellfish toxin composition in two bivalve species from the Gulf of Maine. J. Shellfish Res., 12, 389-403.
- Chang, D.S., I.S. Shin, J.H. Pyeon and Y.H. Park. 1987. A study of paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis* - food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea, 1986. Bull. Kor. Fish. Soc., 20, 293-299
- Chebib, H.A., A.D. Cembella and P. Anderson. 1993. Differential paralytic shellfish toxin accumulation and detoxification kinetics in transplanted populations of *Mytilus edulis* exposed to natural blooms of *Alexandrium excavatum*. In: Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea. Smayda, T.J. and Y. Shimizu, eds. Elsevier, New York, 383-388.
- Frank, P.J.S. and D.M. Anderson. 1992. Toxic phytoplankton blooms in the southwestern Gulf of Maine: testing hypotheses of physical control using historical data. Mar. Biol., 112, 165-174.
- Guillard, R.R.L. and J.H. Ryther. 1962. Studies of marine planktonic diatoms. I. *Cyclotella nana* Hustedt and *Detonula confervacea* Cleve. Can. J. Microbiol., 8, 229-239.
- Hallegraeff, G.M. 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. Phycologia, 32, 79-99.
- Hallegraeff, G.M., C.J. Bolch, J. Bryan and B. Koerbin. 1990. Microalgal spores in ship's ballast water: A danger to aquaculture. In: Toxic Marine Phytoplankton. Graneli, E., B. Sundstorm, L. Edler, and D.M. Anderson, eds. Academic Press, New York, 475-480.
- Han, M.S., J.K. Jeon and Y.H. Yoon. 1993. Distribution and toxin profiles of *Alexandrium tamarensis* (Lebour) Balech (Dinoflagellate) in the southeastern coastal waters, Korea. Algae, 8, 7-13.
- Kim C.H. 1995. Paralytic shellfish toxin profiles of the dinoflagellate *Alexandrium* species isolated from benthic cysts in Jinhae Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 28, 364-372.
- Kim, C.H. and Shin, J.B. 1997. Harmful and toxic red tide algal development and toxins production in Korean coastal waters. Algae, 12, 269-276.
- 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.
- Oshima, Y., W.E. Fallon, Y. Shimizu, T. Noguchi and Y. Hashimoto. 1976. Toxins of the *Gonyaulax* sp. and infested bivalves in Owase Bay. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 42, 851-856.
- Oshima, Y., K. Sugino, H. Itakura, M. Hirota and T. Yasumoto. 1990. Comparative studies on paralytic shellfish toxin profile of dinoflagellate and bivalves. In: Toxic Marine Phytoplankton. Graneli, E., B. Sundstorm, L. Edler, and D.M. Anderson, eds. Academic Press, New York, 391-396.
- Oshima, Y. 1995a. Post-column derivatization HPLC methods for paralytic shellfish poison. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds. UNESCO, Paris, 81-94.
- Oshima, Y. 1995b. Chemical and enzymatic transformation of paralytic shellfish toxins in marine organisms. In: Harmful Marine Algal Blooms. Lassus, P., G. Arzul, E. Erard-Le-Denn, P. Gentien and C. Marcaillou-

- Le-Baut, eds. Lavoisier, Paris, 475-480.
- Park, T.G., C.H. Kim and Y. Oshima. 2004a. Paralytic shellfish toxin profiles of different geographic populations of *Gymnodinium catenatum* (Dinophyceae) in Korean coastal waters. *Phycol. Res.*, 52, 300-305.
- Park, H.S., S.K. Yi and S.G. Paik. 2004b. Assessment of the productivity of *Mytilus galloprovincialis* on the mussel culture ground in Jinhae Bay. *Kor. J. Malacol.*, 20, 45-53.
- Prakash, A., J.C. Medcof and A.D. Tennant. 1971. Paralytic shellfish poisoning in eastern Canada. *Fish. Res. Bd. Can. Bull.*, 177, 1-87.
- 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 tamarensecells*. *Fish. Sci.*, 67, 301-305.
- Shimizu, Y. and M. Yoshioka. 1981. Transformation of paralytic shellfish toxins as demonstrated in scallop homogenates. *Science*, 212, 547-546.
- Shumway, S.E. and T.L. Cucci. 1987. The effects of the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarens* on the feeding and behavior of bivalve molluscs. *Aquat. Toxicol.*, 10, 9-27.
- Shumway, S.E. 1990. A review of the effects of algal blooms on shellfish and aquaculture. *World Aquacult. Soc.*, 21, 65-104.
- Sullivan, J.J., W.T. Iwaoka and J. Liston. 1983. Enzymatic transformation of PSP toxins in the littleneck clam (*Protochaca staminea*). *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 114, 465-472.
- Taylor, F.J.R., Y. Fukuyo and J. Larsen. 1995. Taxonomy of harmful dinoflagellate. In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Hallegraeff G.M., D.M. Anderson and A.D. Cembella, eds. UNESCO, Paris, 283-317.
- Twarog, B.M. 1974. "Immunity" to paralytic shellfish toxin in bivalve molluscs. In: *Proceedings of the 2nd International Coral Reef Symposium*. 1. Great Barrier Reef Committee, Brisbane, 505-512.
- White, A.W., S.E. Shumway, J. Nassif and D.K. Whittaker. 1993. Variation in level of paralytic shellfish toxins among individual shellfish. In: *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*. T.J. Smayda and Y. Shimizu, eds. Elsevier, New York, 441-446.
- Yoo, S.K., H.S. Lim and Y.J. Chang. 1990. On the occurrence of the larvae, spatfall and early growth of mussel *Mytilus edulis*, in Chinhae Bay. *Kor. J. Malacol.*, 6, 1-10.

2006년 1월 5일 접수
2006년 2월 27일 수리