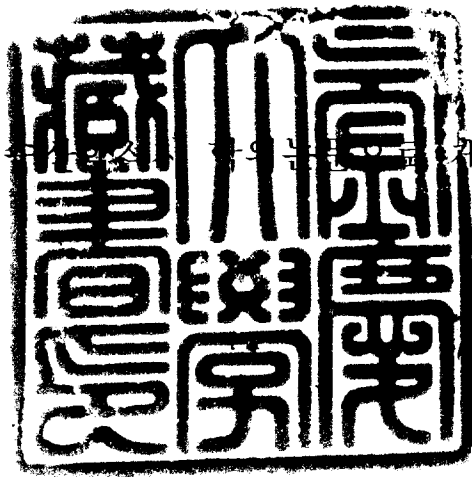


수산학석사 학위논문

해양 유독 와편모조류 *Alexandrium*
*tamarense*에 의한 담치류의 마비성 패독 축적

지도교수 김 창 훈

이 논문을 수산학석사 학위논문으로 제출함.



2005년 8월

부경대학교 대학원

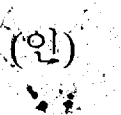
수산생물학과

손 명 백

손명백의 수산학석사 학위논문을 인준함.

2005년 6월 24일

주 심 이학박사 손 철 현 

위 원 이학박사 김 종 명 (인) 

위 원 농학박사 김 창 훈 (인) 

목 차

Abstract	iii
I 서 론	1
II 재료 및 방법	5
1 진해만 해역의 <i>Alexandrium</i> spp. 출현과 담치류의 마비성 패류 독화 발생 조사	5
1.1 식물플랑크톤의 채집과 동정	5
1.2 담치류의 채집	5
1.3 담치류의 마비성 패독 분석	6
2 <i>Alexandrium</i> 의 공급에 의한 지중해담치의 마비성 패류 독화	10
2.1 <i>Alexandrium</i> 분리주의 배양과 성장률 측정	10
2.2 <i>Alexandrium</i> 분리주의 마비성 패독 분석	10
2.3 지중해담치의 채집	12
2.4 <i>A. tamarense</i> 공급밀도에 따른 지중해담치의 섭취율과 독 축적	12
2.5 지중해담치의 독 축적 후 제독	13

III 결 과	14
1 진해만 해역의 식물플랑크톤 발생과 담치류의 마비성 패류 독화	14
1.1 식물플랑크톤 현존량 및 <i>Alexandrium</i> spp. 출현량 비교	14
1.2 <i>Alexandrium</i> spp. 출현과 담치류의 마비성 패류 독화	18
2 <i>Alexandrium tamarense</i> 섭취에 의한 지중해담치의 마비성 패독 축적과 제독	31
2.1 성장단계에 따른 <i>A. tamarense</i> 분리주의 독 생산성	31
2.2 지중해담치의 <i>A. tamarense</i> 섭취	34
2.3 지중해담치의 마비성 패독 축적	40
2.4 지중해담치의 마비성 패독 축적 후 재독	43
IV 고 찰	47
1 진해만 해역의 <i>Alexandrium</i> spp. 출현과 담치류의 마비성 패류 독화 ...	47
2 <i>Alexandrium tamarense</i> 섭취에 의한 지중해담치의 마비성 패독 축적과 제독	50
V 요 약	55
VI 감사의 글	56
VII 참고 문헌	57

Paralytic Shellfish Poisoning Toxins Accumulation of Mussels by Marine Toxic Dinoflagellate *Alexandrium tamarense*

Myung-Baek Shon

*Department of Fisheries Biology, Graduate School,
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Abstract

This study investigated the abundance of phytoplankton and *Alexandrium* spp. in Jinhae Bay from January 2004 to May 2005, and paralytic shellfish poisoning (PSP) of mussels *Mytilus edulis* and *M. galloprovincialis* in Jinhae Bay from March to May 2005. The PSP toxin production of toxic *Alexandrium tamarense*, the feeding and toxin accumulation of mussel *M. galloprovincialis* at different *A. tamarense* cell densities, and the intoxicification and detoxification of mussel *M. galloprovincialis* fed on *A. tamarense* were also studied.

Alexandrium spp. occurred in low cell densities (2-61 cells mL⁻¹) from March to May 2004 and from February to May 2005. The highest PSP toxicity was 1,314 µg STXeq. 100 g⁻¹ in mussel *M. edulis* from Sujeongri and 8,751 µg STXeq. 100 g⁻¹ in *M. galloprovincialis* from Jindong in April 2005. The PSP toxin profile of mussels included GTX₁₊₄ as the major

components. GTX₄ content was higher than GTX₁ during intoxicification, whereas GTX₁ content was higher than GTX₄ during detoxification. C₂ content increased during intoxicification and then rapidly reduced during detoxification. STX content was detected in both Sujeongri and Jindong as a trace component during detoxification.

PSP toxin content of *A. tamarensae* reached 42.74 fmol cell⁻¹ at the middle exponential phase of cell growth and gradually reduced to 16.60 fmol cell⁻¹ at the early stationary phase. The toxin profile of *A. tamarensae* included GTX₄ as the major component. But, the proportion of toxin compositions to cell growth was constant.

In the feeding and intoxicification experiment of mussel *M. galloprovincialis* on different cell densities of *A. tamarensae*, feeding obstruction was observed at cell density of 300 cells mL⁻¹. The feeding and absorption rates were reduced, whereas the excretion rate increased according to the increase in cell densities. Mussel *M. galloprovincialis* showed an increase in toxin contents according to the increase in cell densities, and different toxin compositions with the presence of GTX₅ and GTX₂, which were not detected in the food microorganism *A. tamarensae*.

The PSP toxin content in mussel *M. galloprovincialis* fed on *A. tamarensae* reached 75.35 µg STXeq. 100 g⁻¹ after 3 days, and then gradually reduced to 14.17 µg STXeq. 100 g⁻¹. The change of toxin composition was similar to that observed during intoxicification of field mussels in Jinhae Bay. The change of toxin composition in mussel *M. galloprovincialis* at the intoxicification experiment was similar to that of field mussels.

I 서론

최근 들어 와편모조류에 의한 적조(Harmful Algal Blooms 또는 red tide)는 산업화에 따른 연안해역의 부영양화와 이상 기후로 인해 발생 규모가 광역화 되고 그 빈도 또한 점차 증가하고 있다(Hallegraeff, 2003). 문헌상 최초의 마비성 패류 독화(Paralytic Shellfish Poisoning, PSP)로 인한 사고는 1793년에 캐나다의 British Columbia에서 기록 되었고, *Alexandrium catenella*와 *A. tamarense*는 1970년대까지 유럽과 북미, 일본 등의 온대해역에서만 알려졌으나, 이 후 1990년대까지 이보다 남쪽 해역인 남아프리카, 호주, 뉴질랜드, 인도, 태국, 브루나이, 사바흐, 필리핀, 파푸아뉴기니 등으로 그 분포 해역이 확장되어왔다(Hallegraeff, 2003). 특히 유독 와편모조류에 의한 마비성 패류 독화는 전 세계적으로 인류 보건과 수산 조개류 양식업에 심각한 문제를 일으키고 있어, 이들 원인 생물에 대한 지속적인 모니터링이 요구되고 있다(Hallegraeff, 2003).

국내에서는 1986년과 1996년에 마비성 패독에 오염된 담치를 먹고 사람이 죽는 사건이 발생하였고(Chang et al., 1987; Lee et al., 1997), 원인 생물은 와편모조류인 *A. tamarense*인 것으로 확인 되었다(Han et al., 1992, Lee et al., 1992). 이로 인하여 국내에서도 마비성 패류 독화가 미치는 공중 보건과 패류 산업의 심각한 영향을 인식하게 되었고, 마비성 패류 독화에 대한 모니터링이 국립수산과학원에 의하여 지속적으로 이루어지고 있다. 국립수산과학원의 마비성 패류 독화 모니터링 결과에 의하면 진해만 일대와 부산 일원의 가덕도, 다대포등의 해역에 양식되거나 자생하는 진주담치(*Mytilus edulis*)는 매년 2월과 3월에 독화가 진행되어 4월부터는 규제치($80 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$)를 초과한 후, 5월 말경에 규제치 이하로 감소하는 것으로 나타났다(NFRDI, 1998-2003). 담치류(*Mytilus* spp.)는 참굴(*Crassostrea gigas*)과 우럭(*Mya arenaria*), littleneck clams (*Protothaca staminea*)와 같은 조개류에 비하여 빠르게 독화되고 고농도로 마비성 패독을 축적하기 때문에(Bricelj and Shumway, 1998) 마비성 패류 독화를

모니터링하는데 일반적으로 감시생물로서 많이 이용된다. 이는 담치와 같은 조개류는 유독 세포를 잘 섭이하며 많은 독을 축적하게 되는 반면, 비교적 낮은 독을 축적하는 참굴과 같은 조개류는 마비성 패독에 매우 민감하며 생리·행동 습관적으로 유독세포에 노출을 피하거나 줄이기 때문이다(Bricelj and Shumway, 1998).

마비성 패독을 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*, *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* 등이 있다(Taylor et al., 2003). 이 중에서 *A. catenella*와 *A. tamarense*, *G. catenatum*은 국내 연안에서도 출현하고 있으며 특히, *A. tamarense*는 마비성 패류 독화를 일으키는 주요 원인 생물로 확인된 바 있다(Han et al., 1992, 1993; Kim and Shin, 1997; Kim et al., 2005a).

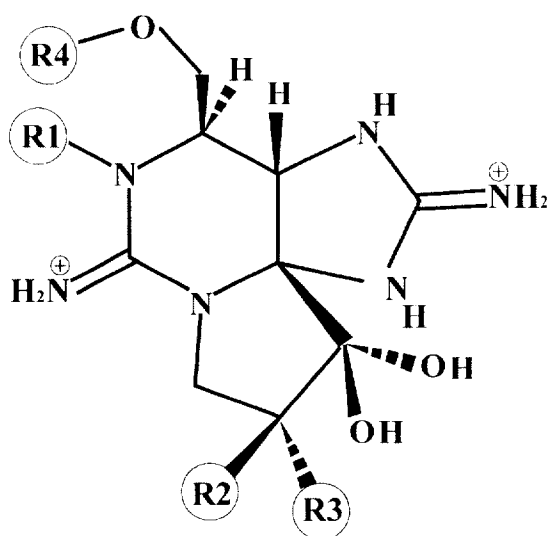
한편, 마비성 패독은 수용성으로 나트륨 채널을 막아 이온 전환을 특이적으로 차단하여 신경과 근섬유에서 강한 마비 증상을 일으킨다. 독화된 조개류를 섭취하였을 때 나타나는 가장 일반적인 증상은 감각 이상과 구강 주변의 무감각해짐 및 따끔거림 등을 유발하고, 심할 경우 호흡기 마비에 의한 사망을 일으키게 된다(Bricelj and Shumway, 1998). 이러한 마비성 패독은 carbamate 계 독소[gonyautoxin (GTX₁₋₄), saxitoxin (STX), neosaxitoxin (neoSTX)], decarbamoyl계 독소(dcGTX₁₋₄, dcSTX), *N*-sulfocarbamoyl계 독소(C₁₋₄, GTX₅₋₆)등으로 밝혀져 있다(Oshima et al., 2003; Fig. 1).

국내에서는 유독 와편모조류의 마비성 패독 생산성에 관한 연구(Han et al., 1992, 1993; Kim and Shin, 1997; Kim et al., 2005a)와 조개류의 마비성 패류 독화에 관한 연구(Jeon and Huh, 1989; Lee et al., 1992; Jeon and Han, 1998; Jeon et al., 1998)가 수행되었으나, 유독 먹이생물을 섭취한 조개류의 독소 전환 양상이나 독 축적과 제독에 관한 연구는 많이 부족한 실정이다. 현장 연구와 일정한 조건이 주어진 실내 실험에서 *N*-sulfocarbamoyl 계 독 함량이 많은

와편모조류가 조개에 의해 섭취·축적되었을 때, 조개류 조직 내에서는 독 조성의 생체전환이 일어나 독 강도가 현저히 높은 carbamate 계 독 성분으로 전환되는 것으로 알려져 있다(Oshima et al., 1976; Beitler and Liston, 1990; Bricelj et al., 1990, 1991; Asakawa et al., 1995).

한편, 유독 와편모조류에 의한 마비성 패류 독화는 조개류뿐만 아니라 먹이 사슬을 통하여 조개류를 먹는 갑각류인 계에서도 마비성 패류 독소가 검출된 것으로 확인된 바 있고(Oikawa et al., 2004), 조개류처럼 여과 섭취를 하는 우렁쟁이류는 조개류보다 더 높은 독성을 가지는 것으로 나타났다(Sekiguchi et al., 2001a). 이러한 먹이 사슬을 통한 1차, 2차 독화는 인류에게 위해가 될 뿐만 아니라 수산 식품의 독화로 인하여 산업적으로 큰 손실을 초래할 수 있다. 그러므로 보다 정밀한 마비성 패류 독화 모니터링을 위해서는 마비성 패독의 전이 경로에 대한 더 많은 실내 연구 자료가 필요할 것으로 사료된다.

이 연구에서는 진해만 해역의 *Alexandrium* spp. 출현과 이들이 생산한 마비성 패독에 의하여 담치류의 독화 양상을 조사하였다. 이와 더불어 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*)의 *A. tamarense* 섭취와 그에 따른 마비성 패독 축적과 제독 실험을 통하여, 원인생물의 출현과 담치류의 마비성 패류 독화의 상관관계와 독소 전환을 조사하였다. 이를 통하여 향상된 마비성 패류 독화 모니터링에 기초 자료를 제공하고자 하였다.



Toxin	R1	R2	R3	R4	Toxicity (MU/ μ mole)	Molecular weight
STX	H	H	H		2,483	301
neoSTX	OH	H	H		2,295	317
GTX ₁	OH	H	OSO ₃ ⁻	H ₂ N-CO	2,468	412
GTX ₂	H	H	OSO ₃ ⁻	(Carbamoyl-)	892	396
GTX ₃	H	OSO ₃ ⁻	H		1,584	396
GTX ₄	OH	OSO ₃ ⁻	H		1,803	412
B ₁ (=GTX ₅)	H	H	H		160	380
B ₂ (=GTX ₆)	OH	H	H		180	396
C ₃	OH	H	OSO ₃ ⁻	O ₃ -NH-COO	33	492
C ₁	H	H	OSO ₃ ⁻	(N-sulfocarbamoyl-)	15	476
C ₂	H	OSO ₃ ⁻	H		239	476
C ₄	OH	OSO ₃ ⁻	H		143	492
dcSTX	H	H	H		1,274	258
dcneoSTX	OH	H	H		33	274
dcGTX ₁	OH	H	OSO ₃ ⁻	H	1,500	369
dcGTX ₂	H	H	OSO ₃ ⁻	(Decarbamoyl-)	1,617	353
dcGTX ₃	H	OSO ₃ ⁻	H		1,872	353
dcGTX ₄	OH	OSO ₃ ⁻	H		1,080	369

Fig. 1. Chemical structure and toxicity of PSP toxins (Oshima, 1995).

II 재료 및 방법

1 진해만 해역의 *Alexandrium* spp.의 출현과 담치류의 마비성 패류 독화 발생 조사

1.1 식물플랑크톤의 채집과 동정

진해만에 속해 있는 마산시 구산면 수정리 해역(Stn 1)에서 *Alexandrium*과 식물플랑크톤의 현존량을 2004년 1월부터 2005년 2월까지 매월 1회, 2005년 3월은 주 2회, 4월과 5월은 주 1회 조사하였다(Fig. 2).

식물플랑크톤의 채집은 난센채수기로 표층과 저층수 1 L 정량채수하고, 채집된 시료는 망목 125 μm 와 20 μm 의 sieve로 여과하여 농축한 후 polyethylene 용기(50 mL)에 넣고 Lugol 용액으로 최종 농도를 2-3%가 되도록 현장에서 고정하였다. 정량채수로 확인 되지 않는 식물플랑크톤을 조사하기 위해 플랑크톤 네트(망구 직경, 30 cm; 망목 직경, 2 μm)로 수심 10 m에서 표층까지 수직으로 끌어 채집하였다. 플랑크톤 네트 채집 시료는 고정하지 않은 채로 1 L polyethylene 병에 담아 저온(10℃)을 유지하여 실험실로 운반하였다. 플랑크톤 채집 시료는 1 mL를 Sedgwick-Rafter chamber에 취하여 Fukuyo et al. (1990)와 심(1994)의 방법에 따라 광학현미경(Axiovert 200, Zeiss)하에서 고배율($\times 400$, $\times 1,000$)로 동정 및 계수하였다.

1.2 담치류의 채집

담치류는 2005년 3월부터 5월까지 채집 하였고, 3월에는 주 2회, 4월과 5월에는 주 1회 채집하였다. 담치류의 채집은 진해만 내의 2개 정점(Fig. 2)에서 실시하였으며, 마산시 구산면 수정리 해역(Stn 1)에서 양식산 진주담치(*Mytilus edulis*), 마산시 진동면 수우도 해역(Stn 2)에서 자연산 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*)를 각각 채집하여 저온(10℃)을 유지한 채 실험실로 운반하였다.

1.3 담치류의 마비성 패독 분석

담치류의 가식부 전량을 절취하여 50 mL 원심분리 튜브에 담고 동량의 0.1 N HCl을 첨가한 다음 얼음에 침지한 채로 초음파 파쇄기(Daigger Ultrasonic Processor, GE750, Japan)를 이용하여 약 30초간 3-4회 정도 반복하여 조직을 파쇄하였다. 균질액은 100℃에서 5분간 중탕한 다음 pH 3-4로 조절한 후, 원심 분리(3,000×g, 10 min)하여 상등액을 분취한 후 다시 원심분리(10,000×g, 10 min)하여 상등액을 메탄올과 증류수로 세척된 Sep-pak C₁₈ cartridge에 통과 시켰다. 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×g, 10 min)후, 얻어진 여과 시료를 분석 전까지 -20℃에서 보관하였다(Fig. 3).

마비성 패독 분석을 위한 기기의 조건은 Table 1에 나타내었다. 마비성 패독 분석은 Oshima (1995)의 방법에 따라 High Performance Liquid Chromatography (HPLC)를 사용하여 분석하였다. HPLC 시스템의 구성은 듀얼 헤드 펌프(Shimadzu LC-10AD, Japan), 형광검출기(Jasco FP 1520, Japan), 중탕기(WBC-1506D, Jeio Tech, Japan), 산화제와 중화제의 방출을 위한 정량펌프(Oriental Motor NP-S-463) 및 독 성분의 분리를 위한 역상계 컬럼(Zorbax Eclipse XDB-C8 column, 4.6 mm×250 mm; Agilent Technology, USA)을 사용하였다. 시료의 마비성 패독의 계산은 표준 독소에서 나타난 피크면적의 상대비로 구하였다. 분석에 사용된 표준 독소는 Tohoku University의 Oshima 교수로부터 제공받았다.

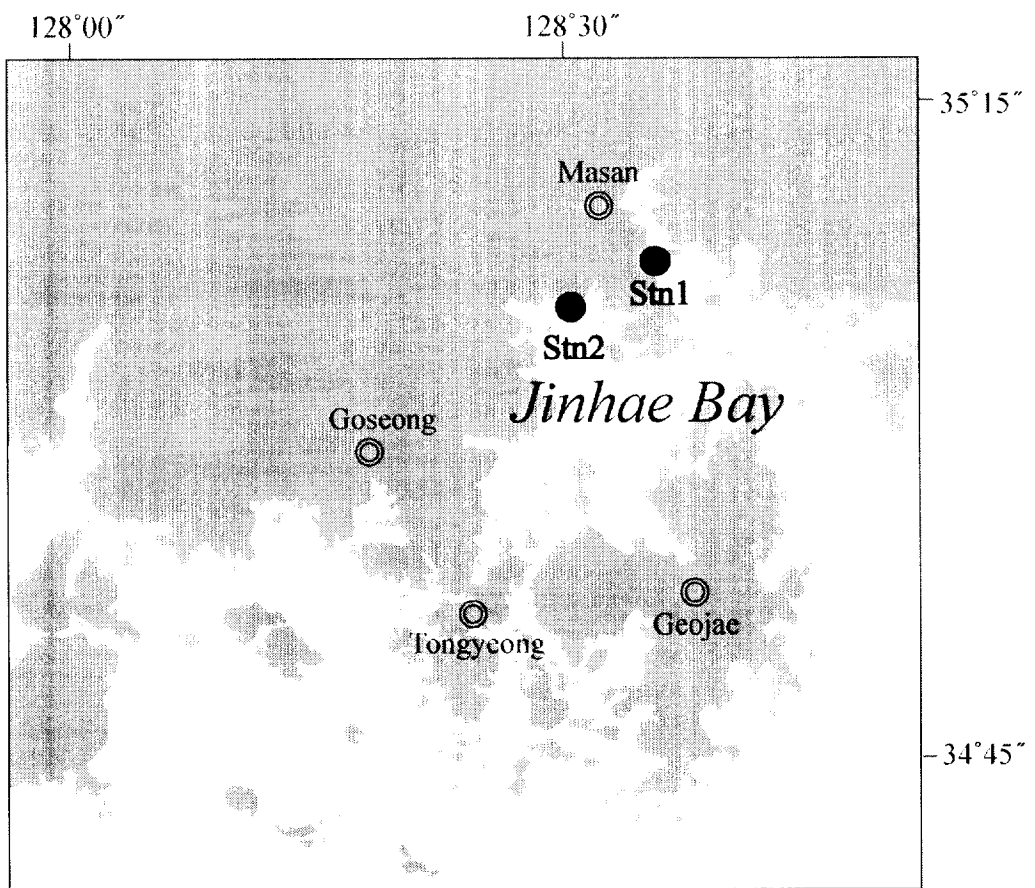


Fig. 2. Sampling stations of mussels and phytoplankton in Jinhae Bay, Korea.

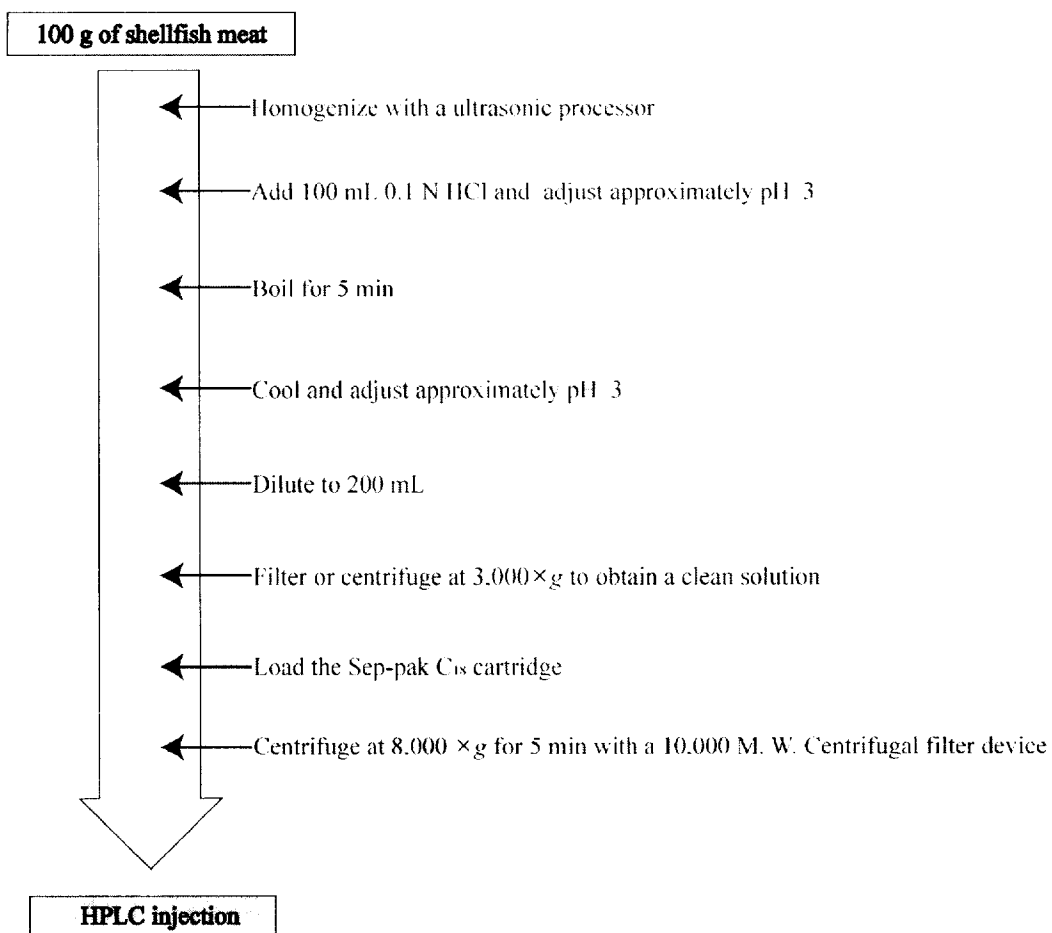


Fig. 3. Sample preparation of mussels for PSP toxin after the slight modification of Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990).

Table 1. Operating conditions for HPLC analysis of PSP toxins

Column	Zorbax XDB-C ₈ column (4.6×250 mm; Agilent Technology)
Mobile phases	Flow rate : 0.8 mL min ⁻¹
(a) Cs	1 mM Tetrabutyl ammonium phosphate, adjust pH 5.8 by acetic acid
(b) GTXs	2 mM Sodium 1-heptanesulfonate in 10 mM Ammonium phosphate, adjust pH 7.1
(c) STXs	2 mM Sodium 1-heptanesulfonate in 30 mM Ammonium phosphate, adjust pH 7.1 : acetonitrile = 100 : 6
Post column reaction reagent	Flow rate : 0.4 mL min ⁻¹
Oxidizing reagent	7 mM Periodic acid in 50 mM Potassium phosphate buffer, adjust pH 9.0
Acidifying reagent	0.5 M Acetic acid
Reaction	10 m Teflon tubing (ø 0.5 mm) at 65°C in water bath
Detection	Excitation : Emission wavelength = 330 : 390 nm

2 *Alexandrium*의 공급에 의한 지중해담치의 마비성 패류 독화

2.1 *Alexandrium* 분리주의 배양과 성장률 측정

A. tamarense 분리주는 2003년 4월에 부산 가덕도 연안에서 분리하여, 5 L 둥근 플라스크에 f/2 배지를 2.5 L 채워 접종한 후 18°C, 50 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 14 L : 10 D의 조건으로 계대배양하였다.

*A. tamarense*의 성장률 측정은 2일 간격으로 세포를 포함한 배양액을 30 mL 취하여 Lugol 용액으로 최종 농도를 2-3%가 되도록 고정한 후 Sedgwick-Rafter chamber에 취하여 광학현미경(Axiovert 200, Zeiss) 하에서 계수하였다.

2.2 *Alexandrium* 분리주의 마비성 패독 분석

마비성 패독을 분석하기 위한 시료의 전처리는 다음과 같이 하였다. 지수 성장기 초기 상태의 *A. tamarense* 세포를 배양액과 함께 30 mL를 취하여 세포를 3반복 계수한 후, 배지 성분 제거를 위하여 원심분리(3,000×g, 10 min)하고 상등액을 제거한 뒤 증류수로 세척한 다음, 재차 원심분리(3,000×g, 10 min)하였다. 이 과정을 2회 반복 하여 모은 세포 pellet에 10배량의 0.05 N Acetic acid를 첨가하여 얼음에 침지하고 초음파 파쇄기(Daigger Ultrasonic Processor, GE750, Japan)를 이용하여 약 15초 간격으로 3회에 걸쳐 파쇄한 후, 원심분리(10,000×g, 10 min)하여 상등액을 분취하였다. 분취한 상등액을 한외여과기(Ultrafree-MC; M. W., 10,000, Millipore, Japan)에 넣어 원심분리(8,000×g, 5 min) 후, 얻어진 여과 시료를 마비성 패독 분석 전까지 -20°C에 보관하였다(Fig. 4). HPLC를 이용한 마비성 패독 분석은 1.3의 담치류의 마비성 패독 분석과 동일하게 하였다.

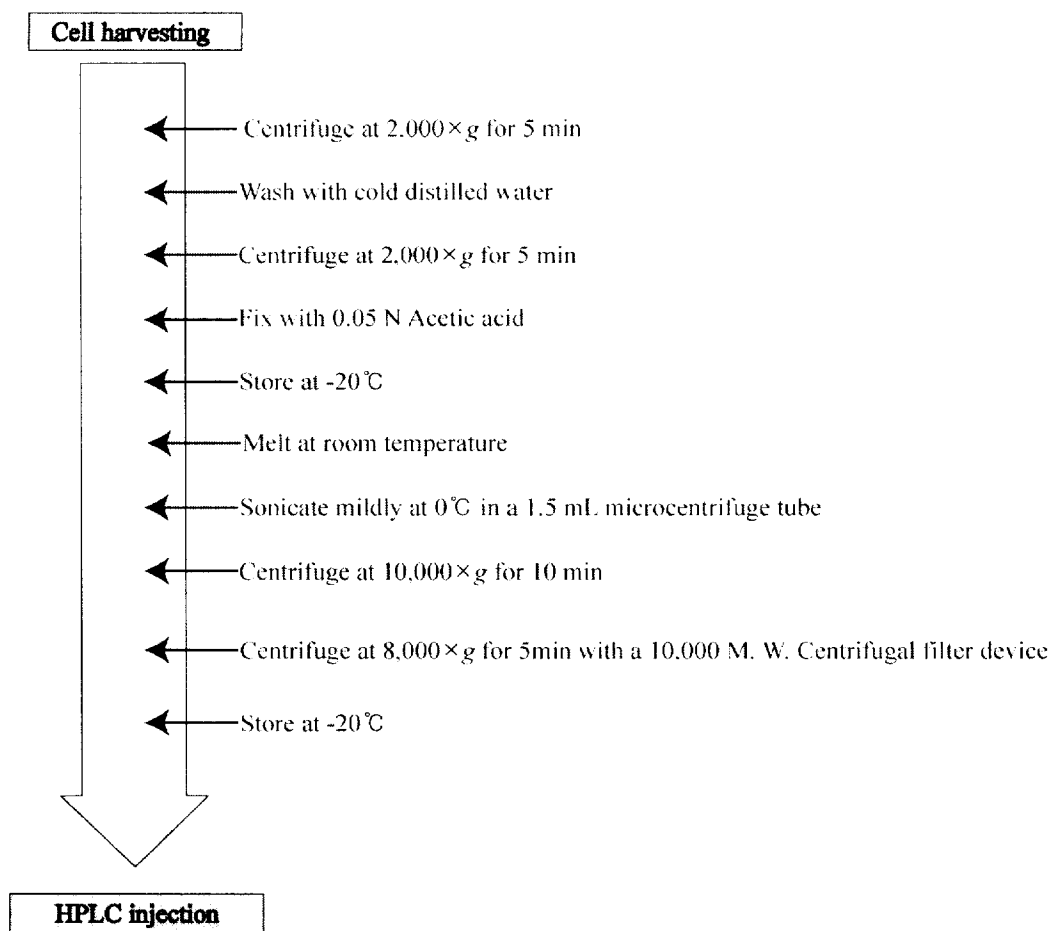


Fig. 4. Sampling preparation of *Alexandrium tamarense* cells for PSP toxin analysis.

2.3 지중해담치의 채집

지중해담치는 경남 고성군 하일면 동화리 연안에서 자생하는 것을 채집하였다. 채집한 담치는 저온(10℃)을 유지하여 실험실로 운반하였다.

2.4 *Alexandrium* 공급밀도에 따른 지중해담치의 섭취율과 독 축적

채집한 지중해담치는 40 L(50 cm × 36 cm × 20 cm) 수조에 여과 해수(ø 0.5 µm bag filter)로 20 L를 채운 후 18℃, 50 µE m⁻² s⁻¹, 14 L : 10 D의 조건에서 aeration하며 7일간 순치한 후 실험에 사용하였다. 섭취 실험은 2 L 비커에 여과 해수(ø 0.5 µm bag filter) 1.2 L를 채운 후 aeration을 유지한 채 지중해담치를 수용하고 18℃, 50 µE m⁻² s⁻¹, 14 L : 10 D의 조건으로 하였다. 먹이 생물은 비커에 최종 밀도 50, 100, 150 및 300 cells mL⁻¹가 되도록 지수성장기 후기의 *A. tamarense*를 2시간 간격으로 1일 5회씩(09:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00) 5일간 공급하였다. 실험구내 먹이 생물량을 2시간 간격으로 측정하여, 지중해담치의 먹이 섭취율, 소화율 및 배설율을 아래와 같이 구하였다.

$$\text{섭취율(\%)} = \frac{\text{공급된 세포} - \text{해수 내 잔존세포}}{\text{공급된 세포}} \times 100 \%$$

$$\text{소화율(\%)} = \frac{\text{섭취된 세포} - \text{배설된 세포}}{\text{섭취된 세포}} \times 100 \%$$

$$\text{배설율(\%)} = \frac{\text{배설된 세포}}{\text{소화된 세포}} \times 100 \%$$

지중해담치의 마비성 패독을 분석하기 위하여 실험 6일째 오전 9시에 모든 실험구 담치를 수확하고 AOAC법(Hollingworth and Wekell, 1990)에 따라 전처리한 후(Fig. 3) 분석 전 까지 -20℃에서 냉동 보관하였다. HPLC를 이용한 마비성 패독 분석은 1.3의 담치류의 마비성 패독 분석과 동일하게 하였다.

2.5 지중해담치의 독 축적 후 제독

지중해담치는 20 L 아크릴 수조 (50 cm × 36 cm × 10 cm)에 여과 해수(0.5 μm filter) 10 L를 채운 후 aeration을 유지한 채로 수용하고 18°C, 50 $\mu\text{E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, 14 L : 10 D의 조건에서 실험 하였다. 실험 수조에는 지수성장기 후기에 도달한 *A. tamarense*을 1,450 cells mL^{-1} 의 밀도로 1회 공급하여 독 축적과 제독되는 과정을 14일간 관찰하였다. 지중해담치의 마비성 패독 분석을 위하여 1일 1회 3개체씩 수확하고 AOAC법에 따라 전처리한 후(Fig. 3) 분석 전 까지 -20°C에서 냉동 보관하였다. HPLC를 이용한 마비성 패독 분석은 1.3의 담치류의 마비성 패독 분석과 동일하게 하였다. 지중해담치의 *A. tamarense* 섭취를 측정을 위하여 2일째 실험 수조의 해수를 50 mL 채수하여 Lugol 용액으로 최종 농도를 2-3%가 되도록 고정한 후, 광학현미경하(Axiovert 200, Zeiss)에서 잔존 세포를 계수하였다.

III 결과

1 진해만 해역의 식물플랑크톤 발생과 담치류의 마비성 패류 독화

1.1 식물플랑크톤 현존량 및 *Alexandrium* spp. 출현량 비교

2004년 1월에서 2005년 5월까지 진해만 해역의 식물플랑크톤의 현존량을 Fig. 5와 Table 2에 나타내었다. 2004년 1월에 $11,981 \text{ cells mL}^{-1}$ 이었던 식물플랑크톤의 현존량은 2004년 4월에 $748 \text{ cells mL}^{-1}$ 까지 감소하였다. 5월에서 11월까지 $61\text{--}1,485 \text{ cells mL}^{-1}$ 의 범위에서 증감을 하였고, 12월에 $4,470 \text{ cells mL}^{-1}$ 까지 증가하였다. 2005년에는 증감의 폭이 더욱 커져 1월에는 $131 \text{ cells mL}^{-1}$ 까지 감소하였고 3월에 $8,735 \text{ cells mL}^{-1}$ 까지 증가하였으며, 4월에는 71 cells mL^{-1} 로 나타났다.

월별 우점종은 2004년 1월에 *Thalassionema nitzschioides* ($4,454 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Stephanophyxis* spp. ($3,666 \text{ cells mL}^{-1}$), 2월에 *Chaetoceros* spp. ($3,710 \text{ cells mL}^{-1}$), 3월에 *Thalassiosira* spp. ($1,356 \text{ cells mL}^{-1}$)로 나타났다. 4월에 *Eucampia zodiacus* ($484 \text{ cells mL}^{-1}$), 5월에 *Skeletonema costatum* ($428 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Coscinodiscus gigas* ($326 \text{ cells mL}^{-1}$), 6월에 *Nitzschia* spp. ($468 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Dictyocha speculum* ($255 \text{ cells mL}^{-1}$), 7월에 *Skeletonema costatum* (50 cells mL^{-1})과 *Coscinodiscus subconcaus* (43 cells mL^{-1}), 8월에 *Chaetoceros* spp. (50 cells mL^{-1})와 *Dictyocha speculum* (45 cells mL^{-1}), 9월에 *Skeletonema costatum* ($560 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Chaetoceros* spp. ($265 \text{ cells mL}^{-1}$), 10월에서 12월까지 *Thalassiosira baltica* ($390 \text{ cells mL}^{-1}$, 24 cells mL^{-1} , $4,380 \text{ cells mL}^{-1}$)로 나타났다. 2005년 1월에 *Pseudo-nitzschia pungens* (33 cells mL^{-1})와 *Thalassiosira pacifica* (28 cells mL^{-1}), 2월에 *Nitzschia* spp. ($583 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Asterionella glacialis* ($473 \text{ cells mL}^{-1}$), 3월에 *Thalassionema nitzschioides* ($5,455 \text{ cells mL}^{-1}$)와 *Nitzschia longissima* ($1,947 \text{ cells mL}^{-1}$), 4월에 *Alexandrium* spp. (61 cells mL^{-1}), 5월에 *Hemiaulus*

membranaceus (4,749 cells mL⁻¹)와 *Climacodium frauenfeldianum* (2,839 cells mL⁻¹)으로 나타났다.

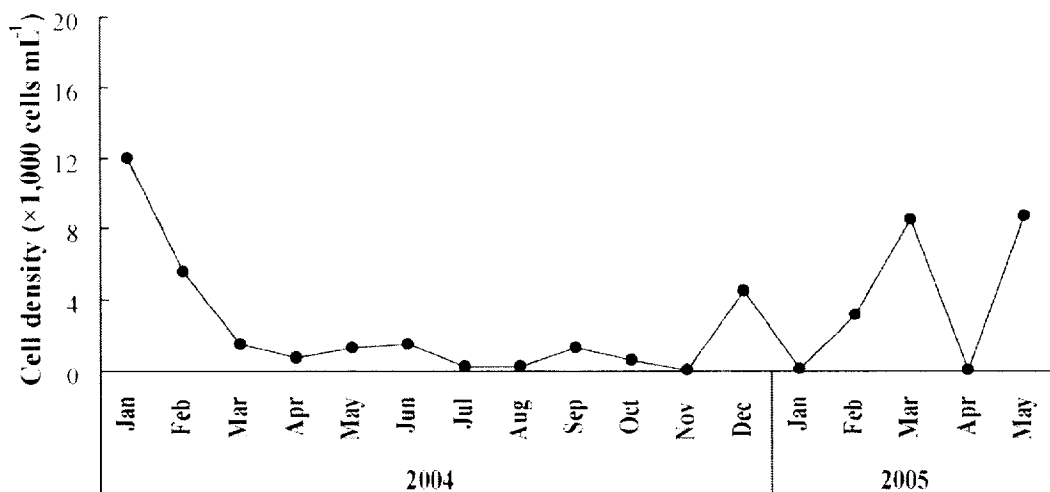
한편 마비성 패류 독화의 원인생물인 *Alexandrium* spp. 영양세포는 2004년과 2005년에 각각 3월부터 5월까지만 출현하여, 2004년 3월과 4월에는 각각 8 cells mL⁻¹과 56 cells mL⁻¹였다. *Alexandrium* spp. 현존량은 4월의 61 cells mL⁻¹의 밀도를 제외하고 2월, 3월, 및 5월에 각각 2 cells mL⁻¹, 19 cells mL⁻¹, 5 cells mL⁻¹로 전체 식물플랑크톤의 현존량에 비하여 낮은 밀도로 출현하였다.

Table 2. Monthly distribution of dominant phytoplankton species at Sujeongri (Stn 1) in Jinhae Bay from January 2004 to May 2005

	2004												2005				
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May
Chrysophyceae																	
<i>Dictyocha fibula</i>	-	-	-	-	-	68	38	3	20	2	2	-	-	-	-	-	-
<i>Dictyocha speculum</i>	-	-	-	-	-	255	13	45	25	4	2	-	-	-	-	-	-
Bacillariophyceae																	
<i>Asterionella glacialis</i>	63	473	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	473	-	-	-
<i>Chaetoceros affinis</i>	-	-	-	-	-	23	10	30	33	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Chaetoceros danicus</i>	-	-	-	-	-	-	5	30	105	-	-	-	-	-	33	-	-
<i>Chaetoceros</i> spp	1,211	3,710	-	20	190	-	18	50	265	8	11	-	-	95	-	-	-
<i>Climacodinium frauenfeldianum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,839
<i>Coscinodiscus gigas</i>	-	-	-	-	326	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-
<i>Coscinodiscus subconcarvus</i>	-	-	-	-	-	123	43	28	-	8	-	-	-	188	-	-	-
<i>Detonula pumila</i>	124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	-	-
<i>Eucampia zodiacus</i>	391	40	74	484	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	841
<i>Homidulus membranaceus</i>	-	-	4	-	-	125	8	18	18	-	7	-	-	-	5	-	4,749
<i>Melosira</i> spp	-	373	-	64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	10
<i>Nitzschia longissima</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,947	-
<i>Nitzschia</i> spp	-	-	-	-	36	468	5	3	23	18	-	28	-	583	-	-	9
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	-	165	-	-
<i>Pseudo-nitzschia</i> spp	283	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	255	-	-	-
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	2
<i>Skeletonema costatum</i>	1,501	20	-	-	428	58	50	-	560	-	-	-	-	60	-	-	26
<i>Stephanopyxis nipponica</i>	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Stephanopyxis</i> spp	3,666	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	12	-	5	8	-	-
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	4,454	8	-	-	-	-	-	-	-	82	-	-	8	-	5,455	-	-
<i>Thalassiosira baltica</i>	-	-	-	-	-	-	-	3	-	390	24	4,380	-	-	-	-	-
<i>Thalassiosira pacifica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	-	22	-	-
<i>Thalassiosira</i> spp.	-	683	1,356	56	202	30	-	13	55	2	-	-	16	60	-	-	27
Dinophyceae																	
<i>Alexandrium</i> spp	-	-	8	56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	19	61	5
<i>Ceratium extensum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	135
<i>Prorocentrum balticum</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,233	270	-	-
<i>Prorocentrum</i> spp	-	-	2	18	22	138	10	3	18	2	5	6	-	-	-	-	-
<i>Prorocentrum</i> spp	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total (cells mL ⁻¹)	11,981	5,560	1,498	748	1,291	1,485	255	295	1,263	586	61	4,470	130	3155	9634	103	8790

-: not detected.

(a)



(b)

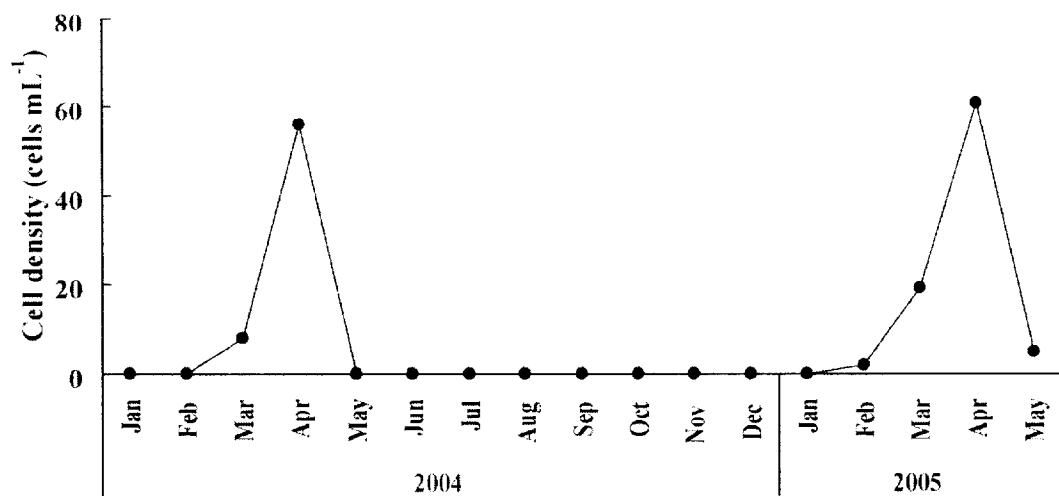


Fig. 5. Abundance of phytoplankton (a) and *Alexandrium* spp. (b) at Sujeongri (Stn 1) in Jinhae Bay from January 2004 to May 2005.

1.2 *Alexandrium* spp. 출현과 담치류의 마비성 패류 독화

진해만 해역에서 2005년 3월부터 5월까지 *Alexandrium* spp. 현존량과 담치류의 마비성 패류 독화를 Figs. 6, 7과 Table 3에 나타내었다. 원인 생물인 *Alexandrium* spp.는 두 정점에서 3월 말경부터 점차적으로 증가하다가 4월에 들어서면서 급증하였다. 각 정점별 *Alexandrium* spp.의 최대 현존량은 수정리(Stn 1)와 진동(Stn 2)에서 각각 5,500 cells L⁻¹와 18,100 cells L⁻¹로 출현하였다. 수정리산 진주담치의 독성은 3월 18일경까지 다소 높게(43.4-99.7 µg STXeq. 100 g⁻¹) 나타났고, 이 후 원인 생물이 증가함에 따라 진주담치의 독성도 증가하여 최대 1,314 µg STXeq. 100 g⁻¹을 기록하였다(Fig. 6, Tables 3, 4). 진동산 지중해담치의 독성은 3월 25일경까지 규제치(80 µg STXeq. 100 g⁻¹) 이하의 범위(17.4-45.5 µg STXeq. 100 g⁻¹)로 검출되었으나 원인생물이 급증하는 3월 29일경부터 규제치를 초과하여 최고 8,751 µg STXeq. 100 g⁻¹의 독성을 나타내었다(Fig. 7, Tables 3, 5).

수정리와 진동산 담치류 내에서 검출된 마비성 패류 독소의 변화와 독 함량을 Figs 8, 9과 Tables 4, 5에 나타내었다. 수정리와 진동산 담치류에서는 주요성분은 GTX₁₊₄, 보조성분은 C₁₊₂, GTX₂₊₃ 및 neoSTX, 미량성분은 STX, GTX₅ 및 dcSTX로 검출되었다.

수정리산 진주담치에서는 주요성분으로 GTX₁₊₄가 검출되었고, 3월 4일에서 15일까지 0.81-2.10 nmol g⁻¹, 3월 18일에서 4월 6일에 최고 32.18 nmol g⁻¹까지 증가한 후 5월 20일에 10.49 nmol g⁻¹까지 감소하였다. GTX₁₊₄의 성분비는 평균 57.15 mol% (11.51 nmol g⁻¹)였다. 보조성분으로 C₁₊₂, GTX₂₊₃ 및 neoSTX가 검출되었다. C₁₊₂는 3월 4일에서 18일까지는 0.74-1.78 nmol g⁻¹로 검출되었고 4월 6일에는 최고 13.31 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 4.37 nmol g⁻¹까지 감소하였다. C₁₊₂의 성분비는 평균 28.86 mol% (5.22 nmol g⁻¹)였다. GTX₂₊₃은 3월 4일부터 18일까지 0.24-0.62 nmol g⁻¹의 범위로 검출되었고 4월 16일에 최고 5.86 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 1.55 nmol g⁻¹까

지 감소하였다. GTX₂₊₃의 성분비는 평균 9.41 mol% (1.69 nmol g⁻¹)였다. neoSTX는 3월 4일부터 18일까지 0-0.08 nmol g⁻¹로 검출되었고 4월 28일에 1.68 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 0.80 nmol g⁻¹까지 감소하였다. neoSTX의 성분비는 평균 3.17 mol% (0.77 nmol g⁻¹)였다. 미량성분으로 STX, GTX₅ 및 dcSTX가 검출되었다. STX는 3월 4일부터 11일까지, 4월 6일부터 5월 20일까지 각각 0.01-0.03 nmol g⁻¹, 0.11-0.72 nmol g⁻¹로 검출되었다. GTX₅는 3월 22일부터 0.02-0.64 nmol g⁻¹의 범위에서 산발적으로 검출되었다. dcSTX는 4월 16일부터 0.01-0.14 nmol g⁻¹로 검출되었다. STX, GTX₅, dcSTX의 성분비는 각각 평균 0.87 mol% (0.20 nmol g⁻¹), 0.48 mol% (0.12 nmol g⁻¹), 0.05 mol% (0.02 nmol g⁻¹)였다.

한편, 진동산 지중해담치에서는 주요 성분으로 GTX₁₊₄가 검출되었으며, 3월 11일부터 29일까지 0.43-2.16 nmol g⁻¹로 검출되었고 4월 21일에 최고 195.47 nmol g⁻¹까지 증가한 후 5월 20일에 2.76 nmol g⁻¹까지 감소하였다. GTX₁₊₄의 성분비는 평균 56.84 mol% (31.74 nmol g⁻¹)였다. 보조성분으로 C₁₊₂, GTX₂₊₃ 및 neoSTX가 검출되었다. C₁₊₂는 3월 11일부터 4월 6일까지 0.45-1.75 nmol g⁻¹로 검출되었고 4월 21일에 최고 40.64 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 2.34 nmol g⁻¹까지 감소하였다. C₁₊₂의 성분비는 평균 29.42 mol% (9.87 nmol g⁻¹)였다. GTX₂₊₃은 3월 11일부터 4월 6일까지 0.07-0.27 nmol g⁻¹로 검출되었고 4월 21일에 최고 20.77 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 1.17 nmol g⁻¹까지 감소하였다. GTX₂₊₃의 성분비는 평균 8.45 mol% (4.73 nmol g⁻¹)였다. neoSTX는 3월 11일부터 4월 6일까지 0.06-0.46 nmol g⁻¹의 범위로 산발적으로 검출되었고, 4월 21일에 17.75 nmol g⁻¹까지 증가하였으며 이후 5월 20일에 0.31 nmol g⁻¹까지 감소하였다. neoSTX의 성분비는 평균 3.20 mol% (2.77 nmol g⁻¹)였다. 미량성분으로 STX, GTX₅ 및 dcSTX가 검출되었다. STX는 4월 16일부터 0.45-2.51 nmol g⁻¹로 검출되었고, 성분비는 평균 1.19 mol% (0.66 nmol g⁻¹)였다. GTX₅는 4월 21일부터 0.26-2.77 nmol g⁻¹로 검출되었고, 성분비는 평

균 0.84 mol% (0.50 nmol g^{-1})였다. dcSTX는 4월 16일부터 $0.01\text{-}0.31 \text{ nmol g}^{-1}$ 로 검출되었고 성분비가 평균 0.06 mol% (0.05 nmol g^{-1})였다. 독 조성은 수정리산 진주담치와 진동산 지중해담치에서 검출된 독 성분비가 유사함을 보였다(Figs 6, 7).

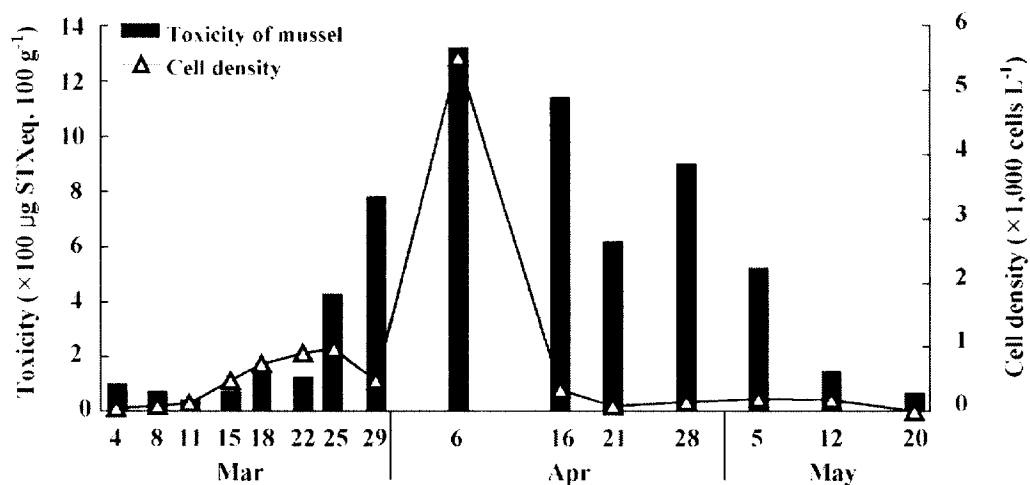
수정리와 진동에서 독 축적 기간 동안 나타난 독소의 변화 특성은 독화 초기에 이성질체의 관계에 있는 GTX₄의 함량이 GTX₁의 함량보다 높게 나타났으며, 독화 초기에 C₂의 함량이 급증하였다. 독소의 제독 기간에는 GTX₁의 함량이 GTX₄의 함량보다 높게 나타났으며 C₂의 함량이 신속하게 감소하였다. 또한, neoSTX의 함량은 일정하게 나타났고, STX가 미량으로 출현하였다.

Table 3. PSP toxicity of mussels and abundance of *Alexandrium* sp. cells in Jinhae Bay from March to May 2005

	Sujeongri (Stn 1)		Jindong (Stn 2)	
	Toxicity ($\mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$)	<i>Alexandrium</i> sp. (cells L^{-1})	Toxicity ($\mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$)	<i>Alexandrium</i> sp. (cells L^{-1})
4-Mar	100	50	-	-
8-Mar	72	75	-	-
11-Mar	43	125	17	75
15-Mar	74	475	40	250
18-Mar	135	750	45	200
22-Mar	119	900	35	125
25-Mar	421	975	42	1,500
29-Mar	776	475	83	400
6-Apr	1,314	5,500	213	2,500
16-Apr	1,133	350	2,262	18,100
21-Apr	616	75	8,751	15,225
28-Apr	894	150	5,285	475
5-May	518	200	1,602	75
12-May	142	175	990	250
20-May	64	0	174	0

-: not detected.

(a)



(b)

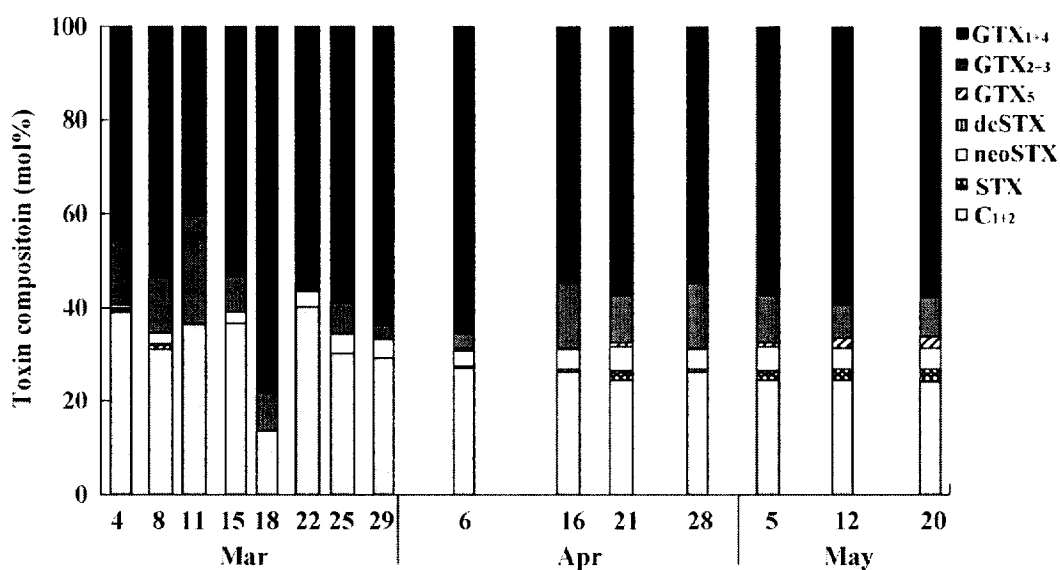
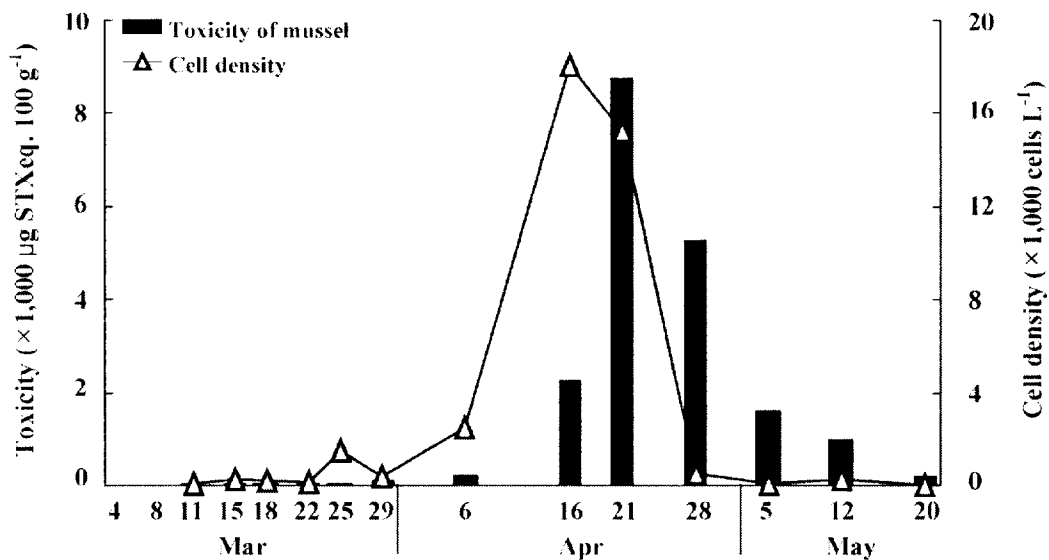


Fig. 6. Temporal change of PSP toxicity of wild mussel *Mytilus galloprovincialis* and *Alexandrium* cell density (a) and PSP toxin composition of wild mussel *M. galloprovincialis* (b) at Sujeongri in Jinhae bay from March to May 2005.

(a)



(b)

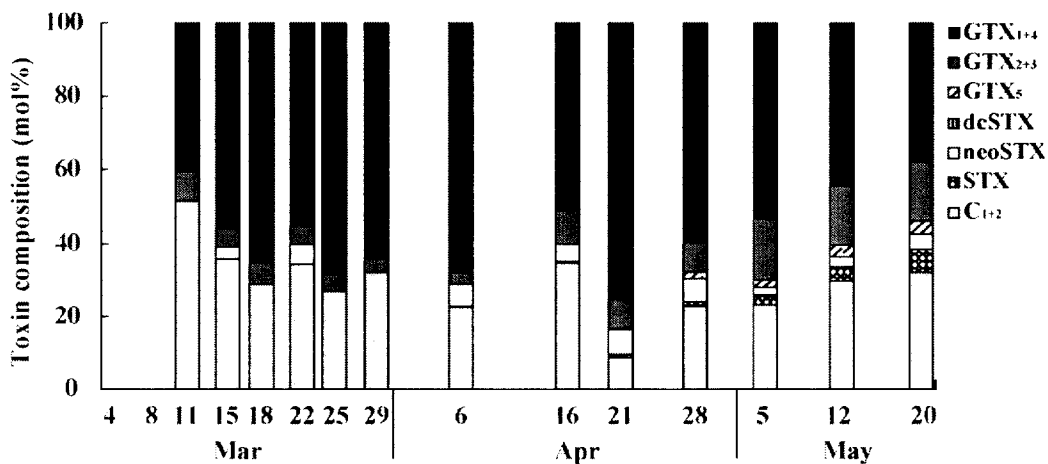


Fig. 7. Temporal change of PSP toxicity of wild mussel *Mytilus galloprovincialis* and *Alexandrium* cell density (a) and PSP toxin composition of wild mussel *M. galloprovincialis* (b) at Jindong in Jinhae bay from March to May 2005.

Table 4. PSP toxin content and composition of wild mussel *Mytilus edulis* at Sujeongri in Jinhae Bay from March to May 2005

Day	Toxin content (nmol g ⁻¹)										Total
	C ₁	C ₂	GTX ₄	GTX ₁	GTX ₅	GTX ₃	GTX ₂	neoSTX	dcSTX	STX	
4-Mar	0.71	1.08	1.45	0.65	-	0.50	0.12	0.03	-	0.03	4.57
8-Mar	0.34	0.56	1.05	0.50	-	0.26	0.09	0.07	-	0.03	2.89
11-Mar	0.32	0.42	0.52	0.29	-	0.33	0.14	-	-	0.01	2.02
15-Mar	0.31	0.87	1.31	0.41	-	0.19	0.06	0.08	-	-	3.23
18-Mar	0.60	0.03	2.85	0.74	-	0.28	0.09	-	-	-	4.60
22-Mar	0.48	1.60	2.08	0.83	0.02	-	-	0.18	-	-	5.19
25-Mar	0.86	4.08	7.25	2.43	-	1.11	-	0.69	-	-	16.42
29-Mar	1.27	7.01	11.06	7.17	-	0.60	0.19	1.16	-	-	28.47
6-Apr	3.49	9.82	22.24	9.94	0.25	0.96	0.51	1.60	-	0.11	48.92
16-Apr	5.21	5.75	11.71	11.34	-	3.17	2.70	1.68	0.14	0.36	42.07
21-Apr	2.42	2.86	5.05	7.32	0.20	1.12	1.10	1.08	-	0.43	21.59
28-Apr	3.71	3.86	7.06	11.43	0.64	0.94	1.33	1.38	0.01	0.72	31.09
5-May	2.36	2.01	3.89	6.60	0.41	0.61	0.94	0.80	0.01	0.51	18.12
12-May	1.01	0.16	0.73	1.76	0.18	0.28	0.55	0.22	-	0.29	5.16
20-May	0.58	0.11	0.27	0.85	0.19	0.10	0.25	0.08	-	0.14	2.58

-: not detected.

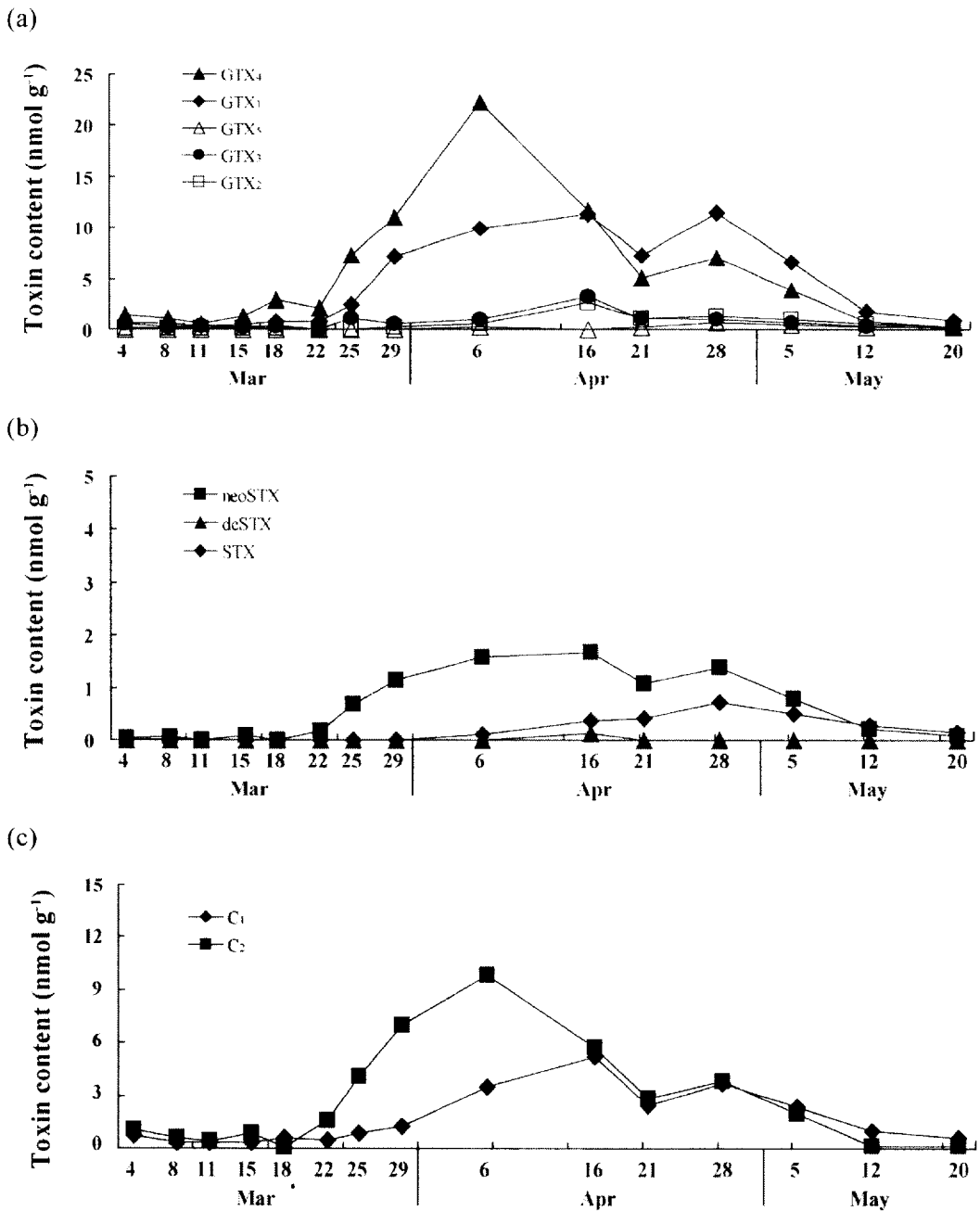


Fig. 8. The change of individual PSP toxin groups of mussel *Mytilus edulis* at Sujeongri in Jinhae Bay from March to May 2005; GTX (a), STX (b) and C group (c).

Table 5. PSP toxin content and composition of mussel *Mytilus galloprovincialis* at Jindong in Jinhae Bay from March to May 2005

Day	Toxin content (nmol g ⁻¹)										
	C ₁	C ₂	GTX ₄	GTX ₁	GTX ₅	GTX ₃	GTX ₂	neoSTX	dcSTX	STX	Total
11-Mar	0.25	0.29	0.43	-	-	0.06	0.02	-	-	-	1.06
15-Mar	0.25	0.37	0.76	0.21	-	0.05	0.03	0.06	-	-	1.74
18-Mar	0.48	0.04	0.81	0.37	-	0.06	0.04	-	-	-	1.80
22-Mar	0.17	0.32	0.58	0.21	-	0.07	-	0.08	-	-	1.44
25-Mar	0.12	0.33	1.05	0.10	-	0.08	-	-	-	-	1.68
29-Mar	0.26	0.81	1.63	0.53	-	0.08	0.04	-	-	-	3.36
6-Apr	0.41	1.34	4.20	1.02	-	0.17	0.09	0.46	-	-	7.71
16-Apr	9.47	22.45	29.73	17.62	-	5.61	2.74	4.25	0.21	0.70	92.78
21-Apr	22.65	-	104.99	90.48	0.91	13.16	7.61	17.75	0.01	1.89	259.44
28-Apr	23.18	17.46	35.27	71.38	2.77	6.45	7.96	10.88	0.31	2.51	178.17
5-May	13.33	0.18	6.36	24.40	1.25	2.81	6.83	1.16	0.11	1.42	57.86
12-May	9.80	2.03	4.02	13.71	1.30	1.56	4.77	1.04	0.06	1.56	39.84
20-May	1.89	0.45	0.63	2.13	0.26	0.30	0.88	0.31	-	0.45	7.30

-: not detected.

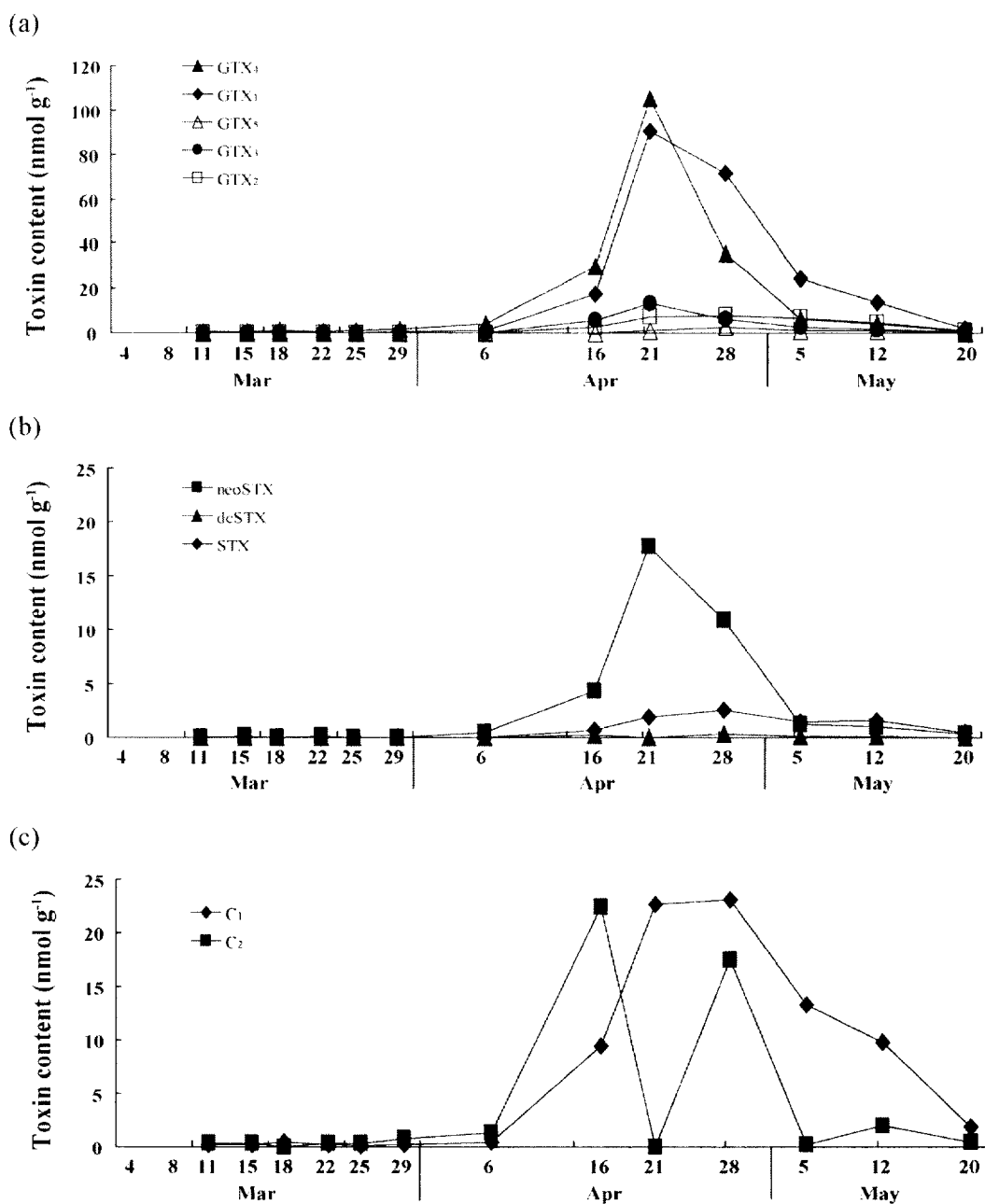


Fig. 9. The change of individual PSP toxin groups of mussel *Mytilus galloprovincialis* at Jindong in Jinhae Bay from March to May 2005; GTX (a), STX (b) and C group (c).

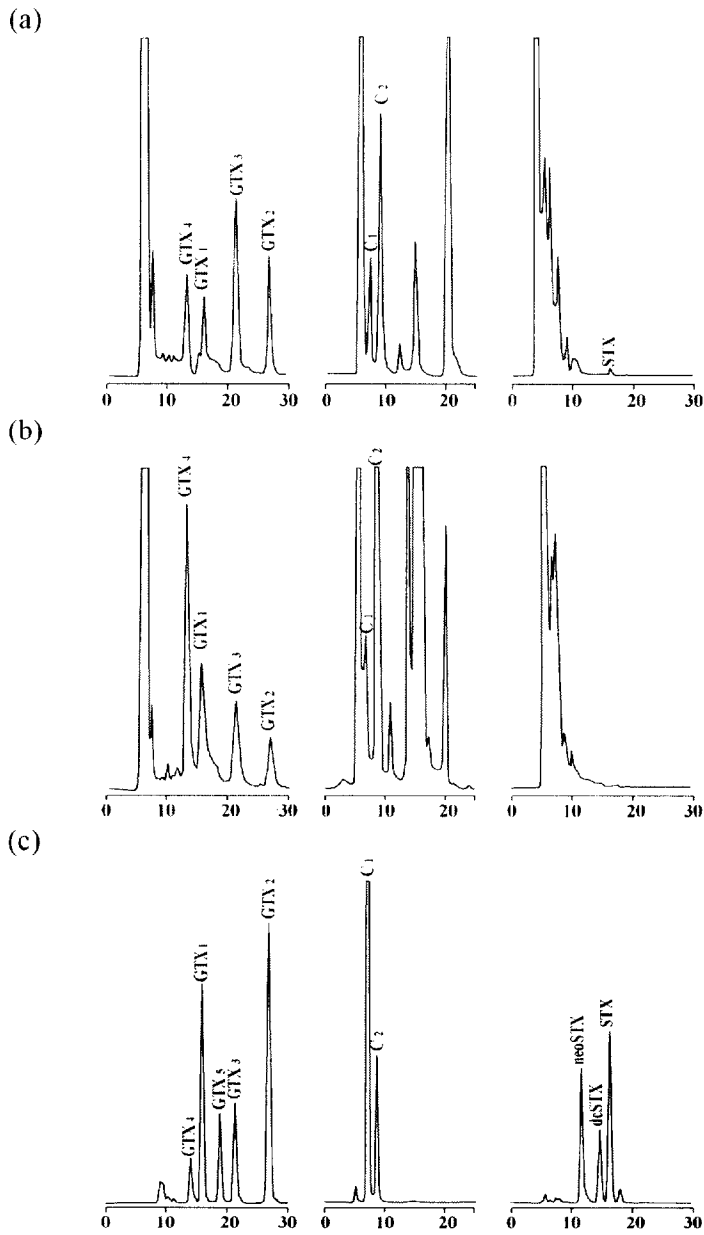


Fig. 10. Typical HPLC chromatograms of PSP toxins of mussel *Mytilus edulis* collected at Sujeongri (Stn 1) (a), *Mytilus galloprovincialis* collected at Jindong (b) standard toxins (c) on March 2005.

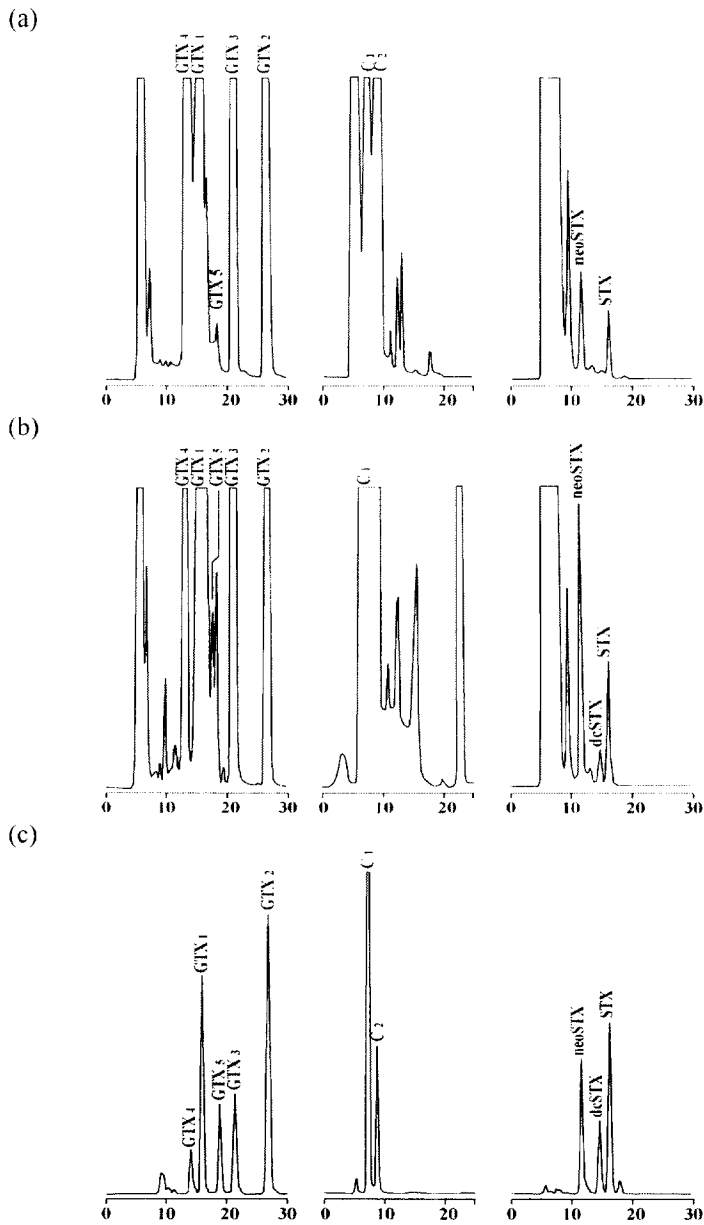


Fig. 11. Typical HPLC chromatograms of PSP toxins of mussel *Mytilus edulis* collected at Sujeongri (Stn 1) (a), *Mytilus galloprovincialis* collected at Jindong (b) standard toxins (c) on April 2005.

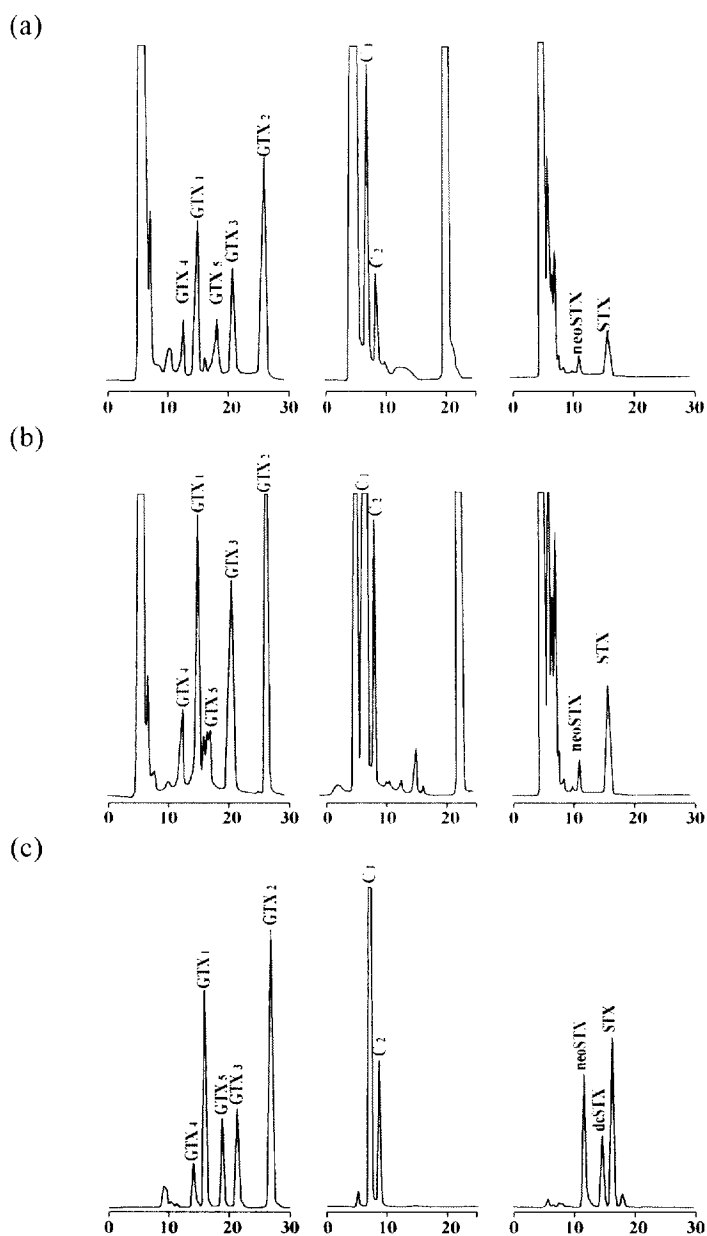


Fig. 12. Typical HPLC chromatograms of PSP toxins of mussel *Mytilus edulis* collected at Sujeongri (Stn 1) (a), *Mytilus galloprovincialis* collected at Jindong (b) standard toxins (c) on May 2005.

2 *Alexandrium tamarense* 섭취에 의한 지중해담치의 마비성 패독 축적과 제독

2.1 성장단계에 따른 *A. tamarense* 분리주의 독 생산성

성장 단계에 따른 *A. tamarense*의 세포수 변화와 세포의 독성을 Fig. 13과 Table 6에 나타내었다. 세포의 독성은 유도기에 $8.31 \text{ fmol cell}^{-1}$ 로 낮았으나 지수성장기에 들어서면서 점점 증가하여 $42.74 \text{ fmol cell}^{-1}$ 로 최고 독성에 도달한 이후 정지기에 $16.60 \text{ fmol cell}^{-1}$ 까지 감소하였다.

*A. tamarense*가 생산하는 독소는 GTX₄, C₂, neoSTX, GTX₃, C₁ 및 GTX₁이었으며 성장단계 전반에 걸쳐 각 독소의 비율이 일정하였다(Fig. 13b). 주요성분인 GTX₄의 비율은 58.94-80.29 mol% ($66.52\text{-}26.36 \text{ fmol cell}^{-1}$)였고, 보조성분인 C₂와 neoSTX의 비율은 13.02-32.14 mol% ($1.13\text{-}11.95 \text{ fmol cell}^{-1}$)와 3.38-7.85 mol% ($0.28\text{-}3.36 \text{ fmol cell}^{-1}$), 미량성분인 GTX₃, C₁, GTX₁이 각각 0.73-2.56 mol% ($0.14\text{-}0.52 \text{ fmol cell}^{-1}$)와 0.67-1.59 mol% ($0.11\text{-}0.50 \text{ fmol cell}^{-1}$), 0.07-0.66 mol% ($0.02\text{-}0.17 \text{ fmol cell}^{-1}$)로 검출되었다.

Table 6. PSP toxin content of *Alexandrium tamarense* as a function of culture age

Day	Cell density (cells mL ⁻¹)	C ₁	C ₂	GTX ₁	GTX ₃	GTX ₄	neoSTX	Total (fmol cell ⁻¹)
0	94							
2	189	0.12	1.13	0.05	0.21	6.52	0.28	8.31
4	792							
6	1,774	0.11	2.12	0.11	0.42	13.05	0.56	16.25
8	2,792							
10	4,792	0.37	9.61	0.14	0.52	25.59	2.59	38.82
12	5,604							
14	8,472	0.50	11.95	0.17	0.40	26.36	3.36	42.74
16	12,302							
18	12,679	0.31	9.27	0.02	0.25	17.71	1.90	29.46
20	12,377							
22	12,566	0.21	5.34	0.04	0.14	9.79	1.09	16.60
24	12,415							
26	12,208	0.43	8.72	0.15	0.20	16.34	1.54	27.38

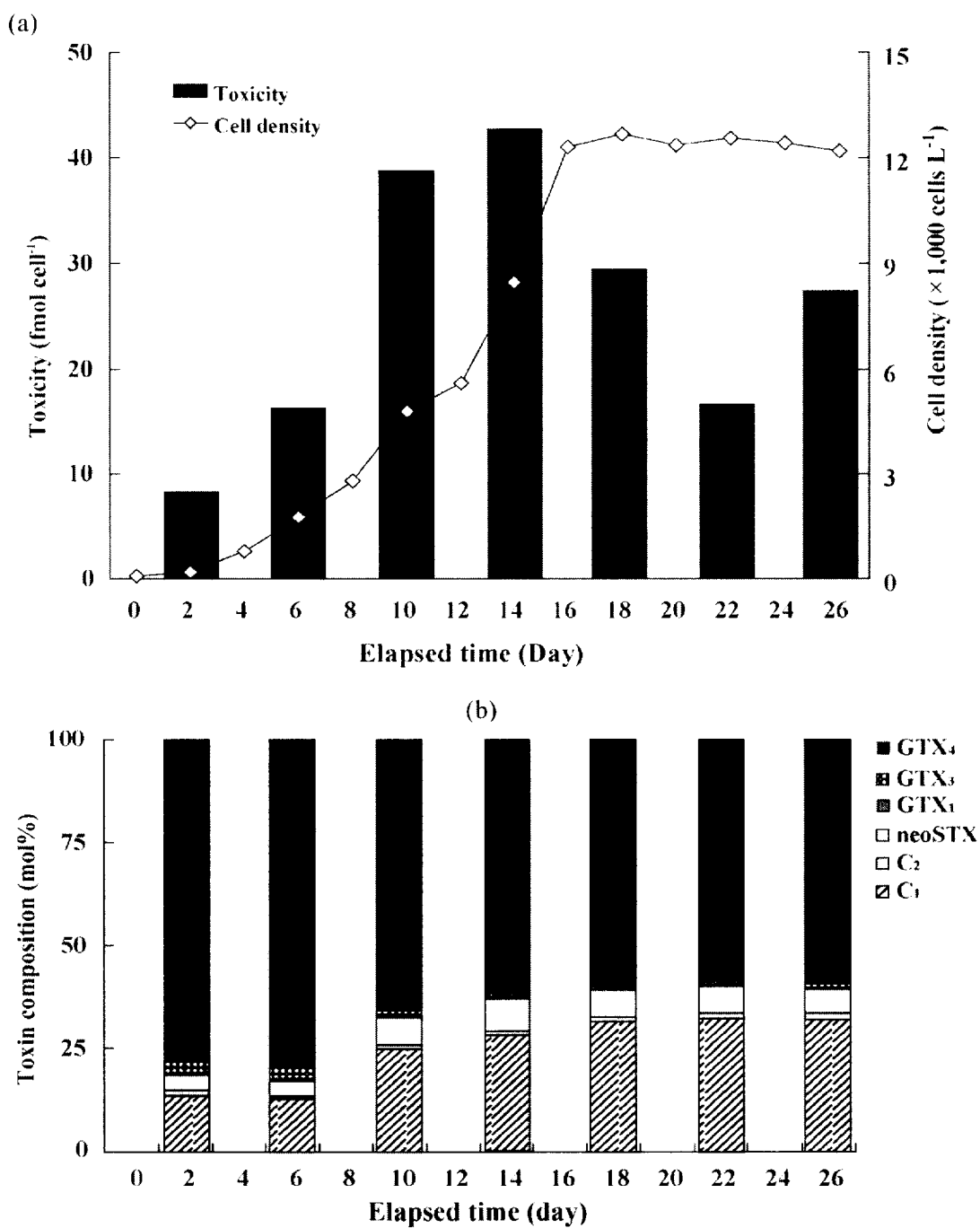


Fig. 13. The change of PSP toxin contents (a) and mole percentage (b) by *Alexandrium tamarense* during as a function of culture age

2.2 지중해담치의 *Alexandrium tamarense* 섭취

실험기간 동안 공급된 세포량과 잔존 세포량을 Table 7에 나타내었고, *A. tamarense* 공급밀도별 지중해담치의 섭취율, 소화율 및 배설율 변화를 Fig. 14과 Table 8에 나타내었다. 지중해담치의 섭취율은 50 cells mL⁻¹ 실험구에서는 최대 99.61%를 보였지만, 실험 5일째는 91.24%로 감소하였고, 배설율은 0.21%에서 2.70%로 증가하였으며, 소화율은 99.79%에서 97.37%로 감소를 나타내었다. 100 cells mL⁻¹ 실험구에서 섭취율은 98.00%에서 85.66%로 감소하였고, 배설율은 0.16%에서 4.08%로 증가하였으며, 소화율은 99.84%에서 96.08%로 감소하였다. 150 cell mL⁻¹ 실험구에서 섭취율은 99.60%에서 91.56%로 감소하였으며, 배설율은 0.07%에서 4.43%로 증가하여 소화율이 99.93%에서 95.76%로 감소하였다. 300 cell mL⁻¹ 실험구에서 섭취율은 다른 실험구에 비하여 상대적으로 낮아져 95.98%에서 82.00%로 감소하였고, 배설율은 1일째 0.02%로 다른 구간에 비하여 적게 배설되었으나, 이후 5.76%까지 증가하였고 소화율은 99.98%에서 94.55%로 감소하였다.

지중해담치가 섭취하지 않아 누적된 세포량 변화를 Fig. 15에 나타내었다. 누적된 *A. tamarense* 세포량은 50 cells mL⁻¹ 실험구에서는 59,715 cells에서 62,530 cells의 범위로 증가하였고, 100 cells mL⁻¹ 실험구에서는 실험 1일째 123,411 cells에서 최대 225,555 cells까지 증가하였으나, 이 후 121,654 cells에서 133,758 cells의 범위를 유지하였다. 150 cells mL⁻¹ 실험구에서는 184,752 cells에서 220,357 cells의 범위로 증가하였다. 300 cells mL⁻¹ 실험구에서는 실험 1일째 390,183 cells에서 1,358,795 cells까지 가장 높은 누적 세포량을 나타내었고, 2일째에는 391,620 cells에서 599,984 cells의 범위로 증가 하였으며, 이 후 379,768 cells에서 493,486 cells의 범위로 증가하였다.

Table 7. Supplied *Alexandrium tamarense* cells as a food organism to mussel and leaved cells at different cell densities

50 cells mL⁻¹

Day	Total supplied cells	Leaved cells	
		in feces	in seawater
1	302,556	626	2,513
2	311,110	200	1,000
3	304,135	2,725	7,825
4	295,555	1,188	18,163
5	307,920	7,375	26,975

100 cells mL⁻¹

Day	Total supplied cells	Leaved cells	
		in feces	in seawater
1	636,960	988	12,738
2	644,160	5,375	24,888
3	631,665	13,200	104,763
4	627,486	15,100	107,975
5	626,140	21,000	89,775

150 cells mL⁻¹

Day	Total supplied cells	Leaved cells	
		in feces	in seawater
1	995,250	650	3,939
2	1,006,500	3,600	13,975
3	982,590	17,150	69,238
4	977,605	25,425	66,240
5	964,816	37,475	81,400

300 cells mL⁻¹

Day	Total supplied cells	Leaved cell	
		in feces	in seawater
1	2,257,277	500	90,650
2	2,302,140	17,200	90,075
3	2,166,377	44,388	279,563
4	2,187,107	78,825	425,975
5	2,124,648	94,950	382,500

Table 8. Filtration rate, absorption rate and excretion rate of mussel *Mytilus galloprovincialis* at different cell densities of *Alexandrium tamarense*

50 cells mL⁻¹

Day	Filtration rate (%)	Absorption rate (%)	Excretion rate (%)
1	99.17	99.79	0.21
2	99.68	99.94	0.06
3	97.43	99.08	0.93
4	93.85	99.57	0.43
5	91.24	97.37	2.70

100 cells mL⁻¹

Day	Filtration rate (%)	Absorption rate (%)	Excretion rate (%)
1	98.00	99.84	0.16
2	96.14	99.13	0.88
3	83.41	97.49	2.57
4	82.79	97.09	2.99
5	85.66	96.08	4.08

150 cells mL⁻¹

Day	Filtration rate (%)	Absorption rate (%)	Excretion rate (%)
1	99.60	99.93	0.07
2	98.61	99.64	0.36
3	92.95	98.12	1.91
4	93.22	97.21	2.87
5	91.56	95.76	4.43

300 cells mL⁻¹

Day	Filtration rate (%)	Absorption rate (%)	Excretion rate (%)
1	95.98	99.98	0.02
2	96.09	99.22	0.78
3	87.10	97.65	2.41
4	80.52	95.52	4.69
5	82.00	94.55	5.76

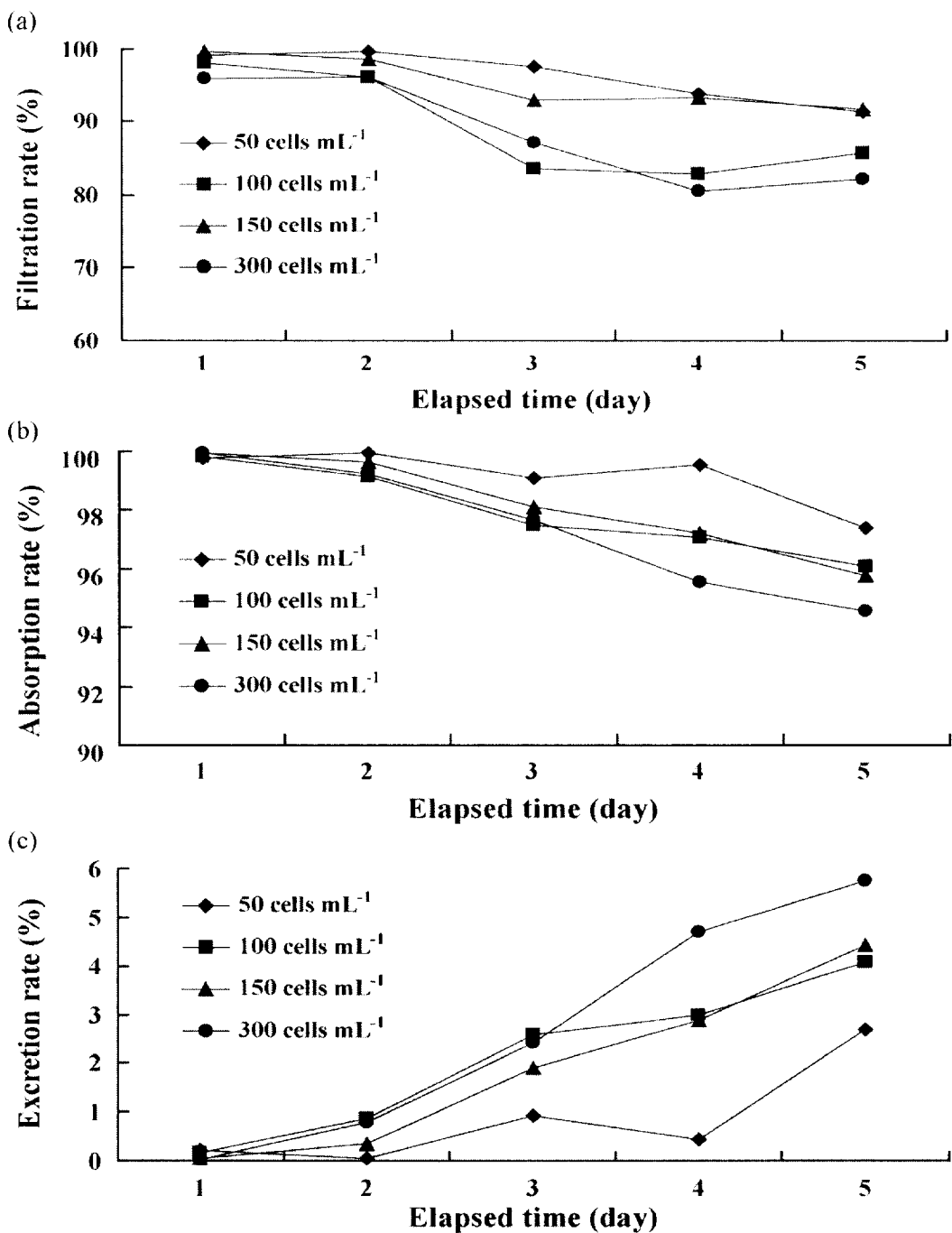


Fig. 14. Filtration rate (a), absorption rate (b) and excretion rate (c) of mussel *Mytilus galloprovincialis* fed on *Alexandrium tamarense*.

Table 9. The change of unconsumed and accumulated *Alexandrium tamarense* cells in water column supplied for mussel *Mytilus galloprovincialis* at different cell densities

Day	Time	50 cells mL ⁻¹	100 cells mL ⁻¹	150 cells mL ⁻¹	300 cells mL ⁻¹
1	11:00	59,715	123,411	187,107	390,138
	13:00	60,505	129,381	192,647	425,987
	15:00	59,836	127,516	199,050	490,928
	17:00	59,960	160,102	207,476	918,234
	19:00	63,881	225,555	220,357	1,358,795
2	11:00	62,220	124,400	186,660	391,620
	13:00	62,342	131,310	194,043	427,109
	15:00	62,220	128,100	201,365	460,750
	17:00	62,405	132,209	208,754	511,748
	19:00	62,530	135,944	216,079	599,984
3	11:00	60,827	121,654	187,160	383,678
	13:00	60,948	126,640	192,025	433,482
	15:00	60,827	126,395	196,582	432,099
	17:00	61,010	126,648	201,458	459,551
	19:00	61,621	133,758	206,678	489,980
4	11:00	59,111	122,769	186,427	386,495
	13:00	59,354	123,014	191,284	410,065
	15:00	59,233	127,689	195,776	437,263
	17:00	59,172	127,947	200,133	464,955
	19:00	59,111	129,492	204,950	493,468
5	11:00	61,584	123,168	184,752	379,768
	13:00	61,584	123,413	190,131	400,615
	15:00	61,584	123,230	195,079	426,157
	17:00	61,584	128,488	195,210	463,323
	19:00	61,645	128,427	200,610	474,531

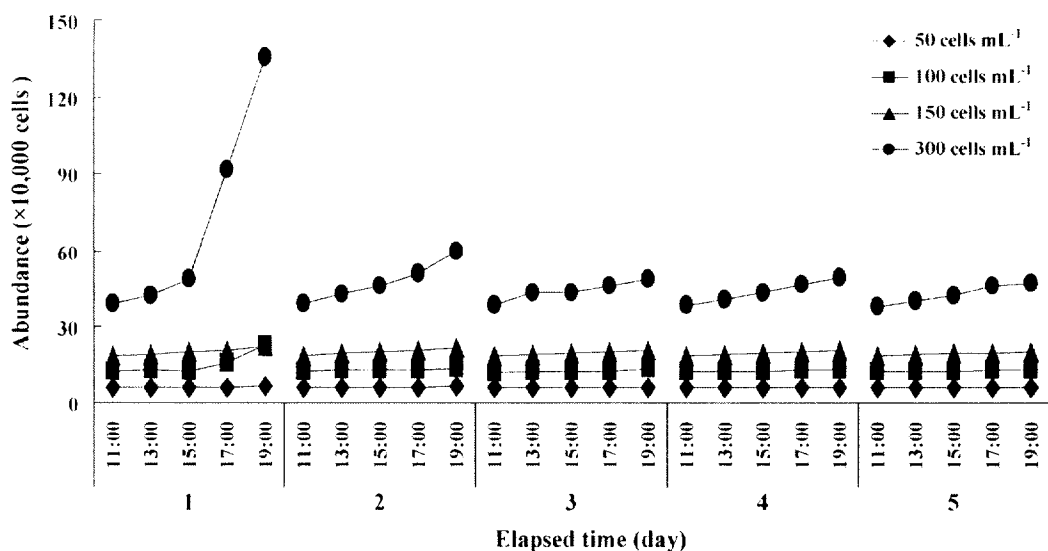
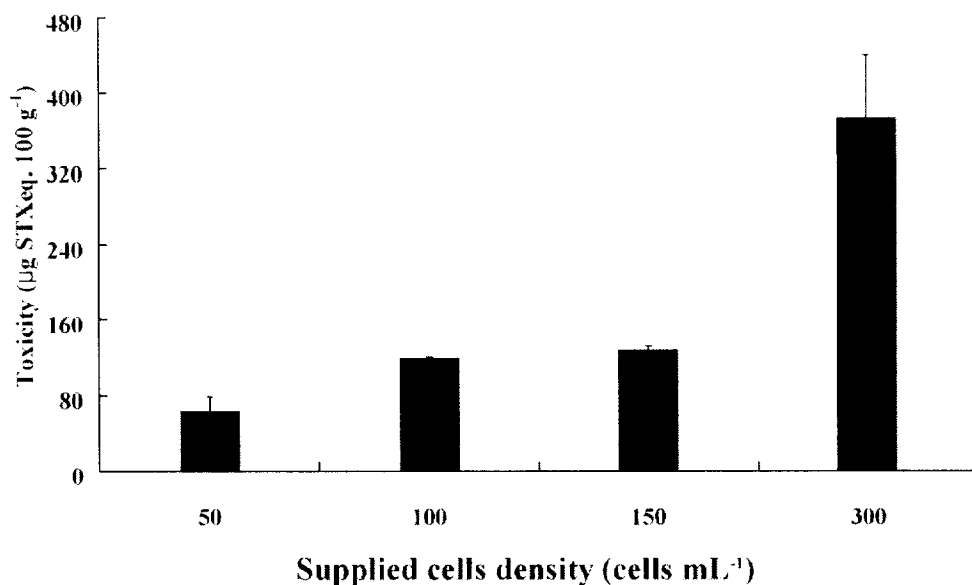


Fig. 15. The change of unconsumed and accumulated *Alexandrium tamarense* cells in water column supplied for mussel *Mytilus galloprovincialis* at different cell densities

2.3 지중해담치의 마비성 패독 축적

5일간 서로 다른 밀도의 *A. tamarense*를 섭취한 지중해담치의 독성과 독 조성비를 Fig. 16에 나타내었다. 50, 100, 150 및 300 cells mL⁻¹의 실험구에서 지중해담치에 축적된 독성은 각각 63.22, 118.95, 127.44 및 371.72 µg STXeq. 100 g⁻¹이었다. 지중해담치에서는 주요성분이 GTX₁₊₄, 보조성분이, C₁₊₂, neoSTX, 미량성분이 GTX₅, GTX₂₊₃으로 검출되었다(Fig. 16b). 50 cells mL⁻¹ 실험구에서 지중해담치의 독 조성은 주요성분으로 GTX₅와 GTX₁₊₄가 각각 39.51 mol% (1.60 nmol g⁻¹)와 30.05 mol% (1.22 nmol g⁻¹)였고, 보조성분으로 C₁₊₂와 neoSTX가 각각 21.63 mol% (0.88 nmol g⁻¹)와 8.16 mol% (0.33 nmol g⁻¹), 미량성분으로 GTX₂₊₃은 0.66 mol% (0.03 nmol g⁻¹)였다. 100, 150 및 300 cells mL⁻¹ 실험구에서는 지중해담치의 독 조성이 유사하게 나타났으며, 주요성분으로 GTX₁₊₄가 50.51-54.56 mol% (2.48-8.58 nmol g⁻¹)였고, 보조성분으로 C₁₊₂와 neoSTX가 각각 34.44-37.86 mol% (1.69-5.64 nmol g⁻¹)와 4.93-12.33 mol% (0.28-1.16 nmol g⁻¹), 미량성분으로 GTX₅와 GTX₂₊₃은 각각 1.11-1.41 mol% (0.07-0.18 nmol g⁻¹)와 1.10-1.34 mol% (0.07-0.17 nmol g⁻¹)였다. *A. tamarense* 공급 밀도에 따른 지중해담치의 각 독소 성분의 함량은 Table 10에 나타내었다.

(a)



(b)

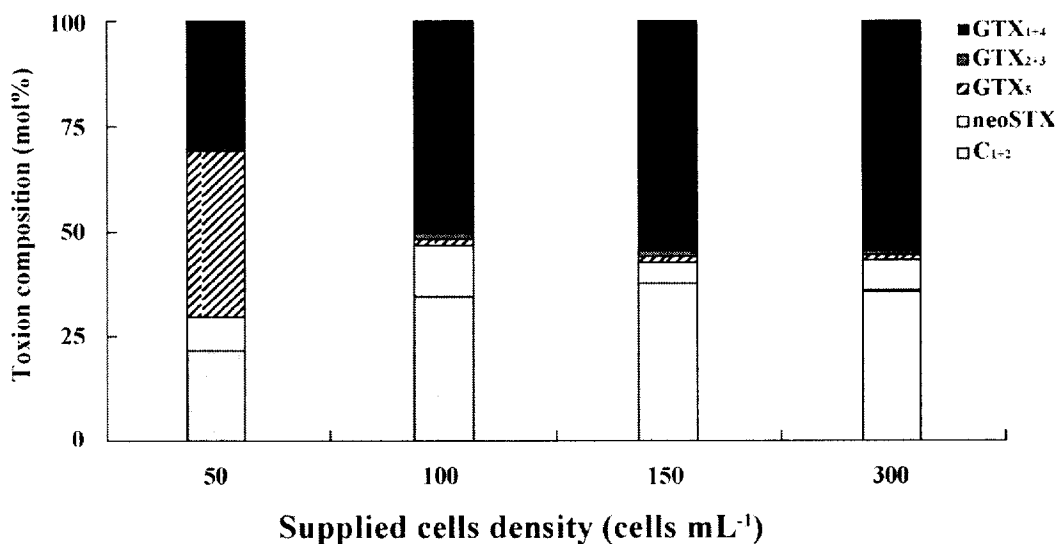


Fig. 16. The change of PSP toxicity in mussel *Mytilus galloprovincialis* fed on different cell densities *Alexandrium tamarense* after 5 days; toxicity (a) and mole percentage of toxin composition (b).

Table 10. The PSP toxin content and composition of mussel *Mytilus galloprovincialis* fed on different cell densities of *Alexandrium tamarense*

Toxin (mean±S.D. nmol g ⁻¹)	50 cells mL ⁻¹	100 cells mL ⁻¹	150 cells mL ⁻¹	300 cells mL ⁻¹
C ₁	0.16±0.02	0.33±0.01	0.39±0.01	1.03±0.23
C ₂	0.72±0.00	1.37±0.02	1.75±0.22	4.61±0.53
GTX ₄	1.09±0.03	2.03±0.04	2.56±0.11	6.92±1.05
GTX ₁	0.13±0.07	0.45±0.02	0.51±0.02	1.67±0.38
GTX ₅	1.60±0.02	0.07±0.00	0.08±0.00	0.18±0.02
GTX ₃	0.03±0.00	0.06±0.00	0.07±0.00	0.15±0.02
GTX ₂	-	0.01±0.00	0.01±0.00	0.03±0.01
neoSTX	0.33±0.27	0.61±0.04	0.28±0.00	1.16±0.33
Total	4.05±0.42	4.92±0.12	5.65±0.37	15.73±2.56

-: not detected

2.4 지중해담치의 마비성 패독 축적 후 제독

먹이 생물을 섭취한 지중해담치의 독성과 조성비의 변화를 Fig. 17에 나타내었다. 먹이 생물이 공급되고 2일째 실험 해수 내에 잔존 세포는 관찰되지 않았으며, 3일이 지난 후 지중해담치의 독성은 최대 $75.35 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 까지 도달하였고, 이후 $14.17 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 까지 감소하였다. 한편, 독 함량은 실험 2일에 3.59 nmol g^{-1} 으로 검출되어 최대에 이르렀고, 이후 0.85 nmol g^{-1} 까지 감소하였다(Table 11).

먹이 생물을 섭취한 지중해담치의 독소는 주요성분으로 GTX₁₊₄와 C₁₊₂, 보조성분은 neoSTX, GTX₃, GTX₅가 검출되었고, 독 조성비는 먹이 생물을 섭취한 다음 시간 경과에 따라 다양하게 변화하였다. GTX₁₊₄의 비율은 먹이 생물 섭취 직후 $49.57 \text{ mol\%}$ (1.48 nmol g^{-1})까지 증가하였으나, 시간이 지남에 따라 $8.97 \text{ mol\%}$ (0.08 nmol g^{-1})로 감소하였다. C₁₊₂의 비율은 섭취 직후 $63.79 \text{ mol\%}$ 로 검출되어 주요성분으로 나타났으나, 3일째 $26.64 \text{ mol\%}$ (0.79 nmol g^{-1})까지 감소하였다가, 이후 서서히 $55.90 \text{ mol\%}$ (0.48 nmol g^{-1})까지 증가하였다. 한편, neoSTX의 비율은 5일째 까지 $3.87\text{--}8.13 \text{ mol\%}$ ($0.14\text{--}0.27 \text{ nmol g}^{-1}$)로 미량성분에 지나지 않았으나, 실험 6일째부터 $12.91\text{--}22.49 \text{ mol\%}$ ($0.13\text{--}0.28 \text{ nmol g}^{-1}$)로 보조성분으로 나타났고, GTX₃의 비율은 $2.68\text{--}20.99 \text{ mol\%}$ ($0.09\text{--}0.47 \text{ nmol g}^{-1}$)로 일정함을 보였다. GTX₅의 비율은 $0.78\text{--}23.75 \text{ mol\%}$ ($0.03\text{--}0.80 \text{ nmol g}^{-1}$) 범위로 산발적인 증가와 감소를 나타내었다.

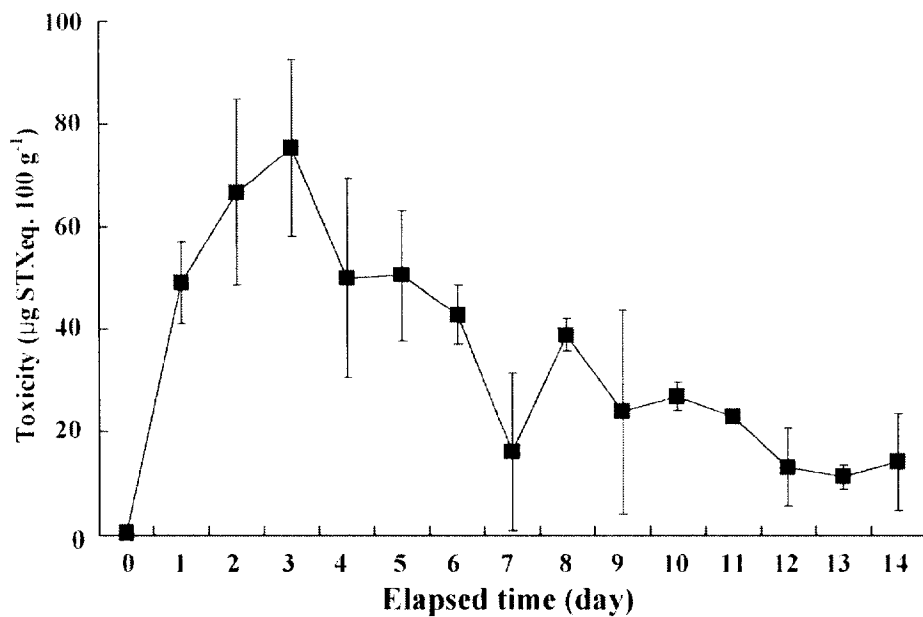
지중해담치에서 검출된 각 독소성분의 함량과 함량변화를 Table 11과 Fig. 18에 나타내었다. 주요 독 성분인 GTX₄는 실험 3일 이전에는 이성질체의 관계에 있는 GTX₁보다 함량이 높았으나, 이후에는 전자가 후자에 비하여 더 높은 함량을 나타냈다. GTX₃은 시간이 지남에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었으며, GTX₅와 neoSTX는 실험 기간 동안 거의 일정한 함량을 유지하였다. C₂는 실험 2일째 독화가 진행되는 기간 동안에는 상대적으로 다소 높은 함량을 나타내었으나, 이 후에 제독 되는 과정에서는 사라졌고, C₁은 실험기간 내내 일정하게 유지되었다.

Table 11. The PSP toxin content and composition of mussel *Mytilus galloprovincialis* fed on *Alexandrium tamarense* cells during the experiment period

Day	Toxin content (nmol g ⁻¹)							Total
	C ₁	C ₂	GTX ₄	GTX ₁	GTX ₅	GTX ₃	neoSTX	
0	-	-	-	-	-	-	-	0.00
1	0.56	1.71	0.56	0.12	0.04	0.44	0.14	3.56
2	0.54	1.15	0.80	0.18	0.03	0.71	0.18	3.59
3	0.64	0.16	0.92	0.56	0.10	0.44	0.17	2.98
4	1.28	0.07	0.35	0.49	0.80	0.09	0.27	3.35
5	0.76	-	0.34	0.46	0.07	0.47	0.13	2.22
6	0.49	-	0.22	0.32	0.30	0.36	0.25	1.93
7	0.42	-	0.05	0.17	0.07	0.13	0.08	0.92
8	0.74	-	0.08	0.40	0.31	0.16	0.31	2.00
9	0.52	-	0.10	0.20	0.14	0.13	0.18	1.28
10	0.56	-	0.06	0.21	0.09	0.13	0.28	1.33
11	0.51	-	0.05	0.16	0.06	0.11	0.26	1.15
12	0.40	-	-	0.15	0.03	0.05	0.11	0.74
13	0.48	-	-	0.08	0.10	0.08	0.13	0.85
14	0.35	-	-	0.09	0.15	0.08	0.17	0.85

-: not detected.

(a)



(b)

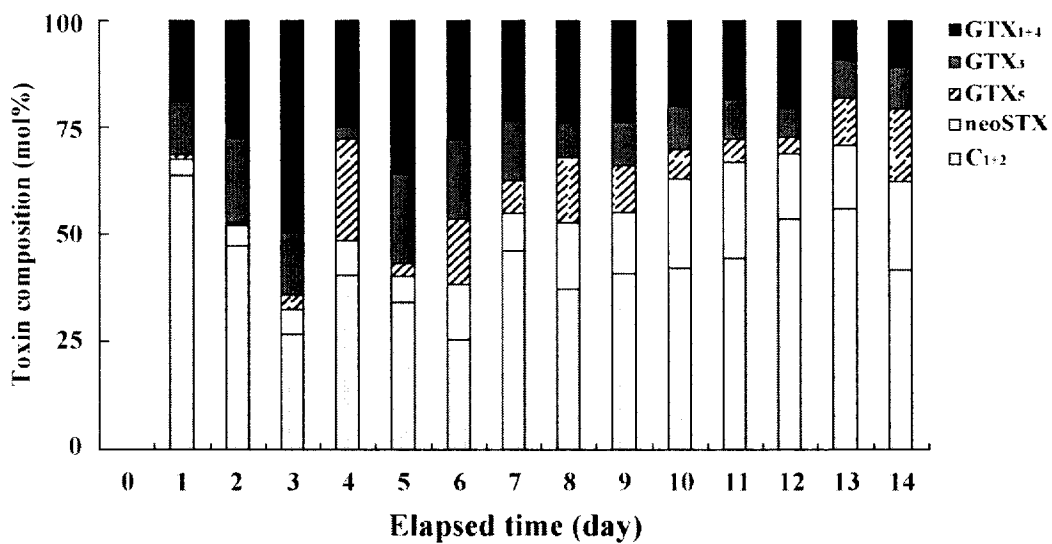


Fig. 17. The change of PSP toxicity (a) and toxin composition (b) of mussel *Mytilus galloprovincialis* fed on *Alexandrium tamarense* at $1,450 \text{ cells mL}^{-1}$.

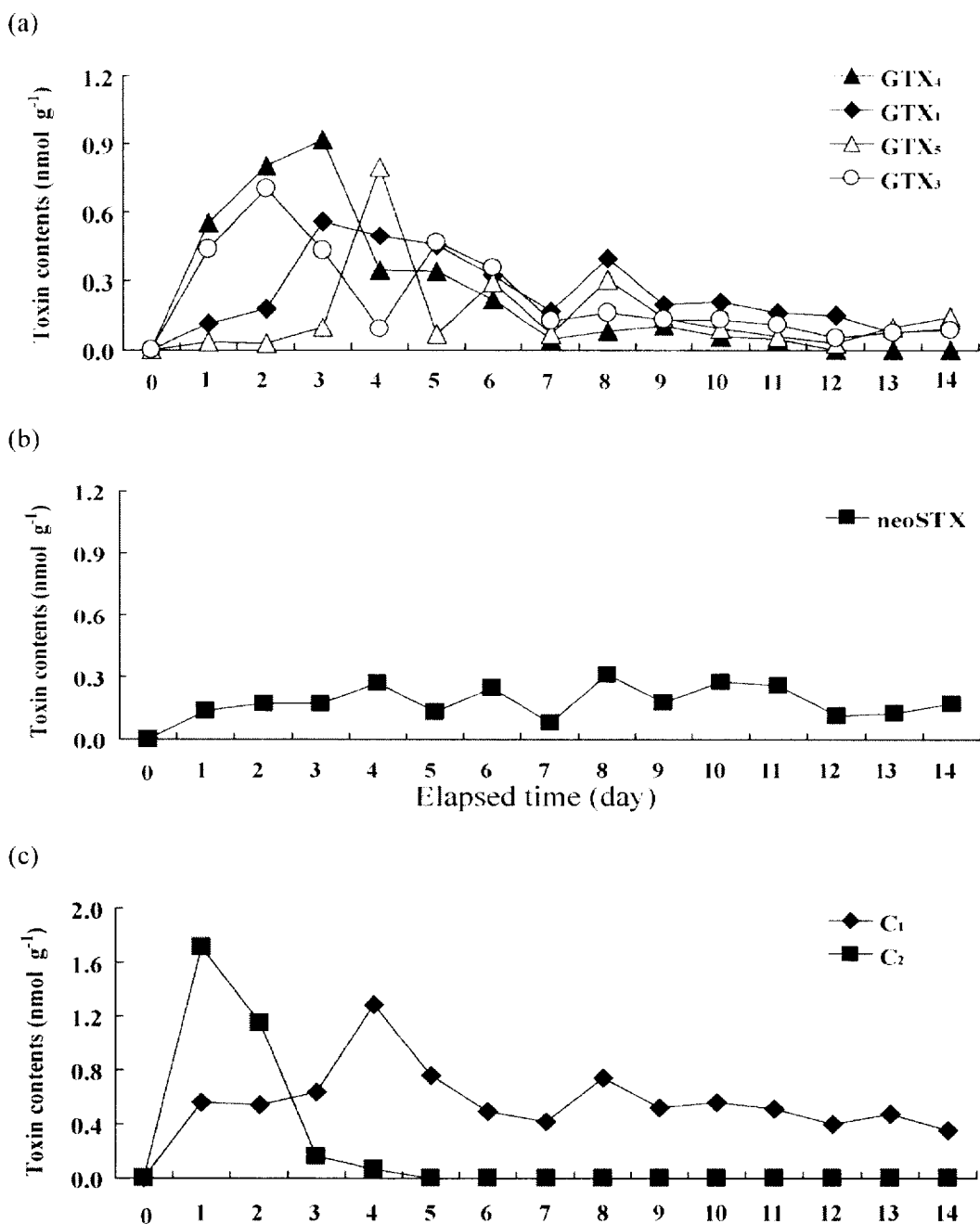


Fig. 18. The change of individual PSP toxin groups of mussel *Mytilus galloprovincialis* during the experiment period; GTX (a), neoSTX (b), and C group (c).

IV 고찰

1 진해만 해역의 *Alexandrium* spp. 출현과 담치류의 마비성 패류 독화

본 조사에서 진해만 해역에서는 *Alexandrium* spp.가 2004년과 2005년에 봄철인 2월과 3월부터 5월까지 출현하였고, 담치류의 마비성 패류 독화 또한 2005년에 3월부터 5월까지 발생하였다. 1997년부터 2000년까지 진해만의 식물플랑크톤 조사에 의하면 *Alexandrium* spp.는 매년 3월과 4월에 주로 출현하는 것으로 나타났으며(미발표 자료), 국립수산물과학원의 마비성 패류 독화 모니터링 자료에 의하면 3월부터 5월 하순에서 6월 초순까지 마비성 패류 독소가 검출되는 것으로 나타났다(NFRDI 1998-2003). Lee et al. (1992)은 진해만 해역에서 독화된 담치류와 *A. tamarense*의 마비성 패류 독소를 분석한 결과, 이들의 독 조성이 유사한 것으로 확인하였다. 또한 여러 현장 조사에 의하면 진해만 해역을 중심으로 한 남해 동부 연안에서 봄철 마비성 패류 독화의 실질적인 원인생물은 *A. tamarense* 인 것으로 확인된 바 있다(Han et al., 1992; Lee et al., 1992; Jeon et al., 1996). 본 조사에서는 진해만 해역의 *Alexandrium* 분리주를 확보하여 독성 분석을 실시하지는 않았으나 2003년 4월 수정리에서 해수중의 *A. tamarense* 영양세포를 분리하여 분석한 결과 유독 종이었고, 독 조성은 주요 성분으로 GTX₁₋₄와 C₁₊₂, 보조 성분으로 GTX₂₊₃과 neoSTX가 검출되었다(Kim et al., 2005b). 이 *A. tamarense*의 독 조성과 본 조사의 수정리와 진동산 담치류의 독 조성이 유사하게 나타나, 두 지역의 마비성 패류 독화는 동일 *Alexandrium* 개체군에 의한 것으로 판단된다.

또한, 본 조사에서는 진해만에서 원인생물인 *Alexandrium* spp.의 출현량과 담치류의 독화 양상을 알아보았다. *Alexandrium* spp.는 2005년 3월부터 출현하여 4월에 최대 출현밀도(수정리 5,500 cell L⁻¹, 진동 18,100 cells L⁻¹)를 보였다. 그 기간 동안 마비성 패류 독소의 상당한 양이 양식산 진주담치와 자연산 지중해담치에 축적되어, 담치류의 최고 독성(수정리 1,314 µg STXeq. 100g⁻¹, 진

동 8,751 $\mu\text{g STXeq. } 100^{-1}$)은 *Alexandrium* spp.의 출현량과 일치하였다. 또한 *Alexandrium* spp.의 출현량이 많아질수록 담치류의 독성도 증가하였다. 그러므로, 진해만 해역에서는 *Alexandrium* spp. 출현량과 마비성 패류 독화 사이에는 일정한 상관관계가 있는 것으로 사료된다. Asakawa et al. (1995)은 일본 Hiroshima 만에서 조개류(short-neck clams, 담치류, 굴류) 독화의 원인생물은 *A. tamarense*라 하였고, 조개류에 따라 축적된 독성에 차이를 보였다. 또한 Sekiguchi et al. (2001b)은 Iwate 현에서 가을철 가리비의 독화에 *A. catenella*가 원인생물인 것으로 확인하였다. 하지만, 원인생물의 독성은 환경 조건에 따라 영향을 받기 때문에, *Alexandrium* spp.의 출현량과 조개류의 독화는 반드시 일치하는 결과는 보이지 않는다고 하였다(Sekiguchi et al., 2001b).

한편, 진해만의 담치류를 3개월간 모니터링한 결과에 의하면 독화 시간의 경과에 따라 이성질체 독소들 사이의 전환이 관찰되었다. 진해만산 담치류의 독화 기간 동안 11 β -epimer 독소인 GTX_{3,4}, C₂ 성분이 11 α -epimer 독소인 GTX_{1,2}와 C₁ 성분 보다 높게 검출되었다. 반면에, 제독되는 기간 동안 11 α -epimer 독소인 GTX_{1,2}와 C₁ 성분이 11 β -epimer 독소인 GTX_{3,4}, C₂ 성분보다 높게 나타났으며 STX 성분이 검출되고 시간이 경과함에 따라 다소 증가하였다. 조개류에서 11 β -epimer (GTX_{3,4}와 C_{2,4})에서 11 α -epimer (GTX_{1,2}와 C_{1,3})로 전환되는 것은 효소적 전환에 의해 일어난다(Oshima, 1990; Murakami et al., 1999). 구조적으로 불안정한 11 β -epimer 독소가 보다 안정적인 11 α -epimer 독소로 전환되어 평균 $\beta : \alpha = 1 : 3$ 에 도달할 때까지 유독 세포를 섭이한 조개류 조직 내에서 점차적으로 증가한다(Oshima, 1995). 또한 국내에서는 1996년과 1997년에 거제 외포리 지역에서 담치와 굴을 대상으로 실시한 마비성 패류 독화 현장 연구를 수행하였고, 독 축적의 초기에 11 β -epimer 독소(GTX_{3,4}, C₂)가 두 조개류에서 11 α -epimer 독소(GTX_{1,2}, C₁)보다 높으나 독화 기간이 지남에 따라 후자의 비율이 전자보다 높게 되었고, STX와 neoSTX는 독화 기간이 경과함에 따라 다소 증가하였다(Shin and Kim, 2000). 본 조사에서 나타난 이성질체간의 변화와 STX 성분의 출현은 앞서 설명한 연구결과들에 잘 부합

하며, 담치류의 독 축적과 제독의 시간경과에 대한 정보를 제공할 수도 있으며, 실내 실험을 통하여 얻어진 조개류 내 독소의 전환에 관한 자료는 보다 효율적인 마비성 패류 독화 모니터링에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2 *Alexandrium tamarense* 섭취에 의한 지중해담치의 마비성 패독 축적과 제독

*A. tamarense*의 독성은 지수성장기 중기까지 증가하였고 이후 서서히 감소하였고, 독 조성은 성장단계에 따라 일정하게 나타났다. *Alexandrium* 세포의 독성은 성장단계와 생리적인 성장 조건에서 다르게 나타난다(Boyer et al., 1987; Anderson et al., 1990; Kim et al., 1993). Kim et al. (1993)은 지수성장기 초기에서 독소 함량의 증가는 독소 합성량은 분열 손실양(세포내 독소가 세포 분열이나 독소 분비로 손실되는 것)보다 높기 때문이고, 지수성장기 후기에서 독성의 감소는 독소 생산량보다는 오히려 손실량이 더 높기 때문일 것이라고 하였다. 그러나 마비성 패독의 상대적인 조성비는 유전적으로 안정되어 지수기 동안에 물리·화학적인 자극을 받지 않은 세포에 대하여는 보존적 특성이 있다(Hall, 1982; Boyer et al., 1986, 1987; Cembella et al., 1987; Boczar et al., 1988; Kim et al., 1993). 이와 같이 지수성장기 후기부터 정지기에 도달한 *Alexandrium* 세포의 독성은 다른 성장단계보다 변화가 적고, 독 조성은 성장단계에 따라 일정함으로 유독 *Alexandrium*에 대한 조개류의 섭취 및 독화 실험에 이용 될 수 있다.

본 연구에서는 유독 먹이 생물의 공급밀도와 시간에 따라 지중해담치의 섭취율에서 차이가 관찰되었다. 공급된 먹이 생물의 밀도가 높을수록, 그리고 시간이 지남에 따라 지중해담치의 섭취율은 감소하였다. 하지만 50 cells mL⁻¹ 실험구에서는 다른 실험구에 비하여 명확한 섭취율의 감소는 관찰되지 않았다. Li and Wang (2001)은 *A. tamarense*의 낮은 밀도(<100 cells mL⁻¹)에서 가리비의 섭취율이 증가하는 것은 유독 와편모조류에서 마비성 패류 독소의 존재 여부 보다는 가리비의 먹이 이용 능력의 증가 때문일 수도 있거나, 먹이 생물의 독성이 낮아 가리비 섭취율의 억제에 영향을 미치지 못한 것으로 사료된다고 하였다. Bricelj et al. (1996)은 우럭(*Mya arenaria*)이 높은 독성의 *A. excavatum* (= *A. tamarense*)을 공급하였을 때만 섭취율 감소가 관찰되었고 다른 낮은 독성의 종에서는 관찰되지 않았다고 하였다. 실험에 사용된 *A. tamarense*의 독성

은 평균 $24.49 \text{ fmol cell}^{-1}$ 로서 주요성분은 맹독성인 carbamate 계열의 GTX₄를 함유 하고 있어 독성이 강한 종에 속한다. 때문에 저밀도(50 cells mL^{-1}) 실험구에서는 *A. tamarense*의 독성이 담치의 섭취에 영향을 미치지 않았으나, 고밀도($\geq 100 \text{ cells mL}^{-1}$) 실험구에서는 담치의 섭취에 영향을 주어 섭취가 저해된 것으로 판단된다.

한편, 배설율은 공급밀도가 높을수록, 시간이 지남에 따라 높게 나타났으며, 소화율은 모든 실험구에서 94.55% 이상을 소화하는 것으로 나타났다. Shumway and Cucci (1987)는 조개류가 마비성 패독에 대한 노출 경험의 유무에 따라 유독 와편모조류인 *Alexandrium*에 대한 담치의 생리적인 반응 차이를 설명하였다. 마비성 패류 독화가 발생하지 않았던 지역의 진주담치는 *Alexandrium*에 노출되었을 때, 약 75%의 사망률, 흰 점액의 생산, 출수관의 폐쇄 그리고 외투막 수축을 나타내었지만, 반면에 *Alexandrium* 적조에 반복적으로 노출된 담치는 명백하게 독성 세포에 영향을 받지 않았다고 하였다. 또한 그들은 조개류가 위분을 생산하는 동안 유독 와편모조류 *A. tamarense*를 섭취하는데 있어서 선택적이지 않았다는 것을 발견하였다. 본 연구에서는 저밀도의 실험구에서 *A. tamarense*에 대한 지중해담치의 섭취 거부반응이 고밀도의 실험구에 비하여 상대적으로 적어, 지중해담치는 *A. tamarense*의 낮은 세포 밀도에서 마비성 패독에 대하여 쉽게 적응을 하는 것으로 나타났다. 또한 각 실험구에서 위분 생산을 관찰할 수 있었다. 저밀도에서부터 점차적으로 고밀도에 노출되었을 때는 Shumway and Cucci (1987)의 결과에서 나타난 폐사나 생리적 거부반응이 현저히 감소할 것으로 사료되며, 유독 *Alexandrium* 개체군의 지속적인 출현밀도에 점차적으로 적응하여 궁극적으로는 고농도의 마비성 패독의 축적이 가능하게 될 것으로 판단된다. 담치류의 섭취율, 배설율 및 소화율은 유독 먹이생물의 독성, 독성에 대한 노출 경험, 밀도 및 담치류의 먹이용능력 등의 요인에 따라 달라질 수 있다.

한편, 지중해담치의 독성은 *A. tamarense*의 공급밀도가 높아짐에 따라 높게

검출되었다. 50 cells mL⁻¹의 실험구와 100 cells mL⁻¹의 실험구의 독 함량은 유사하게 나타났으나, 반면에, 각 독소 성분을 saxitoxin 동량으로 환산한 독성은 50 cells mL⁻¹의 실험구에서 낮게 나타났으며, 이는 독 강도가 낮은 GTX₅의 함량이 다른 실험구에 비하여 더 많기 때문이었다. 또한 50 cells mL⁻¹의 실험구의 독성은 5일이 지난 후에도 규제치인 80 µg STXeq. 100 g⁻¹을 초과하지 않았다. 지중해담치의 독 조성은 원인 생물로 공급된 *A. tamarense*의 독 조성과 유사하지만, 원인 생물에서 나타나지 않던 GTX₅와 GTX₂가 검출되었다. 이는 *A. tamarense*의 독소가 담치에 섭취된 후 체내에서 효소적인 전환(Oshima, 1990; Murakami et al., 1999) 또는 이성질체화(Oshima, 1995)에 의한 것으로 사료된다. 또한 50 cells mL⁻¹의 실험구에서 GTX₅의 성분비율이 높은 것은 *A. tamarense*의 세포 밀도가 다른 실험구에 비하여 낮기 때문에 먹이 세포의 독성으로 인한 생리적인 스트레스가 적어 독소 전환이 더 활발히 이루어졌기 때문으로 판단된다.

*A. tamarense*를 섭취한 지중해담치는 2일에 걸쳐 마비성 패독을 축적하였다. 지중해담치의 독 함량은 실험 1일(3.56 nmol g⁻¹)과 2일(3.59 nmol g⁻¹)보다 3일(2.98 nmol g⁻¹)이 낮게 검출되었으나, 최고 독성은 실험 3일에 도달하였다. 이는 실험 3일에 독 강도가 높은 GTX_{1,4}와 neoSTX의 함량이 높았기 때문이다. 유독 와편모조류의 최대 밀도와 조개류의 최대 독성사이에서 함수적인 상관관계를 설명하는 것은 어렵다. 하지만, 일반적으로 현장 모니터링에서는 유독 플랑크톤의 최대 밀도에 도달한 후 일정한 시간이 경과한 후에 패류 내 독성이 최고에 이른다고 알려져 있고(Ogata et al., 1982; Chebib et al., 1993; Martin and Richard, 1996), 조개류의 독성이 최대에 도달하기까지 걸리는 시간은 종에 따라 차이가 있다(Bricelj and Shumway, 1998). 이러한 차이는 조개류가 유독 와편모조류를 섭취한 다음 체내에서 독소의 전환이 일어나게 되는데 이러한 독소의 전환은 먹이생물의 독 조성과 조개류에 따라 차이를 가지기 때문으로 사료된다.

최대 독성에 도달한 이후 지중해담치의 독성은 일일 평균 5.6 $\mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 씩 감소하였다. 이러한 독성의 감소는 담치의 소화되지 않은 유독 세포의 배설과 담치 조직 내에서 독소를 해수로 분비하기 때문인 것으로 사료된다. Suzuki (2003)는 가리비에서는 손실된 독소의 총 분자량이 해수에 분비된 것과 거의 같고, 이는 최소한 초기단계에서는 담치류의 제독이 조직 내에서 해수로 독소 분비에 크게 의존하는 것을 보여준바 있다.

지중해담치의 독 조성은 먹이 생물인 *A. tamarense*와 실험 기간동안 거의 유사하였으나, 담치류에서는 GTX₅가 새롭게 검출되었다. 독 축적 기간 동안 관찰된 독 조성 변화는 C₂가 증가 하였다가 감소하여 사라졌다. 또한 이 기간에는 이성질체 관계에 있는 GTX₄의 함량이 GTX₁의 함량보다 높았고, 제독이 진행되면서 GTX₁보다 GTX₄의 함량이 더 많아졌다. 조개류에서 11 β -epimer (GTX_{3,4}와 C_{2,4})의 11 α -epimer (GTX_{1,2}와 C_{1,3})로 전환은 효소 전환에 의하여 일어나며(Oshima, 1990; Murakami et al., 1999), Oshima (1995)는 β -epimer 독소와 α -epimer 독소의 비율은 $\beta : \alpha$ 가 평균 1 : 3에 도달할 때까지 유독 세포를 섭이한 조개류 조직 내에서 점차적으로 증가한다고 하였다. 조개류 조직의 독 조성 변화는 체내 독소의 선택적인 유지 또는 각 독소의 소멸, 이성질체화, 혹은 생체전환 과정 등의 다양한 요소에 의해 발생할 수 있으며(Bricelj and Shumway 1998), 이전의 연구들에서 조개류는 유독 와편모조류보다 *N*-sulfocarbamoyl계 독소(C_{1,2})를 낮은 비율로 함유하고 carbamate계 독소(GTX_{1,4})를 높은 비율로 함유한다고 밝혀져 있다(Oshima et al., 1990; Bricelj et al., 1991; Cembella et al., 1993; Asakawa et al., 1995). 또한 독소의 제독이 진행되면서 neoSTX의 감소율이 전체 독소의 감소율보다 상대적으로 낮아, 제독 후반기에 neoSTX의 성분비가 높아졌다. 이러한 독 축적기간 동안의 C₂ 독소 증가와 GTX₁과 GTX₄ 함량 변화, neoSTX 함량이 일정하게 유지되는 현상은 진해만의 담치류에서도 동일하게 관찰되었다. 한편, 진해만의 담치류는 독 축적 기간동안 GTX₂가 미량으로 존재하였고, 제독기간 동안 STX가 검출이 되었

으나, 본 실험에서는 검출되지 않았다. 이는 실내실험에서 지중해담치가 축적한 독 함량이 진해만의 담치류보다 낮아 GTX₂와 STX가 HPLC 검출한계 이하의 농도로 존재하였기 때문으로 판단된다.

V 요약

마비성 패류 독화와 원인생물 출현의 상관관계를 규명하기 위하여, 2004년부터 2005년까지 진해만 해역에서 식물플랑크톤의 현존량 및 원인 생물인 *Alexandrium* spp.의 출현과 담치류의 마비성 패류 독화를 HPLC를 이용하여 조사하였다.

식물플랑크톤의 현존량은 최고 $11,981 \text{ cells mL}^{-1}$, 최저 61 cells mL^{-1} 로 나타났으며, *Alexandrium* spp.의 출현은 2004년과 2005년에 2월에서 5월까지 최고 61 cells mL^{-1} , 최저 2 cells mL^{-1} 로 나타났다. 한편 담치류의 마비성 패류 독화는 *Alexandrium* spp.이 최고 밀도로 나타난 2005년 4월에 수정리의 진주담치와 진동의 지중해담치가 각각 $1,314 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 와 $8,751 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 까지 도달하였다. 그러므로 *Alexandrium* spp.의 출현량과 담치류의 독화와는 일정한 상관관계가 있는 것으로 판단되었다. 두 지역의 담치에서 GTX₁₋₄와 C_{1,2}가 주요성분으로 검출되었다. 독 축적 기간과 제독기간 동안 나타난 특징은 α -epimer (GTX₁, GTX₂, C₁) 독소와 β -epimer (GTX₄, GTX₃, C₂) 독소간의 함량 변화가 나타났고, STX가 제독기간 동안에만 검출되었다.

향상된 마비성 패류 독화의 모니터링에 기초 자료를 제공하기 위하여 유독 *A. tamarense*의 공급밀도에 따른 지중해담치의 섭취율 및 독 축적과 제독 양상을 실험한 후 HPLC를 이용하여 마비성 패독 분석을 하였다.

지중해담치의 *A. tamarense* 공급밀도에 따른 섭취는 가장 높은 공급밀도인 50 cells mL^{-1} 의 실험구에서 안정된 섭취율을 보였다. *A. tamarense*의 세포 공급밀도가 증가함에 따라 섭취율과 소화율은 감소하였으며, 배설율은 증가하였고, 지중해담치에 축적된 독 함량 또한 증가하였다. 공급된 *A. tamarense*에서 검출되지 않았던 GTX₅와 GTX₂ 성분이 지중해담치에서 검출되었다. 한편 지중해담치의 독 축적 후 제독양상은 *A. tamarense* 공급 후 3일 만에 $75.35 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 까지 도달하였으며, 이후 $14.17 \mu\text{g STXeq. } 100 \text{ g}^{-1}$ 까지 점차 감소하였다. 독 축적과 제독 기간동안 나타난 독소의 특징은 진해만 담치류의 마비성 패류 독화 양상과 유사하게 나타났다.

VI 감사의 글

학부과정부터 지금의 제가 있기 까지 아낌없는 사랑과 질책으로 지도해주신 김창훈 교수님, 항상 인자한 모습으로 학생들을 지도하시며 학문의 정도를 일깨워 주신 손철현 교수님, 언제나 새로운 지식의 선구자가 될 수 있도록 지도하시는 김종명 교수님께 심심한 감사를 드립니다.

지난 1년 남짓한 시간 동안 고성에서 부족한 저와 함께 실험을 하면서 동고동락한 김영수 선배, 많은 조언과 충고 그리고 해맑은 웃음으로 항상 후배들을 이끌어 나가는 김근용 선배, 배움과 학문의 길로 인도해주고 끊임없는 관심으로 저를 격려해준 신재범 선배, 멀리 안산에서 자신의 길을 묵묵히 걷고 있는 이학철 선배, 확고한 신앙으로 푹푹 뭉친 박기홍 선배, 때론 친구처럼 실험실에서 희노애락을 함께한 황철희 군, 고성에서 공부하며 고생하는 나이스가이 장성욱 군, 언제나 곁에서 힘내라고 격려해주며 선배 사랑이 끔찍한 박정경 양, 실험실에 화기에애한 분위기를 만들고 선배들을 도와 열심히 생활하고 있는 깜찍이들 조소은, 강지영 양, 멀리 외국으로 배움의 길을 떠난 부드러운 남자 안재욱 군, 아직한 군기가 들어 있는 멋진 이국일 군 등 실험실 선·후배님들께 감사하다는 말씀을 전하고 싶습니다.

아울러 고성 수산과학기술센터에서 1년 남짓한 시간 동안 실험에 아낌없는 지원과 도움을 주신 김현식 선배, 행정업무로 바쁜 와중에도 저의 실험에 관심과 도움을 주신 하승진 선배, 맛있는 밥으로 원기를 왕성하게 해주신 식당 아주머니들께도 심심한 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

마지막으로, 한 평생 자식과 손자들을 보시면서 잘되기만을 바라는 맘과 사랑으로 지금의 우리가 있도록 해주신 저의 할머니, 아낌없는 사랑으로 언제나 바른 길을 걷도록 그리고 남자가 되도록 지도해주시고, 아직도 저희를 위해서 고생하시는 아버지, 어머니 감사합니다. 그리고 사랑합니다.

VII 참고문헌

- Anderson D. M., D. M. Kulis, J. J. Sullivan, S. Hall, and C. Lee. 1990. Dynamic and physiology of saxitoxin production by the dinoflagellates *Alexandrium* spp. Mar. Biol., 104, 511-524.
- Asakwa, 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. E. Graneli, B. Sundstrom, L. Elder, and D. M. Anderson, eds. Elsevier Science Publishers, New York, pp. 257-262.
- Boczar, B. A., M. K. Beitler, J. Liston, J. J. Sullivan and R. A. Cattolico. 1988. Paralytic shellfish toxins in *Protogonyaulax tamarensis* and *Protogonyaulax catenella* in axenic culture. Plant Physiol., 88, 1285-1290.
- Boyer, G. L., J. J. Sullivan, R. J. Anderson, F. J. R. Taylor, P. J. Harrison and A.D. Cembella. 1986. Use of high-performance liquid chromatography to investigate the production of paralytic shell-fish toxins by *Protogonyaulax* spp. in culture. Mar. Biol., 93, 361-369.
- Boyer, G. L. J. J. Sullivan, R. J. Anderson, P. J. Harrison and F. J. R. Taylor. 1987. Effects of nutrient limitation on toxin production and composition in the marine dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. Mar. Biol., 96, 123-128.
- 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., A. D. Cembella, D. Laby, S. E. Shumway, T. L. Cucci. 1996. Comparative physiological and behavioral responses to PSP toxins in two bivalve molluscs, the soft clam, *Mya arenaria*, and surfclam, *Spisula solidissima*, In: Harmful algal blooms. Y. Yasumoto, Y. Oshima, Y. Fukuyo eds. IOC-UNESCO, Paris, pp. 405-408.
- 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.
- 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* complex. Red tide dinoflagellates. Biochem. Syst. Ecol., 15, 171-186.
- Cembella, A. D., Shumway, S. E., Lewis, N. I. 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. 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 (4), 293-300.
- 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, T. J. Smayda, and Y. Shimizu, eds. Elsevier Science, New York, pp. 383-388.

- Fukuyo, Y., Takano, H., Chikara, M. and Matsuoka, K. 1990. Red tide Organisms in Japan - An illustrated Taxonomic Guide. Uchida Rokakuho, Tokyo, 430 pp.
- Hall, S. 1982. Toxicity of *Protogonyaulax* from the northeast Pacific. PhD thesis, Univ. Alaska, Fairbanks, AK.
- Hallegraeff, G. M., 2003. Harmful algal blooms: a global overview. In: Manual on Harmful Marine Microalgae. Hallegraeff, G. M., D. M. Anderson and A. D. Cembella, eds. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, France, pp. 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.
- Hollingworth, T. and M. M. Wekell. 1990. Paralytic shellfish poison. In: Helrich, K. (Eds.), Official methods of Association of Official Analytical Chemists, vol. 2. Association of Official Analytical Chemists Inc, Arlington, pp. 881-882, 15th Eds.
- 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.
- 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, T. Yasumoto, Y. Oshima, and Y. Fukuyo, eds. Intergovernmental Oceanographic commission of UNESCO, pp. 65-68.
- 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 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.
- Kim, C. H., Y. Sako and Y. Ishida. 1993. Variation of toxin production and composition in axenic cultures of *Alexandrium catenella* and *A. tamarense*. Nippon Suisan Gakkaishi, 59, 633-639.
- 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 mollousk 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 (1), 158-160.
- Li, S. C. and W. X. Wang. 2001. Feeding and absorption of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* by two marine bivalves from the South China Sea. Mar. Biol. 139, 617-624.

- Martin, J. L. and D. Richard. 1996. Shellfish toxicity from the Bay of Fundy, eastern Canada: 50 years in retrospect. In: Harmful and Toxic Algal Blooms, T. Yasumoto, Y. Oshima, and Y. Fukuyo, eds. Intergovernmental Oceanographic commission of UNESCO, pp. 3-6.
- 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. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 1997, pp. 517-533.
- NFRDI. 1999. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 1998, pp. 499-511.
- NFRDI. 2000. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 1999, pp. 437-447.
- NFRDI. 2001. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 2000, pp. 401-410.
- NFRDI. 2002. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 2001, pp. 503-510.
- NFRDI. 2003. 어패류 위생에 관한 연구. 국립수산진흥원사업보고서, 2002, pp. 1047-1054.
- Ogata, T., M. Kodama, Y. Fukuyo, T. Inoue, H. Kamiya, F. Matsuura, K. Sekiguchi, and S. Watanabe. 1982. The occurrence of *Protogonyaulax* spp. in Ofunato Bay, in association with the toxification of the scallop *Patinopecten yessoensis*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 48, 563-566.
- 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., 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(8), 851-856.
- 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*, Graneli, E., B. Sundstrom, L. Edler and D. M. Anderson, eds. New Yor: Elsevier Science Publisers. pp. 391-396.
- Oshima, Y. 1995. Chemical and enzymatic transformation of paralytic shellfish toxins in marine organisms. In: *Harmful Marine Algal Blooms*. Lassua, P., Arzul, G., Erard, E., Gentien, P. and Marcaillou, C. eds., Lavoisier, Intercept Ltd. pp. 475-480.
- Oshima, Y., B. Luckas and Hummert. 2003. Analytical methods for paralytic shellfish poisons. In: *Manual on Harmful Marine Microalgae*. Hallegraeff, G. M., D. M. Anderson and A. D. Cembella, eds. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, France, pp. 191-209.
- Sekiguchi, K., S. Sato, S. Kaga, T. Ogata and M. Kodama. 2001a. Accumulation of paralytic shellfish poisoning toxins in bivalves and an ascidian fed on *Alexandrium tamarense* cells. *Fisheries science*, 67, 301-305.
- Sekiguchi, K., T. Ogata, S. Kaga, M. Yoshida, Y. Fukuyo and M. Kodama. 2001b. Accumulation of paralytic shellfish toxins in the scallop *Patinopecten yessoensis* caused by the dinoflagellate *Alexandrium catenella* in Otsuchi Bay, Iwate Prefecture, northern Pacific coast of Japan. *Fisheries science*, 67, 1157-1162.
- 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(4), 287-292.

Shumway S. E., T. L. Cucci. 1987. The effects of the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarens* on the feeding and behaviour of bivalve molluscs. Aquat. Toxicol. (Amst) 10, 9-27.

Suzuki Toshiyuki, Kazuhiko Ichimi, Yasukatsu Oshima and Takashi Kamiyama. 2003. Paralytic shellfish poisoning(PSP) toxin profiles and short-term detoxification kinetics in mussels *Mytilus galloprovincialis* fed with the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarens*. Harmful algae, 2, 201-206.

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. Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO, France, pp. 389-432.

심재형. 1994. 한국동식물도감 식물편(해양식물플랑크톤). In: 한국동식물도감. 교육부. 충남 연기군. 34, 487pp.