수산생물 종류별 마비성 패류독소 축적 및 정화

목종수* · 오은경¹ · 손광태¹ · 이태식² · 이가정¹ · 송기철 · 김지회¹서해수산연구소 해역산업과, ¹국립수산과학원 식품안전과, ²남서해수산연구소 해역산업과

Accumulation and Depuration of Paralytic Shellfish Poison in Marine Organisms

Jong-Soo Mok*, Eun-Gyoung Oh¹, Kwang-Tae Son¹, Tae-Seek Lee²,
Ka-Jeong Lee¹, Ki-Cheol Song and Ji-Hoe Kim¹

West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Incheon 400-420, Korea

¹Food & Safety Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-902, Korea²Southwest Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Yeosu 556-821, Korea

To compare the accumulation of paralytic shellfish poison (PSP) in different marine organisms, the occurrence and variation of PSP were surveyed in blue mussel *Mytilus edulis*, oyster *Crassostrea gigas*, short neck clam *Ruditapes philippinarum*, bay scallop *Argopecten irradians*, and warty sea squirt *Styela clava* collected from Jinhae Bay, Korea, in 2005 and 2006 year. We also investigated the ability of the blue mussel to detoxify PSP by relaying and depuration (via the water flow or water circulation system). In the marine organisms examined, PSP levels were the highest in blue mussel, followed in order by bay scallop, oyster, short neck clam, and warty sea squirt. Comparing the maximum PSP levels in the bivalve species examined in 2005 and 2006, PSP in blue mussel was 1.6-2.0, 4.0-5.9, and 5.1-6.0 times higher than in bay scallop, oyster, and short neck clam, respectively. Therefore, blue mussel could be useful as a bioindicator for PSP monitoring. With the increasing PSP levels in blue mussel in 2006, the proportion of PSP in its digestive gland increased to 95.1% when the maximum level was detected from the whole tissues of blue mussel on May 29. Subsequently, the PSP proportion in the digestive gland decreased as the PSP level in whole tissue decreased. The detoxification of PSP in blue mussel was greatest with relaying, followed by the water flow, and water circulation systems. Relaying decreased the PSP level below the regulatory limit of 80 µg/100 g after 2 days in low toxic sample with 124 µg/100 g, and after 7 days in high toxic sample with 401 µg/100 g. During depuration in the blue mussel with 401 µg/100 g via the water flow system, the PSP amounts in the digestive gland decreased by about 50% after 1 day, and about 77% after 7 days. In contrast, the PSP amounts in the soft body, gill, and mantle did not change significantly with depuration.

Key words: Paralytic shellfish poison, Accumulation, Relaying, Depuration, Detoxification

서론

진주담치, 굴, 가리비 등의 이매패류는 지역에 따라 특정한 시기에 식품위생상 문제가 되는 자연독을 함유하는 경우가 있다. '자연독'이란 보통의 자연 환경에서 정상적인 생리상태로 생육하고 있는 생물이 보유하는 독으로, 이매패류에서 검출되는 자연독에는 중독시 마비를 유발하는 마비성패류독소(paralytic shellfish poison, PSP), 설사를 유발하는 설사성

패류독소(diarrhetic shellfish poison, DSP) 및 아자스피르산(azaspiric acid), 신경계 장애를 유발하는 기억상실성패류독소(amnesic shellfish poison, ASP) 및 신경성패류독소(neurotoxic shellfish poison, NSP) 등이 대표적이며, 이 외에도 다수의 유독성분이 알려지고 있다(Noguchi, 2003; Toyofuku, 2006). 이들 패류독소는 대부분 독소를 생성하는 원인 플랑크톤을 패류가 섭이함으로써 그 플랑크톤에 함유된 유독성분

Article history;

Received 11 September 2012; Revised 25 September 2012; Accepted 26 September 2012

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 745. 0751 Fax: +82. 51. 745. 0619

E-mail address: mjs0620@korea.kr

Kor J Fish Aquat Sci 45(5) 465-471, October 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0465>

pISSN:0374-8111

© The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science. All rights reserved

이 패류에 이행되고, 사람이 독이 축적된 패류를 섭취하면 식중독을 일으키게 된다(Edebo et al., 1988; Indrasena and Gill, 2000; Silvert and Rao, 1992; Toyofuku, 2006).

마비성패류독소는 *Alexandrium* sp., *Gymnodinium* sp., *Pyrodinium* sp. 등 편모조류에 속하는 식물성 플랑크톤이 생산하는 독소로, 이러한 독소가 축적된 패류를 사람이 섭취하여 중독되면 마비를 유발하게 된다(Noguchi, 2003). 마비성패류독소에 의한 중독사고는 1790년 러시아의 탐험대가 알래스카에서 홍합(*Mytilus californianus*)을 먹고 100여명이 사망한 것이 최초의 기록이며, 최근에는 거의 전 세계적으로 발생하고 있다(Chang et al., 1989; Determan, 2003; Noguchi, 2003; Toyofuku, 2006). 우리나라에서도 마비성패류독소에 의한 식중독 사고가 보고된 바 있으며(Chang et al., 1987; Lee et al., 1997), 남해안의 진해만 연안에서는 매년 주기적으로 마비성패류독소가 검출되고 있다(Chang et al., 1988a; Chang et al., 1989; Park et al., 2000; Shon et al., 2009).

이에 따라 우리나라를 비롯하여 미국, 일본, 캐나다 및 유럽 등 세계 여러 나라에서는 마비성패류독소로 인한 식중독 예방을 위하여 허용기준치를 $80 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 로 설정하여 관리하고 있으며, 연안 패류 중의 독소 농도를 주기적으로 모니터링하고 있다(Chang et al., 1987; Determan, 2003; Noguchi, 2003; Rourke et al., 2008; Toyofuku, 2006; Wekell et al., 2004).

마비성패류독소는 편모조류가 생산하는 독소로서, 해수 중 플랑크톤의 밀도와 패류 중 독소 함량과는 밀접한 관련이 있다(Toyofuku, 2006). 그러나 동일한 지역에서 같은 시기에 채취한 패류에 있어서도 품종에 따라 독성에는 상당한 차이가 있을 수 있다(Mizuda et al., 1999). 따라서 본 연구에서는 수산생물의 품종에 따른 마비성패류독소 축적능력을 비교하기 위하여 우리나라에서 매년 마비성패류독소가 발생하는 진해만에서 진주담치, 굴, 바지락, 해만가리비 및 미더덕을 동시에 이식하고 시험을 실시하였다. 또한 독화된 패류의 상업적으로 유효이용 방안을 모색하기 위하여 독소가 발생하지 않는 지역에서의 자연정화 및 실내 수조에서의 인공정화를 실시하여 제독효과를 비교하였다.

재료 및 방법

시약 및 실험동물

Saxitoxin (STX) 표준물질은 미국 FDA에서 직접 분량을 받아 사용하였고, 추출용 용매로 사용한 HCl은 Merck사(Germany) 제품이었다. 실험동물은 체중 18-21 g의 ICR (Institute Cancer Research)계 mouse 수컷을 사용하였다.

마비성패류독소 측정

우리나라 연안에서 생산되는 이매패류 및 미더덕의 마비성패류독소 함량을 측정하기 위하여 껍질을 제거한 후 균질화하여

AOAC 방법 준하여 정량하였다(AOAC, 2006). 껍질의 외부를 수도수로 깨끗이 씻어 껍질을 제거한 후 물기를 제거하고, 육질 약 100-150 g을 취하여 2분간 균질화한 다음 균질화된 시료 100 g에 0.1 N HCl 100 mL 첨가하여 5분간 가열한 후 실온으로 냉각하였다. 추출액을 pH 2.0-4.0가 되도록 조정하여 200 mL로 정용한 후 3,000 rpm에서 5분간 원심분리하여 상층액을 시료 추출액으로 사용하였다. 그리고 시료 추출액을 3마리의 mouse 복강에 각각 1 mL 주입하고 사망여부를 확인하여 독력을 계산하였다.

수산생물 품종에 따른 마비성패류독소의 축적

수산생물의 품종에 따른 마비성패류독소 축적능력을 비교하기 위하여 우리나라에서 매년 독소가 발생하는 진해만 중 진주담치에서 비교적 독소가 높게 검출되는 지역인 창원시 진해구 명동연안에 진주담치(*Mytilus edulis*), 굴(*Crassostrea gigas*), 바지락(*Ruditapes philippinarum*), 해만가리비(*Argopecten irradians*) 및 미더덕(*Styela clava*)을 이식하고, 2005년 및 2006년에 각각 실시하였다. 사각 채룽($40 \times 40 \text{ cm}$)에 진주담치, 굴, 바지락, 해만가리비 등 이매패류 4종과 미더덕을 동시에 넣어 수심 약 1-2 m 깊이로 시설을 하고, 정기적으로 시료를 채취하여 품종간의 마비성패류독소의 축적 정도를 비교하였다.

한편, 진주담치의 각 부위별 독소 변화를 알아보기 위하여 20개체를 사용하여 부위별 마비성패류독소를 분석하였다.

마비성패류독소의 정화

독화된 패류의 상업적인 유효이용 방안을 모색하기 위하여 두 가지 정화방법 즉, 자연정화(relaying)와 인공정화(depuration)를 실시하여 비교 검토하였다. 자연정화는 진해만에서 독화된 진주담치를 일정량씩 사각 채룽에 넣어 마비성패류독소가 발생하지 않은 경남 통영시 미륵도 연안지역으로 이설하여 독력 감소여부를 시험하였다.

인공정화의 경우 자체 제작한 순환식 및 유수식 패류정화 장치(Fig. 1)를 각각 사용하였다. 즉, 플라스틱 바스켓에 패류가 겹쳐지지 않도록 일정량씩 넣어 여과해수를 공급하였으며, 해수 유통이 원활하도록 바스켓을 바닥에 닿지 않도록 그물을 설치하여 바스켓을 바닥으로부터 20 cm 정도에 두었다. 패류정화에 공급되는 여과해수는 수온 18-20°C, 유속 15 L/min의 조건으로 해수를 순환 또는 유수시키면서 독력 감소여부를 시험하였다.

이때, 진주담치의 마비성패류독소의 초기독성이 $124 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 로 기준치($80 \mu\text{g}/100 \text{g}$)를 약간 초과한 것과 기준치를 5배 초과하는 초기 독성이 $401 \mu\text{g}/100 \text{g}$ 인 것을 사용하여 2회 실시하였으며, 각 부위별 독소 변화를 조사하기 위하여 진주담치 20개체를 사용하여 독소 함량을 분석하였다.

Fig. 1. Schematic diagram of depuration system.
A, water flow system; B, water circulation system

결과 및 고찰

수산생물 품종에 따른 마비성패류독소의 축적

수산생물의 품종에 따른 마비성패류독소 축적 능력을 비교하기 위하여 예년의 조사결과 진주담치에서 비교적 독소가 높게 검출되었던 창원시 진해구 명동연안에 진주담치, 굴, 바지락, 해만가리비 등 이매패류 4종과 미더덕을 사각 채롱에 넣어 시설하고, 2005년 3월 2일부터 5월 25일까지 1차 시험을 실시하였고, 2006년 3월 14일부터 6월 10일까지 2차 시험을 실시하였다.

2005년도 1차 시험은 3월 2일에 시험생물을 시설하여 1주일 간격으로 시료를 채취하여 마비성패류독소를 분석하여 품종별 축적능력을 비교하였다(Fig. 2A). 마비성패류독소는 3월 17일 처음 진주담치에서 $36 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 검출되었으며, 3월 31일에는 진주담치뿐만 아니라 굴, 바지락, 가리비에서 $37\text{-}49 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 이 검출되어 초기에는 품종간 독력의 차이는 크지 않았다. 그리고 4월 7일 시험에서는 모든 품종에서 독소가 검출되어 진주담치($159 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)와 가리비($95 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)는 기준치를 초과하였고, 바지락($71 \mu\text{g}/100 \text{ g}$), 굴($58 \mu\text{g}/100 \text{ g}$), 미더덕($32 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)에서도 검출되었다. 조사된 이매패류의 최고 독력을 비교해 보면, 진주담치($1,188 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)는 가리비($598 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)보다 약 2배, 굴($294 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)보다는 약 4배, 바지락($198 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)보다는 약 6배 높은 독력을 나타내어 품종 간에 독성의 차이가 뚜렷하였다.

2006년에 실시한 2차 시험에서는 3월 14일 시험생물을 수화시키고 1주일 간격으로 시료를 채취하여 시험하였다(Fig. 2B). 마비성패류독소가 처음 검출된 것은 시설 1개월 후인 4월 12일로 진주담치, 바지락 및 가리비에서 $42\text{-}54 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 을 나타내었다. 이후 독소는 서서히 증가하여 1개월 후(5월 15일)에 진

Fig. 2. Variation of paralytic shellfish poison (PSP) of blue mussel *Mytilus edulis*, oyster *Crassostrea gigas*, short neck clam *Ruditapes philippinarum*, bay scallop *Argopecten irradians*, and warty sea squirt *Styela clava* in Jinhae Bay (coast of Myeong-dong, Jinhae-gu, Changwon city). A, 2005 year; B, 2006 year.

주담치, 굴 및 바지락은 각각 479 , 81 및 $94 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 으로 최고값을 나타낸 다음 감소하다가 소멸하였으며, 가리비는 5월 29일 최고 $295 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ 을 나타낸 이후 감소하였다. 조사된 이매패류의 최고 독력을 비교해 보면, 진주담치($479 \mu\text{g}/100 \text{ g}$)는 가리비, 바지락 및 굴보다 각각 약 1.6배, 5.1배 및 5.9배 높은 독력을 나타내었다. 그러나 미더덕의 경우 전 시험기간 동안 독소가 검출되지 않았으며, 모든 품종에서 2005년 보다 낮게 검출되었다. 따라서 진주담치, 굴, 바지락, 가리비 및 미더덕 등에서 마비성패류독소의 독력 정도는 생물의 종류뿐만 아니라 독소의 발생시기에 의해서도 크게 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

한편, 시험생물에서의 독소 변동 또한 패류 품종에 따라 차이가 있어 진주담치의 경우 2005년 4월 14일 최고치에 달한 후 감소하는 경향을 나타내었고, 굴과 바지락의 경우에는 4월 21일 최고치에 달한 후 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 가리비의 경우에 5월 19일까지 꾸준히 독성치가 증가하여 고독

력의 독화 기간이 다른 품종에 비하여 길어지는 경향을 나타내었고, 이러한 경향을 2006년도에 확인되었다. Mizuta et al. (1999)은 굴과 가리비를 같은 장소에 1주일 간격으로 채취하여 마비성패류독소 함량을 분석한 결과, 본 연구결과와 유사하게 가리비는 굴에 비하여 고독력의 독화 기간이 길어지고, 소멸시기도 늦어지는 것으로 나타났다고 보고하였다. 이와같이 가리비에서의 독성치 변동이 다른 패류와 다른 원인이 서식환경, 생물자체의 특성 등에 의한 것인지는 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

2005년도의 1차 시험과 2006년도의 2차 시험결과 독소 발생 시 품종에 따른 독력의 차이는 생물의 여수능력, 원인 플랑크톤의 선택적 섭이, 체내 독소변환 등 여러 가지 요인에 의하여 영향을 받을 것으로 추정된다. 2회 조사결과를 종합해 볼 때, 수산생물의 독소 축적량은 진주담치 > 가리비 > 굴 > 바지락 > 미더덕의 순서로 높았으며, 진주담치는 가장 빠르고 높게 독소를 축적하는 것으로 나타나 마비성패류독소의 발생과 변동을 조기에 파악할 수 있는 가장 좋은 지표종인 것으로 판단되었다. Mizuta et al. (1999)은 1994년에 굴과 진주담치를, 1995년에는 굴과 가리비를 동일 장소에 1주일 간격으로 채취하여 마비성패류독소 함량을 분석한 결과, 진주담치와 가리비가 굴보다 약 3배 높게 독소를 축적하는 것으로 보고하여 2005년도 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다. 그러나 Mizuta et al. (1999)은 진주담치와 가리비에 대하여는 동일한 시기에 시험을 실시하지 않아 어느 품종이 더 높은 축적능력의 나타내는지는 알 수 없었다. 또한 Park et al. (2000)은 1997년 진해만에서 채취한 이매패류의 품종별 독화 경향을 비교한 결과, 패류의 독화 및 감독 경향은 패류의 종류에 따라 현격한 차이가 있었다고 하였으며, 품종별 최고독력은 진주담치가 바지락, 굴, 피조개에 비하여 각각 2.5배, 6배, 7배 높았다고 보고하여 본 연구결과와 다소 상이한 결과 보였다. 이는 Park et al. (2000)의 패류 시료는 동일한 장소에서 채취한 것이 아니기 때문에 본 연구결과와 절대적으로 비교하기는 어렵지만, 진주담치가 가

장 많은 독소를 축적한다는 것은 동일하였다.

2006년 2차 시험에서 진주담치에서 독소가 증가하는 시기(5월 1일), 최대 축적 시(5월 15일) 및 감소하는 시기(5월 29일)의 부위별 독화 정도를 파악하기 위하여 진주담치를 중장선, 연체부, 아가미 및 외투막 부분으로 구분하여 부위별 독성의 변화 Table 1에 나타내었다. 독소가 증가하는 시기에는 진주담치의 독소 함량은 48 µg/100 g이었으며, 중장선 73.5%, 연체부 17.4%, 아가미 6.4% 및 외투막 2.8%를 차지하고 있었다. 최대 축적 시 진주담치의 독소 함량은 479 µg/100 g이었으며, 중장선 95.1%, 연체부 3.3%, 아가미 0.8% 및 외투막 0.8%이 함유되어 있었다. 한편 감소하는 시기에는 진주담치의 독소 함량은 44 µg/100 g이었으며, 중장선 60.6%, 연체부 24.6%, 아가미 7.8% 및 외투막 7.1%이었다.

중장선 이외의 다른 부위에서는 조사기간 동안 독소 함량의 차이는 없으나, 독소의 비율은 독소가 증가하는 시기에는 감소하고, 감소하는 시기에는 증가하는 경향을 나타내었다. 반면, 중장선에서는 독소 함량은 물론 비율도 독소가 증가하는 시기에는 크게 증가하고, 감소하는 시기에는 크게 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 독소가 증가하면서 빠르게 중장선에 대부분 축적되며, 최고값에 도달할 때 가장 많이 축적되었다가 감소하는 시기에는 중장선에 존재하던 독소가 빠르게 체외로 빠져나기 때문인 것으로 판단된다.

독화된 패류에서 독소는 패류의 조직 전체에 일정하게 분포하는 것은 아니며, 패류의 종류나 시기에 따라 부위별 독소 함량에는 차이가 있다. 이매패류의 경우 유독플랑크톤을 처음 섭취하였을 때 소화 및 흡수를 담당하는 중장선(digestive gland)에 독소를 다량 축적하는 것으로 알려져 있다(Maruyama et al., 1983; Nagashima et al., 1984). 본 연구결과에서도 대부분의 독소가 중장선에 분포하고 있는 것으로 나타나 이를 확인할 수 있었다. Chang et al. (1988a)은 1986년 진해만에서 채취한 독화 초기(독소 증가 시기)의 진주담치(60.68-93.11 µg/100 g)를 중장선과 그 나머지 육질부분으로 나누어 독소 함

Table 1. Anatomical distribution of paralytic shellfish poison (PSP) of blue mussel *Mytilus edulis* in Jinhae Bay (coast of Myeong-dong, Jinhae-gu, Changwon city) in 2006 year

Sample ¹	PSP toxicity					
	Before 2 weeks of maximum toxicity (May 1)		Detection of maximum toxicity (May 15)		After 2 weeks of maximum toxicity (May 29)	
	µg/100 g	% in individual	µg/100 g	% in individual	µg/100 g	% in individual
Whole tissue	48	100.0	479	100.0	44	100.0
Digestive gland	142	73.5	1,965	95.1	110	60.6
Soft body	17	17.4	30	3.3	23	24.6
Gill	23	6.4	31	0.8	25	7.8
Mantle	10	2.8	32	0.8	22	7.1

¹The numbers of sample used for toxicity test were 20 individuals, and soft body was the part except digestive gland, gill and mantle.

량을 조사한 결과 중장선에 약 70%의 독소가 함유되어 있다고 보고하였으며, 이는 본 연구결과 중에서 독소가 증가하는 시기에 진주담치중 중장선의 독소 비율 73.5%와 유사한 수치를 나타내었다. 또한 Maruyama et al. (1983)은 독화된 가리비에서 중장선에 전체독소의 약 70%가 함유되어 있다고 보고하여 본 연구의 진주담치 결과에서 독소가 증가하는 시기의 것과 유사하였으나, 패류 종류가 서로 상이하고 본 연구결과에서 전체독소 중에서 중장선이 차지하는 독소 비율은 패류 채취시기(독소 축적 및 배출 정도)에 따라 상이하므로 절대적으로 비교하기는 어렵다.

독화된 진주담치에서 마비성패류독소의 정화

독화된 패류의 유효이용 방안을 모색하기 위하여 진행만에서 독화된 진주담치를 마비성패류독소가 발생하지 않은 통영 미륵도 연안지역에 이설하여 자연 정화를 시킨 것과 실내의 수조에서 인공정화하였을 때의 제독효과를 비교하여 Fig. 3에 나타내었다. 초기 독력이 124 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 로 기준치(80 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)

Fig. 3. Detoxification of paralytic shellfish poison (PSP) in blue mussel *Mytilus edulis* by relaying and depuration (water flow system and water circulation system). A, low toxic sample; B, high toxic sample.

를 약간 초과한 경우에 있어서는 처리방법에 관계없이 정화 2일 이내에 모두 기준치 이하로 감소하는 것이 확인되었으며, 3일 이내에 모든 시험구에서 50% 이상의 제독효과를 나타내었다. 한편, 초기 독력이 401 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 인 진주담치의 경우에는 3일 이내에 모든 시험구에서 50% 이상의 제독효과를 나타내었으며, 자연정화시에는 7일째에, 그리고 인공정화시에는 유수식은 8일 후에, 순환식은 10일 후에 기준치 이하로 감소하는 경향을 보였다.

따라서 정화방법에 따른 제독효과는 초기독력에 상관없이 자연정화가 인공정화보다 보다 효과적이고, 인공정화의 경우 유수식이 순환식보다 다소 좋은 정화능력을 나타내었다. 만일, 상업적인 정화를 실시할 경우에는 쉽게 접근이 용이한 장소(패류독소가 발생하지 않는 곳)를 확보할 수 있다면, 정화시에 별도의 시설이 필요 없는 자연정화 방식이 가장 좋을 것으로 사료된다. 그리고 독화된 패류를 인위적으로 제독하는 경우 기준치를 약간 초과한 패류는 단기간에도 가능하겠지만, 독소가 많이 축적된 패류는 상대적으로 많은 시간이 요구될 것이다.

Takata et al.(2008)은 독화된 굴(600 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 및 520 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)을 유수식으로 인공정화를 실시하였을 경우 정화초기 2일째에 50% 이하로 감소하였으며, 5일 후에는 기준치 이하로 감소하였다고 보고하여 본 연구의 진주담치 결과 보다는 약간 더 빠르게 제독되는 것으로 나타났다. Chang et al. (1988b)은 진주담치를 수조에서 인공정화할 경우 유수식이 순환식보다 제독효과가 좋았다고 하여 본 연구결과와 유사하였다. 한편, Chang et al. (1988b)은 유수식으로 진주담치를 5일간 정화할 경우 2,684 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 것은 약 94%, 독력이 84 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 의 것은 약 36%의 제독효과가 있었다고 보고하였으며, 본 연구결과에서는 유수식으로 진주담치를 5일간 정화할 경우 401 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 인 것은 약 70%, 독력이 124 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 인 것은 약 60% 제독효과가 있는 것으로 나타나 초기 독소 함량이 높을수록 제독효과가 높은 것을 알 수 있었다. 반면 기준치 이하까지 감소하는 데 걸리는 시간은 독소 함량이 낮을수록 빨리 도달 하는 것으로 나타나 상업적으로 패류독소를 정화할 경우에는 초기 독소 함량에 따라 정화일수를 달리 적용해야 할 것으로 판단된다.

독화된 패류를 정화할 경우 부위별 독소의 배출 경향을 파악하기 위하여 독화된 진주담치를 중장선, 연체부, 아가미 및 외투막으로 구분하여 유수식 인공정화에 따른 부위별 독력 및 독소 비율의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 독화된 진주담치(401 $\mu\text{g}/100\text{ g}$)를 유수식 정화하는 동안 부위별 독력 변화를 살펴본 결과, 독소 축적이 가장 높았던 중장선에서는 시험초기 독력이 1,580 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ 이었던 것이 정화 1일째 약 50%로 급속히 배출된 후에 완만하게 지속적으로 배출되는 경향을 나타내었으며, 이것은 전체 패육(whole tissue)에서와 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 4A). 중장선을 제외한 연체부, 아가미 외투막은 거의 변화가 없었다. 또한, 유수식은 물론 순환식으로 독화된 패류를 정화 처리하였을 때도 독소의 배출 경향은 유사하였

다(결과 미제시).

유수식 정화처리 과정 중에 진주담치의 부위별 독소 및 중량의 비율 변화는 Fig. 4(B, C)에 나타내었다. 독화된 진주담치의 시험 초기에는 진주담치 전체 중량 중 중장선이 차지하는 비중은 약 25% 정도였지만, 이 부위에 독소는 약 95%가 축적되어 있었다. 진주담치에서 가장 많은 중량을 차지하는 연체부(약 50%)가 다음으로 독소 함량이 높았으며, 아가미와 외투막은 각각 전체 중량의 13% 내외였지만 독소 함량에서 차지하는 비중은 미미하였다. 정화처리에 따른 부위별 독소분포는 정화

기간이 연장됨에 따라 중장선에서의 독소 비율의 감소가 두드러져 초기 약 95%에서 정화 11일째 약 70%까지 감소하였으며, 상대적으로 연체부의 독소 비율은 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 정화되는 동안 중장선에 존재하던 독소가 우선적으로 빠르게 체외로 빠져나가기 때문인 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 국립수산물품질관리원(수출패류 생산해역 및 수산물 위생조사, RP-2012-FS-020)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- AOAC. 2006. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MS, US.
- Chang DS, Shin IS, Cho HR, Kim JH, Pyeun JH and Park YH. 1988a. Studies on distribution, characterization and detoxification of shellfish in Korea. 1. A study on the distribution of paralytic shellfish poison. Bull Kor Fish Soc 21, 113-126.
- Chang DS, Shin IS, Goo HY, Oh EG, Pyun JH and Park YH. 1988b. Studies on distribution, characterization and detoxification of shellfish in Korea. 3. Detoxification of paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis*. Bull Kor Fish Soc 21, 297-302.
- Chang DS, Shin IS, Kim JH, Pyun JH and Choe WK. 1989. Detoxification of PSP and relationship between PSP toxicity and *Protogonyaulax* sp. Bull Kor Fish Soc 22, 177-188.
- Chang DS, Shin IS, Pyeun JH and Park YH. 1987. A Study on paralytic shellfish poison of sea mussel, *Mytilus edulis*. Food poisoning accident in Gamchun Bay, Pusan, Korea, 1986. Bull Kor Fish Soc 20, 293-299.
- Determan M. 2003. Paralytic shellfish poisoning (PSP) patterns in Puget Sound shellfish in 2001. Washington State Department of Health, Olympia, WA, US, pp. 1-12.
- Edebo L, Lange S, Li XP, Allenmark S, Lindgren K and Thompson R. 1988. Seasonal, geographic, and individual variation of okadaic acid content in cultivated mussels in Sweden. APMIS 96, 1036-1042.
- Indrasena WM and Gill TA. 2000. Thermal degradation of partially purified paralytic shellfish poison toxins at different times, temperatures and pH. J Food Sci 65, 948-953.
- Lee JS, Shin IS, Kim YM and Chang DS. 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.
- Maruyama J, Noguchi T, Onoue Y, Ueda Y, Hashimoto K and Kamimura S. 1983. Anatomical distribution and profiles of the toxins in highly PSP-infested scallops from Ofunato Bay during 1980-1981. Bull Jap Soc Sci Fish 49, 233-235.
- Mizuda M, Yamada K, Takata K, Shimaoka M, Takayama H and Ouchi A. 1999. Differences of accumulation and elimination of paralytic shellfish poisons among oyster, mussel

Fig. 4. Anatomical distribution of paralytic shellfish poison (PSP) of blue mussel *Mytilus edulis* during depuration by water flow system. The number of sample used for toxicity test was 20 individuals, and soft body was the part except digestive gland, gill and mantle. A, toxicity (µg) in 100g of each part of blue mussel. B, toxicity (%) of each part in blue mussel; C, weight (%) of each part in blue mussel.

- and scallop. J Food Hyg Soc Jpn 40, 19-22.
- Nagashima Y, Noguchi T, Maruyama J, Kamimura S and Hashimoto K. 1984. Occurrence of paralytic shellfish poisons in an asidian *Holocynthia roretzi*. Bull Jap Soc Sci Fish 50, 331-334.
- Noguchi T. 2003. Marine toxins. Nippon Suisan Gakkaishi 69, 895-909.
- Park MJ, Lee HJ, Lee TS, Son KT, Byun HS, Park JH and Jang DS. 2000. Comparison of paralytic shellfish poison contents and components in the different bivalve species. J Fd Hyg Safety 15, 293-296.
- Rourke WA, Murphy CJ, Pitcher G, Riet JM, Burns BG, Thomas KM and MA Quilliam. 2008. Rapid postcolumn methodology for determination of paralytic shellfish toxins in shellfish tissue. J AOAC Int 91, 589-597.
- Shon MB, Kim YS and Kim CH. 2009. Paralytic shellfish poisoning of Mediterranean mussels from Jinhae Bay in Korea. Kor J Fish Aquat Sci 42, 366-372.
- Silvert W and Rao DVS. 1992. Dynamic model of the flux of domoic acid, a neuro toxin, through a *Mytilus edulis* population. Can J Fish Aquat Sci 49, 400-405.
- Takata K, Takatsuji H and Seno M. 2008. Detoxification of the oyster *Crassostrea gigas* contaminated with paralytic shellfish poison (PSP) by cultivation in filtered seawater. Nippon Suisan Gakkaishi 74, 78-80.
- Toyofuku H. 2006. Joint FAO/WHO/IOC activities to provide scientific advice on marine biotoxins (research report). Mar Pol Bull 52, 1735-1745.
- Wekell JC, Hurst J and Lefebvre KA. 2004. The origin of regulatory limits for PSP and ASP toxins in shellfish. J Shellfish Res 23, 927-930.