

냉동과 해동에 따른 국매리복 근육의 독화

전중균* · 흥경표¹

강릉대학교 생명과학대학 해양생명공학부/동해안해양생물자원연구센터

¹한국해양연구원 해양생물자원연구센터

Muscle Intoxication of ‘Gukmeri-bok’ Puffer (*Takifugu vermicularis radiatus*) by Freezing and Thawing

Joong-Kyun JEON* and Kyung-Pyo HONG¹

Division of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, and EMBRC, Gangneung 210-702, Korea

¹Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan 425-60, Korea

We here report that the muscle of ‘gukmeri-bok’ puffer fish (*Takifugu vermicularis radiatus*) is intoxicated after freezing and thawing processes even though it is not toxic when it is fresh. This study was carried out to investigate the effect of different freezing and thawing conditions as well as the effect of the presence of skin or viscera on the intoxication of muscle of ‘gukmeri-bok’ puffer during freezing and thawing process. As a result of this investigation, thawing condition, but not freezing conditions or periods played an important role in muscle intoxication. Tetrodotoxin secretory glands exist in the skin of toxic puffer fish, the skin was more responsible for the muscles intoxication than the viscera during the freezing-thawing process. In other words, no toxicity was measured in the muscle of skinned-frozen specimens even when thawed. According to this result, it is recommended that the skin and viscera must be removed before being frozen for edible purpose. Otherwise, when a whole fish should be frozen, alternative half-thawing and removal of skin from frozen specimens is recommended.

Key words: *Takifugu vermicularis radiatus*, Tetrodotoxin, Muscle intoxication, Freezing-thawing condition

서 론

국매리복 (*Takifugu vermicularis radiatus*)은 우리나라 서해안과 동지나해에서 다량 어획되며, 한국과 일본에서 식용으로 서 선호도가 높은 어종이다. 복어류는 일반적으로 인체에 영향을 미치는 강한 독성을 지니고 있어 식탁에 오르기까지 취급에 각별한 주의가 필요하다는 것은 주지의 사실이다. Noguchi et al. (1997)과 Jeon et al. (2000)에 의하면 국매리복은 선어 상태일 때는 근육에서 독성이 검출되지 않는데 반하여 냉동 상태에서는 약독의 독성이 존재하는 것으로 보고하였으며, 이러한 차이는 냉동과 해동 등의 물리적인 처리 과정에서 발생하였을 가능성을 제시한 바 있다. 복어의 껍질에는 복어독 (tetrodotoxin, TTX)을 분비하는 독샘 (gland)이 분포하며 (Kodama et al., 1985), 살아 있는 복어에게 여러 자극, 즉 ‘헨드링 조작’을 하거나 ‘전기 쇼크’ 등을 가하면 껍질로부터 TTX를 분비한다는 것이 여러 연구자들 (Kodama et al., 1985; Saito et al., 1985)에 의해서 확인되었다. 복섬 (*Takifugu niphobles*)의 경우 동결과 해동을 반복하는 사이에 껍질 중의 TTX가 해동되면서 드립 (drip)으로 빠져 나오면서 근육으로 침투하였기 때문에 무독 수준이었던 근육에서 독성이 검출되었다는 보고 (Shiomi et al., 1984; 1985)도 있어, 복어의 껍질에 존재하는 독이 물리적인 자극에 의해 용출될 수 있음을 알 수가 있다.

특히, 국매리복은 다른 복어와는 달리 껍질이 매우 약해서 어로 작업 및 유통 과정에서 개체간의 마찰로 인해 껍질이 쉽게 손상을 입는 것을 볼 수가 있는데, 이때 껍질 중의 독샘에 들어있던 TTX가 빠져나와서 근육으로 이행하여 근육이 독화할 가능성은 매우 크다. 실제로 국매리복은 1990년대까지만 해도 일본에 수출되었지만, 일본 국내에서 수입산 국매리복에 의한 식중독 사고가 발생하면서 외국으로부터의 수입이 전면 금지되었으며 이로 인해 국내의 관련 산업도 영향을 받고 있다.

본 연구는 국매리복을 냉동조건과 해동조건을 달리하면서 근육의 독성과 근육의 독화 원인을 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

시료로 사용한 국매리복은 인천광역시에 위치한 소래어시장에서 빙장(氷藏) 상태의 선어를 구입하여 실험에 사용하였다. 각 실험어는 다음과 같이 저장 및 해동 방법을 달리하여 처리한 다음 근육의 독성을 조사하였다.

냉동 및 해동

어체의 냉동과 해동은 각각 완만 (slow), 급속 (quick)으로 구분하여 실시하였는데, 완만 냉동의 경우 -20℃의 일반 냉동고를, 급속 냉동은 -40℃의 냉동고 (MDF-U442, Sanyo, Japan)

*Corresponding author: jkjeon@kangnung.ac.kr

를 각각 이용하였다. 그리고 완만 해동은 실온에서 20분간 방치하였으며, 급속 해동은 수돗물을 담아둔 용기에 냉동 개체를 10 분간 넣어 해동시켰다.

독성검사

Food Hygiene Examination Manual의 ‘복어독 정량법’에 따랐다 (Kawabata, 1978). 즉, 조직을 적당량의 0.1% 초산 용액과 함께 비등수조에서 가열하여 유독 성분을 추출한 다음, 그 중 1 mL를 18-20 g의 마우스 (♂, ICR 계통) 복강 내에 주사하여 5-10분 내에 사망할 수 있도록 농도를 조절하고 5-7마리에 같은 방법으로 주사하였다. 이들의 중간치사시간을 재어 치사 시간-MU (mouse unit) 환산표에 따라서 독량을 구하였다. 이 때 TTX의 1 MU는 마우스를 30분에 사망시킬 수 있는 독량이다.

결과 및 고찰

냉동과 해동 방법에 따른 독성 차이

국매리복은 선어일 때보다 냉동 저장한 것에서 근육 독성이 더 높았다는 결과 (Jeon and Noguchi, 1996)를 바탕으로 본 연구에서는 먼저 냉동 방법이 근육의 독화에 영향을 미치는지의 여부를 살펴보았다.

어체를 냉동시킬 때 빙결정이 형성되는 온도대를 빠르게 통과시킬수록 빙결정 크기가 작아져 해동 시에 드립 (drip)이 적어 품질 열화를 방지할 수 있다고 알려져 있어 (Lee, 1983), 본 실험에서는 냉동 방법을 완만 냉동과 급속 냉동으로 구분하여 실시하였다. 또한 해동 역시 완만 해동과 급속 해동으로 해동 방법을 달리하면서 근육의 독성을 비교하였으며, 그 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Toxicity in muscle of ‘Gukmeri-bok’ puffer (*Takifugu vermicularis radiatus*) depending on freezing and thawing treatment

Treatment ¹	Percent (%) of toxic specimens	Toxicity (MU/g)	
		Range	Mean±SD
SS	25.7 (9/35) ²	<5-16	7.2±0.7
SQ	25.0 (10/40)	<5-21	8.2±0.7
QS	12.5 (2/16)	<5-13	5.9±0.9
QQ	61.5 (16/26)	<5-30	13.0±1.6
SWO	0 (0/20)	<5-6	2.1±0.6

¹SS, slow-freezing, and slow-thawing; SQ, slow-freezing, and quick-thawing; QS, quick-freezing, and slow-thawing; QQ, quick-freezing, and quick-thawing; SWO, slow-freezing, and without thawing.

²Number in parenthesis represents number of toxic specimen (≥10 MU/g) per number of specimens tested.

우선 완만 해동의 경우, 완만 냉동시켰던 것 (slow-freezing/slow-thawing group; SS구)은 ≥5 MU/g의 유독 개체 출현율이 85.7%였고, ≥10 MU/g은 25.7%였으며, 최고 독성은 16 MU/g,

평균 독성 7.2±0.7 MU/g였다. 그리고 급속 냉동시킨 것 (quick-freezing/slow-thawing group; QS구)은 ≥5 MU/g와 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율이 각각 87.5%와 12.5%였으며, 최고 독성과 평균독성 (±SD)은 각각 13 MU/g과 5.9±0.9 MU/g였다. 이처럼 완만 해동 시에는 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율이 QS구가 12.5%로 SS구 (25.7%)에 비해 비록 절반 수준에 불과하였지만 최고 독성이나 평균 독성이 별다른 차이가 없었기에, 완만 해동을 실시한 경우에는 냉동 방법이 국매리복의 근육 독화에 큰 영향을 미치지 않는다고 여겨진다.

급속 해동의 경우에도, 완만 냉동시킨 것 (slow-freezing/quick-thawing group; SQ구)의 ≥5 MU/g과 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율은 각각 97.5%와 25.0%였으며, 최고 독성은 21 MU/g, 평균 독성 (±SD)은 8.2±0.7 MU/g이었다. 그리고 급속 냉동시킨 것 (quick-freezing/quick-thawing group; QQ구)은 ≥5 MU/g과 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율이 각각 96.2%와 61.5%, 최고 독성은 30 MU/g, 그리고 평균독성 (±SD)은 13.0±1.6 MU/g이었다.

동결-해동 방법에 따른 유독 개체의 출현율과 독성을 비교한 결과 QQ구가 모두 가장 높은 출현율과 독성을 나타냈으며 반면에 QS구가 가장 낮았다. 이에 비해 SS구와 SQ구 사이에는 별다른 차이를 나타내지 않아 완만 동결 방법은 해동 방법에 관계없이 근육으로의 독 이행이 일정하였다.

그러나 해동 방법에 따라 근육의 독화 정도는 달라질 수 있지만 독이 전혀 이행하지 않은 것은 아니었기에, 냉동 후 해동하지 않았을 경우에도 근육에서 독성이 검출되는지를 살펴보고자 완만 냉동 후 해동하지 않은 상태 (slow-freezing/no-thawing group; SWO구)에서 근육의 독성을 조사하였다. SWO구에서 ≥5 MU/g의 유독 개체 출현율은 60.0%였지만, ≥10 MU/g은 단 한 개체도 없었고 최고 독성은 6 MU/g에 불과하였으며, 평균 독성은 2.1±0.6 MU/g에 지나지 않았다. 즉, 냉동 후 해동하지 않은 상태에서는 근육에 거의 독이 없음을 확인할 수 있었다. 이것은 해동 중에 근육의 독화가 이루어지고 있음을 강하게 시사한다.

Shiomi et al. (1985)은 복섬을 대상으로 한 연구에서 완만 해동을 하면 해동 과정에 이미 근육은 독화되었으며, 급속 해동을 했을 경우 근육에서 독성이 검출되지 않았지만 이를 계속 방치하면 근육으로의 독이행이 진행된다는 것을 확인할 수 있었다고 하여 본 연구와는 다소 차이를 보였는데, 이는 해동방법이 서로 다르기 때문이라 여겨진다. 즉, Shiomi et al. (1985)의 완만 해동은 4℃의 저온실에서 방치하였고 급속 해동은 15℃의 유수 해동을 한 것이어서 본 연구의 해동 방법과 차이가 있었다. 더욱이 그들의 보고에서는 유수 해동 후에 어느 조건에 방치하였는지를 명시하고 있지 않아 본 연구 결과와 서로 직접 비교하기는 어렵다. 그러나 해동이 완전히 진행되어 근육의 강도가 선어일 때와 비슷해질 정도가 되면 근육으로 독 이행이 훨씬 많아져서 근육의 독화가 심해진다고 고찰할 것은 본 연구 결과와 일치한다. 이것은 해동 시 어체의

냉동 상태가 근육으로의 독 이행과 밀접한 관계가 있음을 의미하는데, 본 연구에서도 냉동한 상태의 근육은 해동했을 때보다 독성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 한편, 본 연구에서 완만 해동이 급속 해동보다 근육으로의 독 이행이 적었던 것은 완만 해동 시의 어체 상태가 급속 해동에 비해서 덜 해동된 상태였기 때문일 것으로 판단되었다.

냉동 기간에 따른 근육의 독성 비교

냉동 기간이 근육의 독성에 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 어체를 -20℃ 냉동고에서 완만 냉동을 하여 1-2개월간 저장한 후 완만 해동하여 독성을 조사하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Toxicity in muscle of slow-freezing for 1 or 2 months and slow-thawing of 'Gukmeri-bok' puffer (*Takifugu vermicularis radiatus*)

Treatment ¹	Percent (%) of toxic specimens	Toxicity (MU/g)	
		Range	Mean±SD
S1S	25.0 (5/20) ²	< 5-16	6.8±1.0
S2S	26.7 (4/15)	< 5-14	7.8±0.8

¹S1S, slow-freezing for 1 month, and slow-thawing; S2S, slow-freezing for 2 months, and slow-thawing.
²Number represents number of toxic specimen (≥10 MU/g) per number of specimens tested.

1개월간 저장한 후 완만 해동한 것 (slow-freezing for 1 month/slow-thawing group; S1S구)은 총 20개체 중에서 ≥5 MU/g의 독성은 16개체 (80.0%)에서 검출되었고, ≥10 MU/g은 5개체 (25.0%)에서 검출되었는데, 이 경우 최고 독성과 평균 독성 (±SD)은 각각 16 MU/g과 6.8±1.0 MU/g이었다. 그리고 2개월 후 완만 해동을 실시한 경우 (slow-freezing for 2 months/slow-thawing group; S2S구)에는 조사한 15개체 중에서 ≥5 MU/g이 14개체 (93.3%)였고, ≥10 MU/g의 독성을 가지는 개체는 4개체 (26.7%)가 확인되었는데, 이 때의 최고 독성 및 평균 독성 (±SD)은 각각 14 MU/g과 7.8±0.8 MU/g이었다. 이러한 결과로 볼 때, 냉동 저장 기간 즉, 1개월과 2개월간 저장한 것은 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율 (각각 25.0%와 26.7%), 최고 독성 (16 MU/g과 14 MU/g) 및 평균 독성 (6.8 MU/g와 7.8 MU/g)에서 큰 차이가 없었으므로 냉동 기간의 연장 그 자체는 근육의 독화에 별다른 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

냉동 전 어체 처리에 따른 근육의 독성 비교

국매리복은 선어 상태에서의 근육은 무독 수준이지만 어체를 냉동한 후 해동하면 근육에서 독성이 검출되는 것으로 보아, 해동 시에 다른 조직에서 근육으로 독이 이행되었을 가능성을 앞서 제기한 바 있다. 따라서 독성이 강한 내장과 껍질로부터 근육으로 독이 이행하는지 여부를 알아보고자, 냉동하기 전에 어체의 껍질을 제거한 것 (S1S-S과 S2S-S),

내장을 제거한 것 (S1S-V과 S2S-V), 그리고 껍질과 내장을 함께 제거한 것 (S1S-VS과 S2S-VS)으로 구분하여 이들을 전술한 바와 같이 각각 -20℃에서 완만 동결하여 1-2개월간 저장한 다음 완만 해동하여 근육 내의 독성을 조사하였으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Toxicity in muscle of skin- or viscera-removed 'Gukmeri-bok' puffer (*Takifugu vermicularis radiatus*) specimens stored at -20℃ for 1 or 2 months

Treatment ¹	Percent (%) of toxic specimens	Toxicity (MU/g)	
		Range	Mean±SD
S1S-S	5.6 (1/18) ²	< 5-16	4.2±1.1
S2S-S	0 (0/18)	< 5-8	4.2±0.6
S1S-V	33.3 (5/15)	< 5-28	10.8±2.1
S2S-V	15.0 (3/20)	< 5-28	8.7±1.6
S1S-VS	14.3 (3/21)	< 5-12	5.8±0.7
S2S-VS	11.1 (4/36)	< 5-14	5.4±0.8

¹S1S-S, slow-freezing for 1 month, and slow-thawing of skin-removed fish; S2S-S, slow-freezing for 2 months, and slow-thawing of skin-removed fish; S1S-V, slow-freezing for 1 month, and slow-thawing of viscera-removed fish; S2S-V, slow-freezing for 2 months, and slow-thawing of viscera-removed fish; S1S-VS, slow-freezing for 1 month, and slow-thawing of viscera- and skin-removed fish; S2S-VS, slow-freezing for 2 months, and slow-thawing of viscera- and skin-removed fish.

²Number parenthesis represents number of toxic specimen (≥10 MU/g) per number of specimens tested.

1개월간 냉동 저장 후 해동한 경우, ≥5 MU/g과 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율, 최고 독성 및 평균 독성 (±SD)이 S1S-V구는 각각 55.6%, 5.6%, 16 MU/g 및 4.2±1.1 MU/g이었고, S1S-S구는 93.3%, 33.3%, 28 MU/g 및 10.8±2.1 MU/g, 그리고 S1S-VS구는 90.5%, 14.3%, 12 MU/g 및 5.8±0.7 MU/g이었다. 즉, ≥5 MU/g의 유독 개체 출현율은 S1S-V구가 가장 높았고 이어서 S1S-VS구, S1S-S구의 순이었으며, 이러한 경향은 ≥10 MU/g의 유독 개체 출현율, 최고 독성 및 평균 독성의 경우도 마찬가지였다. 한편, 각 어체 처리구 별로 별로 2개월간 냉동 저장한 경우도 1개월간 저장한 경우와 유사한 경향을 나타내었다. 여기서 껍질만을 제거한 국매리복 (S1S-S, S2S-S)은 내장만을 제거한 것 (S1S-V, S2S-V)에 비하여 근육 독성 및 독성 개체 출현율이 크게 낮았는데, 이것은 근육이 독화하는 것은 해동하는 과정 중에 껍질에 분포하는 TTX가 빠져나와 근육으로 옮겨가기 때문이며 이에 비해 내장은 근육의 독화에 크게 관여하지 않는 것으로 판단되었다. 한편, 내장과 껍질을 모두 제거한 경우 (S1S-VS, S2S-VS)의 근육 독성 및 독성 개체 출현율도 내장만을 제거한 경우보다 낮게 나타나 근육으로의 독성 이행에는 국매리복의 껍질이 결정적으로 작용하는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합하여 생각하면, 냉동 방법과 기간은 국매리복의 근육 독화에 별다른 영향을 미치지 않지만, 해동

조건 또는 해동 상태와 유독 조직의 제거 여부는 직접적으로 관련이 있음을 알 수 있었다. 해동한 국매리복의 근육에서 검출되는 독성은 껍질로부터 유래하는 것이고, 따라서 근육의 독화를 억제하기 위해서는 미리 껍질을 제거하는 것이 필수적이며, 특히 냉동하기 이전에 이루어져야만 효과적임을 알 수가 있었다. 그렇지만 이미 냉동된 상태라면 근육이 완전히 해동될 때까지 방치하기보다는 반해동 상태이거나 또는 냉동인 상태에서 껍질을 제거하는 것이 바람직할 것이다. 이와 관련하여 Shiomi et al. (1984, 1985)도 복섬을 근육의 내부 중심 온도가 -3°C 정도까지 해동 (이 상태를 ‘반해동’이라 하였다) 하였을 경우에는 근육의 독화가 일어나지 않았다고 하였다.

한편, 본 연구에서 선어 근육의 독성이 이전의 연구결과 (Jeon and Noguchi, 1996; Noguchi et al., 1997)에 비해 다소 높았던 것은 아마도 어획 후의 보존 상태 및 보존 방법에 따른 차이일 것으로 여겨진다. 즉, 이번 시료는 어획 후 1-2일간 빙장하였던 것을 사용하였으므로, 선도가 근육 독성에 어느 정도 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 따라서 앞으로는 선도가 국매리복의 독성에 미치는 영향에 관해서도 조사할 필요가 있을 것이다.

사 사

본 연구는 해양수산부의 수산특정연구개발사업의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

Jeon, J.K. and T. Noguchi. 1996. Toxicity of a puffer *Takifugu vermicularis* collected in Korean sea, Yellow Sea. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 62, 944-945. (in Japanese)

Jeon, J.K., O. Arakawa and T. Noguchi. 2000. Toxicity

of pufferfish in Korea. 3. Comparison in the toxicity of fresh and frozen pufferfish *Takifugu vermicularis radiatus* (Gukmeri-bok). *J. Kor. Fish. Soc.*, 33, 176-178. (in Korean)

- Kawabata, T. 1978. Assay method for tetrodotoxin. In: *Food Hygiene Examination Manual*. Vol. 2. Environmental Health Bureau, Ministry of Health and Welfare, ed. Japan Food Hygiene Association, Tokyo, Japan, pp. 232.
- Kodama, M., T. Ogata and S. Sata. 1985. External secretion of tetrodotoxin from puffer fishes stimulated by electric shock. *Mar. Biol.*, 87, 199-202.
- Lee, E.H. 1983. *Seafood Processing*. Seonjin Munwhasa, Seoul, pp. 369. (in Korean)
- Noguchi, T., H. Akaeda and J.K. Jeon. 1997. Toxicity of a puffer, *Takifugu vermicularis* - 1. Toxicity of alive *T. vermicularis* from Japan and Korea. *J. Food Hyg. Soc. Japan*, 38, 132-139. (in Japanese)
- Saito, T., T. Noguchi, S. Kanoh and K. Hashimoto. 1985. Tetrodotoxin as a biological defence agent for puffers. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 51, 1175-1180. (in Japanese)
- Shiomi, K., E. Tanaka, S. Kumagai, H. Yamanaka, T. Kikuchi and T. Kawabata. 1984. Toxicification on muscle after thawing of frozen puffer fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 50, 341-347. (in Japanese)
- Shiomi, K., S. Shibata, H. Yamanaka and T. Kikuchi. 1985. Some factors affecting the toxicification of muscle after thawing of frozen puffer fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 51, 619-625. (in Japanese)

2004년 4월 25일 접수

2004년 6월 26일 수리