

한국 해산 패류 15종의 DNA 함량

박인석^{*,†}, 최희정^{1,†}

한국해양대학교 해양생명과학부, ¹한국해양과학기술원 생물자원 연구단

Nuclear DNA content determinations in 15 seawater shellfish species in Korea

In-Seok Park^{*,†} and Hee-Jung Choi^{1,†}

Division of Marine Bioscience, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Republic of Korea

¹Marine Bio-Resources Research Unit, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Republic of Korea

*Corresponding author

In-Seok Park
Tel. 051-410-4321
E-mail. ispark@kmou.ac.kr

[†]These authors contributed equally to this work.

Received: 12 May 2020

First Revised: 18 June 2020

Second Revised: 4 August 2020

Revision accepted: 10 August 2020

Abstract: The object of this study was to obtain nuclear DNA content data for representatives of the 15 shellfish species that inhabit the coast of Korea. In the gastropoda group, the DNA content (pg DNA nucleus⁻¹) was 3.3 ± 0.08 in *Haliotis discus hannai* and 2.4 ± 0.18 in *Batillus cornutus*. In the bivalvia group, the DNA content (pg DNA nucleus⁻¹) was 2.0 ± 0.15 in *Scapharca broughtonii*, 3.0 ± 0.12 in *Mytilus galloprovincialis*, 2.9 ± 0.05 in *Meretrix lusoria*, 2.2 ± 0.03 in *Meretrix lamarkii*, 2.6 ± 0.05 in *Fulvia mutica*, 1.8 ± 0.18 in *Tegillarca granosa*, 3.3 ± 0.01 in *Solen corneus*, 2.2 ± 0.04 in *Barnea manilensis*, in 2.5 ± 0.32 in *Crassostrea gigas*, 3.9 ± 0.24 in *Atrina pectinate*, 3.5 ± 0.15 in *Patinopecten yessoensis*, 1.9 ± 0.16 in *Amygdala philippinarum*, and 2.3 ± 0.14 in *Pseudocardium sachalinensis*. The results of this study provide new information for a better understanding of the genomic evolution process of the shellfish species investigated in this experiment.

Keywords: DNA content, flowcytometry, shellfish

서 론

해산 패류 복족류(gastropoda) 중 참전복(*Haliotis discus hannai*)은 한국에서 식용으로 널리 이용하고 있고, 산업적 가치가 있으며 특히 전복은 식품학적 측면에서 오래전부터 한국, 중국 및 일본 등지에서 상당히 귀중하게 여기는 건강 기능성 수산물로 그 시장 가치가 매우 높다(Cho *et al.* 2018). 소라(*Batillus cornutus*) 또한 복족류에 속하는 패류로, 한국 남해 외양 암초 지대를 비롯한 해조류 중 특히 갈조류가 풍부한 곳에 서식하며 식용으로 널리 이용되고

있다(Yoo 2015).

우리나라 해산 이매패류(bivalvia) 중 일부 이매패류의 특성은 다음과 같다(The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015): 피조개(*Scapharca broughtonii*)의 국내 주요 분포지는 남해안과 동해안의 내만으로, 간조선부터 수심 50 m에 이르는 저질이 사질·개흙질인 곳에 서식한다. 또한, 피조개는 꼬막류 중 가장 색이 붉고 크기가 크며 육질이 연한 종으로, 주로 바닥식이나 채룡수하식으로 양식하는 값 비싼 수출품이다(The Academy of Korean Studies 1991; Korean

Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*)는 서유럽이 원산지인 외래종이나 현재는 토착화되어 우리나라 전 해역에 분포하고 있으며, 홍합 (*Mytilus coruscus*) 보다는 작고 큰 군체를 형성하여 부유물을 걸러 먹는 여과 섭식을 한다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

백합 (*Meretrix lusoria*)은 우리나라의 남해안과 서해안에 서 자생하며, 특히 서해안에 많이 분포한다. 백합은 육수의 영향을 받는 곳이나 사질토가 많은 간석지, 수심 5~6m에서 주로 서식하며, 우리나라에서는 조위망양식으로 본격적인 양식을 시작하였다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 민무늬백합 (*M. lamarkii*)은 대형 이매패류로 백합과 패각 모양이 비슷하나, 백합보다 삼각형에 가까운 원형으로 두껍고 매끄러우며 광택이 나는 차이가 있다. 민무늬백합은 한국, 타이완 및 필리핀 등지에 분포하며, 조간대와 수심 20m에 이르는 곳까지의 사질 저면에 서식한다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

새조개 (*Fulvia mutica*)는 우리나라 남해안 내해의 수심 5~30m인 저질이 진흙인 곳에 주로 서식하며, 발을 이용해 해엄을 쳐 멀리까지 이동하는 특성이 있다. 새조개의 양식기술은 아직 개발되지 않았고, 패류형망이나 타뢰망을 이용하여 어획하며, 어린 조개의 채취를 금지하는 등의 어획 제한을 통한 관리가 이루어지고 있다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 꼬막 (*Tegillarca granosa*)은 우리나라의 서해안과 남해안에 분포하고 파도의 영향을 적게 받는 조간대에 주로 서식한다. 꼬막은 연한 진흙질 바닥에서 비부착성 생활을 하는 종으로, 예로부터 연안 어민들이 식품으로 애용하였으며, 최근에는 연안의 조간대에서 바닥양식을 통해 양성하고 있다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

맛조개 (*Solen corneus*)는 맛류의 일반적인 특징인 패각장이 패각고에 비해 매우 긴 장방형 패각을 가지며 두께가 얇고, 연체의 뒤끝에 있는 출수관과 입수관이 갈라져 가늘고 긴 특징을 가지고 있다. 맛조개는 조개국물 재료 등의 식용으로 활용한다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 돌맛조개 (*Barnea manilensis*)는 한국, 일본의 홋카이도 이남, 인도양 및 태평양 등지에 분포하며, 조간대와 수심 10m에

이르는 곳까지의 이암이나 석회암에 서식한다. 또한 구멍을 뚫어 서식지를 만드는 특성이 있으며 해산 패류 중 식용으로 가치가 높다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 참굴 (*Crassostrea gigas*)은 주로 조간대의 바위 등에 부착하여 서식하지만, 수심 5~40m의 진흙바닥에서도 발견된 바 있으며, 패각은 왼쪽이 부착기로 다소 평편하나, 오른쪽은 볼록한 비대칭 형태를 띤다. 우리나라에 서식하는 굴 중 가장 흔하며, 남해안에서 수하식으로 대량 양식하고 있다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

키조개 (*Atrina pectinata*)의 패각은 각정쪽으로 가면서 그 폭이 좁아지고, 배면은 직선인 삼각 형태이다. 키조개의 전폐각근은 각정 가까이 위치하고 크기가 작으나, 후폐각근은 중심부에 위치하며, 패주 혹은 관자라 하여 예로부터 식용으로 이용하고 있을 뿐 아니라 값비싼 수출품이다. 키조개는 우리나라의 남해안과 서해안에 분포하며, 조간대와 수심 30m에 이르는 곳까지의 이질인 지질 속에 주로 서식한다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 큰가리비 (*Patinopecten yessoensis*)는 한류성 패류로 우리나라의 동해 및 일본에 분포하며, 수심 10~30m의 저질이 모래자갈인 곳에 주로 서식한다. 큰가리비의 패각은 원형에 가까운 부채 모양으로 패공예품으로 이용하거나 미역, 다시마 등의 사상체 부착기로 이용하고, 패각의 중앙에 위치한 후폐각근은 식용으로 활용한다. 최근 종묘생산과 수하식양식을 시도하고 있다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

바지락 (*Amygdala philippinarum*)은 우리나라 전 연안에 넓게 분포하지만 서해안이 개체수가 특히 풍부하고, 육수의 영향을 받는 천해 중 이질이 많지 않은 사니질로 이루어진 저질의 조간대와 수심 약 5m에 이르는 곳까지 서식한다. 바지락은 이동범위가 좁아 예로부터 연안 어민들이 식용으로 활용하고 있으며 양식이 쉬워 바닥양식으로 양성하고 있다 (The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015). 북방대합 (*Pseudocardium sachalinensis*)은 우리나라 동해 북부에 주로 서식하며 형망을 이용하여 채취한다. 북방대합은 그 근육과 폐각근은 식용으로 인기가 있으며, 최근 인공종묘 생산에 성공하여 대량 양식이 가능해졌다. 북방대합은 바닥뿌림식으로 양식하며 풍파가 심한 동해안 해역이 양

식 적지이다(The Academy of Korean Studies 1991; Korean Mollusks Museum 2010; Yoo 2015).

DNA 함량은 다른 종간에서는 유의하게 다양하게 나타나며, 동일 종 혹은 한 개체의 다양한 조직들에서 동일한 배수화를 보임과 동시에 모든 세포들에서 통계적으로 일정함을 보인다(Chiarelli and Capanna 1973). 종간에서의 DNA 함량은 매우 다양하기 때문에 Ohno (1974)는 핵형분석에 의한 연구들이 만약 genome 크기 다양성을 고려하지 않는다면 그 상대성에 있어 의미가 없다고 제안한 바 있다. 현재까지 어류를 대상으로 한 DNA 함량 조사는 Feulgen 염색한 혈액 도말에서의 microdensitometry 분석(Oliveira et al. 1992, 1993a, 1993b; Carvalho et al. 2002)과 base-specific fluorochrome으로 부유상태의 혈구세포를 유세포분석기(flow cytometry: Tiersch et al. 1989a, 1989b, 1990; Carvalho et al. 2002)로 분석하는 방법으로 이루어지고 있다.

이 중 유세포분석기를 이용한 방법은 의학 분야 중 암(cancer)학에서도 다양하게 활용되고 있으며, 패류 연구에서는 유액 상태의 패류 세포집단을 대상으로 세포크기, 세포내부 조성 정도, 세포주기 분석 및 세포기능 인지 등과 같은 한 세포가 가지는 여러 특징의 분석이 가능하며(Vanparys et al. 2006), 이매패류에서 혈구세포 집단의 분리나 확인에서부터 이매패류의 면역학과 병리학 연구 분야로 그 영역이 확대되고 있다(Da Silva et al. 2004; Park 2020). 최근에는 기기의 발달, 환산 방법 개선 및 시약 기능의 향상 등으로 유세포분석은 신속·정확한 DNA 함량 분석이 가능하며, 사용 효과의 장래성을 보이고 있다(Estevam et al. 2011; Park 2020).

본 연구는 우리나라 해산 패류에 대한 DNA 함량 분석이 아직 이루어지지 않음을 고려, 산업적으로 유용성이 있는 복족류 중 참전복과 소라 그리고 이매패류 중 피조개, 지중해담치, 백합, 민무늬백합, 새조개, 꼬막, 맛조개, 돌맛조개, 참굴, 키조개, 큰가리비, 바지락 및 북방대합으로 총 15종의 해산 패류에 대하여 유세포분석 기법에 의한 DNA 함량을 분석·평가하여 연구 대상 패류에 대한 세포유전학적 연구와 genomic진화과정을 더욱 잘 이해할 수 있도록 하는 새로운 정보를 제공하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에 사용한 한국 해산 패류 15종은 한국의 남해

안(부산광역시 자갈치 시장)과 서해안(충청남도 보령시 대천항 수산시장)의 수산시장에서 구매하였다. 모든 패류 표본들은 digital vernier calipers (CD-20CP; Mitutoyo, Kawasaki, Japan)로 각장과 각고를 0.1 cm 단위까지 각각 계측하였다. 본 연구에 사용된 패류는 총 15종으로 이 중에서 패류는 2종으로 참전복(*Haliotis discus hannai*)과 소라(*Batillus cornutus*)이며, 나머지 13종은 이매패류로 피조개(*Scapharca broughtonii*), 지중해담치(*Mytilus galloprovincialis*), 백합(*Meretrix lusoria*), 민무늬백합(*M. lamarkii*), 새조개(*Fulvia mutica*), 꼬막(*Tegillarca granosa*), 맛조개(*Solen corneus*), 돌맛조개(*Barnea manilensis*), 참굴(*Crassostrea gigas*), 키조개(*Atrina pectinata*), 큰가리비(*Patinopecten yessoensis*), 바지락(*Amygdala philippinarum*) 및 북방대합(*Pseudocardium sachalinensis*) 13종이다.

수집한 패류를 종별로 각 50마리를 70% ethanol (Sigma, USA)로 고정하였으며 고정 후 24시간에 70% ethanol로 교환·재고정하였다. 유세포분석기(Partec PA-II flow cytometry, Germany)를 사용하여 DNA 함량을 측정하였다(Park et al. 1999; Park 2020). 70% ethanol에 고정된 각 패류 표본에서 외투막 근육조직 5 mg을 미세가위와 미세핀셋으로 적출한 후, 미세가위를 사용하여 chopping법으로 균질화 시켜 30 µm의 여과주사기로 여과·수집하였으며, 원심분리기(Centrifuge Micro 17R, Hanil Sci. Ind. Co., Korea)를 이용해 1,000 rpm으로 10분간 원심분리하였다.

이후 상층액을 제거하였으며, 각 test tube에 0.5 mL의 CyStain DNA 2 step nuclei extraction buffer (CyStain DNA 2 step high resolution DNA staining kit, Partec, Germany)와 2 mL CyStain DNA 2 step nuclei extraction buffer (CyStain DNA 2 step high resolution DNA staining kit, Partec, Germany)을 첨가하여 유세포분석을 실시하였다. 각 표본의 상대 DNA 함량을 계산하기 위하여 Park et al. (1999)와 Park (2020)의 방법에 따라 DNA 함량이 2.8 pg nucleus⁻¹인 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*)의 등지느러미 조직을 standard control로 사용하였다.

결과 및 고찰

본 연구에 사용한 15종 패류들에 대한 각장과 각고 계측 결과를 Table 1에 나타내었으며, 아울러 기존 미꾸라지(*Misgurnus mizolepis*) DNA 함량에 기준한 상대적인 DNA

Table 1. Shell length, shell height, and DNA content of 15 Korean seawater shellfish species

Class	Genus Species (Korean common name)	Measurement*		
		Shell length (cm)	Shell height (cm)	DNA content (pg nucleus ⁻¹)
Gastropoda	<i>Haliotis</i> <i>discus</i> (참전복)	13.8 ± 1.05	9.4 ± 2.71	3.3 ± 0.08
	<i>Batillus</i> <i>cornutus</i> (소라)	8.2 ± 1.44	10.8 ± 1.90	2.4 ± 0.18
Bivalvia	<i>Scapharca</i> <i>broughtonii</i> (피조개)	4.0 ± 0.77	3.2 ± 0.91	2.0 ± 0.15
	<i>Mytilus</i> <i>galloprovincialis</i> (지중해담치)	6.1 ± 0.81	10.2 ± 1.08	3.0 ± 0.12
	<i>Meretrix</i> <i>lusoria</i> (백합)	8.2 ± 1.44	6.8 ± 1.07	2.9 ± 0.05
	<i>lamarckii</i> (민무늬백합)	5.4 ± 0.61	4.8 ± 0.84	2.2 ± 0.03
	<i>Fulvia</i> <i>mutica</i> (새조개)	9.8 ± 1.54	9.5 ± 1.94	2.6 ± 0.05
	<i>Tegillarca</i> <i>granosa</i> (꼬막)	3.4 ± 0.43	2.5 ± 0.59	1.8 ± 0.18
	<i>Solen</i> <i>corneus</i> (맛조개)	12.4 ± 1.02	3.1 ± 0.88	3.3 ± 0.01
	<i>Barnea</i> <i>manilensis</i> (돌맛조개)	7.5 ± 1.25	3.0 ± 1.21	2.2 ± 0.04
	<i>Crassostrea</i> <i>gigas</i> (참굴)	7.4 ± 0.98	11.1 ± 0.92	2.5 ± 0.32
	<i>Atrina</i> <i>pectinata</i> (키조개)	20.4 ± 5.28	34.1 ± 4.89	3.9 ± 0.24
	<i>Patinopecten</i> <i>yessoensis</i> (큰가리비)	11.8 ± 1.54	12.4 ± 1.19	3.5 ± 0.15
	<i>Amygdala</i> <i>philippinarum</i> (바지락)	3.1 ± 0.58	2.2 ± 0.49	1.9 ± 0.16
	<i>Pseudocardium</i> <i>sachalinensis</i> (북방대합)	5.3 ± 0.45	4.4 ± 0.51	2.3 ± 0.14

*Each value is the mean ± SD (n=50). The DNA content is expressed as pg nucleus⁻¹. A standard control of dorsal fin tissue of the mud loach *Misgurnus mizolepis* (2.8 pg nucleus⁻¹) was used (Park et al. 1999; Park 2020).

함량을 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 키조개 (*Atrina pectinata*)의 DNA 함량이 3.9 ± 0.15 pg DNA nucleus⁻¹로 가장 높은 DNA 함량을 보였으며 꼬막 (*Tegillarca granosa*)의 DNA 함량은 1.8 ± 0.18 pg DNA nucleus⁻¹로 가장 낮은 DNA 함량을 보였다 (Table 1). Thiriot-Quievreux (2002)는 32종의 이매패류의 DNA 함량을 측정한 결과 DNA 함량에 있어 참굴 (*Crassostrea gigas*)의 1.82 pg DNA nucleus⁻¹에서부터 바지락 (*Tapes philippinarum*)의 3.94 pg DNA nucleus⁻¹에 이르는다고 보고한 바 있다.

복족류에서 참전복 (*Haliotis discus hannai*: 3.3 ± 0.08 pg

DNA nucleus⁻¹)이 소라 (*Batillus cornutus*: 2.4 ± 0.18 pg DNA nucleus⁻¹)에 비해 높은 DNA 함량을 보였다. 본 연구에서의 참전복의 3.3 ± 0.08 pg DNA nucleus⁻¹는 참전복 DNA 함량에 있어 An et al. (2007)이 보고한 3.36 pg DNA nucleus⁻¹나 Park (2020)이 보고한 3.2 ± 0.02 pg DNA nucleus⁻¹와 유사하였다. 그러나 Thiriot-Quievreux (2002)이 보고한 참전복을 위시한 참굴과 지중해담치 (*Mytilus galloprovincialis*)에서의 DNA 함량은 본 연구에서의 결과와는 DNA 함량에서 다소 차이를 보이는 Hardie and Herbert (2004)가 지적한 바와 같이 표본 종들의 다양한 서식지 차이에 기인한

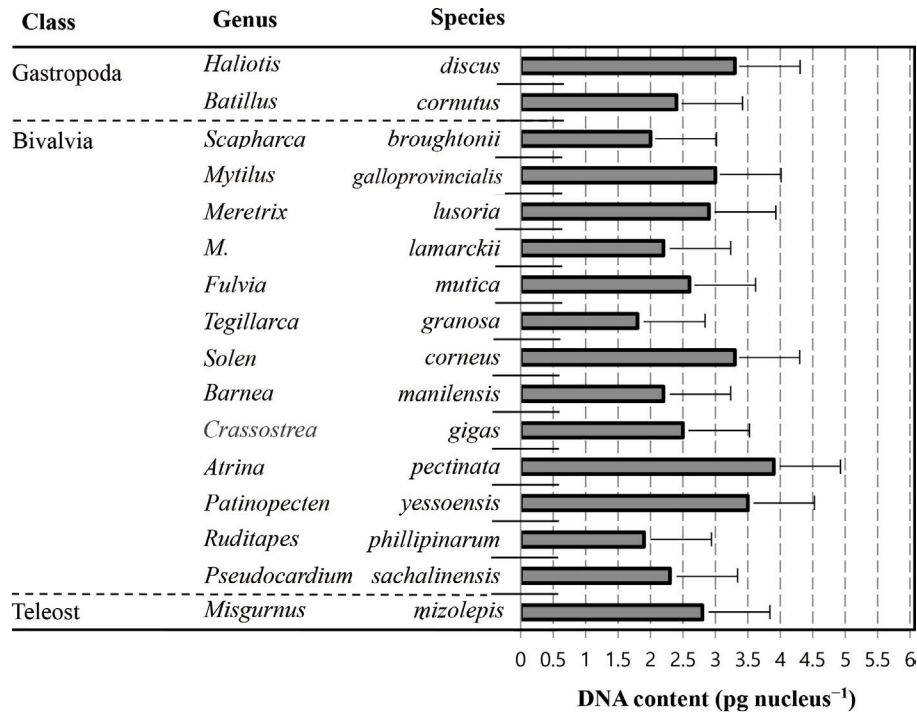


Fig. 1. The mean DNA content of 15 Korean seawater shellfish species. The mean value of standard control (mud loach, *Misgurnus mizolepis*) was approximately $2.8 \text{ pg nucleus}^{-1}$ (Park *et al.* 1999; Park 2020). Each value is the mean value of the experimental determinations ($n=50$). The error bars represent standard deviations of the experimental determinations ($n=50$).

것으로 보인다.

본 연구에서 백합(*Meretrix lusoria*)의 DNA 함량은 민무늬백합(*M. lamarckii*)에 비해 같은 속인데도 불구하고 다소 높게 나타나고 있다. 이와 같이 감소된 DNA 함량에 대하여 Hinegardner and Rosen (1972)은 분화된 종은 일반적인 종보다 감소된 genome을 가진다고 하였으며, 이러한 경향은 이후의 Cimino (1974)의 연구들에 의해서도 입증된 바 있다. 이러한 관점에서 민무늬백합은 백합에 비하여 특수화(specialized) 되었다고 볼 수 있으며 Hardie and Herbert (2004)는 이와 관련하여, 특수화된 종에서는 염색체 수 감소가 동반되고 아울러 genome 크기 감소와 연관된 발생적 복잡성이 증대된다고 하였다.

본 연구에 사용한 유세포분석법은 간편한 시료 처리와 신속하고 정확한 결과 도출로 인해 DNA 함량 분석에 많이 이용하는 방법이며, 그 사용 효과의 장래성을 보이고 있다(Estevam *et al.* 2011; Park 2019, 2020). 본 연구는 한국 해산 패류 중 15종에 대하여 핵 DNA 함량을 조사하였는 바, 도출된 연구 결과는 연구 대상 패류들에 대한 세포 유전학적 연구와 genomic 진화과정을 더욱 잘 이해할 수

있도록 하는 새로운 정보를 제공할 것으로 사료된다(Gold and Price 1985; Carvalho *et al.* 2002). 차후, 본 연구 대상인 15종 패류에 대한 미구명 핵형 분석이 이루어져서, 그 결과를 본 논문 연구 결과와 연계하여 해석할 수 있다면, 관련 종들의 genomic evolution 과정 해석이 더욱 용이하리라 사료된다.

적 요

본 연구에서는 한국 연안에 서식하는 대표적인 15종 패류의 핵DNA 함량을 조사하였다. 복족류에서 DNA 함량 ($\text{pg DNA nucleus}^{-1}$)은 3.3 ± 0.08 (*Haliotis discus hannai*)과 2.4 ± 0.18 (*Batillus cornutus*)이었다. 이매패류에서 DNA 함량 ($\text{pg DNA nucleus}^{-1}$)은 2.0 ± 0.15 (*Scapharca broughtonii*), 3.0 ± 0.12 (*Mytilus galloprovincialis*), 2.9 ± 0.05 (*Meretrix lusoria*), 2.2 ± 0.03 (*M. lamarckii*), 2.6 ± 0.05 (*Fulvia mutica*), 1.8 ± 0.18 (*Tegillarca granosa*), 3.3 ± 0.01 (*Solen corneus*), 2.2 ± 0.04 (*Barnea manilensis*), 2.5 ± 0.32 (*Crassostrea*

gigas), 3.9 ± 0.24 (*Atrina pectinate*), 3.5 ± 0.15 (*Patinopecten yessoensis*), 1.9 ± 0.16 (*Amygdala philippinarum*) 및 2.3 ± 0.14 (*Pseudocardium sachalinensis*)이었다. 본 연구 결과는 본 연구에 사용된 패류의 genomic 진화과정을 더욱 잘 이해하는 새로운 정보를 제공한다.

사 사

건설적인 권고와 세심한 수정 지시로 본 논문의 질적 수준과 완성도를 높여주신 익명의 심사자들에게 깊이 감사드립니다. 아울러, 본 연구 수행에 도움을 주신 한국해양대학교 수산유전육종학연구소 연구진에 감사드립니다. 본 연구는 한국해양과학기술원의 Post-management Project of Tongyeong Marine Ranch (PG 51530) 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구 수행시 교육부의 연구윤리 확보를 위한 지침(교육부 훈령 제153호)과 식품의약품 안전처의 실험동물에 관한 법률(법률 제15278호) 기준을 준수하였으며, 아울러 한국해양대학교 연구윤리를 준수하였습니다.

REFERENCES

- An HS, YJ Jee, SJ Han, BL Kim, EM Kim and IS Park. 2007. Induction of a new hybrid between *Haliotis gigantea* (♀) and *H. discus* (♂). Korean J. Genet. 29:239-244.
- Carvalho ML, C Oliveira, MC Navarrete, O Froehlich and F Foresti. 2002. Nuclear DNA content determination in Characiformes fish (Teleostei, Ostariophysi) from the Neotropical region. Genet. Mol. Biol. 25:49-55.
- Cho JH, HG Nam and KS Oh. 2018. Processing and quality characteristics of a cultured recessive small-sized abalone *Haliotis discus hannai* extract. Korean J. Fish. Aquat. Sci. 51:640-646.
- Cimino MC. 1974. The nuclear DNA content of diploid and triploid *Poeciliopsis* and other poeciliid fishes with reference to the evolution of unisexual forms. Chromosoma 47:297-307.
- Da Silva PM and A Villalba. 2004. Comparison of microscopic techniques for the diagnosis of the infection of the European flat oyster *Ostrea edulis* by the protozoan *Bonamia ostreae*. J. Invertebr. Pathol. 85:97-104.
- Estevam J, H Danaee, R Liu, J Ecsedy, W Trepicchio and T Wyant. 2011. Validation of a flow cytometry based G2M delay cell cycle assay for use in evaluating the pharmacodynamic response to Aurora A inhibition. J. Immunol. Methods 363:135-142.
- Gold JR and HJ Price. 1985. Genome size variation among North American minnows (Cyprinidae). I. Distribution of the variation in five species. Heredity 54:297-305.
- Hardie DC and PDN Hebert. 2004. Genome size evolution in fishes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 61:1636-1646.
- Hinegardner R and DE Rosen. 1972. Cellular DNA content and evolution of teleostean fishes. Am. Nat. 106:621-644.
- Korean Mollusks Museum. 2010. Korean Mollusks with Color Illustration. Hangul Press, Korea. p. 332.
- Ohno S. 1974. Animal cytogenetics. In: Chordata 1 - Protochordata, Cyclostomata and Pisces. Vol. 4. (Bernard J ed.). Geb-rüder Borntraeger, Berlin.
- Oliveira C, LF Almeida-Toledo, L Mori and SA Toledo Filho. 1992. Extensive chromosomal rearrangements and nuclear DNA content changes in the evolution of the armoured catfishes genus *Corydoras* (Pisces, Siluriformes, Callichthyidae). J. Fish Biol. 40:419-431.
- Oliveira C, LF Almeida-Toledo, L Mori and SA Toledo Filho. 1993a. Cytogenetic and DNA content studies on armoured catfishes of the genus *Corydoras* (Pisces, Siluriformes, Callichthyidae) from the Southeast coast of Brazil. Rev. Brasil. Genet. 16:617-629.
- Oliveira C, LF Almeida-Toledo, L Mori and SA Toledo Filho. 1993b. Cytogenetic and DNA content in six genera of the family Callichthyidae (Pisces, Siluriformes). Caryologia 46:171-188.
- Park IS. 2019. A comparative analysis of cell cycles in diploid and induced triploid tissues in marine medaka (*Oryzias dancena*). Korean J. Environ. Biol. 37:735-740.
- Park IS. 2020. A flowcytometric method for DNA content analysis of abalone, *Haliotis discus hannai*. Korean J. Environ. Biol. 38:248-253.
- Park IS, CH Kim and DS Kim. 1999. Karyotypes and cellular DNA contents of two species in the genus *Lateolabrax* from Korea. Fish. Sci. 65:488-489.
- The Academy of Korea Studies. 1991. Encyclopedia of Korean Culture. The Academy of Korea Studies. Seongnam, Korea. <http://encykorea.aks.ac.kr>
- Thiriout-quievreux C. 2002. Review of the literature on bivalve cytogenetics in the last ten years. Cah. Biol. Mar. 43:17-26.
- Tiersch TR, BA Simco, KB Davis, RW Chandler, SS Wachtel and GJ Carmichael. 1990. Stability of genome size among stocks of the channel catfish. Aquaculture 87:15-22.
- Tiersch TR, RW Chandler, KD Kallman and SS Wachtel. 1989a. Estimation of nuclear DNA content by flow cytometry in fishes of the genus *Xiphophorus*. Comp. Biochem. Physiol. B-Biochem. Mol. Biol. 94:465-468.

Tiersch TR, RW Chandler, SS Wachtel and S Elias. 1989b. Reference standards for flow cytometry and application in comparative studies of nuclear DNA content. *Cytometry* 10:706-710.

Vanparys C, M Maras, M Lenjou, J Robbens, D van Bockstaele,

R Blust and W de Coen. 2006. Flow cytometric cell cycle analysis allows for rapid screening of estrogenicity in MCF-7 breast cancer cells. *Toxicol. Vitro* 20:1238-1248.

Yoo SK. 2015. *A Shallow Sea Aquaculture*. Haeam Pub, Korea. pp. 1-639.