

RAPD표지인자를 이용한 3종의 가리비에 대한 유전적 유연관계

지희윤, 김윤경, 박영제¹

건양대학교 의학과 생물학교실, ¹서해 수산연구소 증식과

Genetic Relationship among Three Scallop Species, *Chlamys farreri farreri*, *Patinopecten yessoensis* and *Agropecten irradians*, Using RAPD Markers

Hee Youn Chee, Yun Kyoung Kim and Young Je Park¹

Division of Biology, Medical School, Konyang University, Nonsan, 320-711, Korea

¹ West Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Incheon, Korea

ABSTRACT

The genetic relationship was examined with PCR-RAPD markers among three scallop species, *Chlamys farreri farreri*, *Patinopecten yessoensis*, and *Agropecten irradians*. Six primers were selected from 60 primers used to compare PCR-RAPD profiles among species. All primers showed distinct RAPD band patterns between the three species. In *Chlamys farreri farreri*, the morphological characteristics such as shell size and color were considerably different between the two geographical populations. RAPD profile, however, showed that no significant genetic differences were found between the two geographical populations. Polymorphic alleles were observed within a population of each species. Thus, PCR-RAPD markers are useful in identifying scallop species and in understanding scallop population genetic structure.

Keywords: *Chlamys farreri farreri*, *Patinopecten yessoensis*, *Agropecten irradians*, RAPD marker, Genetic relationship.

서 론

가리비류는 전 세계적으로 360 여종이 존재하며, 단백질 공

급원으로서 경제적, 산업적으로 매우 가치가 큰 이매패류에 속한다. 우리나라 연안에 서식하고 있는 가리비류는 약 10여종이 분포하는 것으로 알려져 있는데, 산업적으로 중요한 종은 동해안에 분포하는 가리비과 (*Pectinidae*) 의 큰가리비 (*Patinopecten yessoensis*)와 주문진가리비 (*Chlamys swifti*), 국자가리비 (*Pecten albicans*), 전 연안에 분포하는 비단가리비 (*Chlamys farreri farreri*), 그리고 일월가리비과 (*Amusidae*) 에 속하는 제주도 연안에 분포하는 해가리비 (*Amusium japonicum japonicum*) 등이 있다. 그중 동해안의 큰가리비와 서해안의 비단가리비는 산업화 양식이 진행되고 있고, 수입종인 해만가리비 (*Agropecten irradians*) 도 양식이 추진되고 있다.

한해성인 큰가리비는 껍질의 크기가 대형으로 부채모양을 하고 있으며, 동해안의 수심 15-45 m 되는 미세사질에서 서식한다. 비단가리비는 패각 표면에 돌기가 있으며 수심 5-20 m 정도의 암반이나 자갈 또는 사략질에 서식한다. 특히, 비단가리비는 사는 장소에 따라 패각 표면의 색이 다르게 나타나는데, 강원도 연안산은 암갈색, 흑산도 및 홍도 연안산은 분홍빛의 적색과 자색이 많고, 연평도산은 갈색과 등색을 띠는 경우가 많다.

우리나라의 가리비 연구는 주로 생태와 양식기술의 개발에 한정되어 있을 뿐, 가리비에 대한 체계적인 분류나 종의 동정 그리고 효율적인 자원 관리와 조성을 위한 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 같은 종으로 불리고 있는 종들도 사는 장소에 따라 형태나 색깔이 조금씩 다른 모습을 보이는데, 지금까지 패류에 대한 분류 및 종의 동정에는 주로 패각 표면의 형태와 색 등이 주요형질로 사용되어 왔다 (Yoo, 1976; Kenchington et

Received March 4, 2001 Accepted May 10, 2001
Corresponding author: Chee, Hee Youn
Tel: (82) 41-730-5130 e-mail: hychee@kytis.konyang.ac.kr
1225-3480/17101
© The Malacological Society of Korea

al., 1994). 그러나 이러한 형태적 형질은 종의 유전자의 지배를 받는 양적 형질이어서, 서식지 주변의 환경과 지리적 차이에 따라 표현형이 다르게 나타날 수도 있다. 따라서 이러한 형질은 종내 집단의 지리적 차이를 해명하는 데는 적합하지 않은 형질이어서, 가리비류의 정확한 분류 및 동정과 지리적 집단의 구조와 특성을 해명하기 위해서는 환경의 영향을 받지 않는 종 특이적인 유전적 표식의 개발이 필요하다. 최근에 분자 생물학적 방법을 이용한 DNA 표식들은 동물, 식물, 미생물 등의 분류와 동정 그리고 집단 개체군들의 유전적 특성의 해명을 위해 매우 유용한 것으로 확인되었다 (Avisé, 1994). 수산생물 분야에서도 DNA 표식이나 특정 DNA probe를 개발하여 동정이나 분류에 이용하고 있으며, 개체군의 효율적 자원관리를 위한 집단유전학에 사용하여 각 집단의 유전적 변이성과 지리적 집단 간의 유전적 유연관계도 추정하고 있다 (O'Reilly et al., 1995).

가리비의 경우는 캐나다 대서양 연안에 서식하면서 지리적으로 격리된 *Placopecten magellanicus*의 유전적 변이성과 유전관계를 밝히기 위해 RAPD (random amplified polymorphic DNA) 와 microsatellite DNA를 표식으로 사용하

였고 (Patwary et al., 1994; Herbingner et al., 1998), 우리나라에서는 Park (1997) 이 28S ribosomal DNA 염기서열을 분석하여 한국산 큰가리비와 주문진가리비의 유전적 유연관계를 추정하였으며, Kim and Park (1999) 은 동위효소를 비교하여 한국산 주문진가리비와 비단가리비 그리고 해가리비 등의 유전적 유연관계를 분석하였다.

RAPD는 10개의 염기서열을 가진 random primer에 의해 생성된 PCR 산물을 이용하여 유전자를 분석하는 방법으로서, band의 다형성과 이동도를 바탕으로 종간 및 종내 개체간의 유연관계를 추정할 수 있으며, 짧은 시간 내에 많은 수의 시료를 분석할 수 있는 장점이 있다 (Williams et al., 1990).

본 연구는 우리나라의 중요 양식 대상종인 큰가리비와 비단가리비 그리고 해만가리비의 PCR-RAPD 분석을 통하여 지금까지 형태적 형질로만 동정해 온 가리비류의 종의 동정과 각 종간의 구분 및 비단 가리비의 경우 형태적으로 다른 특성을 보이는 서해안의 두 지리적 집단간의 유전적 유연관계를 규명하고자 했다. 특히 수산생물의 효율적 자원관리와 종 보존을 위해서는 한국산 가리비류에 대한 유전적 특성을 파악해야 하고, 또 다양하고 종 특이적인 DNA 표식의 개발이 절실하기

Table 1. Sample sites of three species of scallop in Korea.

Isolate No.	Species	Location
KY-301	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-318	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-322	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-332	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-333	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-361	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-365	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Heuksando
KY-401	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-403	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-405	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-406	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-408	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-409	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-410	<i>Chlamys farreri farreri</i>	Baengnyeongdo
KY-003	<i>Agropecten irradians</i>	Taeon
KY-005	<i>Agropecten irradians</i>	Taeon
KY-006	<i>Agropecten irradians</i>	Taeon
KY-111	<i>Agropecten irradians</i>	Taeon
KY-502	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Gangneung
KY-503	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Gangneung
KY-504	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Gangneung
KY-505	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Gangneung
KY-506	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Gangneung

때문에 본 연구를 통하여 이들 연구를 위한 RAPD 중 특이성 표지인자로서의 유용성에 대해서 알아보고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 시료

본 연구를 위해서는 우리나라 연안에서 채집한 큰가리비, 비단가리비 및 중국으로부터 이식되어 양식중인 해만가리비를 대상으로 하였다 (Table 1).

2. DNA 추출

채집된 가리비는 실험에 사용할 때까지 -20℃에 냉동 보관하였다. 냉동된 가리비 조직의 일부를 잘라내어 액체질소를 가하여 마쇄하였다. 여기에 적당량의 lysis buffer (50 mM NaCl, 10 mM Tris-HCl, 20 mM EDTA, pH 8.0) 와 SDS 를 첨가하여 37℃에서 10분간 처리한 후에 proteinase K (10 mg/ml) 를 첨가하여 1시간 동안 반응시켰다. 현탁액에 phenol/ chloroform/ isoamyl alcohol (25:24:1) 을 넣고 가볍게 각반하여 상층의 수층부만을 다른 튜브로 옮겼으며 같은 조작을 2회 반복하였다. 수층에 2배의 냉 에탄올을 넣고 가볍게 각반하여 DNA를 추출하였다. 추출된 DNA는 원심분리에 의해 침전시킨 후 다시 70% 에탄올에 용해시켜 DNA를 세척한 후 7000 rpm으로 원심 분리하여 DNA를 침전시켜 회수하였다. 회수된 DNA에 약 0.5 ml의 TE buffer (10 mM Tris-HCl; 1 mM EDTA, pH 8.5) 를 넣고 용해시켜 4℃에 보관하였으며 시료로 사용하였다.

3. Polymerase Chain Reaction (PCR)

PCR 증폭에 사용된 random primer들은 Operon Technology사의 random primer kit들을 사용하였다. PCR 반응을 위한 혼합액의 조성은 template DNA 50 ng, primer 10 pmole, dNTP (Promega, USA) 250 μM, MgCl₂ 1.5 mM, 10X reaction buffer 10 mM, Taq DNA polymerase (Promega, USA) 2.5 unit에 멸균 증류수를 첨가하여 총 반응 용액량이 25 μl 가 되도록 하였다. PCR 기기는 Gene PCR thermal cycler를 사용하였으며, 94℃에서 5분간 pre-denaturation시킨 후, 94℃에서 20초, 36℃에서 30초 그리고 72℃에서 30초의 cycle을 35회 반복하였으며, PCR이 끝나고 72℃에서 5분간 extension하였다. PCR 산물은 TBE (Tris-Borate/EDTA, pH 8.3) buffer를 사용하여 ethidium bromide (EtBr)가 첨가된 1.5% agarose gel에서 100 volt의 전압으로 90분간 전기영동했다. 전기영동이 끝난 gel의 전기영동상은 UV transilluminator로 확인하여 polaroid camera로 촬영하였다.

4. 전기영동 band의 data 분석

전기영동 사진을 종에 따라 band의 위치를 서로 비교하였다. 각 개체에서는 band의 유무에 따라 '1' 과 '0' 으로 표시하는 binominal matrix code를 작성하였다. 이것을 근거로 NTSYS program을 이용하여 집단 개체간의 유연관계를 집괴 분석 하였다 (Rohlf, 1990).

결과 및 고찰

RAPD 실험은 우선 적합한 primer들을 선택하기 위하여 비단가리비, 큰가리비, 해만가리비 각각 한 개의 DNA 시료를 60개의 random primer에 대하여 PCR 증폭 실험을 수행하였다. 실험한 60 개의 primer들 중에서 DNA 증폭이 잘되고 증폭된 DNA band 양상이 선명한 6개의 primer (Table 2) 들을 채택하여 가리비의 PCR-RAPD 분석에 사용하였다. 가리비 DNA의 RAPD 표식을 얻는 PCR의 최적 조건은 시료 DNA량은 50 ng 이하가 되도록 하고, primer 농도는 10 pmole 정도로 조정하여 일반적인 RAPD 조건보다 다소 소량을 사용함으로써 선명한 band를 얻을 수 있었다.

검출된 DNA band의 이동도와 수는 사용한 primer와 가리비의 종류에 따라 다양하였으며, 선택한 6개의 random primer는 큰가리비, 비단가리비 그리고 해만가리비에 대하여 각각 종에 대한 특이적인 band 양상을 나타내어, 가리비의 종을 동정하는데 있어서 이들 random primer 모두가 유용한 표식이 되는 것으로 확인되었다 (Fig. 1, 2, 3). 증폭된 band의 양상을 종합적으로 분석한 집괴분석에서도 동일 종의 개체들끼리 군집을 이루는 형태를 나타내었다 (Fig. 4).

백령도와 흑산도 지역의 비단가리비의 형태를 비교한 결과, 패각의 크기와 색에서 두 지리적 집단 간에는 현저한 차이가 있었다. 같은 서해안산이라도 수집된 모든 개체들에 대해서 백령도산은 흑산도산에 비하여 패각 크기가 크고, 패각 표면 색깔이 암갈색을 띠는 반면, 흑산도산은 패각 크기가 작고 패각 표면은 분홍빛의 적색과 자색을 띠었다. PCR-RAPD 분석에서는, 6개의 random primer들에 의해 증폭된 band들은 비단

Table 2. List of 10-mer random primers used for the RAPD analysis in this study.

Primer	Base sequence (5'→3')
OPA-14	TCTGTGCTGG
OPB-12	CCTTGACGCA
OPB-13	TTCCCCGCT
OPB-19	ACCCCCGAAG
OPC-07	GTCCCGACGA
OPC-18	TGAGTGGGTG

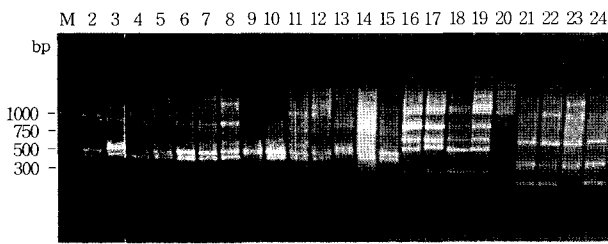


Fig. 1. Polymorphic band patterns of PCR-products. Representative random amplified polymorphic DNA fingerprints using primer OPA-14.

M: Molecular marker; 2: KY301, 3: KY318, 4: KY322, 5: KY332, 6: KY333, 7: KY361, 8: KY365, 9: KY401, 10: KY403, 11: KY405, 12: KY406, 13: KY408, 14: KY409, 15: KY410, 16: KY003, 17: KY005, 18: KY006, 19: KY111, 20: KY502, 21: KY503, 22: KY504, 23: KY505, 24: KY506.

가리비 집단내의 모든 개체들 간에 유사한 band 양상을 보여주었으며 집외 분석에서도 동일 군집을 형성하였다 (Fig. 4). 따라서 백령도와 흑산도에 서식하는 비단가리비는 지리적 위치와 패각 형태의 특성은 달라도 모두 동일한 종이라는 것이 확인되었으며 지리적으로 격리된 비단가리비의 두 집단을 구별할 수 있는 집단내의 특이적인 band는 발견되지 않았다. 비단가리비의 동일 집단내의 개체간의 band 양상의 차이는 band의 유무와 이동도에 있어서 약간의 차이를 보였는데, 이러한 양상은 비단가리비 뿐만 아니라 큰가리비와 해만가리비에서 검출된 각 개체의 band에서도 나타났다. RAPD법에 의한 DNA 표식이 가리비 종 내의 개체 간에서 차이를 보이는 것은 PCR-RAPD 분석법이 집단내의 유전적 변이성을 평가할 수 있는 지표로서 동일종내 집단의 유전적 구조나 변이성 그리고 집단간의 유전적 유연관계를 분석하는데 유용한 표지인자가 될

수 있다는 가능성을 보여주었다. 하지만 집단 유전 분석의 정확한 자료를 얻기 위해서는 각 집단 별로 다수의 시료를 사용해야 하므로 본 실험에서 사용한 각 지역의 7개 시료로는 집단 유전분석을 위한 자료를 제공하기는 부적합하다. 현재 비단가리비의 경우 동해안과 서해안 그리고 남해안의 다수의 시료들에 대하여 집단 유전 연구가 진행 중이다.

서식지에 따른 비단가리비의 패각 색깔과 크기의 차이는 환경적 요인과 유전적 요인의 조합으로 발생되었다고 생각할 수 있다. Beaumont and Zouros (1991) 는 북대서양 Canada 연안에서 지리적으로 격리된 *Placopecten magellanicus* 가리비 집단의 개체를 분석한 결과, 패각 형태에 있어서는 두 집단간에 현저한 차이가 인정되었으나, isozyme 분석에서는 두 집단의 개체가 통계적으로 유의차가 인정되지 않았다. 그러나 PCR-RAPD 분석법에서는 지리적으로 격리된 종내 두 집단간의 band의 분포와 빈도가 다르게 나타났다 (Patwary et al. 1994). 한편 *Agropecten irradians*의 경우는 패각의 색깔을 결정하는 유전인자에 대해 3가지의 대립유전자가 존재하여 황색, 검정색, 주황색으로 패각 표면의 색을 결정하는 것으로 알려져 있다 (Wicz and Castagna, 1988). 비단가리비 집단이 지역에 따라 패각 색깔의 차이를 나타내는 것은 서로 다른 패각 형태적 특성을 지닌 비단가리비 집단들이 각각 독립적으로 백령도와 흑산도에 분포되어 상호 유전자의 교환 없이 생식적으로 격리되면서 새로운 지리적 집단으로 분화되어가고 있을 가능성과 처음에는 유전적으로 동일 집단이 서로 다른 생태적 환경에서 서식하면서 자연선택압에 의하여 두 서식지 간에 형태적으로 다른 집단이 형성될 수 있는 가능성이 있다고 추측할 수 있다. 따라서 우리나라 연안의 비단가리비의 집단 구조에 대한 체계적 연구를 하려면 서해안을 비롯한 남해안과 동해안의 광범위한 가리비 집단의 조사와 각 해안의 접경 지역의 비

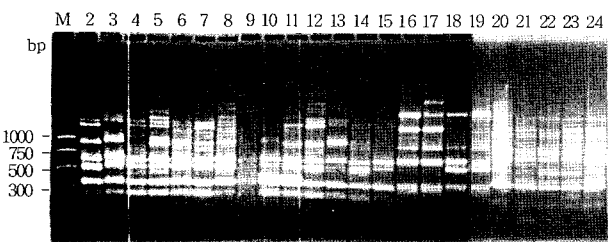


Fig. 2. Polymorphic band patterns of PCR-products. Representative random amplified polymorphic DNA fingerprints using primer OPB-13.

M: Molecular marker; 2: KY301, 3: KY318, 4: KY322, 5: KY332, 6: KY333, 7: KY361, 8: KY365, 9: KY401, 10: KY403, 11: KY405, 12: KY406, 13: KY408, 14: KY409, 15: KY410, 16: KY003, 17: KY005, 18: KY006, 19: KY111, 20: KY502, 21: KY503, 22: KY504, 23: KY505, 24: KY506.

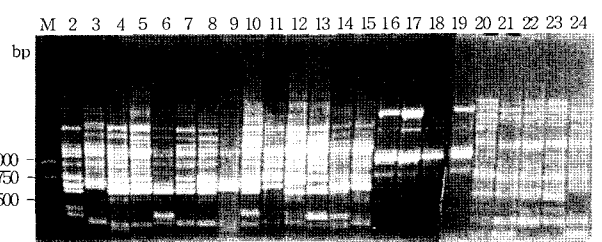


Fig. 3. Polymorphic band patterns of PCR-products. Representative random amplified polymorphic DNA fingerprints using primer OPB-19.

M: Molecular marker; 2: KY301, 3: KY318, 4: KY322, 5: KY332, 6: KY333, 7: KY361, 8: KY365, 9: KY401, 10: KY403, 11: KY405, 12: KY406, 13: KY408, 14: KY409, 15: KY410, 16: KY003, 17: KY005, 18: KY006, 19: KY111, 20: KY502, 21: KY503, 22: KY504, 23: KY505, 24: KY506.

단가리비의 분포를 상세히 연구할 필요가 있다.

가리비 개체 집단의 구별 방법으로는 가리비 패각 형태분석 (Kenchington *et al.*, 1994), isozyme의 다형성 분석 (Beaumont *et al.*, 1991), 미토콘드리아 DNA의 haplotype 분석 (Wilding *et al.*, 1997), RAPD PCR (Patwary *et al.*, 1994) 그리고 microsatellite DNA (Gjetvaj *et al.*, 1997) 에 의한 표식들이 사용되고 있다. 패각의 형태적 특성은 환경적 요인에 의하여 영향을 받는다는 문제점이 있으며, isozyme 분석은 단백질로 표현되는 유전자부위에 대한 변이만을 측정할 수 있는 한계를 가지고 있으므로 보다 정교한 집단간의 유전 분석을 위해서는 DNA 자체의 변이를 분석하는 것이 유용하다.

본 실험에서 사용한 RAPD 방법은 최적 증폭 조건만 확립되면, 사용할 수 있는 DNA 표지인자의 수가 제한이 없고, ribosomal DNA나 특이 유전인자와 같은 특정 DNA 부위만을 분석하는 것이 아니라 가리비 전체 DNA의 일부분을 증폭시켜 분석하므로 광범위한 DNA 분석이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 분류학의 관점에서 RAPD PCR 표지인자는 종간의 유전적 유사성을 비교할 수 있으나 molecular clock으로서의 분자 진화과정에 대한 정보는 제공하지 못하므로 RAPD PCR에 의해 검출된 band를 가지고 종이나 속간의 유전적 계통 분류를 하는 것은 올바른 계통관계를 반영하지 못할 위험성이 크다. 동물의 분자 진화 과정의 시간을 반영하는 것으로 알려진 미토콘드리아 DNA의 비교 등을 통한 방법 등이 가리비의 계통 분류를 위해서는 더욱 체계적인 방법이 되리라 사료된다. 따라서 앞으로 우리나라 연안에 서식하는 가리비 종류들에 대한 계통 분류를 미토콘드리아의 DNA 염기배열 분석을 통하여 체계적으로 연구 수행할 필요가 있으며, 가리비 종류의 동정이나 집단 구조의 유전 분석을 위해서는 본 실험에서 사용한 PCR-RAPD과 더불어 Gjetvaj *et al.* (1997) 이 *Placopecten magelanicus*에 대한 특정 microsatellite 표식을 개발하여 집단의 유전적 구조를 조사한 것처럼 각 가리비 종류에 대한 집단간의 유전적 구조 분석에 사용할 수 있는 microsatellite의 특이적 primer의 개발이 요구된다.

본 연구 결과에서 큰가리비와 비단가리비의 PCR-RAPD 표식들은 한국 연안에 서식하는 가리비 고유종에 대한 유전적 특이성을 규명하고, 우리나라 연안역의 가리비 종 보존의 측면에서 매우 유용한 표식이 될 수 있는 가능성을 제시할 수 있을 것이다. 또한 이러한 분자유전 표식의 확보는 친어계통의 성장률 차이나 사망률과 같은 특성의 차이를 규명하여 가리비 양식 산업에서 폐사에 강한 우수형질의 가리비 품종 개발에 필요한 자료가 될 수 있을 것이다.

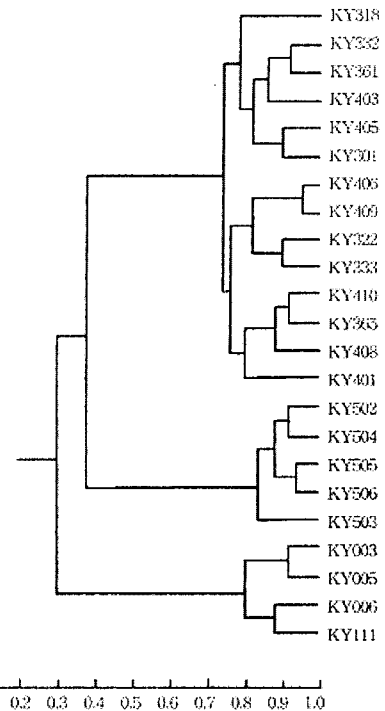


Fig. 4. Dendrogram showing genetic relatedness among population from three scallop species.

요 약

PCR-RAPD 표지인자를 이용하여 비단가리비와 큰가리비 그리고 해만가리비의 유전적 유연관계를 조사하였다. 60개의 random primer중 6개의 primer를 선택하여 시료들의 RAPD 양상을 비교하였다. 모든 primer들은 서로 다른 속의 가리비 종류에 대하여 특이적 RAPD band 형태를 나타내었다. 비단가리비에서는 패각 크기와 색깔의 특성이 두 집단간의 현저한 차이를 나타내었다. 그러나 RAPD 양상은 두 지리적 집단간에 유전적 차이를 보이지 않았다. 다형성 RAPD 대립자들이 각 가리비종의 동일 집단에서 관찰되었다. 그러므로 RAPD 표지인자는 가리비를 동정하고 가리비 집단 구조를 연구하는데 유용하다고 사료된다.

REFERENCES

Avise, J.C. (1994) *Molecular Markers, Natural History and Evolution*. 511 pp. Chapman and Hall, New York.
 Beaumont, A.R. and Zouros, E. (1991) *Genetics of scallops*. pp. 585-623. In; *Scallops: Biology, Ecology and Aquaculture*. (ed. by Shumway, S.E.), Elsevier, New York.
 Gjetvaj, B., Ball, R.M., Burbridge, S., Bird, C.J.,

Genetic Relationship among Three Scallop Species Using RAPD Markers

- Kennington, E. and Zouros, E. (1997) Amounts of polymorphism at microsatellite loci in the sea scallop *Placopecten magellanicus*. *J. Shellfish Res.* **16** (2): 547-553.
- Herbinger C.M., Vercaemer, B.M., Gjetvaj, B. and O'Dor, R.K. (1998) Absence of genetic differentiation among geographically close sea scallop (*Placopecten magellanicus* G.) beds with cDNA and microsatellite markers. *J. Shellfish Res.* **17** (1): 117-122.
- Kennington, E.L. and Full, Q.E. (1994) Fourier analysis of scallop shells (*Placopecten magellanicus*) in determining population structure. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* **51**: 348-356.
- Kim, J.J. and Park, G.M. (1999) Systematic study on the family Pectinidae (Bivalvia) in Korea. Allozyme variability. *Kor. J. Malacol.* **15**: 63-69. [in Korean]
- O'Reilly, P. and Wright, J.M. (1995) The evolving technology of DNA fingerprinting and its application to fisheries and aquaculture. *J. Fish Biol.* **47** (suppl. A): 29-55.
- Park, G.M. (1997) Genetic characterization based on partial 28S rRNA gene sequence of Korean two scallops. *Kor. J. Malacol.* **13**(1): 1-7.
- Patwary, M.U., Kennington, E.L., Bird, C.J. and Zouros, E. (1994) The use of random amplified polymorphic DNA markers in genetic studies of the sea scallop *Placopecten magellanicus* (GMELIN, 1791). *J. Shellfish Res.*, **13**(2): 547-553.
- Rohlf, F.J. (1990) NTSYS-pc, Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System. State Univ. of New York, Stony Brook.
- Wicz, A. and Castagna, M. (1988) Variation in shell coloration of the *Agropecten irradians* by three alleles. *J. Hered.* **79**: 125-133.
- Wilding, C.S., Beaumont, A.R. and Latchford, J.W. (1997) Mitochondrial DNA variation in the scallop *Pecten maximus* (L.) assessed by a PCR-RFLP method. *J. Hered.*, **79**: 178-189.
- Williams, J.G.K., Kubelik, A.R., Livak, K.J., Rafalski, J.A. and Tingey, S.V. (1990). DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucl. Acids Res.*, **18**: 6231-6235.
- Yoo, J.S. (1976). Korean Shells in Colour. Il Ji Sa Publish. Co., Seoul. [in Korean]