

## 한국산 재첩속(*Corbicula*) 이매패류의 계통분류학적 연구

이준상·김종범\*

(강원대학교 생물학과; \*인하대학교 생물학과)

### 적 요

남한의 15개 지역에서 채집된 재첩속(*Corbicula*) 4종간의 유전적 분화 수준 및 계통 유연관계를 구명하고자 전기영동을 이용한 동위효소 분석을 실시하였다. 이들 4종 중 담수산인 *C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata* 3종의 종내 집단간 유전적 근연치는  $S=0.970$  이상( $0.970\sim 1.000$ )으로 매우 가깝게 나타났으나 기수산인 *C. japonica*의 집단들은 *Gp-1* 유전자에서 뚜렷한 대립인자 차이를 가지는 2개의 유전적 group으로 분리( $S=0.873$ )되어 이에 대한 추가적인 분류학적 검토가 요구되었다. 각 종간의 유전적 근연치는 *C. fluminea*와 *C. leana*가  $S=0.689$ , *C. fluminea*와 *C. colorata*는  $S=0.594$  그리고 *C. leana*와 *C. colorata*는  $S=0.737$ 로 나타나 이들 담수산 3종간의 유전적 차이는 매우 뚜렷하였다. 특히, 기수산인 *C. japonica*는 담수산 3종과의 평균 유전적 근연치가  $\bar{S}=0.370$ 으로 가장 먼 유전적 근연관계를 나타내었다.

Key words: *Corbicula* spp., electrophoresis, isozyme, genetic similarity, freshwater, brackishwater.

### 서 론

재첩속(*Corbicula*)의 이매패류는 호수 및 하천의 담수 또는 기수에 서식하며 형태적 변이가 매우 심하다(Britton and Morton, 1986; Morton, 1987). 또한 발생학적으로 난생 또는 난태생을 하며(Fuziwara, 1975, 1978; Kwon et al, 1987), 세포학적으로

\* 본 연구는 한국학술진흥재단의 '96 국내 박사후 연수지원(이준상)에 의한 것임.

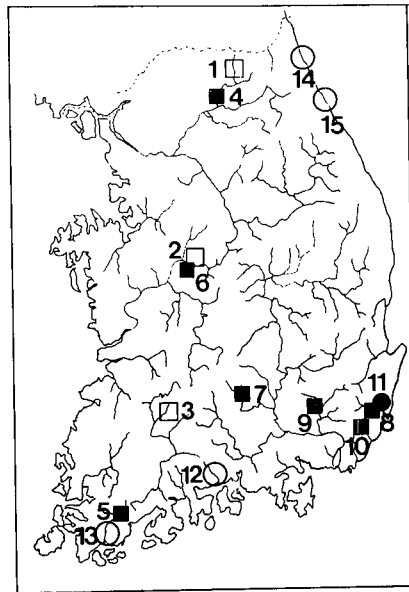
로도 이배체 또는 삼배체 현상을 보이는(Okamoto and Arimoto, 1986; Park et al, 1989) 등 다양한 생물학적 특징을 보이는 분류군이다.

Morton(1979)은 아시아계의 모든 *Corbicula*속 이매패류를 담수종(*C. fluminea*)과 기수종(*C. fluminalis*) 2종으로 분류하였으나 Habe(1990)는 일본산 *Corbicula*속 이매패류를 7종으로 기재하면서 Morton(1979)의 분류방식에 이의를 제기 한 바 있다. 국내에서는 Martens(1905)가 4종을 기록한 이래 Kwon(1990)이 6종, Choe와 Yoon(1997)이 9종으로 기재하고 있다. *Corbicula* 속의 이매패류는 중간 형태가 유사하고 종내 형태적 변이가 다양하여 현재까지도 분류학적 논란의 대상이 되고있다. 본 연구는 국내에서 채집되어 서식이 확인된 *C. fluminea* (Müller)(재첩), *C. leana* Prime(참재첩), *C. colorata* (Martens)(공주재첩), *C. japonica* Prime(일본재첩) 등 *Corbicula*속 4종을 대상으로 전기영동을 이용한 isozyme 분석을 통해 이들종의 정확한 분류학적 위치와 계통유연관계를 정립하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

한국산 재첩속 패류의 전기영동을 이용한 isozyme 분석을 위해 전국 15개 지역의 호수 및 하천(Fig.1, Table 1)에서 조개잡이용 collector(길이:120cm, 밀면:60cm, 높이:30cm)를 사용하여 채집하였다.



**Fig. 1.** Collection sites of *C. fluminea*(□), *C. leana*(■), *C. colorata*(●), and *C. japonica*(○).

1.Uiam lake, 2.Musim stream, 3.Somjin river, 4.North Han river, 5.Tamjin river, 6.Musim stream, 7.Hwang river, 8.Taehwa river, 9.Miryang river, 10.Hoeya river, 11.Taehwa river, 12.Somjin river, 13. Tamjin river, 14.Songji lake, 15.Mae lake.

**Table 1.** Collection localities, character of habitats, collection dates and sample sizes of bivalve specimens of the genus *Corbicula* employed in this study.

Species	Collection localities	Habitat	Date	No. of specimens
<i>C. fluminea</i>				
	1.Kangwon-do,Chuncheon-Shi (Uiam lake)	Freshwater	Aug. 6,1996	5
	2.Chungcheongbuk-do,Chongwon-gun,Namil-myun,Koun-ri (Musim stream)	Freshwater	Sep. 17,1996	5
	3.Jeollanam-do,Koksong-gun,Koksong-eup (Somjin river)	Freshwater	Sep. 15,1996	5
<i>C. leana</i>				
	4.Kyonggi-do,Kapyong-gun,Bokchang-ri (North Han river)	Freshwater	July 3,1996	5
	5.Jeollanam-do,Changhung-gun,Sunji-ri (Tamjin river)	Freshwater	Aug. 27,1996	5
	6.Chungcheongbuk-do,Chongwon-gun,Namil-myun,Koun-ri (Musim stream)	Freshwater	Sep. 17,1996	5
	7.Kyongssangnam-do,Hapchon-gun,Yongju-ri (Hwang river)	Freshwater	Oct. 2,1996	5
	8.Kyongssangnam-do,Ulsan-shi (Taehwa river)	Freshwater	Oct. 10,1996	5
	9.Kyongssangnam-do,Miryang-shi (Miryang river)	Freshwater	Oct. 19,1996	5
	10.Kyongssangnam-do,Ulsan-shi (Hoeya river)	Freshwater	Oct. 4,1996	5
<i>C. colorata</i>				
	11.Kyongssangnam-do,Ulsan-shi (Taehwa river)	Freshwater	Oct. 3,1996	20
<i>C. japonica</i>				
	12.Kyongssangnam-do,Hadong-gun,Kopo-ri (Somjin river)	Brackishwater	Aug. 28,1996	20
	13.Jeollanam-do,Kangjin-gun,Baekgumpo (Tamjin river)	Brackishwater	Aug. 27,1996	20
	14.Kangwon-do,Koseong-gun,Chukwang-myun (Songji lake)	Brackishwater	July 20,1996	5
	15.Kangwon-do, Yangyang-gun hyunnam-myun (Mae lake)	Brackishwater	July 31,1996	5

채집된 개체는 실험실까지 살아 있는 상태로 운반하였고, 기포 발생기를 설치한 수조에 72시간 방치하여 소화관 내의 내용물을 제거한 후 냉동기(-72°C)에 보관하여 전기영동용 재료로 사용하였다. 예비실험 결과 *C. fluminea*와 *C. leana*는 각 집단간 종내 변이를 나타내는 뚜렷한 현상이 나타나지 않아 각 집단별 5개체를 사용하였고 *C. colorata*와 *C. japonica*는 20개체를 실험 재료로 사용하였다. 채집된 개체들은 전기영동 전에 Kwon(1990)의 분류방법에 따라 동정되었다.

## 2. 방법

냉동기(-72°C)에 보관된 재료는 전기영동용 시료로 사용하기 위해 조직과 grinding buffer(D.W.)의 비율(V/W)을 1:0.3 정도로 하여 glass homogenizer(B. Braun Co.)로 마쇄한 후, Sorvall RC-5B(rotor SS-34)를 이용, 4°C에서 18,000rpm(39,000g)으로 30

분간 저온 원심분리하여 지방층을 제거한 상층액만을 취하였다. 근육을 적출한 후의 패각은 형태 관찰을 위해 강원대학교 동물분류학 실험실에 보관하였다. 동위효소 분석을 위한 전기영동은 Yang 등(1991)과 Buth(1986)의 방법에 따라 수평 전분 전기영동법(horizontal starch gel electrophoresis)을 실시하였고 gel은 Sigma starch (S-4501)를 11.2%의 농도로 사용하였다. 전기영동으로 분석한 동위효소 및 비효소성 단백질의 종류와 buffer system은 Table 2와 같으며 효소별 염색 방법은 Selander 등(1971)과 Buth(1986)의 방법을 다소 변형하여 실시하였다.

**Table 2.** Buffer systems and enzymes for electrophoresis

Buffer system	E.C.No.*	Enzyme	Condition
T.C.II	2.6.1.1	Glutamate oxalate transaminase ( <i>Got</i> )	100V/3hrs
	1.1.1.8	Glycerol-3-phosphate dehydrogenase ( <i>Gpdh</i> )	
	1.1.1.37	Malate dehydrogenase ( <i>Mdh</i> )	
	1.1.1.4	Malic enzyme ( <i>Me</i> )	
	4.2.1.3	Aconitate hydratase ( <i>Aco-1,2</i> )	
	1.1.1.43	6-Phosphogluconate dehydrogenase ( <i>6Pgd</i> )	
	2.7.4.3	Adenylate kinase ( <i>Ak</i> )	
LiOH	-	Esterase ( <i>Est-1,2</i> )	250V/4hrs
Poulik	3.4.11.-	Leucine aminopeptidase ( <i>Lap-1,2</i> )	250V/4hrs
	5.3.1.9	Phosphoglucose isomerase ( <i>Pgi</i> )	
	3.4.11.11	Peptidase ( <i>Pept-1,2</i> )	
T.M.	1.1.1.204	Xanthine dehydrogenase ( <i>Xdh</i> )	100V/4hrs
	N.S.**	General protein ( <i>Gp-1,2</i> )	
T.E.B.	2.7.5.1	Phosphoglucomutase ( <i>Pgm</i> )	250V/3hrs
	1.15.1.1	Indophenol oxidase ( <i>Ipo</i> )	

T.C. II ; Continuous tris citrate II, pH 8.0, Poulik ; Discontinuous tris citrate, pH 8.2, LiOH ; Lithium hydroxide, pH 8.1, T.M. ; Tris maleic EDTA, pH 7.4, T.E.B. ; Tris EDTA Borate, pH 8.2, \* E.C.No. ; Enzyme commission number, \*\* N.S.; Non specific

전기영동 후 얻어진 효소 및 단백질의 전기영동상(electromorph)을 이용하여 각 개체별 유전자형을 확인하였다. 각 종 및 집단별 유전자형을 이용하여 BIOSYS program(Swofford and Selander, 1981)으로 각 집단의 대립인자 빈도(allele frequency), 이형접합자 빈도(heterozygosity)를 구하여 집단 및 종간의 유전적 변이

를 조사하였다. 각 집단 및 중간 유전적 근연관계는 유전자 빈도를 토대로 하여 Rogers(1972)의 유전적 근연치(S)와 Nei(1972)의 유전적차이치(D)를 구하였고 Rogers(1972)의 유전적 근연치(S)를 토대로 Sneath와 Sokal(1973)의 방법에 따라 UPGMA(Unweighted pair group method with arithmetic averaging) 방법으로 dendrogram을 작성하였다. 또한 Nei(1972)의 D값을 이용하여 Nei(1975)의 분화연대 산출공식인  $t=5 \times 10^6 D$ 에 따라 각 종의 분화연대를 추정하였다.

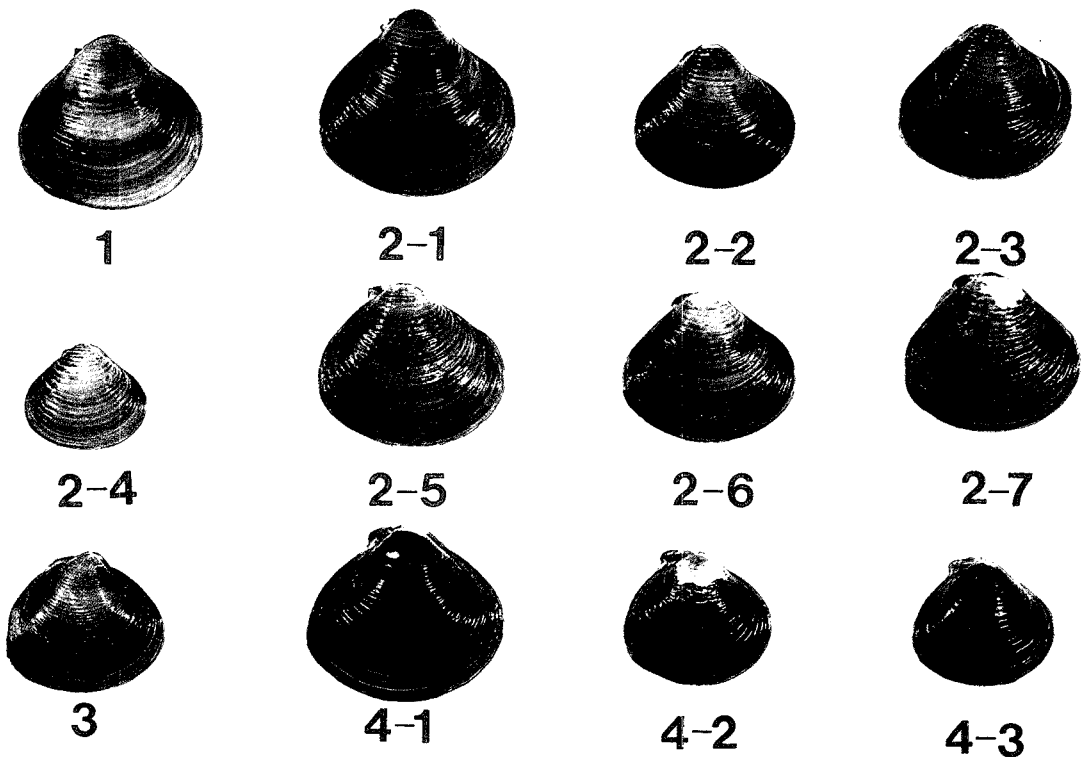


Fig. 2. Shell features of the genus *Corbicula*. ( ): Collected localities.

1. *C. fluminea* (Uiam lake), 2. *C. leana* (2-1. North Han river, 2-2. Tamjin river, 2-3. Musim stream, 2-4. Hwang river, 2-5. Taehwa river, 2-6. Miryang river, 2-7. Hoeya river), 3. *C. colorata*, 4. *C. japonica* (4-1. Mae lake, 4-2. Tamjin river, 4-3. Somjin river).

### 결 과

전국 15개 지역의 호수 및 하천에서 채집된 4종의 재첩속 패류 120개체의 전기영동 결과 15개의 효소 및 비효소성 단백질에서 총 20개의 유전자를 검출하였고, 각 유전자별로 대립인자 빈도를 구한 결과는 Table 3과 같다.

**Table 3.** Allele frequencies of polymorphic loci on 15 populations of four species in the genus *Corbicula*. Numbers refer to the collection localities of 4 species listed in Table 1.

Locus allele	<i>C. fluminea</i>			<i>C. leana</i>					<i>C. colorata</i>		<i>C. japonica</i>				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Pgm</i> a b c d	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
												.30	.10	.20	.10
												.70	.87	.80	.90
													.03		
<i>Pept-1</i> a b c				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	1.00	1.00	1.00									1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Pept-2</i> a b						.10					.50	.03	.07	.30	.20
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.90	1.00	1.00	1.00	1.00	.50	.97	.93	.70	.80
<i>Pgi</i> a b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.90	1.00	1.00	1.00	1.00	.50	1.00	1.00	1.00	1.00
						.10					.50				
<i>Lap-1</i> a b c d				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
	1.00	1.00	1.00									1.00	1.00	.90	.90
														.10	.10
<i>Lap-2</i> a b c d											1.00				
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			.10	.50	.40
												1.00	.90	.50	.60
<i>Me</i> a b c	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
												.97	1.00	1.00	1.00
												.03			
<i>Aco-1</i> a b	1.00	1.00	1.00								1.00				
				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Aco-2</i> a b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
												1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Gpdh</i> a b												1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
<i>Mdh</i> a b c	.30	.30	.20	.20	.20	.10	.50				.35				
	.70	.70	.80	.80	.80	.90	.50	1.00	1.00	1.00	.65	.12	.07	.10	.10
												.88	.93	.90	.90

Table 3. Continued

Locus allele	<i>C. fluminea</i>			<i>C. leana</i>					<i>C. colorata</i>			<i>C. japonica</i>				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<i>Est-1</i>	a											.03				
	b										.02					
	c	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.97		.50	.30	
	d												.39	.27	.20	.60
	e												.43	.22		
	f												.15	.51	.30	.10
<i>Est-2</i>	a	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00						
	b										1.00					
	c											.10				
	d											.90	1.00	1.00	1.00	
<i>Xdh</i>	a				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					
	b	1.00	1.00	1.00								.75	.73	.70	.80	
	c											.25	.27	.30	.20	
<i>6pgd</i>	a										.05					
	b				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	.68	.95	1.00	.90	
	c	1.00	1.00	1.00								.27	.05		.10	
<i>Gp-1</i>	a	1.00	1.00	1.00												
	b				1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				1.00	1.00	
	c										1.00	1.00	1.00			
<i>Gp-2</i>	a											1.00	1.00	1.00	1.00	
	b	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00					

20개의 유전자 중 *Ipo*, *Got*, *Ak*는 전 집단 동일한 대립인자로 변이가 없었으나, 나머지 17개의 유전자는 중간 또는 집단간 대립인자 구성 및 빈도상의 변이가 있었다. 그 중 *Pgm*, *Pept-1*, *Lap-1,2*, *Me*, *Aco-2*, *Gpdh*, *Est-2*, *Gp-2* 등 9개의 유전자는 담수산 3종(*C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata*) 사이에 차이가 없었으나 기수산인 *C. japonica*와는 뚜렷한 차이를 보였다. *Gp-1*은 담수산 3종이 모두 별개의 대립인자로 구성되어 있어 이들을 구분할 수 있는 유전적 표식인자(genetic marker)로 나타났다. 또한 *Pept-1*, *Lap-1*, *Aco-1*, *Xdh*, *6pgd*, *Gp-1* 등의 유전자는 *C. fluminea*와 *C. leana*를 구분할 수 있는 표식인자이었으며 *Lap-2*, *Aco-1*, *Est-2*, *Gp-1* 등의 유전자는 *C. leana*와 *C. colorata*를 구분할 수 있는 표식인자로 나타났다. 조사된 4종 중 담수산 3종의 집단간에서는 뚜렷한 유전적 구성의 차이가 없었으나 기수산인 *C. japonica*의 4 집단에서는 집단간 차이가 확인되었다(Table 3). *C. japonica*는 *Gp-1*에서 송지호와 매호 집단은 *Gp-1b*이었고 섬진강과 탐진강 집단은 *Gp-1c*로서 유전적차이를 나타냈다.

Table 3의 대립인자 빈도를 이용하여 각 종의 평균 유전적 변이정도를 산출한 결과(Table 4), 조사된 4종 중 *C. leana* 7집단이 평균대립인자수  $\bar{A}=1.00$ , 평균다형형빈도  $\bar{P}=4.2\%$ (0~15.0%), 직접관찰된 이형접합자빈도  $\bar{H}_o=0.017$ (0.000~0.050), 유전자빈도에 의해 기대되는 이형접합자빈도  $\bar{H}_e=0.020$ (0.000~0.030)으로 나타나 가장 낮은 유전적 변이정도를 보였으며 *C. fluminea* 3 ( $\bar{A}=1.00$ ,  $\bar{P}=5.0\%$ ,  $\bar{H}_o=0.020$ ,  $H_e=0.021$ ) 또한 *C. japonica* 4집단( $\bar{A}=1.48$ ,  $\bar{P}=33.0\%$ ,  $\bar{H}_o=0.112$ ,  $\bar{H}_e=0.111$ )이나 *C. colorata*( $\bar{A}=1.20$ ,  $\bar{P}=15.0\%$ ,  $\bar{H}_o=0.138$ ,  $\bar{H}_e=0.077$ )에 비하여 현저히 낮은 유전적 변이정도를 나타내었다. 한편, *C. colorata*의 *Pept-2*와 *Pgi* 유전자는 조사된 모든 개체가 이형접합자로 구성되어있는 특징을 보여(Table 3),  $H_o$  값이 0.138로  $H_e$ 값(0.077)에 비하여 2배 가량 높게 나타났는데 이는 본종이 3배체일 가능성을 시사하는 것이다.

**Table 4.** Average genetic variations of four species in the genus *Corbicula*.

Species	No. of specimens (N)	Mean no. of alleles per locus (A)	Polymorphism per locus (%P)	Mean heterozygosity	
				Direct ( $H_o$ )	Expect ( $H_e$ )
<i>C. fluminea</i>					
1. Uiam lake	5	1.0	5.0	.030	.023
2. Musim stream	5	1.0	5.0	.030	.023
3. Somjin river	5	1.0	5.0	.000	.018
Average		1.0	5.0	.020	.021
<i>C. leana</i>					
4. North Han river	5	1.0	5.0	.020	.018
5. Tamjin river	5	1.0	5.0	.020	.018
6. Musim stream	5	1.0	15.0	.030	.030
7. Hwang river	5	1.0	5.0	.050	.028
8. Taehwa river	5	1.0	0	.000	.000
9. Miryang river	5	1.0	0	.000	.000
10. Hoeya river	5	1.0	0	.000	.000
Average		1.0	4.2	.017	.020
<i>C. colorata</i>					
11. Taehwa river	20	1.2	15.0	.138	.077
<i>C. japonica</i>					
12. Somjin river	20	1.5	36.4	.149	.142
13. Tamjin river	20	1.5	31.8	.098	.084
14. Songji lake	5	1.4	31.8	.127	.123
15. Mae lake	5	1.5	31.8	.073	.093
Average		1.48	33.0	.112	.111



재첩속 패류의 집단간 및 종간의 유전적 근연관계를 알아보기 위하여 각 집단의 유전자별 대립인자빈도(Table 3)를 이용하여 Rogers(1972)의 유전적 근연치(S)와 Nei(1972)의 유전적 차이치(D)를 구하여 비교하였다(Table 5).

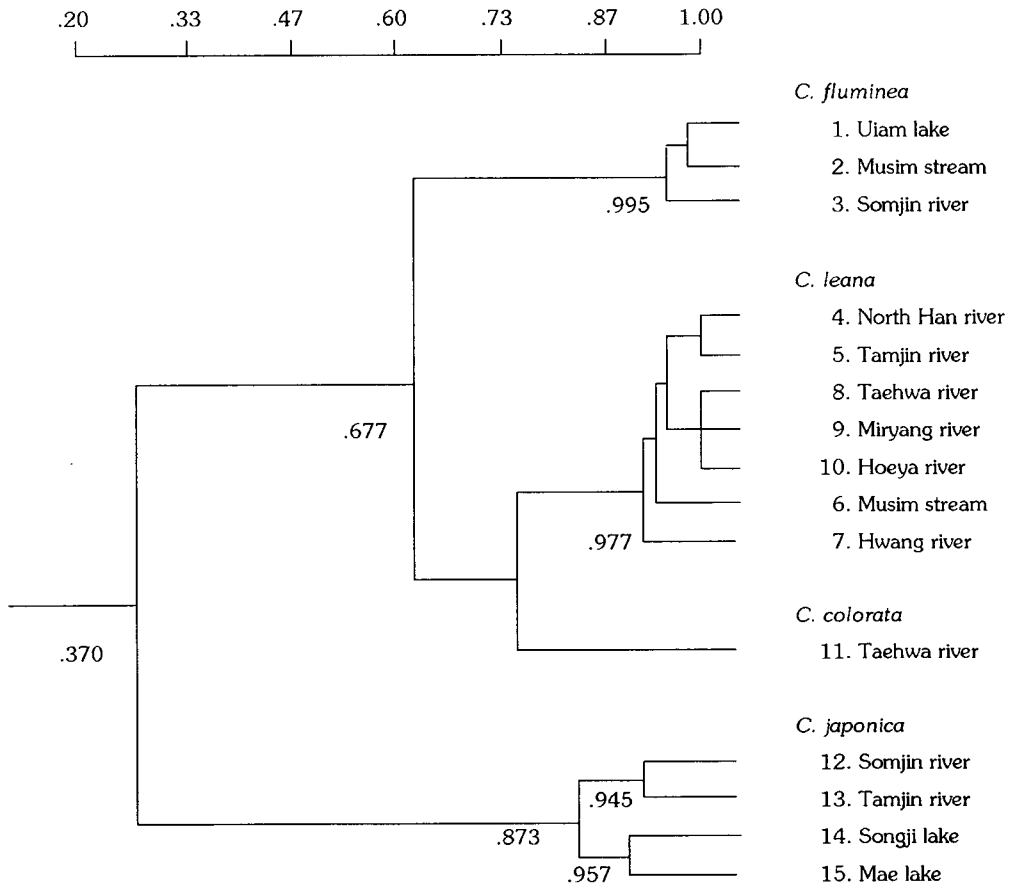
**Table 5.** Rogers' (1972) genetic similarity coefficients (above diagonal) and Nei's (1972) genetic distance coefficients (below diagonal) for 15 populations of four species in the genus *Corbicula*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b><i>C. fluminea</i></b>															
1 Uiam lake	-	1.000	.995	.695	.695	.680	.690	.685	.685	.685	.596	.330	.308	.322	.324
2 Musim stream	.000	-	.995	.695	.695	.680	.690	.685	.685	.685	.596	.330	.308	.322	.324
3 Somjin river	.001	.001	-	.700	.700	.685	.685	.690	.690	.690	.591	.329	.307	.320	.322
<b><i>C. leana</i></b>															
4 North Han river	.366	.366	.364	-	1.000	.985	.985	.990	.990	.990	.741	.366	.371	.441	.426
5 Tamjin river	.366	.366	.364	.000	-	.985	.985	.990	.990	.990	.741	.366	.371	.441	.426
6 Musim stream	.372	.372	.368	.002	.002	-	.970	.985	.985	.985	.746	.357	.366	.439	.425
7 Hwang river	.370	.370	.372	.005	.005	.009	-	.975	.975	.975	.741	.368	.373	.443	.428
8 Taehwa river	.368	.368	.363	.002	.002	.001	.013	-	1.000	1.000	.731	.362	.366	.437	.422
9 Miryang river	.368	.368	.363	.002	.002	.001	.013	.000	-	1.000	.731	.362	.366	.437	.422
10 Hoeya river	.368	.368	.363	.002	.002	.001	.013	.000	.000	-	.731	.362	.366	.437	.422
<b><i>C. colorata</i></b>															
11 Taehwa river	.501	.501	.501	.270	.270	.262	.272	.274	.274	.274	-	.321	.331	.323	.299
<b><i>C. japonica</i></b>															
12 Somjin river	1.115	1.115	1.115	1.014	1.014	1.036	1.015	1.019	1.019	1.019	1.142	-	.946	.851	.866
13 Tamjin river	1.188	1.188	1.190	1.004	1.004	1.024	1.003	1.010	1.010	1.010	1.118	.012	-	.883	.892
14 Songji lake	1.128	1.128	1.128	.803	.803	.813	.802	.809	.809	.809	1.172	.102	.082	-	.958
15 Mae lake	1.118	1.118	1.119	.835	.835	.848	.834	.841	.841	.841	1.234	.086	.077	.010	-

담수산인 *C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata* 3종의 종내 집단간 유전적 근연치는  $S=0.970$  이상( $0.970\sim 1.000$ )으로 기존에 보고된 해산 이매패(*Tridacna maxima*)의 집단간 유전적 근연치( $S=0.970$ ; Ayala, 1975) 보다 높게 나타났다. 그러나 *Gp-1* 유전자에서 뚜렷한 대립인자 차이를 보인(Table 3), 기수산 *C. japonica*의 2 group은  $S=0.873$ 의 비교적 큰 유전적 차이를 나타냈다. *C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata* 등 담수산 3종에서 각 종간의 유전적 근연치는 *C. fluminea*와 *C. leana* 간에  $S=0.689$  이고 *C. fluminea*와 *C. colorata* 간에는  $S=0.594$  이며, 또한 *C. leana*와 *C. colorata* 간에는  $S=0.737$ 로 일반적인 무척추동물군의 종간에서 나타나는 유전적 분화수준( $S=0.47\sim 0.78$ ; Avise, 1976)을 나타내었으며, 특히, 기수산 종인 *C. japonica*는 이들 담수산 3종(*C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata*)과의 평균 유전적 근연치가  $S=0.370$ 으로 가장 큰 유전적 차이를 보였다.

Rogers(1972)의 유전적 근연치(S)를 토대로 UPGMA방법에 따라 dendrogram을 작성하였다(Fig. 3).

**Fig. 3.** A dendrogram of 15 populations in four species of the genus *Corbicula* based on Rogers' genetic similarity coefficients (1972).



그 결과 각 종간은 뚜렷한 유전적 차이(S=0.737~0.370)로 유집되어 Kwon(1990)의 형태적 분류체계와 잘 일치하였으나 이들 중 기수산 종인 *C. japonica*는 담수산 3종간의 유전적 차이보다 현저한 차이를 보였다(S=0.370). *C. japonica*의 4집단은 섬진강과 탐진강 group과 송지호와 매호 group으로 유집되었다.

### 고찰

재첩속의 패류는 형태적으로 다양한 지리적 변이를 보이므로 이들을 분류하기 위

해서는 형태분석 외에도 행동학, 생태학, 생리학, 생화학, 유전학적 연구가 병행되어야만 한다(Morton, 1979). 한국산 재첩속 패류는 종간의 형태가 유사하고 종내 변이가 다양하여 외부형태만을 이용한 분류는 많은 어려움이 있다. 실제로 본 연구를 위한 종 동정과정에서 Kwon(1990)과 Kwon 등(1993)에 의하여 경상남도 하동의 기수역에서 채집되어 *C. colorata*(Martens, 1905)로 동정되었던 종은 원기재와는 다른 형태적 특징을 보였고 원기재시의 서식지와도 차이가 있으며 본 연구의 기수산 *C. japonica*와 가장 유사한 형태적, 유전적 근연관계를 나타내어 잠정적으로 *C. japonica*로 동정하여 분석하였다.

Kwon(1990)의 형태 분류방법을 기초로 동정된 재첩속 4종의 유전자 분석 결과, *C. fluminea*, *C. leana*, *C. colorata* 등 이들 담수산 3종의 종내 집단간 유전적 근연치(S)는  $S=0.970\sim 1.000$ 으로 무척추동물의 일반적인 종내 집단간 유전적 분화수준(Avise, 1976)을 나타냈다. 이들 중 *C. leana*는 형태변이가 매우 다양하여 국내에서도 많은 종명(*C. fluminea producta* Martens, *C. leana awajiens* Pilsbry, *C. vicina* Heude, *C. producta* Martens)으로 보고된 바 있으나, 본 연구 결과 전국에서 채집되어 분석된 7집단간의 유전적 근연치가 모두  $S=0.970$  이상으로 나타나는 점으로 보아 이들을 모두 *C. leana* 단일종으로 정리한 Kwon(1990)의 보고가 타당하다고 사료된다. 한편, 기수산인 *C. japonica*는 *Gp-1*에서 송지호와 매호 집단이 모두 'b' 대립인자로 구성되어 있는 반면에 섬진강과 탐진강 집단은 모두 'c' 대립인자로 구성되어 있는 2개의 유전적 group으로 구별되어( $S=0.873$ ) 분류학적으로 주목되었다. 특히, 한때 *C. colorata*로 잘못 동정되었다가 본 연구에서 잠정적으로 *C. japonica*로 동정된 섬진강 집단은 유전적 동일 group인 탐진강 집단과 함께 기존의 *C. japonica*(송지호, 매호 집단)와는 별개의 분류군으로 사료되므로 추후 추가적인 분류학적 검토가 요구된다. 한편, 울산시 태화강에서 채집된 *C. colorata*의 *Pept-2*, *Pgi* 유전자는 모든 개체가 이형 접합자로 구성되어 있는 3배체 생물의 특징을 나타내었는데 본종과 가장 유사한 형태적 특징을 가진 *C. papyracea*가  $3n=54$ 의 3배체 생물임이 밝혀진 바 있어(Park et al., 1989) 본 종에대한 추가적인 세포학적 연구도 요구되었다.

본 연구를 통해 나타난 재첩속 4종 15집단의 평균 다형형빈도(P)와 이형접합자 빈도( $H_o$ ,  $H_e$ )는  $P=13.3\%$ ,  $H_o=0.053$ ,  $H_e=0.049$ 로 산출되어 Selander(1976)의 육산 패류( $P=43.7\%$ ,  $H_o=0.150$ ) 보다 낮은 유전적변이 정도를 보였다. 특히 자웅동체로 알려진(Kwon et al, 1987; Fuziwara, 1975) *C. fluminea*( $H_o=0.020$ )와 *C. leana*( $H_o=0.017$ )는 *C. colorata*( $H_o=0.138$ )나 *C. japonica*( $H_o=0.112$ )에 비하여 현저히 낮은 이형 접합자빈도를 보이고 있는데, 이는 이들의 생식형태가 자가수정을 하는데 기인된 것으로 사료된다. 실제로 Stephen 등(1991)은 홍콩에 서식하는 *C. fluminea*의 평균 이형 접합자빈도가 아주 낮은 값( $H_o=0.1\%$ )을 나타내어 이 종이 자가수정을 할 가능성이 높음을 시사한 바있고, 또한 유사분류군인 *Sphaerium*(Hornbach et al, 1980), *Liguus fasciatus*(Hillis et al, 1991) 등에서도 낮은 이형 접합자빈도 값을 토대로 자가수정을 하는 종으로 구명된 바 있다. Powell(1975)에 의하면 타가수정을 하는 연체동물의 이형접합자 빈도는  $11.8\sim 23.0\%$  범위에 있는 것으로 알려져있다. 따라서 본 연구의 *C. fluminea*와 *C. leana*의 낮은 이형 접합자빈도 값은 이들이 자가수정을 하는 종일 가능성을 시사하고 있다.

Nei(1972)의 유전적 차이치를 이용한 분화연대 산출공식(Nei, 1975)에 따라 재첩속

패류의 계통적 분화연대를 추정한 결과 약 510만년 전에 조상종으로부터 기수종인 *C. japonica*와 담수산 3종의 조상종으로 분화되었고 그 후 담수산 종내에서 190만년 전에 *C. fluminea*가 먼저 분화되고 약 130만년 전에 *C. leana*와 *C. colorata*가 분화되어 현재에 이른 것으로 추정되었다.

현재까지 국내에 보고된 재첩속의 패류는 모두 9종(Choe and Yoon, 1997)에 이르고 있으나, 본 연구를 통해서는 *C. fluminea* (Müller)(재첩), *C. leana* Prime(참재첩), *C. colorata* (Martens)(공주재첩), *C. japonica* Prime(일본재첩) 등 4종만이 채집되어 이들의 분류학적 위치가 재확인되었다. 그러나 그 동안 한국산 재첩속의 보고는 Martens(1905)가 4종, Shiba(1934)가 4종, Kuroda(1938)가 7종, Oyama(1943)가 9종, Lee(1956)가 7종, Kwon과 Habe(1979)가 5종, Kwon(1990)이 6종, Choi와 Yoon(1997)이 9종을 기록하는 등 매우 혼돈된 증기재 양상을 보이고 있어, 본 연구에서 채집, 확인되지 못한 *C. felnouilliana*(콩조개, 콩재첩), *C. fluminis*(대륙재첩), *C. insularis*(섬재첩), *C. portentosa*(점박이재첩), *C. papyracea*(얇은재첩) 등 5종에 대하여는 국내 서식이 의문시되므로 이들에 대해서는 우선적으로 국내 서식 현황에 대한 재조사가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 사 사

본 연구는 한국학술진흥재단의 박사후연수지원(이준상)에 의하여 수행되었으며 연구기관의 지도교수이신 인하대학교 생물학과 양서영 교수님의 지도에 감사드리며 실험과정에 많은 도움을 준 서재화씨에게 감사드립니다.

## 인용문헌

- Avise, J. C., 1976. Genetic differentiation during speciation In: Molecular evolution (Ed., F.J. Ayala), Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Ayala, F. J., 1975. Genetic differentiation during the speciation process In: Evolutionary Biology, Vol. 8, Ed. Dobzhansky, T., Hecht, M., and Steere, W. C., Plenum Press, New York.
- Britton, J. C. and B. Morton, 1986. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Corbiculacea) from North America. Malacological Review, **19**:1-43.
- Buth, D. G., 1986. Locus nomenclature and enzyme staining procedures for teleostfishes. (Personal description)
- Choe, B. R. and S. H. Yoon, 1997. Mollusca. In: List of animals in Korea. The Korean Society of Systematic Zoology, Seoul Korea.
- Fuziwara, T., 1975. On the reproduction of *Corbicula leana* Prime. Venus, **34**(1):54-56. (in Japanese)
- Fuziwara, T., 1978. On the ovulation of *Corbicula leana* Prime. Venus, **37**(1):22-28. (in Japanese)
- Habe, T. 1990. A list of non-marine mollusks in Japan. Hitachiobi, **56**:3-7. (in Japanese)
- Hillis, D. M., M. T. Dixon and A. L. Jones, 1991. Minimal genetic variation in a morphologically diverse species (Florida tree snail *Liguus fasciatus*). Heredity, **82**:282-286.

- Hornbach, D. J., M. J. Mcleod and S. K. Seilkop, 1980. Genetic and morphological variation in the freshwater clam, *Sphaerium* (Bivalvia: Sphaeridae). *J. moll. Stud.*, **46**:158-170.
- Kuroda, T., 1938. Studies on Japanese *Corbicula*. *Venus*, **8**(1):21-36. (in Japanese)
- Kwon, O. K. and T. Habe, 1979. A list of non-marine mollusks in Korea. *Kor. J. Limn.*, **12**(1-2): 24-31. (in Korean)
- Kwon, O. K., J. S. Lee and G. M. Park, 1987. The studies on the mollusks in the lake Uiam(7). *Kor. J. Limn.*, **20**(1):30-38. (in Korean)
- Kwon, O. K. 1990. Illustrated Encyclopedia of Fauna & Flora of Korea. Vol. 32. Mollusca(I). Ministry of Education. Seoul Korea.
- Kwon, O. K., G. M. Park and J. S. Lee, 1993. Coloured shells of Korea. Academy publishing company. Seoul Korea. (in Korean)
- Lee, B. D., 1956. The catalogue of molluscan shells of Korea 1(1). *Bulletin of Pusan Fisheries College*, **1**(1):53-100. (in Korean)
- Martens, E., 1905. Koreanische Sswasser-Mollusken. *Zoologischen Jahrb chern*, suppl. 8, pp. 23-70, pls. 1-3.
- Morton, B., 1979. *Corbicula* in Asia. pp. 15-38. In. (Ed.J.D.Britton). *Proceeding of the first international Corbicula symposium*, Texas Christian University, Fort Worth, Texas 1977. Texas Christian University Research Foundation, Fort Worth.
- Morton, B., 1987. Polymorphism in *Corbicula fluminea* (Bivalvia:Corbiculacea) from Hong Kong. *Malacological Review*, **20**:105-127.
- Nei, M., 1972. Genetic distance between populations. *Amer. Natural.*, **106**:283-292.
- Nei, M., 1975. *Molecular population genetics and evolution*. North-Holland publ. Co., Amsterdam.
- Okamoto, A. and B. Arimoto, 1986. Chromosomes of *Corbicula japonica*, *C. sandai* and *C. (Corbiculina) leana* (Bivalvia: Corbiculidae). *Venus*, **45**(3):194-202. (in Japanese)
- Oyama, K., 1943. ber das Koreanischen *Corbicula*-Arten. *Venus*, **12**(3-4):150-158. (in Japanese)
- Park, G. M., J. S. Lee, H. B. Song, J. C. Park and O. K. Kwon, 1989. Cytological studies of *Corbicula papyracea* (Bivalvia: Corbiculidae) in the lake Uiam. *J. Science and Technology, Kangweon Nat. Univ.*, **28**:77-82. (in Korean)
- Powell, J. R., 1975. Protein variation in natural population. In: *Evolutionary Biology*, Vol. 8, Ed. Dobzhansky, T., Hecht, M., and Steere, W. C., Plenum Press, New York.
- Rogers, J. S., 1972. Measure of genetic similarity and genetic distance. *Studies in genetics VII. Univ. Texas Publ.*, **7213**:145-153.
- Selander, R. K., 1976. Genetic variation in natural populations. In: *Molecular evolution*(Ed.,F.J. Ayala), Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts.
- Selander, R. K., H. Smith, S. Y. Yang, W. E. Johnson and B. Gentry, 1971. Biochemical poly morphism and systematics in the genus *Peromyscus*. I:Variation in the old-field mouse (*Peromyscus poliontus*). *Studies in genetics VI.*, Univ. Texas Publ. **7103**:49-90.
- Shiba, N., 1934. A catalogue of the mollusca in Chosen (Corea). *Journal of the Chosen Natural History*. **18**:6-31. (in Japanese)
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal, 1973. *Numerical Taxonomy*. W. H. Freeman Co., San Francisco.
- Swofford, D. L. and R. B. Selander, 1981. BIOSYS-1: FORTRAN program for the comprehensive

- analysis of electrophoretic data in population genetics. *J. Heredity* **72**:281-283.
- Stephen, C. M. T., S. C. Lee, W. L. Wu and B. Morton, 1991. Genetic variation *Corbicula fluminea* (Bivalvia:Corbiculidae) from Hong Kong. *Malacological Review*, 1991, **24**:25-34.
- Yang, S. Y., B. S. Park, J. H. Kim and J. B. Kim, 1991. Systematic studies of the genus *Cobitis* (Pisces: Cobitidae) in Korea. II. Geographic variations and classification of *Cobitis longicarpus*. *Korean J. Zool.* **34**:585-593. (in Korean)

RECEIVED: 30 September 1997

ACCEPTED: 3 November 1997

## Systematic study on the genus *Corbicula* (Bivalvia: Corbiculidae) in Korea

Jun-Sang Lee and Jong-Bum Kim\*

(Department of Biology, Kangwon University, Chuncheon 200-701, Korea;

\*Department of Biology, Inha University, Incheon 402-751, Korea)

### ABSTRACT

A genetic analysis using starch gel electrophoresis was performed to clarify the degrees of genetic differentiation and the phylogenetic relationships among four species of the genus *Corbicula* (Bivalvia, Corbiculidae). The average genetic similarity coefficients among the populations of each species on *C. fluminea*, *C. leana* and *C. colorata* were very closed (Rogers'  $S \geq 0.970$ ), whereas the other *C. japonica* was separated into two genetic groups ( $S=0.873$ ) with distinct allelic difference at the Gp-1 locus. Therefore additional taxonomic studies are needed on this species. On the other hand, these four species were well distinguished from each other genetically with distinct allelic differences at 4 to 9 loci. The genetic similarity coefficients (S) between *C. leana* and *C. colorata*, *C. fluminea* and *C. leana*, and *C. fluminea* and *C. colorata* were 0.737, 0.689, and 0.594, respectively. In particular, the average genetic similarity coefficients between these three species (inhabiting in freshwater) and the other *C. japonica* (inhabiting in brackishwater) were notably lower ( $\bar{S}=0.370$ ).