

기름종개과(Family Cobitidae) 어류의 계통분류에 관한 연구

1. 종개, 쌀미꾸리 및 수수미꾸리의 지리적 변이

양서영 · 이혜영 · 양홍준* · 김재흡

인하대학교 이과대학 생물학과, *경북대학교 사범대학 생물학과

기름종개과의 *N. toni*, *L. costata*, *N. multifasciata* 3종에 대한 형태분석, 핵형분석 및 전기영동법에 의한 유전자 분석을 실시 각 종의 지리적 변이 및 계통적 유연관계를 조사하였다. 형태 측정치에 대한 discriminant 분석결과 *N. toni* 월악산집단, *L. costata* 거제도집단 그리고 *N. multifasciata* 산청집단이 같은 종내 타 집단들과 형태상 완전히 분리되어졌다. 핵형분석에서 *N. multifasciata*와 *L. costata*는 $2n = 50$ 으로 염색체수는 조사된 전 집단이 변이없이 동일하였다. *N. toni* 삼척과 진부집단은 $2n = 50$ 으로 동일하였으나 고성집단은 $2n = 50$, $2n = 48$ 인 염색체상이 한개체에서 동시에 발견되었고, 인형성부위의 위치 및 형태가 타 집단과 차이가 있었다. 전기영동을 실시하여 총 28개의 유전자를 검출, 분석하였다. 3종중 *N. multifasciata* 청도집단의 유전적 변이 ($H_D = .123$, $H_G = .160$)가 가장 높았고, *N. toni* 고성집단이 가장 적었다 ($H_D = .017$, $H_G = .015$). *N. toni* 고성집단과 강릉집단은 각 집단의 고유한 genetic marker를 다수 갖고 있으며 타집단들과 유전적 근연관계도 매우 먼 것으로 나타나 각기 독립된 별종으로 추정된다.

KEY WORDS: Family Cobitidae, Geographic variation, Phylogeny, Electrophoresis, Chromosome, Morphology

기름종개과(Family Cobitidae) 어류는 유라시아와 구북구의 담수역에 널리 분포하는 소형 담수어로 전세계적으로 Nemacheilinae, Cobitinae와 Botinae의 3아과에 약 200여종이 기재 되어 있으며(Nelson, 1984), 현재 남한의 경우 Nemacheilinae아과에 2속 2종, Cobitinae아과에 3속 12종 등 총 5속 14종 및 아종이 분류 보고되었는데(Kim and Lee, 1987; Kim and Lee, 1988) 이들 중 Cobitis 속 9종 및 아종과 Misgurnus속 2종을 제외한 Nemacheilus, Lefua와 Niwaella 3속은 각 속에 1종씩만이 기재되어 있다. 상기 3속 3종에 대한 국내의 연구로서 Niwaella multifasciata(수수미꾸리)의 분류, 분포(Wakiya and Mori, 1929; Uchida, 1939; Sawada and Kim, 1977), 물격연구(성 등, 1988)가 있고, Nemacheilus toni(종개), Lefua costata(쌀미꾸리)등 Nemacheilinae 2종에

관한 분포(崔, 1973; 田, 1983; 孫, 1985), 핵형 및 형태변이(Lee et al., 1984; Kim et al., 1988)에 대한 보고가 있으나 전반적으로 이들에 관한 연구는 매우 부족한 편이다.

생물군의 분류 및 계통연구에서 분포 및 형태형질 등의 기초 분류작업은 모든 연구에서 선행이 되어야 할 기본이 되나 형태형질의 선택에는 인위적인 오류가 가능하고 수렴진화(Convergence)나 평행진화(Parallel evolution)의 경우 정확한 계통진화적 추적이 난해한 데 반하여 전기영동법을 이용한 isozyme의 분석은 유전자를 직접 비교하게 되므로 상기 단점을 극복할 수 있어 최근에는 많은 분류군의 계통분류연구에 이용되고 있다(Rholf and Wooten, 1988; Kim and Burgman, 1988; Dowling and Brown, 1989). 전기영동을 통한 isozyme 분석 이외에도 염색체 분석과 mtDNA분석을 이용한 연구가 행해지고 있으나 Dowling과 Brown(1989)은 담수어류의 계통분류 추정에는 isozyme 분석이 보다 성활함을 시사한다. 국내에서도 전기영동법을 이용하여 담

본 연구는 1989년도 문교부 기초과학 육성연구비 지원에 의한 것임.

수어류에 대한 종문제, 유전적 변이 및 계통진화에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 (Yang et al., 1984; Kim et al., 1985; Yang and Min, 1989a, b; Yang et al., 1989), Yang과 Min(1987, 1989b)은 페라미아과에 속하는 *Zacco temminckii*에 형태적으로 매우 유사하나 서로 생식적 격리(reproductive isolation)가 이루어진 자매종(sibling species)이 존재함을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 한국산 기름종개과 어류의 계통분류 및 종분화에 관한 연구의 일환으로 단일종으로 구성된 *Nemacheilus*, *Lefua* 및 *Niwaella* 등 3속에 대하여 isozyme 분석, 염색체분석 및 형태분석을 통하여 유전적 변이, 종내 지리적 변이 및 종간

유연관계와 각 종의 분류학적 위치를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

1) 채집

실험재료는 1985년 10월부터 1990년 6월 사이에 3종 23개 집단 총 738개체를 전기영동용, 염색체분석용 및 형태측정용으로 분리하여 통발, 속대(망목 3mm)와 전기충격기를 사용해 집하였다 (Table 1).

Table 1. Collection localities, dates and number of specimens of 23 populations of three species in the family Cobitidae. Letters under number of specimens represents electrophoresis (E), morphometrics(M), and karyotype(K).

Collection localities	Dates	Number of specimens for		
		E	M	K
<i>Nemacheilus toni</i>				
1. Kangnung: Wangsan-myon, Myungju-gun, Gangwon-do	Jun. 01, 1990	20	41	—
2. Kosung: Kansung-eub, Kosung-gun, Gangwon-do	Aug. 29, 1989	20	32	3
3. Wolak Mt.: Hansoo-myon, Jewon-gun, Chungchongnam-do	Oct. 21, 1989	20	40	—
4. Kapyong: Ha-myon, Kapyong-gun, Kyonggi-do	Oct. 14, 1989	20	32	—
5. Jungson: Dong-myon, Jungson-gun, Gangwon-do	Sep. 10, 1986	20	18	—
6. Jinbu: Jinbu-myon, Pyongchang-gun, Gangwon-do	Aug. 06, 1986	19	14	—
	Apr. 14, 1990	—	—	4
7. Samcheok: Keundok-myon, Samcheok-gun, Gangwon-do	Aug. 06, 1986	—	8	—
	Mar. 30, 1990	—	—	2
<i>Lefua costata</i>				
8. Kosung: Jukwang-myon, Kosung-gun, Gangwon-do	May. 03, 1989	20	10	7
9. Pochon: Naechon-myon, Pochon-gun, Kyonggi-do	Oct. 02, 1989	20	10	23
10. Keoje Isl.: Yeoncho-myon, Keoje-gun, Kyongsangnam-do	Dec. 03, 1989	20	10	18
11. Suwon: Suwon-shi, Kyonggi-do	Nov. 02, 1989	9	—	28
12. Inje: Buk-myon, Inje-gun, Gangwon-do	Apr. 28, 1990	14	—	6
13. Yongin: Yongin-myon, Yongin-gun, Kyonggi-do	Feb. 22, 1990	—	—	8
14. Kangnung: Ojukhon, Kangnung-shi, Gangwon-do	Apr. 01, 1990	—	—	6
15. Yeonghae: Yeonghae-myon, Yeongduk-gun, Kyongsangbuk-do	Oct. 24, 1985	—	7	—
16. Wolsung: Naenam-myon, Wolsung-gun, Kyongsangbuk-do	Oct. 11, 1987	—	5	—
17. Yangyang: Hyunbuk-myon, Yangyang-gun, Gangwon-do	Apr. 14, 1987	—	7	—
<i>Niwaella multifasciata</i>				
18. Eusong: Byonggok-myon, Eusong-gun, Kyongsangbuk-do	Oct. 20, 1989	20	24	1
19. Chungdo: Woonmun-myon, Chungdo-gun, Kyongsangbuk-do	Oct. 26, 1989	20	23	16
20. Sanchong: Sindeung-myon, Sanchong-gun, Kyongsangnam-do	July 25, 1986	20	3	23
21. Chungsong: Wolmak-myon, Chungsong-gun, Kyongsangnam-do	July 26, 1986	20	18	—
22. Milyang: Milyang-eub, Milyang-gun, Kyongsangnam-do	July 27, 1986	11	7	—
23. Keochang: Keochang-eub, Keochang-gun, Kyongsangbuk-do	May 13, 1986	—	—	2

2) 형태측정

형태측정을 위하여 채집된 개체는 채집 즉시 10% formalin 용액에 고정하였다. 계측형질은 Kim(1980)과 Yang 등(1989)의 방법에 따라 13개 부위를 선정 dial calipers를 이용 1/20mm까지 측정하였고 각 부위별로 18개의 측정비를 구하여 형태측정형질로 사용하였다. 척추골수는 Soft x-ray(SOFTEX C-60)로 투시 촬영하여 얻어진 negative 촬영상의 film(FUJI SOFTEX film, HS)을 이용 척추골수를 계수하였고 각 지느러미 기조수 및 비늘의 수는 alizarin red로 염색하여 관찰하고, 18개의 측정비에 대한 discriminant 분석 (Sneath and Sokal, 1973)은 SPSS-X program에 의거 MV-10000 컴퓨터를 사용 실시하였다.

3) 염색체분석

염색체분석은 Lee등(1984)의 일반염색과 Schmid(1987) 방법을 다소 변형한 C-banding법 그리고 Howell과 Black(1980)의 NORs염색법으로 표본을 제작한 후 중기분열상을 관찰, 현미경 사진을 촬영하여 idiogram을 작성 비교 분석하였다.

4) 유전자분석

유전자분석을 위하여 채집된 개체는 채집즉시 dry ice(-70°C)에 굽냉동시켜 실험실로 운반한 후 Yang 등(1989)의 방법에 의거 전기영동용 시료를 적출하고, 전기영동은 Selander 등(1971) 및 Yang 등(1989)의 방법을 이용 horizontal starch gel 전기영동을 실시하였다. 전기영동 방법 및 조건은 Table 2와 같다. 전기영동 후 얻어진 각 효소 및 단백질의 전기영동상을 이용 각 개체의 유전자형 빈도(genotype frequency)를 구한 후 BIOSYS prgram (Swofford and Selander, 1981)을 이용한 대립인자 빈도(allele frequency), 평균 다형형빈도(% polymorphism) 및 이형접합자 빈도(heterozygosity)를 구하여 집단 및 종간 유전적 변이 정도를 조사하였고 (Selander, 1976), Rogers(1972)의 유전적 근연치(genetic similarity coefficients, S)를 구하고 S값을 토대로 UPGMA방법(Sneath and Sokal, 1973)으로 dendrogram을 작성 집단간 유전적 근연관계를 비교하였다.

Table 2. Buffer systems and stains for electrophoresis.

Buffer	E. C. No.*	Isozyme and protein	Volt/Time
Continuous tris citrate II (TC II, pH: 8.0)	1.1. 99. 5	α Glycerophosphate dehydrogenase(α Gpd)	110V/3hrs
	1.1. 1.27	Lactate dehydrogenase (Ldh-1,2)	
	1.1. 1.37	Malate dehydrogenase (Mdh-1,2)	
	1.1. 1.42	Isocitrate dehydrogenase(Idh)	
	3.1. 3. 1	Acid phosphatase(Aph)	
	4.2. 1. 3	Aconitase(Aco)	
Discontinuous tris citrate (Poulak, pH: 8.2)	5.3. 1. 9	Phosphoglucose isomerase(Pgi-1,2)	250V/3hrs
	1.1. 1. 8	Glucosephosphate dehydrogenase (Gpdh)	
	1.1. 1. 1	Alcohol dehydrogenase(Adh)	
Lithium hydroxide (LiOH, pH:8.1)	2.6. 1. 1	Glutamate oxaloacetate transaminase(Got-1,2)	300V/3hrs
	3.1. 1. 1	Esterase (Est-1,2)	
	3.4.11.11	Peptidase (Pept-1,2)	
		General protein (Gp-1,2,3,4,5)	
Tris maleic EDTA (TM, pH: 7.4)	1.1. 1.44	6 Phosphogluconate dehydrogenase(6Pgd)	100V/4hrs
	4.2. 1. 2	Fumerase (Fum-1,2)	
	1.1. 1.40	Malic enzyme (Me-1,2)	

*E. C. No.: Enzyme commission number

결 과

3속 3종의 종내 집단 및 종간비교를 위하여 Table 1에서 기술한 바와 같이 형태분석을 위하여 18개 집단 298개체를 형태측정하였고, 14개 집단 147개체의 핵형을 비교 분석하였으며, 유전자 분석을 위하여 16개 집단 293개체를 전기영동하여 16개의 효소 및 단백질에서 28개의 유전자를 검출 분석하였다.

1) 형태 및 유전적변이

*N. toni*의 형태측정 결과 척추골수는 7개 집단 중 월악산집단이 38-43개로 정선, 삼척, 진부의 39-41개, 강릉, 고성, 가평집단의 41-43개에 비해 변이가 많은 것으로 나타났다. 계측형질의 측정비에 대하여 Uchida(1939)의 연구와 비교결과 (Table 3), SnL/HL의 값이 고성과 월악산집단

을 제외한 5개 집단에서 Uchida(1939)의 연구와 차이가 있었으며, 월악산집단은 ED/HL, CPD/CPL이 타집단과 차이가 있었고 고성집단은 SnL/HL이 타집단들과 차이가 있었다. 계측형질 측정비 18개에 대한 discriminant 분석 결과 (Fig. 1a) 월악산집단이 다른 6개 집단과 완전히 분리되었고 가평집단은 월악산집단을 제외한 5개 집단과 일부 중복되었으나 각 집단이 자리적으로 많은 차이가 있음을 알 수 있었다.

N. toni 6개 집단을 대상으로 전기영동을 실시하여 각 유전자별 대립인자빈도를 산출한 결과 (Table 4) 유전자중 *Mdh-2*를 비롯한 9개 유전자는 집단간 변이 없이 동일한 대립인자로 구성되어 있었다. 태백산맥 서쪽 4개 집단(월악산, 가평, 정선, 진부)은 동해로 유입되는 강릉, 고성집단과 많은 차이가 있었다. 강릉집단의 경우 서쪽 4개 집단과 6개 유전자(*Ldh-2*, *Aco*, *Pgi-2*, *Got-2*, *Gp-4*, *6Pgd*)에서 완전한 차이를 보였고, 고성집

Table 3. The variation of external body proportion among the 18 populations of 3 genera in the family Cobitidae was compared with the data of Uchida(1939).

	HL/SL	BD/SL	SnL/HL	ED/HL	CPL/HL	IOW/HL	CPD/CPL
<i>N. toni</i>							
1. Kangnung	22.2±0.73	14.6±0.85	36.3±1.98	12.9±1.36	81.1±4.68	26.5±1.87	62.9±3.67
2. Kosung	22.5±0.68	12.9±0.81	46.0±2.21	15.6±1.42	75.6±5.08	22.9±2.62	56.6±4.24
3. Wolak Mt.	21.2±0.82	14.1±1.04	45.2±1.95	19.6±1.33	78.4±5.07	22.3±1.95	65.5±5.28
4. Kapyong	20.6±1.08	13.2±0.91	39.2±4.84	15.8±2.11	86.9±7.47	22.2±3.72	56.2±4.72
5. Jungson	18.9±2.63	15.3±1.47	37.1±6.04	18.2±3.61	87.9±11.07	24.9±3.77	59.5±6.49
6. Jinbu	22.3±3.16	14.3±1.08	33.7±1.49	14.5±0.86	78.3±9.54	19.9±1.56	63.8±4.97
7. Samcheok	20.1±0.75	13.8±1.19	33.9±2.54	13.7±1.58	89.3±8.17	21.8±2.02	59.7±6.34
Uchida(1939)	22.1±1.01	15.2±0.81	47.3±2.28	14.7±2.39	78.4±8.05	21.9±3.24	61.1±7.22
<i>L. costata</i>							
8. Kosung	20.8±1.32	17.8±0.82	29.4±2.19	21.6±17.45	66.5±6.79	39.7±10.44	84.0±7.60
9. Pocheon	21.6±0.76	18.6±1.39	32.1±2.71	14.3±2.70	57.0±5.39	39.0±3.40	108.7±15.64
10. Keoje Isl.	22.7±1.07	16.5±1.40	32.9±2.16	19.1±1.09	52.4±57.7	41.8±3.91	99.1±12.32
15. Yeonghae	21.2±0.76	16.9±0.96	30.4±2.00	18.3±1.30	65.3±9.66	36.1±3.19	94.2±12.01
16. Wolsung	21.6±2.63	15.3±1.57	28.7±4.87	16.3±1.17	67.2±12.61	28.4±1.62	121.0±21.22
17. Yangyang	21.9±0.85	17.6±2.42	32.1±2.23	15.2±1.32	64.3±5.27	32.3±3.62	128.4±14.50
Uchida(1939)	23.7±1.00	17.7±1.8	38.1±1.2	15.0±1.0	63.8±6.2	38.5±2.5	79.9±10.2
<i>N. multifasciata</i>							
18. Eusong	13.8±0.53	13.2±1.99	41.7±1.89	19.4±2.74	68.4±5.91	15.8±2.32	80.3±9.68
19. Chungdo	13.8±0.56	11.1±0.44	47.7±1.73	18.9±1.17	72.9±21.22	20.5±2.64	88.3±7.39
20. Sanchong	12.6±0.59	11.9±0.57	38.0±2.22	17.4±1.05	113.4±16.70	17.4±1.05	66.8±12.82
21. Chungsong	13.2±0.71	12.3±1.20	44.4±2.91	18.7±1.67	79.2±4.24	17.0±1.55	83.3±8.19
22. Milyang	13.5±0.75	12.0±3.89	45.2±1.98	21.0±1.76	81.0±14.2	17.7±1.29	71.8±14.58
Uchida(1939)	13.7±0.7	12.6±0.6	45.2±2.0	15.9±1.1	74.5±7.5	14.5±1.1	94.1±7.9

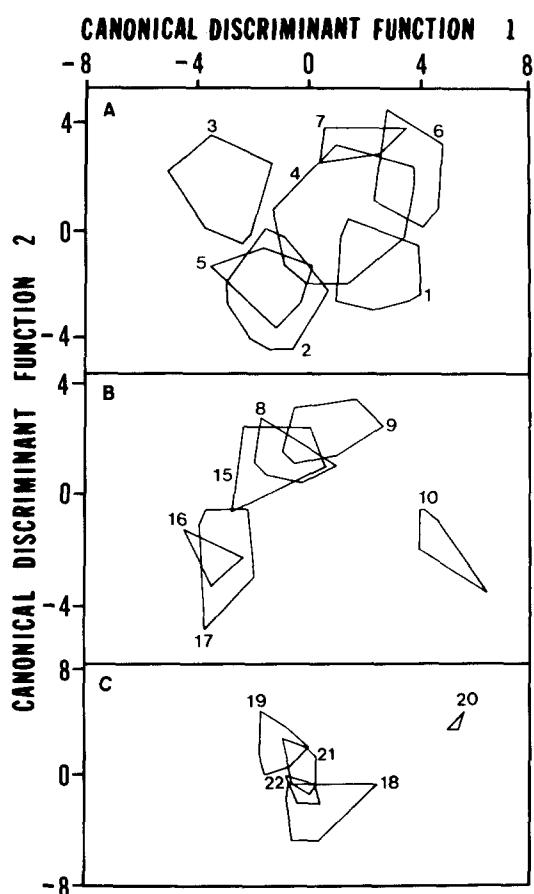


Fig. 1. Plot of the first and second discriminant functions for the species of the family Cobitidae in Korea. A: *Nemacheilus toni*; B: *Lefua costata*; C: *Niwaella multifasciata*. Numbers refer to the population numbers listed in Table 1.

단은 *Ldh-1*을 비롯한 10개 유전자가 완전히 다른 대립인자로 구성되었고 강릉과 고성집단은 14개의 유전자에서 집단 특유의 인자로 차이를 보였다. 유전적 변이 조사결과 *N. toni* 6개 집단의 평균 유전적 변이는 $\bar{H}_D = 0.055$ ($\bar{H}_G = 0.069$)였고 고성집단은 $H_D = 0.017$ ($H_G = 0.015$)로 매우 낮은 변이를 갖고 있었다(Table 5).

*L. costata*의 체측반문은 성적 2형이 뚜렷하여 Kim 등(1988)의 보고와 일치하는 경향을 보였고 계수형질 측정결과 지느러미 기조수는 D; III-IV, -6, A; III-5, 척추골수는 35-40개, 측선비늘의

수는 88-103개로 집단간에 차이가 없었다. 계수형질 중 SnL/HL은 Uchida(1939)의 결과(38.1 ± 1.20)와 차이가 있었으며 (Table 3), CPD/CPPL도 변이가 심하였다. 전체적으로 강남거제집단이 IOW, CPL, 및 CPD에서 타 집단들과 차이를 보였다. Discriminant 분석을 실시한 결과(Fig. 1b) 경남거제집단이 내륙의 5개 집단과 형태상 완전히 분리되었고 월성과 양양집단은 영해집단과 일부 중복될 뿐 집단간 많은 차이를 보였다.

L. costata 5개 집단 83개체에 대한 유전자 분석 결과(Table 4), *Ldh-1* 등 8개 유전자는 종특유의 대립인자로 구성되었고 *Mdh-1* 등 8개 유전자에 있어서는 대립인자의 빈도차이가 타 종들과 뚜렷하였다(Table 4). 28개 유전자중 11개(39%)는 monomorphic 하였으나 *Est-2*는 전집단에 변이가 있었다. 또한 *Pept-2*의 경우 *N. toni*와 *N. multifasciata*는 모두 +극으로 이동하였으나 *L. costata*는 -극으로 이동하였다. 유전적 변이조사에서 고성집단은 $P = 46.4\%$ 로 3종 16개 집단중 가장 높은 값을 보였고, 유전자별 대립인자 수에 있어서도 $A = 1.68$ 로 타 집단에 비해 높았다(Table 5).

*N. multifasciata*의 형태측정치중 계수형질인 지느러미 기조수는 D; III-6 A; III-4, 척추골수는 48-53개로 Uchida(1939)의 결과와 같았다. 계수형질은 집단간에 다소 차이가 있는 것도 있으나 뚜렷이 구별되지는 않았다. 낙동강의 산청과 밀양집단이 타집단에 비해 미병고(CPD)가 높은 경향을 나타내었고(Table 3), discriminant 분석에서도 산청집단이 다른 4개 집단과 완전히 분리되어졌다(Fig. 1c).

유전자 분석결과 *Ldh-2*등 9개 유전자는 종 특유의 대립인자만으로 구성되어 중간 차이가 뚜렷하였다(Table 4). 종내 집단간 비교에서 *Gpdh*등 11개 유전자는 변이가 없었으나 4개 유전자(*Mdh-2 Me-1*, *Pept-2* *6Pgd*)는 전 집단에서 변이가 있었다. *N. multifasciata*는 평균 유전적 변이에서 $\bar{P} = 31.4\%$, $\bar{H}_D = 0.096$, $\bar{H}_G = 0.116$ 으로 타 2종보다 높은 변이를 나타냈으며 특히 의성과 청도집단이 변이가 높은 것으로 나타났다.

Table 4. Allele frequencies for polymorphic loci. Alleles coded as letters, with the most anodal one designated as "a" and successively slower alleles as "b", "c" etc. Numbers in parentheses are frequencies for alleles when a single allele was not fixed. Numbers under each species refer to the collecting localities listed in Table 1.

Loci	<i>Nemacheilus toni</i>						<i>Lefua costata</i>					<i>Niwaella multifasciata</i>					
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	18	19	20	21	22	
<i>Mdh-1</i>	a(.50) e(.50)	a(.50) d(.50)	a	a	a	a(.92) d(.08)	d(.03) e(.97)	d(.08) e(.92)	e	e	b(.07) e(.93)	a(.50) d(.50)	a(.47) c(.03)	a(.97) d(.03)	a(.66) d(.34)	a(.64) d(.36)	
<i>Mdh-2</i>	a	a	a	a	a	a	b b(.95)	a(.05)	b	b	b	a(.87) c(.13)	a	a	a	a(.91) c(.09)	
<i>Ldh-1</i>	a	b	a	a	a	a	c	c	c	c	c	a(.92) b(.08)	a	a	a	a	
<i>Ldh-2</i>	a	b	b	b	b	b	c	c	c	c	c	d	d	d	d	d	
<i>Aph</i>	c	c	c	c	c	c	b	b	b	b	b(.61) c(.39)	a	a	a(.95) c(.05)	a	a	
<i>Idh</i>	a	a	b	b	b(.90) d(.10)	a(.19) d(.81)	d(.95) e(.05)	d	d	d	d	b(.50) c(.50)	b(.82) c(.18)	b(.08) c(.92)	c	c	
<i>Aco</i>	b	c	d	d	d(.95) f(.05)	d	e(.97) f(.03)	e	e(.85) f(.15)	e(.61) f(.39)	e	a(.05) b(.95)	b(.05) c(.87)	c	c	c	
<i>Me-1</i>	b	b	b	b	b	b	a(.05) b(.95)	b	b	b	a(.18) b(.82)	c(.60) d(.18)	c(.78) d(.10)	c(.63) d(.37)	c(.68) d(.32)	c(.55) d(.45)	
<i>Me-2</i>	f(.43) g(.57)	e(.97) f(.03)	e(.95) f(.05)	d(.30) e(.70)	d(.72) e(.28)	d(.26) e(.59)	d(.05) e(.77)	d(.30) e(.37)	e	e	e	a(.10) b(.10)	a(.05) b(.23)	c	c	b(.23) c(.77)	
<i>Pept-1</i>	d	c	d	d	d	d	a	a	a	a	a	b b(.95)	a(.05)	b	b	b	
<i>Pept-2</i>	c(.45) d(.55)	c	c(.70) d(.30)	c	a(.23) b(.52)	b(.32) c(.53)	e(.03) f(.97)	f	f(.38) g(.33)	f	f	b(.27) c(.45)	b(.40) c(.47)	b(.37) c(.58)	b(.32) c(.53)	b(.46) c(.41)	
<i>Est-1</i>	c	a(.08) b(.82)	c	c(.50) d(.50)	c	c	c	c	c	c	c	c(.75) d(.25)	c(.60) d(.40)	b(.55) c(.42)	b(.33) c(.67)	c	
<i>Est-2</i>	e	g	e	e	e	e	d(.13) e(.82) f(.05)	d(.03) e(.72) f(.25)	c(.05) d(.45) e(.25)	c(.17) d(.44) e(.28)	d(.68) e(.21) f(.11)	a	a(.95) b(.05)	a	a	a	
<i>Gpdh</i>	a	a	a	a	a	a	b(.08) c(.92)	c	c	c	c	d	d	d	d	d	
<i>Adh</i>	a	a	a	a	a	a	b(.10) c(.90)	c	c	c	c	d	d	d	d	d	
<i>Pgi-1</i>	c	b	c	c	c(.97) d(.03)	a(.10) b(.03)	e(.95) f(.05)	e	e	e	e	e(.57) f(.43)	d	c(.25) d(.75)	c(.13) d(.87)	c(.15) d(.85)	d
<i>Pgi-2</i>	b(.25) e(.50)	a(.03) d(.97)	e	c(.13) e(.87)	e	e	f	d(.45) f(.55)	b(.03) d(.62)	d(.94) f(.06)	b(.07) d(.93)	g	g	g	g	g	

Table 4. Continued.

Loci	<i>Nemacheilus toni</i>						<i>Lefua costata</i>					<i>Niwaella multifascia</i>					
	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	18	19	20	21	22	
Got-1	a	b	b	b	b	a(.21) b(.79)	e	e	e	e	d	d	d	c(.03) d(.97)	d		
Got-2	d	b	a	a	a	a(.87) c(.13)	e	e	e	e	e	e	e	e	e		
<i>α Gpd</i>	b	d	b(.70) d(.30)	a(.03) b(.64)	b(.62) d(.38)	b(.90) d(.10)	b(.05) c(.95)	c(.92) e(.08)	c(.92) d(.08)	c	d	e	e	e	e		
Fum-1	b	b	a	a	a	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b		
Fum-2	b	b	b	b	b	a(.81) b(.13) c(.03) d(.03)	a	a	a	a	b	b(.72) c(.28)	b	b	b		
Gp-1	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a		
Gp-2	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b	a	a	a	a	a		
Gp-3	c	d	c	c	c	b	b	b	b	b	a	a	a	a(.80) b(.20)	a		
Gp-4	a	b	c	c	c	e	e	e	e	d	d	d	d	d	d		
Gp-5	a	a	a	a	a	c	c	c	c	b	b	b	b	b	b		
6Pgd	h	e	c(.40) e(.60)	c(.80) e(.20)	c(.30) e(.70)	c(.53) e(.47)	d(.70) e(.20)	c(.15) e(.85) f(.10)	d(.65) c(.92) f(.21)	a(.03) b(.13) d(.08)	b(.10) c(.79)	c(.92) d(.08) g(.14)	c(.05) d(.08) d(.81) e(.03)	c(.95)			

2) 핵형분석

일반염색, C-banding 그리고 NORs 염색법을 이용한 염색체 분석 결과 기름종개과 어류 3속 3종의 기본 염색체수는 $2n = 50$ 이었다. *N. toni* 전부집단과 삼척집단은 $2n = 50$ 이었으나 고성집단은 $2n = 48$ 과 $2n = 50$ 이 각 개체내에서 동시에 분석되어 집단간 차이가 있었고, 염색체 구성에 있어서도 $2n = 48$ 인 세포에서는 $2n = 50$ 에 비해 monoarmed 염색체 1쌍이 감소되어 있고 중부와 차중부 염색체의 수에서도 차이를 보였다. 또한 고성집단은 인형성 부위의 위치는 물론 형태에서 다른 두 집단과 차이가 있었다(Fig. 2).

*L. costata*는 $2n = 50$ 으로 집단간 염색체수의 변이가 없었으며, 중부염색체 2쌍, 차중부 염색체 5쌍, 그리고 차단부 및 단부 염색체가 18쌍으로 구성되었고, 제 5번 염색체의 말단 부위에 동형적인 인형성 부위가 있음이 밝혀졌다(Fig. 3b).

*N. multifasciata*는 $2n = 50$ 이며 중부염색체 4쌍, 차중부염색체 6쌍 그리고 15쌍의 monoarmed 염색체로 구성되어 있었으며 제2번 염색체에 이형적 인형성부위가 위치하고 있었다(Fig. 3d).

3) 유전적 균연관계

유전자별 대립인자 빈도를 이용하여 집단 및 종간의 유전적 균연치(S)(Rogers, 1972)를 구하였다(Table 6). *N. toni*의 경우 강릉과 고성집단을 포함한 6개 집단간의 평균 유전적균연치는 $\bar{S} = 0.715$ 였으며 상기의 두 집단을 제외한 태백산맥 서쪽 4개 집단간의 균연치는 $\bar{S} = 0.919$ 로 높게 나타났다. 강릉과 서쪽집단사이의 $\bar{S} = 0.652$, 강릉과 고성집단사이의 $\bar{S} = 0.391$ 로 매우 낮았고 고성집단도 서쪽의 4개 집단과 $S = 0.553$ 으로 낮은 균연관계를 갖고 있었다. *L. costata* 5개 집단의 평균 유전적 균연치는 $S = 0.852$ 였고, *N. multi-*

Table 5. Genetic variations of 16 populations of three species of the family Cobitidae in Korea.

	Mean No. of alleles per locus(A)	% Polymorphism per locus (%P)	Heterozygosity	
			Direct (H_D)	Expect (H_G)
<i>N. toni</i>				
1. Kangnung	1.18	14.3	0.073	0.072
2. Kosung	1.14	14.3	0.017	0.015
3. Wolak Mt.	1.14	14.3	0.048	0.053
4. Kapyong	1.21	17.9	0.065	0.071
5. Jungson	1.29	25.0	0.060	0.085
6. Jinbu	1.46	32.1	0.068	0.119
mean	1.24	19.7	0.055	0.069
<i>L. costata</i>				
8. Kosung	1.68	46.4	0.078	0.116
9. Pochon	1.32	21.4	0.046	0.075
10. Keoje Isl.	1.36	21.4	0.065	0.100
11. Suwon	1.18	11.1	0.058	0.051
12. Inje	1.32	25.0	0.092	0.089
mean	1.37	25.1	0.068	0.086
<i>N. multifasciata</i>				
18. Eusong	1.46	35.7	0.116	0.135
19. Chungdo	1.71	42.9	0.123	0.160
20. Sanchong	1.39	28.6	0.084	0.103
21. Chungsong	1.32	28.6	0.082	0.096
22. Milyang	1.25	21.4	0.074	0.084
mean	1.43	31.4	0.096	0.116

fasciata 5개 집단은 $\bar{S} = 0.882$ 로 다소 낮은 집단간 균연치를 보였다. 3속의 평균 유전적 균연치는 *N. toni*-*L. costata* $\bar{S} = 0.216$, *N. toni*-*N. multifasciata* $\bar{S} = 0.331$ 이었고 *N. multifasciata* - *L. costata*는 $\bar{S} = 0.132$ 로 *N. toni*와 *N. multifasciata*가 유전적으로 *L. costata*보다 가깝게 나타났다. Table 6의 균연치를 이용하여 dendrogram을 작성한 결과는 Fig. 4와 같다. *N. toni*의 경우는 집단간 차이가 뚜렷하여 서쪽 4개 집단이 한 group을 이루며 강릉집단과 고성집단이 별도의 group을 형성하여 전체적으로 3 group으로 나누어졌다.

고 찰

한국산 기름종개과 3속 3종에 대한 형태분석에

서 계수 및 계측형질의 측정치가 선행 연구 (Uchida, 1939; Kim 등, 1988) 결과와 다소 차이가 있으나 집단간 변이가 다양하여 유의한 차이를 발견할 수 없었다. Discriminant 분석에서 *N. multifasciata*의 산청집단, *L. costata*의 거제도집단은 종내 타집단들과 완전히 분리되어 주목되었다. 그러나 상기 두집단의 종내 타집단들과의 유전적 균연치에 있어 산청은 $\bar{S} = 0.897$, 거제도집단은 $\bar{S} = 0.880$ 으로 해당 종의 평균 유전적 균연치 보다 높아 유전적으로는 타집단들과 차이가 없는 것으로 나타났다. Discriminant 결과와 유전자 분석이 일치하지 않는 것은 본 연구에서 형태분석에 이용된 집단 및 개체수가 적어 발생된 오차일 수도 있으나 뚜렷한 차이를 보인점으로 보아 아종일 가능성도 배제할 수 없어 이에 대한 것은 추후 더욱 많은 집단과 개체수를 대상으로 면밀한

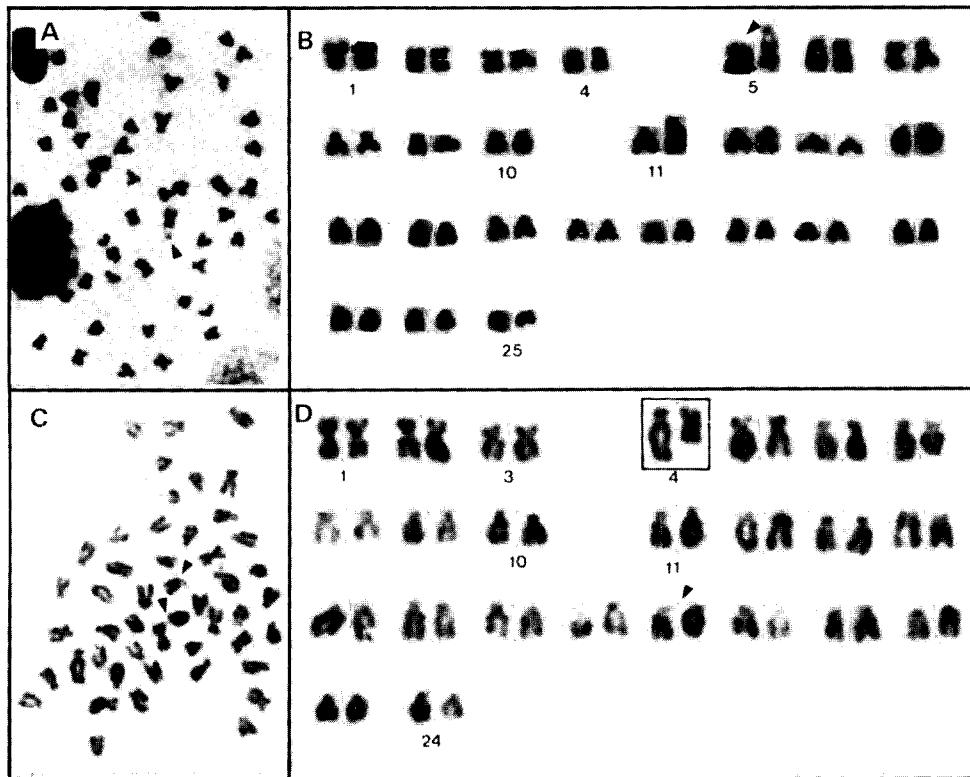


Fig. 2. The metaphase spreads and Karyotypes of *N. toni*. Showing intraindividual variation in chromosome number and NOR sites (A, B: $2n = 50$; C, D: $2n = 48$). Boxed chromosome pair was heteromorphic. Arrows indicate NORs.

연구가 요구된다. *N. multifasciata*의 유전적 변이는 $\bar{H}_D = 0.096$ ($\bar{H}_G = 0.116$)으로 타 어류의 유전적 변이 보다 다소 높은 값이었으며 (Avise, 1977; Avise and Selander, 1972), 유전적 균연치는 타 어류에 비해 다소 낮은 값이었으나 (Avise, 1976; Kim et al., 1985) 기름종개속 어류의 균연치와는 유사한 값을 보였다 (Park, 1988). *L. costata*의 핵형에 관한 본 연구의 결과와 Lee 등(1984), Kim 등(1988)의 보고와는 염색체 구성상 다소 차이가 있었다. 이러한 차이는 Lee 등(1984), Kim 등(1988)의 연구가 일반염색에 의해서만 실시되었으나, 본 연구에서는 C-banding과 NORs 염색을 동시에 실시 분석한 방법상의 차이와, 차단부, 단부, 차중부에 대한 견해 차이로 사료된다.

본 연구에서 특히 주목된 종은 *N. toni*로서, 종 전 까지 *Barbatula toni*로 분류되었으나 Kim 등(1988)은 Kottelat(1987)의 보고에 준하여 *Barbatula* 속에서 *Nemacheilus* 속으로 옮겨 *Nemacheilus*

*toni*를 한국산 종개의 학명으로 사용하였다. 이는 인근의 일본, 중국, 소련등에서도 *Barbatula*를 사용치 않고 *Nemacheilus*로 분류하는 것으로 보아 (Berg, 1949; Sawada, 1982; Cheng and Zheng, 1987) 타당하다고 여겨지며 본 연구에서도 *N. toni*를 종개의 학명으로 사용하였다. 형태 측정 결과 계수형질인 척추골수는 전집단이 38-43개로서 Uchida(1939)의 39-44개와 유사하였으나 Kim 등(1988)의 40-46개와는 다소 차이가 있었고, 계측 형질에 대한 discriminant 결과 월악산 집단이 타 집단들과 완전히 분리되었고 나머지 6개 집단도 가평집단을 제외하고 일부분만이 중복되어 *N. toni*의 지리적 변이가 매우 심한 것으로 여겨진다. *N. toni* 6개 집단의 평균 유전적 변이는 $\bar{H}_D = 0.055$ ($\bar{H}_G = 0.069$)로 일반적인 어류의 유전적 변이 정도를 나타냈으나 고성집단의 경우 $H_D = 0.017$ ($H_G = 0.015$)로 타 집단 및 타 어류군에 비해 매우 낮은 변이를 갖는 것으로 나타났다 (Avise and

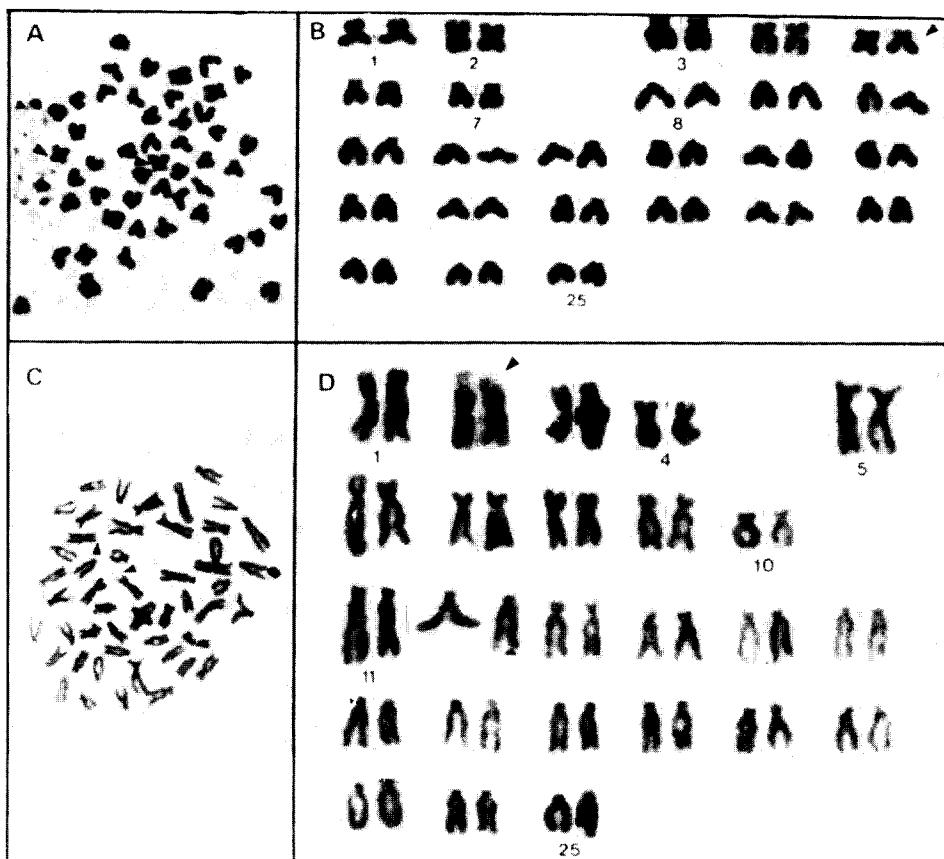


Fig. 3. The metaphase spreads and karyotypes of *L. costata* (A, B) and *N. multifasciata* (C, D). Arrows indicate NORs.

Selander, 1972; Avise and Smith, 1974; Buth and Burr, 1978). 강릉과 고성집단은 집단 특유의 대립인자가 다수 발견되어 타 집단과 유전적으로 큰 차이를 나타내며 유전적 균연치는 강릉과 고성을 제외한 태백산맥 서쪽 4개 집단은 평균 균연치가 $\bar{S} = 0.919$ 로 일반적인 어류의 집단간 균연치(Kim et al., 1985)를 갖고 있으나 고성과 서쪽 4개 집단간은 $\bar{S} = 0.552$, 강릉과 서쪽 4개 집단간은 $\bar{S} = 0.652$ 로 타어류군의 종간수준에 이르고(Kim et al., 1985; Park, 1988; Yang and Min, 1989a) 강릉과 고성집단간은 $S = 0.391$ 로 Avise (1976)가 조사한 잉어과 어류의 속간 균연치에 해당하는 낮은 값이었다. 이로 미루어 강릉, 고성집단은 서쪽집단들과는 완전히 독립된 별종이라 여겨진다. *N. toni*의 핵형분석에서 Kim 등(1988)은 삼척집단이 $2n = 50$, biarmed 14, monoarmed 36

으로 타집단과 차이가 있었는데, 본 연구결과, 삼척과 진부집단은 $2n = 50$ 으로 동일하고 염색체구성은 두집단 모두 biarmed 20, monoarmed 30으로 Kim 등(1988)의 결과와 차이가 있었다. 한편 고성집단에서는 $2n = 48, 50$ 인 염색체가 동일 개체에서 발견되어 tandem fusion 또는 mosaic현상의 가능성이 추정되었고, C-banding 및 NORs 염색에서도 차이가 있어 타종의 가능성을 시사하며 전기영동을 통한 유전자 분석 결과와 일치하였다.

이상과 같은 특징을 갖는 3종의 속간 유연관계에서 Nemacheilinae아과에 속하는 *N. toni*와 *L. costata*중 *N. toni*가 Cobitinae아과의 *N. multifasciata*와 유전적으로 더욱 가까운 것으로 나타났는데, 이는 Sawada (1982)가 *N. toni*와 *L. costata*가 속한 Nemacheilinae아과를 Cobitidae로 부터

Table 6. Rogers' (1972) genetic similarity coefficients (S) based on allele frequencies of 28 genetic loci among 16 populations of three species of the family Cobitidae.

	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12	18	19	20	21	22
<i>Nemacheilus toni</i>															
1. Kangnung	.391	.647	.618	.635	.706	.296	.292	.228	.250	.292	.305	.288	.282	.288	.330
2. Kosung		.569	.563	.532	.546	.135	.179	.213	.222	.217	.233	.264	.289	.274	.254
3. Wolak Mt.			.933	.934	.928	.218	.222	.237	.215	.205	.337	.358	.362	.368	.372
4. Kapyong				.898	.903	.188	.190	.187	.165	.169	.351	.387	.374	.373	.361
5. Jungson					.915	.207	.235	.218	.213	.186	.340	.367	.369	.372	.385
6. Jinbu						.229	.237	.230	.216	.201	.370	.391	.399	.406	.411
<i>Lefua costata</i>															
8. Kosung						.883	.853	.798	.813	.171	.171	.104	.112	.127	
9. Pochon							.904	.866	.820	.151	.154	.110	.120	.134	
10. Keoje Isl.								.919	.844	.149	.151	.116	.126	.139	
11. Suwon									.815	.131	.138	.109	.118	.136	
12. Inje										.135	.137	.113	.120	.135	
<i>Niwaella multifasciata</i>															
18. Eusung											.888	.832	.843	.852	
19. Chungdo												.850	.849	.844	
20. Sanchong												.869	.938		
21. Chungsong													.955		
22. Milyang															

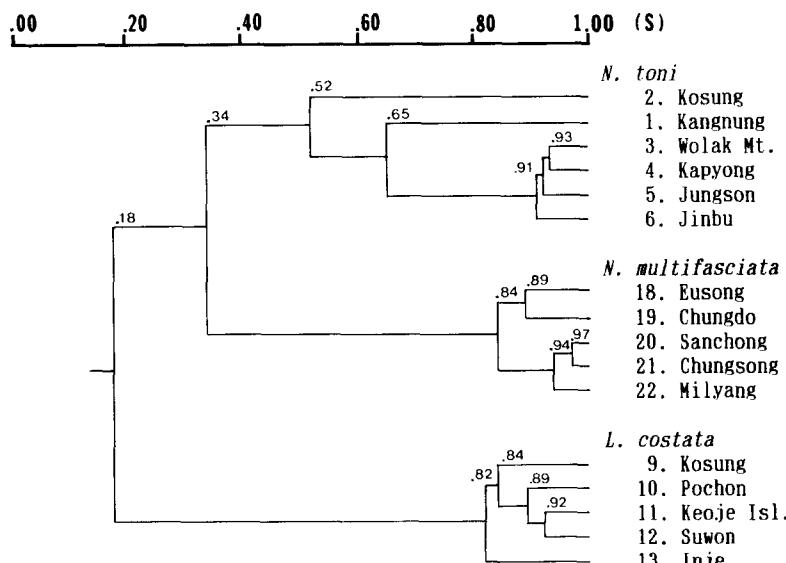


Fig. 4. Dendrogram based on Rogers' (1972) genetic similarity coefficients (S) among 16 populations of three species of the family Cobitidae in Korea.

Homalopteridae로 재분류하여야 한다는 주장과는 상반된 결과여서 주목된다. 현재 기름종개과 어류의 분류는 주로 골격 및 반문등에 의해 수행되었으나 이들은 형태적으로 매우 다양하여 분류

학적으로 혼란이 많았고(Nalbant, 1963), 형태형질의 경우 convergent or paralleled evolution이 가능하기 때문에 기름종개과 어류와 같이 형태변이가 심한 분류군의 경우 어느 특정형질에 의한

분석 만으로는 분류에 어려움이 많다.

질론적으로 한국산 기름종개과 어류 중 단일 종으로 구성된 *Nemacheilus*, *Lefua*, *Niwaella* 속은 형태적으로 변이가 많았으며 특히 *Lefua*의 거제집단, *Niwaella* 산청집단은 형태상 타집단들과 아종일 가능성이 높아 상기집단에 대한 면밀한 형태조사가 요구된다. 유전적으로 뚜렷한 차이를 보인 *N. toni*의 강릉과 고성집단은 각기 독립된 분류군으로 이들 두 집단을 기준으로 한국산 *Nemacheilus* 속 어류의 재분류가 이루어져야 할 것이다.

인용문헌

- Avise, J. C., 1976. Genetic Differentiation During Speciation, In: Molecular Evolution (Ayala, F. J., ed.). Sinauer Assoc., Sunderland, Massachusetts, pp. 106-122.
- Avise, J. C., 1977. Genic heterozygosity and rate of speciation. *Paleobiology* **3**: 422-432.
- Avise, J. C. and M. H. Smith, 1974. Biochemical genetics of sunfish. 1. Geographic variation and subspecific intergradation in the bluegill, *Lepomis macrochirus*. *Evolution* **28**: 42-56.
- Avise, J. C. and R. K. Selander, 1972. Evolutionary genetics of cavedwelling fishes of the genus *Astyanax*. *Evolution* **26**: 1-19.
- Berg, L. S., 1949. Freshwater fishes of the U. S. S. R. and adjacent countries 2nd Ed. Transl. in 1964 by O. Ronen, Oldbourne Pr., Jerusalem. Vol. 2: 409-496.
- Buth, D. G. and B. M. Burr, 1978. Isozyme variability in the cyprinid genus *Campostoma*. *Copeia* **1978**: 198-331.
- Cheng, Qingtai and Baoshan Zheng, 1987. Systematic synopsis of Chinese fishes. *Science Press*, Beijing. **2**: 900-941.
- 崔基哲, 1973. 休戰線以南에 서의 淡水魚의 地理的 分布에 關하여, 韓陸水誌. **6**: 29-36.
- 田祥麟, 1983. 韓國產 이꾸리과 魚類의 分布와 檢素에 關하여, 祥明女大論文集 **11**: 289-321.
- Dowling, T. E. and W. M. Brown, 1989. Allozymes, mitochondrial DNA, and levels of phylogenetic resolution among four minnow species (*Notropis*: Cyprinidae). *Syst. Zool.* **38**: 126-143.
- Howell, W. M. and D. A. Black, 1980. Controlled silver-staining of nucleolus organizer regions with a protective colloidal developer: 1-step method. *Experientia* **36**: 1014-1015.
- Kim, I. S., 1980. Systematic studies on the fishes of the family Cobitidae (Order Cypriniformes) in Korea. I. Three unrecorded species and subspecies of the genus *Cobitis* from Korea. *Kor. J. Zool.* **23**: 239-249.
- Kim, I. S., E. H. Lee, and Y. M. Son, 1988. Morphological variation and geographic distribution of two species of Nemacheiline loaches (Pisces, Cobitidae) from Korea. *Kor. J. Zool.* **31**: 283-294.
- Kim, I. S. and G. Y. Lee, 1988. Taxonomic study of the cobitid fish, *Cobitis lutheri* Rendahl and *C. striata* Ikeda (Cobitidae) from Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **4**: 91-102.
- Kim, I. S., G. Y. Lee, and S. Y. Yang, 1985. Systematic study of the subfamily Leuciscinae (Cyprinidae) from Korea. *Bull. Kor. Fish Soc.*, **18**: 381-400.
- Kim, I. S. and W. O. Lee, 1987. A new subspecies of Cobitid fish (Pisces: Cobitidae) from the Paikchon stream, Chollabuk-do, Korea. *Kor. J. Syst. Zool.* **3**: 57-62.
- Kim, J. and M. A. Burgman, 1988. Accuracy of phylogenetic estimation methods under unequal evolutionary rate. *Evolution* **42**: 596-602.
- Kottelat, M., 1987. Nomenclatural status of the fish names created by J. C. Van Hasselt (1823) and of some Cobitid genera. *Japan J. Ichthyol.* **33**: 368-375.
- Lee, H. Y., H. S. Lee, J. W. Cho and Y. O. Lee, 1984. The karyotype analysis on 21 species of fresh water fish in Korea (II) *Bull. Inst. Basic Sci., Inha Univ.* **5**: 125-140.
- Nalbant, T., 1963. A study of genera of Botiinae and Cobitinae (Pisces, Ostariophysii, Cobitidae) *Trav. Mus. Hist Nat. "Grigore antipa"*: 343-379.
- Nelson, J. C., 1984. Fishes of the World. A Wiley-Interscience Publ. pp. 123-130.
- Park, B. S., 1988. Systematic study on the genus *Cobitis* in Korea. Ph. D. Dissertation, Inha University, Incheon.
- Rholf, F. G. and M. C. Wooten, 1988. Evolution of the restricted maximum likelihood method for estimating phylogenetic trees using simulated allele frequency data. *Evolution* **42**: 581-595.
- Rogers, J. S., 1972. Measure of genetic similarity and genetic distance. *Studies in Genetics VII. Univ. Texas Publ.* **7213**: 145-153.
- Sawada, Y., 1982. Phylogeny and zoogeography of the superfamily Cobitoidea (Cyprinoidei, Cypriniformes). *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* **28**: 65-223.
- Sawada, Y. and I. S. Kim, 1977. Transfer of *Cobitis multifasciata* to the genus *Niwaella* (Cobitidae). *Japan. J. Ichthyol.* **24**: 102-112.
- Schmid, M., 1987. Chromosome banding in amphibia. I. Constitutive heterochromatin and nucleolus organizer regions in *Bufo* and *Hyla*. *Chromosoma* **6**: 361-388.
- Selander, R. K., 1976. Genic variation in natural populations. In: Molecular Evolution (Ayala, F. J. ed.). Sinauer Assoc. Inc., Sunderland, Massachusetts, pp. 21-45.

- Selander, R. K., M. H. Smith, S. Y. Yang, W. E. Johnson, and J. B. Gentry, 1971. Biochemical polymorphism and systematics in the genus *Peromyscus*. I. Variation in the old field mouse (*Peromyscus polionotus*). *Studies in Genetics VII. Univ. Texas Publ.* **7103**: 49-90.
- Sneath, P. H. A. and R. R. Sokal, 1973. *Numerical Taxonomy*, W. H. Freeman Co. San Francisco. pp. 573.
- 孫永牧, 1985. 花陽川과 龍岩川의 淡水魚에 關하여 清州師大論文集 **15**: 1-16.
- 성연제, 양홍준, 남명모, 채명수, 1988. 수수나무기 (*Niwaella multifasciata*)의 부수구역, 과학교육연구지. **12**: 85-90.
- Swofford, D. L. and R. B. Selander, 1981. BIOSYS-1; A FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics. *J. Hered.* **72**: 281-283.
- Uchida, K., 1939. The fishes of Chosen (Korea). Part I. Nematognathi Eventognathi. *Bull. Fish. Exp. Sta. Gov. Gener. Chosen.* **6**: 400-458.(in Japanese)
- Wakiya, Y. and T. Mori, 1929. On two new loaches of the genus *Cobitis* from Korea. *Jour. Chosen Nat. Hist. Soc.* **9**: 31-33.
- Yang, S. Y. and M. S. Min, 1987. Evolutionary study on the Dark Chub (*Zacco temmincki*) IV. Genetic variation, morphology and artificial hybridization. *Kor. J. Zool.* **30**: 417-431.
- Yang, S. Y. and M. S. Min, 1989a. Genic variation and speciation of fishes of the genus *Moroco* (Cyprinidae). *Kor. J. Zool.* **32**: 75-83.
- Yang, S. Y. and M. S. Min, 1989b. Evolutionary study on the Dark Chub (*Zacco temmincki*) I. Geographic distribution and seasonal variation of two allelomorphs of MDH. *Kor. J. Zool.* **32**: 232-241.
- Yang, S. Y., B. S. Park, and J. H. Kim, 1989. Systematic studies of the genus *Cobitis* (Pisces: Cobitidae) in Korea. I. Geographic variation and classification of *Cobitis koreensis*. *Kor. J. Zool.* **32**: 242-251.
- Yang, S. Y., S. R. Jeon, I. Y. Choo, and J. H. Kim, 1984. Genetic variation and systematics in the sub-family Danioninae (Fishes). *Bull. Inst. Basic Sci., Inha Univ.* **5**: 111-118.

(Accepted October 22, 1990)

**Systematic Study on the Fishes of the Family Cobitidae
(Pisces, Cypriniformes) I. Geographic Variation of
Nemacheilus toni, *Lefua costata*, and *Niwaella multifasciata***

Suh Yung Yang, Hei Yung Lee, Hong Jun Yang*, and Jae Heup Kim(Department of Biology, Inha University, Inchon 402-751, Korea; *Department of Biology, Kyongbuk Natl. University, Taegu 702-701, Korea)

Morphometric, chromosomal, and electrophoretic analyses on 23 populations of three species (three genera) of the Family Cobitidae (Pisces, Cypriniformes) inhabiting in Korea were performed to investigate the geographic variation and to clarify their systematic relatedness. In discriminant analysis by 18 morphometric characters, three populations of *Nemacheilus toni* (Wolak Mt.) *Lefua costata* (Keoje Isl.) and *Niwaella multifasciata* (Sanchong) were separated from other populations of each species. The diploid chromosome number of *N. multifasciata* and *L. costata* was same as $2n = 50$, and showed no chromosomal variation within species. But *N. toni* revealed geographic variation in diploid number. Two populations (Samcheok and Jinbu) were $2n = 50$, but $2n = 48$ and $2n = 50$ types were observed in all individuals of Kosung population. Also, Kosung population was different from Samcheok and Jinbu populations in its shape and site of nuclear organizer region(NOR). Using starch gel electrophoresis of proteins, we examined the variation at 28 genetic loci in three species. The degree of genic variation of Chungdo population of *N. multifasciata*, was the highest ($H_D = 0.123$, $H_G = 0.160$) among all populations studied, and the value of *N. toni* (Kosung population) was the lowest ($H_D = 0.017$, $H_G = 0.015$). The average genetic similarities among the populations in each species of *N. toni*, *L. costata* and *N. multifasciata* were $\bar{S} = .919$, $\bar{S} = .852$, and $\bar{S} = .882$ respectively. Genetically three geographical groups (Kosung, Kangnung and the rest of the populations) in *N. toni* were recognized on the specific level. *N. toni* and *N. multifasciata* are more similar genetically than these two species to *Lefua costata*.