

금강에서 발견된 *Acheilognathus* sp. (Cyprinidae)의 분류학적 위치

채병수¹ · 김상기^{1,3} · 이진희^{1,3} · 황의욱^{1,2,*}

¹경북대학교 계통진화유전체학연구소,

²경북대학교 생물교육과, ³경북대학교 생명과학부

Taxonomic Status of *Acheilognathus* sp. (Cyprinidae) found in the Geum River, Korea by Byung Soo Chae¹, Sang Ki Kim^{1,3}, Jin Hee Lee^{1,3} and Ui Wook Hwang^{1,2,*} (¹Institute for Phylogenomics and Evolution, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; ²Department of Biology Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea; ³School of Life Science, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

ABSTRACT To examine the taxonomic status of *Acheilognathus* sp. specimens from the Geum River, morphological and genetical characteristics of *A. sp.*, *A. yamatsutae* and *A. majusculus* were investigated and compared in detail. Specimens of *A. sp.* could be distinguished from the other two species by the combination of some morphological characters such as nuptial color, vertebrae, gillrakers and etc. Males of *A. sp.* had red bands on the outer margin of dorsal and anal fins and a white band on the outer margin of ventral fin in breeding season. *A. sp.* had larger maximum body length and somewhat more vertebrae than *A. yamatsutae*, and had fewer gillrakers than *A. majusculus*. *A. sp.* appeared as a monophyletic group with *A. majusculus* and *A. cyanostigma* based on genetic analysis. In addition, it had even more close relationship with other congeners than *A. yamatsutae*. Therefore it is presumed that *A. sp.* from the Geum River may be a distinct species in genus *Acheilognathus*.

Key words : *Acheilognathus* sp., morphological and phylogenetic relationship, Geum River, Korea

서 론

줄납자루(*Acheilognathus yamatsutae*)는 잉어과의 납자루아과에 속하는 소형 담수어류로써 Mori(1928)가 압록강에서 채집된 개체로 신종 보고한 이후, 함경도를 제외한 한반도의 거의 전역에 분포하고 있음이 밝혀졌고(Mori, 1935; Uchida, 1939; 최, 1964; 정, 1977; 최 등, 1990; 김, 1997) 형태, 생태, 초기성장 과정 및 근연종인 일본의 *A. cyanostigma*와의 형태적 비교에 대한 연구(Uchida, 1939)도 이루어졌다. 1970~80년대에 들어 김(1982)과 진(1982)에 의하여 한국산 납자루아과 어류에 대한 분류와 분포에 대한 연구가 이루어졌으며 그 이후 줄납자루의 분류(김, 1991), 형태 및 변이(Chae and Yang, 1994; 송과 권, 1994b; 송과 손, 2005; 진 등, 2008),

산란(송과 권, 1989, 1994a, 1995), 발생(Suzuki and Jeon, 1987)에 대한 연구가 수행된 바 있었다. 이러한 연구의 과정에서 Kim and Yang(1998)은 줄납자루와 형태적으로 매우 유사하지만 낙동강과 섬진강에만 서식하고 있어서 독특한 분포를 보이는 큰줄납자루(*A. majusculus*)를 구분하여 새로운 종으로 보고하였고 최근에는 큰줄납자루에 대한 발생과 초기생활사(김 등, 2014)가 연구되기도 하였다. 저자들은 한반도에서 줄납자루의 지리적 변이를 조사하던 중 금강의 중상류 지역에서 등지느러미와 뒷지느러미의 가장자리에 붉은 띠의 혼인색이 선명하고 개체의 크기가 커 채집 당시 외견상 큰줄납자루로 동정할 정도로 매우 유사한 개체들을 발견하였다. 금강에서 발견된 개체들의 혼인색과 형태적 특징을 살펴본 결과 큰줄납자루 및 줄납자루와 많은 형태적 특징을 공유하지만 서로 구분할 수 있을 정도로 차이가 있음을 발견하였다. 본 연구에서는 이들 개체의 분류학적인 위치를 규명하기 위하여 형태학적 및 분자계통학적 방법으로 분석을 수행하여 그 결과를 보고하고자 한다.

*Corresponding author: Ui Wook Hwang Tel: 82-53-950-5911
Fax: 82-53-950-6345, E-mail: uwhwang@knu.ac.kr

재료 및 방법

금강의 중상류 지역에서 채집된 개체들은 줄납자루와 큰 줄납자루의 형태적 특징을 공유하고 있기 때문에 이들을 서로 비교하기 위해 전국 여러 곳에서 줄납자루와 큰줄납자루를 채집하여 분석하였으며 사용한 개체들의 채집지 및 개체수는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 금강 상류에서 채집된 개체들은 형태적 및 유전적으로 어느 정도 구분되므로 다른 종과의 구분을 위하여 잠정적으로 *Acheilognathus* sp.를 적용하였다.

산란기에 나타나는 수컷의 혼인색은 현장에서 채집한 즉시 색깔을 기록하고 가장 색깔이 잘 나타난 개체들을 사진으로 촬영하여 비교분석하였다. 형태 분석에 있어서 계측형질은 대부분 Hubbs and Lagler (2004)의 방법에 따라 측정하였으며 체장(standard body length, SL)에 대한 두장(head length, HL), 체고(body depth, BD), 등지느러미기점거리(predorsal length, PDL), 뒷지느러미기점거리(preanal length, PAL), 미병장(caudal peduncle length, LCP), 미병고(caudal peduncle depth, DCP)의 비를 구하였고, 두장에 대하여 문장(snout length, SnL), 안경(eye diameter, ED), 입수염길이(barbel length, BL)의 비를 구하였다. 계수형질은 각 지느러미의 분지연조수, 측선비늘수, 새파수를 계수하였다. 척추골수는 soft x-ray (Hitex, HA-80)로 촬영한 radiogram을 판독하여 계수하였으며 웨버기관을 제외하였다. 계측형질은 1/20 mm 버니어캘리퍼스(Mitutoyo)와 해부현미경(Nikon, SMZ 445) 하에서 eyepiece micrometer(Olympus)를 이용하여 0.1 mm까지 기록하였다.

계통유연관계 확인을 위하여 미토콘드리아 cytochrome b (*Cytb*) 유전자를 마커로 primer는 Xiao *et al.* (2001)이 개발한 L14724, H15915를 사용하였다. PCR 및 염기서열의 결정은 Yang *et al.* (2011)의 방법을 따랐다. 계통분석을 위해 염기서열을 결정된 개체는 Table 1에 나타내었다. 그 외에 국내에 서식하는 납지리(*A. rhombeus*), 가시납지리(*A. chankaensis*), 납자루(*A. lanceolatus*)에 대해서는 직접 염기서열을 결정하여 사용하였고, 국내에 서식하지 않는 납자루속 어류들은 He *et al.* (2008), Yang *et al.* (2011)과 Kawamura *et al.* (2014)이 결정한 염기서열을 계통분석에 사용하였다. 새롭게 결정된 염기서열은 GenBank에 등록(KM408078-KM408099)하였다. 이후 BioEdit v.7.0.9.0 (Hall, 1999)을 이용하여 염기서열을 정렬하고, MrBayes 3.12 (Huelsenbeck and Ronquist, 2001)를 이용한 Bayesian inference (BI)와 RAxML 8.0 (Stamatakis, 2014)을 이용한 maximum likelihood (ML)의 두 가지 계통분석 방법을 사용하여 계통수를 작성하였다. 계통분석 시 사용한 염기서열은 코돈의 염기 위치에 따른 분할 데이터(partitioned data)를 사용하였다. BI 분석은 Partition-

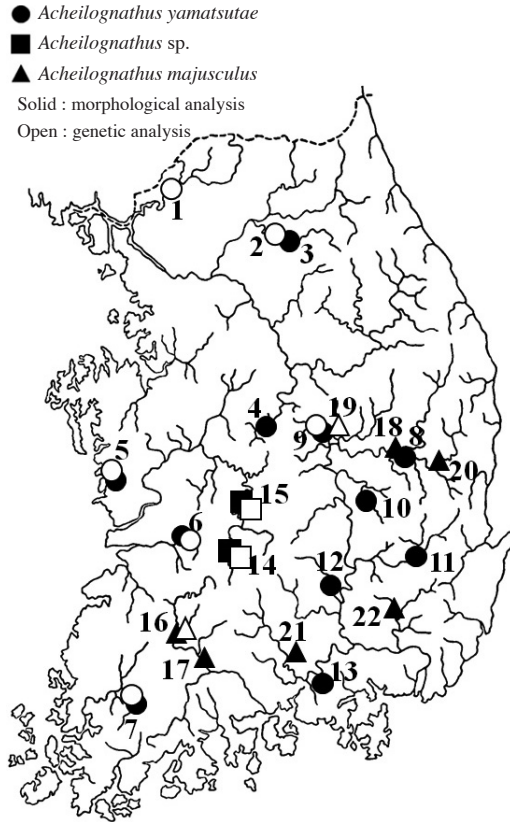


Fig. 1. Sampling localities of fishes used in present study from southern Korean Peninsula.

Finder (Lanfear *et al.*, 2014)를 이용하여 최적의 모델로 나타난 K80+I+G, F81+I, GTR+G를 각각의 염기 위치에 따라 적용하였고, ML 분석에는 GTR+I+G를 사용하였다. 이외의 BI와 ML 분석방법의 설정은 Yang *et al.* (2011)의 방법을 따랐다.

결 과

1. 형태적 변이

A. sp., 줄납자루 및 큰줄납자루의 수컷 개체에서 나타나는 주요한 혼인색을 비교한 결과, 줄납자루에는 등지느러미 상단 앞부분에 삼각형으로 분홍색 부분이 있고 배지느러미와 뒷지느러미의 가장자리에는 흰색의 띠가 있으며 큰줄납자루에는 등지느러미와 뒷지느러미의 가장자리에 선홍색의 띠가 있고 배지느러미에는 흰 띠가 없었다. 그러나 *A. sp.*에는 등지느러미와 뒷지느러미 가장자리에 붉은 띠가 있고 배지느러미와 뒷지느러미에 흰 띠가 모두 있어서 줄납자루 및 큰줄납자루와 차이를 보였다. 또한 등지느러미와 뒷지느러미의 막 전체에 붉은 색소가 많이 흩어져 있어서 지느러미

Table 1. Collecting localities and samples using in this study

Species/Locality	River System	Population No.	Number of specimens		GenBank No.
			Morphology	Molecular	
<i>Acheilognathus yamatsutae</i>					
Yeoncheon-gun, Gyeonggi-do	Imjin R.	1			
Hongcheon-gun, Gangwon-do	Bukhan R.	2	8		
Hongcheon-gun, Gangwon-do	Bukhan R.	3		2	KM408087-88
Boeun-gun, Chungcheongbuk-do	Namhan R.	4	15		
Boryeong-si, Chungcheongnam-do	Ungcheon R.	5	9	2	KM408093-94
Wanju-gun, Jeollabuk-do	Mangyeong R.	6	17	2	KM408095-96
Hwasun-gun, Jeollanam-do	Yeongsan R.	7	10	2	KM408097-98
Andong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	8	4		
Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	9	3	2	KM408089-90
Gunwi-gun, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	10	31		
Gyeongsan-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	11	67		
Goryeong-gun, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	12	28		
Jinju-si, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	13	11		
Miryang-si, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.			2	KM408091-92
<i>Acheilognathus</i> sp.					
Geumsan-gun, Chungcheongnam-do	Geum R.	14	13	2	KM408085-86
Okcheon-gun, Chungcheongnam-do	Geum R.	15	8		
<i>Acheilognathus majusculus</i>					
Sunchang-gun, Jeollabuk-do	Seomjin R.	16	10	3	KM408081-82
Gokseong-gun, Jeollanam-do	Seomjin R.	17	6		
Andong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	18	7		
Mungyeong-si, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	19		2	KM408083-84
Cheongsong-gun, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	20	18		
Sancheong-gun, Gyeongsangnam-do	Nakdong R.	21	24		
Cheongdo-gun, Gyeongsangbuk-do	Nakdong R.	22	8		

전체가 붉게 보이는 특징을 지닌 개체가 많았다. 살아있는 개체들의 수컷에서 몸 옆면 가운데의 푸른 색 종대는 줄납자루에서는 미병부에서 어깨부위까지 비교적 굵고 뚜렷하게 나타나지만 큰줄납자루와 *A. sp.*에서는 전체적으로 불분명하였다 (Fig. 2).

3종의 하천별 계측 및 계수형질은 Table 2에 나타내었다. 본 연구에 사용된 개체의 범위 내에서 체장(SL)을 비교해보면 줄납자루는 36.2~80.3 mm의 범위였고 큰줄납자루는 52.0~113.6 mm, *A. sp.*는 37.4~95.0 mm로 나타나 줄납자루가 가장 작았고 *A. sp.*는 큰줄납자루보다 다소 작았다.

계수 형질 중 각 지느러미의 분지연조수는 종별, 하천별로 거의 차이가 없었으나 측선린수, 새파수 및 척추골수에서는 차이가 있었다 (Table 2, Fig. 3). 새파수(Gillrakers)에서는 줄납자루는 9~13 (mode 9.5~11)개, 큰줄납자루는 15~19 (mode 17)개, *A. sp.*는 9~12 (mode 10)개로 나타나 *A. sp.*는 줄납자루에 가까운 특징을 나타내었다. 측선린수(Scales)는 각 하천 집단별로 범위가 크게 중복되기는 하나 줄납자루는 35~39 (mode 37~38)개, 큰줄납자루는 37~43 (mode 39, 40)개, *A. sp.*는 37~40 (mode 38)개로 나타났다. 전체적으로 *A. sp.*의 측선린수는 줄납자루와 큰줄납자루의 중간적인 특징을 나타내었다. 웨버기관을 제외한 척추골의 수는 큰줄납자루 종 내의 섬진강 개체군은 34~38 (mode 35)개로 낙동강 개체군의 33~35 (mode 34)개보다 더 많았다. 줄납자루에서



Fig. 2. Comparison of nuptial color among males of *Acheilognathus yamatsutae*, *A. sp.* and *A. majusculus*.

Table 2. Meristic counts and morphometric measurements of *Acheilognathus yamatsutae*, A. sp. and *A. majusculus* from several rivers in Korean Peninsula

Species	<i>Acheilognathus yamatsutae</i>					A. sp.	<i>A. majusculus</i>		
	River	Han R.	Ungcheon R.	Mangyeong R.	Yeongsan R.	Nakdong R.	Geum R.	Seomjin R.	Nakdong R.
Population	3,4	5	6	7	8,9,10,11,12,13	14,15	16,17	18,20,21,22	
N	23,*18,**11	9	17,*8,**9	10	124,*85,**14	21,**13	16,*9,**13	79,*38,**20	
SL (mm)	48.3-74.2	52.9-69.5	57.4-66.3	46.7-80.3	36.2-66.4	37.4-95.0	57.2-89.1	52.0-113.6	
Meristic characters									
DF	8.0±0.0	8.0±0.0	8.1±0.4	8.0±0.0	8.0±0.2	8.1±0.2	8.1±0.3	8.0±0.0	
(8)	(8)	(7-9)	(8)	(8-9)	(8-9)	(8-9)	(8)		
PF	14.0±0.9	12.8±0.4	13.5±0.5	13.6±0.7	13.5±0.6	13.7±0.6	14.3±0.6	13.9±0.7	
(13-16)	(12-13)	(13-14)	(13-15)	(13-15)	(13-15)	(13-15)	(13-15)		
VF	7.0±0.0	6.8±0.4	6.9±0.2	7.0±0.0	7.0±0.0	7.0±0.0	7.0±0.0	7.0±0.2	
(7)	(6-7)	(6-7)	(7)	(7)	(7)	(7)	(6-7)		
AF	7.9±0.3	8.0±0.0	8.1±0.8	8.0±0.0	8.0±0.2	8.0±0.0	8.0±0.0	8.0±0.2	
(7-8)	(8)	(7-10)	(8)	(7-8)	(8)	(8)	(7-8)		
Scales	37.5±0.7	38.3±0.7	38.2±0.6	37.5±0.5	37.1±0.7	38.4±0.7	39.9±1.1	38.6±0.8	
(36-39)	(37-39)	(37-39)	(37-38)	(35-39)	(37-40)	(38-43)	(37-41)		
Gillrakers	10.2±0.9*	11.6±0.7	9.8±0.9*	11.4±1.0	10.7±0.8*	10.4±0.9	16.9±0.8*	17.1±1.0*	
(9-12)	(11-13)	(9-11)	(10-13)	(9-13)	(9-12)	(16-18)	(15-19)		
Vertebrae	32.5±0.5**	32.9±0.3	32.9±0.3**	32.3±0.5	31.9±0.3**	33.2±0.4**	34.9±1.2**	33.6±0.6**	
(32-33)	(32-33)	(32-33)	(32-33)	(31-32)	(33-34)	(34-38)	(33-35)		
Percents of standard body length									
HL	23.5±0.6	23.1±0.7	22.8±0.6	23.4±0.8	24.6±1.0	23.0±1.3	22.9±0.5	23.7±1.3	
	(22.3-24.7)	(22.3-24.5)	(21.9-24.5)	(21.8-24.6)	(22.6-27.7)	(21.2-25.7)	(21.8-24.1)	(21.0-26.3)	
PDL	48.7±1.2	48.0±0.7	50.8±1.6	47.2±1.6	49.8±1.1	48.8±1.2	49.7±1.0	49.8±1.1	
	(46.2-50.7)	(47.0-49.1)	(49.1-56.3)	(45.0-49.2)	(47.2-53.2)	(46.7-50.9)	(48.3-51.6)	(47.2-52.1)	
PPL	22.1±0.7	22.4±0.7	21.6±0.8	22.6±0.7	23.6±1.2	21.9±1.2	21.7±0.7	22.4±1.4	
	(21.0-23.6)	(21.4-23.8)	(20.1-23.1)	(21.0-23.6)	(21.3-26.1)	(20.3-25.2)	(20.5-22.7)	(19.4-24.9)	
PVL	46.9±1.0	44.6±0.5	46.7±1.5	45.4±0.8	47.0±1.1	45.8±1.4	45.8±1.1	46.7±1.2	
	(45.4-49.3)	(43.9-45.5)	(44.8-51.4)	(43.4-46.3)	(42.9-49.3)	(43.7-48.5)	(44.0-47.7)	(44.3-49.6)	
PAL	64.1±1.2	61.3±0.5	64.4±1.7	62.0±1.2	63.6±1.0	62.7±1.3	63.2±1.0	63.7±1.0	
	(61.5-66.0)	(60.4-62.0)	(62.5-69.7)	(59.3-63.1)	(61.3-66.0)	(60.2-64.6)	(61.5-65.4)	(61.7-65.6)	
BD	33.0±1.1	29.7±0.5	32.8±1.3	31.2±0.7	32.0±1.5	31.3±1.0	32.0±1.1	32.6±2.6	
	(30.6-35.6)	(28.9-30.4)	(31.3-35.4)	(29.9-32.0)	(28.9-37.2)	(29.1-32.5)	(30.4-34.2)	(28.0-39.4)	
LCP	22.2±1.1	23.8±1.1	20.9±1.6	22.4±1.6	22.5±1.1	21.9±1.1	22.4±1.1	21.9±1.2	
	(20.2-23.9)	(22.5-25.7)	(15.3-22.7)	(20.0-24.3)	(19.0-25.0)	(20.0-24.2)	(20.7-24.3)	(19.2-24.1)	
DCP	11.8±0.4	12.1±0.4	12.5±0.5	11.7±0.6	11.7±0.7	12.0±0.5	12.3±0.4	12.3±0.6	
	(11.2-12.6)	(11.6-12.7)	(11.9-13.8)	(10.8-12.5)	(9.9-13.6)	(11.1-12.8)	(11.7-13.1)	(11.1-13.9)	
LAF	15.6±1.2	14.5±0.7	14.2±0.7	14.2±0.6	14.4±1.0	17.0±1.0	15.0±1.3	14.7±1.1	
	(12.9-17.5)	(13.7-15.5)	(12.7-15.3)	(13.1-15.0)	(12.4-17.5)	(15.2-18.5)	(12.9-16.5)	(12.3-16.8)	
LDF	17.2±0.8	17.1±0.6	17.3±0.8	17.3±1.2	17.3±1.1	18.4±1.6	16.6±0.8	16.6±1.2	
	(15.5-18.5)	(16.5-18.4)	(15.7-19.0)	(15.6-19.3)	(15.4-20.0)	(15.6-21.6)	(15.2-18.4)	(13.8-18.6)	
Percents of head length									
SnL	26.7±3.4	22.5±0.9	30.0±1.0	24.7±1.6	26.4±2.0	27.1±2.1	29.0±2.9	30.1±2.0	
	(22.7-32.7)	(20.8-23.9)	(27.6-31.3)	(22.7-27.1)	(21.1-30.0)	(23.4-29.9)	(23.7-33.5)	(23.7-36.1)	
ED	31.8±1.7	31.7±1.6	30.9±0.8	31.0±1.3	30.5±2.0	31.4±2.3	28.9±1.0	29.0±1.9	
	(29.0-34.8)	(29.7-33.3)	(29.7-32.8)	(29.3-33.6)	(26.4-36.7)	(27.8-36.7)	(27.2-31.2)	(23.8-32.9)	
IOW	38.4±1.3	39.5±1.1	40.4±1.6	38.7±1.7	38.2±1.8	40.1±1.3	38.5±1.3	37.6±1.5	
	(36.3-40.5)	(38.1-41.9)	(36.9-42.6)	(36.0-42.0)	(34.5-43.8)	(37.4-42.8)	(35.6-40.6)	(32.1-41.7)	
BL	13.0±1.7	7.0±2.0	15.9±2.5	13.3±1.7	5.6±1.3	16.4±3.5	17.9±1.5	16.4±3.7	
	(9.6-17.0)	(4.2-11.0)	(12.9-20.7)	(11.1-16.8)	(2.7-9.4)	(10.3-21.1)	(14.5-19.8)	(9.7-25.8)	
Percents of eye diameter									
BL	40.9±4.9	22.1±6.9	51.8±9.0	43.1±5.9	18.3±4.2	52.9±12.6	61.9±6.5	57.1±14.5	
	(31.0-50.0)	(14.0-37.0)	(41.9-68.9)	(36.6-54.3)	(8.7-32.5)	(30.3-67.3)	(46.5-71.4)	(32.5-105.1)	

Abbreviations are as follows. BD, body depth; BL, barbel length; DF, PF, VF and AF, branched fin rays of dorsal, pectoral, ventral and anal fin; ED, eye diameter; Gillrakers, front one on the first branchial arch; HL, head length; IOW, interorbital width; LAF and LDF, length of first branched anal and dorsal fin ray; LCP and DCP, length and depth of caudal peduncle; N, number of individuals used in the analysis; PDL, PPL, PVL and PAL, predorsal, prepectoral, preventral and preanal length; Scales, number of scales on the lateral line; SL, standard body length; SnL, snout length.

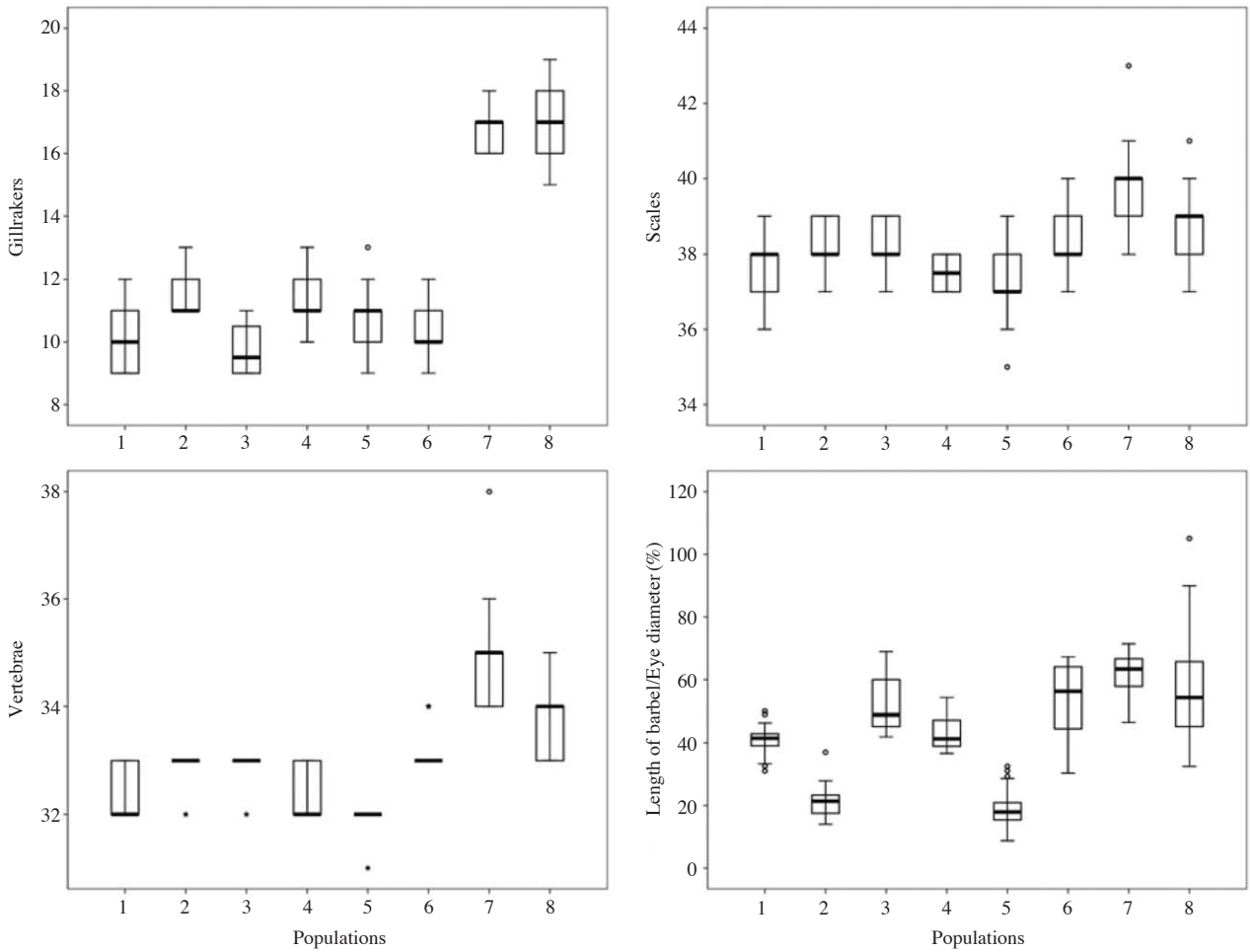


Fig. 3. Geographic variation of some morphological characters in *Acheilognathus yamatsutae* (1: Han R., 2: Ungcheon R., 3: Mangyeong R., 4: Yeongsan R., 5: Nakdong R.), *A. sp.* (6: Geum R.) and *A. majusculus* (7: Seomjin R., 8: Nakdong R.). In each diagram, bold horizontal bars indicate modes, boxes quartiles, perpendicular lines ranges and small circles outliers.

는 한강, 웅천천, 만경강, 영산강 집단은 범위가 32~33개였는데, mode는 한강과 영산강 집단은 32, 웅천천과 만경강 집단개체군은 33개로 나타나 약간의 차이가 있었다. 한편 낙동강 개체군은 31~32 (mode 32)개로 줄납자루 중 척추골수가 가장 적었으며, 금강의 *A. sp.*는 33~34 (mode 33)개로 줄납자루와 큰줄납자루의 중간적인 특징을 보였다. 따라서 측선린수와 척추골수의 변이는 전체적으로 매우 비슷한 경향을 나타내었다.

계측형질은 대부분 종별 및 하천별로 큰 차이가 없었으나 안경에 대한 입수염의 길이 (BL/ED) 비율에서는 집단별로 차이가 관찰되었다. 큰줄납자루는 32.5~105.1 (평균 57.1~61.9)%, *A. sp.*는 30.3~67.3 (평균 52.9)%로 거의 비슷하였다. 줄납자루에서는 입수염의 길이에서 두 개의 변이 집단이 나타났는데 한강, 만경강, 영산강 집단에서는 31.0~68.9 (평균 40.9~51.8)%로 다소 길고 웅천천과 낙동강 집단에서는 8.7~37.0 (평균 18.3~22.1)%로 짧았으며 거의 범위가 겹치

지 않을 정도로 차이가 있었다. 입수염의 길이에서 큰줄납자루와 *A. sp.*는 입수염이 긴 한강, 만경강, 영산강의 줄납자루 집단보다 다소 더 긴 것으로 나타났다.

2. *Acheilognathus* sp.의 분포

이와 같은 형태적 특징을 지닌 *A. sp.*의 분포를 조사한 결과 현재까지는 금강에서만 출현하고 있으며, 금강 중에서도 대청댐의 상류 지역인 옥천군, 금산군, 영동군, 무주군을 관류하는 금강의 본류와 그에 인접한 몇몇 지류에 서식하는 것으로 밝혀졌다 (Fig. 4).

3. 계통분석

미토콘드리아 *CytB* 유전자를 이용한 계통분석 결과, BI와 ML 계통수는 거의 유사한 topology를 나타내었다 (Fig. 5). 현재까지 염기서열이 밝혀진 *Acheilognathus*속의 어종들과 비

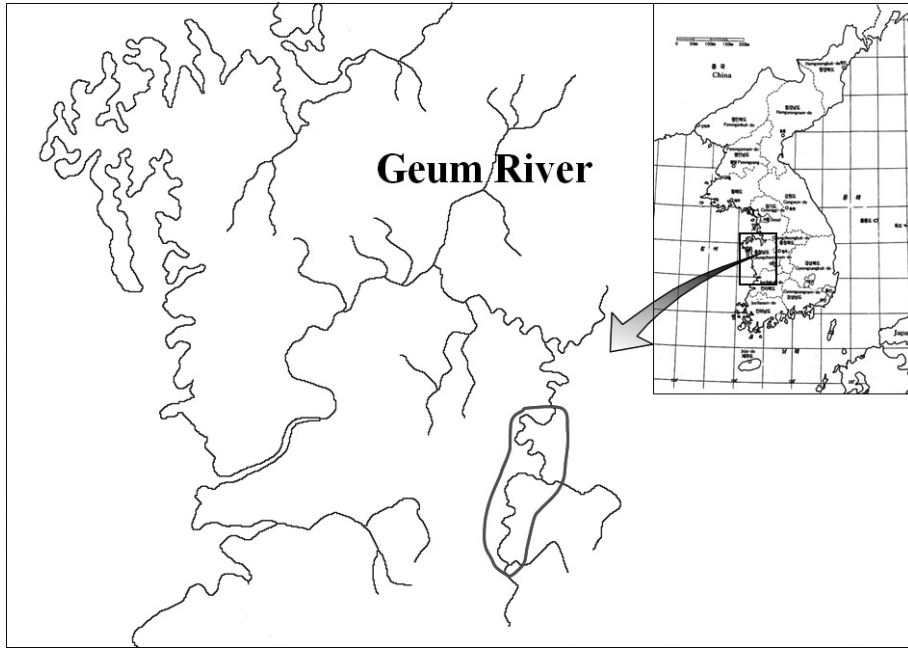


Fig. 4. Map showing the distribution area of *Acheilognathus* sp. in Korean Peninsula.

교한 결과, 형태적으로 유사하여 동일한 종으로 여겨졌던 줄납자루와 금강에 서식하는 *A. sp*는 단계통군을 형성하지 않았다. 오히려 *A. sp*는 별종인 큰줄납자루 및 일본에 서식하는 *A. cyanostigma*와 하나의 단계통군으로써 *Majusculus-cyanostigma* group을 형성하였다. 금강을 제외하고 본 연구에 사용된 압록강, 한강, 낙동강, 웅천천, 만경강, 영산강에 서식하는 줄납자루는 유전적으로 유사한 *Yamatsutae* group을 형성하였다. 각각의 유전적 그룹은 BI와 ML 분석 모두에서 높은 수치의 신뢰도(1.00 BPP/100 BP)를 나타내었다. *Majusculus-cyanostigma* group에서 *A. sp*는 일본의 *A. cyanostigma*보다는 큰줄납자루와 유전적으로 더 가까웠으나, 낮은 수치의 신뢰도 값(0.89 BPP/54 BP)을 나타내, 두 종 사이의 유연관계에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

고 찰

최근에 저자들은 줄납자루의 분포 영역에 속하는 하천 중 금강의 중상류 지역에서 큰줄납자루와 매우 유사한 개체들을 채집하였으며, 이들에 대해 형태적 및 유전적 특성을 비교해본 결과 형태적으로는 줄납자루나 큰줄납자루와 매우 유사하고 공유하는 특성이 많지만 유전적으로는 상당한 차이를 나타내고 있음을 발견하였다. 형태적 특성 중 집단 간에 차이가 있는 것으로 나타난 형질들은 유사한 특성을 나타내는 집단으로 묶어 Table 3에 나타내었으며, 일본에 분포하는 *Acheilognathus cyanostigma*의 형태적 특성도 문헌

(Uchida, 1939; Nakamura, 1969; Miyadi *et al.*, 1976; Kawababe and Mizuno, 1989; Akai *et al.*, 2004)에서 인용하여 같이 비교하였다.

큰줄납자루, 줄납자루, 금강의 *A. sp* 및 일본의 *A. cyanostigma*의 수컷들은 산란기에 혼인색을 띠 때 등지느러미, 뒷지느러미, 체측중대에서 차이를 나타내고 있어서 서로 잘 구분되었다. 이와 같이 체색 및 혼인색의 차이에 의하여 집단이 구분되거나 다른 종으로까지 기재되는 사례로는 줄납자루와 큰줄납자루(Kim and Yang, 1998), 돌마자와 여울마자(Chae and Yang, 1999), 새코미꾸리와 일록새코미꾸리(Kim *et al.*, 2000), 갈겨니와 참갈겨니(Kim *et al.*, 2005), 참갈겨니의 3형(채와 윤, 2006), 피라미의 2형(윤 등, 2012) 등의 경우가 있으며 최근에 점차 늘어나고 있는 추세에 있어서 체색도 중요한 형태적 분류형질로 취급되어야 할 것으로 판단된다.

Kim and Yang(1998)은 큰줄납자루에 대한 대조 집단의 하나로 무주 지역의 금강에 서식하는 줄납자루를 사용했는데 이 집단의 개체들은 새파수는 평균 10.8(범위 10~12)개로 다른 줄납자루 집단과 비슷하였으며, 최대 체장은 큰줄납자루보다는 작지만 다른 줄납자루 집단보다는 크고 척추골수는 평균 36.9(범위 36~38)개(웨버기관 포함)로 다른 줄납자루보다 다소 많으며 수염의 길이는 평균값이 두장의 17.6(범위 14.4~21.1)%로 다른 줄납자루보다 훨씬 긴 특징을 보이고 있어서 본 연구의 금강 집단인 *A. sp*와 같은 집단에 소속되는 것으로 판단하였다.

CytB 유전자를 이용한 계통학적 분석에서는 형태적 특성

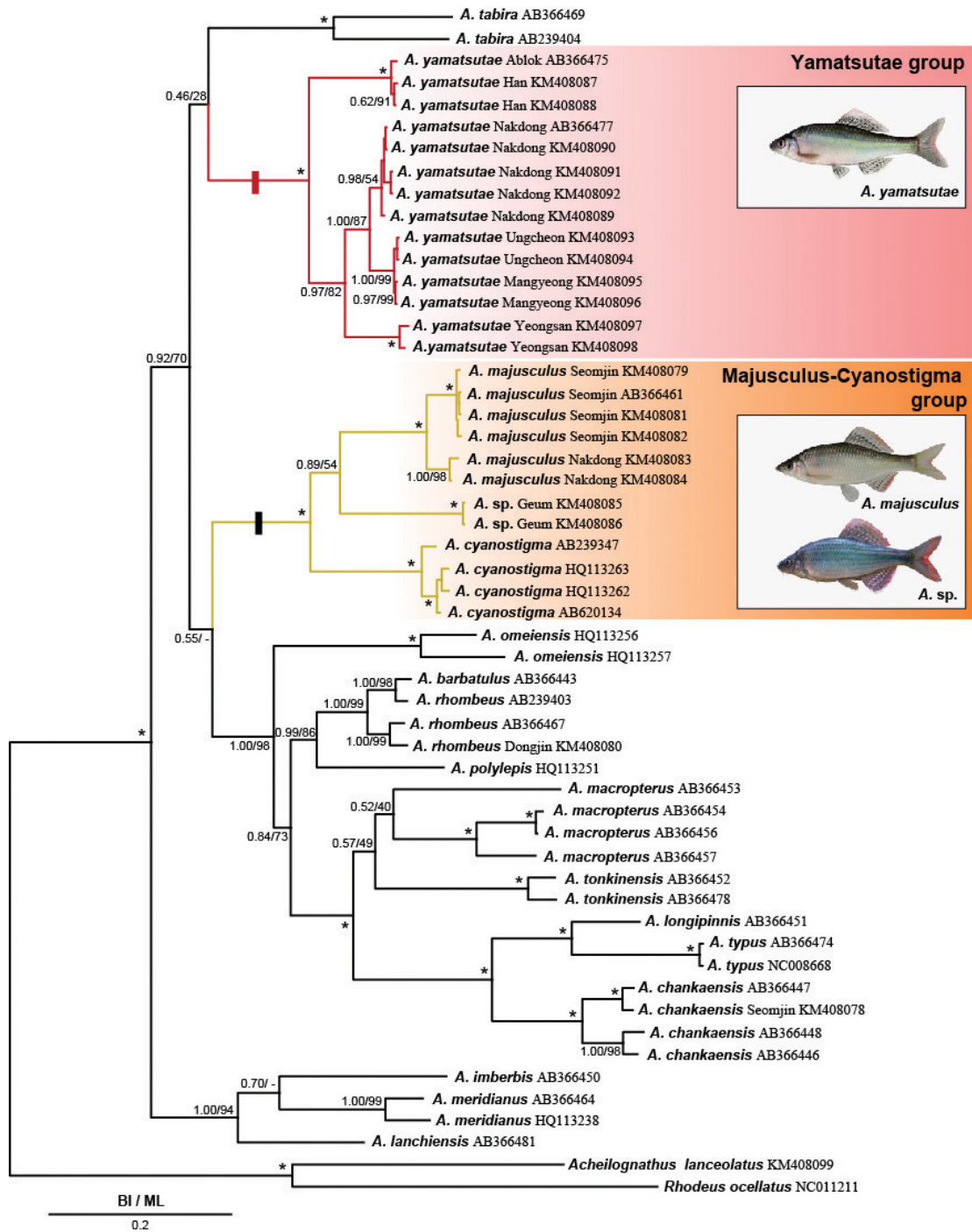


Fig. 5. Bayesian inference tree of *Acheilognathus yamatsutae*, *A. majusculus*, *A. sp.* and 14 *Acheilognathus* species, inferred from mitochondrial cytochrome b gene sequences. Numbers above nodes represent posterior probabilities values (BPP, left) and bootstrap values (BP, right). (*) indicates that 1.00 BPP/100 BP.

의 분석 결과와는 달리 *A. sp.*가 줄납자루보다는 큰줄납자루에 더 가까운 관계를 가지고 있음이 밝혀졌다. 뿐만 아니라 큰줄납자루와 *A. sp.*는 *Acheilognathus*속 내의 국내 서식 어종들 중 줄납자루보다는 큰납지리, 가시납지리 및 납지리와

더 가까운 관계를 보이고 있어서 주목된다. 한편 큰줄납자루와 *A. cyanostigma*가 더 근연종으로 하나의 유전적 그룹을 형성하는 것은 Yang *et al.* (2011)과 Kawamura *et al.* (2014)에 의하여 이미 보고된 바 있다.

Table 3. Discriminating characteristics among *Acheilognathus* sp., *A. majusculus*, *A. yamatsutae* and *A. cyanostigma*

Characteristics	<i>Acheilognathus yamatsutae</i> (Nakdong, Ungcheon R.)		<i>Acheilognathus yamatsutae</i> (Han, Mangyeong, Yeongsan R.)		<i>Acheilognathus sp.</i> (Geum R.)		<i>Acheilognathus majusculus</i> (Nakdong, Seomjin R.)		<i>Acheilognathus cyanostigma</i> (Japan)	
	36.2-69.5	46.7-80.3	46.7-80.3	37.4-95.0	52.0-113.6	35.7-65.1 ^{a,b}				
Standard body length (mm)										
Color patterns of fin in males at spawning season										
Pink triangle on the apex of dorsal fin	Present	Present	Present	Present	Absent	Present ^{c,d}				
Red band on the outer margin of dorsal and anal fin	Absent	Absent	Absent	Present	Present	Absent ^e				
White band on the anterior margin of ventral fin	Present	Present	Present	Present	Absent	Absent				
White band on the outer margin of anal fin	Present	Present	Present	Present	Present	Present ^{e,e}				
Longitudinal band of body side in life	Distinct	Distinct	Distinct	Obscure	Obscure	Distinct ^f				
Gillrakers at anterior row of first arch	10.7-11.6 (9-13)	9.8-11.4 (9-13)	9.8-11.4 (9-13)	10.4 (9-12)	16.9-17.1 (15-19)	8.3 (5-10) ^{a,b}				
Number of vertebrae	31.9-32.9 (31-33)	32.3-32.9 (32-33)	32.3-32.9 (32-33)	33.2 (33-34)	33.6-34.9 (33-38)	33.6 ^{a,b} (32-35)				
Barbel length to the eye diameter (%)	18.3-22.1 (8.7-37.0)	40.9-51.8 (31.0-68.9)	40.9-51.8 (31.0-68.9)	52.9 (30.3-67.3)	57.1-61.9 (32.5-105.1)	very short ^b , not exceed 1/4 of ED ^e				

^a Uchida (1939), ^b Nakamura (1969), ^c Miyadi *et al.* (1976), ^d Kawanabe and Mizuno (1989), ^e Akai *et al.* (2004), ED: eye diameter.

Yamatsutae group의 줄납자루에 있어서 서식 수계가 다른 개체들 사이의 유연관계를 비교해 보면, 서한아지역에 속하는 웅천천과 만경강의 개체들은 남한아지역에 속하는 낙동강의 개체들과 지리적으로 떨어져 있고 동물지리학적 구역이 서로 다름에도 불구하고 유전적으로 가까웠으나 같은 서한아지역에 속하는 한강 및 압록강의 개체들과는 유전적 차이가 크게 나타났다. 이 결과는 현재까지 한반도에 서식하면서 유전적 구조가 밝혀진 쉬리 (Kim, 2009; Song *et al.*, 2010) 및 흰수마자 (미발표자료) 등의 어종에서 알려진 바와 같이 동일한 아지역의 하천 즉 서한아지역의 한강과 금강 또는 남한아지역의 낙동강과 섬진강에 서식하는 개체들끼리 서로 유전적으로 가깝고 다른 아지역에 속하는 개체들끼리는 유전적으로 큰 차이가 있는 현상과 달라 주목된다. 향후 줄납자루가 가지는 독특한 유전적 구조에 대하여 분류학적, 계통학적으로 포괄적인 연구가 요망된다.

줄납자루는 압록강에서부터 낙동강까지의 서해와 남해로 흐르는 많은 하천에 분포하는 것으로 알려져 있었는데, 줄납자루로 알려진 개체들 중 섬진강과 낙동강에 서식하고 있는 일부 개체들이 기존의 줄납자루와는 다른 특징을 지니고 있어 새로운 종인 큰줄납자루로 기재되었다 (Kim and Yang, 1998). 큰줄납자루가 보고되기 이전에 섬진강에서 줄납자루로 알려진 모든 개체들은 큰줄납자루로 판명되었으며 그 이후 섬진강에서 줄납자루가 출현한다는 보고는 아직까지 없어 이 하천에는 줄납자루가 분포하지 않는 것으로 판단된다 (김 등, 2005). 따라서 줄납자루는 남해로 흐르는 하천 중 섬진강을 건너뛰어 낙동강에 출현하는 매우 특이한 분포를 보이고 있을 뿐만 아니라 낙동강의 줄납자루는 집단 내의 모든 개체들이 입수염이 짧아 다른 하천의 줄납자루들과 구별되는 형태적 특징을 지니고 있어서 매우 흥미롭다.

한편 *A. sp.*에 해당하는 개체들은 현재까지 금강의 중상류에 해당하는 금산군, 옥천군, 영동군, 무주군의 금강 본류와 인근의 지류에서만 확인되었는데, 금강 전체에 출현하는 줄납자루류의 어류가 모두 *A. sp.*에 해당하는지 아니면 줄납자루도 같이 출현하는지는 앞으로 분포에 대한 연구가 상세히 이루어져야 할 것이라고 생각된다. 이와 같이 섬진강에 줄납자루가 분포하지 않는 것, 큰줄납자루가 낙동강과 섬진강에만 분포하는 사실과 *A. sp.*가 금강에서 독자적으로 분화된 사실 등은 과거의 하천의 단절과 연속 등의 지사적인 특성을 반영하는 바 이에 대한 생물지리학적 연구가 필요하다.

이상의 분석에서 살펴본 바와 같이 금강의 *A. sp.*는 줄납자루와는 유전적으로 매우 차이가 크고 큰줄납자루나 일본의 *A. cyanostigma*와는 같은 유전적 그룹으로 묶이지만 새파수에서 서로 크게 다르기 때문에 전혀 다른 종이라고 판단된다. 그러나 줄납자루와 뚜렷이 구분해 줄 수 있는 형태적, 생태적, 생식적 특성을 아직 확인하지 못하였으므로, 앞으로 금강의 *A. sp.*와 줄납자루 및 큰줄납자루 사이를 보다

잘 구분해 줄 수 있는 형태적 특징의 탐색, 생식적 격리의 유무, 더 많은 유전자의 분석에 의한 정확한 계통학적 관계의 파악 등이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

금강에서 채집된 *Acheilognathus* sp.의 분류학적 위치를 밝히기 위하여 이들의 형태적 및 유전학적 특성을 검토하고 속 내의 유사종인 줄납자루 및 큰줄납자루와 비교하였다. 이들은 많은 형태적인 특징에서 거의 비슷하였으나 수컷의 혼인색인 등지느러미와 뒷지느러미 가장자리에 붉은 띠가 있고, 배지느러미 가장자리에 흰 띠가 있으며, 최대 체장이 줄납자루보다 큰 점, 계수형질에서는 척추골수가 다소 많은 점과 새파수는 적은 점 등의 특징에서 *A. sp.*가 다른 두 종과 차이가 있었다. 계통 분석에 의하면 *A. sp.*는 큰줄납자루 및 *A. cyanostigma*와 단계통을 형성하였으며 줄납자루와는 *Acheilognathus*속 내의 다른 종들보다도 더 먼 관계를 가지고 있었다. 따라서 금강의 *A. sp.*는 줄납자루, 큰줄납자루 및 일본의 *A. cyanostigma*와 형태, 분포 및 유전적 특성에 의하여 구별되는 다른 종의 수준에 있다고 생각된다.

사 사

이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2011-0011863) 및 환경부 국립생물자원관의 미개척분류군 전문인력 양성사업(1834-302)에 의해 작성되었습니다. 어류의 척추골의 X-ray 사진 촬영에 도움을 주신 전북대학교 박종영 교수와 김형수 박사에게 감사드리며, 실험 재료를 보내주시고 현지 채집에도 도움을 주신 보령민물생태관 조성장 관장에게도 감사의 말씀을 전합니다.

인 용 문 헌

- 김익수. 1982. 한국산 납자루아과 어류의 분류학적 연구. 전북대학교 생물학연구연보, 3: 1-18.
- 김익수. 1997. 한국동식물도감. 제37권 동물편(담수어류). 교육부, pp. 183-185.
- 김익수 · 최 윤 · 이충열 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 원색 한국어류대도감. 교학사, 서울, p. 110.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속(잉어과) 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문, 132pp.
- 김치홍 · 최웅선 · 김대희 · 백재민. 2014. 고유종 큰줄납자루, *Acheilognathus majusculus*의 난 발생과 초기생활사. 한국어류학회지, 26: 17-24.
- 송호복 · 권오길. 1989. 의암호에 서식하는 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori의 산란 및 발생 특성에 관한 연구. 한국어류학회지, 22: 51-70.
- 송호복 · 권오길. 1994a. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)의 폐류 체내 산란. 한국어류학회지, 6: 39-50.
- 송호복 · 권오길. 1994b. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*의 지리적 변이 및 *Acheilognathus cyanostigma*와의 형태비교. 한국어류학회지, 27: 127-135.
- 송호복 · 권오길. 1995. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* Mori (Cyprinidae)의 산란조건. 한국어류학회지, 7: 18-24.
- 송호복 · 손영목. 2005. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (잉어과)의 골격 발달. 한국어류학회지, 17: 19-28.
- 윤희남 · 채병수 · 배양섭. 2012. 피라미, *Zacco platypus* (Cyprinidae, Pisces)의 체색과 형태의 지리적 변이. 한국어류학회지, 24: 167-176.
- 전상린. 1982. 한국산 납자루아과 어류의 분포에 관하여. 전북대학교 생물학연구연보, 3: 33-47.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울, p. 193.
- 진영국 · 김치홍 · 이철우 · 김재원 · 이정식. 2008. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*의 성 성숙에 따른 외부생식형질의 변화. 한국어류학회지, 20: 13-20.
- 채병수 · 윤희남. 2006. 참갈겨니, *Zacco koreanus* (잉어과, 어강)의 혼인색의 지리적 변이와 분포. 한국어류학회지, 18: 97-106.
- 최기철 · 전상린 · 김익수 · 손영목. 1990. 원색한국담수어도감. 향문사, 서울, pp. 37-38.
- 최여구. 1964. 조선의 어류. 과학원출판사, pp. 123-124.
- Akai, Y., N. Akiyama, N. Suzuki and O. Masuda. 2004. Everything on the bitterlings (Tanago no subete). MPJ-aqualife Co. Ltd., pp. 38-39. (in Japanese)
- Chae, B.S. and H.J. Yang. 1994. Two morphotypes in Korean striped bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* Mori (Cyprinidae, Pisces). Korean J. Zool., 37: 49-57.
- Chae, B.S. and H.J. Yang. 1999. *Microphysogobio rapidus*, a new species of gudgeon (Cyprinidae, Pisces) from Korea, with revised key to species of the genus *Microphysogobio* of Korea. Korean J. Biol. Sci., 3: 17-21.
- Hall, T.A. 1999. BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. Nucl. Acids Symp. Ser., 41: 95-98.
- He, S., X. Gu, R.L. Mayden, W.J. Chen, K.W. Conway and Y. Chen. 2008. Phylogenetic position of the enigmatic genus *Psilorhynchus* (Ostariophysi: Cypriniformes): evidence from the mitochondrial genome. Mol. Phylogenet. Evol., 47: 419-425.
- Hubbs, C.L. and K.F. Lagler, 2004. Fishes of the Great Lakes region. revised edition by G.R. Smith. The University of Michigan Press, Ann Arbor, pp. 29-40.
- Huelsenbeck, J.P. and F. Ronquist. 2001. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. Bioinformatics, 17: 754-755.
- Kawamura, K., T. Ueda, R. Arai and C. Smith. 2014. Phylogenetic

- relationships of bitterling fishes (Teleostei: Cypriniformes: Acheilognathinae), inferred from mitochondrial cytochrome b sequences. *Zool. Sci.*, 31: 321-329.
- Kawanabe, H. and N. Mizuno. 1989. Freshwater fishes of Japan. Yama-Kei Publ. Co. Ltd., Tokyo, p. 372.
- Kim, I.S. and H. Yang. 1998. *Acheilognathus majusculus*, a new bitterling (Pisces, Cyprinidae) from Korea, with revised key to species of the genus *Acheilognathus* of Korea. *Korean J. Biol. Sci.*, 2: 27-31.
- Kim, I.S., J.Y. Park and T.T. Nalbant. 2000. A new species of *Koreocobitis* from Korea with a redescription of *K. rotundicaudata*. *Korean J. Ichthyol.*, 12: 89-95.
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya. 2005. A new species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 17: 1-7.
- Kim, S.K. 2009. Two mitochondrial genetic lineages and phylogeography of a Korean shinner *Coreoleuciscus splendidus* (Cyprinidae, Gobioninae). Master Thesis of Kyungpook National Univ., 59pp.
- Lanfear, R., B. Calcott, D. Kainer, C. Mayer and A. Stamatakis. 2014. Selecting optimal partitioning schemes for phylogenomic datasets. *BMC Evol. Biol.*, 14: 82.
- Miyadi, D., H. Kawanabe and N. Mizuno. 1976. Colored illustrations of the freshwater fishes of Japan. Hoikusha Publ. Co. Ltd., Osaka, pp. 233-235. (in Japanese)
- Mori, T. 1928. On the fresh water fishes from the Yalu River, Korea, with descriptions of new species. *J. Chosen Nat. Hist. Soc.*, 6: 62-63.
- Mori, T. 1935. On the rhodeina from Chosen. *Zool. Mag.*, 47: 559-574. (in Japanese)
- Nakamura, M. 1969. Cyprinid fishes of Japan. *Spec. Publ. Res. Inst. Nat. Resources*, No. 4, pp. 23-29, pp. 376-377. (in Japanese)
- Song, H.Y., K.Y. Kim, M.G. Yoon, Y.K. Nam, D.S. Kim and I.C. Bang. 2010. Genetic variation of *Coreoleuciscus splendidus* populations (Teleostei; Cypriniformes) from four major river drainage systems in South Korea as assessed by AFLP markers. *Genes Genom.*, 32: 199-205.
- Stamatakis, A. 2014. RAxML Version 8: A tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics*, 30: 1312-1313.
- Suzuki, N. and S.R. Jeon. 1987. Development of the bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae), with notes on minute tubercles on the skin surface and pharyngeal apparatus. *Korean J. Limnol.*, 20: 229-241.
- Uchida, K. 1939. The fishes of Korea. Part I. Nemathognathi, Evenhognathi. *Bull. Fish. Exp. Station Govern. Gen. of Tyosen, Husan*, No. 6, pp. 120-133. (in Japanese)
- Xiao, W.H., Y.P. Zhang and H.Z. Liu. 2001. Molecular systematics of Xenocyprinae (Teleostei: Cyprinidae): taxonomy, biogeography and coevolution of a special group restricted in east Asia. *Mol. Phylogenet. Evol.*, 18: 163-173.
- Yang, Q., Y. Zhu, B. Xiong and H. Liu. 2011. *Acheilognathus changtingensis* sp. nov., a new species of the cyprinid genus *Acheilognathus* (Teleostei: Cyprinidae) from Southeastern China based on morphological and molecular evidence. *Zool. Sci.*, 28: 158-167.