



한국산 누치속 어류 3종의 세포유전학적 연구

방인철*, 이윤아, 이완옥¹

순천대학교 해양생명공학과, ¹국립수산물과학원 중부내수면연구소

Cytogenetic Analysis of Three *Hemibarbus* Species (Cypriniformes) from Korea

In-Chul Bang*, Yoon-A Lee and Wan-Ok Lee¹

Department of Marine Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea
¹Central Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gapyong 477-815, Korea

Cytogenetic characteristics of three *Hemibarbus* species (*H. labeo*, *H. longirostris* and *H. mylodon*) were analyzed based on erythrocyte measurement, flow cytometric estimation of cellular DNA content, and karyological analysis. Average nuclear volumes for *H. labeo*, *H. longirostris* and *H. mylodon* were 22.5, 21.7 and 26.0 μm^3 , respectively. The estimated genome sizes of those three species were not significantly different from one another, being recorded as 2.51, 2.33 and 2.35 pg/cell for *H. labeo*, *H. longirostris* and *H. mylodon*, respectively. Modal chromosome numbers of the three species were the same as $2n = 50$. However, their karyotypes and fundamental numbers (FN) were different among species; 16M+16SM+18T/A (FN = 82) for *H. labeo*, 18M+16SM+16T/A (FN = 84) for *H. longirostris* and 18M+24SM+8T/A (FN = 92) for *H. mylodon*.

Keywords: Genus *Hemibarbus*, Karyotype, DNA content, Erythrocyte size

서 론

잉어목(Order Cypriniformes), 잉어과(Family Cyprinidae), 모래무지아과(Subfamily Gobioninae)내의 누치속(Genus *Hemibarbus*) 어류 중 우리나라에는 누치 *Hemibarbus labeo*, 참마자 *H. longirostris* 그리고 어름치 *H. mylodon* 3종이 분포한다(Kim et al., 2005). 누치는 한국의 서해와 남해로 흐르는 하천, 베트남, 일본(홋카이도 제외), 중국 등지에 분포하고, 큰 강의 모래와 자갈이 깔려 있는 여울부에 서식하며 비교적 대형종으로 주요 담수수산자원 중 하나이다. 참마자는 한국의 서해와 남해로 흐르는 하천, 중국, 일본 등지에 분포하며, 물이 맑은 하천 중상류의 모래와 자갈 바닥에 주로 서식한다. 어름치는 우리나라 고유종으로 현재 한강과 임진강 중·상류의 물이 맑고 자갈이 깔린 곳에 서식하며 수서 곤충, 작은 동물, 다슬기 등을 먹는다(Choi and Baek, 1970; Kim and Park, 2002).

특히 어름치는 5월 초순경 작은 자갈로 산란탕을 쌓은 후 그곳에 수정란을 보호하는 독특한 산란습성을 가진 어종으로, 금강 유역에 서식하는 개체수가 감소하여 1972년 5월 1일자로 충북 옥천군 이원면으로부터 금강 상류 전역을 어름치 서식지로

정해 천연기념물 제238호로 지정 보호하고 있다. 그 후 한강 등지의 어름치 중 전체가 급격히 감소하자 멸종위기에 놓이는 것을 방지하기 위해 1978년 8월 18일 어름치 중 자체를 천연기념물 제259호로 추가 지정하였다(문화재청, 2003). 그러나 1980년대 초반 이후 금강에서는 어름치의 서식이 확인되지 않아 사실상 절멸된 것으로 여겨지고 있다(Kim and Park, 2002).

한국산 누치속 3종의 형태분류학적 연구에서 Kim (1984)은 등지느러미 최후불분기조의 형태가 동일하고, 체측반점과 측선 비늘 배열모양을 제외한 대부분의 형태가 3종간 큰 차이가 없어 어름치의 속명을 *Gonoprokopterus*에서 *Hemibarbus*로 전속하는 것이 타당하다고 하였다. 또한 Nam and Yang (1998)은 잉어과 어류의 안하골을 이용한 골격학적 연구에 있어서 누치속 3종을 동일 그룹으로 분류한 바 있다. 그러나, Lee and Kim (2002)은 누치속 3종의 두부골격 형태에 있어 많은 변이가 있음을 보고하였다. 한편 누치속 어류의 세포유전학적 연구로는 Ueno and Ojima (1984)가 참마자와 어름치를, Kang and Park (1973) 및李와桂 (1984)가 누치와 참마자의 핵형을 비교한 연구가 있으나 이들에 대한 연구 결과가 연구자에 따라 서로 다르게 보고되고 있어 검토가 필요한 실정이다.

이처럼 한국산 누치속 3종은 아직까지 형태적 및 세포유전학적으로 논란이 많은 분류군이다. 따라서 본 연구에서는 누치속

*Corresponding author: incbang@sch.ac.kr

어류 3종에 대한 염색체 수, 핵형, 적혈구 크기 및 세포 내 DNA 함량 등의 세포유전학적 연구를 수행하여 진화 및 계통학적 기초자료로 활용하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어

본 연구에 사용한 누치 *Hemibarbus labeo*, 참마자 *H. longirostris* 그리고 어름치 *H. mylodon*는 2004년 3월부터 10월 까지 남한강 수계의 조양강(강원도 정선군 북평면 문곡리)에서 채집하였다. 채집한 3종 모두 전장이 150~200 mm 이내에 속하였다. 그 중 천연기념물인 어름치는 2003년 7월 29일 문화재청으로부터 국가지정문화재 현상변경허가를 얻어 채집하였다.

적혈구 크기 분석

적혈구 계측을 위해 각 종별 6마리씩을 대상으로 실험어의 미분부 정맥으로부터 혈액을 채취한 다음 슬라이드에 도말하여 100% 알콜로 고정한 후, May-Grünwaldt Giemsa 용액으로 염색하였다. 각 개체당 100개 이상의 적혈구를 측정하였으며, 적혈구 세포 및 핵의 장경(a)과 단경(b)을 광학 현미경($\times 1,000$) 하에서 마이크로미터로 측정하였다. 표면적과 부피는 아래의 식으로 계산하였다.

표면적: $ab\pi/4$ (Sezaki and Kobayashi, 1978)

부피: $4(a/2) \cdot (b/2)^2 \cdot \pi/3$ (Lemoine and Smith, 1980)

DNA 함량 측정

실험어의 DNA 함량 측정은 각 종별 6마리로부터 미부정맥에서 5 mL의 혈액을 채취하여 70% 냉각 에탄올 1 mL에 고정하고, DNA 함량을 측정할 때까지 냉장 보관하였다. 각 혈액 샘플(1×10^6 cells)에 2 mL DAPI (Sigma, USA)를 이용하여 실온에서 30분간 염색하였다. 염색을 완료한 후 CCA flow-cytometer (Partec, Germany)를 이용하여 세포당 평균 DNA 함량을 측정하였다. 대조군은 선형연구를 통해 이미 보고된 미꾸라지 정자 (*Misgurnus mizolepis* sperm, 1.4 pg/cell)를 사용하였으며(Kim et al., 1995), DNA modFit program (Partec, Germany)을 이용

하여 약 100,000개의 세포를 대상으로 DNA 함량을 측정하였다.

통계 분석

적혈구 세포 및 핵의 표면적과 이들의 부피, 그리고 DNA 함량에서 각 종간 평균 차이의 통계적 유의성을 확인하기 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)를 수행 후 Duncan's multiple range test를 수행하였다. 가설 검정을 위한 유의 수준은 $P=0.05$ 로 설정하였다.

염색체 및 핵형 분석

염색체는 Kim et al. (1982)의 방법에 따라 신장 조직을 이용한 직접적인 방법으로 표본을 작성하였다. 각 종별 6마리씩 어체중당 colchicine을 $10 \mu\text{g/g}$ 으로 복강에 주사하고, 4시간이 경과한 후에 신장을 적출하였다. 신장 조직은 안과용 곡선 가위로 잘게 잘라 0.075 M KCl 에 15분간 처리한 후, 2,000 rpm에서 10분간 원심분리하고 methanol : glacial acetic acid (3:1)에 고정하여 냉장고에 보관한 다음 슬라이드 표본을 만들어 5% Giemsa 용액에 염색하였다. 어류 1마리당 20개 이상의 중기상 염색체를 관찰하여 염색체 수와 핵형을 분석하였으며, Levan et al. (1964)의 방법에 따라 염색체 형태를 구분하였다.

결 과

적혈구 크기

누치, 참마자 그리고 어름치의 적혈구 세포 장경은 각각 9.6, 10.7 및 $11.1 \mu\text{m}$ 로 나타나 어름치가 다른 두 종보다 유의하게 크게 나타났다($P<0.05$). 또한 적혈구의 세포 표면적도 누치, 참마자 및 어름치가 각각 55.3, 59.3 및 $69.9 \mu\text{m}^2$ 로 나타나 어름치가 다른 두 종보다 유의하게 크게 나타났다($P<0.05$). 세포의 체적도 역시 같은 경향을 보였으며 누치, 참마자 및 어름치의 체적은 각각 272.8, 283.4 및 $375.0 \mu\text{m}^3$ 로 나타났다($P<0.05$, Table 1). 그러나 세포 단경, 핵의 장단경, 핵의 표면적 및 체적에 있어서는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다($P>0.05$).

Table 1. Erythrocyte measurement (mean \pm SD) of three *Hemibarbus* species

Characteristics	Species			
	<i>H. labeo</i>	<i>H. longirostris</i>	<i>H. mylodon</i>	
Cell	Major axis (μm)	9.6 \pm 0.8 ^a	10.7 \pm 0.4 ^{ab}	11.1 \pm 0.6 ^b
	Minor axis (μm)	7.4 \pm 0.3 ^a	7.0 \pm 0.7 ^a	8.0 \pm 0.3 ^a
	Surface area (μm^2)*	55.3 \pm 3.0 ^a	59.3 \pm 7.6 ^{ab}	69.9 \pm 3.7 ^b
	Volume (μm^3)*	272.8 \pm 12.0 ^a	283.4 \pm 64.4 ^a	375.0 \pm 26.4 ^b
Nucleus	Major axis (μm)	4.4 \pm 0.3 ^a	4.4 \pm 0.3 ^a	4.5 \pm 0.2 ^a
	Minor axis (μm)	3.1 \pm 0.2 ^a	3.0 \pm 0.1 ^a	3.2 \pm 0.3 ^a
	Surface area (μm^2)*	10.8 \pm 1.3 ^a	10.3 \pm 0.8 ^a	12.0 \pm 1.4 ^a
	Volume (μm^3)*	22.5 \pm 3.9 ^a	20.4 \pm 1.6 ^a	25.8 \pm 6.2 ^a

*Means with different superscripts within a row are statistically different based on ANOVA followed by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

DNA 함량

누치, 참마자 그리고 어름치의 DNA 함량을 대조군인 미꾸라지(정자 = 1.4 pg/cell)와 비교한 결과를 Table 2 및 Fig. 1에 나타내었다. Table 2에서 보듯이 genome 크기(세포 내 평균 DNA 함량)는 누치, 참마자 및 어름치가 각각 2.51, 2.33 및 2.35 pg/cell로 나타나 유의적인 차이는 없었다($P>0.05$). 누치속 3종 모두 미꾸라지 정자 genome size에 비하여 166.4~179.3%의 범위였으며, 미꾸라지 체세포 평균 DNA 함량인 2.8 pg/cell보다는 작게 나타났다.

염색체 수 및 핵형

총 155개씩의 중기상 염색체를 관찰한 결과, 누치, 참마자 그리고 어름치의 염색체 수는 3종 모두 $2n = 50$ 으로 나타났다.

Table 2. Cellular average DNA contents of three *Hemibarbus* species as determined by flow-cytometry

Species	Genome size (pg/cell)	Related value to mud loach sperm (%)
<i>H. labeo</i>	2.51±0.21 ^a	179.3
<i>H. longirostris</i>	2.33±0.17 ^a	166.4
<i>H. mylodon</i>	2.35±0.15 ^a	167.9
<i>Misgurnus mizolepis</i> sperm*	1.4	100

*Kim et al (1995).

나(Table 3), 핵형에 있어서는 종간에 서로 달라 누치가 16M+16SM+18T,A, 참마자가 18M+16SM+16T,A 그리고 어름치가 18M+24SM+8T,A로 나타났다(Table 4, fig. 2, 3). 이상의 결과에 따라 fundamental number (FN)는 누치 82, 참마자 84 그리고 어름치가 92로 어름치가 가장 크게 나타났다.

고 찰

어류에 있어서 유전학적 종의 동정은 유전 진화학적 측면에서 종간의 유연 관계를 밝히는데 있어서 뿐만 아니라, 수산 자원학적인 측면에서도 대단히 중요하다(Cruz et al., 1982). 어류의 종간 계통 관계는 골격형질을 포함하여 여러 가지 외부의 형태적 특징을 주로 이용하지만, 그와 동시에 핵형 분석과 유전자 분석에 의한 기초 자료를 적용하기도 한다(Lee et al., 1999; Kim et al., 2003).

모든 생물은 고유한 DNA 함량 즉, 일정한 genome 크기를 지니고 있으며, 어류의 경우에는 종간에 심한 차이를 나타내고 있어 종간 확인 및 진화과정 구명에 중요하게 이용되고 있으며, 보통 DNA 함량이 작을수록 진화된 종으로 알려져 있다(Hinegardner and Rosen, 1972; Gold and Amemiya, 1987). 어

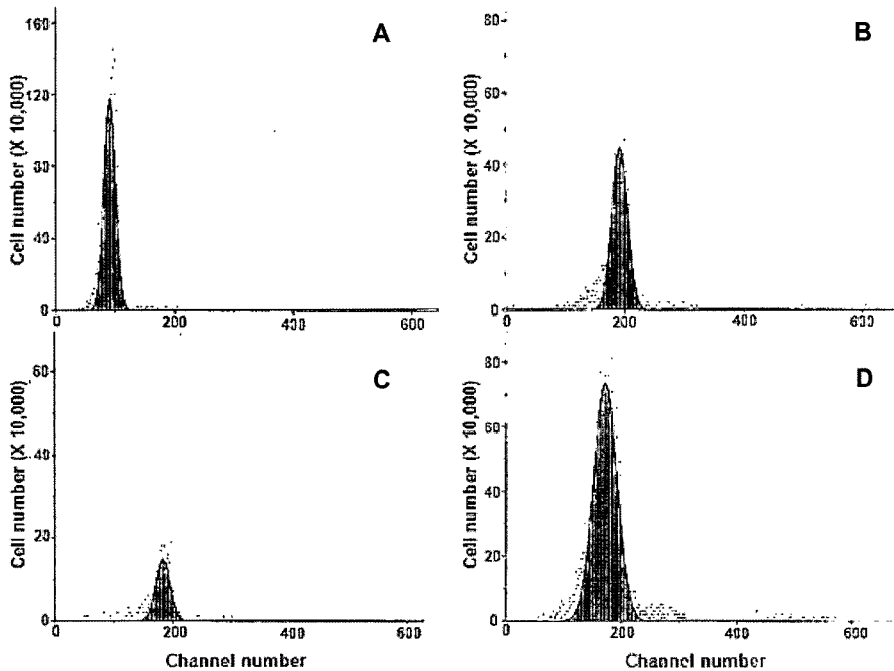


Fig. 1. Representative histograms showing the average DNA contents of three *Hemibarbus* species based on flow-cytometry. A, *Misgurnus mizolepis* sperm; B, *H. labeo*; C, *H. longirostris*; D, *H. mylodon*.

Table 3. Frequency distribution of chromosome numbers from three *Hemibarbus* species

Species	Chromosome numbers												No. of metaphases examined
	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
<i>H. labeo</i>	0	0	1	1	3	3	18	118	6	1	3	1	155
<i>H. longirostris</i>	1	2	1	2	2	6	9	116	9	4	2	1	155
<i>H. mylodon</i>	1	2	1	2	4	6	15	102	14	6	1	1	155

Table 4. Reports on karyotypes of the *Hemibarbus* species from Korea

Species	Karyotypes	Fundamental number	References
<i>H. labeo</i>	16M+16SM+18T,A	82	Present study
	18M+22SM,ST+10T,A	90	Kang and Park, 1973
	16M+16SM+14ST+4T	82	Yu et al., 1989
	18M+16SM+16T,A	84	Present study
<i>H. longirostris</i>	14M+28SM,ST+8T,A	92	Kang and Park, 1973
	16M+28SM,ST+6A	-	Ueno and Ojima, 1984
	18M+18SM+10ST+4T	86	Yu et al., 1989
<i>H. mylodon</i>	18M+24SM+8T,A	92	Present study
	12M+28SM,ST+10A	-	Ueno and Ojima, 1984

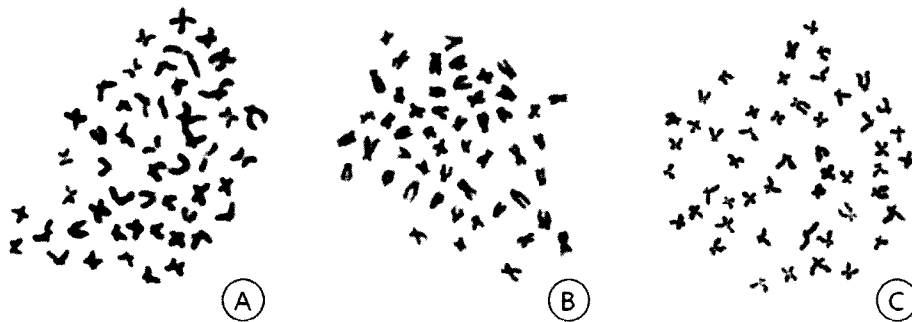


Fig. 2. Representative metaphase spreads of three *Hemibarbus* species.



Fig. 3. Idiograms of *Hemibarbus labeo* (A), *H. longirostris* (B) and *H. mylodon* (C).

류의 세포 및 핵의 크기는 일반적으로 DNA 함량과 밀접하게 연관되어 있으며, 세포의 신진대사에도 상관관계가 있어 동물의 진화과정을 구명하는데 중요한 의미를 내포한다(Szarski, 1976; Park and Chung, 1985). 뿐만 아니라 염색체 수 및 그의 핵형 역시 종에 따라 고유한 수 및 형태를 가지고 있어 세포 유전학적 분석에 매우 유용한 자료로 이용되고 있다(Sim et al., 2002).

일반적으로 세포 및 핵의 특징적인 크기가 결정되는 기구는 알려져 있지 않으나, DNA 함량의 증감은 세포 및 핵의 크기의 증감과 일치되는 양상을 보인다(Szarski, 1976; Kim et al., 1989). 그러나 본 연구 결과, 적혈구 세포 및 핵의 크기에 있어서는 어름치, 누치, 참마자 순으로 크게 나타났으나($P < 0.05$), DNA 함량에 있어서는 누치, 어름치, 참마자 순으로 크게 나타나($P < 0.05$)

세포 및 핵의 크기와 DNA 함량간의 비례관계가 일치하지 않았다. 이렇게 어류의 세포크기와 DNA 함량이 비례하지 않는 원인을 밝히기 위해서는 단위면적당 세포수가 적을 경우 DNA 함량이 낮을 수 있으므로 각 종별로 단위면적당 세포수를 계측하여야 할 것이다.

한국산 누치속 어류 3종의 염색체 핵형을 분석한 결과, 염색체 수는 모두 $2N=50$ 으로 기존의 연구 결과와 일치하였으며, 누치속 어류 3종간에는 배수화나 다량의 유전자 복제 등을 기반으로 한 진화는 없었던 것으로 판단된다. Kang and Park (1973)은 누치와 참마자의 핵형을 $18M+22SM,ST+10T,A$ 와 $14M+28SM,ST+8T,A$ 로 보고하였고, Yu et al. (1989)가 보고한 결과에 따르면 누치가 $16M+16SM+14ST+4T$, 참마자가 $18M+18SM+10ST+4T$ 로 보고한 바 있다. 본 연구에서 누치와 참마자의 핵형은 $18M+16SM+16T,A$ 와 $16M+16SM+18T,A$ 로 기존의 연구 결과와 다르게 나타났고, 어류의 핵형도 누치나 참마자와는 다른 $18M+24SM+8T,A$ 로 나타나 Ueno and Ojima (1984)의 결과인 $12M+28SM,ST+10A$ 와 크게 달라 주목할 만하였다. 이렇듯 연구자에 따라 서로 다른 결과를 보고한 것은 연구방법 또는 어류 염색체의 크기가 매우 작아 정확한 핵형 구분의 어려움으로 인한 차이로 볼 수 있으나, 동일 종이라 할 지라도 집단에 따라 다른 가능성이 있으므로 추후 일본 및 중국산 누치와 참마자에 대한 정밀한 핵형 분석이 필요할 것이다.

일반적으로 염색체 핵형의 동일성은 종간의 근연 관계를 나타내지만, 핵형이 동일하여도 같은 종이라고 할 수는 없다. 그러나 종간 또는 종내 집단간 사이에 핵형의 변이가 있을 경우, 핵형은 분류학적 지표와 계통 관계를 세우는데 매우 좋은 자료를 제시해 줄 수 있다(Miller and Walter, 1972). 본 연구에서 사용한 누치속 어류 3종의 염색체수는 $2N=50$ 으로 모두 동일하였지만, 핵형에 있어서는 각각 차이를 나타내 잘 구분되었다. 누치와 참마자의 핵형 구성은 유사한 반면 어류의 핵형은 많은 차이를 보였으며 fundamental number (FN)에 있어서도 누치와 참마자에 비해 훨씬 높은 값을 나타내어 흥미로웠다. 염색체의 FN은 속내 종간의 유연관계를 이해하는 데 많이 사용되는 형질로서, Ohno (1974)는 acrocentric chromosome이 많을수록 조상형(ancestral form)에 근접하는 것으로 간주하였고, Arai (1983)는 FN의 수가 계통관계에 있어 극성을 결정하는데 중요하여 그 수가 많을수록 분화된 종이라고 간주한 바 있다. 따라서 이들의 견해로 미루어볼 때 어류(FN=92)가 누치(FN=82)나 참마자(FN=84)에 비하여 보다 분화된 종이라고 여겨진다. 그러나 이들 종간의 정확한 진화 과정을 추론하기 위해서는 차후 여러 banding법에 의한 보다 자세한 핵형 분석이 이루어져야 할 것이다.

요 약

한국산 누치속(genus *Hemibarbus*) 어류 3종에 대한 세포유전학적 특성을 구명하기 위해 적혈구 세포 크기, 세포당 DNA

함량 및 염색체 핵형을 분석하였다. 누치 *H. labeo*, 참마자 *H. longirostris* 및 어류 *H. mylodon*의 적혈구 크기를 비교한 결과, 적혈구 세포 장경, 세포 표면적 및 세포 체적에서 어류가 다른 2종보다 크게 나타났다($P<0.05$). 그러나 DNA 함량은 적혈구 세포 크기와 다른 경향을 보여 2.33-2.51 범위로 3종간에 유의적인 차이를 보이지는 않았다($P>0.05$). 누치속 어류 3종의 염색체 수는 모두 $2n=50$ 개로 나타났으나 핵형에 있어서는 종별로 서로 달라 누치 $16M+16SM+18T,A$ (Fundamental number: NF, 82), 참마자 $18M+16SM+16T,A$ (NF, 84) 그리고 어류가 $18M+24SM+8T,A$ (NF, 92)로 나타나 3종은 핵형에서 뚜렷한 차이를 보였다.

감사의 글

본 연구는 환경부 차세대핵심환경기술개발사업 및 국립수산과학원 연구과제(RP-2008-AQ-091)의 지원에 의해 수행되었으며, 본 논문의 심사를 위해 수고해 주신 익명의 심사자들에게도 감사드립니다.

참고문헌

- Arai, R., 1983. Karyological and osteological approach to phylogenetics of fishes. Bull. Nat. Sci. Mus., Tokyo. Ser. A., 9, 175-210.
- Choi, K. C. and Y. K. Baek, 1970. On the life-history of *Gonoproktopterus mylodon* (Berg). Korean J. Limnol., 3, 23-33.
- Cruz, T. A., J. P. Thorpe and R. S. V. Pullin, 1982. Enzyme electrophoresis in *Tilapia zilli*: a pattern for determining biochemical genetic markers for use in tilapia stock identification. Aquaculture, 29, 311-329.
- Gold, J. and C. Amemiya, 1987. Genome size variation in North America minnows (Cyprinidae). II. Variation among 20 species. Genome, 29, 481-489.
- Hinegardner, R. and D. E. Rosen, 1972. Cellular DNA content and the evolution of teleostean fishes. Am. Nat., 106, 621-644.
- Kang, Y. S. and E. H. Park, 1973. Studies on the karyotypes and comparative DNA values in several Korean cyprinid fishes. Korean J. Zool., 16, 97-108.
- Kim, D. S., E.-H. Park and J. S. Kim, 1982. Karyotypes of nine species of the Korean catfishes (Teleostomi: Suriformes). Korea J. Genet., 4, 57-68.
- Kim, D. S., I.-G. Jeon and J. K. Lee, 1989. Karyotypes, DNA values and nuclear sizes of several scups (Teleostomi: Perciformes). Korean J. Ichthyol., 1, 35-41. (in Korean)
- Kim, I. S., 1984. The taxonomic study of gudgeons of the subfamily gobioninae (Cyprinidae) in Kor. Bull. Korean Fish. Soc., 17, 436-448. (in Korean)
- Kim, I. S. and J. S. Park, 2002. Freshwater fisheries of Korea. Kyo-hak Publishing, Korea, 465 pp.
- Kim, I.-S., Y. Choi, C.-L. Lee, Y.-J. Lee, B.-J. Kim and J.-H. Kim,

2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing Co., Seoul, Korea, 614 pp.
- Kim, J. K., J. Y. Park and Y. U. Kim, 2003. Sequence variation in the mitochondrial cytochrome *b* genes in three mullets (Mugilidae, Pisces). *Kor. J. Ichthyol.*, 15, 232-240.
- Lee, C. L. and Y. H. Kim, 2002. Skeletal morphology of the head in the genus *Hemibarbus* (Cypriniformes: Cyprinidae) from Korea. *Kor. J. Ichthyol.*, 14, 212-221.
- Lee, H. J., J. Y. Park, W. J. Kim, K. S. Min, Y. Kim, M. A. Yoo and W. H. Lee, 1999. Genetic study of the subfamily salmoninae based upon mitochondrial DNA control region sequences. *Kor. J. Ichthyol.*, 11, 163-171.
- Lemoine, H.L. Jr. and L.T. Smith, 1980. Polyploidy induced in brook trout by cold shock. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 109, 626-631.
- Levan, A., K. Fredga and A. A. Sangerg, 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosomes. *Hereditas*, 52, 201-220.
- Miller, P. R. and V. Walter, 1972. A new genus of cyprinodontid fish from Nouvo Leon, Mexico. *Contr. Sci. Nat. Hist. Mus. Los Angeles Country*, 223, 1-13.
- Nam, M. M. and H. J. Yang, 1998. On the circumorbital bone of the cyprinid fishes in Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 10, 128-138.
- Ohno, S., 1974. *Animal Cytogenetics*. Vol. 4, Protochordata, Cyclostomata and Pisces. Gebruder Borntraeger, Berlin, 92 pp.
- Park, E.-H. and C.Y. Chung, 1985. Genome and nuclear sizes of Korean cobitid fishes (Teleostomi: Cypriniformes). *Kor. J. Genet.*, 7, 111-118.
- Sezaki, K. and H. Kobayashi, 1978. Comparison of erythrocytic size between diploid and tetraploid in spinous loach, *Cobitis biwae*. *Bull. Jap. Soc. Fish. Sci.*, 44, 851-854.
- Sim, M. A., J. K. Noh, Y. K. Nam and D. S. Kim, 2002. Cytogenetic analysis of spotty belly greenling (*Hexagrammos agrammus*) and greenling (*H. otakii*). *J. Kor. Fish. Soc.*, 35, 682-685.
- Szarski, H., 1976. Cell size and nuclear DNA content in vertebrates. *Inter. Rev. Cytol.* 44, 93-112.
- Ueno, K. and Y. Ojima, 1984. A chromosome study of nine species of Korean Cyprinid fish. *Japan J. Ichthyol.*, 31, 338-344.
- Yu, X., T. Zhou, Y. Li, K. Li and M. Zhou, 1989. Chromosomes of chinese fresh-water fishes. Science Press, Beijing. 179 pp.
- 문화재청, 2003. 천연기념물 백서. 문화재청, 570 pp.
- 李康, 桂建芳, 1984. 武漢大學學報(自然科學版). 3, 113-122.

원고접수 : 2008년 9월 22일

심사완료 : 2008년 10월 14일

수정본 수리 : 2008년 10월 21일