

미꾸리과 어류 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*의 염색체

김 소 영 · 박 종 영 · 김 익 수

전북대학교 생물과학부

Chromosome of Spined Loach, *Iksookimia yongdokensis* (Pisces: Cobitidae) from Korea

So-Young Kim, Jong-Young Park and Ik-Soo Kim

Faculty of Biological Sciences, College of Natural Sciences, Chonbuk National University,
Chonju 561-756, Korea

Chromosome of cobitid fishes, *Iksookimia yongdokensis* collected from the 4 streams flowing to the eastsouthern coast of Korea was studied using chromosome of gill and kidney cells prepared by flame drying technique. The results obtained were as follows: the chromosome number was 100 composed of 44 meta-submetacentric and 56 subtelo-telocentric chromosomes, and the fundamental number (FN) was 144. It was remarked that *Iksookimia yongdokensis* was distinguishable from its congeners in the karyotype. The above evidences may suggest that *Iksookimia yongdokensis* was one of the tetraploid species of cobitid fishes.

Key words : *Iksookimia yongdokensis*, chromosome, fundamental number, tetraploid species

서 론

미꾸리과 Cobitidae는 유럽과 아시아 및 북부 아프리카의 담수역에 서식하는 소형의 저서성 어류로서 체측반문이 아주 다양하여 종을 구분하는데 많은 논란이 되어 왔다. 그 가운데 미꾸리아과 Cobitinae는 종 구분에 있어 이들의 수컷 가슴지느러미 기부에 있는 골질반이 종을 구분하는데 중요한 검색기준이 된다고 한 이래 많은 연구자들이 이것을 분류학적 연구에 이용하였다 (Vladykov, 1935; Ikeda, 1936; Kim, 1975, 1997).

국내에 서식하는 미꾸리과 어류는 수수미꾸리속 *Niwaella*, 미꾸리속 *Misgurnus*, 기름종개속 *Cobitis* 등 12종이 알려져 왔으나 (Choi *et al.*, 1990; Kim and Kang, 1993) 최근 Nalbant (1993, 1994)는 한국의 *Cobitis*속 어류 가운데 일부 종을 가슴지느러미 형태와 체측반문의

형태 등의 차이점을 들어 *Cobitis*속과 구별된 참종개속 *Iksookimia*를 보고하면서 여기에 참종개 *I. koreensis*, 왕종개 *I. longicarpus*, 미호종개 *I. choii*, 부안종개 *I. pumila*를 포함시켰으며, 왕종개로 간주되었던 영산강 집단을 남방종개 *I. hugowolfeldi* Nalbant로 기재하였다. 그리고 동남해안으로 유입하는 하천에 서식하는 집단은 그동안 왕종개의 변이로 알려져 왔으나 (Park *et al.*, 1991) 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*로 기재되었다 (Kim and Park, 1997). 한편 한국산 *Iksookimia*속 어류의 염색체는 *I. koreensis* (Kim, 1980; Ueno, 1980; Lee *et al.*, 1983), *I. longicarpus* (Ueno, 1980; Kim and Lee, 1986), *I. pumila* (Lee *et al.*, 1986), *I. choii* (Lee, 1988) 등에서 조사되었는데 이들의 염색체는 모두 $2n=50$ 이었다. 한편 낙동강 수계에 서식하는 *I. longicarpus*와 *Cobitis sinensis* 사이의 독특한 생식양상에 의한 2배체와 3배체 complex 집단이 보고된 바 있다 (Kim and Lee, 1990;

Kim and Lee, 1995). 본 조사에서는 최근에 기재 보고된 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*의 핵형을 조사하여 이들의 계통학적 위치를 규명하는 기초자료를 얻고자 한다.

재료 및 방법

본 실험의 표본은 1995년 10월부터 1999년 10월까지 동해안으로 유입하는 경상북도 경주시 내남면(형산강), 경상북도 영덕군 달산면 용전리(영덕오십천), 경상북도 영덕군 영해면 신지리(송천천), 경상북도 영덕군 죽산면 상원리(죽산천)에서 채집된 219개체들은 10% 포르말린에 고정하여 이들의 성비를 조사하였고, 그 중 49개체는 살아있는 표본을 실험실로 운반하여 핵형분석을 하였다. 핵형분석은 Ojima *et al.* (1972)의 실험방법을 이용하였다. 즉 어체의 복강에 colchicine을 주사하여 방치한 후 새엽과 신장조직을 적출하여 잘게 가위질 한 후 저장액에 처리한 다음 Carnoy 고정액으로 3~4회 고정하면서 매회 원심분리를 실시하여 얻어진 세포를 flame drying 법에 의하여 slide를 제작하였다. 각 개체 당 20여 개의 판독 가능한 중기 분열상을 계수, 촬영하였고 염색체 분류는 Levan *et al.* (1964)의 방법에 따랐다.

결 과

1. 성 비

경상북도 동해로 유입하는 형산강, 영덕오십천, 송천천, 죽산천 등 4개의 하천에서 채집된 *Iksookimia yongdokensis*의 성비를 조사하였다(Table 1). 경주의 형산강에서는 총 136개체 중 암컷은 79개체, 수컷은 57개체로서 이들의 암, 수의 성비는 1:0.7로서 암컷의 출현빈도가 높았으며, 영덕 오십천에서도 59개체 중 암컷 32개



Fig. 1. Metaphase (top) and karyotype (bottom) of the chromosome of *Iksookimia yongdokensis*. Bar=5 μm.

Table 1. Sex related occurrence frequencies in the *Iksookimia yongdokensis*

Locality (River)	Date	No. of specimens		Sex ratio
		Female	Male	
Naenam-myong, Kyeungju-shi, Kyongsangbuk-do (Hyongsan R.)	Sep. 19, 1995~ May. 18, 1996	79	57	1:0.7
Dalsan-myong, Yongdok-gun, Kyongsangbuk-do (Yongdokoship R.)	May. 5, 1996~ May. 18, 1996	32	27	1:0.8
Younghae-myong, Yongdok-gun, Kyongsangbuk-do (Songchon R.)	May. 4, 1996	8	6	1:0.8
Chuksan-myong, yongdok-gun, Kyongsangbuk-do (Chuksan R.)	May. 4, 1996	5	5	1:1
Total		124	95	1:0.7

Table 2. Chromosome numbers of *Iksookimia yongdokensis*

No. of individuals	No. of cells observed	No. of chromosomes									
		94	95	95	97	98	99	100	101	102	103
49	157	2	8	9	6	10	7	98	8	6	3

Table 3. Karyotype formula of *Iksookimia yongdokensis*

species	No. of chromosome	Karyotypic formula*	FN**
<i>Iksookimia yongdokensis</i>	100	44msm-56stt	144

* meta submeta-subtelo telo centric chromosome

** fundamental number

체, 수컷 27개체로서 암컷이 수컷보다 출현빈도가 높았다. 동해안으로 유입하는 4개 하천에서 채집된 총 219개체 중 암컷은 124개체, 수컷은 95개체로서 이들 집단의 암, 수의 성비는 1:0.7로서 암컷의 출현빈도가 수컷에 비해 약간 높게 나타났다 (Table 1).

2. 핵형분석

4개의 하천에서 채집된 *I. yongdokensis* 49개체의 염색체 수와 핵형을 조사한 결과 암, 수 모두 동일하게 100으로 조사되었다 (Table 2, Fig. 1). 핵형은 44의 meta-submetacentric, 56 subtelo-telocentric 염색체로 FN은 144이었다 (Table 3).

고찰

그 동안 왕종개의 변이로 알려져 왔던 참종개속 어류인 어류인 동방종개 *I. yongdokensis*는 형태적, 지리적으로 종전의 왕종개 *I. longicarpus*와 남방종개 *I. hugowolfeldi*와 뚜렷하게 구별되고 형산강, 영덕 오십천, 축산천, 송천천 등 동해안으로 유입하는 하천에만 제한 분포하고 있다고 알려졌다 (Kim and Park, 1997). 제한된 분포지역에서 서식하고 있는 동방종개의 염색체를 조사한 결과 Fig. 1과 Table 2에서 보는 바와 같이 모두 100개로 참종개속의 다른 종이 모두 50개인 점으로 보아 4배체로 생각되어 주목되었다. 한편 국내에서는 Kim and Lee (1990)는 낙동강 수계에 서식하는 2배체와 3배체의 complex를 보고하였는데 이들은 *C. sinensis*와 *I. longicarpus*사이의 독특한 생식에 의한 단성생식종으로 보고된 바 있고 (Kim and Lee, 1995), 일본의 *Cobitis biwae*의 핵형조사에서 small race의 2배체와 large race의 4배체가 보고되었다 (Kobayashi, 1976).

일반적으로 자연발생적 혹은 인위적 조작에 의해 형

성되는 polyploid에 관한 연구는 식물계에서 빈번하게 이루어지고 있으며, 실제 식물의 진화에 있어서 배수체가 중요한 역할을 수행하고 있다 (Lewis, 1980). 또한 척추동물의 진화에 있어서 배수성이 잠재적으로 작용한다고 알려져 있다 (Ohno, 1974; Bogart, 1980; Fisher *et al.*, 1980; Schultz, 1980). 즉 일부 유립산 연어는 종간 잡종에 의한 반복적인 염색체중복으로 종 분화가 이루어졌으며, 이는 핵형진화에 있어서 배수체화의 중요성을 보여 주었다 (Svardson, 1945). 또한 *Carassius carassius*와 *C. auratus*의 2배체와 4배체 집단의 경우 gynogenetic reproduction에 의한 4배체 형성으로 보고 이는 지리적 격리에 의한 종 분화로 보고하였다 (Raicu and Taisescu, 1972; Kobayashi, 1976; Duhnam *et al.*, 1980; Raicu *et al.*, 1981). 한편 미꾸리과의 *Cobitis biwae* 경우 지리적으로 분리되어 서식하고 있는 2배체와 4배체 집단이 보고되었는데 이들 4배체는 완전하게 2배체의 염색체가 duplication이 된 것은 아니라고 보고한 바 있다 (Kobayashi, 1976). 특히 Ueno (1980) 등은 일본에 서식하는 *Cobitis*속 어류 3종에서 2배체, 4배체가 존재함을 보고하였는데, 이 중 *C. biwae*의 2배체와 4배체는 형태적 형질이 뚜렷하지 않아 구분이 어려우나 그들의 지리적 분포가 다르며 국소지역에서도 구분되어 분포하는 점을 들어 sibling species로 분류한 바 있다. 한편 *Misgurnus anguillicaudatus*에서도 2배체, 3배체, 4배체가 보고되었는데 (Ojima and Takai, 1979) 4배체의 DNA량은 2배체의 DNA량의 약 2배였고 3배체는 그 중간값으로 보고하고, 이들은 2배체 조상으로부터 유전적 변화에 의해 4배체가 형성되는 것 보다는 diploidization에 의한 4배체의 형성의 가능성이 더 큰 것으로 보고하였다. 한편 한국에 분포하는 왕종개의 경우 영덕지역에서 발견된 왕종개의 염색체를 분석한 결과 4배체가 발견되어 이를 염색체 돌연변이 형태인 diploidized tetraploidy에 의해 분화된 것으로 추정된 바 있다 (Lee *et al.*, 1986). 또한 Lee (1988)는 형산강에서 채집한 왕종개 *Iksookimia longicarpus*의 염색체를 조사한 결과 2배체와 4배체가 혼서하고 있음을 보고하였는데 4배체로 보고된 종은 나중에 왕종개와 구별하여 별종으로 기재된 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*라고 생각되며 본 조사에서는 2배체는 확인하지 못하였다. 한편 이 일대에 서식하는

Table 4. The karyotype of the cobitid fishes from Korea

Species	2n	Karyotypic formula*	FN**	Locality	Literature
<i>Iksookimia longicorpus</i>	50	20msm-30stt	70	Maryong, Hamyang Namwon	Kim and Lee (1986)
	50	-	-	Buan, Majin	Ueno (1980)
	100	44msm-56stt	144	Yongdokoship-cheon	Lee et al. (1986)
<i>I. koreensis</i>	50	22msm-28stt	72	Wanju, Kosan, Kui, Yongjin	Kim and Lee (1986)
	50	-	Female 72, Male 71	Kwangreng, Chochong-cheon Kapyong, Wungcheon-cheon	Lee et al. (1983)
	50	22msm-28stt	Female 72, Male 71	Namyangju, Chongup, Wanju Pyongchang, Chongsun	Lee (1988)
<i>I. pumila</i>	50	22msm-28stt	Female 72, Male 71	Buan	Lee (1988)
<i>I. choii</i>	50	18msm-32stt	-	Chongwon, Miho stream	Lee (1986)
<i>I. yondogensis</i>	100	44msm-56stt	144	Yongdokoship-cheon	Present study
<i>Cobitis sinensis</i>	48	18msm-30stt	66	Hamyang, sudong, Namwon, Inwol	Kim and Lee (1986)
<i>C. lutheri</i>	100	16msm-34stt	66	Wanju, Yongjin, Kui, Bongdong	Kim and Lee (1986)
<i>C. granoei</i>	50	24msm-26stt	74	Myongju	Lee (1988)
	50	30msm-20stt	80	Yongok-cheon	Lee et al. (1983)
<i>C. striata</i>	50	16msm-34stt	66	Chinan, Maryong	Kim and Lee (1986)

* meta submeta-subtelo telo centric chromosome

** fundamental number

동방종개의 성비를 조사한 결과 암, 수로 구성된 양성종 (bisexual species)이었는데 이는 기름종개-왕종개 복합 집단 (*Cobitis sinensis-longicorpus complex*)와는 구별되고 있다.

한편 동방종개는 태백산맥과 노령산맥의 동부에 분포하는데 산맥을 기준으로 하여 남서부에 서식하는 왕종개와는 형태적 특징 뿐 아니라 지리적으로 분리되어 분포하고 있으며 우리 나라의 고유종인 점물개 *Squalidus multimaculatus*의 분포지와 잘 일치하고 있다 (Hosoya and Jeon, 1984; Kim and Park, 1997). 이러한 지역은 중신세에 marine sediment의 작은 patch로 분리되어 형성된 것으로 알려져 있어서 (Lee, 1988) 동방종개는 이러한 지리적인 사건과 관련되어 있음을 추측할 수 있다. 또한 동방종개의 서식지인 형산강의 기름종개는 2n=48이고, 지리적으로 가까운 태화강에 서식하는 왕종개의 핵형은 2n이 50개로 염색체 수가 100개인 동방종개와 달랐다 (Table 4). 따라서 동방종개의 4배체 형성은 왕종개가 지질학적 및 환경적 요인에 의한 염색체 재배열을 통해 새로운 종으로 안정화된 것으로 추정할 수 있다. 그러나 앞으로 이 집단에 대한 정확한 기원을 조사하기 위해서는 banding method를 이용한 염색체의 미세분석 및 감수분열상의 관찰 등의 세포유전학적 연구 뿐 아니라 미토콘드리아 DNA control region의 염기서열조성과

구조변이 및 multi-locus DNA fingerprinting과 microsatellite loci 분석 등의 조사가 요구된다.

적 요

한국 동해안으로 유입하는 형산강, 영덕 오십천, 송천천, 죽산천에 서식하는 미꾸리과 Cobitidae의 한국 고유종인 동방종개 *Iksookimia yongdokensis*의 핵형을 조사하였다. 그 결과 염색체 수는 100이었고 44 meta-submetacentric, 56 subtelo-telocentric chromosome으로 FN은 144이었다. 이러한 사실로 보아 *I. yondokensis*는 cobitid fishes의 tetraploid species라고 생각된다.

사 사

본 연구는 교육부 기초과학 연구소 지원 과제 번호 1998-015-D00229에 의하여 수행되어진 것입니다.

참 고 문 헌

Bogart, J.P. 1980. Polyploidy in evolution of amphibians and reptiles. In : Lewis, H.L. (ed.), Polyploid, biological relevance. Plenum Press, New York, pp. 341 ~ 369.

- Choi, K.C., I.S. Kim, S.R. Jeon and Y.M. Son. 1990. Coloured illustrations of the freshwater fishes of Korea. Hyang Moon Sa, Seoul, 277 pp. (in Korean)
- Dunham, R.A., D.P. Phillips and G.S. Whitt. 1980. Levels of duplicate gene expression in armoured catfishes. *J. Heredity*, 71: 248~252.
- Fisher, S.E., J.B. Shaklee, S.D. Ferris and G.S. Whitt. 1980. Evolution of five multilocus isozyme systems in the chordates. *Genetica*, 52: 73~85.
- Hosoya, K. and S.R. Jeon. 1984. A new cyprinid fish, *Squalidus multimaculatus*, from small rivers on the eastern slope of the Taebaik Mountain Chain, Korea. *Kor. J. Lim.*, 17: 41~49.
- Ikeda, H. 1936. On the sexual dimorphism and the taxonomical status of some Japanese loaches (1) *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor), *Cobitis biwae* Jordan and Snyder, and *Cobitis taenia striata* subsp. nov. *Zool. Mag.*, 48: 983~994. (in Japanese)
- Kim, I.S. 1975. A new species of cobitid fish from Korea (*Cobitis koreensis*). *Kor. J. Lim.* 8: 51~57.
- Kim, I.S. 1997. Illustrated encyclopedea of fauna & flora of Korea Vol. 37. Freshwater fishes. Ministry of Education. 629 pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and J.H. Lee. 1986. A chromosomal study on the genus *Cobitis* (Pisces: Cobitidae) in the southern part of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 19(3): 257~264. (in Korean)
- Kim, I.S. and E.Y. Kang. 1993. Coloured fishes of Korea. Academy Pub. Co., Seoul, 477 pp. (in Korean)
- Kim, I.S. and E.H. Lee. 1995. Interspecific hybridization between triploid hybrid fish, *Cobitis sinensis-longicorpus* and two diploid species from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 7(1): 71~78.
- Kim, I.S. and J.H. Lee. 1990. Diploid-triploid hybrid complex of the spined loach *Cobitis sinensis* and *C. longicorpus* (Pisces, Cobitidae). *Korean J. Ichthyol.*, 2: 203~210.
- Kim, I.S. and J.Y. Park. 1997. *Iksookimia yongdokensis*, a new cobitid fish (Pisces: Cobitidae) from Korea with a key to the species of *Iksookimia*. *Ichthyological Research*, 44(3): 249~256.
- Kobayashi, H. 1976. Comparative study of karyotypes in the small and large race of spinous loaches (*Cobitis biwae*). *Zool. Mag.*, 85: 83~87.
- Lee, D.S. 1988. Geology of Korea. Kyohak-Sa Publ. Co., 514 pp.
- Lee, H.S. 1988. Karyotype analysis of the genus *Cobitis* from Korea. Inha University, Ph. D. Thesis. 76 pp. (in Korean)
- Lee, H.Y., H.S. Lee, and C.S. Park. 1986. Karyotype analysis and geographical polymorphism in Korea *Cobitis*. *Kor. J. Genet.*, 8: 65~74.
- Lee, H.Y., C.H. Yu, S.K. Jeon, H.S. Lee. 1983. The karyotype analysis on 29 species of fresh water fish in Korea. *Bull. Inst. Basic Sci., Inha Univ.*, Vol. 4, 1983(7): 79~86. (in Korean)
- Levan, A., K., Fredga and A.A. Sandberg. 1964. Nomenclature for centromeric position on chromosome. *Hereditas*, 52: 201~220.
- Lewis, W.H. 1980. Polyploidy: biological relevance, Plenum Press, New York, 520 pp.
- Nalbant, T. 1993. Some problems in the systematics of the genus *Cobitis* and its relatives (Pisces, Ostariophysi, Cobitidae). *Rev. Roum. Biol. (Biol. Anim.)*, 38(2): 101~110.
- Nalbant, T. 1994. Studies on loaches (Pisces: Ostariophysi: Cobitidae). I. An evaluation of the valid genera of Cobitinae. *Trav. Mus. Hist. Nat. "Grigore Antipa"* 34: 375~380.
- Ohno, S. 1974. Protochordata, Cyclotomata and Pisces. In: John, B. (ed.), *Animal cytogenetics Chordata I*. Gebrüder-Borntra-Ger, Berlin, pp. 1~92.
- Ojima, Y., M. Hayashi and K. Veno. 1972. Cytogenetics studies in low vertebrates. Karyotype and DNA studies in 15 species of Japanese Cyprinidae. *Jap. J. Genet.*, 47: 431~440.
- Ojima, Y. and A. Takai. 1979. The occurrence of spontaneous polyploid in the Japanese common loach, *Misgurnus anguillicaudatus*. *Proc. Japan Acad.*, Vol. 55(B): 487~486.
- Park, B.S., J.H. Kim, J.B. Kim and S.Y. Yang. 1991. Systematic studies of the genus *Cobitis* (Pisces: Cobitidae) in Korea II. Geographic variation of *Cobitis longicorpus*. *Korean J. Zool.*, 34: 585~593. (in Korean)
- Raicu, P. and E. Taisescu. 1972. *Misgurnus fossils*, a tetraploid fish species. *J. Heredity*, 63: 92~94.
- Raicu, P., E. Taisescu and P. Banarescu. 1981. *Carassius carassius* and *C. auratus*, a pair of diploid and tetraploid representative species. *Cytologia*, 46: 223~240.
- Schultz, R.J. 1980. Role of polyploid in the evolution of fishes. In: Lewis, H.L. (ed.), *Polyploid, biological relevance*. Plenum Press, New York, pp. 313~340.
- Svardon, G. 1945. Chromosome studies of salmonidae. *Rep. Swed. State Inst. Fresh-water fish. Res.*, 23: 1~151.
- Ueno, K.S., Iwai and Y. Ojima. 1980. Karyotype and geographical distribution in the genus *Cobitis* (Cobitidae). *Bull. Jap. Soc. Fish.*, 46: 9~18
- Vladykov, V.D. 1935. Secondary sexual dimorphism in some Chinese cobitid fish. *J. Morph.*, 575: 275~302.