

자연산 3배체 붕어 (*Carassius auratus*) 클론 집단에 대한 유전학적 동정

김응오 · 이종윤 · 남윤권* · 노재구* · 이상윤* · 김동수**
 국립수산물과학원 청평내수면 연구소, *부경대학교 양식학과

Genetic Identification on Natural Population of Triploid Crucian Carp, *Carassius auratus* in Korea

Eung-Oh KIM, Jong Yoon LEE, Yoon Kwon NAM*, Jae Koo NOH*, Sang Yun LEE* and Dong Soo KIM**

Chung Pyong Inland Fishereis Institute, NFRDI, Kyoungki 477-810, Korea
 *Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Natural clonal stock of triploid crucian carp, *Carassius auratus* was identified and its cytogenetic, molecular genetic and morphological traits were studied. Cytogenetic analysis of the clonal crucian carp revealed that they were natural triploidy, evidenced by 1.5-fold increases of cell size, DNA content, and chromosome number. Multi-locus DNA fingerprinting using (GATA)_n probe showed that they had an identical fingerprint profile, indicating the clonal propagation of the population. External morphology and morphometric characteristics of triploid individuals were much uniform compared to those of diploids. Natural triploid crucian carp was proven to be all-female in this study.

Key words: Crucian carp, Clonal triploid line, Identical fingerprint, All-femaleness

서 론

붕어, *Carassius auratus*는 잉어 과에 속하는 담수 어종으로서 우리 나라 전역의 강과 호수에 널리 서식하고 있으며, 낚시 및 식용 대상 어종으로 중요한 위치를 차지하고 있다. 본 어종의 분류는 Linne가 유럽산과 아시아산을 *Cyprinus carassius* 및 *C. auratus*로 최초로 명명한 이래, 1832년 Nilson이 붕어 속 (*Carassius*)을 창설하여 잉어속으로부터 분리하여 지금까지 사용되어 오고 있으나 그 후에도 형태학적 및 생태학적 측면에서 많은 변이종과 아종에 관한 연구가 시도되고 있다 (Kim, 1998).

특히 붕어 집단 중 *Carassius auratus gibelio*을 포함한 일부 집단들은 매우 특별한 유전적 배경과 개체군 구조를 갖고 있다 (Cherfas, 1966; Liu et al., 1978; Fan and Liu, 1990). 이들 집단들은 게놈 크기의 변화, 즉 배수화 (polyploidization)를 통해 진화를 수행하는 것으로 알려져 있으며 일본과 중국 그리고 러시아 등지에서 자연계 3배체 집단이나 4배체 집단이 보고됨으로서 어류 유전학 및 분류학적 측면에서 중요한 정보를 제공한 바 있으나 (Kobayasi et al., 1970; Ueda and Ojima, 1978; Takai and Ojima, 1983; Zhou et al., 1983), 우리나라의 수계에 배수체 붕어 집단의 존재 유무는 아직 규명된 바 없다.

이 중 붕어 3배체 집단은 전부 암컷으로서 수컷의 유전물질을 사용하지 않고 개체로 발생하는 자성발생성 처녀생식 (gynogenesis)을 바탕으로 한 매우 특수화된 생식 기작을 갖음이 보고되어 있으며 (Cherfas, 1966), 이러한 자성발생성 붕어들은 부분적인 유전자 재조합 이외에는 모계와 유전적으로 동일한 클론 집단 (clonal population)으로 알려져 있다. 따라서 붕어 3배체 클론 집단은 실

험동물로 활용할 경우 유전학을 위시한 번역학, 발생학, 독성학 및 생리학 등의 제반 학문분야에서 유전적 동질성을 갖는 척추동물을 제공한다는 측면에서 많은 잠재력을 갖고 있다 (Umimo et al., 1997).

이에 본 논문에서는 국내에 서식하는 자성발생성 클론 붕어 집단을 확인·동정하고 이들을 대상으로 분자생물학적, 세포유전학적 및 형태학적 특징을 분석하고자 한다.

재료 및 방법

1. 실험어

본 실험은 경상남도 함안 지역에서 채집되어 부경대학교 양어장에서 사육 중인 붕어 (*Carassius auratus*) (Fig. 1) 집단을 대상으로 3배체 붕어의 존재 유무를 확인 후 세포유전학적 및 분자생물학적 분석을 실시하고 아울러 이들의 계측 형질, 계수 형질과 성비 (sex ratio)를 조사하였다.

2. 적혈구 크기 분석

2배체와 3배체 붕어의 적혈구 세포 및 핵의 크기를 측정하기 위하

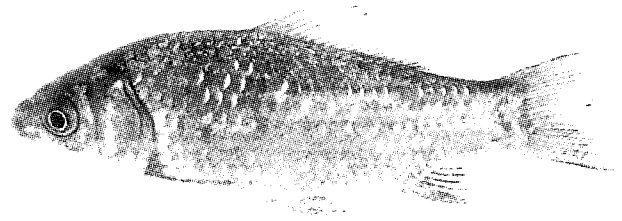


Fig. 1. External morphology of triploid crucian carp of Haman strain. Bar indicates 2 cm.

*Corresponding author: dongskim@pknu.ac.kr

여 각 개체의 미부정맥으로부터 혈액을 채취한 후, 슬라이드에 도말하여 95% ethanol로 고정한 다음 Giemsa 용액으로 염색하였다. 각 개체당 적혈구 세포 및 핵의 장, 단축을 현미경 ($\times 1,000$) 하에서 eyepiece micrometer로 측정하였다. 표면적은 장축(a) · 단축(b) · $\pi/4$ (Sezaki and Kobayashi, 1978), 부피는 $4(a/2) \cdot (b/2)^2 \cdot \pi/3$ (Lemoine and Smith, 1980)의 공식에 의하여 계산하였다.

3. 염색체 수 분석

실험군의 염색체 수 판별을 위하여 신장직접법을 사용하였다. 실험군 4마리에 colchicine을 1~10 $\mu\text{g/g}$ 체중의 농도로 복강 주사하여 3~4시간 방치 후 신장을 적출 세절하여 상온에서 저장액(0.075 M KCl)에 10~20분간 처리하였다. 저장액 처리된 신장조직 세포는 고정액(methanol:glacial acetic acid=3:1)으로 3회에 걸쳐 고정하였다. 슬라이드 표본 제작은 공기 건조법으로 하였으며, 5% Giemsa 용액으로 10~15분간 염색하였다 (Kim et al., 1995). 염색체 수는 현미경 ($\times 1,000$) 하에서 각 개체당 최소 20개 이상의 판독 가능한 중기 분열상의 염색체를 관찰하여 modal 염색체 수를 결정하였다.

4. Flow cytometry

실험군의 DNA 함량 측정을 위하여 혈액 세포를 대상으로 Nam et al. (2001)의 방법에 의해 flow cytometry를 수행하였다. 헤파린 처리된 1 mL (1/26 G) 주사기로 어류의 미부정맥으로부터 약 0.2 mL의 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액을 생리식염수로 2회 반복 원심 세척한 후, 약 1×10^6 개의 세포를 1 mL의 10% propidium iodide (PI) 염색 용액 (Kinesis kit, BioRad)에 넣어 4°C 암냉 상태에서 60분간 염색하였다. 염색이 끝난 세포 부유액은 WinBryte HS flow cytometer (BioRad)를 이용하여 DNA 함량을 측정하였고 internal 대조군으로서 미꾸라지 적혈구 (2.8 pg/cell) 및 인간 백혈구 (7.0 pg/cell)를 함께 사용하였다.

5. Multi-locus DNA fingerprinting

3배체 붕어 집단의 유전적인 구성을 조사하기 위해서 multi-locus DNA fingerprinting을 수행, 이들의 클론 여부를 확인하였다. 실험어의 혈액으로부터 DNA를 추출하기 위해 0.1 mL의 혈액 시료를 10 mL의 완충용액 (10 mM Tris-Cl; pH 7.5, 0.12 M NaCl, 0.1 mM EDTA; pH 7.5, 1.0% SDS, 200 $\mu\text{g/mL}$ proteinase K)에 넣은 후 50°C에서 16시간 동안 반응시켰다. 소화 반응이 완료되면 시료를 실온으로 옮겨 식힌 뒤, TE (10 mM Tris-Cl, 1 mM EDTA; pH 8.0)-saturated phenol, phenol:chloroform (1:1=v:v) 및 chloroform:isoamyl alcohol (24:1=v:v) extraction을 순차적으로 수행하고 마지막 처리가 완료되면 상등액을 취한 후 1/10 용량의 3M sodium acetate와 2배 용량의 ethanol을 첨가하여 DNA를 침전시켰다. 침전된 DNA를 회수하여 70% ethanol로 수세한 후 TE 완충용액 (pH 8.0)에 녹여 실험에 사용하였다. 분리된 DNA를 이용하여 Nam et al. (2000)의 방법에 의거하여 HaeIII 제한 효소와 oligonucleotide probe (GATA)₄를 이용하여 fingerprint profile을 작성하였다. Hybridization 및 detection은 digoxigenin-11-dUTP로 표지된 oligonucleotide probe (GATA)₄와 non-radio-

active digoxigenin nucleic acid detection kit (Roche)를 이용하여 수행하였다.

6. 형태학적 조사 및 성비 (sex ratio) 분석

전장 약 12 cm 내외의 2배체 및 3배체 각 12마리를 대상으로 형태계측학적 조사를 실시하였다. 계수형질 조사를 위하여 새파수, 장의 길이, 옆줄 비늘수 및 척추골수를 조사하였으며 계측형질을 분석하기 위해 체장, 체중, 체고, 양눈 사이의 길이, 꼬리자루 길이 및 꼬리자루 높이를 측정하였다. 계측형질의 경우 2배체 및 3배체에서 얻어진 분산 자료를 이용하여 평가 항목별 3배체의 분산과 2배체의 분산의 크기를 비교하였다. 아울러 상기 세포유전학적 분석에 의해 3배체로 확인된 개체들 중 무작위로 18~24마리씩 3회에 걸쳐 반복 선발하여 해부를 통해 생식소를 육안으로 관찰함으로써 성비를 분석하였다.

7. 지역별 3배체 출현율 조사

함안 지역 이외에도 국내 여타 수계에 3배체 붕어의 분포 가능성을 타진하기 위해 논산, 주문진, 속초 및 삼례 지역을 대상으로 채집을 수행하였으며 (Fig. 2), 각 지역에서 채집된 시료들로부터 무작위로 선발한 개체들을 대상으로 flow cytometry를 수행함으로써 3배체 출현 여부와 그 빈도를 분석하였다.

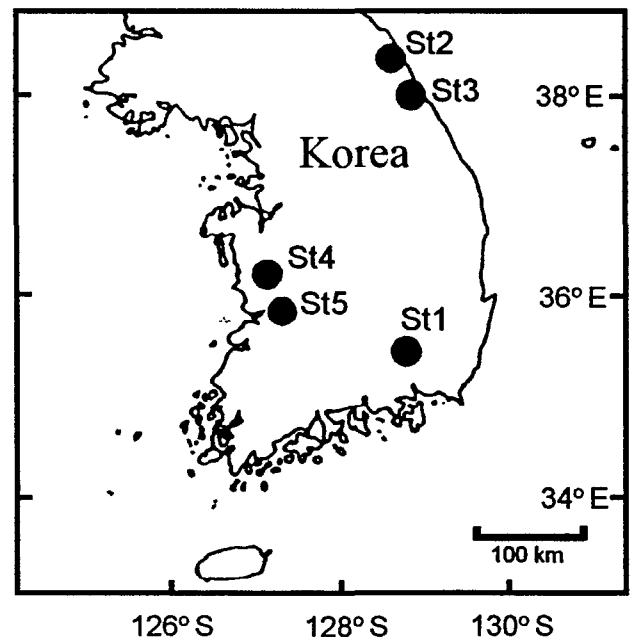


Fig. 2. Map showing the sampling sites of triploid crucian carp. St1, Haman; St2, Sokcho; St3, Chumunjin; St4, Nonsan; St5, Samrye.

결 과

1. 적혈구 크기 및 염색체 수

3배체 붕어, *Carassius auratus*의 적혈구 세포 표면적 및 부피는 각각 $107.47 \mu\text{m}^2$ 및 $603.29 \mu\text{m}^3$ 로서 2배체 붕어의 적혈구 (표면적

86.52 μm^2 및 부피 459.94 μm^3)와 비교시 1.24 및 1.31배의 크기를 갖고 있었다. 핵의 크기 역시 3배체가 (표면적 20.47 μm^2 및 부피 44.03 μm^3) 2배체에 (표면적 13.51 μm^2 및 부피 27.35 μm^3) 비해 1.52 및 1.61배 크게 나타나 3배체의 전형적인 특징을 보여주었다 (Table 1).

Table 1. Erythrocyte measurements of diploid and triploid crucian carp

Item	Triploid	Diploid	Ratio (3n/2n)
Cell			
Major axis (μm)	16.27 \pm 0.33 ^b	13.59 \pm 0.14 ^a	1.20
Minor axis (μm)	8.41 \pm 0.29 ^b	7.87 \pm 0.15 ^a	1.07
Surface area (μm^2)	107.47 \pm 4.33 ^b	86.52 \pm 1.23 ^a	1.24
Volume (μm^3)	603.29 \pm 43.62 ^b	459.94 \pm 6.20 ^a	1.31
Nucleus			
Major axis (μm)	7.74 \pm 0.13 ^b	5.67 \pm 0.08 ^a	1.37
Minor axis (μm)	3.53 \pm 0.17 ^b	3.03 \pm 0.03 ^a	1.17
Surface area (μm^2)	20.47 \pm 0.43 ^b	13.51 \pm 1.30 ^a	1.52
Volume (μm^3)	44.03 \pm 0.90 ^b	27.35 \pm 0.85 ^a	1.61

Means (\pm SD) with different superscripts within a row are significantly different, based on student *t*-test at $p < 0.05$.

함안에서 채집된 3배체 붕어 집단의 modal 염색체 수를 조사한 결과 $3n=150$ 으로 나타났으며 집단내 또는 성별 염색체 다형현상은 관찰되지 않았다 (Fig. 3). 반면 대조구로 조사된 이배체의 경우는 $2n=100$ 이었고 역시 개체간 다형현상은 관찰되지 않았다.



Fig. 3. Metaphase spread of triploid crucian carp ($3n=150$).

2. DNA 함량

각 실험군의 DNA 함량을 flow cytometry로 분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 미꾸라지의 적혈구 (2.8 pg/cell)와 인간 백혈구 (7.0 pg/cell)를 대조군으로 사용하여 붕어 2배체와 3배체의 genome size를 분석한 결과, 붕어 2배체는 3.6 pg/cell, 그리고 3배체는 5.4 pg/cell로 나타남으로써 3배체가 2배체에 비해 정확히 1.5배

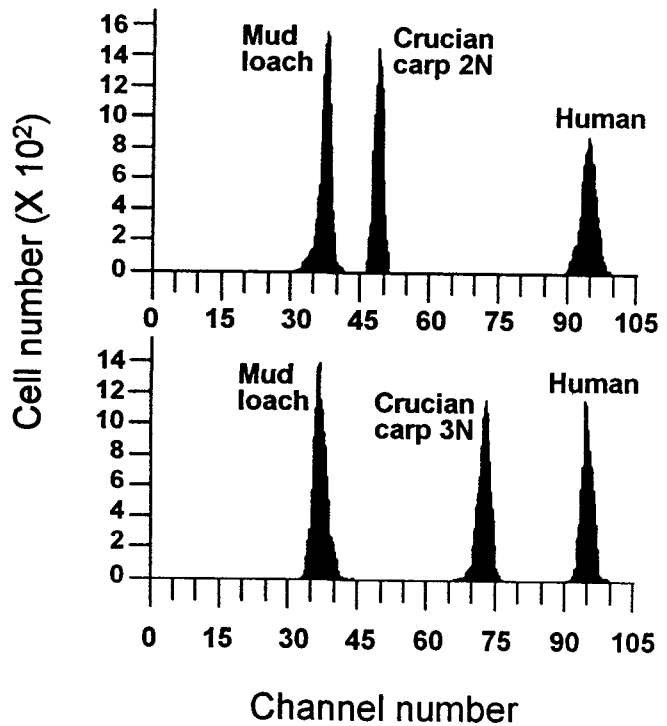


Fig. 4. Representative histogram generated by flow cytometric analysis, showing average DNA contents of diploid and triploid crucian carp.

증가된 DNA 함량을 보였다.

3. DNA fingerprinting

HaeIII 제한 효소와 (GATA)₄ probe를 이용하여 함안에서 채집된 붕어 3배체 집단을 대상으로 multi-locus DNA fingerprinting을 수행한 결과, 분석된 모든 개체가 모두가 동일한 fingerprint type을 갖고 있음이 관찰되어 본 3배체 집단은 clonal line으로 밝혀졌다 (Fig. 5).

4. 형태학적 특징

3배체 붕어는 2배체 붕어와 육안으로 비교시 외형상 특징적인 차이를 나타내지는 않았으나 2배체 대조구와 비교시 비교적 일정한 크기와 형태를 나타내고 있었다. 이의 계수 형질 (내부형태)과 계측 형질 (외부형태)을 2배체군과 비교한 결과를 각각 Table 2 및 3에 나타내었다. Table 2에서 보듯이 함안 지역 클론 붕어 집단의 새파수는 33~49, 그리고 체장에 대한 장의 길이는 2.5~3.1로 나타나 개체간 차이가 관찰되었으나, 반면 척추골수와 측선 비늘 수는 조사된 모든 개체에서 모두 30개로 변이가 전혀 없는 것으로 나타났다 (Table 2). 또한 분석된 4가지 계측형질에서, 3배체는 2배체에 비해 그 분산값이 9~85% 범위로서 2배체 집단에 비해 개체간 계측형질이 매우 일양함을 알 수 있었다 (Table 3).

5. 성비 분석

함안에서 채집된 붕어 집단에서 무작위로 선발한 3배체 개체들

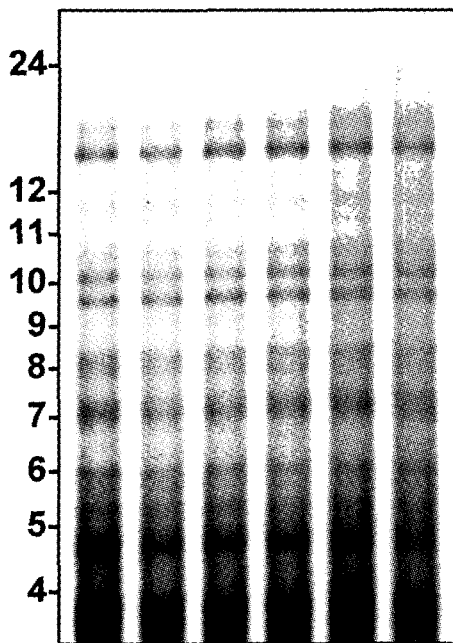


Fig. 5. Multi-locus DNA fingerprinting generated by HaeIII digestion of DNA from triploid crucian carp of Haman strain, followed by hybridization with oligonucleotide (GATA)₄ probe. Note the identical hybridized pattern among triploid individuals. Figures in left side are molecular weight sizes in Kb.

Table 2. Comparison of internal meristic traits between diploid and triploid crucian carp

Characters	Triploid	Diploid
Gill raker	33~48 (45)	31~50 (46)
No. of vertebrate	30	25~29 (28)
No. of lateral line scale	30	28~31 (29)
Intestine length/body length	2.5~3.1 (2.9)	2.9~7.3 (5.3)

Numbers in parentheses are modal numbers.

Table 3. Comparison of morphometrical traits between diploid and triploid crucian carp

Body proportion	Triploid		Diploid		Relative variance (3n/2n)
	Mean	SD	Mean	SD	
BW/SL	2.89	0.16	2.27	0.27	0.35
SL/BH	2.82	0.03	2.68	0.06	0.25
SL/BE	8.55	0.24	8.92	0.26	0.85
CPD/CPL	1.09	0.03	0.83	0.10	0.09

BW: body weight, SL: standard length, BH: body height, BE: breath between eyes, CPD: caudal peduncle depth, CPL: caudal peduncle length.

을 대상으로 생식소를 분석한 결과, 3회에 걸친 분석에서 동일하게 모든 개체가 암컷으로 관찰되어 함안의 3배체 집단은 모두 암컷인 것으로 판명되었다 (Table 4).

Table 4. Sex ratio of natural triploid crucian carp population from Haman, South Kyoungsang province, Korea

Trial	No. of fish examined	Female	Male
1	18	18	0
2	19	19	0
3	24	24	0
Total	61	61	0

6. 지역별 붕어 집단의 3배체 출현 빈도

논산, 주문진, 속초 및 삼례로부터의 3배체 붕어 집단을 대상으로 3배체 출현 빈도를 조사한 결과 모든 지역에서 80% 이상의 높은 3배체 빈도를 보였으며, 지역별로는 서로 차이를 나타내었다. 각 지역별 3배체 출현율은 속초가 93%로 가장 높았으며, 주문진이 90%, 그리고 논산과 삼례 집단이 80%로 나타났다 (Table 5).

Table 5. Incidence of triploidy in four local Korean populations of crucian carp

	Local population			
	Nonsan	Chumunjin	Sokcho	Samrye
No. of fish examined	15	30	30	30
No. of 3n fish	12	27	28	24
No. of 2n fish	3	3	2	6
Triploidy (%)	80.0	90.0	93.3	80.0

고찰

클론 어류들은 유전적 배경이 동일한 실험 동물을 제공한다는 측면에서 척추동물의 유전학 분야는 물론 발생학, 독성학 및 생리학 등에서도 실험 모델 동물로서 매우 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구의 자연산 3배체 붕어, *Carassius auratus*는 배수화를 통해 진화하는 어종으로서 3배체 암컷이 3배체 난을 생산하는 것으로 알려져 있다 (Devlin and Nagahama, 2002). 이러한 unreduced 형태의 3배체 난은 동일 종의 2배체 또는 주위 근연종 수컷의 정자 등의 자극에 의해 다시 3배체 개체로 발생하는 처녀생식 기작을 거치며, 이때 정자의 유전 물질은 개체 형성에 기여하지 않는 것으로 추측된다 (Yamashita et al., 1993). 따라서 자성발생성 3배체 붕어들은 일부 재조합에 의한 변이를 제외하고는 모계의 유전적 구조를 그대로 갖는 복제 집단이고 모계의 성 (sex)을 따라 전부 암컷으로 분화하리라 예상된다.

이미 자연산 3배체 붕어 집단은 현재까지 일본, 중국 및 러시아 등지에서 보고된 바 있으며 일부 연구진들에 의해서 복제 집단의 특성이 밝혀진 바 있다. 특히 최근 일본의 수계에는 유전적으로 서로 독립적인 최소 3개 이상의 3배체 붕어 집단들이 존재함이 DNA fingerprint 분석을 통해 규명된 바 있어 (Umino et al., 1997), 우리나라의 수계에도 역시 3배체 붕어 집단의 존재 가능성을 나타내고 있으나 아직까지 이들의 출현 또는 복제 특성에 대해서는 그 정확한 정보가 극미한 실정이었다. 이에 본 연구는 우리나라 수계

에 3배체 자성발생성 클론 붕어 집단의 존재 여부를 확인하고 이들의 복제 특성에 대한 유전학적 동정을 수행한 점에서 의의가 있다.

본 연구 결과 함안 지역에서 채집된 붕어의 95%는 3배체로 판명되었으며, 이들 개체는 여타 유도된 3배체 어류의 세포유전학적 특성을 잘 보여주었다. 자연산 3배체 붕어의 핵 및 세포 크기는 대조군에 비해 장축, 단축, 표면적 및 부피 등에서 1.07~1.74배의 증가를 보여 유의하게 그 크기가 증가되어 있음을 알 수 있었다. 더욱이 핵 및 세포 크기에 있어 장축의 증가가 단축에 비해 그의 증가율이 훨씬 커, 자연산 배수체임에도 불구하고 유도된 3배체의 장·단축 증가비와 유사하게 나타나 매우 흥미로웠다 (Wolters et al., 1982; Kim et al., 1988; 2001). 염색체 조사 결과 자연산 붕어 3배체들은 그 modal 염색체 수가 $3n=150$ 으로 나타나 이전의 연구 결과 ($2n=100$, $3n=150$ 내외)와 잘 일치하였으며 (Ueda & Ojima, 1978), 또한 flow cytometer를 이용한 DNA 함량 측정 결과 역시 2배체 붕어의 DNA 함량에 비해 정확히 1.5배 증가된 DNA 함량을 나타내어 3배체 특성을 잘 나타내었다.

Multi-locus DNA fingerprinting에 의해 함안산 3배체 붕어 집단은 1개의 단일 클론 집단인 것으로 나타났다. 무작위로 선발된 3배체 붕어들의 fingerprint profile은 분석한 모든 개체들에서 관찰된 band 형태 및 위치가 모두 같아 유전적으로 동일한 클론 집단의 특성을 잘 보여주었다. 따라서 본 함안 계통의 3배체 붕어 역시 기존에 보고된 바있는 자성발생성 복제 기작을 따르고 있다고 판단된다. 즉 제1 감수분열을 거치지 않은 체로 tripolar spindle 형성에 의해 (non-reductional meiosis) 3배체 알이 형성되고 여타 다른 근연종의 정자에 의해 발생이 자극·개시되는 기작을 갖으리라 여겨진다 (see Devlin and Nagahama, 2002). 정자로부터 유전물질의 관여 없이 개체로 발생함으로써 생산된 자손들은 모두 모계의 유전물질을 함유한 복제계통이며 이는 본 연구의 multi-locus DNA fingerprinting에 의해 잘 입증되었다. 그러나 Umino et al. (1997)은 일본산 3배체 붕어의 clonal 집단에 대해 분석을 실시하여 클론 집단도 몇 개의 서로 다른 line이 존재함을 밝힌 바 있다. 이러한 점을 고려하여 차후 함안 이외에 본 연구 결과 3배체 붕어가 출현하는 지역으로 나타난 논산, 주문진, 속초 및 삼례의 집단에 대해서도 DNA fingerprinting을 수행함으로써, 우리나라 수계에 분포하는 3배체 붕어 집단들이 동일 계통인지 또는 서로 다른 유전적 구조를 갖는 독립 계통인지에 대한 연구가 반드시 뒤따라야 할 것이다.

일반적으로 클론 집단의 형태는 매우 일양함이 보고되어 있다 (Streisinger et al., 1981). 본 연구에서도 붕어 3배체 집단은 독립된 2개의 2배체 집단과 비교시 개체간 변이가 매우 적음이 관찰되었으며, 특히 척추골수와 옆줄 비늘수는 개체간 차이가 전혀 나타나지 않았다. 또한 2배체 붕어와 3배체간 어체의 계측형질들간 비교치에 대한 분산을 비교한 결과 3배체군은 2배체군에 비해 분산값이 유의적으로 작게 나타나 3배체군의 개체간 형태 차이가 2배체에 비해 매우 적음을 알 수 있었다 ($P<0.05$). 그러나 본 연구에서 조사된 함안 계통의 3배체 붕어 집단은 3배체만이 특징적으로 나타내는 외형형질은 관찰되지 않아 향후 보다 광범위하고 자

세한 형태학적 비교 분석이 이루어져야 할 것이다. 본 연구에서 성비 분석 결과, 분석된 3배체 붕어는 모두 암컷으로 나타나, 함안 집단은 여타 보고된 3배체 붕어와 마찬가지로 자성발생성 기작에 의해 생식을 하는 집단인 것으로 판단된다 (Cherfas, 1966).

국내에 함안 이외의 여타 붕어 집단내에 3배체가 존재하는가를 알아보기 위해 논산, 주문진, 속초 및 삼례의 4개 집단을 대상으로 3배체 붕어의 출현 빈도를 조사한 결과, 그 빈도가 80.0~93.3%로 나타나 분석된 4개 집단 모두 3배체 붕어의 밀도가 매우 높은 것으로 나타났다. 앞으로 더욱 많은 집단을 대상으로 3배체 붕어의 출현율을 조사하고, DNA fingerprinting 등을 통한 각 집단별 클론의 특징을 분석하여야 할 것이다. 또한 현재 러시아, 중국 및 일본 등 3배체 붕어가 보고된 각 집단들이 모두 그 분류 체계가 불분명한 점을 고려 (Kim, 1998; Devlin and Nagahama, 2002), 국내산 3배체 붕어에 대한 분류학적 검토가 이루어져야 할 것이다.

요 약

국내에 서식하는 붕어 (*Carassius auratus*) 3배체 집단을 동정하고 이들을 대상으로 분자생물학적, 세포유전학적 및 형태학적 특징을 분석 하였다. 본 자연산 붕어 3배체 집단은 전형적인 3배체의 세포 유전학적 특성들, 즉 이배체에 비해 1.5배의 세포 및 핵의 크기, $3n=150$ 의 염색체수, 그리고 2배체 (3.6 pg/cell)에 비해 1.5배 증가된 DNA 함량 (5.4 pg/cell)을 나타내었다. 또한 본 3배체 붕어 집단은 DNA fingerprinting 분석에 의해 유전적인 구성이 동일한 클론 집단인 것으로 판명되었고 클론 3배체 붕어들은 2배체와 비교시 매우 일양한 형태학적 특성을 나타내었으며 모두 암컷인 전암컷 집단이었다. 본 연구의 분석에 사용된 함안 집단의 3배체 붕어 집단 이외에도 논산, 주문진, 속초 및 삼례 붕어 집단을 대상으로 3배체 출현 빈도를 조사한 결과, 모든 지역에서 80% 이상의 높은 3배체 빈도를 보였다.

참 고 문 헌

- Cherfas, N.S. 1966. Natural triploidy in females of the unisexual form of silver carp (*Carassius auratus gibelio*). *Genetika*, 5, 16~24.
- Devlin, R.H. and Y. Nagahama. 2002. Sex determination and sex differentiation in fish: an overview of genetic, physiological, and environmental influences. *Aquaculture*, 208, 191~364.
- Fan, Z. and G. Liu. 1990. The ploidy and reproductive mechanism of crucian carp, *Carassius auratus gibelio*. *J. Fish Biol.*, 36, 415~419.
- Kim, E.O. 1998. Genetic identification on the clonal line of natural triploid crucian carp. MSc thesis, Pukyong National University, Busan, pp. 39.
- Kim, D.S., H.J. Cho, I.S. Park, G.C. Choi and Y.K. Nam. 2001. Cytogenetic traits and gonad development of induced triploidy in far eastern catfish, *Silurus asotus*. *Kor. J. Genet.*, 23, 55~62.
- Kim, D.S., I.B. Kim and Y.G. Baik. 1988. Early growth development of triploid rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J. Aquacult.*, 1, 41~51.
- Kim, D.S., Y.K. Nam and I.S. Park. 1995. Survival and karyological

- analysis of reciprocal diploid and triploid hybrids between mud loach (*Misgurnus mizolepis*) and cyprinid loach (*M. anguillicaudatus*). *Aquaculture*, 135, 257~265.
- Kobayasi, H., Y. Kawashima and N. Yakeuchi. 1970. Comparative chromosome studies in the genus *Carassius*, especially with a finding of ployploidy in the ginbuna. *Jap. J. Ichthyol.*, 17, 153~160.
- Lemoine, H.L. Jr and L.T. Smith. 1980. Polyploidy induced in brook trout by cold shock. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 109, 626~631.
- Liu, S., K. Sezaki, K. Hashimata, H. Kabayasi and M. Nakamura. 1978. Simplified techniques for determination of polyploidy in ginbuna, *Carassius auratus langsdorfii*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44, 601~606.
- Nam, Y.K., H.J. Cho, J.H. Im, I.S. Park and D.S. Kim. 2001. Production of all-female diploid and triploid far eastern catfish, *Silurus asotus* (Linnaeus): survival and growth performance. *Aquacult. Res.*, 32, 991~998.
- Nam, Y.K., Y.S. Cho and D.S. Kim. 2000. Isogenic transgenic homozygous fish induced by artificial parthenogenesis. *Transgenic Res.*, 9, 463~469.
- Sezaki, K. and H. Kobayashi. 1978. Comparison of erythrocytic size between diploid and tetraploid in spinous loach, *Cobitis biwae*. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 41, 851~854.
- Streisinger, G., C. Walker, N. Dower, D. Knauber and F. Singer. 1981. Production of clones of homozygous diploid zebra fish (*Brachydanio rerio*). *Nature (London)*, 291, 293~296.
- Takai, A. and Y. Ojima. 1983. Tetraploidy in the offspring of triploid ginbuna, *Carassius auratus langsdorfii* (Cyprinidae, Pisces). *Proc. Jap. Acad.*, 59, 347~350.
- Ueda, T. and Y. Ojima. 1978. Differential chromosomal characteristics in the funa subspecies (*Carassius*). *Proc. Jap. Acad.*, 54, 283~288.
- Umino, T., K. Arai, K. Maeda, Q. Zang, K. Sakae, I. Niwase and I. Nakagawa. 1997. Natural clones detected by multilocus DNA fingerprinting in gynogenetic triploid ginbuna *Carassius langsdorfii* in Kuros river, Hiroshima. *Fisheries Sci.*, 63, 147~148.
- Wolters, W.R., C.L. Chrisman and G.S. Libey. 1982. Erythrocyte nuclear measurement of diploid and triploid channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque). *J. Fish Biol.*, 20, 253~258.
- Yamashita, M., J. Jiang, H. Onozato, T. Nakanishi and Y. Nagahama. 1993. A tripolar spindle formed at meiosis I assures the retention of the original ploidy in the gynogenetic triploid Crucian carp, Ginbuna *Carassius auratus langsdorfii*. *Develop. Growth Differ.*, 35, 631~636.
- Zhou, J., J. Shen and M. Liu. 1983. A cytological study on the gynogenesis of Fangzheng crucian carp of Heilongjiang province. *Acta Zool. Sinica*, 29, 11~16.

2002년 7월 27일 접수

2002년 11월 4일 수리