

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)와 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*)간 유도된 잡종의 세포유전학적 분석

박상용 · 김동준 · 이윤아 · 노충환¹ · 김동수² · 방인철*

순천향대학교 해양생명공학과, ¹한국해양연구원 해양자원연구본부,
²부경대학교 양식학과

Cytogenetic Analysis of an Intergeneric Hybrids between Korean Bullhead (*Pseudobagrus fulvidraco*) and Ussurian Bullhead (*Leiocassis ussuriensis*)

Sang-Yong Park, Dong-Jun Kim, Yoon-A Lee, Choong-Hwan Noh¹,
Dong-Soo Kim² and In-Chul Bang*

Department of Marine Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

¹Marine Resources Research Department, KORDI, Ansan 425-600, Korea

²Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Bagrid catfish hybrid between Korean bullhead (*Pseudobagrus fulvidraco*) and Ussurian bullhead (*Leiocassis ussuriensis*) was produced by artificial fertilization. Modal chromosome numbers of Korean bullhead, Ussurian bullhead and their hybrid were the same as $2n=52$. The karyotypes were 22 metacentric (M), 22 submetacentric (SM), and 8 acrocentric (A) chromosomes for Korean bullhead, 22M+14SM+16A for Ussurian bullhead and 22M+18SM+12A for their hybrid. The hybrid bullhead karyotype consisted of each haploid set of parental species chromosomes. Erythrocytic sizes and DNA contents of hybrids were intermediate between two parental species.

Key words : Hybrid, *Pseudobagrus fulvidraco*, *Leiocassis ussuriensis*, Karyotype, DNA content

서 론

어류에서 종간 잡종 (interspecific hybrid)의 유도는 우량형질을 가진 두 종간의 교배를 통하여 단기간 내에 최소의 노력으로 산업성있는 획득 형질, 즉 잡종강세를

얻기 위하여 시도되고 있다 (Ihssen *et al.*, 1990; Kim *et al.*, 1995; 박, 1995). 어류 잡종에 대한 연구는 19세기말부터 자연계에 존재하는 잡종 유사한 개체에 대한 관심에서 비롯되었으며, 잡종 또는 잡종화는 한 종의 정자 전핵 (pronucleus)과 다른 종의 난자 전핵의 수정을 의미한다 (Schwartz, 1972; Chevassus, 1979).

잡종 중 수정 능력이 있는 잡종의 경우 신종 (new sp-

*Corresponding author: incbang@sch.ac.kr

ecies)으로 인정되고 있으며, 생식력이 있는 잡종들간의 F₂ 교배, 역교배 (back cross) 및 3차 잡종 (three way hybrid)과 세대간 역교배는 중간 특이 형질의 전이를 가능케 하므로 유전육종학적 측면에서 중요시 된다 (Smith, 1970, 1972; Chevassus, 1984). 생식 능력은 일부 잡종에서 보고되고 있으며 생식 능력이 있는 F₁ 잡종간의 교배에 의한 F₂ 잡종의 생산 및 역교배 *Oncorhynchus keta*와 *O. nerka* 잡종, *Huso huso*와 *Acipenser ruhenus* 잡종, *Sarotherodon mossambicus*와 *S. hornorum* 잡종에서 이루어진 바 있다 (Hickling, 1960; Mires, 1977).

잡종의 산업적 가능성은 잡종의 생존력 (viability), 성장력 (growth potential), 생식력 (reproductive ability) 및 성비 (sex ratio) 등에 의해 결정된다. 이들 잡종의 생존력은 배 발생, 부화, 난황 흡수 및 초기 먹이 붙임기인 발생 초기 단계에서 매우 다양하나 대체로 높은 사망률을 나타냄이 보고되고 있다 (Blanc and Chevassus, 1979; Blanc and Poisson, 1983). 이러한 낮은 초기생존율을 극복하기 위한 방법으로 이들 중간 잡종과 염색체 공학을 중복 사용하여 유도되는 잡종 3배체가 중간 잡종의 생존율 증가에 이용되고 있다 (Chevassus et al., 1983; Scheerer and Thorgaard, 1983; 박, 1993; Kim et al., 1995). 예를 들면 은연어, *Oncorhynchus kisutch*와 무지개 송어, *O. mykiss*의 잡종 및 잡종 3배체 유도를 통해 무지개 송어에서 초기폐사를 일으키는 infectious hematopoietic necrosis (IHN) virus에 강한 신품종을 개발하여 성장률 증가, 내병성 증가 및 불임성 개체를 생산한 연구가 보고 되고 있다 (박 등, 1996).

동자개, *Pseudobagrus fulvidraco*와 대농갱이, *Leiocassis ussuriensis*는 메기목 (Order Siluriformes) 동자개과 (Family Bagridae)에 속하며, 우리나라의 동자개과에는 종어 (*L. longirostris*), 밀자개 (*L. nitidus*), 대농갱이 (*L. ussuriensis*), 꼬치동자개 (*P. breicorpus*), 동자개 (*P. fulvidraco*) 및 눈동자개 (*P. koreanus*)의 6종이 있다 (김 등, 2005).

동자개는 인도차이나 반도에서 기원하며 우리나라에서는 황해와 남해로 유입되는 하천과 북한, 중국, 일본, 대만 및 시베리아에 분포한다 (정, 1977; 전, 1984; Cheng and Zheng, 1987; Lee and Kim, 1990, 최 등, 1990; 김 등, 2005). 자연 상태에서 동자개는 유속이 완만하고 사니질이 많은 곳의 바닥에 서식하고, 낮에는 주로 돌이나 수초 등과 같은 은신처에 숨어 있다가 밤에 나와 먹이를 찾으며, 작은 물고기, 어란, 새우류, 수서 곤충 및 작은 동물을 섭식한다 (최 등, 1990; 김 등, 2005). 동자개는 우리나라의 담수어류 중 비교적 고가로 거래되는 어종으

로 자원량의 감소에 따라 양식 대상으로 기대되고 있다.

대농갱이는 최대 전장이 50 cm에 이르는 메기목 어류 중 비교적 대형종으로, 한강과 금강 등 우리 나라의 각종 하천에 서식하며 북한과 중국, 러시아에도 분포한다 (Lee and Kim, 1990). 본 종은 하천의 중류나 하류, 비교적 물이 맑은 곳에서 살며 어린 물고기, 물고기의 알, 새우 무리, 물에서 사는 곤충, 실지렁이 등을 잡아먹는 육식성이다 (정, 1977). 또한 기호도가 높은 중요 식용어로서 최근 자연 자원의 감소와 수요의 증가로 인하여 양식 필요성이 점차 요구되고 있다.

본 연구에서는 신품종 어류의 생산을 통한 양식 생산성을 향상시키기 위하여 동자개 및 대농갱이를 대상으로 잡종을 유도한 후 염색체 수 및 핵형, DNA 함량 측정을 통하여 이들의 세포유전학적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어

잡종 유도를 위해 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*)는 충청남도 서산시 부석면 간척지 저수지에서 어획되는 것 중에서 성숙한 개체를 친어로 사용하였다. 사용된 동자개 친어의 평균 전장 및 체중은 24.0±5.4 cm, 201.5±5.9 g이었다. 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*)는 충남 부여의 백마강에서 수집된 성숙된 개체를 친어 (평균 체장 및 체중 : 암컷 20.8±2.2 cm, 119.3±17.6 g 및 수컷 31.8±3.2 cm, 250.1±26.7 g)로 사용하였다.

2. 방법

1) 잡종의 유도

동자개 암컷의 산란 유도를 위하여 인간 융모막성 성선 자극 호르몬 (human chorionic gonadotropin, hCG; Sigma, USA)을 20,000 IU/kg으로 복강에 주사하고 18 시간 경과 후부터 2시간 간격으로 복부를 가볍게 눌러 성숙난을 얻었다.

대농갱이 수컷은 복부를 절개 후, 정소를 적출하여 세절 후 모기장망을 이용하여 압착하여 정액을 수집하였으며, 수집된 정액은 0.85% 생리식염수에 10배 희석하여 수정에 사용하였다. 건식법에 의해 동자개 성숙란과 대농갱이 정자를 수정시켜 25±0.5°C에서 부화시켜 잡종을 유도하였다.

2) 염색체 수 및 핵형 분석

실험군의 염색체 수 및 핵형 분석을 위해 Kim et al. (1982)의 방법에 의거하여 신장 조직을 이용하여 염색

체 표본을 작성하였다. 무작위로 채집한 표본 10마리에 colchicine을 적정 농도 (1~10 µg/g)로 복강 주사하여 3~4시간 방치 후, 신장을 적출하여 세절 후 상온에서 저장액 (0.075 M KCl)에 30분간 처리하였다. 저장액 처리된 신장 조직 세포는 고정액 (methanol : glacial acetic acid=3 : 1)으로 3회 걸쳐 고정하였다. 슬라이드 표본 제작은 공기건조법으로 하였으며, 5% May-Grünwaldt Giemsa 용액으로 10~15분간 염색하였다. 작성된 표본은 광학현미경 (×1,000)하에서 관찰하여 각 개체당 50여개의 판독 가능한 염색체 중기분열상을 대상으로 계수하였으며, 핵형 분석은 Levan *et al.* (1964)의 방법에 따라 분석하였다.

3) 적혈구 크기 측정

동자개, 대농갱이 및 이들간 잡종 10마리를 임의 추출하여 각 개체의 미병부 정맥으로부터 혈액을 채취한 다음, 슬라이드에 도말하여 100% ehtnanol로 고정한 후 Giemsa 용액으로 염색하였다. 각 개체당 120개의 적혈구를 측정하였으며, 적혈구 세포 및 핵의 장경 (a)과 단경 (b)을 광학 현미경 (×1,000)하에서 micrometer로 측정하였다. 표면적과 부피는 아래의 식으로 계산하였다.

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

· 부피 : $4(a/2) \times (b/2)^2 \times \pi/3$

(Lemoine and Smith, 1980)

4) DNA 함량 측정

실험군의 DNA 함량 측정을 위하여 각 처리군으로부터 혈액을 채취하였다. 실험 어류의 미부정맥으로부터 5 µL 혈액을 채취하였다. 채취된 혈액은 70% 냉각 에탄올 1 mL에 고정한 다음 DNA 함량을 측정할 때까지 냉장 보관하였다. 각 혈액 sample (1×10^6 cells)을 propidium iodide (PI) 용액 (50 µL/mL PI, 0.1% NP-40, 1 mg/mL RNase A in $1 \times$ PBS)을 이용하여 실온에서 30분간 염색하였다.

염색이 완료된 후 WinBryte HS flowcytometer (Bio-Rad Co., USA)를 이용하여 각 종간 비교하였다. 대조군들로는 미꾸라지 정자 (*Misgurnus mizolepis* sperm, 1.4 pg/cell) 및 미꾸라지 (*M. mizolepis*, 2.8 pg/cell)을 사용하였으며, 100,000개의 세포 내 정보를 수집하여 DNA Modfit Program (Bio-Rad Co., USA)에 의해 DNA 함량을 측정하였다.

5) 통계처리

결과자료의 통계처리는 One-way ANOVA-test로 실시하여 Duncan's multiple range test로 처리한 후 평균간

의 유의성 ($P < 0.05$)을 SPSS program으로 검정하였다.

결 과

1. 염색체 분석

Fig. 1은 인공수정에 의해 유도된 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*), 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*) 및 잡종의 외부 형태이며 유도된 잡종의 외형은 암컷으로 이용한 동자개를 많이 닮은 것으로 나타났다. 각 실험군의 염색체 수와 핵형을 분석한 결과, 염색체 수는 동자개, 대농갱이 및 잡종 모두 $2n=52$ 로 동일하였다 (Table 1 & Fig. 2).

Fig. 3-a는 동자개의 핵형으로 11쌍의 metacentric chromosomes, 11쌍의 submetacentric chromosomes과 4쌍의 acrocentric chromosomes으로 구성되어 있었다. Fig. 3-b는 대농갱이의 핵형으로서 11쌍의 metacentric chromosomes, 7쌍의 submetacentric chromosomes과 8쌍의 acrocentric chromosomes으로 구성되어 있었다. Fig. 3-c는 이들간의 잡종의 핵형으로 22개의 metacentric chromosomes, 18개의 submetacentric chromosomes

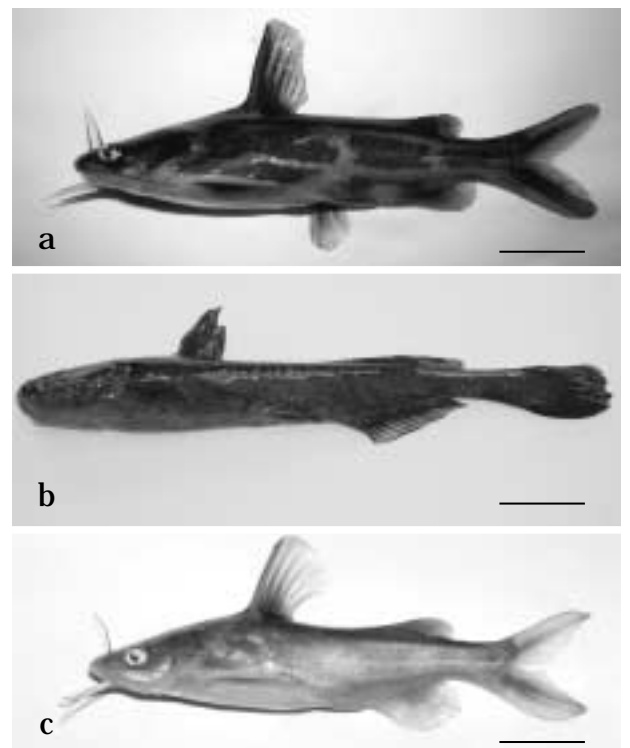


Fig. 1. External morphology of *Pseudobagrus fulvidraco* (a), *Leiocassis ussuriensis* (b) and their hybrid (c). Scale bars=3 cm.

Table 1. Frequency distribution of chromosome number from *Pseudobagrus fulvidraco* (P), *Leiocassis ussuriensis* (L) and their hybrid (P×L)

| Species | No. of specimen | Distribution of chromosome numbers | | | | | | | | | | | | No. of the metaphases examined |
|---------|-----------------|------------------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|--------------------------------|
| | | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | |
| P | 10 | 1 | 2 | 1 | 2 | 4 | 6 | 15 | 107 | 14 | 6 | 1 | 1 | 160 |
| L | 10 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 3 | 18 | 123 | 6 | 1 | 3 | 1 | 160 |
| P×L | 10 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 6 | 9 | 121 | 9 | 4 | 2 | 1 | 160 |

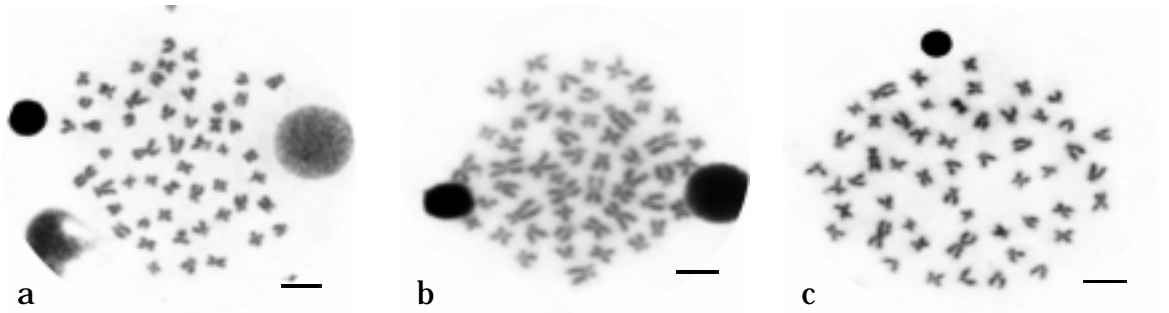


Fig. 2. Metaphase spreads of *Pseudobagrus fulvidraco* (a), *Leiocassis ussuriensis* (b) and their hybrid (c). Scale bars=10 µm.

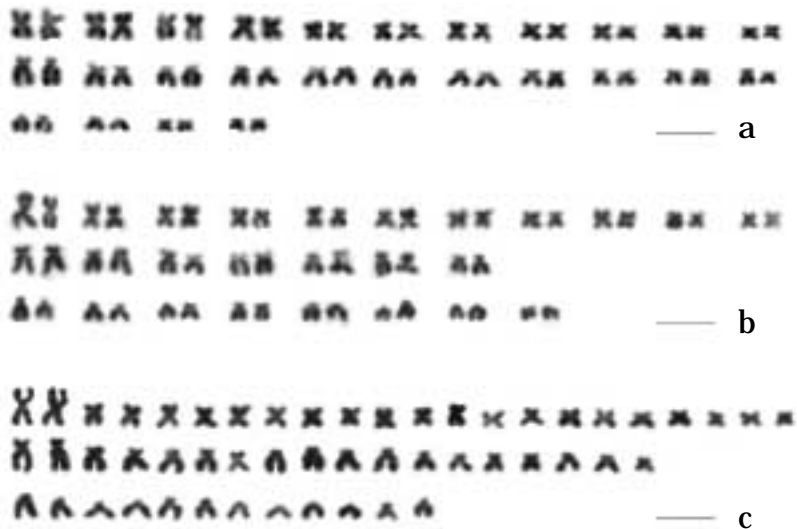


Fig. 3. Karyotypes of *Pseudobagrus fulvidraco* (a), *Leiocassis ussuriensis* (b) and their hybrid (c). Scale bars=10 µm.

과 12개의 acrocentric chromosomes으로 구성되어 있었다.

2. 적혈구 세포크기

동자개, 대농갱이 및 이들간 잡종의 적혈구 크기를 측정한 결과는 Fig. 4 및 Table 2와 같다. 동자개, 대농갱이 및 잡종의 적혈구 세포 장축은 각각 9.86, 10.87 및 10.45 µm로 나타나 잡종은 양친의 중간값을 나타내었다. 세포

단경에서도 같은 경향이었으며, 세포 및 핵의 표면적과 체적에 있어서는 대농갱이, 잡종 및 동자개 순으로 크게 나타났다(P<0.05).

3. DNA 함량

각 실험군의 DNA 함량 분석 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 미꾸라지 정자와 미꾸라지를 standard로 이용하여 실험군의 DNA 함량을 측정한 결과 동자개는 평균 2.06

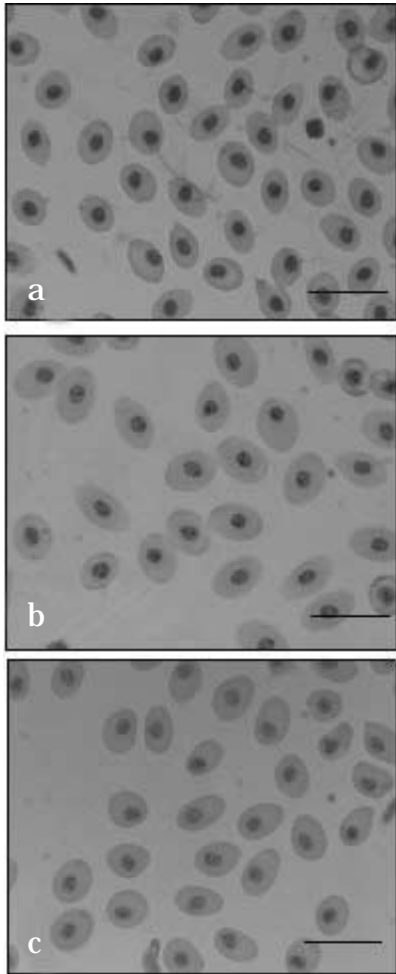


Fig. 4. Microphotographs of erythrocytes from *Pseudobagrus fulvidraco* (a), *Leiocassis ussuriensis* (b) and their hybrid (c). Scale bars=10µm.

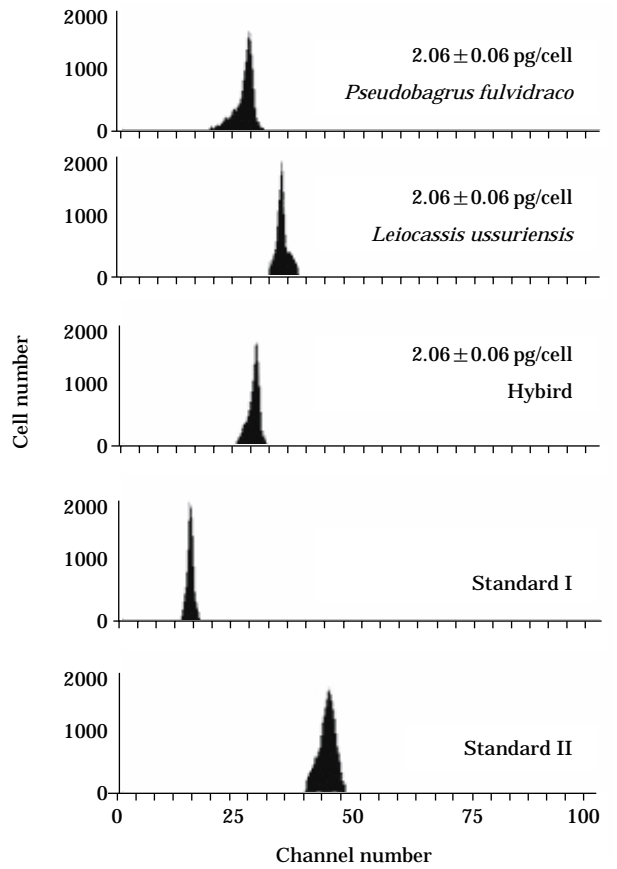


Fig. 5. Representative histograms showing the average DNA contents of *Pseudobagrus fulvidraco*, *Leiocassis ussuriensis* and their hybrids base on flow cytometry. Standard I: *Misgurnus mizolepis* sperm (1.4 pg/cell); Standard II: *M. mizolepis* blood (2.8 pg/cell).

Table 2. Erythrocytic measurements of *Pseudobagrus fulvidraco* (P), *Leiocassis ussuriensis* (L) and their hybrid (P×L)

| Species | Major axis (µm)* | Minor axis (µm)* | Surface area (µm ²)* | Volume (µm ³)* |
|---------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------|
| P | 9.9±0.6 | 7.7±0.5 | 59.7±2.1 ^b | 307.5±29.1 ^b |
| L | 10.9±0.5 | 8.2±0.5 | 70.4±3.4 ^a | 397.4±30.6 ^a |
| P×L | 10.5±0.6 | 7.9±0.5 | 64.6±4.6 ^{ab} | 347.5±33.3 ^{ab} |

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

pg/cell을 나타내었으며, 대능쟁이는 2.09 pg/cell를 나타내었으나 통계적인 유의차는 관찰되지 않았다. 동자개와 대능쟁이 잡종은 2.08 pg/cell이었으며, 양친 DNA 함량의 중간값을 나타내었다.

고 찰

어류에 있어 유전육종 기법 중 두 종간의 우량형질을 가진 신품종 어류를 만들어 내기 위한 잡종형성 (hybridization)은 단순 잡종유도뿐만 아니라 인공수정을 시키기 전후에 정자 및 난자의 전핵에 여러 가지 처리를 함으로써 유전적으로 변화된 정자나 난자를 서로 교배시키는 방법 등이 사용된다. 유전육종학적 기법에 의해 만들 수 있는 가능한 잡종화 기작들은 중간 잡종, 자성발생성 개체 및 응성발생성 개체는 물론 잡종 3배체와 잡종 4배체의 유도 등이다 (Chevassus *et al.*, 1983).

유도된 잡종의 분석법 중 중요시되는 것은 세포유전학적 분석법이다. 염색체 수 조사 및 핵형 분석에 의한 잡종의 유전자 분석은 정확도가 높아 두 종의 서로 다른 반수체로 만들어진 잡종이 karyogamy임을 입증할

때 효과적으로 사용될 수 있다. 잡종은 양친 각각의 반수체로 구성되므로 염색체 수 조사 및 핵형 분석을 통해 잡종의 판별이 가능하다. 본 연구에서도 동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*, 2n=52)와 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*, 2n=52)간의 잡종의 염색체수는 2n=52로 양친과 동일하게 나타남으로써, 미꾸라지 (2n=48)와 미꾸리 (2n=50)간 잡종 (2n=49)에서처럼 (Kim *et al.*, 1995) 염색체 수만으로는 잡종을 동정할 수 없었지만, 본 연구의 친어로 이용한 두 종의 핵형 차이를 이용, 유도된 잡종을 분석한 결과 암수 친어로부터 각각의 반수체 set를 전달받은 것을 확인할 수 있었다.

모든 생물은 고유한 DNA 양 즉, genome size를 지니고 있으며 이의 측정은 종간 확인 및 진화 과정 구명에 중요하게 이용되고 있다. 최근 많이 이용되고 있는 flow cytometry는 DNA 함량의 직접 측정 방법으로 염색체 수 및 핵형 분석이 세포 주기의 일정 기간에 국한되는데 반해 단시간 내 다량의 세포핵 분석이 가능하며 배수체의 DNA 함량까지도 분석이 가능한 장점이 있다 (Kim *et al.*, 1989; 박, 1992; Galbreath *et al.*, 1997; 방 등, 2001). 어류에 있어 핵의 크기는 genome size 및 세포의 크기와 밀접하게 연관되어 있으며 세포의 신진대사와도 상관관계가 있어 동물의 진화과정과 밀접한 연관이 있다 (Szarski, 1976). 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). 본 연구에서는 genome size 측정을 하기 위하여 flow cytometry 분석을 실시한 결과 proidium iodide (PI) intensity를 DNA 함량으로 환산시 잡종의 DNA 함량은 2.08 pg/cell로 동자개 2.06 pg/cell과 대농갱이 2.09 pg/cell 함량의 중간을 취하는 것으로 나타났다. PI 형광 분포는 적은 분산율을 보였고, 배수체에 기인한 평균 DNA 함량의 감소 현상은 나타나지 않았다. 한편 동자개와 대농갱이의 적혈구 크기 비교시 대농갱이가 동자개에 비해 세포 및 핵의 크기에 있어 다소 크게 나타났으며 이러한 경향은 세포 및 핵의 표면적과 부피에서도 동일하게 나타났다. 잡종의 적혈구 세포 및 핵의 크기 그리고 표면적과 부피는 동자개와 대농갱이간의 중간을 나타내었고, 이러한 결과는 미꾸라지와 미꾸리간 잡종, 미꾸리와 미꾸라지간 잡종 등 여타 결과들과 잘 일치하였다 (Kim *et al.*, 1995).

적 요

동자개 (*Pseudobagrus fulvidraco*), 대농갱이 (*Leiocassis ussuriensis*) 및 이들간 잡종의 염색체수는 모두 2n=52

로 동일하였으나, 핵형은 서로 상이하어 동자개가 22 metacentrics (M)+22 submetacentric (SM)+8 acrocentric (A) chromosome으로, 대농갱이는 22M+14SM+16A, 그리고 잡종은 22M+18SM+12A로 구성되어 있었다. 잡종은 동자개, 대농갱이 각각의 반수체로 구성되어 있었다. 적혈구 세포 및 핵의 크기, 표면적 및 체적을 측정한 결과 유도된 잡종은 양친의 중간값을 나타내었다. 동자개, 대농갱이 및 잡종의 DNA 함량을 측정한 결과, 동자개는 2.06 pg/cell, 대농갱이는 2.09 pg/cell, 동자개와 대농갱이 잡종은 2.08 pg/cell로 나타나, 잡종의 DNA 함량은 양친의 중간값으로 나타났다.

사 사

본 연구는 2002년도 순천향대학교 기초과학연구소 학술연구조성비 일반연구과제의 지원에 의해 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

Blanc, J.M. and B. Chevassus. 1979. Interspecific hybridization of salmonid fish. I. Hatching and survival up to the 15th day after hatching in F₁ generation hybrids. *Aquaculture* 18 : 21 ~ 34.

Blanc, J.M. and H. Poisson. 1983. Parental sources of variation in hatching and early survival rates of *Salmo trutta* ♀ × *Salvelinus fontinalis* ♂ hybrid. *Aquaculture* 32 : 115 ~ 122.

Chevassus, B. 1979. Hybridization in salmonids : results and perspectives. *Aquaculture* 17 : 113 ~ 128.

Chevassus, B., R. Guyomard, D. Chorrout and E. Quillet, 1983. Production of viable hybrids in salmonids by triploidization. *Genet. Sel. Evol.* 15 : 519 ~ 532.

Chevassus, B. 1984. Hybridization in fish. *Aquaculture* 33 : 245 ~ 128.

Cheng, Q. and B. Zheng. 1987. Systematic Synopsis of Chinese Fishes. Science Press, Beijing pp. 1458 (in Chinese).

Galbreath, P.F., K.J. Adams, P.A. Wheeler and G.H. Thorgaard. 1997. Clonal atlantic salmon × brown trout hybrids produced by gynogenesis. *J. Fish Biol.* 50 : 1025 ~ 1033.

Hickling, C.F. 1960. Malacca tilapia hybrids. *J. Genet.* 57 : 75 ~ 85.

Ihssen, P.E., L.R. McKay, I. McMillan and P.B. Phillips. 1990. Ploidy manipulation and gynogenesis in fishes:

- Cytogenetic and fisheries applications. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119 : 698~717.
- 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, 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 (*Misgurnus anguillicaudatus*). *Aquaculture* 135 : 257~265.
- Lee, C.-L. and I.-S. Kim. 1990. A taxonomic revision of the family bagridae (Pisces, Siluriformes) from Korea. *Korean J. Ichthyol.* 2 : 117~137.
- 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.
- Mires, D. 1977. Theoretical and practical aspects of the production of all male tilapia hybrids. *Bamidgeh* 29 : 94~101.
- Scheerer, P.D. and G.H. Thorgaard. 1983. Increased survival in salmonid hybrids by induced triploidy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 : 2040~2044.
- Schwartz, F.J. 1972. World literature to fish hybrids with an analysis by family, species and hybrid. In: *Gulf Coast Res. Lab. Ocean Springs, MS, Publ. Gulf Coast Res. Lab. Mus. No. 3*, 328 pp.
- Sezaki, K. and H. Kobayashi. 1978. Comparison of erythrocytic size between diploid and tetraploid in spinous loach, *Cobitis biwae*, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 44 : 851~854.
- Smith, S.H. 1970. Trends in fishery managements of the Great Lakes. In: *A Century of Fisheries in North America* (ed Benson, N. G.). *Am. Fish. Soc., Washington, DC, Spec. Publ.* 7 : 107~114.
- Smith, S.H. 1972. The future of salmonid communities in the Laurentian Great Lakes, *J. Fish. Res. Bd. Can.* 29 : 951~957.
- Szarski, H. 1976. Cell size and nuclear DNA content in vertebrates. *Inter. Rev. Cytol.* 44 : 93~112.
- 김익수 · 최 윤 · 이충렬 · 이용주 · 김병직 · 김지현. 2005. 한국어류대도감. 교학사, 서울, p. 615.
- 박인석. 1993. 염색체 조작에 의한 어류의 생물공학. 제주대 해양연구소 연구보고, 17 : 93~114.
- 박인석. 1995. 잡종화 기법을 이용한 어류의 유전육종. 군산대 해양개발연구소논문, 7 : 47~68.
- 박인석 · 김병기 · 김종만 · 최경철 · 김동수. 1996. 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)와 은연어 (*O. kisutch*)간의 잡종 및 잡종 3배체 생산, *한국양식학회지* 9 : 133~140.
- 방인철 · 남윤권 · 노충환 · 박준택 · 한경호. 2001. 한국산 꺾지과 어류 3종의 세포유전학적 연구. *한국수산학회지*, 34 : 17~20.
- 정문기. 1977. 한국어도보. 일지사, 서울. pp. 222~230.
- 전상린. 1984. 한국산 동자개과 및 메기과 어류의 검색과 분포에 관하여, *상명여자대학논문집*, 14 : 83~115.
- 최기철 · 전상린 · 김익수 · 손영목. 1990. 원색 한국 담수어도감. 향문사, 서울, p. 276.

Received: January 12, 2006
Accepted: February 14, 2006