

이학석사 학위논문

참돔, *Pagrus major*과 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*간의 잡종유도

Artificial Hybridization between Red Seabream, Pagrus major and Black Seabream, Acanthopagrus schlegeli

지도교수 박인석

2004년 2월

한국해양대학교 해양관리기술대학원

해양환경·생물공학기술전공

박인순

이학석사 학위논문

참돔, *Pagrus major*과 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli*간의 잡종유도

*Artificial Hybridization between Red Seabream,
Pagrus major and Black Seabream,
Acanthopagrus schlegeli*

지도교수 박 인 석

2004년 2월

한국해양대학교 해양관리기술대학원

해양환경·생물공학기술전공

박 인 순

본 논문을 박인순의 이학석사 학위논문으로 인준함

2003년 12월

주 심 이 학 박 사 노 일 ㉠

위 원 이 학 박 사 조 성 환 ㉠

위 원 수 산 학 박 사 박 인 석 ㉠

한국해양대학교 해양관리기술대학원

목 차

	<i>Page</i>
목 차	iii
Abstract	iv
List of Tables	v
List of Figures	vi
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 종간잡종(<i>interspecific hybrid</i>) 유도	3
2. 사육 및 관리	3
3. 계측형질 측정 및 외형 조사	4
4. 염색체 수 조사 및 핵형 분석	4
5. <i>Flowcytometry</i>	4
6. 적혈구 핵 크기 조사	7
7. 생식소의 조직학적 분석	7
8. 통계분석	8
III. 결 과	9
1. 계측형질 및 외형	9
2. 염색체 수 및 핵형	12
3. <i>Flowcytometry</i>	12
4. 적혈구 핵 크기	15
5. 생식소	15
IV. 고 찰	19
V. 국 문 요 약	24
VI. 감 사 의 글	25
VII. 참 고 문 헌	27

*Artificial Hybridization between Red Seabream,
Pagrus major and Black Seabream,
Acanthopagrus schlegeli*

In Soon PARK

*Graduate School of Maritime Management and Technology,
Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
(Supervised by Professor In-Seok Park)*

Abstract

*Viable interspecific hybrids between red seabream (*Pagrus major*) and black seabream (*Acanthopagrus schlegeli*) were produced by artificial insemination of red seabream eggs with black seabream sperm.*

Morphometrics assessed by body proportions indicated that hybrids generally displayed a morphology intermediate between the maternal and paternal species. Overall cytogenetic traits (chromosome number and karyological analysis, estimation of cellular DNA contents using flowcytometry and evaluation of nuclear size in erythrocyte) of hybrid seabream were intermediate between the two parental species.

Karyotype of hybrid seabream was constituted by each haploid set of chromosome from parental species. Interspecific hybrid exhibited abnormal and retarded gonad development in both sexes based on histological analysis of gonads from adult fish. The sterility of the hybrids presents significant advantage for their use in aquaculture because optential escapes will not be capable of reproducing in the wild and contaminating natural resource.

A thesis submitted to the committee of the Graduate School of Maritime Management and Technology, Korea Maritime University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in December 2003.

List of Tables

	Page
Table 1. <i>Dimensions of body shape measured in this study</i>	5
Table 2. <i>Means and standard deviations for morphometric dimension of red seabream, black seabream and their hybrid, and results of ANOVA-test or differences among groups</i>	10
Table 3. <i>Nuclear DNA content of red seabream, black seabream and their hybrid</i>	14
Table 4. <i>Comparison of erythrocyte nucleus size measured from red seabream, black seabream and their hybrid</i>	17

List of Figures

	Page
Fig. 1. <i>Morphometric measurements of red seabream, black seabream and their hybrid measured in this study</i>	6
Fig. 2. <i>External morphology of (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid</i>	11
Fig. 3. <i>Metaphases and idiograms of (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid</i>	13
Fig. 4. <i>Microphotographs of erythrocyte in (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid</i>	16
Fig. 5. <i>Microphotographs of gonad in (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid</i>	18

I. 서 론

어류 잡종에 관한 연구는 19세기 말부터 자연계에 존재하는 잡종 개체에 대한 관심으로부터 비롯되어 연구되었다(박, 1994; 박 등, 1997). 수산 생물공학 적 기법에 의한 양식어류를 대상으로 한 유전육종(*Genetics and breeding*) 적용은 적은 노력으로 단기간 내에 양식산업의 생산성 향상을 기할 수 있는 방편으로서, 이러한 수산유전육종기법인 잡종화(*Hybridization*) 및 잡종(*Hybrid*) 유도에 관하여 1982년에 *Food and Agricultural Organization (FAO)*, *The World Mariculture Society* 및 *The European Mariculture Society* 주관 하에 'Genetics in Aquaculture' 라는 의제 하에 분과로 심포지움이 최초로 개최된 바 있다(Chevassus, 1983; Moav, 1979).

잡종 및 잡종화는 동일한 종 내의 계통간 잡종화도 포함할 수도 있으나 엄밀한 의미에서는 한 종의 정자 전핵과 다른 종의 난자 전핵의 수정 즉, 이종간 수정(*Heterospecific insemination*)을 의미한다(Chevassus, 1983; 박, 1994). 어류 양식산업에서 종간잡종(*Interspecific hybrid*)의 형성은 표현형에서 우량 형질을 가진 두 종간의 교배를 통하여 단기간 내에 최소 노력으로 성장, 체육질, 내병성 및 외형·색깔 등의 산업성 있는 획득 형질인 잡종강세(*Hyterosis, Hybrid vigour*)를 얻기 위하여 시도되고 있다(Ihssen *et al.*, 1990; 박, 1994; Kim *et al.*, 1995).

어류 양식산업 대상종에서의 이러한 종간잡종 유도는 연어과 어류(Chevassus, 1983 ; 박 등, 1997), *Catfish* (Dunham *et al.*, 1982), 잉어과 어류(Hulata, 1995) 및 미꾸리속 어류(Kim *et al.*, 1995; 박, 1992)에서 시도된 바 있으며, 특히 어류 양식산업에서의 이와 같은 종간잡종 유도는 종간 잡종시의 유전적 상반성에 기인된 기능적인 불임성 개체의 생산을 위하여 시도되고 있다(Chevassus *et al.*, 1983; Ihssen *et al.*, 1990). 유도된 잡종의 분석법들로는 계수적·형태적 및 계측적 특징, 발생생리학적 특징, 생화학적 특성 및 세포유전학적 특징 등이 있다(Chevassus, 1983; 박, 1994).

참돔(Red seabream, *Pagrus major*)과 감성돔(Black seabream, *Acanthopagrus schlegelii*)은 농어목(*Perciformes*)의 도미과(*Sparidae*)에 속하는 우리나라 연근해에 서식하는 해산어류로, 현재 우리나라에서 고급 양식 대상어종으로 각광받고 있는 고가의 돔류이다(최 등, 2002).

본 연구는 유도된 참돔 암컷과 감성돔 수컷 간 잡종에서의 잡종강세 도출 가능성을 타진하기 위한 기초 연구, 그리고 수산 생물학적 및 수산자원학적 차원에서 참돔과 감성돔의 계측형질·외형의 조사 및 관련 세포유전학적 연구(염색체 수 조사 및 핵형 분석, *Flowcytometry* 및 적혈구 핵 크기 조사)와 생식학적 조사를 실시하였다. 아울러 파악된 이러한 참돔 및 감성돔의 연구·조사 결과를 유도된 참돔(♀)×감성돔(♂) 잡종의 관련 연구 조사 항목과 비교 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 종간잡종(*interspecific hybrid*) 유도

2001년 5월 3일 국립수산물과학원 생명공학단 주관으로 참돔, *Pagrus major*와 감성돔, *Acanthopagrus schlegelii*간의 잡종을 유도하였다. 성숙한 참돔 암컷 10마리와 성숙한 감성돔 수컷 20마리를 대상으로 배란유도 호르몬제인 *ovaprim* (Argent, USA)을 참돔 암컷에는 600 IU/kg BW로, 감성돔 수컷에는 300 IU/kg BW로 각각 복강주사 하였다.

잡종 유도를 위하여 참돔 암컷과 감성돔 수컷의 비율을 2 : 1로 하여 수용하였으며, 참돔 암컷과 감성돔 수컷을 1 : 1의 비율로 각각 건식으로 인공수정시켰다. 각각의 친어로부터 종묘 생산된 참돔군과 감성돔군을 역시 설정하였다.

2. 사육 및 관리

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 각각을 대상으로 부화 후 2일째부터 30일까지 *Rotifer*를 공급하였으며, 부화 후 17일 부터는 250 μm 크기의 치어용 미립자 배합사료(오토히메, 일본)를 공급하였다. 이후, 자치어의 성장에 따라 적절한 크기의 배합사료(오토히메, 일본)를 공급하였다. 부화 자어에서부터 성장단계별로 밀도에 따라 선별을 통해 사육수조로 옮겨 주었으며, 부화 후 1개월이 지나면서 유수식으로 사육하였다. 사육 기간 동안 용존 산소는 5.0 ml/l 이상이 되게 유지하였고, pH는 7.6~8.2의 범위였으며, 염분은 32.1~33.3‰의 범위였고 자연 수온상태로 사육하였다.

2003년 2월에 사육중인 참돔군, 잡종군 및 감성돔군은 한국해양대학교 수산육종학연구소 임해양식장으로 이동하여 사육하였다. 본 실험에 사용된 참돔군, 잡종군 및 감성돔군은 모두 부화 후 약 1년에 해당하는 개체들이다.

3. 계측형질 측정 및 외형 조사

박 등. (1988)의 방법에 의거 22°C의 200 ppm 염산 리도카인/1,000 ppm 중탄산나트륨으로 참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 각 50마리를 마취시킨 후 Table 1과 Fig. 1에서와 같은 각 계측형질을 Vernier caliper로 mm 단위까지 측정하였다. 각 실험군의 외형을 사진 접사대를 사용하여 사진 촬영용 유리수조 내에서 충분한 광량 조건 하에서 사진 촬영하였다.

4. 염색체 수 조사 및 핵형 분석

염색체 수 조사 및 핵형 분석을 위하여 Park *et al.* (1999)의 방법에 의거하여 참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 각 20마리(암컷 10마리, 수컷 10마리)를 대상으로 신장 직접법을 사용하였으며, Slide glass 표본 제작은 공기건조법으로 하였다. 각 슬라이드 표본에서 최소 20개 이상의 선명한 중기 상을 대상으로 염색체 수 조사 및 핵형 분석을 실시하였으며, 선명한 염색체 중기 상을 생물현미경(Zeiss, Axioskop, Germany)으로 사진 촬영하였다. 핵형 분석은 Levan *et al.* (1964)의 방법을 기준으로 하였다.

5. Flowcytometry

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 Genome size를 측정하기 위하여 Flowcytometry를 수행하였다. 각 실험군으로부터의 10마리를 대상으로 계측형질 측정시 사용된 마취 방법과 동일한 방법으로 마취하였다. 혈액의 응고를 방지하기 위해 ACD Solution (0.48 g Citric acid, 1.32 g Trisodium citrate, 1.47 g Glucose /100 ml DW)으로 1 ml 1회용 주사기를 Coating 한 후, 1 ml 1회용 주사기로 어체의 미부 동맥에서 0.1~0.2 ml을 채혈하였다. 채혈한 혈액을 1 ml ACD Solution이 들어있는 Microtube에 한 두 방울 떨어뜨려 잘 섞은 뒤 냉장보관 하였다.

핵 내 DNA를 염색하기 위해 2 ml의 DAPI (Sigma, USA) 염색 시약이 담긴 Tube에 ACD Solution과 혼합된 혈액을 150 μ l 정도 첨가 혼합 후 암냉

Table 1. Dimensions of body shape measured in this study

<i>Dimensions</i>	<i>Abbreviations</i>
<i>Standard length</i>	LS
<i>Caudal peduncle height</i>	CH
<i>Caudal peduncle length</i>	CL
<i>Head width at the posterior margin of the eye</i>	HWPE
<i>Horizontal distance</i>	
<i>Anterior edge of the upper lip × Posterior margin of eye</i>	HALPE
<i>Anterior margin of eye × posterior margin of eye</i>	HAAPA
<i>Direct distance</i>	
<i>Anterior edge of the upper lip × Anterior insertion of the first dorsal fin</i>	DALAD
<i>Anterior edge of the upper lip × Margin of opercular cover</i>	DALO
<i>Anterior edge of the upper lip × Anterior insertion of the first ventral fin</i>	DALAV
<i>Anterior insertion of the first dorsal fin × Anterior insertion of the first ventral fin</i>	DADAV
<i>Anterior insertion of the first dorsal fin × Posterior insertion of the last dorsal fin</i>	DADPD
<i>Anterior insertion of the first dorsal fin × Posterior insertion of the anal fin</i>	DADPA
<i>Anterior insertion of the first ventral fin × Posterior insertion of the last dorsal fin</i>	DAVPD
<i>Anterior insertion of the first ventral fin × Anterior insertion of the first anal fin</i>	DAVAA
<i>Anterior insertion of the anal fin × Posterior insertion of the last dorsal fin</i>	DAAPD
<i>Anterior insertion of the anal fin × Posterior insertion of the anal fin</i>	DAAPA
<i>Base of pectoral fin × Posterior insertion of the last dorsal fin</i>	DPPD
<i>Base of pectoral fin × Anterior insertion of the first anal fin</i>	DPAA
<i>Posterior insertion of the dorsal fin × Posterior insertion of the anal fin</i>	DPAPA
<i>Body</i>	
<i>Depth at the anterior insertion of the anal fin</i>	BDAA
<i>Width at the anterior insertion of the dorsal fin</i>	BWAD
<i>Width at posterior insertion of the dorsal fin</i>	BWPD

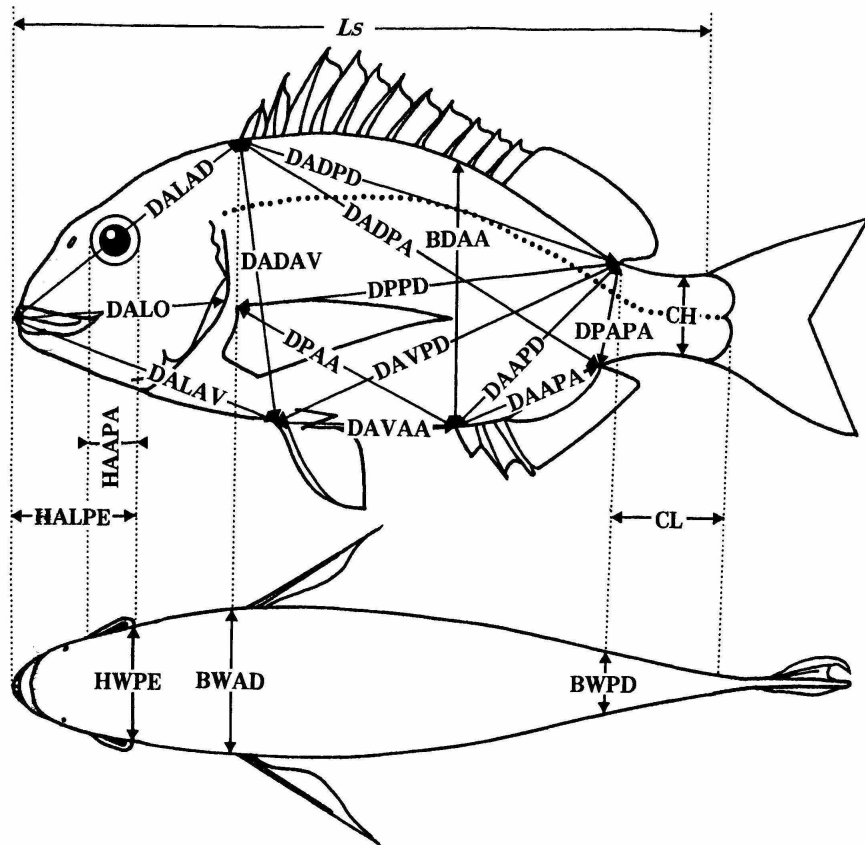


Fig. 1. Morphometric measurements of red seabream, black seabream and their hybrid measured in this study. For abbreviations see Table 1.

상태에 20분간 방치하였다. 염색이 끝난 혈구세포로 *Partec CCA Flowcytometer* (GmbH Otto-Hahn-Str. 32-D-48161 Münster, Germany)를 이용하여 각각의 참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 DNA 함량을 측정하였다. 이 때 Standard는 DNA 함량이 2.36 pg/nucleus로 이미 알려진 미꾸라지, *Misgurnus anguillicaudatus*의 혈액(김 등, 1993; 박, 1992)을 사용하여 상대적 DNA 함량을 측정하였다.

6. 적혈구 핵 크기 조사

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 적혈구 핵 크기 측정을 위하여 각 실험군으로부터의 10마리를 대상으로 계측형질 측정시 사용된 마취 방법과 동일한 방법으로 마취하였다. 1 ml 1회용 주사기를 사용하여 미병부위 미부정맥에서 채혈하였으며, 채혈된 혈액은 Slide glass에 도말하고 May-Grünwaldt Giemsa 용액으로 염색하였다.

적혈구 핵의 장축, 단축은 배율 1,000배의 생물현미경 하에서 집안 micrometer disc를 통하여 각 개체 당 120개 이상의 적혈구를 대상으로 측정하였다. 측정된 핵의 장축(a), 단축(b)을 기준으로 표면적(S)= $ab\pi/4$ (Sezaki and Kobayashi, 1978) 및 부피(V)= $4\pi(a/2)(b/2)^2/3$ (Lemoine and Smith, 1980)를 계산하였다.

7. 생식소의 조직학적 분석

잡종군의 생식력을 조사하고 이를, 참돔군과 감성돔군과의 생식력 비교를 위하여 각 군으로부터 생식소를 적출하여 10% 중성 포르말린에 고정하였다. 충분히 고정된 각 군의 생식소는 Bouin 용액에 재고정 하였다. 이후 통상의 Paraffin 조직절편법을 사용하여 6 μ m 두께로 절편 한 후 Hematoxylin 및 Eosin Y-phroxine B로 염색된 Slide 표본을 작성하여 검경하였으며, 생식소 조직상을 생물현미경(Zeiss, Axioskop, Germany)으로 사진 촬영하였다.

8. 통계분석

측정된 참돔, 잡종 및 감성돔의 계측형질은 체장에 대하여 *Arc sin squar root*로 각각 전환시킨 후, 여러 분석치에서의 유의성 검정을 위하여 *One-way ANOVA*와 *Duncan's multiple range test* (Duncan, 1955)로서 *SAS program* (Version 6.12), Nortcarolina, USA을 이용하여 유의성을 검정하였다.

*Flowcytometry*에 의한 참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 각 DNA 함량에서의 유의성 검정을 위하여 $P=0.0001$ 수준에서 *Duncan's multiple range test*후 *ANOVA*를 실시하였고, 아울러 참돔군, 잡종군, 감성돔군의 적혈구 핵 표면적 과 적혈구 핵 부피에서의 유의성 검정을 위하여 $P=0.05$ 수준에서 *Duncan's multiple range test*를 실시하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 계측형질 및 외형

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 계측형질 결과는 Table 2와 같다($P=0.05$). HALPE, HAAPA, DADPA, DPPD, CH 및 BWPD의 계측형질에서는 참돔군과 감성돔군은 서로 유사하였다. DALAD, DADPD, DAVPD, BDAA, DAAPD, DAAPA, DPAPA 및 CL의 계측형질에서는 참돔군이 감성돔군에 비하여 컸다. DALO, DALAV, DADPD, DPAA, DAVAA, HWPE 및 BWAD의 계측형질에서는 감성돔군이 참돔군에 비하여 컸다. 참돔군, 감성돔군 및 잡종군은 계측형질 HAAPA와 CH에서는 차이를 보이지 않았다. DADAV 계측형질에서 감성돔군은 참돔군과 잡종군의 중간을 보였다.

계측형질 DALAV 및 DAAPA 에서 잡종군은 참돔군과 감성돔군의 중간을 나타내었다. 잡종군의 계측형질은 HALPE, DADPA, DPPD 및 BWPD에서는 참돔군과 감성돔군에 비하여 컸으며 계측형질 DAVPD, BDAA 및 DPAPA에서는 참돔군과 감성돔군에 비해 작았다. DALO, DPAA 및 CL에서는 참돔군과 유사하였고, DALAD, DADPD, DAVAA, DAAPD, HWPE 및 BWAD에서는 감성돔군과 유사하였다.

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 외형은 Fig. 2에 나타났다. 참돔의 몸은 적갈색 바탕에 배는 은백색을 띠며 눈 위와 몸 상반부에 금속성 광택을 내는 파란색 반점들이 불규칙하게 나타나고, 꼬리지느러미 후연이 검은색을 나타내며 배지느러미 기연부에 에메랄드 빛 백색선이 특징으로 나타난다. 감성돔의 몸은 금속성의 은청색 바탕에 윤곽이 뚜렷하지 않은 암회색 가로줄 무늬가 머리부터 미병부까지 여러개 나타난다.

잡종은 계측형질에서 파악된 모든 결과를 외형적으로 반영하였으며 몸통에 감성돔의 암회색 줄무늬를 가지는 특징으로 체색, 암회색 가로줄 및 측선의 형태 등 여러가지 외형에서 잡종 유도 시 사용된 암컷 참돔과 수컷 감성돔의 종 자체 외형들의 중간을 보이고 있으나, 일부 외형 특징에서는 잡종 유도 시 사용된 참돔 혹은 감성돔의 외형 특징을 닮았다.

Table 2. Morphometric dimension of red seabream, black seabream and their hybrid

Morphometric dimension	Red seabream (%)	Hybrid (%)	Black seabream (%)
HALPE/LS	10.08±0.88 ^a	9.27±1.03 ^b	9.73±1.25 ^a
HAAPA/LS	8.26±0.56 ^a	8.16±0.68 ^a	8.10±0.61 ^a
DALAD/LS	41.11±1.79 ^a	39.68±1.86 ^b	39.42±5.24 ^b
DALO/LS	29.41±0.99 ^a	29.14±1.48 ^a	30.86±2.31 ^b
DALAV/LS	35.84±1.22 ^a	37.83±2.08 ^c	41.05±3.31 ^b
DADAV/LS	39.79±2.71 ^a	38.41±2.20 ^b	38.98±2.96 ^{ab}
DADPD/LS	52.10±1.10 ^a	49.43±2.84 ^b	50.53±4.56 ^b
DADPA/LS	59.06±1.81 ^a	57.90±1.63 ^b	59.35±3.80 ^a
DPPD/LS	53.90±0.80 ^a	49.69±2.06 ^b	52.37±6.91 ^a
DPAA/LS	39.54±1.71 ^a	40.49±2.30 ^b	43.30±7.19 ^b
DAVPD/LS	54.17±0.97 ^a	49.99±1.72 ^c	51.40±4.66 ^b
DAVAA/LS	31.28±1.53 ^a	33.29±1.80 ^b	33.19±3.02 ^b
BDAA/LS	35.78±1.58 ^a	32.27±1.30 ^c	33.50±2.68 ^b
DAAPD/LS	31.51±1.34 ^a	28.50±1.93 ^b	29.09±2.08 ^b
DAAPA/LS	17.17±0.80 ^a	16.19±3.36 ^c	14.73±1.26 ^b
DPAPA/LS	18.96±0.94 ^a	16.61±1.29 ^c	17.13±1.47 ^b
CH/LS	10.68±0.52 ^a	10.78±1.21 ^a	11.10±1.41 ^a
CL/LS	21.76±0.57 ^a	21.36±1.99 ^a	16.14±2.71 ^b
HWPE/LS	13.44±1.35 ^a	13.76±1.00 ^b	15.95±0.89 ^b
BWAD/LS	16.04±1.69 ^a	16.08±1.22 ^b	17.45±0.95 ^b
BWPD/LS	7.56±1.55 ^a	7.07±1.30 ^b	7.43±0.30 ^a

*Dimensions abbreviation are presentated in Table 1. Data were analysed using Duncan's multiple range test on data transformed to arcsine of square root. Mean values in each row having same superscript were not significantly different($P>0.05$).

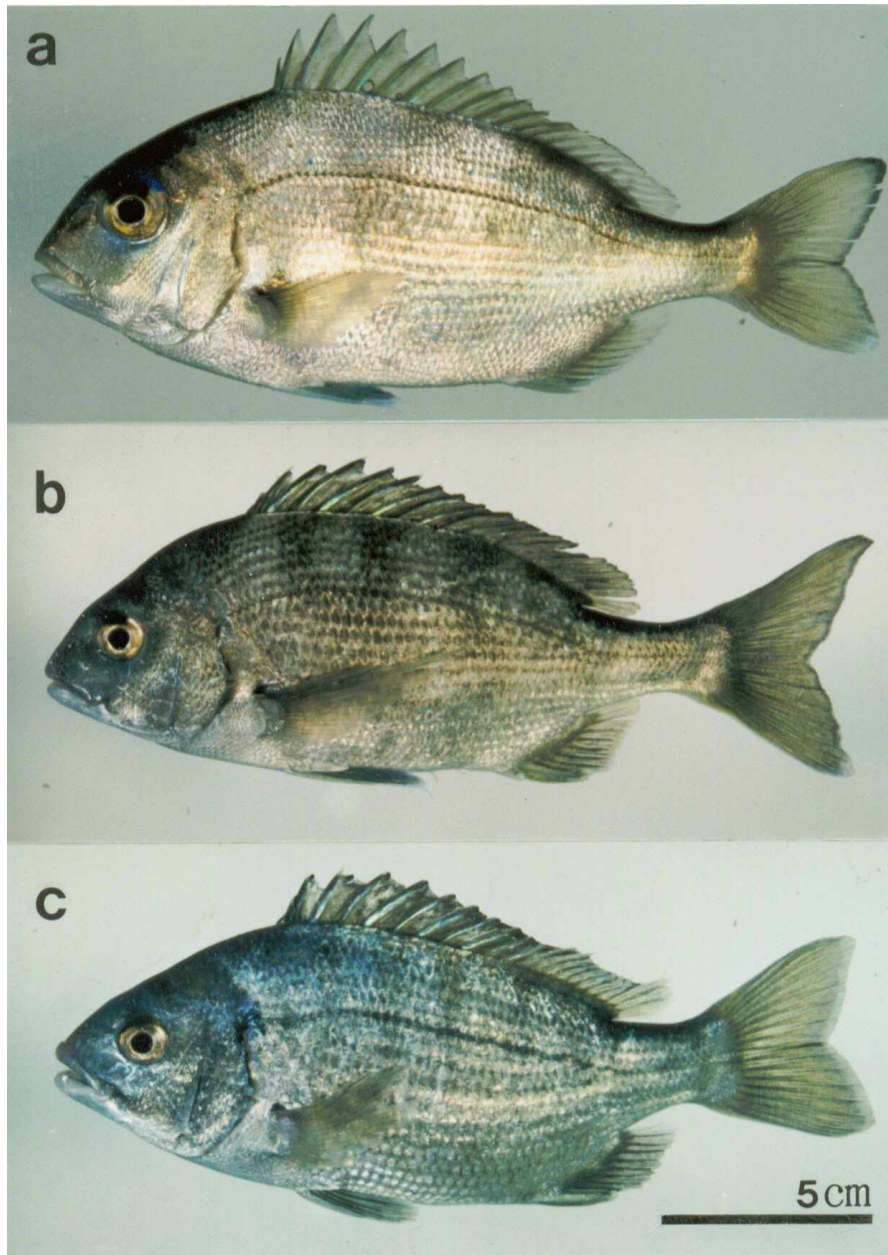


Fig. 2. External morphology of (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid.

2. 염색체 수 및 핵형

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 염색체 수 조사 및 핵형 분석의 결과는 Fig. 3과 같다. 참돔군, 잡종군 및 감성돔군에서는 어떠한 염색체 *Polymorphism*도 나타나지 않았으며 각 군에서 염색체 성적 이형은 없었다. Fig. 3-a와 같이 참돔의 염색체 수(% 빈도)는 $2n=46(1\%), 47(3\%), 48(87\%), 49(5\%), 50(2\%), 51(1\%)$ 로 $2n=48$ 이었다. 핵형은 모두 *Telocentric chromosome* 으로 구성되어 NF는 58이었다. 특히, 1쌍의 염색체에는 *Satellite*가 존재하였다.

Fig. 3-c에 나타난 바와 같이 감성돔의 염색체 수(% 빈도)는 $2n=45(1\%), 46(2\%), 47(4\%), 48(90\%), 49(2\%), 50(1\%)$ 로 $2n=48$ 이었다. 핵형은 *Submetacentric chromosome* 5쌍, 그리고 19쌍의 *Telocentric chromosome*으로 구성되었다.

Fig. 3-b에 나타난 바와 같이 잡종의 염색체 수(% 빈도)는 $2n=45(1\%), 46(1\%), 47(2\%), 48(93\%), 49(2\%), 50(1\%)$ 로 $2n=48$ 으로서 모계인 참돔의 반수체 염색체와 부계인 감성돔의 반수체 염색체로 구성되어 5개의 *Submetacentric chromosome*, 그리고 43개의 *Telocentric chromosome*으로 구성되었다. 잡종의 NF는 53으로 나타났다. 잡종 역시 모계인 참돔으로부터 기인된 *Satellite*가 존재하는 *Telocentric chromosome*이 1개 존재하였다(Fig. 3-b, *Arrows*).

3. Flowcytometry

Flowcytometry에 의한 참돔군, 잡종군 및 감성돔군에서의 세포 당 DNA 함량 분석 결과, 참돔군의 DNA 함량은 1.40 ± 0.04 pg/nucleus, 감성돔군의 DNA 함량은 1.03 ± 0.02 pg/nucleus 이었다(Table 3). Table 3에서와 같이 잡종군의 DNA 함량은 1.22 ± 0.01 pg/nucleus로 참돔군과 감성돔군의 중간을 보였다 ($P<0.0001$).

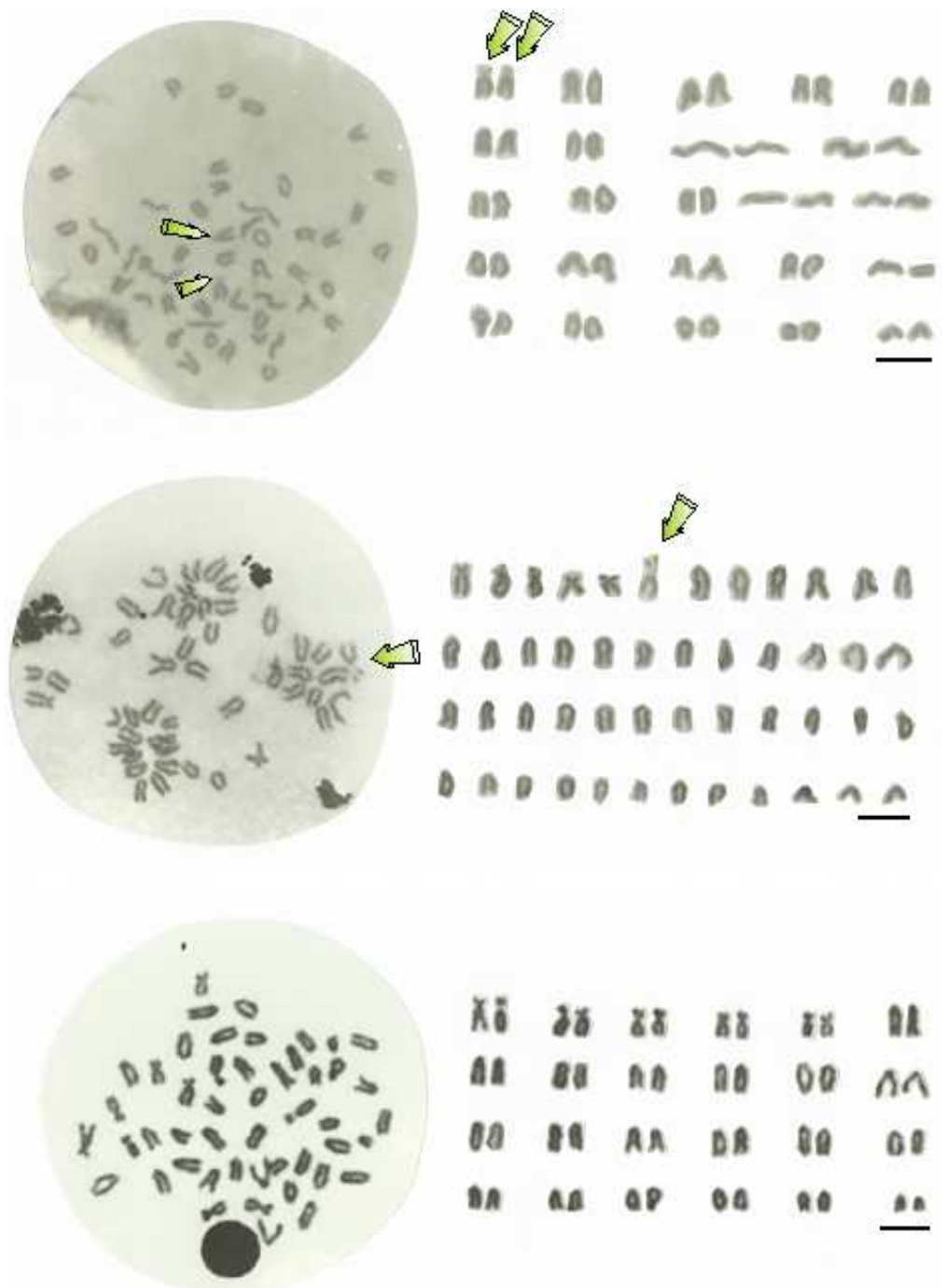


Fig. 3. Metaphases and idiograms of (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid. Arrows indicate satellited telocentrics. Bars are 10 μm .

Table 3. Nuclear DNA content of red seabream, black seabream and their hybrid (means±SE, n=10)

<i>Species</i>	DNA Content (pg/nucleus) [*]
Red seabream	1.40±0.04 ^a
Hybrid	1.22±0.01 ^c
Black seabream	1.03±0.02 ^b
Cyprinid loach standard ^{**}	2.36±0.05

^{*}Values in different letters superscript in a same column are significantly different (P<0.0001).

^{**} *Misgurnus anguillicaudatus* (from Park, 1992 and Kim *et al.*, 1993).

4. 적혈구 핵 크기

참돔군, 잡종군 및 감성돔군의 적혈구 외형은 Fig. 4와 같다. Table 4에서 나타난 바와 같이 참돔군의 적혈구 핵의 장·단축은 각각 $4.18 \pm 0.14 \mu\text{m}$, $3.01 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 로 표면적과 부피는 각각 $9.87 \pm 0.39 \mu\text{m}^2$, $19.80 \pm 0.87 \mu\text{m}^3$ 이었다. 감성돔군 적혈구 핵의 장·단축은 각각 $3.52 \pm 0.08 \mu\text{m}$, $2.61 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 로 표면적과 부피는 각각 $7.20 \pm 0.28 \mu\text{m}^2$, $12.52 \pm 0.62 \mu\text{m}^3$ 이었다.

잡종군 적혈구 핵의 장·단축은 각각 $3.80 \pm 0.10 \mu\text{m}$, $2.83 \pm 0.08 \mu\text{m}$ 로 표면적과 부피는 각각 $8.46 \pm 0.41 \mu\text{m}^2$, $16.00 \pm 0.54 \mu\text{m}^3$ 로 참돔군 및 감성돔군의 표면적과 부피와 비교 시 중간치를 보였다($P < 0.05$)(Table 4와 Fig. 4).

5. 생식소

부화 후 약 1년의 참돔군, 잡종군 및 감성돔군을 대상으로 2003년 4월에 이들의 생식소를 조직학적으로 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 참돔군 및 감성돔군은 각각의 암·수 모두에서 정상적인 생식소 발달 과정을 보였다. Fig. 5-a는 참돔군 난소의 조직상으로 주변인기(*Perinucleus*)단계와 다양한 생식소 발달 단계인 *Oocyte*가 존재하였으며, Fig. 5-c 에서와 같이 감성돔군 정소 조직에는 *Spermatocyte*와 *Spermatid*가 존재하였다. 참돔군과 감성돔군과는 동일 연령인 잡종군의 생식소는 암·수 모두에서 간충조직(*Mesenchymal tissue*)만 존재하고 강소들만으로 구성되어 생식소 발달이 이루어지지 않았다(Fig. 5-b).

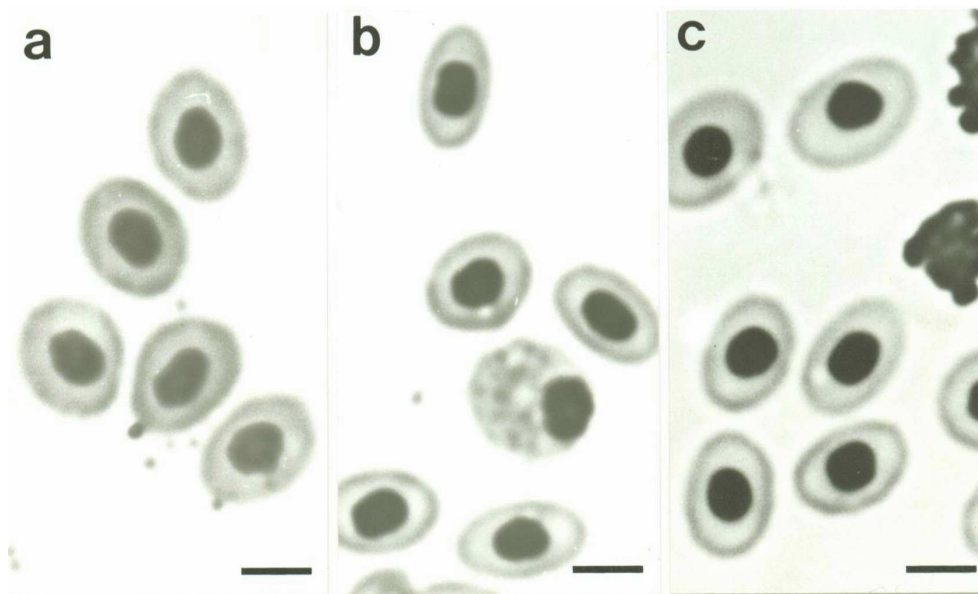


Fig. 4. *Microphotographs of erythrocyte in (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid. Bars are 5 μ m.*

Table 4. Comparison of erythrocyte nucleus size measured from red seabream, black seabream and their hybrid* (means±SD)

	Red seabream	Hybrid	Black seabream
Major axis (μm)	4.18±0.14	3.80±0.10	3.52±0.08
Minor axis (μm)	3.01±0.02	2.83±0.08	2.61±0.06
Surface area (μm^2)	9.87±0.39 ^a	8.46±0.41 ^{ab}	7.20±0.28 ^b
Volume (μm^3)	19.80±0.87 ^a	16.00±0.54 ^{ab}	12.52±0.62 ^b

* Means with different superscript letter in a same row are significantly different ($P < 0.05$).

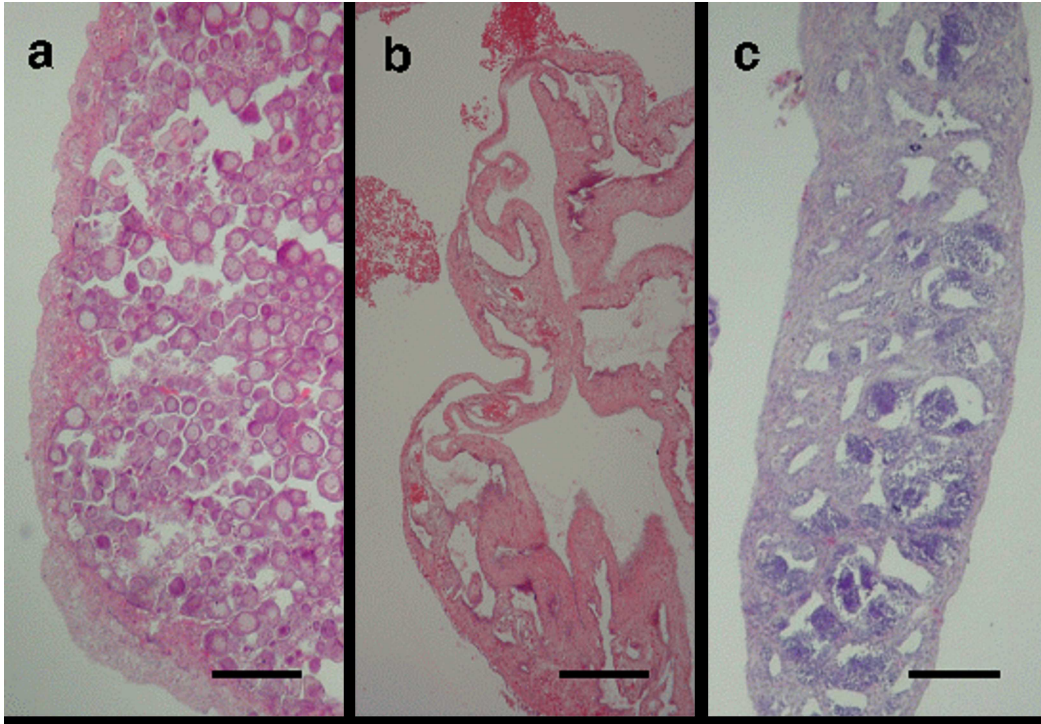


Fig. 5. Microphotographs of gonad in (a) red seabream, (c) black seabream and (b) their hybrid. Bars are 10 μ m.

IV. 고 찰

유전적으로 상이한 종의 정자로 난과의 인공수정에 의한 중간 잡종의 유도는, 중간 잡종 유도 시 사용된 두 양친의 유전자형과 표현형의 조합을 이룰 수 있다(Chevassus, 1983). 이와 더불어 유도된 중간 잡종은 상이한 종에서 유래된 2개의 반수체 염색체조의 조합 시 유전적 상반성에 기인되어, 불임성을 나타낼 수 있다(Tave, 1993, Hulata, 1995).

본 연구 결과, 유도된 종은 여타 종에서도 보고된 바와 같이(Chevassus, 1983), 잡종 유도 시 사용된 모계와 부계의 중간 계측 형질치를 보였다. 반면 잡종군은 계측 형질 DALO, DPAA 및 CL에서는 모계보다는 부계의 계측형질과 유사 하였는바, 이와같은 경향은 *Channel catfish, Ictalurus punctatus* (Rafinesque) × *Blue catfish, Ictalurus furcatus* (Lesueur) 잡종(Dunham et al., 1982)과 *Yellowtail flounder, Pleuronectes ferrugineus* (Storer) × *Winter flounder, Pleuronectes americanus* (Walbaum) 잡종(Park et al., 2003)에서 나타난 바 있다.

이와는 상반되게, 잡종군은 계측형질 DALAD, DADPD, DAVAA, DAAPD, HWPE 및 BWAD에서는 모계보다는 부계의 계측형질과 유사한 바, 이와같은 경향은 *Catla catla* (Hamilton) × *Labea rohita* (Hamilton) 잡종(Bhowmick et al., 1981), *Poecilia shenops* (Cuvier and Valenciennes) × *Poecilia velifera* (Regan) 잡종(George and Pandian, 1997) 및 *Yellowtail flounder* × *Winter flounder* 잡종(Park et al., 2003)에서 나타난 바 있다.

Yellowtail flounder × *Winter flounder* 잡종의 체장에 대한 체고비인 경우 잡종군은 잡종 유도 사용된 모계와 부계에 비해 크게 나타났으며(Park et al., 2003), 본 연구 결과에서도 이러한 경향은 계측형질 HALPE, DPDD 및 BWPD에서 나타나고 있다. 특히, 본 연구에서는 잡종군의 계측형질 DAVPD, BDAA 및 DPAPA인 경우 잡종 유도 시 사용된 모계와 부계에 비해 작았다.

차후 본 연구 결과 파악된 참돔군, 감성돔군 및 잡종군에서의 계측형질에 대한 양식산업적 경제성 평가가 이루어질 경우, 유도 잡종에서의 계측형질 측면에서의 잡종강세 효과가 나타나리라 사료된다.

어류의 세포유전학적 연구에 의한 종의 동정 및 확인은 수산자원학적 측면뿐만 아니라 수산유전육종학적 기법에 의한 우량 품종 개발을 위한 기초 자료를 얻는데에 매우 중요하다(Park *et al.*, 1999). 잡종의 일반적인 세포유전학적 특징은 핵형 분석이나 DNA 함량 측정시 잡종 유도에 사용된 양친의 중간치를 나타낸다(Park *et al.*, 2003). 염색체 수 및 핵형은 종에 따라 고유한 수와 형태를 가지고 있어, 세포유전학적 분석을 통한 종의 분석에 매우 유용한 자료로 이용되고 있다(Gold, 1979).

참돔의 염색체 수는 $2n=48$ 로 보고된 바 있으며(Nishikawa and Karasawa, 1972; 박 등, 1994), 그 핵형은 2개의 *Submetacentric chromosome* 혹은 *Subtelocentric chromosome*과 46개의 *Acrocentric chromosome* 혹은 *Telocentric chromosome*으로 이루어 졌거나(Nishikawa and Karasawa, 1972), 2개의 *Acrocentric chromosome* 과 46개의 *Telocentric chromosome*으로 이루어졌다고 보고된 바 있다(박 등, 1994). 본 연구 결과 참돔의 염색체 수는 역시 $2n=48$ 이었으나 그 핵형에서 *Satellite*가 존재하는 1쌍의 *Telocentric chromosome*은 Nishikawa and Karasawa (1972)의 참돔 핵형 중 2개의 *Submetacentric chromosome* 존재와는 차이를 보이고 있다. 본 연구 결과의 참돔에서의 *Satellite*가 존재하는 1쌍의 *Telocentric chromosome*은 참돔 염색체가 모두 *Telocentric chromosome*으로 구성된 점을 고려 시, 참돔을 모계로 사용한 유도 잡종의 모계 기원을 명확히 알 수 있는 방편(*marker*)로 사용될 수 있으리라 사료된다.

감성돔의 염색체 수는 참돔의 염색체 수와 마찬가지로 $2n=48$ 이었으나 *Submetacentric chromosome* 5쌍 및 19쌍의 *Telocentric chromosome*으로 이루어졌다. 감성돔이 참돔에 비해서 *Submetacentric chromosome*이 있어 다양한

핵형 구성을 보이며, 이러한 다양한 *Submetacentric chromosome*들은 참돔에서의 *Satellite*인 경우와 마찬가지로 감성돔을 부계로 사용한 유도 잡종의 부계 기원을 명확히 알 수 있는 방편(*Marker*)으로 사료된다. Kim *et al.* (1995), 박 등(1997) 및 Park *et al.* (2003)의 중간잡종에서의 염색체 수 및 핵형 조사결과와 유사하게, 본 연구 결과의 잡종은 염색체 수나 핵형 및 *Fundamental number*에 있어 잡종유도시 사용된 참돔과 감성돔의 각 반수체의 조합으로 이루어졌다.

*Genome size*는 종에 따라 고유하며, 어류에서는 포유류와는 달리 *Genome size*가 종에 따라 매우 심한 차이를 나타내고 있어서, 어류 *Genome size*의 파악은 어류에서의 진화 정도와 그 유연 관계를 규명하는데 중요한 역할을 한다 (Pedersen, 1971). 이러한 *Genome size*의 *Flowcytometry*에 의한 측정은 염색체 수 및 핵형 분석이 세포주기의 일정 기간에 국한되는데 반해, *Flowcytometry*로의 직접적인 *Genome size* 측정은 각 생물의 고유한 일정 유전물질을 단시간내 다량의 세포핵에서 정확하게 분석 가능한 장점이 있다 (Lovett *et al.*, 1980 ; Park *et al.*, 1999).

Flowcytometry 결과 잡종 유도 시 사용된 두 양친은 서로 상이한 *Genome size*를 가졌으며 잡종은 이들 두 양친의 중간치 *Genome size*인 1.22 *pg/nucleus*를 보였다. 본 연구에서의 유도 잡종에 관한 세포유전학적 분석 결과는, Park *et al.* (2003)이 *Yellowtail flounder* × *Winter flounder* 잡종을 대상으로 보고한 바와같이 자연발생적인 자성발생(*Gynogenesis*)이나 용성발생(*Androgenesis*)이 아니라 참돔의 난과 감성돔의 정자와의 직접 수정에 의한 잡종발생(*Hybridogenesis*)에 의해 잡종이 형성되었음을 시사한다. 연어과 어류의 잡종인 경우 DNA 함량과 염색체 완(*Arm*)수의 변화 없이 2차적인 변화 즉, *Centric fusion* 및 *Pericentric inversion* 등으로 염색체 수만 변화되므로 잡종화가 가능한 경우까지도 있음을 고려(Rees, 1967; Svärdsön, 1945), 차후 본 연구 결과 유도된 잡종을 대상으로 한 염색체 *Banding*법으로의 더욱 세밀

한 염색체 분석이 필요하리라 사료된다.

염색체 수 조사 및 핵형 분석, Flowcytometry 결과와 마찬가지로 적혈구 핵 크기에 있어서는 잡종은 잡종 유도에 사용된 참돔과 감성돔의 중간치를 나타내었다. 잡종의 적혈구 핵 크기에서 잡종 유도에 사용된 친어 종들의 중간치를 보인 결과는, 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* × 은연어, *O. kisutch* 잡종(박 등, 1996), 무지개송어 × 산천어 *O. masou* 잡종(박 등, 1997) 및 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis* × 미꾸리, *M. anguillicaudatus* 잡종(박과 김, 2000)에서도 나타난 바 있다. 잡종의 파악 시 이와 같은 적혈구 핵 크기 조사 방법은 간편한 채혈후의 적혈구 핵 크기 조사만으로 용이하다는 장점은 있으나, 표본 제작시의 오차로 인하여 유사한 크기의 적혈구 핵에서는 명확한 잡종의 판별이 불가능하여 그 정확성에 있어 한계성이 있으므로(박, 1994) 여타 세포유전학적 기법들이 병행되어야 할 것으로 사료된다.

본 연구 결과 부화 후 약 1년의 유도 잡종은 비정상 발생과 형태를 보이는 생식소를 보임으로서 불임으로 파악된다. 이와 같은 잡종에서의 불임 현상은 감수분열(*Meiosis*)시의 유전적 상반성에 기인된 것으로서 여타 종간 잡종에서도 보고되고 있다(Chevassus, 1983; Park et al., 2003). Smooth flounder, *Liopsetta punctnami* (Gill) × Winter flounder 2년생 잡종(Hoornbeek et al., 1948)와 yellowtail flounder × Winter flounder 18개월 잡종(Park et al., 2003)에서는 생식소의 미성숙과 미발달을 본 연구 결과와 유사한 결과를 보이고 있다.

비록 본 연구에서는 부화 후 약 1년인 유도 잡종의 생식력을 조사하였는 바, 어류 불임에는 여러 단계가 있음을 고려(박, 1992) 더욱 명확한 불임성 정도를 파악하기 위하여서는 잡종 유도에 사용된 친어들의 산란시기에 해당하는 시기에 산란유도 Hormone 처리를 하여 그 생식력 정도를 파악할 필요가 있으며, 유도 잡종간의 교배에 의한 후대 생산 여부 파악 또한 필요하리라 사료된다(Park et al., 2003). 만약 본 연구 결과의 유도 잡종이 암·수에서 생식소

수준의 불임(*Gonadic sterility*)과 같은 완벽한 불임을 나타낸다면, 이러한 불임성은 유도 잡종의 자연에로의 방출 시 이들의 생식에 따른 자연 생태계 교란 및 파괴를 방지할 수 있는 방안이 될 것이다(*Park et al., 2003*).

비록 본 연구에서는 참돔(♀) × 감성돔(♂)에만 국한시켜 교배(*Cross*)가 되었지만 차후, 이들의 상반교배(*Reciprocal cross*)인 감성돔(♀) × 참돔(♂)가 이루어진다면, 이들 유도된 잡종들을 대상으로하여 본 연구에서의 연구 항목들을 파악 후 본 연구 결과와 비교 조사함도 필요하리라 사료된다. 본 연구에 사용된 효과적인 여러 가지 잡종 파악 기법들은 앞으로 여타 잡종의 분석에 사용될 수 있을 것이며, 본 연구 결과 도출된 잡종이 상업적으로 사용될 수 있다면 온도저항성, 어병 저항성, 성장률, 사료전환효율 및 육질 등의 산업적 형질들을 포함한 잡종강세에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다. 아울러 이러한 산업적 형질이 현재의 참돔과 감성돔의 양식산업에서의 제반 문제 해결을 위한 방안이 되어야 할 것이며, 유도 잡종의 산업적 양식이 현재의 참돔과 감성돔 양식 산업에 비해 경제성 측면에서 비교 우위를 점할 수 있어야 할 것으로 사료된다.

V. 국 문 요 약

참돔, *Pagrus major*과 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli* 간의 종간 잡종을 참돔의 난과 감성돔 정자의 인공수정에 의해 유도하였다. 계측형질에 의한 형태 비교시 잡종은 모계 종과 부계 종의 중간 형태를 보였다. 전반적으로 잡종의 세포유전학적 특징(염색체 수 및 핵형 분석, Flowcytometry에 의한 세포 DNA 함량과 적혈구의 핵 크기 평가)은 양친의 중간을 나타내었다. 잡종의 핵형은 각 양친의 반수체 염색체조로 구성되었다. 종간 잡종 성체 생식소의 조직학적 분석시 비정상적이고 미성숙 생식 상태였다. 잡종의 양식산업적 가치와 잡종의 불임은 잡종의 수계로의 방출시 이들의 생식에 따른 생태계 파괴를 방지하는 차원에서 큰 의의가 있을 것이다.

VI. 감사의 글

태풍 매미와 함께 수산유전육종학 연구실의 많은 것들이 우리 곁을 떠났지만 함께 한 많은 시간들은 늘 우리 기억 속에 함께 하리라 믿습니다. 아득하게만 느껴지던 학위과정이 벌써 마치게 되었으나 어느 역할 하나 완벽하게 하지 못하고 늘 바빠 허둥거리, 주변의 모든 이들에게 너무 미안하고 송구한 마음뿐입니다. 한 인간으로서 또 다른 세계를 경험할 수 있는 소중한 기회를 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 올립니다.

본 논문이 완성되기까지 부족함이 많은 저에게 정열과 성의로 지도와 격려를 주신 지도교수 박인석 교수님께 깊은 존경과 감사를 드립니다. 그리고 논문을 심사하여 주시고 조언을 아끼지 않으신 노 일 교수님, 조성환 교수님 대학원 과정동안 학문의 길을, 인도 해주신 강효진 교수님, 서영완 교수님, *Kartavtseva Yuri* 교수님께도 존경과 감사를 드립니다.

실험과정 중 많은 분들로부터 받은 도움에 깊이 감사드립니다. 염색체 실험시 자상하게 이끌어주신 *Kartavtseva Irina Vasiljevna* 박사님, 자상하게 가르쳐주신 허준욱 박사님, 바쁜 와중에도 늘 밝게 웃으며 너무 많이 도와주신 수산유전육종학 연구실의 조진희 선생님께 깊은 감사를 드립니다. 그 외 연구실 원님들께도, 그 동안 많은 도움을 주셔서 역시 감사의 말을 드립니다.

다대중학교 이조웅 교장선생님. 주봉준 전(前)교감선생님, 김춘자 교감선생님, 진연호 교무부장선생님, 김선봉 과학부장선생님, 시간표 바꾸어 주신 허소정선생님, 부담임이신 차현령 선생님, 선배 및 동료 후배 선생님들, 그리고 인숙, 금자, 미영, 은영, 영옥, 정미, 정옥, 희애, 혜영 등 나의 소중한 벗들에게도 감사를 드립니다.

또 나의 소중한 가족들 아버님, 아주버님, 하나뿐인 점덕형님 그리고 딸, 며느리, 아내, 엄마로서 너무 부족함이 많은 것을 다 채워주신 나의 사랑하는 가족, 물심양면 늘 든든한 버팀목이 되어주는 나의 반쪽 송중배 선생님, 벌써

엄마를 챙겨주는 믿음직한 아들 우술이, 실험 할 때 논문 쓸 때 늘 엄마와 함께 한 야무진 딸 지은이 그리고 격려해주시고 도와주신 많은 모든 분들께 머리 숙여 깊은 감사를 드립니다. 늘 바쁘기만 하여 제몫을 다 못하는 딸 때문에 고생하시는 친정어머님, 지금은 와병 중이시나 누구보다 많이 축하해 주실 시어머님, 두 어머님께 이 논문을 바칩니다.

VII. 참고 문헌

- Bhowmick, R.M., R.K. Jana, S.D. Gupta, G.V. Kowtal and M. Rout, 1981. Studies on some aspects of biology and morphometry of the interspecific hybrid, *Catla catla* (Hamilton) × *Labeo rohita* (Hamilton) produced by hypophysation. *Aquaculture*, **23**: 367-371.
- Chevassus, B., 1983. Hybridization in fish. *Aquaculture*, **33**: 245-262.
- Chevassus, B., R. Guyomard, D. Chourrout and E. Quillet, 1983. Production of viable hybrids in salmonids by triploidization. *Genet. Sel. Evol.*, **15**: 519-532.
- Dunham R.A., R.O. Smitherman, M.J. Brooks, M. Benchakan and J.A. Chappell, 1982. Paternal predominance in reciprocal channel-blue hybrid catfish. *Aquaculture*, **29**: 389-396.
- George T and T.J. Pandian, 1997. Interspecific hybridization in poeciliids. *Indian J. Exp. Biol.*, **35**: 628-637.
- Glod, J.R., 1979. Cytogenetics. p. 353-405. In: W.S. Hoar et al., *Fish Physiology*, Vol. 8., Academic Press, London.
- Hoornbeek, F.K., G.K. MacPhee, L. Moroz and G. Seidel, 1984. Experimental hybridization between the smooth flounder (*Liopsetta putnami*) and winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *Genetics*, **107**: 84.

- Hulata G., 1995. A review of genetic improvement of the common carp (*Cyprinus carpio* L.) and other cyprinids by crossbreeding, hybridization and selection. *Aquaculture*, **129**: 143-157.
- 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., 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.
- Lemoine, H.L. and L.T. Smith, 1980. Polyploidy induced in brook trout by cold shock. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, **109**: 626-631.
- Levan, A., K. Fredga and A.A. Sandberg, 1964. Nomenclature for centromeric position of chromosomes. *Hereditas*, **52**: 201-220.
- Lovett III, E.J., B. Schnitzer, D.F. Keren, A. Flint, J.L. Hudson and K.D. McClatchey, 1980. Application of flowcytometry to diagnostic pathology. *Lab. Invest.*, **50**: 115-140.
- Moav. R., 1979. Genetic improvement in aquaculture industry. In T.V.R Pillay and W.A. Dill eds., *Advances in Aquaculture*, Fishing News Books Ltd., Farnham, Surrey, 653 pp.

- Nichikawa, S. and T. Karasawa, 1972. A comparative study of the chromosomes in Japanese fishes - I. a study of the somatic chromosomes of three species of scups. *Bull. Shimonoseki Univ. Fish.*, **65**: 101-106.
- Park, I.-S., C.-H. Kim and D.S. Kim, 1999. Karyotypes and cellular DNA contents of two species in the genus, *Lateolabrax* from Korea. *Fish. Sci.*, **65**: 488-489.
- Park, I.-S., Y.K. Nam, S.E. Douglas, S.C. Johnson and D.S. Kim, 2003. Genetic characterization, morphometrics and gonad development of yellowtail flounder, *Pleuronectes ferrugineus* (Storer) and winter flounder, *Pleuronectes americanus* (Walbaum). *Aquacult. Res.*, **34**: 389-396.
- Pedersen, R.A., 1971. DNA content, ribosomal gene multiplicity, and cell size in fish. *J. Exp. Zool.*, **177**: 65-78.
- Rees, H., 1967. The chromosomes of *Salmo salar*. *Chromosoma*, **21**: 472-474.
- 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.
- Svårdson, G., 1945. Chromosome studies on Salmonidae. Rep. Swed. state Inst. Freshwater Fish. Res., **23**: 151 pp.

Tave. D., 1993. *Genetics for Fish Hatchery Manager*. 2nd edn. Van Nostrand Reinhold. New York.

김동수 · 노충환 · 남윤권, 1993. 4배체 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)의 유도. 한국양식학회지, **6**: 55-62.

박인석, 1992. 미꾸리와 미꾸라지의 잡종 및 잡종3배체에 관한 연구. 부산수산대학교 박사학위 청구논문. pp. 85.

박인석, 1994. 잡종화기법을 이용한 어류의 유전육종. 군산대학교 해양개발연구소 소보, **7**: 47-68.

박인석 · 김동수, 2000. 미꾸라지, *Misgurnus mizolepis*와 미꾸리, *M. anguillicaudatus*간 잡종 및 잡종 3배체 일부 조직에서의 세포 및 핵 크기. 발생과 생식, **4**: 19-28.

박인석 · 김병기 · 김종만 · 최경철 · 김동수, 1996. 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)와 은연어(*O. kisutch*)간의 잡종 및 잡종 3배체 생산. 한국양식학회지, **9**: 133-140.

박인석 · 김종만 · 김연환 · 김동수, 1988. 해산어류에 대한 리도카인의 마취효과. 한국어병학회지, **1**: 123-130.

박인석 · 김치홍 · 최경철 · 김동수, 1997. 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss*와 산천어, *O. masou*간의 잡종 및 잡종 3배체 생산. I. 세포유전학적연구. 한국양식학회지, **10**: 39-47.

박인석 · 김형배 · 손진기 · 김동수, 1994. 3배체 참돔(*Pagrus major*)의 생산. 한국어류학회지, 6: 71-78.

최윤 · 김지현 · 박종영, 2002. 한국의 바닷물고기. 교학사, 서울, 645 pp.