

# Induction of Physiological Sex-Reversal and Gynogenetic Diploid in Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*

Cheul Ho Lee, Dae-Jung Kim<sup>1\*</sup>, Chang Hwa Jeong<sup>2</sup>, Gyeong Cheol Choi<sup>3</sup>, Chae Sung Lee and Dong Soo Kim<sup>4</sup>

Cold-Water Fish Research Center, National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI), Gangwon-do 215-821, Korea

<sup>1</sup>Inland Aquaculture Research Center, NFRDI, Kyeongsangnam-do, Changwon 645-806, Korea

<sup>2</sup>Binex, Inc. Busan 608-807, Korea

<sup>3</sup>Chungcheongbuk-do Inland Fisheries Research Institute, Chungcheongbuk-do 380-250, Korea

<sup>4</sup>Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Received August 6, 2010 / Accepted October 27, 2010

This study was conducted to increase the efficiency of farming practice in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, by sex reversal and chromosome-set manipulation techniques. To obtain phenotypic males, hormonal sex reversal was carried out using an exogenous hormone treatment method. 5 mg of 17 alpha-methyltestosterone per kg diet was supplied for 82 days after first feeding at 10°C and 13°C. More than 93% of the male population was produced by this method and growth of hormone-treated fish at 13°C was faster than that of untreated bi-sexual groups. Induced diploid gynogenesis was carried out using artificial insemination of UV-irradiated sperm into haploid eggs. Based on the appearance of the rate of haploid syndrome and survival of embryo, a UV ray dose of at least 3,600 erg/cm<sup>2</sup> was required to inactivate rainbow trout sperm genetically. Haploid embryos were restored to diploid by blocking the extrusion of the second polar body using heat shock treatment at 28°C for 20 min, 10 min post insemination. Gynogenetic diploid sex ratios were confirmed after maturation of the fish erythrocyte measurements and chromosome counts.

**Key words** : Rainbow trout, sex-reversal, gynogenetic diploid, 17 alpha-methyltestosterone

## 서 론

우리나라에 무지개송어가 도입 된지 43년이 되어 근친교배에 따른 열성화로 양식의 문제점이 대두되어, 이러한 영향으로 성장율, 생존율과 재생산율에서 30% 이상의 감소 효과를 나타낸다[12,13,14]. 이러한 문제점 해결을 위해 상품어의 출하 시기 조절 및 조기 생산 목적으로 외국산 발안난을 도입하였으나, 막대한 외화낭비, 외국의 난치성 질병 유입, 양식체계의 수입 의존형으로 변화, 종묘생산의 기술력 저하 등 극한 상황을 초래하고 있다. 국내의 무지개송어 발안난은 그 수입 가격이 매년 증가하여 막대한 외화가 낭비되어 2001년부터 2006년까지 도입된 발안난은 2,650.5 kg, 약 4,146만개, 625,904 \$의 외화가 손실되었고 점차 증가하는 추세이다[19].

국내 무지개송어 양식 산업의 생산성 저하를 막는 방편의 하나는 유전육종학적 기법 중 성전환 기법을 이용한 단성양식이 있으며, 그 동안 국내에서도 무지개송어를 비롯한 타 어종에서 성전환 연구가 이루어져 왔다[7,9,11]. 어류에 있어서 성전환 기법은 연어과 어류를 대상으로 시도한 이래 최근 47여종의 어류에서 성공적으로 적용되었다[23]. 이러한 성전환 기

법은 경제성이 뛰어난 단일성 만의 양식을 통하여 부가가치를 높이고자 시도되어 왔으며, 또한 나일틸라피아, 차넬메기 및 연어과 어류에서도 성공적으로 수행되어 왔다[2]. 어류를 대상으로 한 자성발생 2배체 연구는 단일성 만의 사육 및 유전학적 순계 확립을 위하여 주로 사용되어, 잉어[18], 무지개송어와 은연어[23], 넙치[6,10,11]에서 성공적으로 이루어져 왔다. 어류는 짧은 생활사, 미분화된 성염색체로 인한 배수체의 정상적인 생존력, 체외수정 및 손쉬운 조작방법 등으로 인하여 어류를 대상으로 한 자성발생 2배체 연구가 활발히 진행되어 왔다[28]. 그러나, 성전환 기법과 자성발생 기법을 동시에 실현하여 산업화를 위한 연구의 진행은 미비한 수준이며, 우리나라의 환경에 맞는 무지개송어 양식의 양식 산업의 생산성 향상 및 경제성을 높일 수 있는 유전육종학적 연구의 확립은 아직 체계화되어 있지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 양식현장의 사육조건에 맞는 수온에서 생리적인 성전환 기준을 제시하고 자성발생 2배체를 대량으로 유도함으로써 전 암컷 대량생산의 기초과정을 수행하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 생리학적 성전환 실험

무지개송어 가짜수컷 생산을 위한 성전환 처리 시 사육 수

### \*Corresponding author

Tel : +82-55-540-2723, Fax : +82-55-546-6292

E-mail : djkim4128@nfrdi.go.kr

온은 10°C 내외로 적산수온 700°C가 적절한 처리 기간임이 보고되고 있다[5]. 본 연구에서는 강원도 지역 내에 소재하는 무지개송어 종묘생산 양어장의 사육 수온이 13°C임을 감안하여 실내 FRP 원형수조(100 l)에 지하수 10°C와 13°C 두 구간으로 나누어 각 2,000마리씩 호르몬 사료 공급 후 성장과 성전환율을 조사하였고, 대조구는 같은 조건으로 호르몬이 첨가되지 않은 사료를 공급하였다. 처리 기간은 적산수온이 700°C, 800°C 및 900°C의 세 구간으로 나누어 적정 처리수온 및 처리기간을 산정하고자 하였다.

또한 시험 기간 중 사료 공급은 합성 웅성호르몬인 17  $\alpha$ -methyltestosterone (MT, Tokyo Kasei Co., Japan)이 사료 1 kg당 5 mg 농도로 함유된 사료를 부화 후 먹이붙임 단계에서부터 1일 2회, 82일간 공급하면서 가짜 수컷으로의 성전환율을 유도하였다. 웅성호르몬 처리 종료후 시험어를 각 수온대의 적산수온별로 구분하여 배합사료를 공급하여 6개월째 각 실험구와 대조구의 생식소를 적출후 광학현미경으로 압착법(squash method)[5]에 의한 암·수컷 성별을 판별하여 성전환율을 산출하였다.

#### 자성발생 2배체 유도 실험 시험어

자성발생 2배체 유도를 위한 실험은 2004년 개인 양어장인 O수산(평창 소재)에서 2000년산 친어(암컷: 29마리, 수컷: 16마리)를 실험에 사용하였다. 2005년도에는 냉수성어류연구센터와 개인양어장 두 곳에서 실시하였다. 연구센터에서 확보중인 2003년산 친어(♀: 64마리, 수컷: 17마리), G수산(평창 소재)의 2002년산 친어(암컷: 7마리, 수컷: 5마리) 및 S수산(정선 소재)의 2002년산 친어(암컷: 77마리, 수컷: 17마리)를 시험어로 사용하였으며, 본 실험에 사용된 친어들의 특징을 Table 1에 나타내었다.

#### 자외선 조사 및 수정

정자의 불활성화를 위한 자외선 조사는 Levanduski방법을 사용하였다[16]. 수컷의 복부를 압박하여 정액을 채취하고 0.9% 생리식염수에 10배 희석하여 얇게 편후 UV (UVB, 10W/G1078, 동성과학사)를 3,600 erg/cm<sup>2</sup>로 조사하였다. 그

후 성숙된 암컷의 복부를 눌러 배란된 알과 UV 처리된 정액을 첨가하여 수정시켰다. 그 후 일반적인 방법으로 세란 과정을 거쳐 처리하였다.

#### 고온처리

2004년 1차로 O수산에서 수정 10분과 15분 후 28°C에서 20분 동안 고온자극을 주어 제2극체 방출을 억제시켰고, 2005년 2차 시험에서는 전년도의 실험결과를 토대로 연구센터, G수산과 S수산에서 수정 10분 후에서만 28°C에서 20분 동안 고온자극을 주어 제2극체 방출을 억제시켰다. 처리가 끝난 수정난은 일반적인 부화과정과 같이 아트킨스 부화기(35×270×33 cm, 자체제작)와 원통형 부화기(Φ30×65 cm, 자체제작)에 옮겨 부화시켰다.

#### 통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 Student's *t*-test와 two-way ANOVA로 유의성 검정을 실시하였다.

## 결 과

#### 생리학적 성전환 유도

##### 성장률 조사

성전환 처리 시 대조구와 각 수온대(10°C 및 13°C)의 적산수온별 실험구 간의 성장 비교를 위하여 전장, 체장 및 무게를 측정된 결과를 Table 2에 나타내었다. 수온 10°C 실험구에서 성장을 비교한 결과 대조구와 각 적산수온별 실험구간 전장 및 체중의 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 수온 13°C 실험구에서는 적산수온 900°C에서 타 실험구 보다 전장 ( $p < 0.03$ )과 체중( $p < 0.07$ )에서 유의적인 차이를 나타내었다.

##### 성전환율 조사

MT처리 사료를 공급후 6개월간 일반 배합사료로 공급하면서 사육한 뒤, 각 실험구와 대조구의 생식소를 적출하여 압착법에 의해 성별을 판별하였으며(Fig. 1a, b), 성전환율 결과를 Table 3에 나타내었다. 그 결과 수온 10°C 대조구의 경우 60% 수컷 비율을 나타내었으나, 적산수온별 실험구는 90~93.4%

Table 1. Characteristics of brood fish used in this study

Day	Strain	Sex	Length (cm)	Weight (g)	Brood year
2004. 11. 17	O-farm	♀	58.6±4.1	2,712.2±567.4	2000
		♂	47.8±2.1	1,397.6±206.5	
2005. 12. 15	G-farm	♀	59.4±6.0	3,612.8±927.1	2002
		♂	58.9±10.2	3,195.7±2,077.7	
2005. 12. 20	Institute*	♀	30.0±2.2	373.6±61.1	2003
		♂	31.2±2.5	363.0±70.8	
2005. 12. 27	S-farm	♀	53.3±7.4	2,094.8±872.7	2002
		♂	66.9±2.2	3,424.7±464.4	

\* Cold-Water Fish Research Center

Table 2. Effects of hormone (17 alpha-methyltestosterone) treatments on the growth of rainbow trout

	Initial	Final								Two-way ANOVA		
		10°C				13°C				Start Temp.	Cumulative Temp.	Interaction
		Con.	700°C	800°C	900°C	Con.	700°C	800°C	900°C			
Length (cm)	2.5±0.1	5.0±0.52 <sup>b</sup>	4.9±0.46 <sup>b</sup>	4.8±0.44 <sup>b</sup>	4.8±0.32 <sup>b</sup>	4.9±0.42 <sup>b</sup>	5.0±0.63 <sup>b</sup>	5.1±0.66 <sup>b</sup>	5.5±0.56 <sup>a</sup>	$p<0.0002$	$p<0.2$	$p<0.03$
Weight (g)	0.13±0.02	1.1±0.39 <sup>bc</sup>	1.1±0.36 <sup>bc</sup>	1.1±0.34 <sup>c</sup>	1.1±0.27 <sup>c</sup>	1.1±0.31 <sup>bc</sup>	1.3±0.54 <sup>bc</sup>	1.4±0.52 <sup>ab</sup>	1.6±0.52 <sup>a</sup>	$p<0.0001$	$p<0.3$	$p<0.07$

Table 3. Sex ratio of rainbow trout treated with 17 alpha-methyltestosterone under different treatment conditions

		Female	Male	Inter-sex	Rate of male (%)
10°C	Control	12	18	0	60
	700°C	2	27	1	90
	800°C	1	28	1	93.4
	900°C	0	28	2	93.3
13°C	Control	11	19	0	63.3
	700°C	2	27	1	90
	800°C	0	29	1	96.7
	900°C	0	28	2	93.3

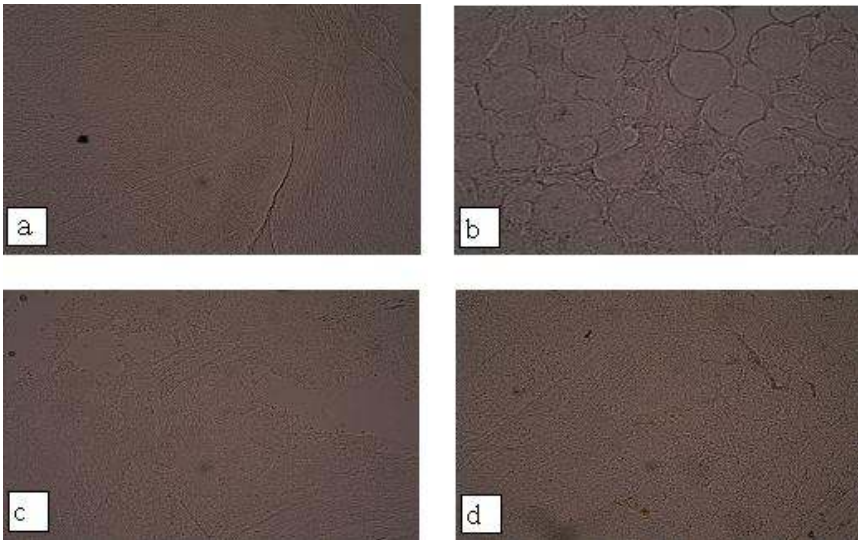


Fig. 1. Squash preparation of the gonads from sex-reversed and control rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss* at 6 months after hatching. ×100, a: male, b: female, c: inter-sex, d: inter-sex

로 대조구 보다 높은 수컷 비율을 나타내었다. 그 중 적산수온 800°C에서 성전환 비율이 가장 높게 나타났다. 한편, 수온 13°C 대조구의 경우 63.3% 수컷 비율로 나타났고, 적산수온별 실험구는 90~96.7%로 수온 10°C 실험 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 그 중 적산수온 800°C에서 성전환율이 가장 높게 나타났었다( $p<0.0001$ ). 그리고 수온 10°C 및 13°C의 모든 적산수온별 실험구에서 간성이 나타났다 (Fig. 1c, d).

자성발생 2배체 유도 효과  
채란량 및 난경 조사

2004년 및 2005년 냉수성어류연구센터와 민간 양어장의 암

컷 친어에서 채취된 채란량, 난경 및 난중량의 결과를 Table 4에 나타내었다. 그 결과 2004년 O수산의 암컷 친어에서 채란된 알 수는 125,000개, 난경 평균 0.467 cm였으며, 난중량은 평균 0.081 g였다. 2005년에는 연구센터의 친어에서 채란한 알수는 75,000개, 난경 평균 0.393 cm였으며, 난중량은 평균 0.043 g였다. 또한 G수산의 친어에서 채란한 알수는 30,000개, 난경 평균 0.428 cm였으며, 난중량은 평균 0.062 g였다. 한편 S수산의 친어에서 채란한 알수는 185,000개, 난경 평균 0.498 cm였으며, 난중량은 평균 0.099 g으로 연구센터 및 타 민간 양어장의 친어에서 얻어진 알의 난경 및 난중량 결과 보다 높았다.

**발안율 및 부화율**

냉수성어류연구센터와 민간 양어장의 암컷 친어에서 채취된 수정란의 발안율 및 부화율 결과를 Table 5 (2004년 결과) 및 Table 6 (2005년 결과)에 나타내었다. 그 결과 2004년 O수산의 암컷 친어의 채란된 알은 수정 15분 후 28°C (20분)에서 고온 처리한 실험구는 전량 폐사되었으나, 수정 10분 후 처리한 실험구는 전체 처리한 알의 5.8%, 3,300마리만 부화하였다. 그러나 2005년의 경우에는 G수산과 연구센터의 암컷 친어의 채란된 알은 부화율이 각 9.4% 및 3.0% 였으나, S수산의 경우 평균 부화율이 61.7%로 매우 높게 나타났다.

**고 찰**

본 연구는 전 암컷 무지개송어의 대량생산 방법을 확립하기 위하여 17 alpha-Methyltestosterone (MT) 처리 및 사육 수온에 의한 생리학적 성전환을 실시하여 가짜수컷을 유도하였고, 또한 유전적 우성 형질 복원을 위한 자성발생성 2배체 유도의 최적 조건을 파악하여 유전적으로 우수한 형질의 자성발생성 2배체 가짜수컷을 대량생산하는 방법을 확립하였다.

성전환 처리 기간 내의 성장에 있어서는 10°C 실험구과 대조구간 유의적 차이를 나타내지 않았으나, 13°C 실험구에 있어서는 적산온도가 높아질수록 성장이 높게 나타났다. 이는 MT 처리가 성장을 촉진시킨다는 타 보고[5]와 일치하는 것으로서 향후 호르몬 처리에 따른 직접적 영향인지, 암컷이 수컷으로 성전환된 개체들이 원래 수컷 집단보다 빠르게 성장하는 것인지에 대하여는 향후 연구가 필요하리라 사료된다.

수컷으로 성전환은 수온 10°C를 기준으로 사료 1 kg당 3 mg의 MT를 섞어 첫 먹이 공급기부터 90일동안 공급하여 100% 수컷을 유도하였고[26], 동일방법으로 적산수온 800°C

까지 처리하여 100% 수컷을 유도하였으며[7], 또한 수온이 높은 16.5°C의 사육 수온에서 사료 1 kg당 3 mg의 MT를 섞어 적산수온 900°C까지 공급하여(55일) 100%의 성전환율을 보였는데 반해[5], 본 연구의 결과는 국내 양식 산업 현장의 실제 부화 자어 사육수온인 10°C와 13°C의 적산수온 800°C에서 각각 93.4%와 96.7%의 유도율로 다소 낮게 나타났다. 이는 호르몬을 사료에 직접 섞지 않고 흡착방법에 의해 처리한 것에 기인한 것으로 추측된다. 다른 연구 사례에서 보듯 침지법을 개량하여 호르몬 처리기간 중 단시간 내 노출시키거나 사료에 호르몬을 흡착하여 병행 처리함으로써 좋은 결과를 얻은 사례도 많이 보고되고 있다[1,20,22,30]. 본 연구결과가 비록 다른 연구 결과 보다 낮은 유도율을 나타냈으나 이는 양식현장에서 적용할 시 보다 편리한 방법의 일환으로 적용될 수 있으리라 생각된다. 그러나 이러한 생리학적 성전환은 각 종마다 성분화에 따른 호르몬 처리시기, 기간 및 호르몬 종류에 따라 그 처리방법 등이 다양하여 성전환 유도율이 크게 좌우된다[4]. 향후 양식 현장에서 수컷으로의 100% 성전환을 유도하기 위해서는 난황기부터 직접 사육수에 침적 하는 것과 사료에 흡착 공급하는 것을 병행하여 100%의 성전환 효과를 나타낸 방법[3]을 수정하여 적용한다면 보다 효과적일 것이라 생각된다.

그리고 적산수온 900°C 처리구의 성전환율에 있어서는 유의적 차이를 보이지 않았으나, 간성율이 다소 높게 나타나 이는 적정 농도 이상의 호르몬 처리 시 생리학적 반작용으로 나타나는 현상으로 보여지며, 일부 양식장에서 적산수온을 1,000°C 이상 처리하여 성전환율이 낮게 나타난 것으로 볼 때, 이 결과와 유사하다 할 수 있다.

본 연구에서 성전환 처리수온에 있어 10~13°C 범위 내에서는 유의적 차이를 보이지 않았다. 이는 우리나라의 경우 경북 북부 지역 이북의 자연수온 조건에서는 성전환 처리에 수

Table 4. Scores for the induced spawning of rainbow trout from different stations

Source of embryos	No. of eggs obtained	Egg diameter (cm)	Egg weight (g)
O-farm	125,000	0.467	0.081
G-farm	30,000	0.428	0.062
Institute	75,000	0.393	0.043
S-farm	185,000	0.498	0.099

Table 5. Viability of gynogenetic rainbow trout embryos in the year of 2004

No. of eggs obtained			Rate of eyed egg (%)			Hatching rate (%)		
Control	10min	15min	Control	10min	15min	Control	10min	15min
12,000	57,000	68,000	4,600 (38.9)	5,400 (9.5)	0	3,200 (26.7)	3,300 (5.8)	0

Table 6. Viability of gynogenetic rainbow trout embryos in the year of 2005

Date	Source of embryos	No. of eggs obtained	Rate of eyed eggs (%)	Hatching rate (%)
2005. 12. 15	G-farm	30,000	4,540(15.1)	2,810(9.4)
2005. 12. 20	Institute	75,000	22,500(30.0)	2,250(3.0)
2005. 12. 27	S-farm	185,000	130,000(70.3)	114,140(61.7)

온이 큰 영향을 미치지 않음을 보여주는 것으로 사료된다. 또한 성전환시 사육수온이 5~8°C의 경우[25]와 비교할 시 적산수온을 기준으로 할 때 처리기간이 단축될 수 있는 장점을 가질 것으로 사료되나, 100% 성전환율이 나타나지 않는 점은 충분한 호르몬 사료 섭취를 못함에 따른 호르몬 공급의 부적합성에 있다고 판단할 수 있을 것이다.

자성발생 2배체 무지개송어 생산을 위하여 본 연구에서는 일반 무지개송어 수컷의 정자를 채정하여 자외선을 조사하여 불활성화 시킨 것을 수정에 사용하였다. 불활성화 정자는 운동성만 유지한 채 수정에 관여하였으며, 고온처리를 통한 제2극체방출을 억제하지 않은 대조구는 발생이 진행되지 않는 것으로 관찰되어 본 실험에서 설정한 자외선 조사 농도가 적정하였음을 알 수 있었다. 무지개송어를 대상으로 자외선량이 600 ergs/mm<sup>2</sup> 일때 반수체를 얻을 수 있었으며[21], 은어에서도 1,600~3,200 ergs/mm<sup>2</sup> 일때 효과적이었음이 보고된바 있다[15,28].

고온처리에 의한 제2극체방출 억제 효과는 수정 15분 후에는 전량 폐사하였으나, 수정 10분 후 28°C에서 10분간 처리에서 가장 좋은 결과를 나타내었고, 실험에 사용한 난질의 차이에 의하여 생존율이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서도 2005년 자성발생성 2배체 유도에서 살펴보면 G수산의 부화율은 9.4%였고, 연구센터 보유 친어의 부화율은 3.0%로 나타났지만, 난경이 평균 0.498 cm이고, 난중량이 0.099 g인 S수산 수정난으로만 자성발생성 2배체를 유도했을 시 61.7%의 높은 부화율을 나타낸 것만 보더라도 알 수 있었다.

한편 무지개송어 3배체 생산시 생존율에 있어 고온처리군이 사용된 난질에 따라 대조군에 비하여 20~60% 감소함을 보고한 바 있으며[17], 10°C 수온을 기준으로 이보다 높은 수온에서 난의 성숙에 있어서는 난질이 현저하게 감소된다고 하였다[27]. 그러나 은어 3배체 유도를 위한 물리적인 방법으로 저온처리 시에도 발안율과 부화율이 모두 낮게 나타나 물리적인 처리가 난에 충격을 주어 발생에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다[15]. 이번 실험에서도 발안율과 부화율이 대조구에 비해 20% 수준으로 낮게 나타나 이들의 연구결과와 매우 유사함을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 국립수산물품질관리원 내수면양식기술개발(RP-2009-AQ-006)의 지원에 의해 수행되었으며, 실험에 사육 관리를 담당해 주신 냉수성어류연구센터의 김경식님, 김두호님께 감사를 표합니다.

### References

1. Donaldson, E. M. and G. A. Hunter. 1982. Sex control in

- fish with particular reference to salmonids. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **39**, 99-110.
2. Dunham, R. A. 1996. Contribution of genetically improved aquatic organisms to global food security. International Conference on Sustainable Contribution of Fisheries to Food Security. *Government of Japan and FAO, Rome* **150**.
3. Grant, F., C. G. Yeoh, M. S. Fitzpatrick, and C. B. Schreck. 1995. The production of functional sex-reversed male rainbow trout with 17 $\alpha$ -methyltestosterone and 11  $\beta$ -hydroxyandrostenedione. *Aquaculture* **131**, 145-152.
4. Hunter, G. A. and E. M. Donaldson. 1983. Hormonal sex control and its application to fish culture. pp. 223-303, In Hoar, W. S., D. J. Randall and E. M. Donaldson (eds). *Fish Physiology*, Vol. IX, Part B, Behaviour and Fertility Control. *Academic Press, New York*
5. Jeong, C. H., J. H. Ahn, B. S. Kim, and D. S. Kim. 1995. Mass Production of All-Female Triploid Eggs in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) During the Fall Season by Chromosome Manipulation. *J. Aquaculture* **8**, 141-148.
6. Jeong, C. H., Y. B. Moon, I. S. Park, and D. S. Kim. 1996. F<sub>2</sub> Production of gynogenetic diploid in olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquaculture* **9**, 287-291.
7. Kim, D. S., C. H. Jeong, and I. B. Kim. 1993. Induction of all-female triploid in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Korean J. Genet.* **15**, 213-218.
8. Kim, D. S., C. H. Noh, Y. H. Choi, and Y. K. Nam. 1996. Production of supermale (YY) and superfemale ( $\Delta$ YY) Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by sex reversal and chromosome manipulation II. Progeny tests with supermale and superfemale Nile tilapia. *J. Aquaculture* **9**, 101-106.
9. Kim, D. S., I. C. Bang, and I. B. Kim. 1988b. sexual differentiation and androgen sex reversal on *Oreochromis niloticus*. *J. Aquaculture* **1**, 53-66.
10. Kim, K. K. 1994. Cytogenetical and molecular biological studies on the hybrid between olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and spotted flounder (*Verasper variegatus*). *Ph. D. Thesis, University of National Fisheries, Pusan, Korea*.
11. Kim, K. K., I. C. Bang, Y. Kim, Y. K. Nam, and D. S. Kim. 1996. Early survival and chromosomes of intergeneric hybrids between Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* and spotted halibut *Verasper variegatus*. *Fish Sci.* **62**, 490-491.
12. Kincaid, H. L. 1976a. Effects of inbreeding on rainbow trout population. *Trans. Am. Fish Soc.* **105**, 273-280.
13. Kincaid, H. L. 1976b. Inbreeding in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish Res. Board Can.* **33**, 2420-2426.
14. Kincaid, H. L. 1983. Inbreeding in fish populations used for aquaculture. *Aquaculture* **33**, 215-227.
15. Lee, C. H. 1996. Production of triploids in sweet fish, pp **37**, *Plecoglossus altivelis*. *M. Sc. Thesis, University of Pukyong Pusan, Korea*.
16. Levanduski, M. J., J. C. Beck, and J. E. Seeb. 1990. Optimal thermal shocks for induced diploid gynogenesis in chinook salmon. *Aquaculture* **90**, 239-250.
17. Lincoln, R. F. and V. J. Bye. 1984. Triploid rainbows show commercial potential. *Fish Farm* **7**, 22-26.
18. Nagy, A., K. Rajiki, L. Horvath, and V. Csany. 1978.

- Investigation on carp, *Cyprinus carpio*, gynogenesis. *J. Fish Biol.* **13**, 215-224.
19. NFIS. 2006. Export/Import fishery product inspection: statistical report. pp 75-79.
  20. Noh, C. H. 1995. Sex reversal of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by immersion of 17 $\alpha$ -methyltestosterone. pp. **39**, *M. Sc. Thesis, University of National Fisheries, Pusan, Korea.*
  21. Onozato, H. and E. Yamaha. 1983. Induction of gynogenesis with ultraviolet rays in four species of salmoniforms. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish* **49**, 693-699.
  22. Pandian, T. J. and K. Varadaraj. 1987. Techniques to regulate sex ratio and breeding in tilapia. *Curr. Sci.* **56**, 337-343.
  23. Pandian, T. J. and S. G. Sheela. 1995. Hormonal induction of sex reversal in fish. *Aquaculture* **138**, 1-22.
  24. Refstie, T., J. Stoss, and E. Donaldson. 1982. Production of all female coho salmon by diploid gynogenesis using irradiated sperm and cold shock. *Aquaculture* **29**, 67-82.
  25. Scott, A. G., D. J. Penman, J. A. Beardmore, and D.O.F. Skibinski. 1989. The 'YY' supermale in *Oreochromis niloticus* (L.) and its potential in aquaculture. *Aquaculture* **78**, 237-251.
  26. Simpson, T. H. 1976. Endocrine aspects of salmonid culture. *Proc. R. Soc. Edinburgh Ser. B* **75**, 241-252.
  27. Springate, J. R. C., N. R. Bromage, K. Elliot, and D. L. Hudson. 1984. The timing of ovulation and stripping and their effects on the rates of fertilization and survival to eyeing, hatching swim-up in the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture* **43**, 313-322.
  28. Taniguchi, N., A. Kijima, J. Fukai, and Y. Inada. 1986. Conditions to induce triploid and gynogenetic diploid in ayu *Plecoglossus alyivelis*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish* **52**, 49-53.
  29. Thorgaard, G. H. 1986. Ploidy manipulation and performance. *Aquaculture* **57**, 57-64.
  30. Varadaraj, K. 1990. Production of monosex male *Oreochromis mossambicus* (Peters) by administering 19-nore-tosterone acetate. *Aquacult. Fish Manage* **21**, 133-135.

#### 초록 : 무지개송어의 생리학적인 성전환과 자성발생 2배체 유도

이철호 · 김대중<sup>1\*</sup> · 정창화<sup>2</sup> · 최경철<sup>3</sup> · 이채성 · 김동수<sup>4</sup>

(국립수산과학원 냉수성어류센터, <sup>1</sup>내수면양식연구센터, <sup>2</sup>(주)바이넥스, <sup>3</sup>충북내수면연구소, <sup>4</sup>부경대학교)

본 연구는 무지개송어 양식 산업의 생산성 향상을 위해 전 암컷 무지개송어 대량생산을 위한 일환으로 성호르몬에 의한 생리학적인 성전환과 자성발생 2배체를 유도하였다. 생리학적으로 성전환된 수컷을 만들기 위하여 부화 후 첫 먹이를 먹는 시기에 옹성호르몬인 17  $\alpha$ -methyltestosterone (MT) 5 mg을 사료에 흡착시켜 사육수온 13°C에서 적산수온 80°C까지 처리한 결과 96.7%의 수컷 유도율을 보였다. 또한 정상 수컷 정액을 이용하여 수정 10분 후 28°C에서 20분간 고온 처리하여 61.7%의 자성발생 2배체가 유도되었다.