

## 양식 1년산 뱀장어, *Anguilla japonica*의 전장 및 성별에 따른 혈중 성호르몬 수준 및 혈액학적 성상

전민지 · 한경민 · 배준영 · 유진형 · 이계안 · 배승철\*  
부경대학교 사료영양연구소

### Serum Steroid Hormone Level and Hematological Characteristics of One-year Cultured eels, *Anguilla japonica* Based on Total Length and Sex

Min-Jee Jeon, Kyung-Min Han, Jun-Young Bae, Jin-Hyung Yoo, Kye-Ahn Lee and Sungchul C. Bai\*  
Department of Aquaculture/Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

This study investigated sex determination through serum steroid hormone level and compared hematological characteristics of one-year old cultured eels, *Anguilla japonica*. Four different groups were divided with total length at 40~45, 45~50, 50~55, and 55~60 cm. Males dominated eels of 40~50 cm in total length group, while females dominated eels of more than 50 cm. All females and males were immature. Hematocrit levels of males (total length: 40~50 cm) were higher than those of females (total length: 50~60 cm). Hemoglobin content also differed between males and females. Glutamate oxaloacetate transaminase (GOT) levels of 40~45 cm males tended to be higher ( $157 \pm 3.46$  IU/L) than that of other sized males, but there were no significant differences between groups ( $P < 0.05$ ). The highest GOT levels were found in of 55~60 cm females ( $148 \pm 3.46$  IU/L) compared with that of other female groups ( $P < 0.05$ ). Glutamate pyruvate transaminase (GPT) levels of males and females in the 55~60 cm size range was significantly higher than others ( $P < 0.05$ ). The result of this study indicated steroid hormone content of males and females were very low, but testosterone (T) and estradiol-17 $\beta$ , (E2) contents of females were higher than those of males. For further research of sex determination in cultured eels, it needs to investigate in more defined body length.

**Keywords:** Eel, Estradiol-17 $\beta$ , Hematological aspects, Sex ratio, Testosterone

## 서 론

지금까지 뱀장어의 인공 성숙에 관한 연구는 어류의 뇌하수체 추출물을 사용하여 유럽산 뱀장어의 성성숙 유도가 성공한 이래 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다(Fontaine, 1936; Yamamoto and Yamauchi, 1974; Tanaka et al., 1997). 그러나 이러한 수년간의 노력에도 불구하고 뱀장어의 종묘생산 기술은 아직 확립되지 못한 실정이다.

뱀장어는 성성숙 시기에 혼인색이나 체형 변화를 보이는 연어과 어류 등과는 달리 암·수의 외관상 구별이 매우 어렵다. 현재까지 호르몬 처리를 통한 성성숙 유도 시 어체의 성별에 상관없이 어체중에 따른 성성숙 유도가 이루어져 왔다. 즉 가을과

겨울에 걸쳐 바다로 내려가는 자연산 뱀장어를 채집하여 어체 중 500 g 이상의 것을 암컷으로, 300~500 g을 수컷으로 판정하고 성성숙에 사용하였다(Ijiri et al., 1995, 1998). 또한 뱀장어는 어체의 연령보다는 크기에 높은 상관성을 보인다고 보고된 바 있었으나(Colombo et al., 1984), 자연산 뱀장어를 사용하여 호르몬 처리를 통한 인공적인 성성숙 유도는 보다 체계적인 유도 방법의 고찰이 필요하다.

최근 하천 환경의 오염으로 인하여 뱀장어의 자원량이 감소하고, 자연에서 친어로 사용가능한 크기의 뱀장어를 채집하는 것이 점차 어려워지고 있는 실정이므로 자연산과는 달리 연중 채집이 가능하고, 가격이 저렴하며, 성장 과정에서 여러 가지 생리화학적 조절이 용이한 양식산 뱀장어를 친어로 하여 성성숙을 유도하고자 하는 연구가 시도되고 있다(Ohta and Tanaka, 1997, Ijiri et al., 1995).

\*Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

그러나, 양식산 뱀장어 또한 자연산과 마찬가지로 외관상 암·수 구별 방법이 명확하지 않으며, 자연에서와 달리 고밀도, 고수온 등의 특수한 환경 하에서 양식되고 있어 암·수의 비율이 자연산과는 차이가 있을 것으로 생각된다. 실제로 廣瀨 (2001)는 자연에서 채집된 뱀장어의 암·수 비가 1:1에 가까운데 반하여, 양식산은 수컷의 비율이 월등히 높다고 보고 된 바 있다. 그러므로 양식산 뱀장어를 이용하여 성공적인 종묘생산 기술을 확립하기 위해서는 호르몬으로 성숙을 유도하기에 앞서, 체계적이고 효과적인 성 구별법을 확립할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 양식 1년산 뱀장어를 이용하여 경골 어류의 내분비학적 성숙 메커니즘을 이해하는데 도움이 된다고 알려져 있는 혈중 스테로이드 호르몬 함량(Young et al., 1982; Kagawa et al., 1984)과 성비의 관련성을 조사하고, 아울러 혈액학적 성상 조사를 통하여 건강한 뱀장어 암·수 구별 및 친어 관리를 위한 기초 자료로서 사용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험어

실험어는 경남 김해에 위치한 축양장에서 전장 40~60 cm, 체중 100~400 g 사이의 1년산 양식 뱀장어(n=50)를 구입하여 이용하였다(Table 1). 뱀장어는 어체중을 측정 한 후, 부경대학교 동백섬 수산과학연구소 내의 2,000 L FRP 수조에 혈액 샘플 전까지 이동 스트레스로 인한 혈액학적 변화를 최소화하기 위하여 1주일간 순치시켰다. 이때 수온은 24°C 였으며 담수를 이용하였다.

순치가 완료된 뱀장어는 어체의 크기에 따라 각각 4그룹(전장 G1: 40~45; G2: 45~50; G3: 50~55; G4: 55~60 cm)으로 나누었으며, 2-phenoxy ethanol(sigma, USA)를 이용하여 마취한 후, 미부정맥에서 헤파린을 처리한 1 ml 주사기로 혈액을 채취하여 실험에 사용하였다. 해부 후 간과 생식소를 절취하였고, 생식소의 외부 형태 관찰을 통해 1차적으로 암·수를 나누고, 조직학적 관찰을 실시하여 확인하였다.

### 생식소의 조직학적 관찰

혈액을 채취한 뱀장어의 생식소와 간의 일부를 절취한 다음

10% 중성 포르말린에 1차 고정하고, Bouin 용액(picric acid 75 ml+formaldehyde 25 ml+acetic acid 5 ml)으로 2차 고정하였다. 이후 파라핀 상법에 따라 4~5  $\mu$ m의 두께로 절편한 다음, haematoxylin과 eosin으로 이중 염색하고, 광학현미경으로 관찰하여 개체의 성비와 생식소 발달 단계를 관찰하였다.

### 혈중 호르몬 조사

뱀장어 혈장 estradiol-17 $\beta$ , testosterone의 농도(ng/ml)는 Aida et al.(1984)의 방법에 따라 RIA(r-adioimmunoassay)를 이용하여 이루어졌다. 스테로이드 추출은 혈장 200  $\mu$ l에 2.0 ml의 diethyl ether를 첨가하여 잘 혼합한 후 5~10분간 -80°C 상태에서 방치하였다. 상층의 유기 용매층(free steroid)만을 시험관에 옮겨 원심 농축기로 완전 건조시켰으며, 위의 추출 과정을 2회 반복 실시하였다. 각각의 추출물은 1 ml의 0.1% gel PBS 완충용액(pH 7.5)에 재용해되어 정량할 때까지 -20°C에 보관하였다.

3.84~0.03 ng/ml까지 8단계로 만들어진 standard와 시료 각각 200  $\mu$ l에 3H으로 방사 표지된 스테로이드(NEN과 Amersham 제품) 100  $\mu$ l(약 10,000 cpm)씩 첨가 후 희석 항체를 200  $\mu$ lTLr 넣고 교반시켜 4°C하에서 12시간 동안 반응시켰다. 항원 항체의 결합형과 유리형을 분리하기 위해 DCC(dextran coated charcoal)를 250  $\mu$ l씩 첨가하여 4°C에서 15분간 방치한 후 원심분리(4°C, 2000 $\times$ G, 15 min.)한 뒤, 결합형 상등액을 취하여 여기에 3 ml의 scintillation cocktail(liquifluor와 toluene의 혼합)을 넣고 액체 섬광계측기로 측정하였다. Estradiol-17 $\beta$ , testosterone에 대한 항체는 Sigma제품을 사용하였다.

### 혈액학적 성상 조사

채취한 혈액의 헤마토크리트(Ht, %)는 micro hematocrit법(Micro Hematocrit Reader, Hawksley)에 의해 측정하였으며, 헤모글로빈 함량(Hb, g/dl)은 cyanhemoglobin 법(Yokoyama, 1960)에 의하여 측정하였다. 이후 남은 혈액을 상온에서 10분 이상 방치하였다가 원심 분리(12,000 rpm, 5 min)하여 얻은 혈장을 분석 전까지 -76°C에 보관하였다. 혈장 글루코코스(g/dl), GOT, GPT, 총 단백질량의 측정에는 혈액 분석기(Vitros DT 60II, KOREA)를 사용하였다.

Table 1. Sample size description of cultured eels<sup>1</sup>

Hormone	Sex of cultured eels								pooled SEM
	Male				Female				
	G1	G2	G3	G4	Avg.	G3	G4	Avg.	
Total length (cm)	43.4	47.5	51.5	59.0	<b>50.4</b>	51.3	57.6	<b>54.5</b>	0.20
Body weight (g)	115	138	172	318	<b>186</b>	182	320	<b>251</b>	2.55
Testosterone (ng/ml)	0.10	0.06	0.06	0.09	<b>0.08<sup>b</sup></b>	0.12	0.14	<b>0.13<sup>a</sup></b>	0.01
Estradiol-17 $\beta$ (ng/ml)	0.05	0.03	0.09	0.03	<b>0.05<sup>b</sup></b>	0.14	0.14	<b>0.14<sup>a</sup></b>	0.01
n	10	7	8	7		8	8		

<sup>1</sup>G1: group 1 (TL: 40~45 cm); G2: group 2 (TL: 45~50 cm); G3: group 3 (TL: 50~55 cm); G4: group 4 (TL: 55~60 cm).

**통계처리**

실험 자료는 SPSS-PC 통계 패키지를 이용하여, one-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였다.

**결 과**

**뱀장어의 성비**

양식산 뱀장어의 크기에 따른 성비는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 본 연구에서 조사한 G1그룹의 뱀장어는 100%, G2 그룹에서는 75%로 수컷의 비율이 높았으나, 이와는 반대로 G3 그룹에서는 암컷의 비가 67%, G4 그룹에서는 72%가 암컷으로 나타나 개체의 크기가 클수록 암컷의 비가 높아지는 경향을 보였다. 또한 이들 생식소의 외부 형태는 암컷은 뱀장어 생식소의 전형적인 형태로서 생식소의 외부 형태는 암·수 모두 생식소가 배측(背側)을 따라 선형으로 항문 부분까지 연장되어 있었다. 또한 수컷은 투명한 흰색으로 반원형의 염상체가 관찰되었으며, 암컷은 작은 주름이 생식소 전체를 덮어 커튼 모양으로 관찰되었다. 조직학적 관찰을 통한 생식소 발달 단계는 수컷은 초기 정모세포 단계로 나타났으며, 암컷의 경우에도 제 1차 난황구기로서 난황이 형성되는 생식소의 발달 초기단계였다 (Fig. 2).

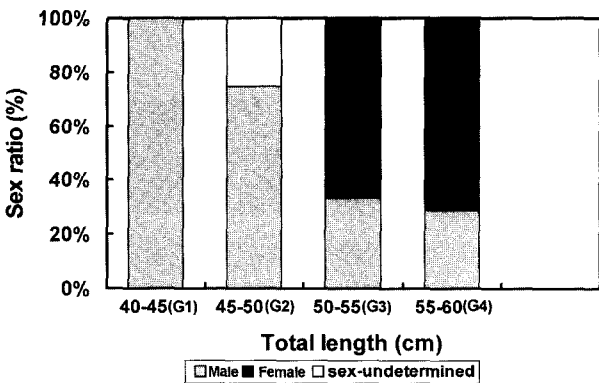


Fig. 1. Sex ratio in relations to total length (cm) of cultured eels.

**뱀장어 암·수의 혈중 성호르몬 함량**

수컷과 암컷의 혈장 내 호르몬 함량 중 Testosterone의 함량은 0.08 ng/ml로 나타난 수컷 그룹에 비해 암컷 그룹이 0.13 ng/ml로 나타나 유의하게 높은 값을 보였으며, Estradiol-17β의 함량 또한 암컷 그룹(0.05 ng/ml)이 수컷그룹(0.14 ng/ml)보다 유의하게 높은 결과를 나타내었다(Table 1).

**뱀장어 암·수의 혈액학적 성상**

뱀장어 성별에 따른 헤마토크리트의 결과는 Table 2에 나타내었다. 수컷의 함량이 31.7%로 37.7%의 암컷 그룹보다 낮은 값을 나타내었으나, 유의차는 없었다( $P < 0.05$ ).

혈중 헤모글로빈의 함량은 수컷은 14.0 g/dl로 11.4 g/dl를 보인 암컷 그룹보다 높은 값을 나타내었으나, 유의차는 없었다( $P < 0.05$ ).

수컷의 GOT 결과는 152 IU/L로 125 IU/L를 보인 암컷 그룹보다 유의하게 높은 값을 보였으나( $P < 0.05$ ), 이와 반대로 GPT의 결과는 암컷 그룹이 수컷 그룹보다 높은 함량을 나타내었다. 혈중 Protein의 함량과 glucose 함량은 암·수 그룹 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다.

**고 찰**

일반적으로 양식에 있어서 중요한 가치를 가지는 많은 어종들이 자연산과 양식산 모두에서 인공적으로 성성숙 시키는데 어려움을 겪고 있다. 이것은 양식산과 자연산의 환경적인 차이에서 기인하는 것으로 이러한 환경적인 차이가 때로는 비정상적인 생리학적인 반응을 유발하거나 또는 정상적인 방법으로 성성숙을 할 수 없게 하기도 한다. 특히 자연 상태와 다른 양식 환경은 어류의 성숙에 있어서 내분비적인 조절 과정에 영향을 미칠 수 있는 스트레스를 유발하기도 한다(Donaldson and Hunter, 1983; Sumpter, 1991).

뱀장어 양식에 있어서 중요한 환경 요인은 고밀도, 고수온의 조건이라 할 수 있으며, 이러한 조건은 실제 하천 또는 바다 서

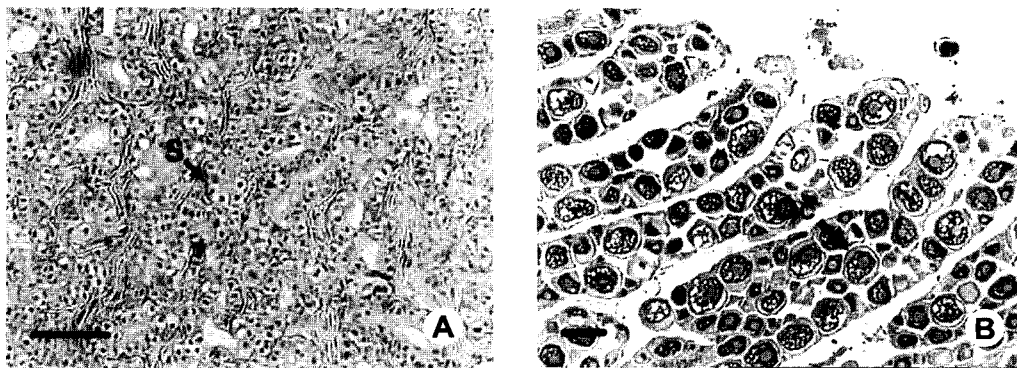


Fig. 2. Gonadal histology of cultured eels. A: spermatogonium in testis of male, B: primary yolk globule stage in ovary of female; S: spermatogonium; Oc: Oocyte; Bar: 50 μm.

**Table 2.** Hematological characteristics on sex in cultured eels<sup>1</sup>

Character	Sex of eels						Pooled SEM
	Male			Female			
	G3	G4	Avg.	G3	G4	Avg.	
Total length (cm)	51.5	59.0	<b>55.3</b>	51.3	57.6	<b>54.5</b>	0.20
Body weight (g)	172	318	<b>245</b>	182	320	<b>251</b>	2.55
Hematocrit (%)	31.5	31.8	<b>31.7</b>	42.5	32.8	<b>37.7</b>	0.51
Hemoglobin (g/dl)	13.9	14.0	<b>14.0</b>	11.7	11.1	<b>11.4</b>	0.25
GOT (IU/L) <sup>2</sup>	155	148	<b>152<sup>a</sup></b>	104	148	<b>126<sup>b</sup></b>	0.73
GPT (IU/L) <sup>3</sup>	2.78	5.03	<b>4.01<sup>b</sup></b>	6.11	8.87	<b>7.45<sup>a</sup></b>	0.16
Plasma protein (g/dl)	5.30	5.75	<b>5.37</b>	5.83	5.60	<b>5.72</b>	0.10
Plasma glucose (g/dl)	73.5	96.1	<b>84.7</b>	96.5	66.4	<b>81.5</b>	0.70

<sup>1</sup>The values within the same row with different alphabetic letters are significantly different (P0.05). <sup>2</sup>GOT: glutamate oxaloacetate transaminase, <sup>3</sup>GPT: glutamate pyruvate transaminase

식 환경과는 많은 차이를 보이고 있다. 또한 이러한 환경 조건은 수컷으로의 성분화에 가장 중요한 영향을 주는 조건이라고 보고 된 바 있다(D'Ancona, 1957).

Matsui(1952)는 뱀장어가 서식하는 여러 지역에서 채집한 결과 37.5%가 생식소의 외형에 의해 성별 구분이 가능하였고, 22.8%는 성을 결정할 수 없었다고 하였으며, 양식산의 경우에 암컷의 비율은 0.5~8.6%로 매우 낮다고 하였다. 또한 Tzeng et al.(1996)은 수조 내에 20 마리/m<sup>2</sup>의 반집약적(semi-intensive) 양식 밀도로 사육한 결과, 40~55 cm의 어체 크기 범위 내에서는 수컷의 비가 높았으며, 60 cm 이상에서는 암컷의 비가 높다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 양식 1년산 뱀장어의 크기에 따른 성비가 40~50 cm 내외의 뱀장어에서는 수컷의 비율이 75~100%로 매우 높은 비율을 보였고, 50 cm 이상의 개체에서는 반대로 암컷의 비율이 높게 관찰 되어, 이들의 연구와 유사한 경향을 보였는데, 이는 양식산 뱀장어의 성결정 요인으로서 자연 상태와는 다른 양식장 내의 환경 요인의 중요성을 제안하는 것으로 생각된다. 또한 여러 연구자들(Rossi and Colombo, 1976; Poole and Reynolds, 1996)에 의하여 같은 시기에 채집한 유럽산 뱀장어(*Anguilla anguilla*) 암컷의 크기가 수컷보다 크다고 보고하여, 성장 단계와 성비의 관련성을 시사한 바 있으나, 산란을 위하여 바다로 내려가는 뱀장어(*Anguilla japonica*)에서는 수컷의 전장과 암컷의 전장 사이에 유의한 차이를 보이지 않는다고 보고(Tzeng et al., 2000)된 바도 있어 뱀장어 암컷과 수컷의 성장 차이에 대한 관계를 확신할 수는 없다.

조직학적 관찰을 통한 암컷과 수컷의 생식소 발달 단계는 모든 어체 크기에서 발달 초기 단계(수컷: 정원세포, 암컷: 제1차 난황주기)에 머물러 있었으며, 양식산 뱀장어는 미성숙한 상태(immature)이며 일반적인 양식 환경 하에서는 성숙하지 않는다고 보고한 Yamamoto et al.(1972)의 보고와 일치하는 결과였다.

양식산 뱀장어의 혈중 호르몬의 농도는 T와 E<sub>2</sub> 모두 극히 낮은 값을 보였으며, 호르몬 처리를 통해 뱀장어의 성성숙 유도 실험을 실시한 타 연구자(Ijiro et al., 1995)가 보고한 뱀장어의

성성숙 처리전 T와 E<sub>2</sub>의 혈중 호르몬 함량이 각각 0.25~0.29 ng/ml, 0.1~1.3 ng/ml 였다는 결과에 비해서도 매우 낮은 값을 보였다. 그러나, 본 연구에서 조사한 수컷 뱀장어에 비해 암컷의 T, E<sub>2</sub>의 함량이 유의하게 높게 나타나 성에 따른 차이를 관찰할 수 있었다. 이러한 결과에 의하면, 45~50 cm의 뱀장어 중 2마리가 해부 후 생식소의 육안 관찰이 어려워, 생식소의 형태에 의한 성결정이 불가능하였으나, 혈중 호르몬 함량 범위(T: 0.044 ng/ml, E<sub>2</sub>: 0.012 ng/ml)로 미루어 보았을 때, 수컷으로 분화되어 질 개체로 판단할 수 있었으며, 이와 같이 뱀장어의 혈중 호르몬 함량과 생식소 발달, 그리고 성별과 관계에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

양식산 뱀장어의 헤마토크리트 값과 헤모글로빈 함량은 동일한 크기 내에서는 암·수컷의 유의한 차이가 없었다. 그러나 헤모글로빈의 함량은 동일한 크기(50~55 cm, 55~60 cm) 내에서는 암컷 개체를 수컷보다 낮은 헤모글로빈 함량을 보여, 성 호르몬 처리 전의 암컷과 수컷의 혈액학적 성상을 비교한 Ochiai et al.(1975)의 결과와 유사한 경향이였다. 그러나 혈장 단백질 함량의 결과는 암·수 모두에서 크기와 상관없이 유의한 차이를 보이지 않았으며, 5.30~5.83 g/dl의 범위로 6.5~8.6 g/dl의 범위를 보인 Ochiai et al.(1975)의 결과에 비해 다소 낮은 값을 나타내었다.

GOT, GPT와 같은 혈중 transaminase의 측정은 어류의 간과 신장의 조직학적인 손상을 가리키는 지표로서 사용되어진다(Kristofferson et al., 1974) 본 연구에서는 양식산 뱀장어의 건강상태를 조사하기 위한 혈액학적 지표로서 사용되었는데, GOT 값은 암·수 모두 104~157 IU/L의 범위에 있어, 유럽산 뱀장어(*A. anguilla*)의 154.2~311.9 IU/L보다 다소 낮은 범위를 나타내었으며, GPT 값 또한 유럽산 뱀장어(20~30 IU/L)보다 낮은 값을 보였다(Balint et al., 1997).

지금까지 양식 1년산 뱀장어는 인공종묘생산에 이용하기에는 그 연령이 어리다고 판단되어 왔지만, 몇몇 연구자들이 호르몬 주사에 대한 성숙 결과가 좋다고 하여 이미 양식산 수컷

을 이용한 성숙 유도의 성공으로 그 가능성이 제시 된 바 있다 (Yamamoto et al, 1972; Ohta et al., 2001). 따라서 인공종묘생산에 있어서 양식산 뱀장어의 사용 가능성을 높이기 위한 방법의 일환으로서 성결정시기(Colombo and Grandi, 1984)로 알려져 있는 전장 20 cm 크기에서부터 60 cm에 이르기까지 다양한 개체들의 크기에 따른 성비 변화에 관한 조사가 이루어져야 할 것이다.

## 요 약

양식산 뱀장어의 어체 크기에 따른 성비와 혈액학적 성상 및 성호르몬 함량을 조사하였다. 전장 40~50 cm 사이의 뱀장어에서는 수컷의 비율이 높았으나, 50 cm 이상의 뱀장어에서는 암컷의 비율이 유의하게 높은 결과를 보였다. 그러나 암·수 모두 생식소 발달 초기 단계였다. 수컷과 암컷의 혈액학적 성상에 있어서 헤마토크리트 값은 40~50 cm 그룹의 수컷이 크기가 큰 암컷 그룹의 결과보다 높은 값을 나타내었고, 헤모글로빈 함량은 반대의 경향을 보였다. 수컷의 혈중 GOT 결과는 전장 40~45 cm 그룹에서  $157 \pm 3.46$  IU/L로 다른 그룹에 비해 높은 값을 나타내었으나, 유의차는 없었으며, 암컷은 가장 큰 그룹인 55~60 cm의 뱀장어 집단이  $148 \pm 3.46$  IU/L로 유의하게 높은 값을 보였다( $P < 0.05$ ). GPT의 결과는 암·수 모두 55~60 cm 집단이 유의하게 높은 값을 나타내었다( $P < 0.05$ ). 혈중 성호르몬의 함량은 암·수 모두 매우 낮은 값을 보였으나, 수컷에 비해 암컷의 T, E<sub>2</sub> 함량이 높게 나타났다.

## 감사의 글

이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 중점연구소 지원과제에 의하여 연구된 결과로 이에 감사드립니다(KRF-2002-005-F00001).

## 참고문헌

- Aida, K., T. Kato. and M. Awaji, 1984. Effects of castration on the smoltification of precocious male salmon *Oncorhynchus masou*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., **50**: 565-571.
- Balint, T., J. Ferenczy F. Katai, I. Kiss, L. Kraczer, O. Kufcsak, G. Lang, C. Polyhos, I. Szabo, T. Szeletes and J. Nemcsok, 1997. Similarities and difference between the massive eel (*Anguilla anguilla* L.) devastations that occurred in lake Balton in 1991 and 1995. Ecol. Envi. Safe. **37**: 17-23.
- Colombo, G., G. Grandi and R. Rossi, 1984. Gonad differentiation and body growth in *Anguilla anguilla* L. J. Fish. Biol. **24**: 215-228.
- D'Ancona, U., 1957. Nuove ricerche sulla determinazione sessuale dell'Anguilla. II. Le influenze ambientali sul differenziamento della gonade. Archivio di Oceanografia e Limnologia **11**: 69-111.
- Donaldson, E.M. and G.A. Hunter, 1983. Induced final maturation, ovulation and spermiation in cultured fish. (in) Hoar, W.S., D.J. Randall and E.M. Donaldson. (eds.), Fish Physiol., IXB. Academic press, New York, pp. 351-403.
- FAO. 2001. Foods and Agriculture Organization of United Nations.
- Fontaine, M., 1936. Sur la maturation complete des organes genitaux de l'anguille male et l'emission spontanee de ses produits sexuels. C. R. Acad. Sci. Paris **202**: 1312-1315.
- Ijiri, S., Y. Kazeto, N. Takeda, H. Chiba, S. Adachi and K. Yamauchi, 1995. Changes in serum steroid hormones and steroidogenic ability of ovarian follicles during artificial maturation of cultivated Japanese eel, *Anguilla japonica*. Aquaculture **135**: 3-16.
- Ijiri, S., T. Koayaba, N. Takeda, H. Tachiki, S. Adachi and K. Yamauchi. 1998. Pretreatment reproductive stage and oocyte development induced by salmon pituitary homogenate in the Japanese eel *Anguilla japonica*. Fish. Sci. **64**(4): 531-537.
- Kagawa, H., G. Young, Y. Nagahama, 1984. *In vitro* estradiol-17 $\beta$  and testosterone production by ovarian follicles of the goldfish, *Carassius auratus*. Gen. Comp. Endocrinol. **54**: 139-143.
- Kristofferson, R., S. Broberg, A., Oskari and M. Pekkarinen, 1974. Effect of a sublethal concentration of phenol on some blood plasma enzyme activities in the pike (*Esox lucius* L.) in brackish water. Ann. zool. Fennici **11**: 220-223.
- Matsui I., 1952. Study on the morphology, ecology and culture of Japanese eel. J. Shimonoseki Coll. Fish. **2**: 1-245 (in Japanese).
- Ochiai A. O. Manabu and U. Susumu, 1975. Changes in blood properties of maturing Japanese eel, *Anguilla japonica*, with hormone injection. Bull. Jpn. Soc. Sic. Fish. **41**(6): 609-614 (in Japanese).
- Ohta, H. and H. Tanaka, 1997. Relationship between serum levels of human chorionic gonadotropin (hCG) and 11-ketotestosterone after a single injection of hCG and induced maturity in the male Japanese eel, *Anguilla japonica*. Aquaculture **153**: 123-134.
- Ohta, H., H. Kagawa, H. Tanaka and T. Unuma, 2001. Control by the environmental concentration of ions of the potential for motility in Japanese eel spermatozoa. Aquaculture **198**: 339-351.
- Ojima, Y., 1983. Karyotype and specimen in fishes. pp. 1-64 in Fish cytogenetics. Suikosha. Japan.
- Poole, W. R. and J. D. Reynolds, 1996. Growth rate and age at migration of *Anguilla anguilla*. J. Fish Biol. **48**: 733-642.
- Rossi R. and G. Colombo, 1976. Sex ratio, age and growth of silver eels in two brackish lagoons in the northern Adriatic valli of Comacchio and Valle Nuova. Arch. of Oeanogr. & Lmm **18**: 325-341.
- Sumpter, J. P., 1991. The stress response and its consequences in cultured fish. Bull. Inst. Zool., Acad. Sin., Monogr. **16**: 229-236.
- Tanaka, H., K. Okuzawa, N. Iinuma and K. Hirose, 1997. Artificial induction of maturation and fertilization in the Japanese eel, *Anguilla japonica*. Fish Physiol. Biochem. **17**: 163-169.
- Tzeng, W. N., 1985. Immigration timing and activity rhythms of the eel, *Anguilla japonica*, elvers in the estuary of northern Taiwan, with emphasis on environmental influences. Bull. Jpn. Soc. Fish. Ocean. **47/48**: 11-28.

- Tzeng, W. N., 1996. Short-and long-term fluctuations in catches of elvers of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. (in) Hancock, D. A., D. C., Smith, A. Gant, J. B. Beumer, (eds.), Develoing and sustaining world fisheries resources: The state of science and management. 2nd world fisheries compass proceedings. CSIRO publishing, Victoria, Australia, pp. 11-128.
- Tzeng, W. N., H. R. Lin, C. H. Wang and S. N. Xu, 2000. Differences in size and growth rates of male and female migrating Japanese eels in Pearl River, China. *J. Fish Biol.* **57**: 1245-1253.
- Yamamoto, K., O. Hiroi, T. Hirano and T. Morioka, 1972. Artificial maturation of cultivated male Japanese eels, *Anguilla japonica*, a review. *Int. Revue Gesamten. Hydrobiol.* **75**: 859-860.
- Yamamoto, K. and K. Yamauchi, 1974. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature (London)* **251**: 220-221.
- Yokoyama, H.O., 1960. Studies on the origin, development and seasonal variation in the blood cells of perch, *Perca flavescens*. *J. Wild. Dis.* **6**: 1-102.
- Young, G., K. Kagawa, G. Kamhegawa and Y. Nagahama, 1982. Secretion of aromatizable  $\Delta 4$  androgens by thecal layers during estradiol-17 $\beta$  production by ovarian follicles of amago salmon (*Oncorhynchus rhodurus*) in vitro. *Biomed. Res.* **3**: 659-667.
- 廣瀬 慶二, 2001. うなぎを増やす. 日本栽培漁業協會, 東京. pp. 145.

---

원고접수 : 2003년 9월 9일

수정본 수리 : 2003년 10월 9일

책임편집위원 : 강주찬