

## 육상수조에서 사육한 자주복, *Takifugu rubripes*의 생식주기에 관한 연구

김삼연 · 허상우 · 이치훈 · 허성표 · 이영돈\*

제주대학교 해양과학연구소

### Reproductive cycle of tiger puffer, *Takifugu rubripes* in indoor tank

Sam-Yun Kim, Sang-Woo Hur, Chi-Hoon Lee, Sung-Pyo Hur and Young-Don Lee\*

Marine Science Institute, Jeju National University, Jeju 695-965, Korea

This study investigated gametogenesis, gonadal development, reproductive cycle in cultured *Takifugu rubripes*. Fish at SAJO CS Co., Ltd. 1-3 year old were sampled from July 2003 to June 2004.

The gonadosomatic index (GSI) of male and female reached maximum values of  $11.91 \pm 3.01$  and  $3.23 \pm 2.61$  in April, respectively. The hepatosomatic index (HSI) of male reached a maximum of  $13.80 \pm 1.32$  in May and that of female reached a maximum of  $14.60 \pm 1.08$  in June. The reproductive cycle could be divided into following successive stages in the ovary: growing stage (July to June), mature stage (November to April), and degenerative stage (April to July). Likewise, in the testis, the following stages were observed: growing stage (July to March), mature stage (November to June), spent stage (February to July), and degenerative and recovery stage (May to August).

**Key words** : gametogenesis, gonadal development, reproductive cycle, *Takifugu rubripes*

#### 서론

자주복, *Takifugu rubripes*은 복어목 Tetraodontiformes  
참복과 Tetraodontidae에 속하는 연안성 어류로

서 우리나라 전지역과 일본 홋카이도 이남, 동  
중국해에 분포하고 (정, 1977), 우리나라와 일본  
을 비롯한 동남아시아 지역에서는 식용으로 각  
광받는 어류이다.

자주복의 수요는 급증하고 있으나 연안자원

의 감소로 공급이 부족하여 완전양식에 의한 안정적인 자주복 생산이 시급한 실정이다. 일본에서는 어미관리에 의한 수정란생산과 종묘생산에서 양성에 이르기 까지 자주복의 완전양식이 이루어지고 있으며, 양식산 복어의 생산량은 약 5000톤 전후이다 (反町, 2002). 국내에서는 자주복 수정란 생산이 안 되고 있어 일본에서 수정란을 수입하여, 남해안과 제주도 일부 지역에서 종묘생산과 양성이 되고 있지만 생산량은 80여 톤 전후이다.

일본에서는 자주복의 양식 산업화를 위해 인공수정과 종묘생산 (勝田, 1962)을 시초로 종묘생산과 생산성 향상을 위한 시도 (北田·北島, 1982, 1983)들이 지속되었고, 자주복 어미 성 성숙 제어로 수정란을 생산하는 단계에 이르고 있다. 1, 2월에 조기 산란된 수정란은 100만 엔/kg을 호가하고 있다.

우리나라에서도 1970년에 자연에서 어획된 자주복에서 난과 정자를 확보하여 수정란을 만들고 종묘생산을 시도 (Pyeon and Rho, 1970)한 이래, 자치어 염분내성 (Ko and Rho, 1996)과 소화관 발달 (Kim et al., 2003)등 자치어 사육 생태에 관한 연구들과, 실내에서 사육한 자주복을 대상으로 태반성 성선 자극 호르몬(HCG, human chorionic gonadotropin) 처리에 의한 인공채란 (Yang et al., 1994)등이 수행되었으나, 인공수정란 생산을 위해 자주복의 성 성숙 제어에 관한 산업적인 기술 노하우 축적이 필요한 실정이다.

이 연구는 자주복의 성 성숙 제어를 통한 양질의 수정란 확보를 위한 기초자료의 활용을 위해 사조 CS (주) 제주양식장 육상수조에서 사육하는 자주복의 생식소 중량지수와 간 중량지

수의 월별 변화, 생식소 발달 과정 및 생식주기를 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 실험어

자주복 생식주기 조사를 위한 실험어는 사조 CS (주) 제주양식장 육상수조에서 사육하고 있는 1-3년생 개체들 중에서 2003년 7월부터 2004년 6월까지 매월 7-21마리씩 총 175마리를 조사하였다. 실험어는 실험실로 옮겨 전장과 체중은 0.1 cm와 0.1 g까지 측정 후, 실험어를 해부하고 생식소와 간을 0.01 g까지 측정하여 생식소 중량지수 (gonadosomatic index: GSI)와 간중량지수 (hepatosomatic index: HSI)를 (1), (2)의 식에 의해 계산하였다.

$$GSI = \text{생식소중량} / \text{체중} \times 100 \dots\dots (1)$$

$$HSI = \text{간중량} / \text{체중} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

### 생식세포의 조직학적 관찰

측정 후 생식소와 간은 Bouin's solution에 24시간 고정 하였으며, 고정된 조직은 파라핀 절편법에 의해 5-7 μm 두께로 조직절편을 제작한 후, Hansen's haematoxylin과 0.5% eosin으로 비교 염색하여 현미경하에서 검정하였다.

### 사육환경

사육수조 내의 환경 변화를 조사하기 위하여

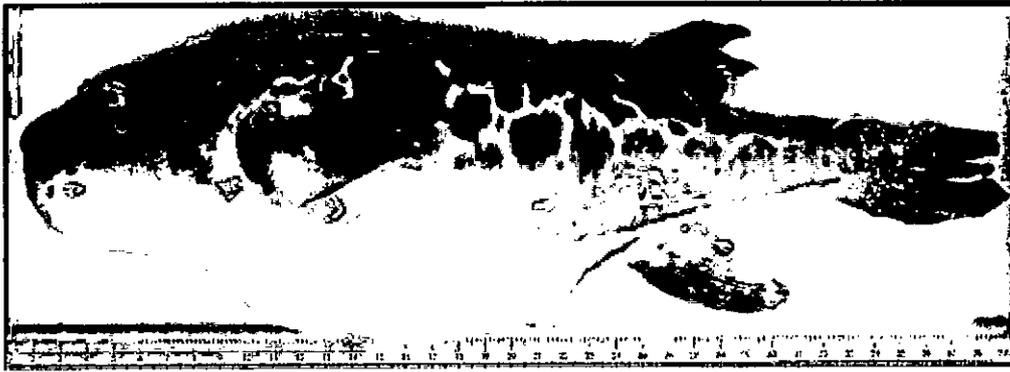


Fig. 1. External feature of the tiger puffer, *Takifugu rubripes*.



Fig. 2. External features of gonad of the tiger puffer, *Takifugu rubripes*. A: male, B: female, TE: testis, OV: ovary, SB: swim bladder, M: muscle. Scale bar= 1 cm.

수온을 주 2회 조사하고, 자연 광주기는 제주기 상대의 기상관측자료를 이용하였다.

란관에 이어 진다. 정소는 한 쌍의 좌우 비대칭으로 일부가 체벽에 부착되어 있고, 성숙이 진행되면서 비후해지고 유백색을 띤다 (Fig. 2).

## 결과

### 생식소 외부형태

자주복은 자웅이체이며, 난소는 체강 동쪽의 척추골을 따라 좌우 한 쌍인 낭상형의 주머니 모양으로 일부가 체벽에 부착되어 있고, 동쪽 체강벽으로부터 난소 간막에 의해 체강 내에 매달려 있으며, 난소 뒤 끝에서 합쳐져 짧은 수

### GSI와 HSI의 월 변화

실내 사육수조의 수온 변화는 8월에 21.3℃에서 9월에 20.3℃로 하강하기 시작하였으나 저수온기인 11월부터 3월까지의 지하해수를 이용하여 최저 수온이 17℃ 전후를 유지하였다. 광주기 변화는 6월 하지일 때 14.4L이었고, 12월 동지 때 9.9L이었다 (Fig. 3).

GSI 월별변화는 수컷의 경우 11월 (수온 18.6℃,

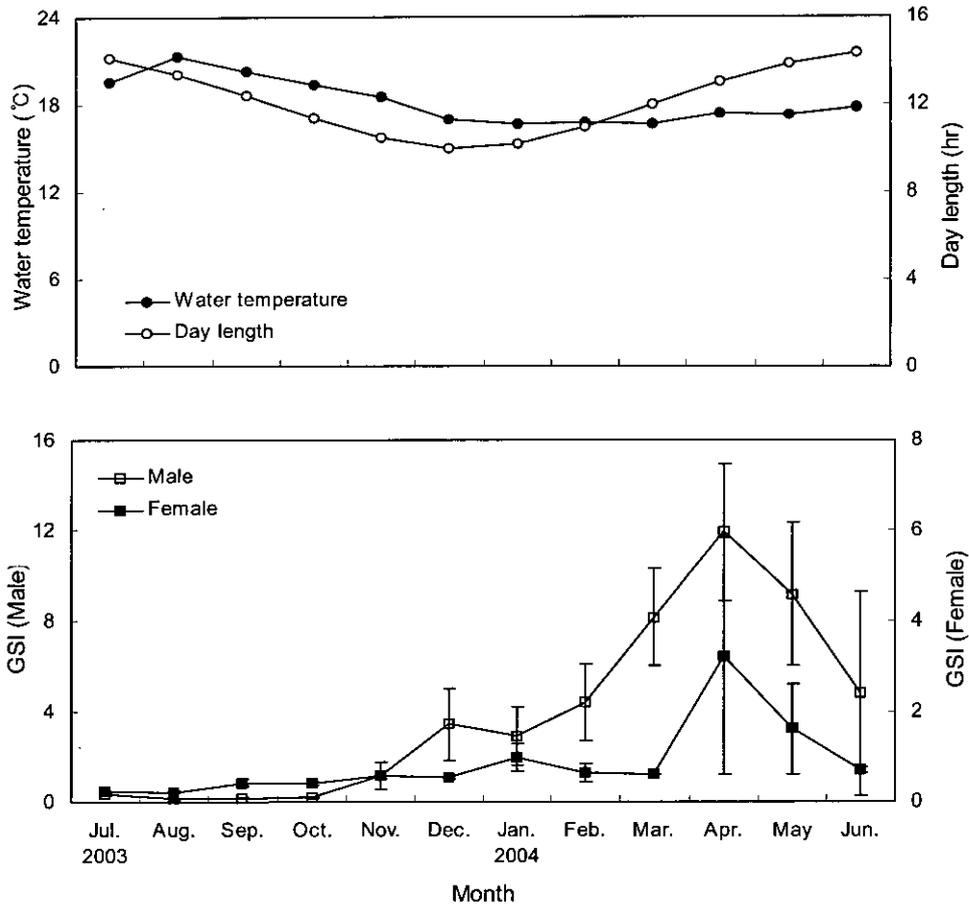


Fig. 3. Monthly changes in water temperature, day length and gonadosomatic index (GSI) of the tiger puffer, *Takifugu rubripes* from July 2003 to June 2004. Vertical bars represent standard error.

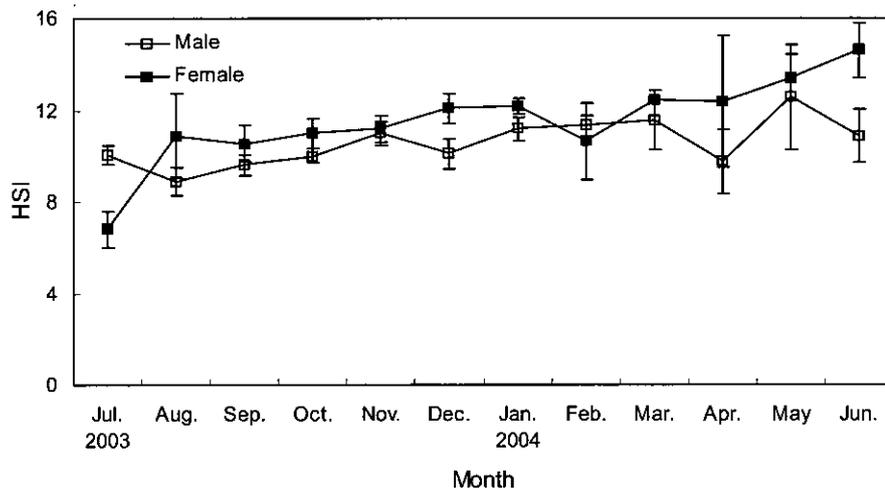


Fig. 4. Monthly changes in hepatosomatic index (HSI) of the tiger puffer, *Takifugu rubripes* from July 2003 to June 2004. Vertical bars represent standard error.

광주기 10.5L/13.5D)에  $1.14 \pm 0.59$ 에서 4월 (수온 17.4°C, 광주기 13L/11D)에  $11.91 \pm 3.01$ 로 최대값이었다. 5월 (수온 17.3°C, 광주기 13.9L/10.1D)에  $9.17 \pm 3.16$ 으로 감소하기 시작하여 고수온기인 8월 (수온 21.3°C, 광주기 13.4L/10.6D)에  $0.17 \pm 0.01$ 로 최저값이었다. 암컷의 경우 수컷과 유사한 경향을 보여 4월에  $3.23 \pm 2.61$ 로 최대값이었고, 5월에  $1.62 \pm 1.00$ 으로 감소하기 시작하여 고수온기인 8월에  $0.21 \pm 0.02$ 로 최저값이었다 (Fig. 3).

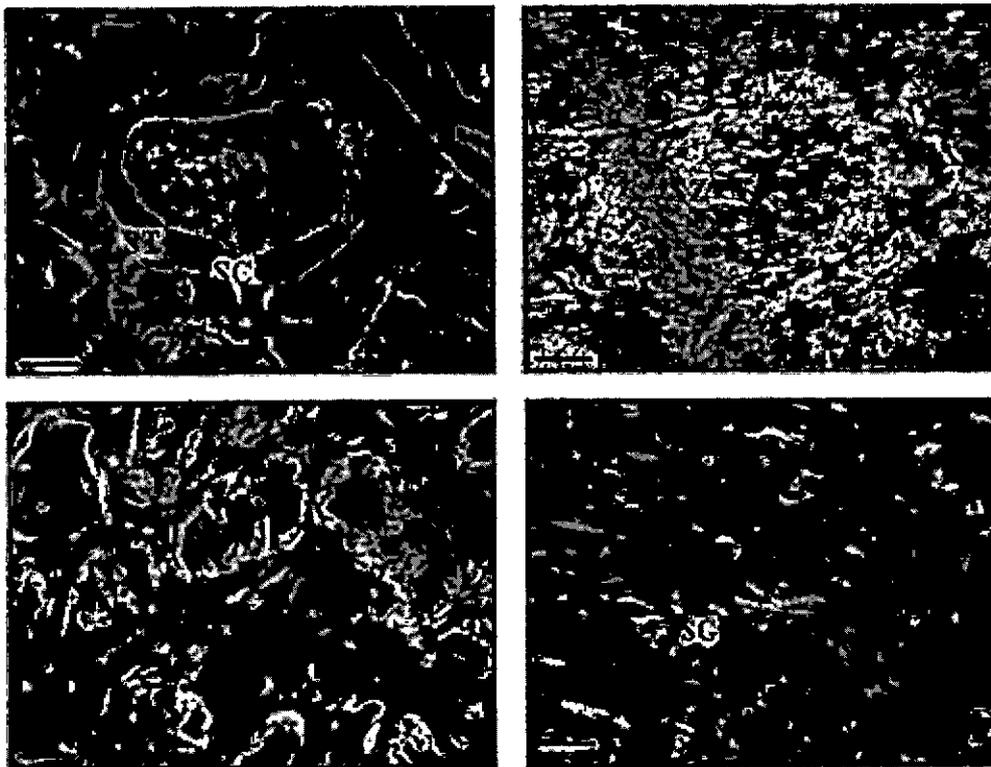
HSI 월별변화는 수컷의 경우 11월  $10.98 \pm 0.54$ 에서 증가하기 시작하여 5월  $13.80 \pm 1.32$ 로 최대값이었고, 6월 (수온 17.8°C, 광주기 14.3L/9.7D)에  $10.87 \pm 1.14$ 로 감소하기 시작하여 8월에  $8.91 \pm$

$0.61$ 로 최저값이었다. 암컷의 경우 4월  $12.38 \pm 2.88$ 에서 증가하기 시작하여 6월  $14.6 \pm 1.08$ 로 최대값이었고, 7월 (수온 19.5°C, 광주기 14.1L/9.9D)에  $6.81 \pm 0.77$ 로 급격히 감소하여 최저값이었다 (Fig. 4).

### 생식세포 형성과정

#### 정소 발달

성장기의 정소에는 소엽상피를 따라 정원세포들이 성숙분열하여, 정소 소엽 내에 정모세포군, 정세포군, 소수의 정자무리가 관찰되었다 (Fig. 5A). 소엽 내에 정세포군이 정자로 변태되



**Fig. 5.** Photomicrographs of testis development of the tiger puffer, *Takifugu rubripes*. A: testis of the growing stage, B: testis of the mature stage, C: testis of the spent stage, D: testis of the degenerative and recovery stage. Scale bar= 50  $\mu$ m. SC: spermatocyte, SG: spermatogonia, ST: spermatid, SZ: spermatozoa.

면서 정자 무리들로 가득 찼고 (Fig. 5B), 2월에 성숙한 일부 개체들의 정소에는 방정 후의 잔존 정자가 분포하였다 (Fig. 5C). 이 후, 7월에 정소의 소엽 상피는 재배치되었고, 소엽상피를 따라 정원세포들이 출현하였다 (Fig. 5D).

#### 난소 발달

성장기의 난소에는 난경이 7-30  $\mu\text{m}$ 의 주변인기 난모세포와 세포질 내에 유구가 형성되어 난경이 75-190  $\mu\text{m}$ 에 달하는 유구기 난모세포들이 분포하였다 (Fig. 6A). 이들 난모세포들이 성숙발달하여 방사선대가 형성되고, 세포질에는

난황구와 유구들이 축적되기 시작하여 난경이 310-450  $\mu\text{m}$ 에 달하였으나 (Fig. 6B), 더 이상 성숙발달하지 않고 퇴행되었다 (Fig. 6D). 그러나 4월 한 개체에서만 방사선대가 두꺼워지고 세포질에 난황을 축적하여 난경이 880  $\mu\text{m}$  전후까지 발달하였다 (Fig. 6C).

#### 생식주기

월별로 조사된 생식소중량지수 (GSI), 난소와 정소의 생식세포 발달단계 및 특징을 조직학적으로 관찰한 결과 자주복의 생식주기는 수컷의

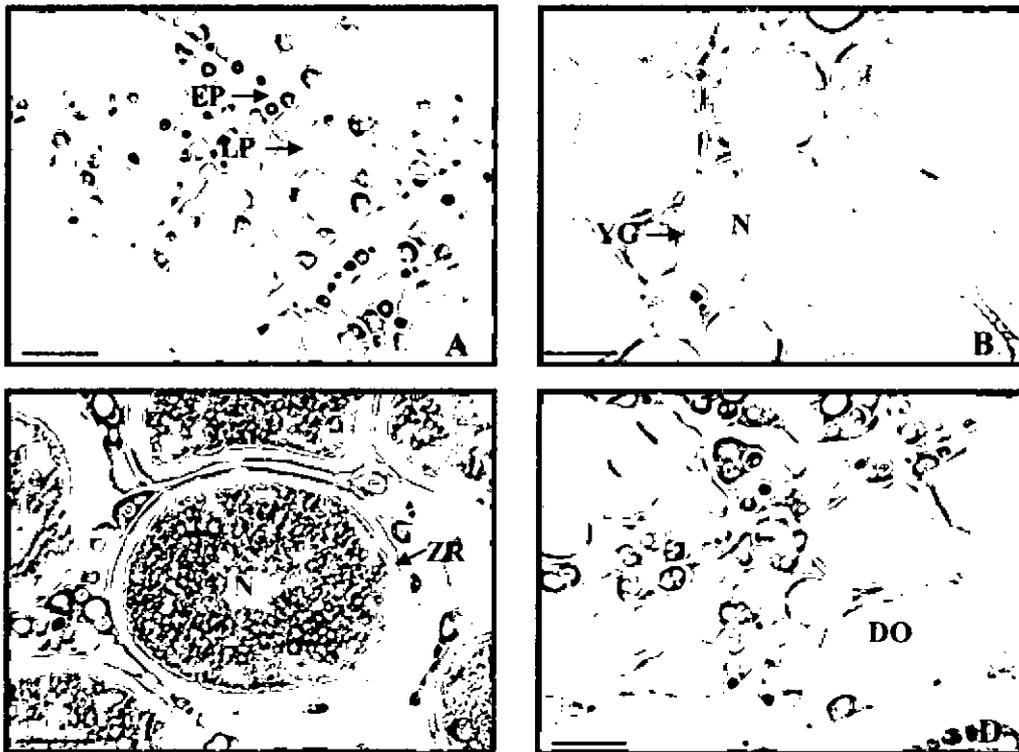


Fig. 6. Photomicrographs of ovary development of the tiger puffer, *Takifugu rubripes*. A: ovary of the growing stage (Scale bar= 140  $\mu\text{m}$ ), B: ovary of early mature stage (Scale bar= 225  $\mu\text{m}$ ), C: ovary of mature stage (Scale bar= 220  $\mu\text{m}$ ), D: ovary of the degenerating stage (Scale bar= 250  $\mu\text{m}$ ). DO: degenerating oocyte, EP: early perinucleolus oocyte, N: nucleus, LP: late perinucleolus oocyte, YG: yolk globules, ZR: zona radiata.

경우, 성장기 (growing stage), 성숙기 (mature stage), 방정기 (spent stage), 퇴행 및 회복기 (degenerative and recovery stage)로 구분되었고, 암컷의 경우, 성장기 (growing stage), 성숙기 (mature stage), 퇴행기 (degenerative stage)로 구분되었다.

성장기 (growing stage): 7월부터 3월까지 정소의 GSI변화는  $0.35 \pm 0.05 - 8.17 \pm 2.16$ 이었고, 수온은  $19.5-16.7^{\circ}\text{C}$ , 광주기는 14.1L/9.9D- 12L/12D범위였다. 정소 소엽 내에는 정모세포군, 정세포군, 그리고 정자무리들이 주로 분포하였다. 7월에서 이듬해 6월 까지 난소의 GSI변화는  $0.22 \pm 0.02-3.83 \pm 3.08$ 이었고, 수온은  $19.5-17.8^{\circ}\text{C}$ , 광주

기는 14.1L/9.9D- 14.3L/9.7D범위였다. 난소 내에는 주변인기 난모세포와 유구기 난모세포들이 분포하였다.

성숙기 (mature stage): 11월부터 6월까지 정소의 GSI변화는  $1.14 \pm 0.59 - 4.78 \pm 4.50$ 이었고, 수온은  $18.6-17.8^{\circ}\text{C}$ , 광주기는 10.5L/13.5D-14L/10D범위였다. 정소 소엽 내에 대부분의 정세포가 정자로 변태되고 소엽들은 비후되었다. 11월에서 4월 까지 난소의 GSI변화는  $0.59 \pm 0.08-3.23 \pm 2.61$ 이었고, 수온은  $18.6-17.4^{\circ}\text{C}$ , 광주기는 10.5L/13.5D-13L/11D범위였다. 난모세포들은 eosin에 짙게 염색되는 방사선대와 세포질에 유구와 난황구

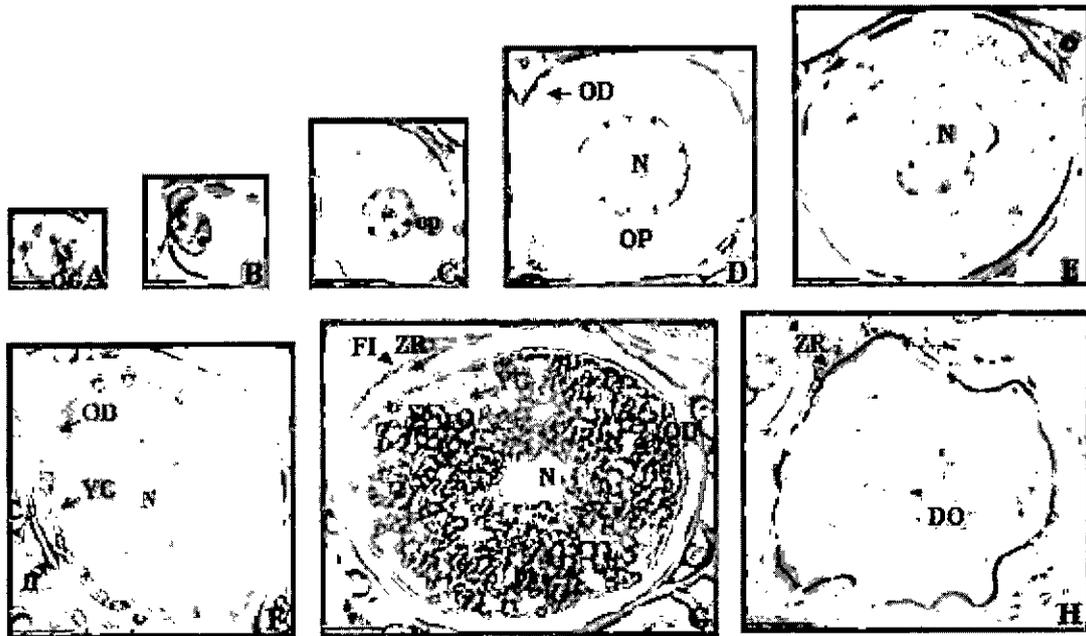


Fig. 7. Photomicrographs of oocyte development of the tiger puffer, *Takifugu rubripes*. A: chromatin-nucleolus stage (Scale bar= 5  $\mu\text{m}$ ), B: peri-nucleolus stage (Scale bar= 15  $\mu\text{m}$ ), C: early oil droplet stage (Scale bar= 40  $\mu\text{m}$ ), D: late oil droplet stage (Scale bar= 50  $\mu\text{m}$ ), E: primary yolk stage (Scale bar= 70  $\mu\text{m}$ ), F: secondary yolk stage (Scale bar= 110  $\mu\text{m}$ ), G: tertiary yolk stage (Scale bar= 130  $\mu\text{m}$ ), H: degenerative stage (Scale bar= 80  $\mu\text{m}$ ) DO : degenerating oocyte, FL : follicle layer, N : nucleus, OD : oil droplet, OG : oogonia, OP : ooplasm, YG : yolk globules, ZR : zona radiata.

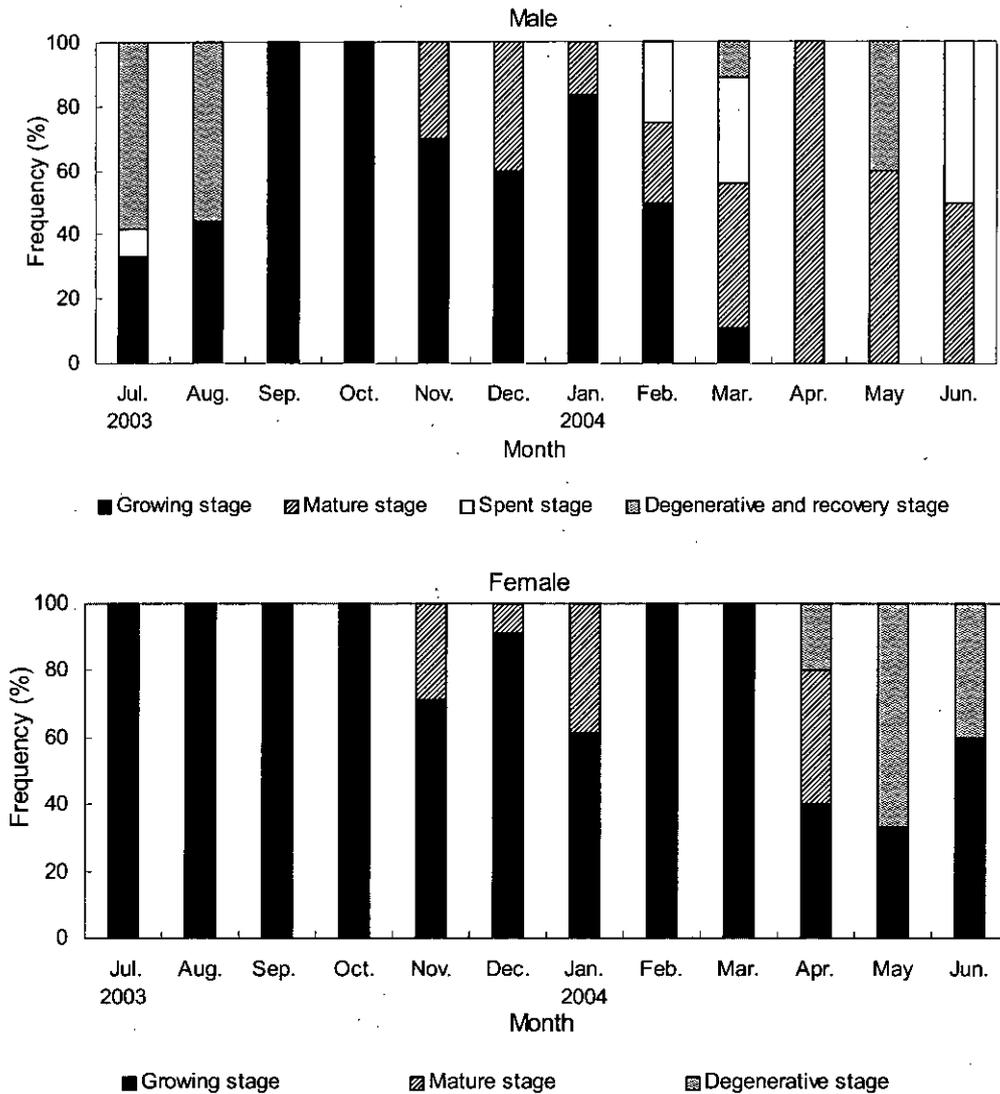


Fig. 8. Monthly changes in frequency distribution of male and female developmental phase of tiger puffer, *Takifugu rubripes* from July 2003 to June 2004.

가 축적되어 난경 310-450  $\mu\text{m}$ 에 달하였으며 이후 성숙발달하여 난경 880  $\mu\text{m}$  전후의 난모세포들이 관찰되었다.

방정기 (spent stage): 2월에서 7월까지 정소의 GSI변화는  $4.39 \pm 1.69 - 0.35 \pm 0.05$ 이었고, 수온은  $16.8-19.5^\circ\text{C}$ , 광주기는 11L/13D-14.1L/9.9D 범위였으며, 변태된 정자들이 정소의 수정세관을 통

해 수정관으로 모여들어 방정을 하였다.

퇴행 및 회복기 (degenerative and recovery stage): 5월에서 8월까지 수컷의 GSI변화는  $9.17 \pm 3.16 - 0.12 \pm 0.03$ 이었고, 수온은  $17.3-21.3^\circ\text{C}$ , 광주기는 13.9L /10.1D-13.4L/10.6D 범위였다. 방정 후 정소 소엽 상피는 위축되고, 소엽 내에 잔존 정자들은 퇴화·흡수되면서 소엽상피를 따라 정원세포

들이 출현하였다. 일부 성숙한 개체들은 3월에 출현하였다.

퇴행기 (degenerative stage): 4월에서 6월까지 난소의 GSI변화는  $3.23 \pm 2.61 - 3.83 \pm 3.08$ 이었고, 수온은  $17.4-17.8^{\circ}\text{C}$ , 광주기는 13L/11D-14.3L/9.7D 범위였으며, 방사선대와 여포세포층이 형성된 성숙한 난모세포들이 퇴화되었다.

### 성비

생식주기 조사기간 동안 채집된 자주복은 총 175마리였으며, 이중 암컷은 70마리이며 수컷은 105마리로  $\chi^2$  검정결과 채집된 암수컷의 성비는 1:1.5 ( $P < 0.05$ )였다 (Table 1).

**Table 1.** Total length and body weight of the tiger puffer, *Takifugu rubripes* from July 2003 to June 2004

Month	Sex	Fish number	TL (cm)	BW (g)
			Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD
Jul. 2003	F	5	22.1 $\pm$ 1.6	161.4 $\pm$ 27.8
	M	16	26.9 $\pm$ 5.8	455.8 $\pm$ 281.3
Aug.	F	5	23.5 $\pm$ 2.3	243.4 $\pm$ 40.2
	M	10	25.3 $\pm$ 2.8	290.2 $\pm$ 77.9
Sep.	F	5	29.5 $\pm$ 4.6	484.0 $\pm$ 215.9
	M	15	27.4 $\pm$ 2.4	379.2 $\pm$ 107.5
Oct.	F	7	30.0 $\pm$ 1.8	538.3 $\pm$ 109.9
	M	10	29.0 $\pm$ 1.9	481.8 $\pm$ 58.7
Nov.	F	7	32.9 $\pm$ 1.7	642.1 $\pm$ 109.3
	M	10	32.1 $\pm$ 3.3	693.1 $\pm$ 212.6
Dec.	F	12	34.5 $\pm$ 2.7	696.7 $\pm$ 111.8
	M	9	34.2 $\pm$ 1.6	735.0 $\pm$ 189.6
Jan. 2004	F	13	34.5 $\pm$ 1.4	839.3 $\pm$ 156.0
	M	6	34.6 $\pm$ 2.5	815.7 $\pm$ 96.5
Feb.	F	2	31.0 $\pm$ 4.2	824.6 $\pm$ 9.7
	M	8	34.3 $\pm$ 2.6	864.1 $\pm$ 273.8
Mar.	F	1	33.0	981.6
	M	9	35.5 $\pm$ 1.6	832.3 $\pm$ 327.8
Apr.	F	5	35.7 $\pm$ 1.3	1011.3 $\pm$ 148.6
	M	5	35.7 $\pm$ 1.3	1001.2 $\pm$ 136.6
May	F	3	35.4 $\pm$ 1.2	1001.0 $\pm$ 154.1
	M	5	35.0 $\pm$ 1.8	936.0 $\pm$ 16.9
Jun.	F	5	35.8 $\pm$ 2.3	1000.5 $\pm$ 111.0
	M	2	34.5 $\pm$ 2.2	808.7 $\pm$ 26.2
Average	F	70	31.5 $\pm$ 2.1	702.0 $\pm$ 99.5
	M	105	32.0 $\pm$ 2.5	691.1 $\pm$ 150.5

BW: body weight, SD: standard deviation, TL: total length.

## 고찰

경골어류의 난소는 생식 수란관의 구조와 연 관하여 나상형 (gynovarian condition)과 낭상형 (cystovarian condition)으로 구분하며 (Hoar, 1957), 낭상형은 난소의 조직학적 특성에 따라 다시 낭상형 I 과 낭상형 II의 두가지로 구분된다 (Takano, 1964, 1989). 자주복의 난소는 좌우 비대칭형으로 난소 실질부의 등 쪽 좌우측에 밀착되어 길게 체축을 따라 커지며 난소 후측 끝부분에서 합쳐져서 수란관으로 연결되어지는 낭상형 I 에 속한다.

경골어류의 정소는 내부 조직학적 구조에 의해 소엽형 (lobule type)과 세관형 (tubule type)으로 구분된다 (Billard et al., 1982). 소엽형의 정소를 가지는 어류로는 자리돔, *Chromis notatus* (Lee and Lee, 1987), 솔종개, *Plotosus lineatus* (Heo, 2002) 등이 있고 세관형의 정소를 가지는 어류로는 볼볼락, *Sebastes thompsoni* (Lee et al., 1998), 동자개, *Pseudobagrus fulvidraco* (Lim and Han, 1997), 날개망둑, *Favonigobius gymnauchen* (Lee et al., 2000) 등이 있다. 자주복 정소의 내부 조직상은 엽상형으로 각각 분리되는 소엽형에 속한다.

어류의 산란리듬 유형을 수온과 빛 등의 환경요인과 관련하여 봄 산란형 (spring spawner), 봄·여름 산란형 (spring-summer spawner), 여름 산란형 (summer spawner), 봄·가을 산란형 (spring-autumn spawner), 가을 산란형 (autumn spawner), 그리고 겨울 산란형 (winter spawner) 등의 6가지 형태로 나누고 있다 (Aida, 1991).

이 연구에서 육상수조에서 사육된 1-3년생 자주복의 생식소 발달 양상은, 수컷의 경우 수온이 하강하고, 일장이 점점 짧아지는 11월부터 활성화되기 시작하여 수온이 상승하고 일장이 길어지는 4월부터 7월 사이에 방정이 이루어졌다. 암컷의 경우 수컷과 유사하게 4월부터 6월까지 난경 880  $\mu\text{m}$  전후의 난모세포 단계까지 발달하였으나 더 이상 발달하지 않고 퇴행되었다. 이러한 결과로 자주복은 봄·여름 산란형으로 생각되며, 산란에 영향을 미치는 환경요인은 수온상승과 광주기의 장일화가 주요한 작용 요인인 것으로 생각되어진다.

봄·여름 산란형 어류에는 그물코쥐치, *Rudarius ercodes* (Lee et al., 1984), 감성돔, *Acanthopagrus schlegeli* (Hwang, 1999), 그리고 말쥐치, *Thammacomus modestus* (Lee et al., 2000) 등이 있다. 말쥐치에서는 수온 상승과 광주기 증가에 의해 산란이 개시되고, 고수온과 광주기 감소에 의해 산란 종료되며 (Lee et al., 2000), 그물코 쥐치에서는 생식소 성숙은 장일주기에 의해 개시되고 여기에 수온이 보상적 역할을 하여 산란에 이른다 (Lee et al., 1984).

어류의 난황단백질은 estrogen에 의하여 간에서 vitellogenin이 합성되어 (Aida et al., 1973) 혈액을 통하여 난 내로 들어와 축적되고 생식 활동에 이용된다 (Mommensen and Walsh, 1988; Wallace and Selman, 1990). 어류에 있어서 생식세포의 발달과 밀접하게 연관되어 변화를 보이는 HSI의 월 변화는 수컷의 경우 GSI가 최고값을 가지는 4월에 HSI값이 감소하였고, 암컷의 경우 GSI의 상승하는 2월에 HSI값이 감소하였다.

자주복의 HSI의 변화양상은 수컷인 경우 이

시기에 정자형성과 방정 그리고 체 에너지 유지에, 암컷의 경우에는 난황물질의 축적과 이용에 관계된 것으로 사료된다. 이러한 변화는 간에서 생식소 발달에 관여하는 난황전구물질의 합성 및 저장시기와 간으로부터 난소에 공급되는 시기의 차이 그리고 각 어종에 따른 서식 습성 및 먹이관계에서 오는 체내영양에너지 축적의 차이에서 오는 것으로 보고하고 있다 (Lee and Lee, 1988).

자주복의 생식주기를 조사한 결과 1-3년생의 자주복에서는 암컷의 경우 방사선대가 형성되고, 세포질 내에 난황구와 유구들이 축적되어 난경 310-450  $\mu\text{m}$ 의 성숙 난모세포들이 발달되었으나, 대부분이 성 성숙에 가입을 하지 못하고 퇴화 되는 경향을 보였지만, 4월 한 개체에서만 방사선대가 두꺼워지고 세포질에 난황을 축적하여 난경이 880  $\mu\text{m}$  전후까지 발달한 성숙난을 관찰할 수 있었으며, 수컷의 경우 변태된 정자들이 무리를 지어 나타나서 기능적 성 성숙에 도달하였다. 이와 유사한 결과는 Yang et al., (1994)이 보고한 만 2년생에서의 수컷은 첫 성숙이 일어나지만, 암컷은 첫 성숙이 일어나지 않는 것과 일치하였다.

3년생 자주복 암컷에서 한 개체를 제외한 대부분 암컷의 난모세포가 퇴화되어 성숙에 가입하지 않는 원인은 생식내분비계의 활성화에 따른 것으로 사료되나 생식 생리적인 측면에서 심도 있는 조사가 요구된다.

### 참고문헌

Aida, K., V. Nagama and T. Hibiya. 1973. Physiological studies on the gonadal maturation of fish. I. sexual difference in composition of plasm protein of ayu in relation to gonadal maturation. Bull. Japan Soc. Sci. Fish., 39, 1091-1106.

Aida, K. 1991. Environmental regulation of reproductive rhythms in teleostei. Bull. Inst. Zool., Academia Sinica, Monograph., 16, 173-187.

Billard, R., A. Fostier, C. Weil and B. Breton. 1982. Endocrine control of spermatogenesis in teleost fish. Can. J. Fish. Aquaculture Sci., 39, 65-79.

Heo, S.I. 2002. Studies on the Reproductive Cycle of the Stripe-Eel Catfish, *Plotosus lineatus* (Thunberg). MS. Thesis, Cheju Nat'l. Univ., 27. (in Korean)

Hoar, W.S. 1957. The gonad and reproduction "The physiology of fishes" (M. E. Brown ed.). Vd. 1. Academic press. New York, 287-321.

Hwang, S.I. 1999. Artificial Control in Sex and Reproductive Cycle of Black Seabream, *Acanthopogon schlegeli*. Ph. D. Thesis Cheju Nat'l. Univ., 97. (in Korean)

Kim, B.W., O.S. Na, C.B. Park, H.B. Go, B.S. Kang, Y.C. Choi and Y.D. Lee. 2003. Development of the Digestive Tract in Tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Dev. Reprod., 7(1), 29-34. (in Korean)

Ko, H.B. and S. Rho. 1996. Low Salinity Tolerance of Eggs and Juveniles of Tiger puffer, *Takifugu rubripes*. Korean J. Aqua., 9(1): 43-55. (in Korean)

Lee, J.S., C.H. An and S.H. Huh. 1998. Reproductive

- Cycle of the Rockfish, *Sebastes thompsoni* (Teleostei: Scorpaenidae). J. Korean Fish. Soc., 31(1), 8-16. (in Korean)
- Lee, S.J., Y.B. Go, Y.D. Lee, J.H. Jung and C.H. Han. 2000. Annual Reproductive cycle of the File Fish, *Thamnaconus modestus*, on the Southern Coast of Cheju Island. Korean J. Ichthyol., 12(1), 71-84. (in Korean)
- Lee, T.Y., I. Hanyu and K. Furukawa. 1984. Effects of photoperiod and Temperature on the Gonadal Activity in Small Filefish, *Rudarius ercodes*. Bull. Korean Fish. Soc., 17(6), 523-528. (in Korean)
- Lee, Y.D. and T.Y. Lee. 1987. Studies on the reproductive cycle of damselfish, *Chromis notatus*. Bull. Korean Fish. Soc., 20, 506-519. (in Korean)
- Lee, Y.D. and T.Y. Lee. 1988. Activity of the Liver and Gonadotrophic cells with Sexual maturation of damselfish, *Chromis notatus*. Bull. Mar. Res. Inst. Cheju Nat. Univ., 12, 73-78. (in Korean)
- Lim, S.K. and C.H. Han. 1997. Annual Reproductive Cycle of the Banded Catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* (Richardson). J. Korean Fish. Soc., 30(5), 823-833. (in Korean)
- Mommsen, T.P. and P.J. Walsh. 1988. Vitellogenesis and oocyte assemble. In Fish physiology, Vol. 11A, W.S. Hoar and D.J. Randall, ed. Academic Press. New York, 347-406.
- Pyen, C.K. and S. Rho. 1970. Breeding of the puffer, *fugu rubripes*. Bull. Korean Fish. Soc., 3(1), 52-64.
- Takano, K. 1964. On the formation and follicular changes in *Lebistes reticulatus*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ., 15, 147-155.
- Takano, K. 1989. Oogenesis and structure of ovary, in "Monographs on aquaculture science vol. 4, Reproductive biology of fish and shellfish: (ed, by Takeshima and Hanyu), Tokyo, 3-34.
- Wallace, R.A. and K. Selman. 1990. Ultrastructure aspects of oogenesis and oocyte growth in fish and amphibians. J. Electron Microsc., 16, 175-201.
- Yang, S.G., Y.D. Lee and C.K. Pyen. 1994. A Study on the Gonadal Maturation and Egg-Stripping by Hormone Treatments of Tiger Puffer, *Takifugu rubripes*. Korean J. Aqua., 11(4), 189-205. (in Korean)
- 藤田失郎. 1962. 日本産主要フグ類の生活史と養殖に関する研究. 長崎縣水産試験場論文集., 2: 13-31.
- 北田哲夫・北島 力. 1982. トラフグの 種苗生産 實驗. 長崎縣水試事報., 57, 238-247.
- 北田哲夫・北島 力. 1983. トラフグの 種苗生産 實驗. 長崎縣水試事報., 58, 170-177.
- 反町稔. 2002. 수산증양식 연구개발의 현황과 앞으로의 방향. 제13회 해양수산자원배양에 관한 연구자 협의회, 2002. 11.7-11. 8, 부산, 한국
- 정문기. 1977. 한국어도보 일지사. 서울, 601-602.