

수온이 줄복 *Takifugu pardalis*의 난발생에 미치는 영향

한경호*, 조재권¹

¹전남대학교 수산해양대학 양식생물학전공, 국립수산물과학원 남해수산연구소

Effect of Water Temperature on the Embryonic Development of Panther Puffer *Takifugu pardalis*

Kyeong-Ho Han* and Jae-Kwon Cho¹

Aquaculture program, College of Fisheries and Ocean Sciences, Chonnam National University, Chonnam 550-749, Korea
¹South Sea Fisheries Reserch Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Chonnam 556-823, Korea

We studied the effects of temperature on the egg development and larvae of *Takifugu pardalis*. The larvae hatched 135-480 hr after fertilization in 13°C-24°C and 32 ppt. The higher the temperature the earlier the larvae hatch within 13°C-24°C. The maximum hatching rate was made in 15°C and 32 ppt. The higher the temperature the larger the newly hatched larvae. The larvae hatched in 24°C were ca. 3.35 mm in total length. Occurrence of the deformed larvae was lower in 13°C-18°C regime and higher over 21°C regime.

Keywords: *Takifugu pardalis*, Korean panther puffer, embryonic development, water temperature

서 론

줄복, *Takifugu pardalis*은 우리나라 전 연안, 일본 홋카이도, 오키나와 및 중국 상하이 등지에 분포한다(Chyung, 1977; Han, 1995; Han and Kim, 1998a, 1998b).

참복과 어류는 우리나라와 일본 등지에서 주로 식용으로 사용되거나 관광 상품으로 이용되고 있어 산업적으로 중요한 수산자원으로 취급되고 있으며, 자주복 *T. rubripes*과 같은 일부 종들은 오래전부터 양식 대상으로 이용되어 왔다.

복어류의 관한 연구로는 외부형태적 특징(Han and Kim, 1998a), 속별 척추골과 담기골 특징(Han and Kim, 1998b), 분류학적 연구(Lee, 1988; Han and Kim, 1998c) 및 등근무늬불룩복(*Spherooides annulatus*)의 형태 및 골격(Han and Jin, 2000) 등이 있으며, 종묘생산 및 양식에 관한 연구는 주로 자주복에 치중되어 있다(Park and Kim, 1991; Rho and Jung, 1993; Kim et al., 1995).

그러나 일부 황복 *T. obscurus* (Jang et al., 1996)과 복섬 *T. niphobles* (Oh et al., 2000; Han et al., 2003)에 대해서 산란습성 및 초기 생활사 등의 연구가 있고, 어류에 있어서 난 발생과 부화에 미치는 수온의 영향에 대해서는 자치어 *Epinephelus bruneus* (Yang et al., 2007) 등이 있으며, 줄복에 대한 연구는 산란습성 및 초기 생활사(Han et al., 2001), 자치어의 소화기관 형태발달(Han and Cho, 2003), 자치어의 골격발달(Han et al., 2005) 등이 있다.

이 연구에서는 줄복의 난 발생 과정에 있어서, 수온의 영향을 규명하였다.

재료 및 방법

실험어

1) 체장 조성

경상남도 통영시 죽도 연안으로 산란을 위해 이동한 어미들을 1997년부터 1999년까지 3년간 매년 3월에서 6월까지 채집방법을 기술하여 산란기간 동안 어미들의 월별 출현 개체수와 암수 출현빈도 및 월별 체장조성 등을 조사하였다.

채란 및 난발생

1) 채란

산란장에서 어미를 채집하여 실내 실험실로 옮겨 수용하고, 이 중 건강한 줄복 어미 암컷과 수컷을 선별하여 인공수정에 사용하였다. 수정은 어미의 복부를 인위적으로 압박하여 추출한 알과 정자를 건식법으로 인공 수정하였다.

인공 수정된 난은 여과용 넷트(망목 100 µm)에 모은 후 준비한 여과해수로 4회 세란하고, 20 L 용량의 플라스틱 수조에 수용하였으며, 사육수에 산소공급기를 설치하여 사육수의 유동 조장 하였다.

난 발생과정 중 사육 수온의 범위는 16.7~18.4°C, 염분은 32.0±0.5 psu를 유지하였고, 사육 조건은 실험실 내에 투명유리

*Corresponding author: aqua05@chonnam.ac.kr

수조(35×50×30 cm)를 설치, 수용하여 사육하면서 발생 과정을 관찰하였고, 사육수는 여과해수를 사용하였으며, 매일 2회 1/2씩 환수하였다. 조도는 전원자동조절장치에 의해 조절된 형광등(40 W)으로 광조건 15시간, 암조건 9시간으로 설정·유지하였다.

2) 난 발생에 미치는 수온의 영향

채집한 졸복 어미의 암수를 이용해 인공 수정시킨 수정란을 대상으로 수온이 난 발생에 있어서 미치는 영향을 조사하였다.

2 L용량의 투명 유리수조에 염분이 32 psu인 여과해수를 채우고, 각 실험수조의 수온을 13, 15, 18, 21, 24°C로 설정하였다. 각 실험수조에는 졸복의 수정란을 1,000개씩 수용하였으며, 산소 공급 장치를 이용하여 해수의 유통을 조정하였다.

각 수온 실험구에 수용된 수정란은 각 조건별 발생속도의 차이를 조사하기 위하여 각 발생 단계별로 8세포기, 상실기, 쿠포 씨포 형성, 심장 형성, 부화로 구분하여 각 발생 단계별 소요시간, 부화시간, 부화율, 부화자어의 평균 전장 및 척추가 만곡된 기형어 발생률을 조사하여 비교 관찰하였다.

난의 각 발생단계의 진행시간 설정은 알에 정액을 첨가한 시간을 기준으로 해당 발생 단계가 전체 난의 50% 정도 진행된 시간으로 하였고, 사육 해수는 매일 2회 환수하였으며, 발생중인 난은 매시간 입체해부현미경(Olympus, SZH-10)과 만능투영기(니콘, V-12BS)를 사용하여 관찰하였다.

통계 처리

모든 실험은 3회 반복으로 실시하였으며, 부화율, 생존율 및 성장률 결과의 통계처리는 ANOVA test를 실시하여 최소 유의차 검정(least significant difference)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결 과

어미의 체장 조성

산란기간 동안 채집한 친어 중 평균 암수의 비율을 3월부터 6월까지 조사한 결과, 암컷이 평균 21.01%, 수컷이 평균 78.99%의 비율로 수컷이 차지하는 비율이 3배 이상 높았으며, 수컷의 출현 비율은 6월에 80%였다(Table 1).

채집된 암컷의 월별 체장 조성은 3월에는 체장이 20~21 cm, 21~22 cm의 개체가 각각 33.3%, 38.1%로 출현빈도가 높게 나타났으며, 4월에는 21~22 cm, 22~23 cm의 개체가 40.6%, 31.3%, 5월에는 22~23 cm, 23~24 cm의 개체가 각각 39.3%, 29.4%로

출현빈도가 높게 나타나 산란 기간 중 시간이 경과함에 따라 출현하는 개체의 크기가 증가하였다(Fig. 1).

수컷의 월별 체장 조성도 3월에는 17~18 cm의 개체가 다수 출현하였으나, 5월에는 18~19 cm 개체의 출현빈도가 가장 높았고, 19~20 cm의 개체의 출현 빈도도 증가하여 시일이 경과 할수록 어미의 크기가 증가하는 것을 알 수 있었다(Table 1).

채집된 암컷의 난소 1 g당 포란 난수는 평균 278개로 나타났고, 체장이 19.6~23.5 cm(평균 21.5 cm)인 성어 암컷은 총 12,426~17,792개의 난을 포란하고 있었으며, 어미의 전장에 비례하여 개체의 크기가 커질수록 포란량이 증가하였다(Fig. 1).

난 발생에 미치는 수온의 영향

졸복의 난발생 과정에 미치는 수온의 영향으로 설정 수온별 각 발생단계에 이르는 시간과 수온별 부화율, 기형어 발생을 및 부화 직후 자어의 전장은 Table 2와 같았다.

수온별 부화율은 13°C에서 93.2±1.5%, 15°C에서 95.4±3.2%, 18°C에서 91.4±2.7%, 21°C에서 90.6±4.3%로 이들 구간사이에 유의적인 차이는 나지 않았으나($P > 0.05$), 15°C구에서의 부화율이 이들 중 가장 높은 경향을 나타내었으며, 수온 24°C구에서는 부화율이 72.6±2.2%로 타 구간에 비해 유의하게 낮은 수치를 나타내었다($P < 0.05$).

또한, 각 실험구에서 부화된 자어에 대한 기형어의 발생율은 13°C구가 4.5±0.5%, 15°C구가 4.3±1.1%, 18°C구가 5.1±0.5%, 21°C구가 6.8±1.9% 그리고 24°C구에서 9.1±2.5%로 24°C구는 21°C구와 비교하여 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 13°C, 15°C,

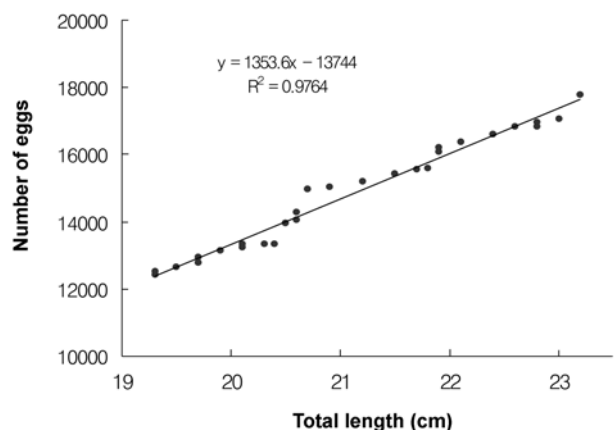


Fig. 1. Relationships between total length of the adult females and number of eggs spawned of wild *T. pardalis*.

Table 1. Monthly changes in frequency of male and female *Takifugu pardalis*

		Month			
		March	April	May	June
Male	Number	78(78.79%)	125(79.62%)	176(77.53%)	24(80.00%)
	Total length(cm)	18.1	18.7	19.3	18.9
Female	Number	21(21.21%)	32(20.38%)	51(22.47%)	6(20.00%)
	Total length(cm)	21.2	21.7	22.3	22.0

Table 2. Egg development and hatching of *Takifugu pardalis* water difference temperature raisines

Developmental stages	Water temperature				
	13°C	15°C	18°C	21°C	24°C
8 cells	05:55hr	04:10hr	03:45hr	03:35hr	03:00hr
Morula	15:50hr	14:40hr	13:35hr	11:00hr	08:15hr
Kupffer's vesicle	85:34hr	75:30hr	70:35hr	65:55hr	46:46hr
Heart beating	191:20hr	110:30hr	108:07hr	107:20hr	93:04hr
Hatching	480:43hr	214:14hr	205:24hr	191:47hr	135:24hr
Hatching rate (%)	93.2±1.5	95.4±3.2	91.4±2.7	90.6±4.3	72.6±2.2
Abnormality (%)	4.5±0.5	4.3±1.1	5.1±0.5	6.8±1.9	9.1±2.5
Larvae size(mm)	2.85±0.22	3.04±0.11	3.07±0.15	3.16±0.24	3.35±0.13

18°C구에 비해 유의하게 높은 값을 보였다($P < 0.05$). 그리고 13°C, 15°C, 18°C 및 21°C 실험구들 사이에서는 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$).

각 수온 구간별에 따른 부화 직후 자어의 전장은 13°C에서 2.85 ± 0.22 mm, 15°C에서 3.04 ± 0.11 mm, 18°C에서 3.07 ± 0.15 mm, 21°C에서 3.16 ± 0.24 mm, 24°C에서 3.35 ± 0.13 mm로, 24°C구는 15°C, 18°C 및 21°C구와 비교하여 유의한 차이가 없었으나($P > 0.05$), 13°C구에 비해서는 높은 값을 나타내었다($P < 0.05$). 그리고 15°C, 18°C 및 21°C구들 사이에서는 차이가 없었으며, 13°C구와도 차이를 나타내지 않았다($P > 0.05$).

수정란은 13~24°C까지의 모든 구간에서 부화가 가능하였으며, 설정 수온별로 수정에서 부화에 이르기까지의 평균 소요시간은 13°C에서 480시간 48분, 15°C에서 214시간 14분, 18°C에서 205시간 24분, 21°C에서 191시간 47분, 24°C에서 135시간 24분의 시간이 소요되어 일반적으로 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다(Fig. 2).

수온에 따른 각 발생 단계별 소요시간을 직선 함수식으로 나타낸 결과 수온(T)과 발생 단계별 소요시간(H)의 관계식은 다음과 같았다.

8세포기: $H = 0.0389T + 0.1343$ ($r^2 = 0.9884$)

상살기: $H = 0.0141T + 0.0503$ ($r^2 = 0.9838$)

이들 관계식을 토대로 Y축이 0일 때 X축에 접하는 수온, 즉 줄복의 초기발생에 있어서 난 발생이 진전되지 않는 생물학적 영도는 5.5°C로 추정되었다.

고 찰

어류에 있어서 산란기간 동안 출현하는 친어의 암수 조성비는 산란 행동의 특성과 관련된 여러 가지 산란 생태와 밀접한 관계를 가지고 있다. 줄복의 산란 개체군의 암수 조성비는 수컷이 평균 78.99%, 암컷이 평균 21.01%로 Fujita (1962)가 보고한 암컷의 16.8%와 비슷한 결과를 보였다. 이러한 결과는 줄복의 산란기간 동안 수컷 여러 마리가 성숙한 암컷과 함께 유영하는 산란 특성과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 보이며, 줄복 성어는 암컷이 수컷보다 큰 경향을 나타내었다.

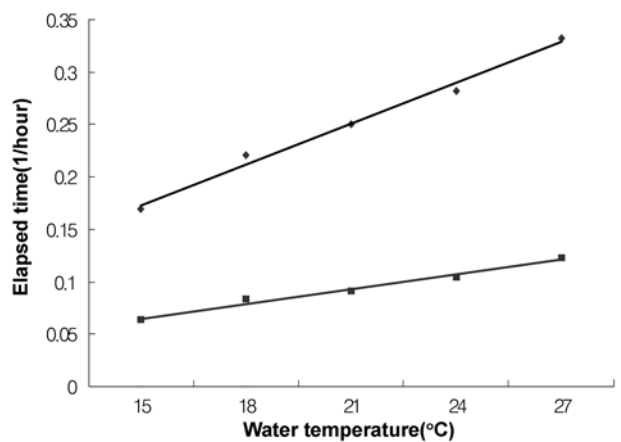


Fig. 2. Correlation between water temperature and time required to each developmental stage after fertilization of *T. pardalis* (■, heart beating: $H = 0.0017T + 0.0037$ ($r^2 = 0.9851$); ◆, hatching stage: $H = 0.0015T + 0.0004$ ($r^2 = 0.9803$); T: water temperature, H: hour).

어류 인공종묘 생산 시 환경 요인 중 수온은 어류의 난발생과 자치어의 발육에 영향을 미치는 가장 중요한 환경적 요인 중의 하나이다(Hokanson et al., 1973; Gunnes, 1979; Herzig and Winkler, 1986). 일반적으로, 낮은 사육 수온은 발생의 속도를 지연시키고, 높은 사육 수온은 발생 속도를 가속화시킨다. 난의 발생이 정상적으로 부화를 시킬 수 있는 서식 수온과 인위적 수온의 범위는 각 어종에 따라 다양하다. 따라서 어류는 각 어종 특유의 생활사와 생태적인 특징에 의존되어 정상적인 발생을 위한 적정 수온 범위를 가지게 된다(Rana, 1990).

이 연구에서, 줄복의 난 발생에 있어서 수온에 따른 각 발생 단계별 소요시간을 직선 함수식으로 나타낸 결과 초기발생에 있어서 난 발생이 진전되지 않는 생물학적 영도의 평균은 5.5°C로 추정되었으며, 수온별 수정에서 부화에 이르기까지의 평균 소요시간은 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다.

부화 직후 자어의 전장은 수온이 낮은 실험구보다 높게 설정된 수온 구간으로 진행될수록 정비례적으로 전장의 크기가 증가하였지만, 수온별 부화율은 수온이 증가할수록 부화율이 점차 감소하는 경향을 보였을 뿐만 아니라 수온이 증가할수록 기형어

발생율도 증가하였다.

수온에 증가함에 따라 부화 시간이 단축되는 현상은 참돔, *Pagrus major* (Apostoiopoulos, 1976), 농어, *Lateolabrax japonicus* (Marangos et al., 1986), 무지개송어, *Oncorhynchus mykiss* (Garside, 1986) 등의 연구에서도 같은 경향을 나타내었고, 그 밖의 많은 어류에서도 보편적인 현상으로 알려져 있다(Kokurewicz; 1969; Yasunaga, 1975a, b; Hassler, 1982).

그러나, 적정 수온범위를 벗어나게 되면 오히려 부화율 및 생존율이 감소하고 기형율은 증가하는 결과를 초래하는데(Lewis, 1965; Alderdice and Forrester, 1968; Katavic, 1980; Herzig and Winkler, 1986)은 부화 최적 수온이 대체로 자연산란 시기의 수온과 일치한다는 의견을 제시하였다. 이 실험에서도 인공 수정 시 자연 해수의 수온과 유사한 수온에서 발생률이 높았고, 이 때 기형어의 출현도 현저히 낮게 나타났다.

출복의 난 발생은 다른 어류와 마찬가지로 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보였고, 부화직후 자어의 전장도 수온이 낮은 실험구보다 높은 실험구로 갈수록 전장의 크기가 증가하였지만, 수온별 부화율은 15°C구와 18°C구에서 높게 나타내었으며, 기형률도 24°C구에서 가장 높게 발생한 결과로 보아 사육환경 설정 시 발생 단계별 소요시간과 부화율 및 생존율을 반드시 고려하여 적정 사육수온을 결정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

요 약

출복 *Takifugu pardalis*의 어미로부터 수정란을 받아 수온이 난 발생에 미치는 영향을 연구하였다.

수정에서 부화에 이르기까지의 평균 소요시간은 13°C-24°C 범위에서 480-135시간이 소요되었으며, 일반적으로 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다. 부화율은 15°C 구간에서 가장 높은 부화율을 나타내었으며, 수온이 증가할수록 부화율은 점차 감소하는 경향을 보였다. 부화직후 자어의 전장은 수온이 높을수록 부화자어 전장의 크기가 증가하였으나, 기형어의 발생율은 13~18°C구간에서는 발생율이 낮았으나, 21°C 구간부터는 수온이 증가할수록 기형어 발생율이 증가하였다.

참고문헌

- Apostolopoulos, J. S., 1976. Combined effect of temperature and salinity on the hatching rate, hatching time and total body length of the newly hatched larvae of the Hapanese red sea bream *Pagrus major*. La Mer. Tokyo., 14, 23-30.
- Alderdice, D. F. and C. R. Forrester, 1968. Some effects of salinity and temperature on early development and survival of the English sole (*Parophrys vetulus*). J. Fish. Res. Bdard Can., 25, 495-521.
- Chyung, M. K., 1977. The Fishes of Korea. Ilji-sa Publishing Co., Seoul, 727pp.
- Fujita, S., 1962. Studies on the life history and culture of common pufferfish in Japan. Nagasaki Pref. Res. Stn. Rep., (2), 121 pp.
- Garside, E. T., 1986. Effects of oxygen in relation to temperature on the development of embryos of brook trout and rainbow trout. J. Fish. Res. Bd. Can. 23(8), 1121-1134.
- Gunnes, K., 1979. Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperatures. Aquaculture., 16, 211-218.
- Han, K. H., 1995. Morphology, osteology and Phylogeny of the Fishes of the family tetraodontidae (Teleostei: Tetraodontiformes), Ph. D. thesis. Natl. Fish. Univ. Pusan., 205 pp.
- Han, K. H. and D. S. Jin, 2000. Morphology and osteology of the Bullseye Puffer, *Sphoeroides annulatus* (Jenyns). Jo. Inst. Basic Sci. Yeosu Nat'l. Univ., 2, 53-62.
- Han, K. H. and J. K. Cho, 2003. Morphological studies on the digestive tracts of the larvae and juveniles of Panther puffer, *Takifugu pardalis*. Jo. Inst. Basic Sci. Res. board Natu. Sci. Yeosu Nat'l. Univ., 5, 119-125.
- Han, K. H. and Y. U. Kim, 1998a. Generic characters of the fishes of the family Tetraodontidae (Teleostei: Tetraodontiformes). J. Kor. Fish. Soc., 31(3), 309-316.
- Han, K. H. and Y. U. Kim, 1998b. Generic characters of vertebrae and pterygiophore of the fishes of the family Tetraodontidae (Teleostei: Tetraodontiformes). Jl. Kor. Fish. Soc., 31(5), 645-653.
- Han, K. H. and Y. U. Kim, 1998c. Taxonomic Revision of the Genus Takifugu (Teleostei: Tetraodontidae) from Korea. Bull. Yeosu Nat'l. Univ., 12(2), 563-589.
- Han, K. H., J. K. Cho, S. H. Lee, D. S. Hwang and D. J. Yoo, 2001. Spawning behavior and early life history of *Takifugu pardalis* (Teleostei: Tetraodontidae) in Korea. Korean J. Ichthyol., 13(3), 181-189.
- Han, K. H., J. K. Cho, S. H. Lee, S. Y. Hwang, S. M. Yoon, W. I. Seo and C. C. Kim, 2005. Osteological development of the larvae and juveniles of *Takifugu pardalis*. Kor. J. Ichthyol., 17(1), 29-35.
- Han, K. H., S. H. Oh and W. I. Seo, 2003. Ostelological development of larvae and juveniles of the Grass Puffer, *Takifugu niphobles*. Kor. J. Ichthyol., 15(3), 193-199.
- Herzig, A. and H. Winkler, 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides mento* and *vimba Vimba*. J. Fish. Biol., 28, 171-181.
- Hokanson, K. E. F., J. H. McCormick and B. R. Jones, 1973. Temperature requirements for embryos and larvae of the northern pike, *Esox lucius* (Linnaeus). Trans. Am. Fish. Soc., 102, 89-100.
- Jang, S. H., H. W. Kang, and H. K. Han, 1996. Embryonic, larvae and juvenile stages in yellow puffer, *Takifugu obscurus*. J. Aquacult., 9(1), 11-18 (in Korean).
- Katavic, I., 1980. Influence of temperature on the development of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) eggs and larvae. Nova Thalas-sia, 4(Suppl.), 113-115.

- Kim, K. S., K. S. Min, Y. D. Kim and Y. J. Chang, 1995. Studies on rearing in tank for young tiger puffer, *Takifugu rubripes*. I. Growth and survival rate of young tiger puffer. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency., 49, 71-79.
- Kokurewicz, B., 1969. The influence of temperature on the embryonic development of the perches: *Perca fluviatilis* L. and *Lucioperca lucioperca* L. Zool. Poloniae., 19, 47-67.
- Lee, J. K., 1988. The artificial seed production of sea bass, *Lateolabrax japonicus*: Spawning season and rearing of larvae and juveniles. M. S. thesis. Nat'l. Fish. Univ. Pusan., 22 pp. (in Korean)
- Lewis, R. M., 1965. The effect of minimum temperature on the survival of larval Atlantic menhaden, *Brevoortia tyrannus*. Trans. Am. Fish. Soc., 94, 409-412.
- Marangos, C. H., H. Yagi and H. J. Ceccaldi, 1986. The role of temperature and salinity on hatching rate and morphogenesis during embryo development in *Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758) (Pisces, Teleostei, Serranidae). Aquaculture., 54, 287-300 (in French).
- Oh, S. H., K. H. Han, Y. M. Kim, H. H. Joung, S. S. Shin and Y. U. Kim, 2000. Spawning behavior and early life history of Grass Puffer, *Takifugu niphobles* (Jordan et Snyder) (Teleostei: Tetraodontidae). Kor. J. Ichthyol., 12(4), 236-243.
- Park, A. J. and Y. U. Kim, 1991. Growth and Osteological development of larval stages of Puffer, *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel) reared in the laboratory. Kor. J. Ichthyol., 3(2), 120-129.
- Rana, K. G., 1990. Influence of incubation temperature on *Oreochromis niloticus* (L.) eggs and fry. I. Gross embryology, temperature tolerance and rates of embryonic development. Aquaculture, 87, 165-181.
- Rho, S. and Y. S. Jung, 1993. Studies on the seed production of the puffer, *Takifugu rubripes* (Temminck et Schlegel). J. Aquacult., 6(4), 295-310 (in Korean).
- Yang, M. H., Y. U. Choi, M. M. Jung, H. D. Gu, B. S. Oh, T. S. Moon, C. H. Lee, K. M. Kim, and S. J. Han, 2007. Temperature effect in egg development and hatching of longtooth grouper, *Epinephelus bruneus*. Dev. Reprod. 11(2), 105-109 (in Korean).
- Yasunaga, Y., 1975a. Effects of water temperature and salinity of the embryonic development of egg and the survival of *Paralichthys olivaceus*. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., No. 81, Mar.; 151-169.
- Yasunaga, Y., 1975b. Environmental factor of marine fish egg and larvae, with respect to water temperature, salinity, dissolved oxygen and hydrogen-ion concentration. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. La b., No. 81, Mar.; 171-183.

원고접수 : 2007년 8월 6일

수정본 수리 : 2007년 11월 22일