

고등어 *Scomber japonicus* 난발생 및 자어에 미치는 수온, 염분의 영향

황형규, 김대현*, 박민우¹, 윤성종², 이운호
국립수산과학원 남해수산연구소, 동해수산연구소, ²양식관리과

Effects of Water Temperature and Salinity on the Egg and Larval of Chub Mackerel *Scomber japonicus*

Hyung-Kyu Hwang, Dae-Hyun Kim*, Min-Woo Park¹, Seong-Jong Yoon² and Yoon- Ho Lee

South Sea Fisheries Research Institute, NFRI, Yeosu 556-906, Korea
¹East Sea Fisheries Research Institute, NFRI, Gangneung 210-861, Korea
²Aquaculture Management Division, NFRI, Busan 619-705, Korea

We studied the effects of temperature and salinity on the egg development and hatching rate of chub mackerel *Scomber japonicus* under laboratory culturing condition. The fertilized eggs were transparent, spherical, separate in shape and turned out to be separately and floated, and they contained one oil globule. Fertilized eggs are 0.91~1.33 mm in diameter. The time of egg development was positively proportional to water temperature with 70 hrs, 48 hrs, 42 hrs, 34 hrs, after fertilization in 16°C, 20°C, 24°C, 28°C, respectively. Hatching rate was highest with the range of 20~24°C and 33~35 psu. The relation between the time of egg development (t: hour) and water temperature (T:°C) was represented by the mathematical formulae. The mean biological minimum temperature was 6.9°C.

Keywords: *Scomber japonicus*, Egg development, Hatching rate, Salinity-temperature effect

서 론

고등어 *Scomber japonicus*는 고등어과(Scombridae)에 속하는 어종으로 한국 연안, 전 세계의 아열대 및 온대 해역의 연안 수 영향을 강하게 받는 대륙붕 해역 표층에서 어군을 형성하며 이동하는 전형적인 부어류이다(Chyung, 1977; Yamada et al., 1996). 고등어과 어류는 전 세계적으로 중요한 상업성 어종이며, 우리나라 연안에는 총 17종이 출현하고, 이 중에서 고등어속 어류에는 고등어와 망치고등어 *S. australasicus* 2종이 분포하는 것으로 알려져 있다(Yoon, 2002). 고등어류의 연구에 관해서는 초기생활사(Watanabe, 1970)와 성숙 및 산란생태에 관한 연구(Yamada et al., 1996, 1998) 등이 있으나, 국내에서는 초기 생활사 및 종묘생산에 관한 기초적인 연구는 없다. 고등어는 초기 성장이 매우 빨라 부화 후 만 1년이면 가랑이 체장이 25~30 cm, 2년에 32~35 cm, 3년에 35 cm 이상으로 성장하는 것으로 알려져 있다(Yamada et al., 1996).

이 연구는 실내수조에서 사육한 고등어의 난 발생 및 자어에 미치는 수온과 염분의 영향에 관하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험어

실험어는 경남 통영 옥지도에서 2005년 9~10월에 정치망에서 어획한 체중 100 g 이상의 미성어를 해상 원형가두리(φ 15~20 m)에서 배합사료와 냉동 크릴새우를 공급하면서 사육한 체장 28.0~34.0 cm, 체중 250~540 g 전후의 성숙어미를 구입하여 사용하였다. 어미는 실내수조 콘크리트 수조(유효수량 20톤)에 수용하여 배합사료를 공급하면서 순치사육 하였다. 모래여과 한 자연해수를 유수식으로 사육하였으며, 사육기간중 수온은 12.2~19.3°C였고, 염분농도는 33.7~33.4 psu 범위였다.

난발생 속도와 부화율

성숙 유도를 위한 호르몬 처리시기의 결정은 생식소속도와 생식소를 조직학적으로 조사하여 생식소속도지수 4이상, 난경 600 μm이상의 성숙 어미가 관찰되는 5월 하순(수온 17 이상)부터 최종 성숙 및 배란 유도를 위해 성숙 촉진관련 호르몬인 LHRHa (des-Gly¹⁰[D-Ala⁶]-luteinizing hormone releasing hormone N-ethylamide, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 체중 kg 당 400 μg을 Freund's incomplete adjuvant에 유화

*Corresponding author: dhjhk@hanmail.net

하여 서서히 체내에 흡수되도록 주사하였다. 수정은 복부가 팽만한 어미를 선별하여 복부 압박으로 추출한 알과 정자를 건식법으로 인공 수정하였다. 수정률은 100개의 알을 대상으로 조사하였으며, 2세포기 단계까지 발생한 알을 수정란으로 판단하였다. 수온이 난발생에 미치는 영향을 조사하기 위하여 2 L 유리 비이커에 염분 35.2 psu인 여과해수를 채우고, 각 실험수조의 수온을 16, 20, 24, 28°C로 설정하였다. 수정란은 각 실험구당 200개씩 수용하여 3반복으로 설정하여 관찰하였다. 수온에 따른 발생속도의 차이를 조사하기 위하여 8세포기, 상실기, Kupffer's포 출현기 및 부화자어기를 기준으로 하였고(Fig. 1), 각 발생 단계별 소요시간, 부화시간, 부화율, 기형어 출현율 등을 관찰하였다. 각 단계별 발생은 입체현미경(Olympus, SZH-10)과 만능투영기(Nikon, V-12A)를 사용하여 광학현미경하에서 관찰하였다. 수정 후 발생단계별 소요시간 산출은 각 발생 단계가 전체 알의 50%를 차지한 시점을 기준으로 하였다. 해수는 매일 2회 30%정도 환수하였다. 수정란의 염분농도별 부화율과 부화시간을 조사하기 위하여 2 L 유리 비이커에 사육수온을 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하면서 염분은 10, 15, 20, 25, 30, 33, 35, 37 psu의 8개 실험구(3반복)로 설정하였다. 수정란은 각 실험구당 200개씩 수용하여 사란 개체수, 부화율, 기형어 출현율 등을 조사하였다.

통계처리

실험결과에 대한 통계처리는 SPSS 통계 패키지(version 9.0)를 이용하여 one-way ANOVA test로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결 과

포란수 및 알의 크기

실험기간동안 고등어 암컷 어미의 포란수를 조사한 결과는 Table

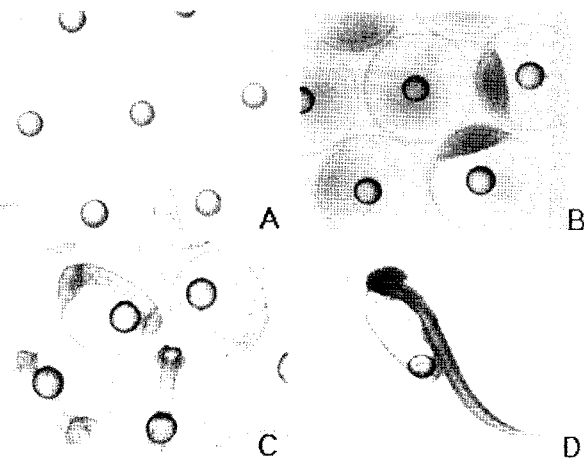


Fig. 1. Each embryonic development stages and hatching larva of chub mackerel *Scomber japonicus*. A. 8-cell stage, B. Morula stage, C. Kupffer's vesicle, D. Newly hatched larva.

Table 1. Composition of fecundity by total length of *Scomber japonicus*

Total length (cm)	Number of eggs ($\times 10^3$)		Number of fish examined
	Range	Mean	
33.0~34.9	129~145	135	4
35.0~36.9	140~183	166	4
37.0~38.0	172~195	186	4

Table 2. Elapsed time (hours) after fertilization of chub mackerel *Scomber japonicus* to distinctive development stages at different water temperature

Development stages	Water temperature			
	16°C	20°C	24°C	28°C
8-Cells	03:42	03:36	01:54	48
Morula	06:12	05:36	04:42	03:54
Kupffer's vesicle	20:36	15:48	13:30	07:48
Hatching	69:36	47:48	41:48	33:30

1과 같았다. 실험어의 전장은 33.0~38.5 cm(평균 35.6 ± 1.6 cm)였고, 포란수는 129,078~195,794개였으며(평균 $162,108 \pm 26,871$ 개), 일반적으로 전장에 비례하여 개체의 크기가 클수록 포란수가 증가하는 경향이였다. 난경은 0.91~1.3 mm(평균 1.13 ± 0.03)였고, 1개의 소형 유구를 갖고 있으며, 난황은 무색 반투명하였다. 10마리의 암컷 중에서 5마리에서 배란이 확인되었으며, 인공수정 한 결과 수정률은 $65.4 \pm 22.3\%$ 로 나타났다.

수온별 발생속도

고등어의 난발생 과정에서 수온별로 각 발생단계에 도달하는 시간은 Table 2와 같았다. 수정에서부터 상실기까지 소요되는 시간은 16°C에서 6시간 12분, 20°C에서 5시간 36분, 24°C에서 4시간 42분, 28°C에서 3시간 54분이 소요되었다. Kupffer's 포 출현기까지의 소요시간은 16°C에서 20시간 36분, 20°C에서 15시간 48분, 24°C에서 13시간 30분, 28°C에서 07시간 48분이 소요되었다. 그리고 수정란은 16~28°C까지의 모든 구간에서 부화가 가능하였으며, 각 수온조건별 부화시까지 평균 소요시간은 16°C에서 69시간 36분, 20°C에서 47시간 48분, 24°C에서 41시간 48분, 28°C에서 33시간 30분이 소요되어 수온이 높을수록 짧아지는 경향이였다.

이상의 결과를 바탕으로 각 발생 단계별 소요시간을 직선함수식으로 나타내어 보면 Fig. 2와 같으며, 수온($T:^\circ\text{C}$)과 발생 단계별 소요시간($t:\text{hour}$)과의 관계식은 다음과 같았다.

$$8\text{세포기}: 1/t = 0.0761T - 1.0427 \quad (r^2 = 0.9918)$$

$$\text{상실기}: 1/t = 0.0089T - 0.0036 \quad (r^2 = 0.9918)$$

$$\text{Kupffer's포 출현기}: 1/t = 0.0062T - 0.0588 \quad (r^2 = 0.8619)$$

$$\text{부화자어기}: 1/t = 0.0021T - 0.0049 \quad (r^2 = 0.9824)$$

이들 관계식을 토대로 Y축의 값이 0일 때 X축에 접하는 수

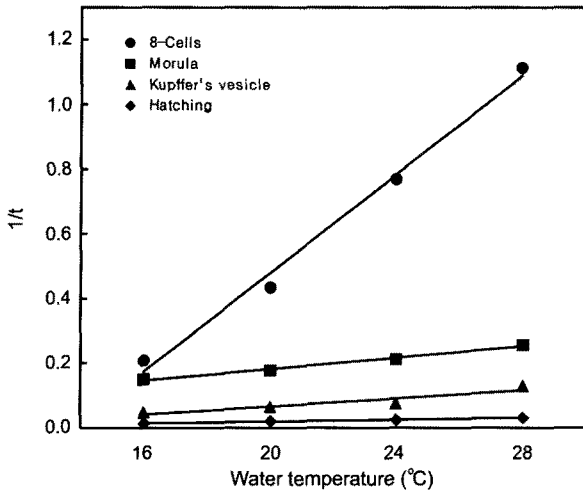


Fig. 2. Relationships between water temperature and time required to each development stages after fertilization of chub mackerel *Scomber japonicus*.

온, 즉 초기발생에 있어서 난발생이 진행되지 않는 생물학적 온도(Biological minimum temperature)는 평균 6.9°C로 추정되었다.

부화율

수온별 고등어 수정란의 부화율 및 기형률(Fig. 3)을 보면, 수온별 부화율은 16°C에서 49.9±4.0%, 20°C에서 82.2±5.3%, 24°C에서 88.7±2.8%, 28°C에서 53.3±7.4%로서 저수온인 16°C구와 고수온인 28°C구에서는 타 구간에 비하여 유의하게 낮은 부화율을 보였으며, 두 구간사이에는 유의차가 나타나지 않았다 (P>0.05). 또한 각 실험구별 부화자어에 대한 기형어의 발생률은 16°C에서 21.7%, 20°C에서 9.8%, 24°C에서 11.7%, 28°C에서 14.7%로서 16°C구에서 가장 높은 값을 보여 다른 시험구와 유의한 차이를 보였고(P<0.05), 20°C에서는 시험구 중에서 가장 낮은 값을 보였다(P<0.05).

염분별 고등어 수정란의 부화율 및 기형률(Fig. 4)을 보면, 염

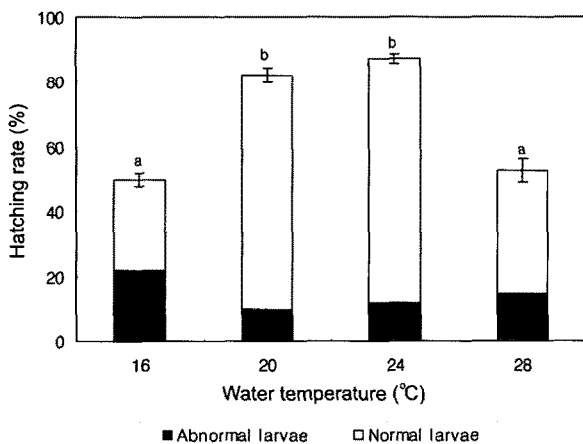


Fig. 3. Hatching rate of chub mackerel *Scomber japonicus* at various water temperature (P<0.05).

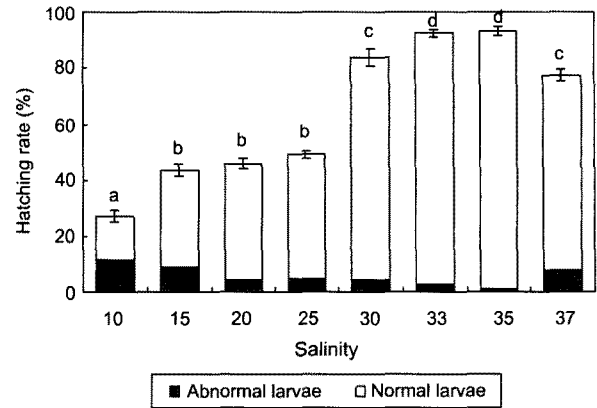


Fig. 4. Hatching rate of chub mackerel *Scomber japonicus* at various salinities (P<0.05).

분별 부화율은 33 psu와 35 psu구에서 각각 90.0±2.6%와 92.3±3.0%로서 다른 실험구에 비하여 유의하게 높았으며(P<0.05), 염분이 낮을수록 부화율은 감소하는 경향이었다. 한편 각 실험구별 부화자어에 대한 기형어의 발생률은 부화율이 저조한 10 psu구에서 11.5%로 15 psu구를 제외한 나머지 실험구에서 보다 유의하게 높았다(P<0.05). 30~35 psu 범위에서는 1.0~3.9%로서 낮은 기형어 발생률을 보였다.

고찰

일반적으로 고등어의 성숙란은 무색투명하고, 구형이며 분리 부성란으로 한 개의 유구를 갖고 있는 것이 특징이다(Watanabe, 1970). 이 연구에 사용한 고등어 수정란의 난경은 0.91~1.33 mm (평균 1.13 mm)로서 Watanabe (1970)와 Meguro (2002)의 보고와 유사하였다. 다른 어종과 비교해 보면, 넙치, *Paralichthys olivaceus*의 난경 0.91±0.04 mm (Rho and Pyen, 1986), 돌돔, *Oplegnathus fasciatus* 0.77~0.98 mm (Kumai, 1984), 붉바리, *Epinephelus akaara* 0.76~0.85 mm (Kayano, 1988)보다 다소 큰 편이었다. 전장 33.0~38.5 cm 고등어 암컷 1마리당 포란수는 129,078~195,794 개였고, 평균 162,108개로서 Dickerson et al. (1992)이 보고한 평균 68,400개와 Yamada et al. (1998)이 보고한 평균 89,200개 보다 많은 포란수가 조사되었다. 이러한 결과는 고등어 어미의 크기와 산란에 따른 난모세포의 방출여부에 따라 포란수에 차이가 있는 것으로 판단된다.

어류의 중요생산과정에서 수온은 어류의 난발생 및 자·치어의 성장과 생존에 영향을 미치는 중요한 환경요인중의 하나로 인식되고 있다(Hokanson et al., 1973; Gunnes, 1979; Herzog and Winkler, 1986). 일반적으로 높은 수온범위에서는 알의 발생속도가 빨라지고, 낮은 수온에서는 발생이 지연되는 경향을 보여주고 있다. 그러므로 어류는 각 어종 특유의 생활사와 생태적인 특징에 따라서 정상적인 발생을 위한 적정 수온 범위를 갖게 된다(Rana, 1990). 이 연구에서 고등어 수정란의 수온별

부화시간을 보면 16°C에서 69시간 36분, 20°C에서 47시간 48분, 24°C에서 41시간 48분, 28°C에서 33시간 30분이 소요되어 수온이 높을수록 발생단계별 소요시간이 짧아지는 경향이었는데, 이러한 결과는 대구 *Gadus macrocephalus* (Forrester and Alderdice, 1986), 돌가자미 *Kareius bicoloratus* (Jun et al., 1999), 흰점독가시치 *Siganus canaliculatus* (Hwang et al., 2001), 졸복 *Takifugu pardalis* (Han and Cho, 2007) 등 많은 어종의 난발생 과정에 있어서 알려진 일반적인 경향이다(Yasunaga, 1975). 이 연구에서 고등어의 난발생 과정에서 생물학적 최저 온도는 평균 6.9°C로 추정되었다.

해산어류의 초기 발생과정에서 적정수온을 벗어나면 부화율 및 생존율이 감소하고 기형률이 증가하는데, 부화에 적합한 수온은 대체로 자연산란 시기의 수온과 일치하는 것으로 보고하였다(Lewis, 1965; Alderdice and Forrester, 1968; Katavic, 1980; Herzig and Winkler, 1986). 이 실험에서도 수온별 난발생에 따른 정상 부화율은 20°C와 24°C에서 각각 82.2%, 88.7%로 높았으며, 저수온 실험구인 16°C와 고수온 시험구인 28°C에서는 50% 내외의 낮은 부화율을 보였다. 특히 20°C구에서 기형률이 9.8%로 가장 낮아 종묘생산시 부화에 적합한 수온조건으로 판단되었으며, 적수온 범위를 벗어난 저수온과 고수온 조건에서는 기형어 발생률이 증가하는 경향이었다.

환경요인 중 염분은 종묘생산 과정중에 자어의 성장과 생존뿐만 아니라 부화율, 자어의 활력, 난황흡수, 먹이효율 등에 영향을 미치고, 특히 알에 있어서 산란, 발생, 부화하는데 염분에 의해 큰 영향을 받는다(Holliday, 1969). 독가시치류의 난발생 과정에서 아주 높은 염분에서는 배 발달의 속도를 증가시키고, 부화시간을 단축시키며, 자어의 전장과 난황용적 그리고 생존율과 부화율을 감소시킨다(Yong and Duenas, 1993). 즉, 높은 염분은 배체의 움직임과 심장박동을 빠르게 증가시키고, 이에 반해서 아주 낮은 염분농도에서는 배체의 움직임과 심장박동이 미약하여 부화율을 감소시키고, 기형어의 출현율을 증가시켰다. 자주복을 대상으로 한 연구에서는 3.5 psu에서 24.7%의 부화율을 보고했는데, 비록 아주 낮은 염분농도에서 부화가 이루어졌다고 하더라도 결국 기형률의 증가나 시간이 경과하면서 부화 자어의 높은 폐사로 이어졌다(Go and Rho, 1996). 이 연구에서도 염분농도가 낮을수록 부화율이 낮고, 고등어의 자연산란 시기의 염분농도 범위인 33~35 psu에서 높은 부화율을 보였으며, 기형어 발생률에 있어서는 가장 낮은 염분농도구인 10 psu와 가장 높은 염분농도구인 37 psu에서 높은 값을 보였다. 일반적으로 고등어는 실내수조 내에서 자연산란이 쉽게 이루어지지 않기 때문에 성숙 및 배란을 유도하기 위하여 HCG 등 성성숙 호르몬을 처리하여 인위적인 산란을 유도하여 왔다(Shiraishi et al., 2005). 이 실험에서도 LHRHa 호르몬을 처리하여 인위적인 성숙을 유도한 후 인공채란을 실시하였기 때문에 수정률 및 부화율이 다소 떨어졌으며, 앞으로 고등어에 적합한 호르몬제 및 적정 호르몬 농도에 대한 구체적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

이상의 결과에서 고등어의 난발생은 일반적인 해산어류에서 마찬가지로 수온이 높을수록 각 발생단계에 이르는 시간이 짧아지는 경향을 보였고, 수온과 염분농도에 따른 부화율은 자연산란시기와 유사한 환경조건에서 양호한 결과를 보였다. 따라서 종묘생산과정에서 수정란의 발생단계별 부화시간과 부화율, 자어의 생존율을 고려하여 적정 사육수온 및 염분농도를 결정하여 최적의 초기 사육환경을 유지하여야 할 것으로 판단된다.

요 약

고등어 *Scomber japonicus*의 종묘생산 및 양식가능성을 조사하기 위하여 난발생에 따른 수온과 염분의 영향을 조사하였다. 수정란의 난경은 0.91~1.33 mm였으며, 1개의 유구를 갖고 있는 구형의 분리부성란이었다. 수정에서 부화에 이르기까지 평균 소요시간은 16°C일 때 약 70시간, 20°C일 때 48시간, 24°C일 때 42시간, 28°C일 때 34시간으로 고수온일수록 빠른 경향이였다. 부화율은 자연해수 조건인 20~24°C와 33~35 psu 범위에서 가장 양호하였다. 난발생의 각 단계에 이르기까지 수온(T: °C)에 따른 발생속도(t: hour)는 수온이 높을수록 빨랐으며, 난발생이 진행되지 않는 생물학적 영도는 평균 6.9°C로 추정되었다.

감사의 글

이 논문은 국립수산물과학원(고등어 양식기술개발, RP-2008-AQ-033)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 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. Bd. Can., 25, 495-521.
- Chyung, M. K., 1977. The Fishes of Korea. Iljisa, Seoul, Korea, pp. 453-454.
- Dickerson, T., B. J. Macewicz and J. R. Hunter, 1992. Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel *Scomber japonicus*. CalCOFI Rep., 33, 130-140.
- Forrester, C. R. and D. F. Alderdice, 1986. Effects of salinity and temperature on embryonic development of the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). J. Fish. Res. Bd. Canada, 23, 319-340.
- Go, H. B., S. Rho, 1996. Low salinity tolerance of eggs and juveniles of tiger puffer, *Takifugu rubripes*. J. Aquacult., 9, 43-55.
- Gunnes, K., 1979. Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperatures. Aquaculture, 16, 211-218.
- Han, K. H., J. K. Cho, 2007. Effect of water temperature on the embryonic development of panther puffer, *Takifugu pardalis*. J. Aquacult., 20(4), 265-269.
- Herzig, A. and H. Winkler, 1986. The influence of temperature on

- the embryonic development of three cyprinid fishes, *Abramis brama*, *Chalcalburnus chalcoides* 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.
- Holliday, F. G. T., 1969. The effects of salinity on the eggs and larvae of teleost. Fish Physiology, Vol. I. Academic Press, New York, pp. 293–310.
- Hwang, H. K., J. U. Lee, S. G. Yang, S. C. Kim, K. M. Kim and S. Rho, 2001. Egg development and morphology of larvae and juveniles of the rabbitfish, *Siganus canaliculatus*. Bull. Nat'l. Fish. Dev. Inst. Korea, 59, 99–106.
- Jun, J. C., C. H. Kim, J. S. Kim, B. K. Kim and S. U. Kim, 1999. Influence of water temperature and salinity on embryonic development of stone flounder, *Kareius bicoloratus*. Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Inst. Korea, 56, 83–90.
- Katavic, I., 1980. Influence of temperature on the development of sea bass, *Dicentrarchus labrax* eggs and larvae. Nova Thalassia, 4, 113–115.
- Kayano, Y., 1988. Development of mouth parts and feeding in the larval and juvenile stage of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Bull. Okayama Pref. Fish. Exp., 3, 55–60.
- Kumai, H., 1984. Biological studies on culture of the Japanese parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. Bull. Fish. Lab. Kinki Univ., 2, 5–10.
- 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.
- 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 C. K. Pyen, 1986. Mass fry production of rock cod, *Epinephelus fario* and flatfish, *Paralichthys olivaceus* Rept. Aquacult. Lab. Coll. Mar. Sci. Technol. Cheju Univ., 3, 20–37.
- Shiraishi, T., K. Ohta, A. Yamaguchi, M. Yoda, H. Chuda and M. Matsuyama, 2005. Reproductive parameters of the chub mackerel, *Scomber japonicus* estimated from HCG-induced final oocyte maturation and ovulation in captivity. Fish. Sci., 71, 531–542.
- Watanabe, T., 1970. Morphology and ecology of early stages of life in Japanese common mackerel, *Scomber japonicus* Houttuyn, with special reference to fluctuation of population of population. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 62, 283 pp.
- Yamada, T., I. Aoki, and I. Mitani, 1998. Spawning time, spawning frequency and fecundity of Japanese chub mackerel, *Scomber japonicus* in the waters around the Izu Islands. Japan. Fish. Res., 38, 83–89.
- Yamada, T., I. Aoki, M. Shiraishi and I. Mitani, 1996. Maturation and spawning of the Japanese chub mackerel, *Scomber japonicus* in the sea area of Izu Island. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 60, 331–338.
- Yasunaga, Y., 1975. Effects of water temperature and salinity of the embryonic development of egg and the survival of *Paralichthys olivaceus*. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 81, Mar.; 151–169.
- Yong, P. S. and C. E. Duenas, 1993. Salinity tolerance of fertilized eggs and yolk-sac larvae of the rabbitfish *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture, 112, 363–377.
- Yoon, C. H., 2002. Fishes of Korea with Pictorial Key and Systematic List. Academy Publ. Co., Seoul, 747 pp.

원고접수 : 2008년 9월 29일

심사완료 : 2008년 10월 22일

수정본 수리 : 2008년 11월 4일