

붉바리 자어의 난황흡수 및 첫 먹이 섭취시기와 관련한 생존 특성

이창규 · 허성범*

국립수산진흥원, *부경대학교 양식학과

Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*

Chang-Kyu Lee and Sung-Bum Hur*

National Fisheries Research and Development Institute, Yangsan-gun, Pusan 619-900, Korea

*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Nam-gu, Pusan 608-737, Korea

Yolk resorption and commencement of external feeding in larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara* were studied to understand the high mortality of larvae.

Consumption of yolk was higher than that of oil globule for the first 24hs after hatching. The resorption rates of yolk and oil globule increased with the increase of temperature. The time yolk was consumed up to 99% was 84hs after hatching in 23~25°C, 72hs at 27°C, and 60hs in 29~31°C, while the time for oil globule was 96hs in 23~25°C, 84hs at 27°C, and 60hs in 29~31°C.

The relationship between mouth opening time (Y) and water temperature (X) was represented as a linear regression, $Y = -2.53X + 118.4$, ($r^2 = 0.89$).

In 72~96hs after hatching, upper jaw sizes of the larvae reached around 0.114 mm. By the time the larvae consumed most of the yolk and oil globule, and started external feeding. The relationship between upper jaw length (Y) and total length (X) was represented as a linear regression, $Y = 0.139X - 0.165$, ($r^2 = 0.88$).

Rotifer was not found in the guts of larvae before 72hs after hatching at 28°C, when larvae resorbed their yolk and oil globule over 99%. But, at 96hs after hatching, about 33% of the larvae had the rotifer in their guts.

Delayed feeding experiments revealed that the earlier food supply within 84hs after hatching showed the better survival rates for the larvae. The larvae fed at 96hs after hatching died all within 120hs.

Key words : Yolk resorption, First feeding, Larval survival, Red spotted grouper

서 론

붉바리는 고가의 어종으로 수요가 매우 많지만 최근들어 국내 어획량은 매년 격감하고 있다. 따라서 붉바리의 종묘생산에 관한 연구는 시급한

과제이다. 붉바리의 인공종묘생산에 관한 연구는 1980년대 초반부터 활발히 시도되었으나(濱本·吉松, 1984; 萱野·尾田, 1986; 野上·福永, 1990; 朴과 高, 1994; 李와 金, 1994; 萱野·水戶, 1995; 卞과 秋, 1996), 아직까지 인공종묘생산

기술은 확립되지 못한 실정이다.

해산어류의 초기 생존률은 난황기의 내부 영양섭취가 완료된 후 외부 영양섭취로 이행하는 단계에서 외부로부터 첫 먹이섭취의 성공 여부에 의해 크게 좌우된다(O'Connell, 1976; Theilacker, 1978; Strussmann and Takashima, 1990). 붐바리 종묘생산시의 낮은 생존률도 자어기 동안의 먹이섭취와 많은 관련이 있는 것으로 알려져 있다(塚島 等, 1983; 福永 等, 1990; 萱野·水戸, 1995). 붐바리 종묘생산시 첫 먹이공급 시기는 자어의 난황 흡수시간 및 외부 영양섭취 시기 등과 같은 붐바리 자어의 특성을 고려하여 결정하는 것이 바람직 할 것이다.

현재까지 붐바리 종묘생산 기술개발에 관한 연구는 많지만 첫 먹이 섭취시기와 관련한 자어의 생존 특성에 관한 연구는 매우 미미한 실정이다. 따라서 붐바리 자어의 난황 흡수와 관련한 외부 영양 섭취시기 파악 및 자어의 생리 특성에 관한 연구는 종묘생산시 자어의 생존률 향상을 위해 중요한 과제라 할 것이다.

본 실험에서는 붐바리 자어의 첫 먹이 섭취시기와 관련한 자어의 특성을 알아보기 위해, 자어의 주 사망 시기인 부화직후부터 약 일주일간의 난황 흡수율, 개구시간, 입크기 변화, 첫 먹이 섭취시기, 먹이공급시기 지연에 따른 생존률 등을 조사하였다.

재료 및 방법

수온별 난황 흡수율 및 개구시간

붐바리 자어의 수온별 난황 흡수율 및 개구시간 조사는 정온 부란기(Sanyo, MIR-252) 및 water-bath를 이용하여 실시하였는데, 수온구간은 23~31°C 까지 2°C 간격으로 5개의 시험구로 구분하였다. 난황 흡수율 조사는 완숙 친어에 어체 1 kg당 약 5,000 IU의 태반 성성숙자극 호르몬(HCG)을 주사하여 얻어진 인공 채란난을 수온 25°C에서 부화시킨 후 부화직후의 자어를 대상으로 조사하였다. 자어는 연안해수를 여과하여

채운 2 ℓ비이커에 200~250마리씩 수용한 후, 조도를 약 1,000 lux, 광주기를 15(L) : 9(D)로 각 수온시험구에서 난황 흡수율 및 개구시간을 조사하였다. 이때 먹이는 공급하지 않았다.

난황 및 유구의 측정 방법은 사육중인 자어를 매 12시간 마다 15 마리씩을 표본추출하여 MS-222로 마취시킨 다음 만능투영기 및 광학현미경 하에서 1 μm 단위까지 측정하였다. 아울러 실험은 각 시험구별로 3반복 실시하였다. 난황 및 유구의 용적은 Blaxter and Hempel (1963)의 방법에 따라 다음의 식으로 계산하였다.

$$\begin{aligned} \text{난황용적} &= \pi/6 \times I h^2 \quad (I : \text{난황장경}, h : \text{난황단경}) \\ \text{유구용적} &= \pi/6 \times d^3 \quad (d : \text{유구경}) \end{aligned}$$

자어의 개구시간 조사는 난황 흡수율 조사와 동일한 방법으로 실시하였고, 개구시간 판정은 자어중 약 80% 이상이 개구된 시점을 기준으로 하였다.

입크기 변화 및 첫 먹이 섭취 시기

친어 사육수조에서 자연 산란된 난을 27.5~29.0°C에서 부화시킨 후, 50 ℓ FRP 수조(dia.30×75 cm)에 여과해수를 채우고 부화 자어를 10개 체/ℓ의 밀도로 사육하였다. 자어의 먹이는 개구 당일 부터 부화후 일주일 까지 태국산 S형 rotifer, *Brachionus plicatilis*를 15개체/ml의 밀도로 공급하고, 여기에 *Nannochloris oculata* (KMCC, C-31)를 200만세포/ml 내외의 농도로 유지 공급하면서 사육하였다. 사육수의 환수는 부화직후부터 3일까지는 지수상태를 유지하였고 그 후 부터는 매일 사육수의 약 30%를 부분 환수하였다. 자어 사육수조에는 소형 에어스톤 1개를 이용하여 미약한 통기를 실시해 주었고, 자어 사육기간중의 수온은 27.2~29.3°C(평균 28.3°C) 였다. 실험 수조수는 총 11개로써 5개는 상악장, 전장 및 첫 먹이 섭취 시기 조사를 위한 자어 표본 추출용으로, 3개는 먹이공급시 자어의 생존률 조사용으로, 나머지는 기아시 자어의 생존률 조사용으로 하였다.

자어의 입크기(d) 변화는 자어의 상악장크기(UJL, upper jaw length)를 기준으로 한 代田(1970)의 방법, $d = \sqrt{2} \times UJL$ 의 식으로 구하였다. 자어의 상악장 및 전장 조사는 부화후 매 12시간 간격으로 하여 10마리 내외의 자어를 각각의 사육수조로 부터 표본 추출하여 MS-222로 마취시킨 후, 광학현미경 또는 만능투영기 하에서 1 μm 단위까지 측정하였다.

자어의 첫 먹이 섭취 시기 조사는 부화후 96시간 이전까지는 매 6시간 마다, 그 이후는 매 12시간 마다 10마리 내외의 자어를 무작위로 표본추출한 다음, 광학현미경하에서 소화관내의 rotifer 유무로써 판정하였다. 아울러 자어의 상악장, 전장 및 첫 먹이 섭취 시기 조사를 위한 표본추출 시간이 서로 중복되는 경우에는 동일한 표본으로 조사하였다.

자어의 생존률 조사는 부화후 매 12시간 마다 먹이공급구 및 기아구의 사육수조 저면을 각각 siphon한 후 사체를 계수하여 각각의 생존 자어수를 역산하여 구하였다.

첫 먹이 공급시기 지연에 따른 생존률

자어의 사육방법은 입크기 변화 조사와 동일한 방법으로 실시하였는데, 자어 사육 기간중의 수온은 27.6~29.8°C(평균 28.4°C)였다. 자어의 생존률 조사는 동일한 시간에 부화된 자어를 60, 72, 84, 96시간씩 각각 절식시킨 후, 첫 먹이로써 태국산 S형 rotifer를 공급하고 그때부터 자어의 생존률을 조사하였다. 자어의 생존률은 자어를 시험수조에 수용한 12시간 후부터 부화후 156시간까지 매 12시간 간격으로 조사하였으며, 각 실험구별로 3반 복하여 자어의 평균 생존률을 구하였다.

실험 결과는 Duncan's multiple range test(Duncan, 1955)로 평균간 차이의 유의성을 검정하였다.

결 과

수온별 난황 흡수 시간 수온 23, 25, 27, 29,

31°C에서 경과시간에 따른 부화자어의 난황과 유구의 흡수율, 그리고 자어의 전장은 Fig. 1과 같다. 난황흡수율의 경우, 부화후 24시간 쯤 자어의 난황용적은 수온 23, 25, 27, 29, 31°C에서 각각 17.5, 15.6, 10.3, 8.7, 7.1%였고, 부화후 48시간 쯤은 각각 2.7, 1.8, 0.6, 0.3, 0.1%로써 부화후 48시간 이내에 95% 이상의 난황이 흡수되었다. 또한 약 99.9%의 난황이 흡수된 시점은 수온 23~25°C에서 부화후 84시간, 27°C에서 부화후 72시간, 29~31°C에서 부화후 60시간으로 나타났다. 자어의 난황 흡수는 수온이 높을수록 빨라지는 경향을 보였다.

부화후 24시간 쯤 자어의 유구용적은 수온 23, 25, 27, 29, 31°C에서 각각 55.1, 49.7, 31.9, 24.2, 20.0%였고, 부화후 48시간 쯤은 각각 23.5, 11.5, 3.5, 0.8, 0.3%로 나타났다. 또한

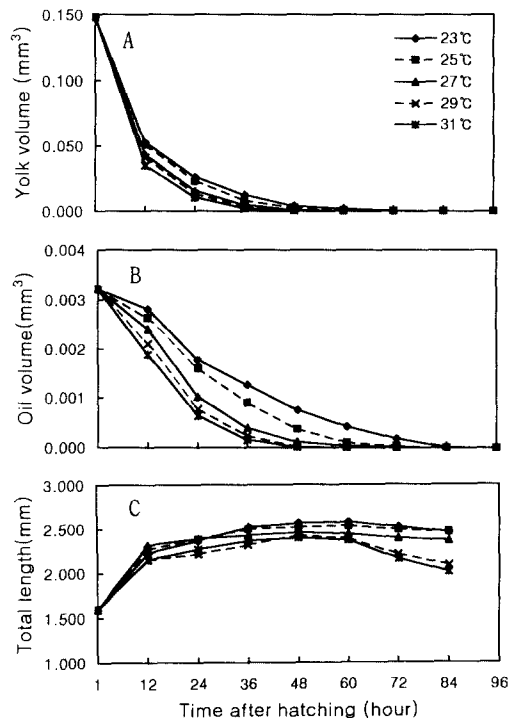


Fig. 1. Resorptions of yolk(A) and oil globule(B), and total length(C) of red spotted grouper larvae depend on different water temperatures.

약 99.9%의 유구가 흡수된 시점은 수온 23~25℃에서 부화후 96시간, 27℃에서 부화후 84시간, 29~31℃에서 부화후 60시간으로 나타났다. 유구의 흡수는 난황과 마찬가지로 수온이 높을 수록 흡수시간도 비례적으로 짧아지는 경향을 보였다. 99.9%의 유구가 흡수되는데 소요된 시간은 난황보다 전반적으로 12시간 정도 낮은 것으로 나타났다. 흡수율에 있어서는 난황의 경우 흡수 초기인 부화후 48시간 이내에 매우 높았으나 유구는 흡수기간 동안 비교적 완만한 것으로 나타났다. 한편 수온 23~31℃에서 난황과 유구가 완전히 흡수된 시간은 부화후 108~72시간이었는데, 이시간은 99.9%의 난황 및 유구 흡수가 이루어진 지 12~24시간 정도 후였다.

수온 23~31℃에서 난황과 유구의 흡수기간 중 자어의 전장은 부화직후 1.593 mm, 부화후 12시간에 2.148~2.318 mm, 부화후 48시간에 2.396~2.566 mm로 증가되었다. 부화후 48~60시간에는 31℃의 경우를 제외하고는 전반적으로 완만한 성장을 보이다가 60시간 이후부터는 정체 또는 서서히 감소되는 경향을 보였다. 자어의 체성장은 모든 실험구에서 부화후 12시간 이내에 가장 높았다.

개구시간 및 입크기 변화

각 수온실험구에서 부화직후의 자어가 개구시 까지 소요된 시간은 각각 63.7±1.3, 52.1±0.7,

47.9±0.5, 44.5±0.9, 42.2±0.8 시간으로 나타났다. 수온(X)에 따른 개구 소요 시간(Y)은 $Y = -2.53X + 118.4$ ($r^2 = 0.89$)의 직선회귀식으로 표시되었다 (Fig. 2).

또한 자어의 상악장은 부화후 96시간까지는 0.112~0.114 mm로써 큰 변화가 없었으나, 부화후 108, 120, 132, 144, 156시간 쯤에는 각각 0.119±0.035, 0.129±0.039, 0.138±0.041, 0.150±0.044, 0.166±0.052 mm로써 자어가 먹이를 섭취하는 부화후 96시간 이후에 상악장이 급격히 증가하였다(Table 1). 이기간에 자어의 전장은 부화후 60, 72, 84, 96시간 쯤 각각 2.11±0.06, 2.03±0.09, 1.98±0.11, 1.98±0.17 mm로써 시간이 경과함에 따라 다소 감소하였다. 부화후 108, 120, 132, 144, 156시간 쯤 자어의 전장은 각각 2.01±0.15, 2.10±0.21, 2.17±0.18,

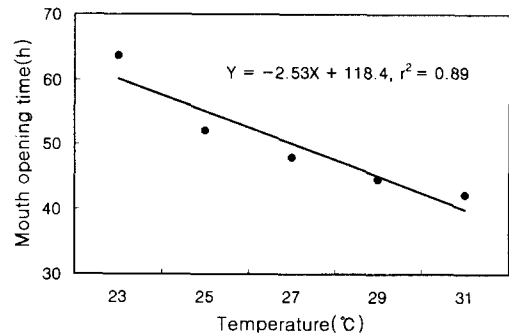


Fig. 2. Mouth opening time after hatching of red spotted grouper larvae depend on different water temperatures.

Table 1. Variations of mouth length of red spotted grouper larvae during the early larval periods

Hours after hatching	Survival rate (%)	Total length (mm)	Upper jaw length (mm)	Calculated mouth length		
				d*	0.75d	0.5d
48	100.0	2.19±0.07				
60	88.5	2.11±0.06	0.112±0.022	0.158	0.119	0.079
72	71.0	2.03±0.09	0.113±0.017	0.160	0.120	0.080
84	66.0	1.98±0.11	0.113±0.030	0.160	0.120	0.080
96	52.3	1.98±0.17	0.114±0.028	0.161	0.121	0.081
108	44.3	2.01±0.15	0.119±0.035	0.168	0.126	0.084
120	33.0	2.10±0.21	0.129±0.039	0.182	0.137	0.091
132	17.8	2.17±0.18	0.138±0.041	0.195	0.146	0.098
144	12.0	2.23±0.23	0.150±0.044	0.212	0.159	0.106
156	9.3	2.38±0.27	0.166±0.052	0.235	0.176	0.117

*: $\sqrt{s} \times$ upper jaw length

2.23±0.23, 2.38±0.27 mm로 나타나, 전장도 상악장과 마찬가지로 부화후 96시간 이후에 증가하였다.

자어의 상악장을 代田(1970)의 방법에 따라 자어의 개구각 90°, 45°, 0°를 각각 100, 50, 0%의 개구율로 가정할 경우 개구율이 75, 50%일 때의 구경은 각각 0.75d, 0.5d로 표시할 수 있다. 따라서 이것을 본실험의 결과에 적용시켜 자어의 먹이 섭취시 구경 d, 0.75d, 0.5d를 구하였다. 부화후 60~144시간까지의 d는 0.158~0.212 mm, 0.75d 일 때는 0.119~0.159 mm, 0.5d일 때는 0.08~0.106 mm로 각각 나타났다.

한편 개구직후 부터 부화후 약 1주일 까지 자어의 전장(X)과 상악장(Y)과의 관계는 $Y=0.139X-0.165$, ($r^2=0.88$)의 식으로 표시되었고, 자어의 일령(X)과 상악장(Y)과의 관계는 $Y=0.0006X+0.0686$, ($r^2=0.85$)로 나타났다.

첫 먹이 섭취 시기

자어의 소화관에서 최초로 rotifer가 발견된 시점은 부화후 72시간이었고 이 때 2.2%의 자어가 먹이를 섭취하였다. 그후 자어의 먹이 섭취율은 시간이 경과하면서 증가되어, 부화후 84, 156시간에 각각 11.9, 92.2%의 자어가 먹이를 섭취하였다(Fig. 3). 자어의 소화관에서 최초로 rotifer가 발견된 부화후 72시간은 자어가 거의 모든 난황을 흡수한 시점이었다. 난황 및 유구를 완전히 흡수한 부화후 96시간 경에는 32.7%의 자어가 rotifer를 섭취한 것으로 조사되었다.

먹이 공급구의 자어 생존률은 부화후 72, 120, 156시간에 각각 71.0, 33.0, 9.3%였으나, 먹이를 공급하지 않은 경우의 자어 생존률은 부화후 72, 120시간 쯤에 각각 68.8, 0.0%로 나타났다. 특히 먹이를 공급하지 않은 경우는 부화후 96시간 쯤부터 자어의 사망률이 급격히 높아지기 시작하여 부화후 120시간까지 전량 사망한 것으로 나타났다. 자어의 전장은 부화후 72, 96, 120, 156시간에 각각 2.03±0.09, 1.98±0.17, 2.10±0.21, 2.38±0.27 mm로써 부화후 96시간 이전

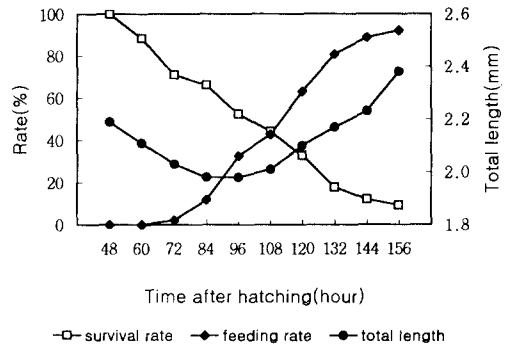


Fig. 3. Feeding and survival rates of red spotted grouper larvae during early larval period.

까지는 감소되는 경향을 보이다가 그 후부터 서서히 증가하기 시작하였다. 50% 내외의 자어가 먹이를 섭취한 시기는 부화후 108~120 시간이었으며, 이때까지의 자어 생존률은 44.3~33.0%였다.

첫 먹이 공급시기 지연에 따른 생존률

자어의 첫 먹이 공급시기를 부화후 60, 72, 84, 96시간으로 구분하여 사육했을 때 부화후 156시간까지 자어의 생존률은 Fig. 4와 같다. 부화후 60, 72, 84시간에 첫 먹이를 공급한 경우 자어의 생존률은 부화후 108시간째 46.5, 24.9, 12.6%, 부화후 132시간째 11.6, 7.2, 2.9%, 부화후 156시간째 6.1, 4.9, 1.2%로 각각 나타났다. 또한 부화후 96시간째 첫 먹이를 공급한

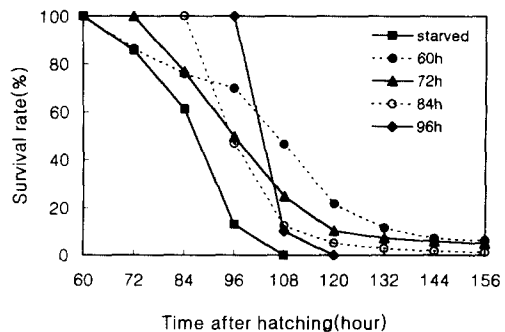


Fig. 4. Survival rates of red spotted grouper larvae with different first feeding times.

경우는 부화후 120시간만에 전량 사망하였다. 한편 먹이를 전연 공급하지 않은 대조구의 경우는 부화후 108시간만에 모두 사망하였다. 따라서 부화후 84시간 이전까지는 첫 먹이의 공급시간이 빠를 수록 자어의 생존률이 높은 것으로 나타났고, 부화후 84시간 이후에 첫 먹이를 공급하는 경우에는 그 이전의 경우와 비교해 볼 때 생존률이 극히 저조한 것으로 나타났다.

본 실험에서 부화후 96시간만에 첫 먹이를 공급한 경우는 자어가 전량 사망하였으나 부화후 84시간 이전에 첫 먹이를 공급한 경우는 자어의 생존이 가능한 것으로 나타났다. 따라서 붕바리 자어의 활력이 떨어져 더이상 먹이를 섭취하지 못하고 사망하게 되는 한계점인 PNR(point of no return)은 부화후 84시간 내외로 추정된다.

고 찰

수온별 난황 및 유구의 흡수 시간

난황이 큰 자어는 난황이 작은 자어와 비교해볼 때 체조직과 난황에 많은 양의 에너지를 보유할 수 있음으로 PNR에 도달하기 전까지 먹이를 섭취할 수 있는 시간적 여유가 많다(Bagarinao, 1986). 또한 첫 먹이 섭취시 자어의 크기가 상대적으로 크기 때문에 유영능력 측면에서도 먹이 섭취 가능성이 높아 생존에 있어 유리하다(Blaxter and Staines, 1971; Hunter, 1981; Quattro and Weeks, 1991). 붕바리 자어의 난황 흡수시간을 이미 보고된 타 어종과 직접 비교하는 것은 자어사육시 수온상의 차이가 있고, 또한 난황흡수 소요시간을 시간 보다는 주로 날짜단위를 사용하였기 때문에 정확하게 비교할 수는 없었다. 그러나 본 실험에서 수온 25~29°C일 때 붕바리 자어가 99% 이상의 난황을 흡수한 시점이 부화후 84~60시간이었던 점으로 보아, 붕바리는 넙치, 참돔, 농어와 같은 온대성 어류보다는 독가시치나 능성어류와 같은 아열대성 어류의(Bagarinao, 1986; Avila and Juario, 1987) 난황흡수 형태와 유사한 것으로 판단된다.

Bagarinao (1986)에 따르면 실험대상어종 중 특히 독가시치는 타 어종에 비해 상대적으로 적은 양의 난황을 보유하면서 난황의 흡수는 빠르게 진행되는 것으로 보고하였는데, 이러한 결과는 붕바리의 경우와 매우 유사한 것으로 생각된다. 붕바리는 특히 부화후 24시간 이내에 90% 내외의 높은 난황 소모율을 보였는데, 이는 독가시치류(May et al., 1974; Westernhagen and Rosenhthal, 1975)와 아주 유사한 결과였다.

한편, 붕바리 자어의 체성장은 난황흡수가 빠르게 진행된 부화후 24시간까지는 급격히 증가하였으나 그 이후에는 완만한 증가 또는 거의 정지상태를 보였다. 또 난황이 대부분 흡수된 48~60시간 이후에는 성장이 감소되기 시작한 것으로 나타나, 이때부터는 체성분이 대사에너지로 이용되는 것으로 판단된다.

어류의 경우 일반적으로 난황보다는 유구가 다소 늦게 흡수된다고 알려져있다(Kuo et al., 1973; Houde et al., 1976). 본 실험에서 부화후 60시간 쯤 자어의 난황과 유구의 용적은 최초 용적의 각각 0~1.3%, 0~13.1%였다. 또한 난황과 유구가 완전히 소모되는데 소요된 시간은 유구의 경우가 난황보다 전반적으로 12시간 정도 늦은 것으로 보아, 유구의 흡수가 난황보다 서서히 일어난 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 난황 흡수기 동안 비교적 늦게 이용되는 것으로 알려져 있는 triglyceride와 깊은 관련이 있을 것으로 추정된다(Yamata et al., 1980; Tochler et al., 1985; Fyhn, 1989; Clyde et al., 1992).

개구시간 및 입크기 변화

본 실험에서 붕바리의 수온별 개구시간은 23~31°C에서 62~42시간이었고 또한 개구시점에서 유구가 완전히 소실될 때까지의 시간은 36~15시간으로 나타났다. 이러한 결과는 萱野·尾田(1989)가 보고한 수온 20~28°C에서의 개구 소요시간 84~46시간과 비교해볼 때 23°C이하의 저수온에서는 본 실험의 개구 소요시간이 다소 짧은 것으로 나타났고 그 외의 구간에서는 비슷한

것으로 나타났다. 또한 萱野·尾田(1989)는 개구에서 유구가 소실될 때까지의 소요시간이 16~11시간이라고 보고하여 본 실험의 결과와는 많은 차이가 있었다. 이러한 원인은 유구의 측정 방법이나 시기 등에 관한 구체적인 설명이 없어 상호 비교하기는 어려우나, 유구의 소실 시점 판단 기준 차이 때문으로 추측된다. 한편, 불바리 자어가 개구된 시점은 난황 및 유구가 각각 99, 95% 정도 흡수된 때였는데, 이시기는 자어의 안색소가 침적되면서 먹이활동을 개시하는 시기임으로 최초 먹이공급의 시점은 이때부터가 적당하리라 판단된다.

평균 수온 28°C에서 부화 직후부터 난황이 완전히 흡수된 부화후 84시간까지의 불바리 자어의 상악장 크기는 0.09~0.113 mm였다. 이것을 代田(1970)의 방법에 따라 계산한 자어의 구경 d 는 0.16 mm, 0.75 d 는 0.12 mm, 0.5 d 는 0.08 mm 내외로 계산되었다. 이러한 결과는 불바리 자어의 먹이 섭취시 구경을 최소 0.5 d 로 가정할 경우 입크기가 0.078~0.120 mm라고 보고한 萱野(1988)의 결과와 비슷한 수치였다. 한편 불바리 자어의 첫 먹이 섭취시 소화관에서 발견된 rotifer의 피갑장 크기는 대부분 100 μ m 이내로써 본 실험에서 먹이로 공급한 S형 rotifer 중 작은 개체만을 섭취했던 것으로 생각된다. 따라서 불바리 자어의 첫 먹이 섭취시 섭취 가능한 먹이의 크기는 약 100 μ m 이하로 추정되며, 자어의 먹이 포획시 개구각을 45°로 고려하더라도 80~100 μ m 크기의 rotifer는 충분히 섭취가 가능하리라 판단된다. 불바리 자어의 입크기는 넙치, 참돔, 감성돔, 은어, 청보리멸과 같은 해산어류의 자어보다 작은 것으로 나타났다(代田, 1970; Bagarinao, 1986).塚島等(1983)에 따르면 청보리멸 난의 크기는 불바리보다 비록 작지만 첫 먹이 섭취시 입크기가 128~156 μ m로써 불바리 자어보다 약간 크고, 따라서 크기가 113~135 μ m인 rotifer를 자어가 원활히 섭취할 수 있어 종묘생산이 가능하였다고 보고하였다.

萱野(1988)는 불바리 자어의 전장이 2.0~4.5

mm일 때 상악장(UJL)과 전장(TL)과의 관계를 $UJL=0.170TL-0.196$, ($r=0.995$)의 식으로 표시하였는데, 본 실험에서는 $UJL=0.139TL-0.165$, ($r^2=0.88$)의 식으로 나타나, 萱野(1988)가 보고한 직선회귀식의 기울기값이 다소 컸다. 이러한 차이는 본 실험에서의 자어 전장이 1.98~2.38 mm일 때의 값이기 때문에 서로 비교하기는 다소 곤란할 것으로 생각된다.

첫 먹이 섭취 시기

대부분의 해산어류는 부화후 난황흡수가 완료되기 이전까지 개구, 안색소 침적 및 소화관 등의 기능이 갖추어 지면서 외부 영양섭취를 하게된다(Umeda and Ochiai, 1975; O'Connell, 1976; Moser et al., 1984). 난황 흡수시 동안의 개구, 안색소 침적, 외부 영양섭취 개시 시기는 종에 따라 다른데, 일반적으로 안색소 침적후부터 난황이 완전히 흡수되기까지는 일정한 시간 간격이 존재하고, 따라서 자어는 이기간 동안 첫 먹이를 섭취함으로써 생존이 가능하게 된다(Theilacker and Dorsey, 1980; Kosutarak and Watanabe, 1984; Klungsoyr et al., 1989).

Bagarinao (1986)는 독가시치의 경우 실질적으로 자어가 먹이를 섭취할 수 있는 시간은 먹이를 섭취하지 못하는 야간을 고려할 때, 약 21시간 정도로써 타 어종에 비해 매우 짧다고 보고하였다. 또한 Avila and Juarío (1987)는 독가시치의 경우 자어의 개구가 부화후 36시간 만에 이루어졌으나 소화관에서 첫 먹이가 발견된 시기는 난황이 완전히 흡수되기 약 12시간 전인 부화후 약 60시간으로 보고하였다. 따라서 자어가 개구되어 비록 외부 영양섭취를 할 수 있는 기능이 갖추어졌더라도 실질적으로 먹이를 섭취하는 시기는 이보다 늦다고 보고하였다. 본 실험의 결과 자어의 개구는 평균수온 28°C에서 부화후 약 46시간만에 이루어졌으나 소화관에서 rotifer가 처음으로 발견된 시간은 개구된지 26시간 후였다. 또한 난황혼적이 부화후 84시간까지 존재하였지만, 이시기는 99% 이상의 난황 및 유구가 흡수된

때였다. 따라서 붉바리 자어의 첫 먹이 섭취 시기까지의 소요시간과 난황흡수율은 독가시치 자어와 비슷한 것으로 생각된다.

부화후 120시간 쯤 생존 자어중 소화관에서 먹이가 발견된 자어는 약 66%에 불과하여 약 33%의 자어가 먹이를 섭취하지 못한 것으로 나타났다. 이러한 원인은 부화후 156시간까지 약 24%의 자어가 추가로 사망한 것을 고려할 때, 자어의 먹이로 공급한 rotifer의 *n*-3계 지방산(Izquierdo et al., 1992; Koven et al., 1992)이나 아미노산(Holm and Walther, 1988)과 같은 영양상의 불균형 또는 자어의 적정 사육환경상의 문제 등과 관련이 있을 것으로 추정되고, 앞으로 이에 대한 연구가 요구된다.

첫 먹이 공급시기 지연에 따른 생존률

해산어류 자어의 생존률은 난황 및 유구 흡수 시기 동안의 첫 먹이섭취 여부와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(福原, 1974; Theilacker, 1978; Avila and Juario, 1987). 난황 및 유구가 완전히 흡수될 때까지 자어가 먹이를 섭취하지 못하면 형태적으로는 체성분이 에너지로 전환되면서 체형의 수축 및 중량의 현저한 감소가 일어난다(Ishibashi, 1974). 또한 조직학적으로는 소화관, 횡장, 간 등의 세포 크기가 작아지고 퇴화되면서, 단백질 함량은 저하되고 수분의 비율은 높아져 결국 이상태가 심화되면서 수일내에 사망하게 된다(Allyn and Alexander, 1985; Theilacker, 1986; Strussmann and Takashima, 1989). Blaxter and Hempel (1963)은 기아시 자어의 성장 한계를 난황 흡수 기간까지라고 보고하였고, Lasker et al. (1970)은 멸치, *Engraulis mordax* 자어의 경우 난황을 흡수한 지 1.5일 이내에 먹이를 섭취하지 못하면 그 후 생존률이 급격히 저하된다고 보고하였다. 渡部 (1971)는 참돔등어, *Scomber japonicus*를 대상으로 한 실험에서 자어의 생존이 가능한 시기를 유구가 존재하는 시기까지라고 보고하였다. 또한 福原(1974)에 따르면 참돔 *Chrysophrys major*

자어의 생존률 향상을 위해서는 난황 및 유구가 완전히 흡수되는 부화후 4일 이전에 첫 먹이를 공급하는 것이 바람직하다고 제시하였다.

Bagarinao (1986)는 독가시치, *Siganus guttatus* 자어를 대상으로 첫 먹이 공급시기 지연에 따른 생존 실험에서 난황이 완전히 흡수된 지 12시간 후에 첫 먹이를 공급한 경우에는 전량 사망하였으나, 난황이 완전히 흡수되기 약 12시간 전에 공급한 경우는 약 50%의 자어가 생존하였다고 보고하였다. 본 실험에서 첫 먹이 공급시기에 따른 붉바리 자어의 생존률은 난황 및 유구의 흔적이 존재하는 부화후 60~72시간에 첫 먹이를 공급한 경우는 자어의 생존률이 거의 일정하게 나타났다. 그러나 난황 및 유구가 완전히 소모된 부화후 84시간 쯤 첫 먹이를 공급한 경우의 생존률은 60~72시간의 경우와 비교해 약 20~25%로 급격히 감소되었다. 또 부화후 96시간의 경우는 부화후 108~120시간만에 자어가 전량 사망한 것으로 나타났다. 따라서 평균수온 28℃ 내외에서 붉바리 종묘생산을 할 경우, 비록 난질과 관련된 부화자어의 영양상태에 따라 다소 차이가 있을 수 있겠으나, 부화후 72시간 이내에 첫 먹이를 공급하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

요 약

붉바리 자어의 생존률 향상을 위한 연구의 일환으로써 자어의 주 사망 시기인 부화 직후부터 약 일주일간 자어의 난황흡수 및 먹이와 관련한 생존 특성 등을 조사하였다.

난황흡수 초기인 부화후 24시간 동안 자어의 난황 및 유구 흡수율은 난황보다는 유구의 경우가 더 높은 것으로 나타났다. 난황 및 유구의 흡수 시간은 수온이 높을수록 짧아지는 경향을 보였다. 수온 23~25℃에서 99% 이상의 난황 및 유구가 흡수된 시점은 부화후 각각 84, 96시간이었고, 27℃에서는 각각 72, 84시간, 29~31℃에서는 공히 부화후 60시간으로 나타났다. 수온 23~31℃의 범위에서 수온(X)에 따른 자어의 개구시(Y)

은 $Y = -2.53X + 118.4$ ($r^2 = 0.89$)의 직선식으로 나타났다.

난황이 대부분 흡수되고 외부 영양섭취를 시작하는 시기 전후인 부화후 72~96시간째 자어의 상악장은 0.113~0.114 mm였으며, 개구후 부터 부화후 1주일까지의 전장(X)과 상악장(Y)과의 관계는 $Y = 0.139X - 0.165$, ($r^2 = 0.88$)의 식으로 나타났다. 자어의 소화관에서 최초로 rotifer가 발견된 때는 부화후 72시간으로써 99% 이상의 난황을 흡수한 시점이었다. 난황 및 유구를 완전히 흡수한 부화후 96시간에는 전체 자어중 약 33%가 먹이를 섭취한 것으로 나타났다. 첫 먹이 공급시기 지연에 따른 자어의 생존률은 부화후 84시간 이전까지는 첫 먹이공급 시기를 빨리할 수록 생존률이 높은 것으로 나타났으나, 부화후 96시간에 첫 먹이를 공급한 경우는 부화후 120시간 쯤까지 모든 자어가 사망한 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Allyn, B. P. and J. C. Alexander, 1985. Morphometric indices of nutritional condition and sensitivity to starvation of spot larvae. Transactions of the American Fisheries Society, 114 : 338-347.
- Avila, E. M. and J. V. Juario, 1987. Yolk and oil globule utilization and developmental morphology of the digestive tract epithelium in larval rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture, 65 : 319-331.
- Bagarinao, T., 1986. Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of three tropical marine fish species reared in the hatchery. Marine Biology, 91 : 449-459.
- Blaxter, J. H. S. and G. Hempel, 1963. The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). J. Cons. Int. Explor. Mer., 28 : 211-244.
- Blaxter, J. H. S. and M. E. Staines, 1971. Food searching potential in marine fish larvae. In : 4th Eur. Mar. Biol. Symp. 467~485pp. Ed. by D. J. Crisp. Cambridge University Press, Cambridge.
- Clyde, S. T., A. Harry and C. S. Lee, 1992. Fatty acid and free amino acid profiles of spawned eggs of stripped mullet, *Mugil cephalus*. Aquaculture, 105 : 83-94.
- Duncan, D. B., 1955. Multiple-range test and multiple F tests. Biometrics, 11 : 42.
- Fyhn, H. J., 1989. First feeding of marine fish larvae : are free amino acids the source of energy?. Aquaculture, 80 : 111-120.
- Holm, J. C. and B. T. Walther, 1988. Free amino acids in live freshwater zooplankton and dry feed : possible importance for first feeding in Atlantic salmon fry (*Salmo salar*). Aquaculture, 71 : 223-234.
- Houd, E. D., S. A. Berkeley, J. J. Klinovsky and R. C. Schekter, 1976. Culture of the larvae of the white mullet, *Mugil curema* Valenciennes. Aquaculture, 8 : 365-370.
- Hunter, J. R., 1981. Feeding ecology and predation of marine fish larvae. In : Marine fish larvae. 34~77pp. Ed. by R. Lasker. Washington Sea Grant Program, Seattle.
- Ishibashi N., 1974. Feeding, starvation and weight changes of early fish larvae. In : The early life history of fish. 339~344 pp. Ed. by O.H.S. Blaxter. New York.
- Izquierdo, M. S., T. Arakawa, T. Takeuchi, R. Haroun and T. Watanabe, 1992. Effect of n-3 HUFA level in *Artemia* on growth of larval Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture, 105 : 73-82.
- Klungsoyr, J., S. Tilseth, S. Wilhelmsen, S. Falk-Petersen and J. R. Sargent, 1989. Fatty acid composition as an indicator of food intake in cod larvae *Gadus morhua* from Lofoten, northern Norway. Marine Biology, 102 : 183-188.
- Kosutarak, P. and T. Watanabe, 1984. Growth and survival of newly hatched larvae of seabass, *Lates calcarifer*, in starved condition. In : Report of Thailand and Japan Joint Coastal Aquaculture Resea-

- rch Project, No. 1 : 81-82.
- Koven, W. M., A. Tandler, G. Wm. Kissil and D. Sklan, 1992. The importance of *n*-3 highly unsaturated fatty acids for growth in larval *Sparus aurata* and their effect on survival, lipid composition and size distribution. *Aquaculture*, 104 : 91-104.
- Kuo, C. M., Z. H. Shehadeh and K. K. Milisen, 1973. A preliminary report on the development, growth and survival of laboratory reared larvae of the grey mullet, *Mugil cephalus*. *L. J. Fish Biol.*, 5 : 459-470.
- Lasker, R., H. M. Feder, G. H. Theilacker and R. C. May, 1970. Feeding, growth and survival of *Engraulis mordax* larvae reared in the laboratory. *Marine Biology*, 5 : 345-353.
- May, R. C., D. Popper and J. P. Mcvey, 1974. Rearing and larval development of *Siganus canaliculatus* (Park) (Pisces : Siganidae). *Micronesica*, 10 : 285-298.
- Moser, H. G., W. J. Richards, D. M. Cohen, M. P. Fahay, A. W. Kendall, Jr. and S. L. Richardson (Eds.), 1984. Ontogeny and systematics of fishes. 760pp. Spec. Publ., No. 1. American Society of Ichthyologists and Herpetologists.
- O'Connell, C. P., 1976. Histological criteria for diagnosing the starving condition in early post yolk sac larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 25 : 285-312.
- Quattro, J. M. and S. C. Weeks, 1991. Correlations between egg size and egg energetic content within and among biotypes of the genus *Poeciliopsis*. *J. Fish Biol.*, 38 : 331-334.
- Strussmann, C. A. and F. Takashima, 1989. PNR, histology and morphology of starved pejerrey, *Odontesthes bonariensis* larvae. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55 : 237-246.
- Strussmann, C. A. and F. Takashima, 1990. Hepatocyte nuclear size and nutritional condition of starved pejerrey, *Odontesthes bonariensis* (Cuvier et Valenciennes). *J. Fish Biol.*, 36 : 59-65.
- Theilacker, G. H., 1978. Effect of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, larvae. *Fish. Bull. U.S.*, 78 : 789-791.
- Theilacker, G. H., 1986. Starvation-induced mortality of young sea-caught jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, determined with histological and morphological methods. *Fish. Bull. U.S.*, 84 : 1-17.
- Theilacker, G. H. and K. Dorsey, 1980. Larval fish diversity, a summary of laboratory and field research. In : Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes, *G. sharp* (Rapp). UNESCO IOC Workshop Report, 28 : 105-142.
- Tochler, D. R., A. J. Fraser, J. R. Sargent and J. C. Gamble, 1985. Fatty acid composition of phospholipids and neutral lipids during embryonic and early larval development in Atlantic herring, *Clupea harengus* L. *Lipids*, 20 : 69-74.
- Umeda, S. and A. Ochiai, 1975. On the histological structure and function of digestive organs of the fed and starved larvae of the yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. *Jap. J. Ichthyol.*, 21 : 213-219.
- Westernhagen, H. V. and H. Rosenthal, 1975. Rearing and spawning siganids (Pisces : Teleostei) in a closed sea water system. *Helgol. Wiss. Meeresunters*, 27 : 1-18.
- Yamada, K., K. Kobayashi and Y. Yone, 1980. Conversion of linolenic acid to *n*3-highly unsaturated fatty acids in marine fishes and rainbow trout. *Bull. Soc. Sci. Fish.*, 46 : 1231-1233.
- 朴 勝·高泰昇, 1994. 붐바리 種苗生産 技術開發試驗. 수진사업보고, 115 : 217-220.
- 卞淳圭·秋 淸, 1996. 붐바리 種苗生産 技術開發試驗. 1995년도 남수연사업보고, 267-272.
- 李昌奎·金相根, 1994. 붐바리 種苗生産 技術開發試驗. 수진사업보고, 114 : 95-100.
- 代田昭彦, 1970. 魚類仔魚期の口徑に 關する研究. *日本誌*, 36(4) : 353-368.
- 渡部泰輔, 1971. マサバの發育初期における形

- 態・生態ならびに資源變動に関する研究. 東海水研報, 62: 1-283.
- 福永恭平・野上欣也・吉田儀弘・浜崎活幸・丸山敬悟, 1990. 日本栽培漁業協會玉野事業場における最近のキジハタ種苗生産量の増大と問題点について. 栽培技研, 19: 33.
- 福原, 1974. 初期の飢餓がマダイ仔魚の生残り, 成長および發育に及ぼす影響について. 南西水研報, 40: 19-29.
- 濱本俊策・吉松定昭, 1984. 渦鞭毛藻類 *Dinophyceae* 2種のキジハタ *Epinephelus akaara* (TEMMINCK et SCHLEGEL) 仔魚への投餌効果. 香水試報, 21: 63-72.
- 野上欣也・福永恭平, 1990. 栽培漁業と新養成技術 - キジハタ種苗生産. 水産の研究, 9巻 6號 (49): 103-109.
- 萱野泰久, 1988. キジハタ仔稚魚の口器の發達と攝餌. 岡山水試報, 3: 55-60.
- 萱野泰久・尾田 正, 1986. 大型水槽を用いたキジハタ仔稚魚の飼育. 岡山水試報, 1: 66-70.
- 萱野泰久・尾田 正, 1989. キジハタの卵發生及びふ化仔魚の發育に及ぼす水温の影響. 岡山水試報, 4: 74-78.
- 萱野泰久・水戸 鼓, 1995. キジハタの種苗生産. 岡山水試報, 10: 209-212.
- 塚島康生・吉田範秋・北島 力・松村清治, 1983. 小形シオミズツワムシお用いたシロギスの種苗生産. 水産増殖, 30(4): 202-210.