



## 부시리 *Seriola lalandi* 종자생산을 위한 생물학적 특성

양상근 · 김정현 · 김효원 · 안철민 · 지승철 · 정민환 · 명정인 · 이영돈\* · 김대중†

국립수산과학원 제주수산연구소(연구원) · \*제주대학교 해양과학연구소(교수)

### Biological Characterization for the Seeding Production of Yellowtail Kingfish, *Seriola lalandi*

Sang-Geun YANG · Jung-Hyun KIM · Hyo-Won KIM · Cheul-Min AN · Seung-Cheol JI · Min-Hwan JEONG · Jeong-In MYEONG · Young-Don LEE · Dae-Jung KIM†

Jeju Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science(researcher) · \*Marine Science Institute, Jeju National University(professor)

#### Abstract

This study aimed to increase the survival rate of yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) larvae. We investigated, from hatching to the breeding period, the growth and survival rate of larvae as well as the survival rate upon starvation, yolk resorption, mouth opening time, and change in mouth size. The survival activity index (SAI) of larvae at water temperatures between 20 and 28°C ranged from 9.2 to 0.9, increasing with low temperatures ( $p < 0.05$ ). Furthermore, the yolk and oil globule resorption time reduced with elevated temperatures. Thus, the time taken to resorb 95% of the yolk was 72 and 84 hours after hatching at water temperatures of 24°C and 20 to 22°C, respectively. The time of onset of larval mouth opening (y) showed a linear relationship with water temperature (x) that may be represented as:  $Y = -12.5X + 82$  ( $r^2 = 0.959$ ). The correlation between the total length (x) and upper jaw length (y) of the larvae also exhibited a linear relationship, from the onset of mouth opening behavior until 96 hours after and at a water temperature of 22°C, expressed as the equation:  $y = 0.069x$  ( $r^2 = 0.778$ ). In addition, 72 hours after hatching, the upper jaw length was  $0.259 \pm 0.039$  mm; rotifer feed was found in the intestinal tract of larvae from this time point on. Moreover, the total length and survival rate (both 60 days after hatching [DAH]), the annual growth rate (AGR), and specific growth rate (SGR) were  $113.79 \pm 14.74$  mm, 9.1%, 18.53 mm per day, and 5.48% per day, respectively. Little growth was observed from hatching to 20 DAH; however, the growth rate gradually increased from 20 DAH, until the larvae rapidly grew post 30 DAH.

**Key words :** Yellowtail kingfish, *Seriola lalandi*, Larvae, Juvenile, Survival activity index, Seeding production

#### I. 서론

우리나라에 서식하는 방어속 (*Seriola spp.*) 어류에는 부시리 (*S. lalandi*), 방어 (*S. quinqueradiata*)

및 잭방어 (*S. dumerili*) 등 3종이 서식하고, 부시리는 우리나라 전 연안에 분포하나 서해에 많고, 잭방어는 서해와 남해안에 많은 편이나 동해안에 도 분포한다. 그러나 부시리와 잭방어는 그 양이

† Corresponding author : 064-780-5420, djkim4128@korea.kr

\* 본 연구는 국립수산과학원의 지원(R2018007)에 의해 운영되었음.

많지 않다(Kim et al., 2001). 또한 부시리는 우리나라뿐만 아니라 일본, 중국 등 전 세계의 온대 수역에 분포한다(Kim et al., 2005).

우리나라의 방어류 양식은 1968년부터 치어 채포와 사육 시험을 시작하였고, 1980년대에는 일본 수출을 위한 치어의 수집과 중간 육성이 활발해지며 현재 우리나라 가두리 양식의 시초가 되어 왔다. 그러나 방어류 양식을 위한 국내연구로는 부시리를 대상으로 육상수조에서 자연산란을 통한 수정란 생산(Yang et al., 2016b) 및 난발생과 자치어의 형태 발달한 보고가 있을 뿐이며(Yang et al., 2016a), 인공 종자생산에 대한 연구는 없는 실정이다. 또한 부시리는 다른 어류에 비해 성장이 빠른 이점을 갖고 있어(Kolkovski and Sakakura, 2004), 외해 가두리 양식어종으로 적합하여 양식품종으로 개발이 필요한 실정이다.

일본에서는 방어, 부시리 및 잿방어 3종이 양식되고 있으며(Nakada, 1999), 1979년부터 1998년까지 일본에서 매년 15만 톤의 방어가 생산되고 있다(Nakada, 1999). 방어 양식은 일본의 어류총양식생산량의 70%에 달한다(Honma, 1993). 그러나 부시리에 관한 연구로는 난 발생 및 자치어의 형태 발달에 관한 연구(Fugita & Yogata, 1984)가 보고되고 있다.

호주, 뉴질랜드 및 캘리포니아에서 부시리의 산란 및 종자생산에 대한 보고가 있으나 종자단계까지의 생존율이 낮은 것으로 보고되고 있다(Kolkovski & Sakakura, 2004; Chen et al., 2006; Stuart & Drawbridge, 2013).

따라서 부시리 종자생산시 자어의 생존율 향상을 위해 자어의 난황 흡수와 관련한 외부 영양 섭취시기 파악 및 자어의 생리 특성 파악이 중요한 과제라고 할 것이다. 또한 종자생산 기간 동안 성장 단계에 따른 먹이 종류 및 공급시기가 자치어의 성장 및 생존율에 영향을 미치며 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 부시리 자어의 초기 생존율 향상을 목적으로 첫 먹이공급시기를 파악하기 위하

여 난황 흡수율, 개구시간 및 입 크기 변화 그리고 절식에 따른 수온별 자어의 생존율을 조사하였고, 더불어 종자생산기간동안 먹이 종류에 따른 공급시기를 파악하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 절식에 따른 수온별 자어 생존율 조사

절식시 자어의 생존율 실험은 수온 20~28℃ 범위에서 2℃ 간격으로 5개의 실험구로 설정하였으며, multi-chamber incubator와 water-bath를 이용하여 생존율을 조사하였다. 자연산란한 수정란을 수온 20.0℃에서 부화시킨 자어를 대상으로 각 시험구당 2 l 비이커를 3개씩 설치하여 3반복으로 조사하였고, 각 100마리씩 수용하여 전 개체가 폐사할 때까지 폐사한 개체수를 개수한 후 이를 계산하였다.

12시간 간격으로 동일 수온의 해수로 50%씩 환수하여 수질환경을 유지하였고, 조도는 800 lux, 광주기를 24 Light/0 Dark로 하였다. 생존율은 수조 저면에 폐사한 개체를 siphon으로 수거 후 계수하여 조사하였고, 자어의 절식 생존지수(SAI, survival activity index)는 다음의 식으로 구하였다.

$$SAI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (N - hi) \times i$$

여기서, N는 자어 수, hi는 i일째까지의 누적 사망 자어 수, k는 자어가 모두 사망할 때까지의 일수이다.

### 2. 수온별 난황 및 유구 흡수율

수온별 자어의 난황 및 유구 흡수율은 절식시 자어의 생존 실험에서 생존율이 낮은 28℃를 제외하였고, 수온 20~26℃ 범위에서 2℃ 간격으로 4개의 실험구로 구분하여 3반복 조사하였다. 자어의 수용, 환수, 조도 및 광주기는 절식시 자어

의 생존 시험과 동일하게 조절하여 각 수온 실험 구에서 난황 및 유구 흡수율을 조사하였다. 이때 먹이는 공급하지 않았다.

난황 및 유구의 측정 방법은 사육중인 자어를 12시간마다 10마리씩 표본 추출하여 MS-222 (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)로 마취시킨 다음 입체해부현미경(Nikon, SMZ 745T) 하에서 1 mm 단위까지 측정하였다. 난황 및 유구의 용적은 Blaxter & Hempel (1963)의 방법에 따라 각각  $\pi/6 \times Ih^2$  (I : 난황장경, h : 난황단경),  $\pi/6 \times d^3$  (d : 유구경)의 식으로 구하였다.

### 3. 개구시간 및 입 크기 변화

자어의 개구시간 및 입 크기 조사는 수온별 난황 흡수율 실험에서 생존율이 낮은 26°C를 제외한 수온 20~24°C 범위에서 2°C 간격으로 3개의 실험구로 구분하여 3반복 조사하였고, 이때 먹이는 공급하지 않았다. 개구시간 판정은 자어중 약 90% 이상이 개구된 시점을 기준으로 하였다. 자어의 입 크기(d) 변화는 수온 22°C에서 자어의 상악장 크기(UJL, upper jaw length)를 기준으로 한 shirota (1970)의 방법에 따라  $d = \sqrt{2 \times UJL}$ 의 식으로 구하였다.

### 4. 종자생산

#### 1) 사육환경

종자생산은 육상 실내수조에서 자연산란한 수정란 320천개를 2014년 5월 30일에 실내 육상수조(5.5 m × 5.0 m × 1.3 m, 수량 27.5 m<sup>3</sup>)에 수용하였고, 부화후 12일째에 같은 크기의 수조에 분조하여 사육하였다. 사육수는 고압여과한 자연해수를 0~4.5회전되게 점차 증가하였고, 부화 8일째부터는 유막제거 장치를 설치하여 표면에 유막을 제거하였다. 또한 수질 안정을 위한 green water로 DHA·EPA가 함유된 super fresh chlorella (Chlorella co., Japan)를 첨가하였고 더불어 사육수조의 수질관리를 위하여 PRO-W (INVE, Belgium)

와 PSB Plus (Bioheli, Korea)를 첨가하였다.

#### 2) 먹이 계열 및 공급 시기

자치어 사육기간 동안의 먹이공급은 부화후 2일째부터 기수산 로티퍼 (rotifer, *Brachionus plicatilis*)를 액상농축 chlorella (Daesang co., Korea)로 배양하고 bio DHA marineglos (Marineglos co., Japan)로 8시간동안 영양 강화시켜 5개체/ml 농도로 공급을 시작하여 점차 공급량을 증가시켰다.

부화 8일째부터 CELCO (INVE, Belgium)로 8시간동안 영양강화한 *Artemia nauplius*를 0.1개체/ml의 농도로 공급을 시작하여 점차 공급량을 증가시켰다. 12일째부터 미립자 초기 배합사료를 공급하기 시작하여 성장함에 따라 입 크기에 맞춰 사료입자 크기가 큰 것으로 공급하였다. 그리고 25일째부터는 돌돔 (*Oplegnathus fasciatus*)의 부화자어를 공급하였다.

#### 3) 성장 및 생존율 조사

자치어의 성장은 부화후 1일째부터 10일 간격으로 10마리씩 무작위로 채집하여 저온 마취 및 MS-222를 이용하여 마취 후 크기에 따라 입체해부현미경과 Digital caliper로 0.01 mm까지 조사하였다.

성장률 조사는 순성장율(AGR, Absolute growth rate)은 mm/day로, 일간성장율(SGR, Specific growth rate)은 %/day로 조사하였다(Hopkins, 1992). AGR과 SGR은 각각  $(TL_f - TL_i) / \Delta t$ ,  $100(\ln TL_f - \ln TL_i) / \Delta t$ 으로 계산하였고, 여기서  $TL_f$ 와  $TL_i$ 는 최종과 최초의 전장(mm)이며, 각각의  $\Delta t$ 는 사육기간의 일수(days)이다.

생존율은 부화후 1일째부터 10일 간격으로 생존량을 파악하였고, 60일째에는 생산된 개체수를 전수조사를 하였다.

### 5. 통계분석

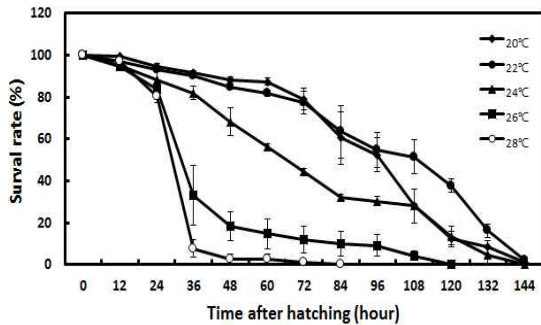
결과의 통계처리는 SPSS-통계패키지(version 19.0)를 이용하여 각각의 실험구 결과값을 교차하

여 Mann-Whitney U 검정하였다( $p < 0.05$ ).

### Ⅲ. 결 과

#### 1. 절식에 따른 수온별 자어 생존율 조사

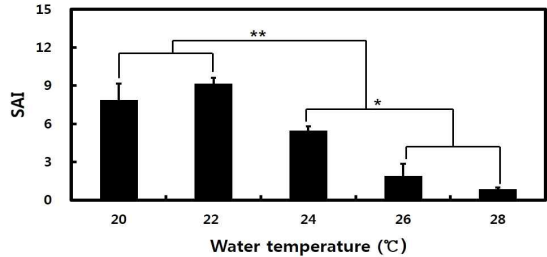
절식 상태에서 수온에 따른 부화자어의 생존율을 비교한 결과는 [Fig. 1]과 같다. 수온 20, 22, 24, 26 및 28°C 실험구에서 생존율은 부화후 12 시간째에는 94.5~99.5%로서 수온에 따른 뚜렷한 차이는 없었으나, 24시간째부터는 20°C 실험구에서 94.7%로 가장 높은 생존율을 보였고, 고수온 구인 28°C 실험구에서 80.4%로 가장 낮았다. 48 시간 경과시 수온별 생존율은 2.7~88.3%로서 수온이 낮을수록 높았다. 84시간째에는 수온이 가장 높은 28°C에 전량 폐사하였으나 20°C와 22°C 실험구에서는 60.5%와 63.5%의 생존율을 보였다. 120시간째에는 26°C 실험구와 144시간째에는 24°C 실험구에서 전량 폐사한 반면에 20°C와 22°C 실험구에서는 144시간째까지의 생존율을 각 1.4%, 2.2%였다. 이와 같이 절식 상태에서 수온에 따른 부화자어의 생존율은 수온이 낮을수록 높은 경향을 보였다.



[Fig. 1] Survival rates of hatched larvae of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) starved at different temperatures.

부화자어의 절식 생존지수(SAI)는 [Fig. 2]와 같이 20, 22, 24, 26 및 28°C에서 각 7.9±1.3, 9.2±0.4, 5.5±0.3, 1.9±0.9 및 0.9±0.1로 나타났다.

수온이 낮을수록 높은 경향을 보였고, 수온이 증가할수록 유의적으로 감소하였다( $p < 0.05$ ).



[Fig. 2] Survival activity index (SAI) of hatched larvae of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) starved at different temperatures. \*indicate significant between different raring water temperature ( $p < 0.05$ ).

#### 2. 수온별 난황과 유구 흡수율

수온 20, 22, 24 및 26°C에서 시간경과에 따른 부화자어의 난황과 유구의 흡수율, 그리고 자어의 전장 변화는 [Fig. 3]과 같다. 부화 12시간 후 자어의 난황용적은 각 52.3, 52.2, 49.6 및 40.6%였고, 부화 36시간 후는 각 16.7, 13.4, 11.3 및 9.7%로써 자어의 난황 흡수는 수온이 높을수록 빨라지는 경향을 보였다. 또한 95% 이상의 난황이 흡수된 시점은 수온 20~22°C에서 부화 84시간 후, 24°C에서 부화 72시간 후로 나타났다.

자어의 유구용적은 부화 1일 후 0.051 mm<sup>3</sup>이었고, 수온별 유구의 흡수율은 부화 12시간 후에는 82.8~88.9% 36시간 후에는 45.3~57.1%로 수온이 높은 수록 흡수율이 빨랐으며, 80%의 유구가 흡수된 시점은 수온 20~22°C에서 84시간, 24°C에서 72시간으로 나타났다.

수온 20~22°C에서 난황과 유구의 흡수기간 중 자어의 전장은 부화 직후 4.511 mm, 부화후 60시간째에 4.983~5.068 mm로 증가하였으나 60시간 이후부터는 정체 또는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 자어의 체성장은 수온 26°C를 제외한 실험구에서 60시간째에 가장 높았다.

<Table 1> Mouth length variations of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) larvae during the early larval period at a water temperature of 22°C

Hours after hatching (h)	Total length (mm)	Upper jaw length (mm)	Calculated mouth length		
			d*	0.75d	0.5d
36	4.85±0.18				
48	4.89±0.22	0.080±0.024	0.112	0.084	0.056
60	5.07±0.16	0.176±0.106	0.248	0.186	0.124
72	4.95±0.20	0.259±0.039	0.366	0.275	0.183
84	4.65±0.20	0.281±0.072	0.398	0.298	0.199
96	4.69±1.74	0.292±0.069	0.413	0.310	0.206

\*d=√2XUpper jaw length.

### 3. 개구시간 및 입크기 변화

수온 20, 22 및 24°C 실험구에서 부화 직후의 자어가 개구하는데 소요된 시간은 각 71, 54 및 46시간이었고, 수온(X)에 따른 개구 소요 시간(Y)은  $Y=-12.5X+82$  ( $r^2=0.9586$ )의 직선식으로 나타났다([Fig. 4]). 수온 22.0°C에서 입의 크기의 변화는 Table 1과 같다. 상악장의 크기는 부화후 48시간째에 0.080±0.024 mm에서 96시간에 0.292±0.069 mm로 점차 증가하였고, 자어의 소화관에서 첫 먹이인 rotifer가 발견된 시점은 상악장이 48시간에서의 상악장보다 3배로 증가하고 난황이 거의 흡수하는 시점인 72시간의 0.259±0.039 mm이었다. 자어의 상악장을 Shirota (1970)의 방법에 따라 자어의 개구각 90°, 45°, 0°를 각 100, 50, 0%의 개구율로 가정할 경우 개구율이 75, 50% 일때의 구경은 각 0.75d, 0.5d로 표시할 수 있다. 따라서 이것을 본 실험의 결과에 적용시켜 자어의 먹이 섭취시 구경 d, 0.75d, 0.5d를 구하였다. 부화 48~96시

간까지의 d는 0.112~0.413 mm, 0.75d일 때는 0.084~0.310 mm, 0.5d일 때는 0.056~0.206 mm로 각각 나타났다. 한편 개구직후부터 96시간까지 자어의 전장(X)과 상악장(Y)과의 관계는  $Y=0.069X$  ( $r^2=0.7776$ )의 직선식으로 나타났다.

### 4. 종자생산

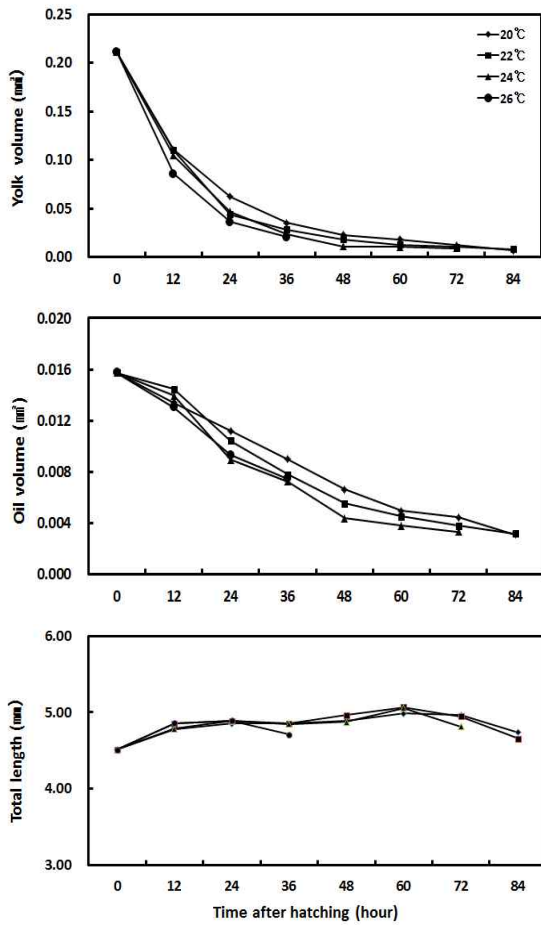
수온, 염분, 용존산소 및 pH는 각각 19.6~24.4°C (21.6±1.0°C), 30.7~33.3‰ (32.1±0.7‰), 5.86~8.96 mg/l (6.90±0.60 mg/l) 및 7.38~8.20 (7.97±0.17)이었다. 조도는 85~320 Lux였고, 광주기는 부화후 20일 이전에는 24 Light (L)/0 Dark (D), 이후는 15L/9D 이었다.

자치어의 먹이 종류에 따른 섭취율을 <Table 2>에 나타내었다. 사육수온 21.8±0.2°C에서 rotifer는 부화 3일에 30%, 부화 4일에 100% 섭취를 확인 할 수 있었으며, *Artemia nauplius*는 부화 9일에 100% 섭취를 확인하였다.

<Table 2> Feeding rate of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) larvae and fingerlings on consecutive food processing

	Food proceeding					
	Rotifer		Artemia nauplius		Commercial diet	Rock bream's hatching fry
	DPH* (3 days)	DPH (4 days)	DPH (8 days)	DPH (9 days)	DPH (12 days)	DPH (25 days)
Feeding rate (%)	30.0	100.0	20.0	100.0	100.0	100.0

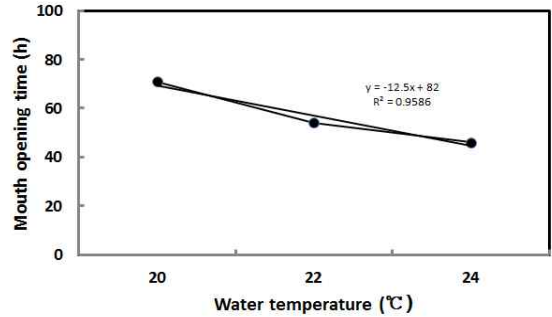
\*DPH: Days post-hatch.



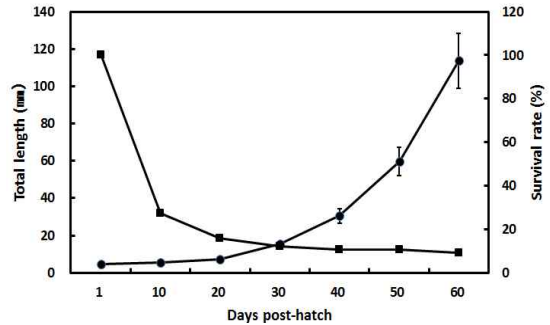
[Fig. 3] Resorption of yolk (A) and oil globule (B) and total length (C) of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) larvae at different temperatures during the first 84 hours after hatching.

초기 배합사료(100~200  $\mu$ m)는 소화기관의 발달과 관련하여 부화 12일부터 공급하면서 100% 섭취를 확인하였다. 돌돔의 부화자어는 부화 25일부터 공급하면서 100% 먹이 섭취를 확인할 수 있었다.

자치어의 성장과 생존율의 변화는 [Fig. 5]에 나타내었다. 평균 전장은 부화 1일에 4.49±0.17 mm에서 60일에 113.79±14.74 mm로 증가하였다. 순성장율(AGR)과 일간성장율(SGR)은 각 1.85 mm/day, 5.48%/day이었고, 부화 20일까지 초기 단계



[Fig. 4] Mouth opening time after hatching of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) larvae on different water temperatures.



[Fig. 5] Total length and survival rate of yellowtail kingfish (*S. lalandi*) larvae 60 days after hatching.

에서는 성장이 거의 되지 않았지만, 20일 이후부터 서서히 증가하기 시작하여 30일 이후부터는 급격한 성장을 보였다.

자치어의 생존율은 부화 직후부터 난황을 완전히 흡수하고 초기 먹이를 섭취하지 못한 개체들이 60~70%가 폐사하여 초기에 대량으로 폐사하였다. 부화 10일 후 생존율은 27.5% 그리고 부화 20일 후 생존율은 15.7%로 낮아졌다. 그 이후부터는 초기와 같은 대량 폐사는 나타나지 않았다. 실험종료인 부화 60일의 평균 생존율은 9.1%였다.

#### IV. 고찰

일반적으로 해산어류에 있어 난황은 전기 자

어기 동안 성장, 대사, 활동하는데 이용되어지기 때문에 보다 큰 난황을 갖는 자어는 그렇지 않은 자어에 비해 생존 가능성이 훨씬 높은 것으로 알려져 왔다(Johns & Howell, 1980).

부시리 자어는 수온 27°C에서는 사육에 적합하지 않았지만, 21~23°C에서는 높은 생존율을 보고하고 있다(Ma, 2014). 본 연구의 절식 생존지수(SAI)에서도 20°C와 22°C에서 각 7.9, 9.2로 양호하였으며, 28°C에서 0.9로 낮아 수온이 자어의 생존율에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

어류의 경우 일반적으로 난황보다는 유구가 다소 늦게 흡수된다고 알려져 있다(Kuo et al., 1973; Houde et al., 1976). 본 연구에서도 95% 이상의 난황이 흡수된 시점은 수온 20~22°C에서 부화후 84시간째, 24°C에서 부화후 72시간째로 나타났고, 80%의 유구가 흡수된 시점은 수온 20~22°C에서 부화 후 84시간째, 24°C에서 부화 72시간째로 나타나 난황보다는 유구가 다소 늦게 흡수되었다. 그리고 난황과 유구의 흡수는 수온이 높을수록 흡수시간도 비례적으로 짧아지는 경향이였다. 또한 부시리의 난경은 1.290~1.502 mm로 보고하고 있고(Yang et al., 2016b), 본 연구에서도 부화 1일째 자어의 난황용적 및 유구용적이 각 0.211 mm<sup>3</sup>, 0.051 mm<sup>3</sup>으로 다른 어종에 비해 높은 것으로 판단된다.

난황 및 유구가 완전히 흡수될 때까지 자어가 먹이를 섭취하지 못하면 형태적으로는 체성분이 에너지로 전환되면서 체형의 수축 및 중량의 현저한 감소가 일어난 다는 보고가 있다(Ishibashi, 1974). 본 연구에서도 자어의 전장은 부화 60시간까지는 증가하였으나 60시간 이후부터는 정체 또는 서서히 감소되는 경향을 보였다. 본 연구에서 부시리의 수온별 개구시간은 20~24°C에서 71~46시간으로 수온이 높을수록 시간이 빠른 것으로 나타났고, 26°C 이상에서 절식 생존지수(SAI)는 1.9±0.9이며, 난황흡수율은 부화 36시간에 9.7%로 개구에 도달하기 전에 폐사가 되어 비교할 수 없었다. 수온별 개구시간은 붉바리 (Epinephelus

akaara)의 경우 23~25°C에서 52.1~63.7시간의 보고(Lee & Hur, 1997)와 직접적인 비교는 어렵지만 본 연구에서도 수온에 따른 차이가 나타났고, 수온이 낮은 실험구에 비해 높은 수온에서 25시간의 차이를 확인할 수 있었다.

첫먹이 공급시기는 본 연구에서 평균 수온 22°C에서 부화 직후부터 난황이 거의 흡수된 부화후 72시간째에 자어의 상악장 크기는 0.259±0.039 mm였다. 이것은 Shirota (1970)의 방법에 따라 먹이 섭취시 구경을 최소 0.5d로 가정할 경우 부시리 자어의 첫 먹이인 rotifer 섭취시 소화관에서 발견은 부화후 3일째 30.0%, 4일째 100% 섭취를 확인한 결과와 일치하는 결과였다. 한편 rotifer는 피갑장 크기가 100~210 μm로써 부시리 자어는 부화 72시간 이후부터 섭취가 가능한 것으로 판단된다. 또한 Artemia nauplius의 크기는 540~750 μm로써 부화후 8일째 20%, 부화후 9일째 100% 섭취를 확인 하였고, 초기 배합사료는 부화후 12일째부터 공급하면서 100% 섭취를 하였다. 그러나 초기 배합사료의 크기는 rotifer와 비슷한 100~200 μm로 예비시험에서 부화 7~10일 사이에 초기배합사료를 공급한 경우, rotifer 보다는 먹이 선택성이 강하였지만, 공급후 2일 이전에 전량 폐사가 발생하였다.

효율적인 소화 작용은 먹이를 섭취먹고 소화시켜 흡수하게 함으로써 자어의 생존과 성장에 매우 중요하게 작용한다(Kjorsvik et al., 2004). 자어가 형태학적으로 먹이를 받아들일 수 있게 되었다 하더라도, 소화계는 완전한 기능을 하기까지 일련의 변화 단계를 거치게 된다(Canino & Bailey, 1995; Govoni, 2004). 이러한 형태학적 발달에 대한 연구는 소화 작용을 이해하고 적절한 먹이공급시기를 결정하기 위해서 필수적이다(Watanabe & Kiron, 1994; Baglole et al., 1997; Cahu & Infante, 2001).

부시리의 최초의 먹이는 영양강화한 rotifer (large size)를 주기 시작하여 부화후 12일째부터 영양 강화한 Artemia nauplius, 부화후 20일째부터

배합사료를 공급하였고(Kolkovski & Sakakura, 2004), California yellowtail, *S. lalandi* 자어의 성장이 빠른 경우 부화후 6일째부터 *Artemia nauplius* 를 섭취할 수 있다고 보고하고 있다(Stuart & Drawbridge, 2013). 부시리 자어에 *Artemia nauplius* 공급시기는 사육 밀도 등 사육조건에 따라 앞당길 수 있는 것으로 판단되지만, 초기 배합사료의 공급시기는 추후 자어의 소화관 발달과 관련하여 연구가 필요하다.

부시리 자어의 순성장율(AGR)과 일간성장율(SGR)에 대해서 부화 36일까지 각 0.51 mm/day, 4.60 %/day로 보고되었다(Chen et al., 2006). 그러나 본 연구에서는 부화 60일까지 각 18.53 mm/day, 5.48 %/day로 나타나 부시리 자어의 성장이 부화 30일까지는 성장이 느리지만, 30일 이후부터 빠른 성장을 보였다. 또한 사육수온에 대해서 부시리 자어는 부화 10일까지는 21°C, 이후 자어의 생존율이 안정되고 부터는 섭취와 성장 촉진을 위하여 23~25°C로 올려야 한다고 보고되었다(Ma, 2014). 본 연구에서도 부화 10일까지 사육수온은 21.7°C로써 사육수온이 자어의 성장과 생존에 영향이 없는 것으로 판단된다. 그리고 방어류의 자치어는 참돔 *Pagrus major*, 감성돔 *Acanthopagrus schlegelii* 에 비해 빠른 성장을 나타낸다(Kolkovski & Sakakura, 2004). 본 연구에서도 부화후 1일 4.49±0.17 mm에서 60일에 113.79±14.74 mm로 자치어 단계에서 빠른 성장을 보였다.

어류는 내생 섭취(Endogenous feeding)에서 외생 섭취(Exogenous feeding)로의 주요 영양 전환기에 대량 폐사가 일어난다고 알려져 있다(Otterlei et al., 1999). 방어는 종자생산 시기에 2번의 대량 폐사가 일어나며, 첫번째는 '위험기간'으로 불리는 부화후 첫 먹이 섭취기까지 이며, 두번째는 치어기에 일어나는 공식에 의한 것이다(Sakakura & Tsukamoto, 1999, Yamazaki et al., 2002). 방어와 잣방어 자어의 경우 개구 기간에 사육 수조의 바닥으로 가라앉는 경향이 있는데

이로 인해 대량 폐사가 일어난다. 이 폐사는 강한 통기를 실시하여 줌으로써 줄일 수 있다(Shiozawa et al., 2003, Yamazaki et al., 2002). 공식 현상은 방어(Mizuta, 1981; Sakakura & Tsukamoto, 1999), 잣방어(Shiozawa et al., 2003) 그리고 부시리(Ebisu & Tachihara, 1993)의 종자생산 시기에 나타나며, 방어와 잣방어는 부시리보다 더 공격적인 것으로 여겨지고 있다(Kolkovski & Sakakura, 2004). California yellowtail, *S. lalandi*의 치어기까지 생존율은 5%였고, 부화 17~20일 사이에 원인을 알 수 없는 높은 폐사율과 기형인 개체가 40%로 보고하고 있다(Stuart & Drawbridge, 2013). 본 연구에서는 부화 60일에 9.1%로 부화 직후부터 난황이 완전히 흡수하고부터 10일 사이에 60~70%가 폐사하였고, 20일 이후부터는 초기감모와 같은 대량 감모와 공식 현상은 거의 없었다.

태평양 참다랑어 *Thunnus orientalis*의 자치어의 경우 돌돔 부화자어를 먹이로 공급하면 성장과 생존율이 높아지는 것으로 보고되었다(Seoka et al., 2007). 본 연구에서도 부화후 25일째부터 돌돔 부화자어를 공급함으로써 공식에 의한 폐사가 없었던 것으로 판단되며, 대형어종의 종자생산에서 부화자어 공급에 의한 공식 방지 효과와 더불어 부화자어 공급시기 등의 검토가 요구된다.

이상의 결과를 종합하면, 부시리 종자생산을 위한 초기 자어 사육관리는 절식 생존지수(SAI)가 높은 20~22°C가 적합한 것으로 판단된다. 그리고 사육수온 20~22°C에서 첫 먹이인 rotifer는 난황이 흡수되고, 상악장의 크기가 0.28 mm로 증가하는 부화후 84시간부터 공급하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

## V. 요약

부시리 *S. lalandi* 자어의 생존율 향상을 위한 연구의 일환으로 부화 직후부터 절식 생존지수, 난황흡수, 개구시간 및 입 크기 변화 등과 더불어



어 자치어 사육기간 동안에 성장 및 생존율을 조사하였다. 자어의 절식 생존지수(SAI, survival acitivity index)는 20~28℃에서 9.2~0.9 범위로 수온이 낮을수록 높은 경향을 보였다( $p < 0.05$ ). 난황과 유구 흡수시간은 수온이 높을수록 짧아지는 경향을 보였다. 95% 이상의 난황이 흡수된 시점은 수온 20~22℃에서 부화후 84시간째, 24℃에서 부화후 72시간째였고, 수온(X)에 따른 자어의 개구 시간(Y)은  $Y = -12.5X + 82$  ( $r^2 = 0.959$ )의 직선식으로 나타났다. 수온 22℃에서 개구직후부터 96시간까지 자어의 전장(X)과 상악장(Y)과의 관계는  $Y = 0.069X$  ( $r^2 = 0.778$ )의 직선식으로 나타났고, 자어의 소화관에서 첫 먹이인 rotifer가 발견한 시점은 부화후 72시간째였으며, 상악장은  $0.259 \pm 0.039$  mm이었다. 부화후 60일째까지의 성장 및 생존율은 각각  $113.79 \pm 14.74$  mm, 9.1%이었고, 순성장률(AGR)과 일간성장률(SGR)은 각각 18.53 mm/day, 5.48 %/day이었다. 부화 20일까지 초기 단계에서는 성장이 거의 되지 않았지만, 20일 이후부터 서서히 증가하기 시작하여 30일 이후부터는 빠른 성장을 보였다.

## References

- Baglolle CJ, Murray HM, Goff GP and Wright GM(1997). Ontogeny of the digestive tract during larval development of yellowtail flounder: a light microscopic and mucous histochemical study. *Journal of Fish Biology*, 51(1), 120~134.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb02518.x>
- Blaxter JHS and Hempel G(1963). The influence of egg size on herring larvae (*Clupea harengus* L.). *J. du cons.*, 28, 211~240.  
<http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/28.2.211>
- Canino MF and Bailey KM(1995). Gut evacuation of walleye pollock larvae in response to feeding conditions. *Journal of Fish Biology*, 46(3), 389~403.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1995.tb05979.x>
- Cahu C and Infante JZ(2001). Substitution of live food by formulated diets in marine fish larvae. *Aquaculture*, 200(1-2), 161~180.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00699-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00699-8)
- Chen BN, Qin JG, Kumar MS, Hutchinson W and Clarke S(2006). Ontogenetic development of the digestive system in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae. *Aquaculture*, 256(1-4), 489~501.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.01.041>
- Ebisu R and Tachihara K(1993). Mortality caused by cannibalism in seed production of gold striped amberjack *Seriola lalandi*. *Bulletin of Nagasaki Prefectural Institute of Fisheries (Japan)*.
- Fujita S and Yogata T(1984). Induction of ovarian maturation, embryonic development and larvae and juveniles of the amberjack, *Seriola aureovittata*. *Japanese Journal of Ichthyology*, 30(4), 426~434.  
<http://dx.doi.org/10.11369/jji1950.30.426>
- Govoni JJ(Ed.). (2004). The development of form and function in fishes and the question of larval adaptation: proceedings of the "Symposium on the Morphological Development and Physiological Function in Fishes" held in Bergen, Norway, 2002 (Vol. 40). American Fisheries Society.
- Houde ED, Berkeley SA, Klinovsky JJ and Schekter RC(1976). Culture of larvae of the white mullet, *Mugil curema* Valenciennes. *Aquaculture*, 8(4), 365~370.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(76\)90118-6](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(76)90118-6)
- Hopkins, K. D. (1992). Reporting fish growth: A review of the Basics 1. *Journal of the World Aquaculture Society*, 23(3), 173~179.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-7345.1992.tb00766.x>
- Ishibashi N(1974). Feeding, starvation and weight changes of early fish larvae. In *The early life history of fish* (pp. 339-344). Springer, Berlin, Heidelberg.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-65852-5\\_28](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-65852-5_28)
- Johns DM and Howell WH(1980). Yolk utilization in summer flounder (*Paralichthys dentatus*) embryos and larvae reared at two temperatures. *Marine Ecology Progress Series*, 2, 1~8.
- Kim YS, Han KH, Kang CB and Kim JB(2005). Commercial fishes of the coastal & offshore waters in Korea. National Fisheries Research & Development Institute, Busan. Korea, 333.
- Kim IS, Choi Y and Kim BJ, Percoidei fishes of

- Korea(2001). Korea: Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology, 279.
- Kjørsvik E, Pittman K and Pavlov D(2004). From fertilisation to the end of metamorphosis – functional development. Culture of cold water marine fish, 204~278.  
<http://dx.doi.org/10.1002/9780470995617.ch6>
- Kolkovski S and Sakakura Y(2004). Yellowtail kingfish, from larvae to mature fish - problems and opportunities. Advances in aquaculture nutrition.
- Kuo CM, Shehadeh ZH and Milken KK(1973). A preliminary report on the development, growth and survival of laboratory reared larvae of the grey mullet, *Mugil cephalus* L. Journal of Fish Biology, 5(4), 459~470.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8649.1973.tb04475.x>
- Lee CK and Hur SB(1997). Yolk resorption, onset of feeding and survival potential of larvae of red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. Journal of Aquacult, 10, 473~483.  
<http://dx.doi.org/10.1007/BF00392595>
- Ma Z(2014). Food ingestion, prey selectivity, feeding incidence, and performance of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* larvae under constant and varying temperatures. Aquaculture International, 22(4), 1317~1330.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10499-013-9749-z>
- Mizuta Y(1981). On the seedling production of Buri, *Seriola quinqueradiata*. Saibai Giken, 10, 85~97.
- Nakada M(1999). Yellowtail and related species culture. Encyclopedia of Aquaculture.
- Otterlei E, Nyhammer G, Folkvord A and Stefansson SO(1999). Temperature-and size-dependent growth of larval and early juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*): a comparative study of Norwegian coastal cod and northeast Arctic cod. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 56(11), 2099~2111.  
<http://dx.doi.org/10.1139/f99~168>
- Sakakura Y and Tsukamoto K(1999). Ontogeny of aggressive behaviour in schools of yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. Environmental Biology of Fishes, 56, 231~242.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3678-7\\_16](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-3678-7_16)
- Seoka M, Kurata M, Hatanaka Y, Biswas AK, Ji SC and Kumai H(2007). Possible nutrients in Artemia affecting the larval growth of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis*. Aquaculture Science, 55(1), 55~64.  
<http://dx.doi.org/10.11233/aquaculturesci1953.55.55>
- Shirota A(1970). Studies on the mouth size of fish larvae. Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries, 36(4), 353~368.
- Shiozawa S, Takeuchi H and Hirokawa J(2003). Improved seed production techniques for the amberjack, *Seriola dumerili*. Saibai Gyogyo Gijutsu Kaihatsu Kenkyu (Japan).
- Stuart KR and Drawbridge MA(2013). Captive spawning and larval rearing of C alifornia yellowtail (*Seriola lalandi*). Aquaculture Research, 44(5), 728~737.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03077.x>
- Watanabe T and Kiron V(1994). Prospects in larval fish dietetics. Aquaculture, 124(1-4), 223~251.  
[http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90386-7](http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(94)90386-7)
- Yamazaki H, Shiozawa S and Fujimoto H(2002). Present status of seedling production of yellowtail at the japan sea farming association. Suisanzoshoku 50(4), 503~506. (in Japanese).
- Yang SG, Hur SW, Ji SC, Lim SG, Kim BS, Jeong MH, Lee CH and Lee YD(2016a). Morphological Development of Embryo, Larvae and Juvenile in Yellowtail Kingfish, *Seriola lalandi*. Development & reproduction, 20(2), 131~140.  
<http://dx.doi.org/10.12717/DR.2016.20.2.131>
- Yang SG, Ji SC, Lim SG, Hur SW, Jeong M, Lee CH, Kim BS and Lee YD(2016b). Management of Sexual Maturation and Natural Spawning of Captive-Reared Yellowtail Kingfish, *Seriola lalandi*, in an Indoor Rearing Tank. Development & reproduction, 20(2), 141~147.  
<http://dx.doi.org/10.12717/DR.2016.20.2.141>

• Received : 21 August, 2018

• Revised : 11 October, 2018

• Accepted : 17 October, 2018