Vol. 14(1) : 17~27, 2001

한국양식학회지
Journal of Aquaculture
©Korean Aquaculture Society

농어, *Lateolabrax japonicus*의 초기 발달, 성장 및 생존율에 미치는 수온과 염분의 영향

한형균* · 강덕영 · 허성범[1] · 김성원

국립수산진흥원 남해수산연구소 거제수산종묘시험장 · [1]부경대학교 양식학과

Effects of Temperature and Salinity on Early Development, Survival and Growth Rate in Seabass, *Lateolabrax japonicus*

Hyoung-Kyun Han*, Duck-Young Kang, Sung-Bum Hur[1] and Seoung-Won Kim

Keoje Marine Hatchery, NFRDI, Geoje 656-840, Korea
[1]Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Effects of temperature (10, 12, 14, 16, 18 and 20℃) and salinity (22.0, 24.5, 27.0, 29.5, 32.0 and 34.5 ppt) were studied on incubation period, hatching success, survival and growth of alevin and juvenile seabass, *L. japonicus*. Embryonic development was accelerated with increasing temperature but it was not influenced by salinity. Hatching success was the highest at 14℃ and 34.5 ppt. Higher temperature also accelerated the development of mouth opening, absorption of yolk and oil globules, and alevin growth. Survival of the 5-day old juvenile was accelerated in the following order : 14 < 16 < 18 < 20 < 12℃. Rearing experiment of the juvenile for 30-day indicated the faster growth at 13, 20 and 27 ppt than at 34 ppt.

Key words: *Lateolabrax japonicus*, Temperature and salinity, Survival, Hatching

서 론

농어, *Lateolabrax japonicus*는 농어科, 농어屬 (Genus *Lateolabrax*) 어류로서 (정, 1986), 우리나라 서 · 남해안과 중국, 타이완 및 일본 (홋카이도 이남)의 각지 연안에 널리 분포하며 (Yamada, 1986), 산란을 위해 기수역으로 이동해 오는 습성을 지니고 있다 (Horiki, 1993). 또한 농어는 월동이 가능하며 산지 가격이 좋아, 국내는 물론 일본에서도 자원 조성뿐만 아니라 양식대상 후보 종으로 관심을 받고 있다.

그러나 국내의 농어 양식은 자연산 치어 수집에 의한 방법에 의존하고 있어, 최근 연안 환경 변화에 따른 자원량 감소에 의해 종묘 수급에 어려움을 겪고 있다. 이러한 물량 부족은 중국산 농어 치어 수입으로 이어져, 외화의 반출은 물론, 외산 세균성 및 바이러스성 질병을 동시에 국내로 들여와 연안 생태계 및 양식장 주변 수역에 악영향을 미칠 가능성이 크다. 따라서 빠른 시간 내에 양식 어민들에게 안정적이며, 질 좋은 농어 종묘를 수급하기 위해서는 종묘생산 기술이 시급히 개발 · 보급되어야 할 것으로 보인다. 그러나 농어에 대한 다수의 연구가 이루어져 온 일본 (Makino et al., 1995; Pèrez et al., 1999)에 비해, 우리나라에서는 이 등 (1988), Kim and Jun (1997) 및 백 등 (1998) 일부만이 이루어져 있을 뿐이다. 더욱이 국내외를 망라해 현재까지 진행된 대부분의 연구가 기초 생

*Corresponding author : hkhan@nfrdi.re.kr

물 · 생태학적 분야라서, 종묘생산에 이용할 수 있는 생물 생산과 관련된 연구 자료는 찾아보기 힘든 실정이다.

그러므로 본 연구는 농어 종묘생산을 위해 부화 및 자 · 치어 사육시 요구되는 적정 사육 조건을 구명하며, 수온 및 염분과 같은 환경요인이 농어의 발달, 성장 및 생존율에 미치는 영향을 파악하였다.

재료 및 방법

1. 수정란 부화에 있어 수온과 염분의 영향

(1) 수온에 따른 영향

수정란은 실내 사육으로 성 성숙시킨 암컷 어미로부터 인공 채란한 알 (1.43±0.05 mm)을 수컷의 정액과 혼합하여 인공 수정시킨 것을 이용하였다. 실험구는 6개의 온도구 (10, 12, 14, 16, 18 및 20℃)로서 밀도 200개/L의 알을 각 4반복으로 설정하였고, 항온 수조내 비이커 (2 L)에 알을 염분 34.4±0.1 ppt, DO 5.0±0.3 mg/L, pH 7.8±0.1의 상태로 부화 관리하였다. 이때 부화 50%에 이르는 부화시간과 부화 완료시 부화율 (%)을 측정하였다.

(2) 염분에 따른 영향

수정란은 수온 실험과 동일한 것을 사용하였고, 수온은 모든 실험구에서 14±0.2℃로 유지해 주었다. 실험은 염분별로 22 ppt, 24.5 ppt, 27 ppt, 29.5 ppt, 32 ppt, 34.5 ppt로 6개의 실험구를 2반복으로 설정하였고, 2 L 비이커 내에서 수온 실험과 동일하게 실시하였다.

2. 부화자어의 초기발달에 있어 수온의 영향

실험 자어는 인공 채란 · 수정한 알을 13℃에서 4일간 부화 관리하여 얻은 부화직후 자어 (체장 3.86±0.08 mm)를 사용하였으며, 사육수조는 50 L FRP 사각수조를 이용하였다. 수용밀도는 20.2±2.3 마리/L로 하였으며, 실험구는 12, 14, 16 및 18℃로 설정하였다. 실험 개시전 (부화전) 수온은 자연수온인 13.0±0.5℃로서, 수온 충격 없이 실험구별 수온으로 전환하기 위해 24시간에 걸쳐 온도조절장치 (아쿼트론) 사용해 천천히 사육수 온도를 바꾸어 주었다. 자어 사육은 20일간 실시하였으며, 이때 DO 6.4±0.4 mg/L, pH 5.2±0.6, 염분 34.4±0.1 ppt로 유지해 주었다. 자어의 초기발달 (부화 후 20일까지)동안 체장(mm)을 통해 성장도를 측정하였고, 난황의 크기와 유구의 크기 및 흡수 종료 일자를 통해 자어 활성도를 파악해 보았다.

난황과 유구의 크기는 Makino et al. (1995)의 방식에 따라 다음과 같이 구하였다.

▶ Y_n (mm^3) = $\pi(ab^2-cd^2)/6$
▶ O_n (mm^3) = $\pi cd^2/6$
[Y_n : 난황 부피, O_n : 유구 부피]
[a : 난황 장경, b : 난황 단경, c : 유구 장경, d : 유구 단경]

또 난황과 유구의 일간 흡수도를 역시 Makino et al. (1995)의 방식에 따라 다음과 같이 산출했다.

▶ 일간 난황흡수도(mm^3) = $(Y_n-Y_{n+d})/d$
▶ 일간 유구흡수도(mm^3) = $(O_n-O_{n+d})/d$
- n : 개시시 일자 d : 경과 일자

3. 자치어의 성장과 생존에 있어 수온과 염분의 영향

(1) 자치어 사육

자치어 사육은 사육수를 지수식으로 유지해 주었고, 수조내 찌꺼기 제거를 위해 1회/일 사이폰을 통해 청소해 주었다. 사육수는 여과해수를 사용하였으며, 1일 환수량은 사육수의 약 70%로 하였다. 사육환경인 수온 및 염분은 각 실험구별로 맞추어 주었다. 먹이 공급은 모든 실험에서 공통적으로 부화후 5일~10일은 rotifer (12 inds./ml), 부화후 10일~15일은 rotifer (6 inds./ml)와 *Artemia* nauplii (6 inds./ml), 부화후 15일~30일은 *Artemia* nauplii (6 inds./ml)와 배합사료 (0.5 ㎎/마리, 1일 5회), 부화후 30일~50일은 *Artemia* nauplii (2 inds./ml)와 배합사료 (체중의 5%, 1일 5회) 그리고 50일~70일은 배합사료 (체중의 5%, 1일 5회) 등과 같은 조성으로 이루어졌다.

(2) 자어의 성장 및 생존에 있어 수온의 영향

실험어는 부화 후 5일째 전기자어 (체장 4.96±0.06 mm)를 사용하였으며, 사육수조는 300 L FRP 원형수조를 이용하였다. 수용밀도는 6.6±0.1 마리/L로 하였으며, 실험구는 2반복으로 12, 14, 16, 18 및 20℃를 설정하였다. 실험 개시전 (부화직후) 수온은 자연수온인 13.0±0.5℃로서, 수온 차에 의한 스트레스를 방지하기 위해, 실험구별 수온전환 기간을 5일 동안으로 하여, 완만한 수온 구배를 주며 실험 온도로 바꾸어 주었다. 자치어 사육은 50일간

Table 1. Summary of experimental conditions and procedure

	Exp. I		Exp. II	Exp. III	
	T[1]	S[2]	T	T	S
Material	Egg	Egg	Larva	Larva (yolk sac stage)	Larva (postflexion stage)
Initial Time	0 hr after fertilization	0 hr after fertilization	just after hatching	5 days after hatching	40 days after hatching
Basic condition	34.4±0.1 ppt	14.0±0.2℃	34.4±0.1 ppt	34.4±0.1 ppt	15.0±0.4℃
Exp. group	10℃, 12℃, 14℃, 16℃, 18℃, 20℃	22.0 ppt, 24.5 ppt 27.0 ppt, 29.5 ppt 32.0 ppt, 34.5 ppt	12℃, 14℃, 16℃, 18℃	12℃, 14℃, 16℃, 18℃, 20℃	13 ppt, 20 ppt 27 ppt, 34 ppt
Replication (No)	4	2	3	2	2
Experimental duration (day)	10	10	20	50	30
Density (inds./L)	100	100	20.2±2.3	6.6±0.1	6.6±0.2
Response variables	HT[3], HR[4]	HT, HR	BL[5], YA[6], OGA[7]	Growth Survival	Growth Survival

[1]Experimental temperature; [2]Experimental salinity; [3]Hatching time (hr.); [4]Hatching success (%); [5]Body length (mm); [6]Yolk absorption (%); [7]Oil globule absorption (%)

실시하였으며, 이때 DO 6.7±0.5 mg/L, pH 6.4±0.8, 염분 34.4±0.1 ppt로 유지해주었다. 자치어의 성장도는 10일 간격으로 측정하였고, 생존율은 매일 폐사개체를 계수하여 누적치를 통해 10일 간격으로 생존율을 산정하였다.

(3) 치어의 성장 및 생존에 있어 염분도의 영향

실험어는 부화 후 40일째 치어 (체장 11.6±1.7 mm, 체중 29.0±7.1 mg)를 사용하였으며, 사육수조는 300 L FRP 사각수조를 이용하였다. 수용밀도는 6.6±0.2 마리/L로 하였으며, 실험구는 2반복으로 일반 해수와 지하수를 혼합 조제하여 13 ppt, 20 ppt, 27 ppt, 34 ppt로 설정하였다. 실험어는 자연해수 상태 (염분 34.4±0.1 ppt)로 사육해온 개체를 이용하기 때문에 염분 차에 의한 스트레스를 방지하기 위해, 3일 동안 완만한 염분구배를 주며 실험 염분으로 바꾸어 주었다. 사육실험은 30일간 실시하였으며, 먹이는 실험 개시부터 10일까지 *Artemia nauplii* (2 inds./ml)와 배합사료 (체중의 5%, 1일 5회)를 공급하였고, 10일부터 30일까지는 배합사료 (체중의 5%, 1일 5회)만을 공급하였다. 이때 DO 5.7±0.5 mg/L, pH 6.2±0.8, 수온 15.0±0.4℃로 유지해 주었다. 자치어의 성장도는 실험 종료시 전장 (mm), 체고 (mm) 및 체중 (mg)을 통해 파악하였고, 생존율은 매일 폐사개체를 계수하여 누적치를 통해 10일 간격으로 생존율을 산정하였다.

4. 통계처리

실험 자료는 SPSS-PC 통계패키지를 이용하여, 단순 회귀식에 의한 기울기 검증과 one-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였다.

결 과

1. 수정란 부화에 있어 수온과 염분의 영향

(1) 수온에 따른 영향

수온에 따른 농어의 부화시간과 부화율을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 부화시간의 경우 10℃가 231±39 hr.으로 가장 느렸고, 20℃가 54±6 hr.으로 가장 빠른 것으로 나타났다. 그러나 수온구별 부화율에 있어서는 14℃구가 63.2±1.0%로 가장 좋은 것으로 나타났고, 16℃와 18℃가 각각 58.2±3.1%, 58.8±1.0%으로 다음을 차지했다. 그러나 10℃와 20℃에서 수정란들은 각각 부화율 2.2±1.5%와 3.3±2.1%를 나타내어, 다른 실험구들보다 유의하게

Table 2. Effect of water temperature on incubation period (hour) and hatching success (%) of the eggs of sea bass *L. japonicus*

Temperature (℃)	10	12	14	16	18	20
Incubation period (hr.)[1]	231±39[a]	142±8[b]	119±10[c]	89±8[d]	71±7[de]	54±6[e]
Hatching success (%)[2]	2.2±1.5[d]	46.8±5.2[c]	63.2±1.0[a]	58.2±3.1[ab]	58.8±1.0[b]	3.3±2.1[d]

[1,2]Values with different letters within the same row are significantly different (P<0.01); the value is mean±S.E.

낮은 값을 보였다 (P<0.01).

(2) 염분에 따른 영향

평균 수온 14.0±0.2℃에 염분별 부화 실험을 한 결과는 Table 3과 같다. 부화시간의 경우 모든 실험구가 138~104 hr.으로 유의한 차를 찾을 수 없지만, 염분이 낮아질수록 부화시간이 길어지는 경향을 나타내었다. 그러나 부화율은 34.5 ppt구가 61.9±1.7 %로 가장 높은 부화율을 나타내었으며, 다음으로 32.0 ppt(58.2±1.0%), 29.5 ppt (56.7±1.5%), 27.0 ppt(55.7±8.1%)의 부화율을 나타내었다. 그러나 24.5 ppt과 22.0 ppt과 같은 저염분구는 각각 19.6±8.1%와 10.7±6.4%의 매우 낮은 부화율을 보였다 (P<0.01).

2. 부화자어의 초기발달에 있어 수온의 영향

부화 직후 자어의 수온에 따른 초기 발달과정은 Table 4와 같다. 부화자어의 입 개구 시간은 수온이 18℃에서 부화후 1일이 소요되었지만, 16℃ 2 일, 14℃ 5일 및 12℃ 8일이 걸렸다. 난황의 흡수종료 시점은 12℃구 15일, 14℃ 11일, 16℃ 9일 및 18℃ 8일이며, 유구의 경우는 12℃구 20일, 14℃ 20일, 16℃ 17일 및 18℃ 15일이었다. 또한 난황의 흡수속도는 Table 4와 같이 12℃구 0.080±0.029 mm^3/day로 가장 느렸고, 18℃구가 0.150±0.023 mm^3/day로 가장 빠른 것으로 나타났다. 유구 흡수속도 역시 수온에 따라 동일한 경향을 보였다. 이러한 발달 과정을 통해 부화자어의 온도구별 성장식은 Fig. 1과 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

식 (1)

12℃ ..... Y=0.1067X+3.8750 (r^2=0.8689)
14℃ ..... Y=0.1466X+3.9039 (r^2=0.8652)
16℃ ..... Y=0.1873X+3.7463 (r^2=0.8991)
18℃ ..... Y=0.2212X+3.7303 (r^2=0.9726)

12℃의 경우 Y=0.1067X+3.8750 (r^2=0.8689)로 가장 낮은 성장도를 나타내었고, 18℃의 경우 Y=0.2212X+3.7303 (r^2=0.9726)로 가장 빠른 성장도를 보였다. 이것을 기울기

Table 3. Effect of salinity on incubation period (hour) and hatching success (%) of the eggs of sea bass *L. japonicus*

Salinity (ppt)	22.0	24.5	27.0	29.5	32.0	34.5
Incubation period (hr.)	130±17	138±11	113±15	104±17	107±26	111±12
Hatching success (%)[1]	10.7±6.4[c]	19.6±8.1[c]	55.7±8.1[ab]	56.7±1.5[b]	58.2±1.0[ab]	61.9±1.7[a]

[1]Values with different letters within the same row are significantly different (P<0.01); the value is mean±S.E.

Table 4. Daily absorption rate of yolk and oil globule in the yolk-sac larval sea bass *L. japonicus*.

Temperature (℃)	12	14	16	18
Day of mouth opening[1]	8	5	2	1
Absorption rate of yolk (mm^3/day)[2]	0.080±0.029[c]	0.109±0.013[bc]	0.134±0.017[ab]	0.150±0.023[a]
Absorption time of yolk[3] (day)	15	11	9	8
Absorption rate of oil globule (μm^3/day)[4]	1.8±0.4[b]	1.8±0.1[b]	2.1±0.2[ab]	2.4±0.2[a]
Absorption time of oil globule[5](day)	20	20	17	15

[1,3,5]The day is after hatching; [2,4]Values (mean±SE) with different letters within the same row are significantly different (P<0.01).

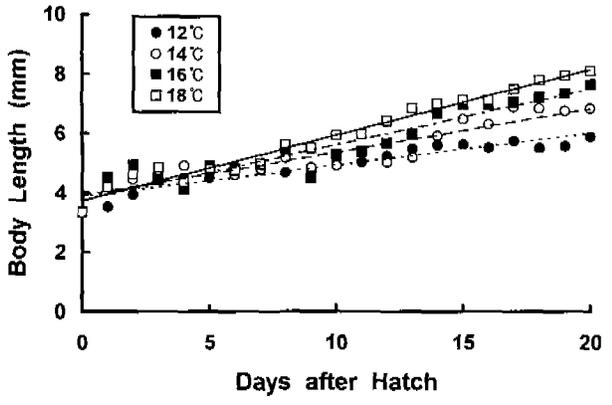

Fig. 1. Developmental changes in body length of larval sea bass reared at different temperatures during the first 20 days after hatching.

검증을 통해 파악해 본 결과, 12~18℃ 실험 범위 내에서 농어 자어의 성장은 온도가 높을수록 빠른 것으로 나타났다.

3. 자치어의 성장과 생존에 있어 수온과 염분의 영향

(1) 자어의 성장 및 생존에 있어 수온의 영향

부화후 5일째 농어 자어를 이용하여 수온 12~20℃ 사이에서 성장도를 파악해 보았다. Fig. 2와 같이 실험 개시시 농어 자어의 체장은 4.96±0.06 ㎜였으나, 10일후 (부화후 15일)에는 최저 4.63 ㎜에서 최고 5.72 ㎜로 수온이 낮은 구 보다 높은 구의 성장이 다소 빠르게 나타났고, 특히 사육 40일 (부화후 40일)부터 실험구별 성장 차는 크게 나타내기 시작했다. 그리하여 실험 종료시 (부화후 45일) 12℃ 8.38±0.57 ㎜, 14℃ 10.68±0.42 ㎜, 16℃ 12.85±0.24 ㎜, 18℃ 13.04±1.04 및 20℃ 14.33±0.45 ㎜로 수온의 높낮이에 비례하여 체장 성장이 빠른 것을 알 수 있었다 ($P<0.01$; Fig. 2).

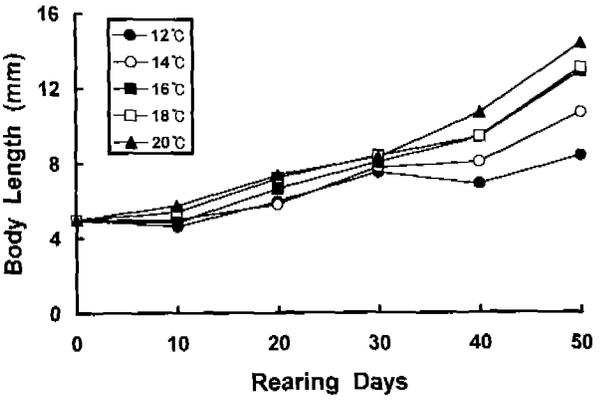

Fig. 2. Growth in body length of larval sea bass (*L. japonicus*) reared at different temperatures.

또한 부화후 5일째 농어 자어를 이용하여 수온 12~20℃ 사이에서 생존율을 파악해 본 결과, 사육 13일을 기준으로 12℃는 62.8±3.8%, 14℃ 45.4±2.6%, 16℃ 44.0±6.6%, 18℃ 48.5±3.8%, 20℃ 39.6±3.0%로 12℃구가 가장 높은 생존율을, 20℃가 가장 낮은 생존율을 나타내었지만, 14~18℃구 사이에는 유의한 차가 없었다. 이후 14일부터 47일까지 12℃구는 생존율의 급격한 감소를 나타내었고, 20℃구는 14~18℃보다 자어의 폐사율이 높게 나타났다. 이후 실험 종료시(사육 50일) 12℃구 4.2±1.4%, 14℃구 17.6±0.8%, 16℃구 13.7±1.0%, 18℃구 7.7±3.7% 및 20℃구 6.4±1.7%로 14℃가 가장 높은 생존율을 나타내었고, 그외 실험구는 16℃>18℃>12℃의 순서로 생존율이 높은 것으로 나타났다.

(2) 치어의 성장 및 생존에 있어 염분의 영향

부화 후 40일째 치어 (체장 11.6±1.7 mm, 체중 29.0±7.1 mg)을 염분별로 30일간 사육하여, 농어 치어의 성장과 생존율에 미치는 영향을 파악해 보았다.

길이 성장에 있어서는, 일간 성장율은 13~20 ppt가 19.7~19.8%의 성장을 나타내어 실험 종료시 17.5~17.6 mm의 크기를 보였고, 27~34 ppt는 일간성장율 18.0~18.8%으로 종료시 체장 17.0~17.3 mm을 나타내어, 해수구가 오히려 저염분구에 비해 성장이 낮은 것을 알 수 있었다. 무게 성장에 있어서는 27 ppt구가 실험종료시 일간성장율 290±27%, 체중116±7 mg으로 가장 빠른 무게 성장을 나타내었고, 나머지 세 실험구는 일간성장율 257~263%로 유의한 차가 없었다 ($P<0.05$)

생존율에 있어서는 Fig. 4와 같이 사육 5일째는 13 ppt구 79.5±3.0%, 20 ppt구 60.2±6.3%, 27 ppt구 60.6±1.9%, 34 ppt구 45.8±1.8%로 염분이 낮을수록 높은 것으로 나타났다. 그러나 10일까지 모든 실험구가 생존율의 급격한 감소를 나타내어, 13 ppt구 26.0±3.0%, 20 ppt구 27.1±1.5%, 27 ppt구 26.5±1.8% 및 34 ppt구 23.4±1.0%를 보여, 여전히 염분이 낮을수록 생존율이 높을 것을 알 수 있었다. 이후 30일간의 사육결과, 최종일의 생존율은 13 ppt구 14.5±3.0%, 20 ppt구 15.3±1.0%, 27 ppt구 11.6±6.4%, 34 ppt구 7.9±4.7%로 20 ppt구가 가장 높았고, 해수구인 34 ppt구가 가장 낮은 것으로 나타났다 ($P<0.05$).

Table 5. Specific growth rate calculated for total length (SGRL) and body weight (SGRW) of juvenile sea bass *L. japonicus* reared for 30 days at differential salinities

	Salinity (ppt)	13	20	27	34
Body length (㎜)[1]	0 day	11.6±1.7			
	30 day	17.5±0.3^{ab}	17.6±0.3^{a}	17.3±0.4^{ab}	17.0±0.2^{b}
	SGRL (%)	19.7±1.1^{a}	19.8±0.8^{a}	18.8±0.9^{ab}	18.0±0.3^{b}
Body weight (㎎)[2]	0 day	29±7			
	30 day	106±6^{ab}	108±4^{ab}	116±7^{a}	106±3^{b}
	SGRW (%)	257±23^{ab}	263±22^{ab}	290±27^{a}	257±15^{b}

[1,2]Values with different letters within the same row are significantly different ($P<0.05$); the value is mean±S.E.

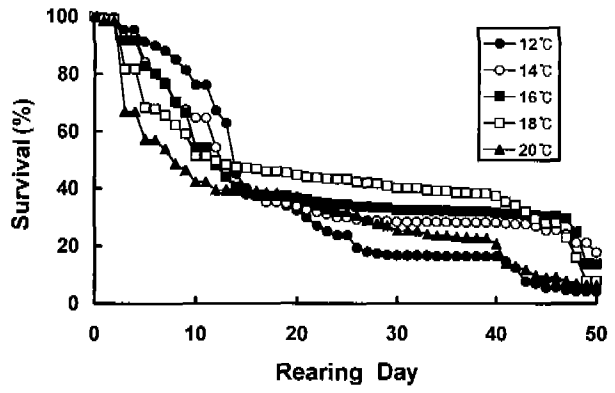

Fig. 3. Survival of larval sea bass (*L. japonicus*) reared at different temperatures.

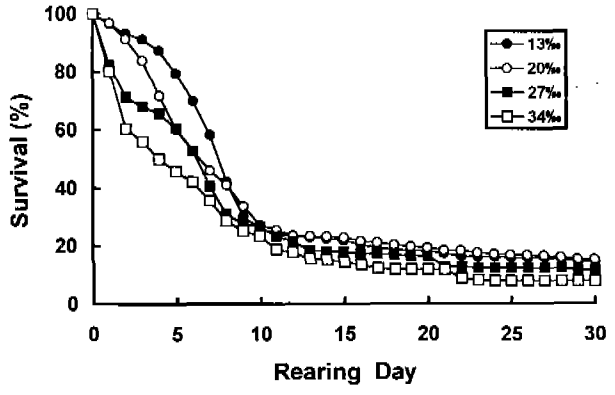

Fig. 4. Survival of juvenile sea bass (*L. japonicus*) reared at different salinities.

고 찰

현재 국내에서 소비되고 있는 횟감은 양식에 의해 생산되는 것들이 주를 이루고 있으며, 이중에서도 넙치와 조피볼락이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 최근 소비자의 기호가 다양화되면서 여러 어종의 횟감을 요구하고 있어, 양식대상 품종의 다양화 및 신품종 개발이 뒤따라야 할 것으로 보인다. 이러한 추세에 따라 국내에서는 연안 환경에 적응도가 높은 여러 어종을 대상으로 연구가 이루어지고 있는 데, 특히 농어과 어류가 산업적 가치가 높은 것으로 나타나 양식어가들의 관심을 집중시키고 있다. 지금까지 우리나라 연안에 분포하는 농어류는 넙치 농어 (*L. latus*) 및 농어 (*L. japonicus*)인 것으로 알려져 왔지만 (정, 1986), 최근에 와서 형태학적 차이, 산란기, 서식장소, 유전적 특징 (박 등, 1996; Kim and Jun, 1997) 등에 의해 옆면 측선 부근에 점을 보유하고 있는 일명 점농어 (*L. maculatus*)를 추가로 분류하고 있다. 이 중 농어는 육질의 맛이 다른 농어들 보다 뛰어나고, 실내사육 환경에 적응력이 높아 양식대상 종으로서 적합한 것으로 여겨지고 있다. 그러나 국내에 있어 농어 양식을 위한 경험과 연구자료가 부족하여, 완전양식은 힘든 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 농어 양식의 기초자료로서, 알의 부화, 자치어 사육시 적정 환경조건을 파악하기 위한 수온과 염분의 영향을 조사하였다.

어류 알은 생체 반응의 온도 의존성에 관한 지표인 Q_{10}의 법칙에 부합해, 서식수온 범위 내 수온에 비례하여 발생 또는 부화 속도가 결정된다 (이 등, 1997). 하지만 알의 부화율 또는 생존율은 이와 같은 상호 관련성을 나타내지 않는다는 것을 이 등 (1997)의 연구에서 확인할 수 있다. 참가자미의 경우 알의 부화율 또는 생존율은 대상 종의 최고 수온이 아닌 최적 수온에서 가장 높게 나타나며, 본 연구의 농어 역시 수온에 비례해 부화 속도는 빨라지지만, 부화율은 수온의 높낮이에 상관없이 최적수온 범위 (14~16℃)내에서 최상으로 나타나 이를 확인할 수 있었다. 또한 사육환경 중 수온은 어류의 대사와 성장 등에 영

향을 미친다 (Herzig and Winkler, 1986; Iwata et al., 1994). 특히 서식 수온 범위 내에서 수온이 높으면 부화자어의 초기발달 (Seikai et al., 1986), 대사 (Moser and Hettler, 1989; Walsh et al., 1991b) 및 먹이섭식 활력 (Wurtsbaugh and Cech, 1983; Hidalgo et al., 1987) 촉진에 의해 성장 향상 (Seikai et al., 1986; 김 등, 1999) 효과를 이끌어낸다. 본 연구에서 부화직후 농어 자어의 수온별 초기 발달 과정을 살펴 볼 때, 입 개구는 수온 18℃에서 부화 후 1일이, 16℃ 2 일, 14℃ 5일 및 12℃ 8일이 소요되었고, 난황 및 유구 흡수에 있어서 역시 수온에 따른 동일한 경향을 나타내어 수온이 높을수록 발달과정과 대사가 매우 촉진되는 것을 알 수 있었다. 이러한 서식 수온 범위 내에서 고수온이 자어의 성장을 앞당긴 효과는 일차적으로 대사활력 증진에 따른 먹이섭식 촉진 (Wurtsbaugh and Cech, 1983)에 따른 것으로 사료된다.

일반적으로 경골어류 알은 성어의 체액 삼투도 (300~400 mosm)에 가까운 체내 삼투농도를 유지하며 (Alderdice, 1988), 일부 어종에서 낭배 형성기에 삼투조절과 이온전이 (Alderdice, 1988), 배체 (embryo) 내 염세포의 존재 (Guggino, 1980; Hwang and Hirano, 1985)가 확인되었다. 이것은 종간 차이는 있을 수 있으나, 수정란이 초기 발생 동안 삼투조절 능력을 보유하고 있는 것으로 볼 수 있다 (Alderdice, 1988). 하지만 이 시기동안에는 그 조절 능력은 미세하고, 발달중인 배엽의 세포간 조밀성과 난막의 불침수성에 주로 의존적이어서 수동적 성향이 강하다 (Alderdice, 1988). 그리고 수계 염분도는 수정란의 체대사, 배체 발달 (Walsh et al., 1991a; Lee et al., 1992; Swanson, 1996) 그에 따른 부화시간 및 부화율 (Young and Dueñas, 1993)에 영향을 미칠 수 있다. 실례로 rabbitfish (*Siganus guttatus*)을 대상으로 염분 0~72 ppt의 범위에서 부화시간은 염분농도와 역 상관관계를 보였고, 부화율은 최저와 최고의 염분에서 감소하였다 (Young and Dueñas, 1993). 또한 참가자미를 대상으로 한 이 등 (1997)의 연구에서, 정상염분 35 ppt과 고염분 38 ppt에서는 수정란이 정상 발생 및 부화가 이루어졌으나, 27 ppt 이하에서 전량 폐사하는 것으로 나타나, 염분이 알의 부화에 직접적으로 연관된 것을 알 수 있었다. 이러한 임계점을 벗어난 염분은 배체의 운동성 증대, 부화시간 단축, 부화율, 부화자어 길이 및 난황부피 감소 등에 의해 배체 형성에 영향을 미친다. 특히 어류의 배 발생동안 심장 수축운동은 심낭액 (cardial fluid)을 섞어줌으로써 산소운반을 용이하게 하고, 운동성은 난황주변 액 (perivitelline fluid)을 혼합해 주어 호흡을 증진시킨다 (Peterson and Martin-Robichaud, 1983). 그러나 염분에 따라 이러한 현상은 다르게 나타날 수 있다. Young and Dueñas (1993)에 의하면 부화 전 배체는 고염분에서 매우 빠른 연축운동 (twitching)과 심장박동을 하지만, 저염분에서 미약한 것으로 주장하고 있다. 또한 Baltic herring (*Clupea harengus membras*)의 경우 25 ppt보다 4~5 ppt의 염분에서 심장박동이 느린 것으로 나타났다 (Kryzhanovsky 1956). 특히 산란기에 기수역에서 어미가 산란하고, 부화한 자어는 체장 16 mm 전후에서 담수로 소상하는 습성을 지닌 농어 (Matsumiya et al., 1985) 경우 부화, 자어의 초기발달 및 성장 등이 염분에 의해 많은 차이를 나타낼 것으로 보인다. 본 연구의 결과 농어 알은 기수성 염분에서 부화시간이 길어졌고, 일반해수 염분에서 부화시간이 짧은 것으로 나타났다. 이러한 염분과 부화시간 사이 역상관계는 yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*: Laurence and Howell, 1981), Gulf killfish (*Fundulus grandis*: Perschbacher et al., 1990) 및 rabbitfish (*Siganus guttatus*: Young and Dueñas, 1993) 등에서 확인할 수 있다. 그러나 haddock (*Melanogrammus aeglefinus*: Laurence and Rogers, 1976)는 부화시간에 있어 염분의 효과가 없으며, *Cyprinodon macularis* (Kinne, 1964)와 Pacific herring (*C. h. palasi*: Dushkina, 1973)에서는 오히려 염분증가에 따른 부화시간이 길어지는 것으로 나타나 종간 차이가 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 농어의 부화율은 27 ppt미만보다 27~34.5 ppt에서 높게 나타나, 염분도에 따른 부화율의 차이를 확인할 수 있었다. 이것은 *Siganus oramin*을 대상으로 한 Von Westernhagen and Rosenthal (1975)의 연구결과와 유사한 경향으로, 12.1 ppt에서 0%, 15.8%에서 3.6%, 20.9~32.2 ppt에서는 95% 이상의 부화율을 나타내었다. 하지만 rabbitfish (*S. guttatus*: Young and Dueñas, 1993), *Clupea harengus*, *Pleuronectes platessa* 및 *Gadus callarius* (Holliday, 1965) 경우 적정 사육 염분이 아니더라도, 부화가 이루어지며, 그 비율 또한 높게 나타나 본 연구와는 다소 차이를 보였다.

한편 Young and Dueñas (1993)에 의하면 반드시 부화율이 높다고, 부화 후 생존율까지 높게 나타나지 않는다는 것을 보여 주었다. 이 연구에서 rabbitfish (*S. guttatus*)는 4 ppt에서 50%이상의 부화율을 나타내었지만, 높은 불완전 부화 (partial hatching) 비율, 낮은 부화 후 생존율

(10% 이하) 및 자어 기형 출현율이 높은 것으로 판명되었다. 특히 이러한 불안전 부화는 저비중에 의한 배체 발달, 운동성 감소, 미부 근조직의 비정상 발생 등에 의해 부화 전 배체가 난막을 뚫고 나오는 것을 어렵게 만든다 (Holliday, 1965, 1969). 그러므로 본 연구의 농어 수정란뿐만 아니라 경골어류의 수정란 부화관리에 있어 적정 염분 구성이 중요할 것으로 생각된다. 또한 수정란 관리시 염분은 부화직후 자어의 크기에 영향을 미칠 수 있다 (Young and Dueñas, 1993). 특히 rabbitfish (*S. guttatus*: Young and Dueñas, 1993), Pacific cod (*G. macrocephalus*: Forrester and Alderdice, 1966) 및 *Caranx mate* (Santerre, 1976) 등을 통해 확인할 수 있듯이 서식 염분보다 다소 낮은 농도에서 수정란을 관리하여 자어를 부화시켰을 경우 자어의 크기가 큰 것으로 나타났다. 그러나 hadock (*M. aeglefinus*)의 경우 부화자어의 크기 및 염분과 관련성이 없는 것으로 확인되었고, Atlantic cod (*Gadus morhua*)는 오히려 고염분에서 자어의 크기가 더 큰 것으로 나타났다 (Laurence and Rogers, 1976). 그리고 부화관리 염분은 부화직후 자어의 난황크기에 영향을 미친다. 특히 rabbitfish (*S. guttatus*: Young and Dueñas, 1993), *Bairdiella icistia* (May, 1974) 및 *S. sihama* (Lee et al., 1981) 등은 저염분에서 부화한 자어의 난황 크기가 큰 것으로 나타났다. 그러나 petrale sole (*Eopsetta jordani*: Alderdice and Forrester, 1971) 및 killfish (*Fundulus parvipinnis*: Rao, 1974)는 반대로 고염분에서 난황 크기가 큰 것으로 나타났다. 이러한 부화직후 자어의 길이와 난황 크기의 차이는 각 어종들의 최적 서식염분이 아닌 상태인 고염분에서는 자어가 미성숙 상태에서 부화가 이루어지고, 저염분에서는 부화직후 자어의 수분함량이 많기 때문인 것으로 여러 연구자 (Holliday, 1965; May, 1974; Lee et al., 1981; Young and Dueñas, 1993)들은 주장하고 있다. 어쨌든 정상개체보다 작은 난황을 보유한 부화직후 소형 자어는 배체발달 동안 성장과 대사유지를 위한 에너지 소비 증가에 의해 이후 생활사에 영향을 받을 수 있기 때문에 (Rosenthal and Alderdice, 1976), 어종별 수정란 부화관리에 적정 염분을 파악할 필요가 있을 것으로 생각된다.

그리고 해산어류의 자치어는 성어에 비해 염분내성이 강한 것으로 알려져 있다 (Holliday, 1969; Young and Dueñas, 1993). rabbitfish (*S. guttatus*)의 경우 부화 후 12시간 째 10~45 ppt, 24시간 후에 14~37 ppt의 염분 내성을 보였고 (Young and Dueñas, 1993), 다른 해산어종인 milkfish, *Chanos chanos*는 부화직후 8~37 ppt의 염분 내성을 보였다 (Dueñas and Young, 1983). 또한 생태학적으로 herring (*Clupea harengus*), Pacific herring (*C. pallasi*), plaice (*Pleuronectes platessa*), cod (*Gadus callarius*)의 난황낭 자어가 고염분인 60~65 ppt에서 관찰되는데, *C. harengus*와 *C. pallasi*는 저염분인 1~4 ppt, *P. platessa*는 5 ppt 및 *G. callarius*는 10 ppt에서도 생존 가능한 것으로 나타났다 (Holliday, 1965). 이것은 부화자어 외피 구조와 조성에 의한 낮은 염분 투과도에 의한 것으로 생각된다 (Holliday, 1969). 그러나 염분은 자어의 난황흡수 및 이용효율 (May, 1974; Swanson, 1996), 삼투조절 (Febry and Lutz, 1987; Evans, 1984), 대사에너지 (Morgan and Iwama, 1991) 및 소화능력 (Ferraris et al., 1986) 등에 관여하여 성장, 염분내성과 스트레스에 의한 생존율 (Watanabe et al., 1990)에 영향을 미칠 수 있다. 실제 herring (Tytler and Blaxter, 1988), 무지개송어 (Morgan and Iwama, 1991), milkfish,(*C. chanos*: Swanson, 1996), 은어, *Plecoglossus altivelis* (전 등, 1999) 및 숭어, *Mugil cephalus* (장 등, 1996) 등을 대상으로 한 연구에서 확인된 바 있으며, 본 연구 역시 농어 자어는 실험 종료시 해수구보다 모든 기수구가 높았으며, 특히 20 ppt구가 가장 높은 것으로 나타났다. 일반적으로 해산어류의 부화직후 자어는 약 12~15 ppt 정도의 체액 염분농도를 지니고 있으며 (Tytler and Blaxter, 1988), 수계 염분이 낮은 곳보다 높은 곳에서 높은 삼투조절 에너지를 요구하며 (Tytler and Blaxter, 1988), 대사활성 증가에 의해 난황흡수가 촉진되는 것으로 알려져 있다 (Lee et al., 1981). 그러나 부화자어 체액이 수계 염분과 등장성일 경우에는 대사활성의 감소 (Young and Dueñas, 1993), 낮은 운동성 (Johnson and Katavic, 1986; Young and Dueñas, 1993) 및 효율적 난황이용 (May, 1974)에 의한 에너지 소비 감소 및 축적 증대에 의해 부화 자어의 생존율을 향상시킬 수 있다. 이러한 사실은 brown-spotted grouper, *Epinephelus tauvina* (Akatsu et al., 1983), *Sillago sihama* (Lee et al. 1981), rabbitfish, *S. guttatus* (Young and Dueñas, 1993), 은어, *P. altivelis* (전 등, 1999) 등 몇 종에서 확인할 수 있었다.

한편 염분은 광염성 어류의 성장에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 숭어, *M. cephalus* (장 등, 1996)와 은어, *P. altivelis* (전 등, 1999)의 경우 광염성 어종의 치어는 완전해수보다 기수성 사육환경에서 오히려 빠른 성장을 나타내었다. 본 연구에서도 농어 치어는 길이 성장에 있어

서는 13 ppt과 20 ppt구가 자연해수의 염분보다 성장도가 빨랐으며, 무게 성장에 있어서는 27 ppt만이 자연 해수의 염분도에 비해 빠른 것으로 나타나, 기수성 사육환경이 어류의 빠른 성장을 이끌어 내는 것으로 생각된다. 따라서 사육수의 염분 농도가 광염성 어류의 성장에 관여하며, 최적 성장을 위해서는 발달시기에 따른 생태학적 최적 서식 염분을 제공해주는 것이 좋을 것 같다. 농어의 경우, 생태학적 서식 습성이 16 mm 전후로 강 또는 하천을 소상해서 올라간다는 사실을 고려해 볼 때 이해될 수 있을 것이다. 그러나 광염성 어종의 사육시 치어의 성장에 있어 염분의 영향은 종간 차이 (Morgan and Iwama, 1991), 어체 크기 (Clarke and Shelbourn, 1985), 발달 시기 (Morgan and Iwama,1991) 및 수온 (May, 1974; Clarke and Shelbourn, 1985) 등 여러 가지 요인에 의해 다르게 나타날 수 있으므로 여기에 대해서는 지속적 연구가 필요하다고 본다.

요 약

본 연구는 농어 종묘생산을 위해 부화 및 자치어 사육시 요구되는 적정 사육 조건을 구명하며, 수온과 염분이 농어의 발달, 성장 및 생존율에 어떠한 영향을 미치는 지에 대해 조사하였다.

수정란의 부화에 있어 수온의 영향을 파악하기 위해 수온 범위 10℃~20℃에서 2℃ 간격으로 실험구를 설정하였다. 부화시간은 수온이 높을 수록 빨랐으며, 부화율은 14℃구가 가장 좋았고, 10℃와 20℃는 다른 실험구들보다 유의하게 낮았다. 또한 염분에 따른 영향을 파악하기 위해 염분을 22.0 ppt, 24.5 ppt, 27.0 ppt, 29.5 ppt, 32.0 ppt, 34.5 ppt로 설정하여 부화 실험을 실시한 결과, 부화시간은 실험구별 유의성이 없었고, 부화율은 34.5 ppt구가 가장 높게 나타났고 24.5 ppt과 22.0 ppt과 같은 저염분구는 유의하게 낮게 나타났다. 부화 자어의 초기발달에 있어 수온의 영향 실험에서는 10℃~18℃ 범위에서 2℃ 간격의 실험구를 설정하여, 부화직후 자어의 입개구 난황흡수, 유구흡수 속도등과 같은 초기 발달과정 및 성장도를 파악하였다. 수온에 따른 초기 발달과정 및 성장도는 수온이 높을수록 빠른 것으로 나타났다. 자치어의 성장과 생존에 있어 수온과 염분의 영향 실험에서는 부화 후 5일째 농어 자어를 이용하여 수온 12~20℃ 사이에서 성장도 및 생존율을 파악해 본 결과, 실험 종료시 (부화후 45일) 수온의 높이에 비례하여 성장이 빨랐으며, 생존율은 14℃가 가장 높은 생존율을 나타내었고, 그 외 실험구는 16℃>18℃>20℃>12℃의 순서로 나타났다. 부화 후 40일째 치어를 염분별 (13 ppt구, 20 ppt구, 27 ppt구, 34 ppt구)로 30일간 사육하여, 농어 치어의 성장과 생존율에 미치는 영향을 파악해 보았다. 성장은 기수성의 저염분구가 해수구보다 빠른 성장을 나타냈었으며, 생존율의 경우 20 ppt구가 가장 높았고, 해수구인 34 ppt구가 가장 낮은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

Akatsu, S., K. M. Al Abdul Elah and S. K. Teng, 1983. Effects of salinity and water temperature on the survival and growth of brown-spotted grouper larvae (*Epinephelus tauvina*, Serranidae). J. World Maricult. Soc., 14 : 624-635.

Alderdice, D. F. and C. R. Forrester, 1971. Effects of salinity and temperature on embryonic development of the petrale sole (*Eopsetta jordani*). J. Fish. Res. Board Can., 28 : 727-744.

Alderdice, D. F., 1988. Osmotic and ionic regulation in tcleost eggs and larvae. pp. 163-251. (*in*) Fish Physiology (eds.) Hoar, W.S. and D.J. Randall. Vol. 11, Part A, Academic press, New York.

Clarke, W. C. and J. E. Shelbourn, 1985. Growth and development of seawater adaptability by juvenile fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in relation to temperature. Aquaculture, 45 : 21-31.

Dueñas, C. E. and P. S. Young, 1983. Salinity tolerance and resistance of milkfish larvae. (*in*) Paper Presented during the Second International Milkfish Aquaculture Conference, 4-8 October 1983, Iloido, Philippines, Abstracts, pp. 22.

Evans, D. H., 1984. The roles of gill permeability and transport mechanism in euryhalinity. pp. 239-283. (*in*) Fish Physiology (eds.) Hoar, W. S., D. J. Randall and J.R. Barett. Academic Press, New York.

Febry, R. and P. Lutz, 1987. Energy partitioning in fish: the activity-related cost of osmoregulation in euryhaline cichlid. J. Exp. Biol., 128 : 63-85.

Ferraris, R. P., M. R. Catacutan, R. L. Mabelin and A. P. Jazul, 1986. Digestibility in milkfish, *Chanos chanos*: Effect of protein source, fish size and salinity. Aquaculture, 59 : 93-105.

Guggino, W. B., 1980. Salt balance in embryos of *Fundulus heteroclitus* and *F. bermudae* adapted to seawater. Am. J. Physiol., 238 : 42-49.

Herzig, A. and H. Winkler, 1986. The influence of temperature on the embryonic development of three

cyprind fishes, *Aramis brama, Chalcalbrunus chacoides mento* and *Vimba bimba*. J. Fish Biol., 28 : 171-181.

Hidalgo, F., E. Alliot and H. Thebault, 1987. Influence of water temperature on food intake, food efficiency and gross composition of juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture, 65 : 199-207.

Holliday, F. G. T., 1965. Osmoregulation in marine teleost eggs and larvae. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep., 10 : 89-95.

Holliday, F. G. T., 1969. The effects of salinity on the egg and larvae teleost. pp. 312-318. (*in*) Fish Physiology, Vol. I (eds.) Hoar, W. S. and D. J. Randall. Academic Press, New York.

Horiki, N., 1993. Distribution patterns of sea bass. *Lateolabrax japonicus* eggs and greenling, *Hexagrammos otakii* larvae in relation to water masses in the Kii channel and adjacent waters in winter, Nippon Suisan Gakkaishi, 59 : 201-207.

Hwang, P. P. and R. Hirano, 1985. Effects of environmental salinity on intercellular organization and junctional structure of chloride cells in early stages of teleost development. J. Exp. Zool., 236 : 115-126.

Iwata, N., K. Kikuchi, H. Honda, M. Kiyono and H. Kurokura, 1994. Effects of temperature on the growth of Japanese flounder. Fish. Sci., 60 : 527-531.

Johnson, D. W. and I. Katavic, 1986. Survival and growth of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae as influenced by temperature, salinity, and delayed initial feeding. Aquaculture, 52 : 11-19.

Kim, C. H. and H. C. Jun, 1997. Provisional classification of temperate sea bass, the genus *Lateolabrax* (Pisces : Moronidae) from Korea. Kor. J. Ichthyol., 9 : 108-113.

Kinne, O., 1964. The effects of temperature and salinity on marine and brackish water animals. II. Salinity and temperature-salinity combinations. Oceanogr. Mar. Biol. A. Rev., 2 : 281-339.

Kryzhanovsky, S. G., 1956. Development of *Clupea harengus membras* in water of high salinity. Vopr. Ikhtiol., 6 : 100-104.

Lasker, R., 1964. An experimental study of the effect of temperature on the incubation time, development, and growth of Pacific sardine embryos and larvae. Copeia, 2 : 399-405.

Laurence, G. C. and C. A. Rogers, 1976. Effects of temperature and salinity on comparative embryo development and mortality of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) and hadock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). J. Cons. Int. Explor. Mer., 36 : 220-228.

Lee, C. S., C. S. Tamaru, C. D. Kelley, A. Moriwake and G. T. Miyamoto, 1992. The effect of salinity on the induction of spawning and fertilization in the striped mullet, *Mugil cephalus*. Aquaculture, 101 : 289-296.

Lee, C. S., F. Hu and R. Hirano, 1981. Salinity tolerance of fertilized eggs and larval survival in the fish *Sillago sihama*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 4 : 169-174.

Makino, N., M. Uchiyama, S. Iwanami, T. Tohyama and M. Tanaka, 1995. Differentiation and development of the swimbladder in larvae of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus*. Nippon Suisan Gakkaishi, 61 : 143-150.

May, R. C., 1974. Effects of temperature and salinity on yolk utilization in *Bairdiella icistia* (Jordan & Gilbert) (Pisces: Sciaenidae). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 16 : 213-225.

Morgan, J. D. and G. K. Iwama, 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steelhead trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhyncus tshawytscha*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48 : 2083-2094.

Moser, M. L. and W. F. Hettler, 1989. Routine metabolism of juvenile spot, *Leiostomus xanthurus* (Lacépède), as a function of temperature, salinity and weight. J. Fish Biol., 35 : 703-707.

Perschbacher, P. W., D. V. Aldrich and K. Strawn, 1990. Survival and growth of the early stages of gulf killifish in various salinity. Prog. Fish-Cult., 52 : 109-111.

Peterson, R. H. and D. J. Martin-Robichaud, 1983. Embryo movements of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as influenced by pH, temperature, and state of development. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 40 : 777-782.

Pèrez, R., M. Tagawa, T. Seikai, N. Hirai, Y. Takahashi and M. Tanaka, 1999. Developmental changes in tissue thyroid hormones and cortisol in Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus* larvae and juveniles. Fish. Sci., 65 : 91-97.

Rao, T. R., 1974. Influence of salinity on the eggs and larvae of the California killfish, *Fundulus parvipinnis*. Mar. Biol., 24 : 155-162.

Rogenthal, H. and D. F. Alderdice, 1976. Sublethal effects of environmental stressors, natural and pollutional, on marine fish eggs and larvae. J. Fish. Res. Board Can., 33 : 2047-2065.

Santerre, M. T., 1976. Effects of temperature and salinity on the eggs and early larvae of *Caranx mate* (Cuv. & Valenc.) (Pisces: Carangidae) in Hawaii. J. Fish. Res. Board Can., 33 : 2047-2065.

Seikai, M., J. B. Tanangonan and M. Tanaka, 1986. Temperature influence on larval growth and meta-

morphosis of the Japanese flounder *Palalichthys olivaceus* in the laboratory. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 52 : 977-982.

Swanson, C., 1996. Early development of milkfish: effects of salinity on embryonic and larval metabolism, york absorption and growth. J. Fish Biol. 48 : 405-421.

Tytler, P. and J. H. S. Blaxter, 1988. The effect of external salinity on the drinking rates in the larvae of herring, plaice and cod. J. Exp. Biol., 138 : 1-15.

Walsh, W. A., C. Swanson and C. S. Lee, 1991a. Combined effects of temperature and salinity on development and hatching of striped mullet, *Mugil cephalus*. Aquaculture, 97 : 281-289.

Walsh, W. A., C. Swanson and C. S. Lee, 1991b. Effects of development, temperature, and salinity on metabolism in eggs and yolk-sac larvae of milkfish, *Chanos chanos* (Forskål). J. Fish Biol. 39 : 115-125.

Watanabe, W., L. J. Ellingson, B. Olla, D. H. Ernst and R. I. Wicklund, 1990. Salinity tolerance and seawater survival vary ontogenetically in Florida red tilapia. Aquaculture, 87 : 311-321.

Wurtsbaugh, W. A. and J. J. Cech, Jr., 1983. Growth and activity of juvenile mosquitofish: temperature and ration effects. Tran. Am. Fish., 112 : 653-660.

Yamada, M., 1986. *Lateolabrax japonicus* (Cuvier). (*in*) Fishes of the East China Sea and the Yellow Sea (eds.) Yamada, M., M. Tagawa, S. Kishida and K. Honjo. Seikai Reg. Fish. Res. Lab., Nagasaki. (In Japanese)

Young, P. S. and C. E. Dueñas, 1993. Salinity tolerance of fertilized egg and yolk-sac larvae of the rabbitfish, *Siganus guttatus* (Bloch). Aquaculture, 112 : 363-377.

김광수 · 임상구 · 김철원 · 허성범, 1999. 수온, 자어밀도 및 먹이공급에 따른 붉은쏨뱅이, *Sebastiscus tertius* 자어의 성장과 생존율. 한국양식학회지, 12 : 213-220.

박중연 · 김경길 · 김윤, 1996. Isozyme 분석에 의한 *Lateolabrax japonicus* 한국산 농어 2형간의 유전학적 특징. 한국양식학회지, 9 : 437-444.

백혜자 · 김형배 · 안철민 · 명정인, 1998. 호르몬 처리(*in vitro* 실험)에 의한 농어, *Lateolabrax japonicus*의 난성숙과 배란유도. 한국양식학회지, 11 : 119-124.

이정용 · 김완기 · 장영진, 1997. 참가자미, *Limanda herzensteini*의 난발생에 미치는 수온과 염분의 영향. 한국양식학회지, 10(3) : 357-362.

이종관 · 정성채 · 문영봉 · 김경길, 1988. 농어 인공부화 및 자 · 치어의 사육에 관한 연구. 수진연구보고, 42 : 43- 48.

장영진 · 이영춘 · 이복규, 1996. 어린 숭어(*Mugil cephalus*)의 염분 농도별 성장과 생존율 비교. 한국양식학회지, 9 : 311-320.

전민지 · 강경호 · 장영진 · 이종관, 1999. 은어, *Plecoglossus altivelis*의 성장과 삼투압 조절에 미치는 염분의 영향. 한국양식학회지, 12 : 123-135.

정문기, 1986. 한국어류도보. pp. 298-299. 일지사, 서울.

(접수 : 2001년 1월 11일, 수리 : 2001년 2월 5일)