

농어, *Lateolabrax japonicus* 유어의 성장에 있어 사육 수온의 영향

강덕영* · 한형균¹ · 전창영²

국립수산과학원 서해수산연구소, ¹국립수산과학원 어류양식연구센터
²국립수산과학원 연구기획실

Influence of Water Temperature on Growth of Yearling Sea Bass, *Lateolabrax japonicus* in Indoor Tank

Duk-Young Kang*, Hyoung-Kyun Han¹ and Chang-Young Jun²

WSFRI, NFRDI, 707 Eulwang, Jung-gu, Incheon, 400-420, Korea, Republic of
Finfish Research Center, NFRDI, 22, Ohsan, Wonnam, Uljin, 767-863, Korea, Republic of
Research Planing Department, NFRDI, 408-1, Gijang, Busan, 619-902, Korea, Republic of

Two experiments were conducted to study the effect of temperature on growth and survival of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus* reared from 3°C to 33°C. In the 1st experiment, we used yearlings fish averaging 19.2±0.2 cm/fish (Mean±S.E.M.) of total length (TL) and 67.0±1.8 g/fish (Mean±S.E.M.) of body weight (BW), and we cultured the fish at 3, 6, 9, 12 and 17°C for 90 days. In the 2nd experiment, the experimental fish averaging 24.9±0.1 cm/fish (Mean±S.E.M.) of TL and 146.4±3.0 g/fish (Mean±S.E.M.) of BW were reared at 21, 24, 27, 30 and 33°C for 90 days. During these experiments, we measured food intake, feed efficiency, survival and growth (TL and BW) in the both experiments. Although food intake of the yearling increased with the temperature, the feed efficiency was only enhanced within the temperature range, from 21 to 27°C. Growth of yearling was normal within the temperature range from 17 to 30°C, but it was stopped or reduced in other temperatures. Survival rate was significantly reduced in 3°C from the 1st experiment and in 30 and 33°C from the 2nd experiment, but there was no significant difference among other groups.

Keywords: Sea bass, *Lateolabrax japonicus*, Water temperature, Growth, survival

서 론

일반적으로 해산어류는 극지의 냉수(-1.9~4°C)에서부터 열대의 온수(>30°C)에 걸쳐 광범한 범위에서 서식한다. 변온동물인 경골어류에 있어서 수온은 일차적으로 효소 작용을 통해 어체의 생리기작과 대사과정에 영향을 미치며(Hochachka and Somero, 2001), 먹이에 대한 대사적 요구를 조절하고, 발달중인 자치어의 유영속도(Hunt von Herbing, 2002)와 먹이포획 능력, 최종적으로 근육 성장(Ayala et al., 2001; Nathanailides et al., 1996)에 의해 기관 분화 및 발달에 영향을 미칠 수 있을 것으로 본다. 특히 사육 수온은 양식 대상종 선정과 그에 따른 양식장의 지역적 위치를 선정하는 데 중요한 요소로서, 양식산 어류의 성장과 생존에 필요한 에너지 요구량 변화를 야기할 수 있으며, 사육 밀도, 먹이공급률, 양성 기간에 영향을 미침으로써 생산성을 좌우할 수 있다. 따라서 양식 생산자에게 있어 대상 종에 대

한 최적 수온 제공은 생산 기간 단축은 물론 생산 단가 절감을 통해 경영상 운영경비를 낮출 수 있는 가장 중요한 요인으로 여겨져 왔다. 또한 대상 종의 서식 수온 정보는 해상 가두리뿐만 아니라, 육상 콘크리트 수조 내 사육 개체들의 연간 성장과 생존을 예측하는 데 매우 유용한 데이터로 활용될 수 있어, 대상 어류의 사육에 있어 표준 사양화를 가능하게 할 것으로 보고 있다.

현재 농어류는 국내 양식 및 수산업 분야에 있어 중요한 부문을 차지하는 종으로, 우리나라 연안에는 점농어, *Lateolabrax maculatus* 및 농어, *Lateolabrax japonicus*와 같은 2가지의 주요 산업종이 존재하며, 넙치농어, *Lateolabrax latus*와 더불어 3종의 농어가 학계에 보고되어 있다. 이중에서도 농어, *L. japonicus*는 겨울철 서식 수온이 10°C 이하로 떨어지는 서해안과 남서해안에 분포하는 점농어와 달리, 섬진강 하구를 경계로 겨울철 서식 평균 수온이 쿠로시오 난류의 영향에 의해 10°C 이상인 우리나라 남동해안을 따라 일본 연안까지 분포한다. 그러나 수년 동안 우리나라 남동해안에서 양식되어져 왔으나, 아직까지 이 종의 최적 성장과 생존을 유도할 수 있는 성장 단계별 적정 서

*Corresponding author: dykang@hotmail.com

식 수온 자료는 찾아 볼 수 없다. 그러므로 본 연구에서는 우리나라 남동해 연안에서 4계절 동안 나타나는 전형적 수온 범위(3~33°C)에서 농어의 성장, 생존율, 사료 섭취량 및 전환효율 등에 미치는 수온의 영향을 파악해 보고, 동·하절기 이들의 적정 사육수온을 제시하고자 한다.

재료 및 방법

실험어 및 실험구

수온별 농어 유어의 섭식 대사 및 성장 실험을 위해 저수온(1st Experiment)과 고수온(2nd Experiment) 2가지 수온 실험을 실시하였다. 실험어는 2001년 2월에 부화된 1년생 이상 된 유어를 10마리/300 L로 사육하였으며, 저수온 실험구는 개시시 전장 19.2±0.2 cm, 체중 67.0±1.8 g의 실험어를 이용해 2002년 1월부터 3월까지 동절기에, 고수온 실험구는 전장 24.9±0.1 cm, 체중 146.4±3.0 g의 개체를 이용하여 2002년 8월부터 10월까지 하절기에 각각 90일간 실시하였다. 실험구는 저수온 실험에서는 수온을 3, 6, 9, 12 및 17°C로 설정하였으며, 고수온 실험에서는 21, 24, 27, 30 및 33°C 5개구로 설정하였다.

사육관리 및 환경

실험구의 사육수는 자동온도조절장치(유원전기)를 이용해 실험 수온으로 조정하였고, 실험수조 내 수온의 급격한 변화에 의한 실험어 스트레스를 방지하기 위해, 1~2일간에 걸쳐 사육 온도를 1°C씩 증감시켜 실험구별 온도 조건에 맞춰주었다. 사육수 공급량은 하루 12회전으로 하였다.

실험기간 동안 매일 사육환경(수온, 염분, DO, pH)을 측정했으며, 염분과 pH는 YSI63 (USA) 측정기를, DO는 YSI58 (USA) 용존산소측정기를 사용했다. 실험수조는 300 L 원형 FRP 수조(수량: 250 L)를 사용하였다. 먹이는 넙치용 배합사료(이화사료)를 매일 3~4회 공급과 동시에 공급량을 측정했다. 실험기간 동안의 수온, 염분, DO, pH의 변화는 Table 1과 같다.

성장 측정

실험어의 측정(전장, 체장, 체중)은 예비사육기간 10일을 제외하고, 실험기간 90일 중 개시시, 30일째, 60일째, 90일째에 하루 동안 절식시킨 후 어체 측정판을 이용하여 전장은 1 mm 단위까지, 전중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 어체 측정을 위한 실험어는 해수 20 L를 채운 플라스틱 용기에 Benzocaine을 어체 크기에 따라서 2.0~3.0 g을 알콜 20 ml에 섞어 만든 용액을 넣어 마취시켰다. 마취 용기에 담겨진 실험어는 30초 경과시 옆으로 기울고, 약 1분 경과시는 바닥에 누워 마취상태로 돌입했는데, 이 시기부터 측정했다. 실험기간 중 생존율은 폐사개체를 헤아려 산정했다. 실험 종료시 측정된 값들을 이용하여 개체당 일간섭식량(Daily Food Intake: DFI) 및 사료효율(Feed Efficiency: FE)을 Han et al. (2002)와 동일한 방법으로 구하였고, 실험구별 생존율 및 월별 성장을 측정하였다.

- ▶ DFI (mg/fish/day)=소비된 사료중량/(사육일수×수용마리수)
- ▶ FE (%)=(어체의 습중량 증가분/건조 사료 섭취량)×100

통계처리

실험 자료는 SPSS-PC 통계패키지(SPSS 7.5 for Window)를 이용하여, one-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test에 의하여 분석하였다.

결 과

저온 사육실험

섭식률, 사료효율 및 생존율

90일간의 저수온 사육실험 결과, 17°C구가 906.8±6.1 mg으로 가장 높은 사료섭식량을 나타내었고, 3°C구가 46.8±1.0 mg로 가장 낮은 사료섭식량을 나타내었다. 사료효율은 역시 17°C구가 35.5±1.0%로 가장 높게 나타났고, 6°C와 3°C구는 오히려 마이너스 사료효율을 나타내었다. 실험구별 생존율은 6~17°C 사이에서는 실험기간 동안 전량 생존하였으나, 3°C에서는 40%

Table 1. Environmental factors in experimental tanks

Group	W.T (°C) ¹	Salinity (psu)	D.O (mg/ml) ²	pH
1st Experiment	3°C	4.0±1.8	9.1±0.6	8.3±0.1
	6°C	6.6±1.2	35.7±0.7	8.1±0.8
	9°C	9.6±0.7		7.3±0.8
	12°C	12.4±0.5		6.9±0.8
	17°C	17.1±2.6		6.0±0.9
2nd Experiment	21°C	20.9±1.0		5.9±1.1
	24°C	23.4±1.7	33.4±3.7	5.8±1.2
	27°C	26.1±2.7		5.6±1.1
	30°C	29.3±3.8		5.3±1.0
	33°C	30.9±4.5		5.1±1.0

¹W.T: water temperature; ²D.O: dissolved oxygen.

Table 2. Performance of yearling sea bass (*L. japonicus*) reared in different temperatures for 1st experiment*

Temperature	Daily food intake (mg)	Feed efficiency (%)	Survival Rate (%)
3°C	46.8±1.0 ^a	-19.0±32.8 ^d	60±7 ^b
6°C	90.2±4.7 ^d	-22.9±7.1 ^d	100±0 ^a
9°C	288.2±6.9 ^e	8.1±8.6 ^c	100±0 ^a
12°C	425.5±21.5 ^b	16.9±3.7 ^b	100±0 ^a
17°C	906.8±6.1 ^a	35.5±1.0 ^a	100±0 ^a

*Values (means±s.e.m) with different superscripts within the same column are significantly different ($P<0.05$).

가 폐사하였다(Table 2).

성장

실험구별 유어의 성장은 30일 간격으로 90일 동안 측정하였다. 개시시 평균 전장 19.2 cm인 유어는 개시 30일부터 실험 종료시까지 3°C~12°C 사이에서는 역성장(성장 감소) 또는 정체 현상을 나타내었고, 단지 17°C만이 정상 성장 경향을 나타내어 실험 종료시 21.0±0.3 cm로 자라났다. 또한 체중의 경우 개시시 평균 체중 67.0 g인 유어는 개시 30일부터 실험 종료시까지 3°C~12°C 사이에서는 역성장 또는 정체 현상을 나타내었고, 단지 17°C만이 정상적인 성장을 나타내어 실험 종료시 100.6±2.7 g로 자라났다(Fig. 1).

고온 사육 실험

섭식률, 사료효율 및 생존율

90일간의 고온 사육실험 결과, 30°C구가 18.0±0.5 g으로 가장 높은 사료섭식량을 보였고, 21~27°C 사이에는 유의차가 없이 16.7~17.4 g 범위를. 그리고 33°C에서는 가장 낮은 3.1±0.1 g의 사료섭식량을 나타내었다. 그러나 사육개시후 5일 이내 대량 폐사가 일어나 사료효율을 계산할 수 없었던 33°C를 제외하고, 사료섭식량이 가장 많았던 30°C구가 가장 낮은 사료효율을 나타내었고, 21°C가 가장 높은 170±25.8%의 사료효율을 보였다. 실험구별 생존율은 21~27°C 사이에서는 실험기간 동안 전량 생존하였으나, 30°C에서는 5% 폐사, 33°C에서는 97%의 폐사가 일어났다(Table 3).

성장

21~33°C 사이의 수온범위에서 이루어진 실험에서 최초 평균 전장 24.9 cm인 유어의 성장은 21~30°C 사이에서는 양의 성장을 나타내어, 실험 종료시 26.8~27.5 cm로 자라나지만, 33°C는 실험 개시 후 곧바로 역성장 경향을 나타내어 실험 종료시 23.1 cm로 감소하는 것을 알 수 있었다. 체중 성장의 경우 역시 최초 평균 체중 146 g인 유어는 개시 30일부터 실험 종료시까지 21~30°C 범위에서는 평균 체중 168~189 g으로 양의 성장을 나타내었고, 특히 27°C구가 189.7±5.8 g로 가장 빠른 성장을 나타내었다. 그러나 33°C는 실험 개시 후 곧바로 역성장 경향을 나타내어 실험 종료시 66.5 g로 감소하는 것을 알 수 있었다(Fig. 2).

고 찰

어류는 주변 환경에 의해 체내 대사 및 생리 상태가 변화하며(Clarke et al., 1981; Berg et al., 1992), 광온성으로서 번식, 영양대사, 성장과 기관발달, 성분화 등과 같은 생리적 작용에 수온의 영향을 직간접적으로 받는 것으로 알려져 있다(Davis and Parker 1990; Ishioka, 1980; Ryan, 1995; Strange et al., 1977; Woo, 1990). 특히 수계 내 급격한 온도 변화는 대상 동물의 대사 및 생리활성을 변화시켜, 체내 항상성을 붕괴시킬 수 있다. 이것은 온도변화에 따른 스트레스가 생체 내 카테콜아민과 코르티코스테로이드와 같은 호르몬을 과다 분비케 하여, 대사량(Barton and Schreck 1987), 성장(Clarke et al., 1981), 면역능력(Maule et al., 1987; Pickering, 1992), 생식능력(Carragher

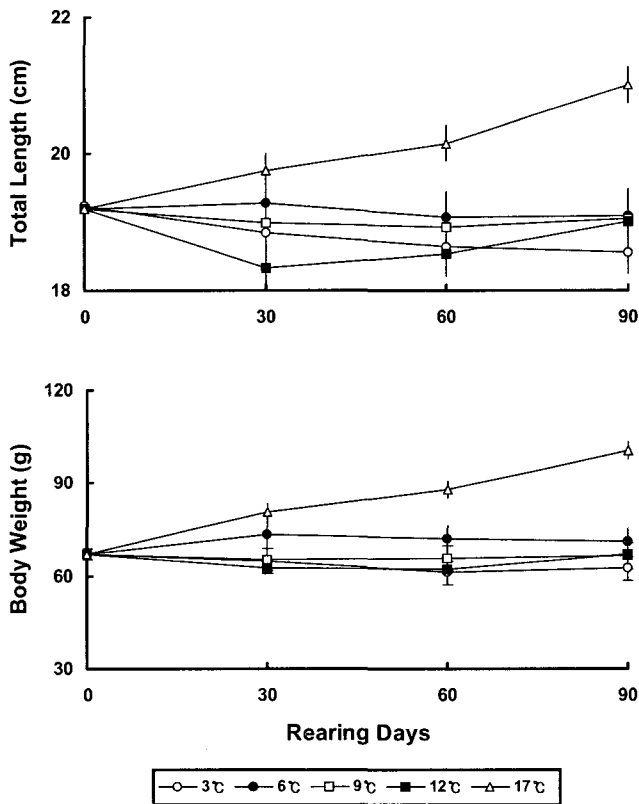


Fig. 1. Growth of yearling sea bass (*L. japonicus*) reared in different low temperatures:

Table 3. Performance of yearling sea bass (*L. japonicus*) reared in different high water temperature for 90 days*

Temperature	Daily food intake (g)	Feed efficiency (%)	Survival Rate (%)
21°C	17.4±0.1 ^{ab}	170.0±25.8 ^a	100±0 ^a
24°C	16.7±0.6 ^b	142.9±8.4 ^b	100±0 ^a
27°C	17.1±0.1 ^b	123.5±24.8 ^c	100±0 ^a
30°C	18.0±0.5 ^a	68.2±0.3 ^d	95±1 ^b
33°C	3.1±0.1 ^c	-	3±1 ^c

*Values (means±s.e.m) with different superscripts within the same column are significantly different ($P<0.05$).

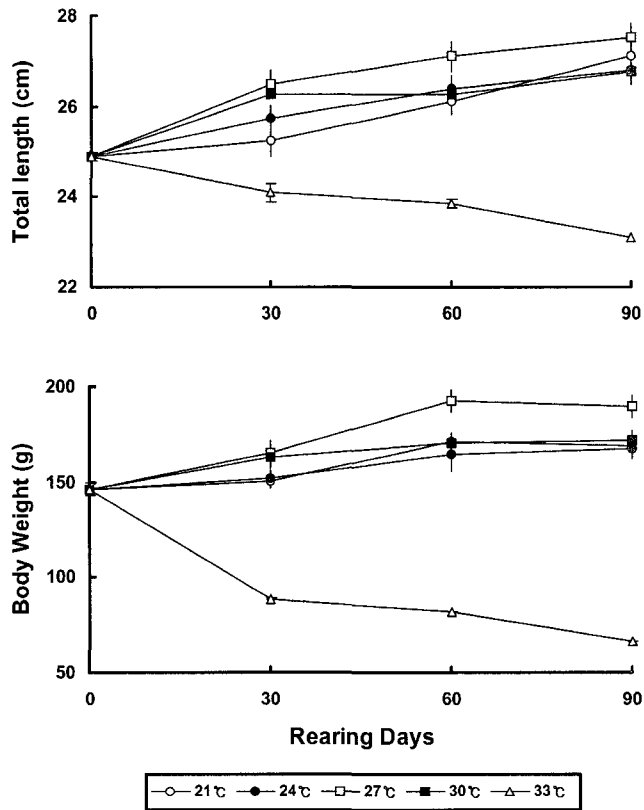


Fig. 2. Growth of yearling sea bass (*L. japonicus*) reared in different high temperatures.

and Sumpter, 1990), 삼투조절 능력(Robertson et al., 1988) 및 비축된 에너지원의 빠른 소비를 유발함으로써 어류 건강도에 심각한 영향을 미칠 수 있음을 의미한다(Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992). 그러나 제한적이지만 어류는 외부환경에 의한 스트레스를 극복할 자가 능력, 즉 서식 수온 변화에 대한 내성을 지니고 있으며, 이것은 주변 환경(광주기, 염분, DO, pH) 조건에 따라 차이를 나타낼 수 있다. 즉 변화된 수온에 대해 생체 적응을 진행할 때 광주기와 같은 주변 인자는 이 현상에 있어 중요한 역할을 담당할 수 있음을 의미한다. 예를 들어 여름에는 고온에 대하여, 겨울에는 저온에 대하여 저항력이 커지며, 고온에 적응된 어류는 저온에 약한 것으로 알려져 있다(Horning and Pearson, 1973). 따라서 계절에 맞지 않는 수온 변화는 성장과 생존을 좌우하는 직접적인 스트레스로 작용할 수 있다.

위와 같이 어류는 서식 온도의 비정상적 변화를 경험할 경우 스트레스 반응을 나타내며, 사육개체들의 대사 감소, 성장 저해 및 면역력 약화 등에 의한 질병 발생과 그로인한 집단 폐사가 유발될 수도 있다. 특히 월동기 또는 하절기(고수온기)와 같이 대상 종의 임계온도 부근의 사육수가 부득이 하게 제공될 경우 그 문제는 심각한 것으로 판단된다. 이러한 임계온도에서 사육은 앞서 설명한 연속적 생리기전과 유사하게 항상성 유지를 위해 개체별로 과다한 생체에너지의 지출을 요구하며, 그로인해 성장 둔화, 체력 및 건강도 저하 등에 의한 질병 감염, 생존율 감소 등을 유도하여(Barton and Iwama, 1991; Schreck, 1982), 양식 경영상 채산성을 악화시키는 요인으로 작용할 수도 있다(Pickering, 1992).

본 연구에서 나타난 농어, *L. japonicus*의 성장에 있어 수온의 효과는 다른 경골어류에서 나타난 것(Brett, 1979; Elliott, 1979, 1982; Weatherley and Gill, 1987; Jobling, 1994)과 유사하였다. 우선 3~17°C사이 저온 실험의 경우, 사료 섭취량은 그 온도가 낮아짐에 따라 함량이 감소하는 경향을 보였으며, 특히, 6°C 이하에서 그 량이 급격하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 사료효율의 경우 이 수온범위에서 9°C 이상일 경우 정상적으로 나타나기 시작하여, 9°C구 8.1±8.6%, 17°C구 35.5±1.0%로서 온도 상승에 따른 양의 상관관계를 나타내었다. 하지만 이 수온 범위에서 사료효율이 50%를 넘지 못하는 것으로 나타나, 농어의 최적 성장 유도를 위한 적정 사육 수온으로 보기 힘들다. 한편 수온 6°C 이하 실험구에서 마이너스 사료효율은 이 두 실험구 내 개체들의 식욕 감소로 인한 사료의 허실에 의해 것이거나, 그렇지 않으면 먹이 섭취에도 불구하고 영양원을 체대사의 항상성 유지를 위한 에너지원으로 사용함으로써, 에너지원의 체내 축적이 낮아 나타난 결과로 추정된다. 그러나 여기에 대해서는 차후에 보다 깊이 있는 연구가 진행되어야 할 것으로 본다. 한편 저수온에 있어 농어의 생존은 6~17°C 사이에서 전량 생존함으로써, 성장을 고려하지 않을 경우 월동기 관리수온을 최소 6°C 이상으로 맞추어주는 것이 좋을 것으로 사료된다. 그러나 6°C에서 사육된 농어의 생존율이 비록 100%를 나타내었지만, 그 실험구의 사료효율이 마이너스로 나타나, 6°C를 월동기 적정 사육 수온으로 제시하기는 어려울 것으로 본다. 최소한 월동기 실내사육수종의 서식수온은 사료효율이 양의 값이 나타나는 9°C 이상으로 유지 관리하는 것이 유리할 것으로 본다. 한편 3~17°C사이 저온 실험에서 농어의 성장이 정상적으

로 이루어진 실험구는 유일하게 17°C에서만 나타내었고, 나머지 다른 수온구들에서는 개체들이 역성장 또는 정체상을 나타내어, 월동기 농어의 지속적인 성장을 유지하기 위해서는 17°C 이상으로 수온을 관리해 주는 것이 좋을 것으로 판단된다. 이러한 경향은 양성용 농어에 있어 비록 개체의 크기별 발현 양상에 차이가 있을 수 있지만, 그 경향은 동일 할 것으로 판단된다. 이후 개체 크기별 그 효과를 입증할 필요가 있을 것으로 본다.

한편 두 번째 실험인 고수온 실험의 경우, 우리나라 하절기에 육상 사육 시설이나, 축제식 양식장에서 나타날 수 있는 수온 범위에서 실험을 실시하였다. 본 연구의 경우 사료섭식량의 경우 수온 21~27°C 사이에서는 유의한 차이를 찾아볼 수 없었으며, 30°C에 이르러 약 18 g으로 대체적으로 다른 실험구보다 높게 나타났다. 그러나 33°C에서는 사료섭식량이 거의 바닥 상태로서 농어의 먹이섭식이 정상적으로 이루어질 수 없음을 알 수 있었다. 사료효율의 경우 21~30°C의 수온범위에서 21°C가 약 170%의 사료효율을 나타내어 가장 높게 나타났으며, 21~27°C 범위에서 수온이 상승할 경우, 사료효율은 170%에서 123%로 유의하게 감소하는 것으로 나타났으며, 사료섭식량이 가장 많았던 30°C에 이르러서는 약 68%로 급격히 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이와 같이 수온 상승에 따른 실험구간의 사료효율이 사료섭식량 증가분에 비해 상대적으로 크게 떨어지는 이유는, 공급된 사료의 허실보다는 실험구내 개체들의 대사가 Q10의 법칙에 따라 활성화됨에 따라, 축적될 에너지원의 소비가 상대적으로 높아 나타난 결과로 추정된다. 또한 생존율의 경우 사료효율이 100% 이상 나타난 수온 범위 21~27°C에서 사육기간 90일 동안 폐사 개체없이 전량 생존할 수 있었지만, 30°C에 이르러서는 약 95% 생존율과 33°C 약 3%의 생존율을 나타내어, 축제식 또는 실내 사육의 경우 하절기 수온이 30°C 이상 상승할 경우 수온 제어를 위한 조치를 취해 주어야, 대량 폐사를 막을 수 있을 것으로 본다. 성장의 경우 실험구간 다소 차이는 있지만 33°C를 제외하고 모든 실험구가 정상적으로 양의 성장을 나타내었다. 특히 27°C구가 사료효율이 가장 높은 21°C구에 비해 성장률에 있어 앞선 결과를 나타내어, 동일 생존율 상태에서 농어의 적정 양성 온도를 사료효율과 성장 결과 중 어느 것을 기준해야 할지에 대해서는 여전히 선택의 여지가 남아 있다.

이상의 두 실험 결과, 각 실험별 사용된 개체의 크기가 다를지라도, 1년 이상의 양성어라는 점을 감안할 때, 일반적인 농어의 사육 가능 수온은 6~30°C 범위로 볼 수 있다. 그러나 동절기 수온 6~12°C에서 사육된 농어의 생존율이 비록 100%를 나타내었지만, 사료섭식량, 사료효율, 성장 등을 종합적으로 고찰해 볼 때, 월동기 적정 양성사육 수온범위로 보기 힘들며, 따라서 월동기에 양성어의 생존뿐 아니라 정상적인 성장을 유도하기 위해 최소 17°C 이상 유지하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 하절기의 경우 비록 수온 30°C구에서 생존율이 95%로 나타났지만, 이 역시도 사료섭식량 및 사료효율을 고려할 때 적정 사육 수온으로 제시하기 어렵다. 따라서 하절기 경제적으로

사육어의 빠른 성장과 좋은 건강도를 유지해 주기 위해서는 사육 수온을 21~27°C 범위를 유지해 주는 것이 적정하며, 경제성보다 사육어의 최대 성장과 생존을 요구한다면, 27°C로 사육하는 것이 타당할 것으로 본다.

요 약

본 연구에서는 우리나라 남동해 연안에서 4계절 동안 나타나는 전형적 수온 범위(3~33°C)에서 양성용 농어의 사료 섭식량 및 효율, 성장, 생존 등에 있어 수온의 영향을 파악해 보고, 양성시 농어의 최적 사육수온 조건을 구명하고자 실시하였다. 실험 결과, 농어는 수온 범위 6~30°C에서 서식 가능한 광온성 해산어류로서 우리나라 남동해안에서 양식하기에 적합한 어종으로 판단되지만, 사료섭식량, 사료효율, 성장, 생존을 동시에 고려했을 때, 정상적인 양성을 위해서는 동절기 수온을 17°C 이상 유지하는 것이 정상적인 성장을 유지해 줄 수 있으며, 하절기의 경우 수온 21~27°C가 적정 한 것으로 판단된다.

참고문헌

- Ayala, M., D. O. Lopez-Albors, F. Gil, A. Garcia-Alcazar, E. Abellan, J. A. Alarcon, M. C. Alvarez, G. Ramirez-Zarzosa and F. Moreno, 2001. Temperature effects on muscle growth in two populations (Atlantic and Mediterranean) of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Aquaculture*, **202**: 359-370.
- Barton, B. A and C. B. Schreck, 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, **62**: 299-310.
- Barton, B. A and G. K. Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Rev. Fish. Dis.* 3-26.
- Berg, A., T. Hansen and S. Stefansson, 1992. First feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) under different photoperiods. *J. App. Ichthy.*, **8**: 251-256.
- Brett, J. R., 1979. Environmental factors and growth. In *Fish Physiology VIII*, eds. by Hoar, W. S., D. J. Randall and J. R. Brett, London, Academic Press, pp. 599-675.
- Carragher, J. F. and J. P. Sumpter, 1990. The effect of on the secretion of sex steroids from cultured ovarian follicles of rainbow trout. *Gen. Comp. Endocrinol.*, **77**: 403-407.
- Clarke, W. C., J. R. Shelbourne and J. R. Brett, 1981. Effects of artificial photoperiod cycles, temperature and salinity on growth and smolting in underyearling coho (*Oncorhynchus kisutch*), chinook (*O. tshawytscha*), and sockeye (*O. nerka*) salmon. *Aquaculture*, **22**: 105-116.
- Davis, K. B and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, **91**: 349-358.
- Elliott, J. M., 1979. Energetics of freshwater teleosts. *Symposium*

- of the Zoological Society of London, **44**: 29–61.
- Elliott, J. M., 1982. The effect of temperature and ration size on the growth and energetics of salmonids in captivity. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **73B**: 81–91.
- Hochachka, P. W. and G.N. Somero, 2001. In *Biochemical Adaptation*, Oxford: Oxford University Press.
- Han, H.-K., D.-Y. Kang, C.-Y. Jun and Y.-J. Chang, 2003. Effect of salinity change on physiological response and growth of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *J. Aquaculture*, **16**: 31–36.
- Horning, W. B. I. and R. E. Pearson, 1973. Growth temperature requirement and lower lethal temperature for juvenile small-mouth bass (*Micropterus dolomieu*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **30**: 1226–1230.
- Hunt von Herbing, I., 2002. Effects of temperature on larval fish swimming performance: the importance of physics to physiology. *J. Fish Biol.* **61**: 865–876.
- Ishioka, H., 1980. Stress reactions in the marine fish. ? Stress reactions induced by temperature change. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **46**: 523–532.
- Jobling, M., 1994. In *Fish Bioenergetics*. London, Chapman & Hall.
- Johnston, I. A. and H. A. McLay, 1997. Temperature and family effects on muscle cellularity at hatch and first feeding in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Can. J. Zool.*, **75**: 64–74.
- Johnston, I. A., V. L. A. Vieira and J. Hill, 1996. Temperature and ontogeny in ectotherms: muscle phenotype in fish. In *Phenotypic and Evolutionary adaptation of Organisms to Temperature*. eds. Johnston, I. A. and A. F. Bennett, Soc. Exp. Biol. Semin. Ser. Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp. 153–181.
- Maule, A. G., C. B. Schreck and S. L. Kaattari, 1987. Change in the immune system of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) during the parr-to-smolt transformation and after implantation of cortisol. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**: 161–166.
- Nathanailides, C., O. López-Albors, E. Abellan, J. M., Vazquez, D. D. Tyler, A. Rowlerson, N. C. Stickland, 1996. Muscle cellularity in relation to somatic growth in the European sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Aquacult. Res.*, **27**: 885–889.
- Pickering, A. D., 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture*, **100**: 125–139.
- Robertson, L., P. Thomas and C. R. Arnold, 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum (*Sciaenops cellatus*) to several transportation procedure. *Aquaculture*, **68**: 115–130.
- Ryan, S. N., 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish *Pagothenia borchgrevinki*. *Experientia*, **51**: 768–774.
- Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, **28**: 241–249.
- Strange, R. J., C. B. Schreck and J. T. Golden, 1977. Corticoid stress responses to handling and temperature in salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **106**: 213–217.
- Weatherley, A. H. and H. S. Gill, 1987. In *The Biology of Fish Growth*. London, Academic Press.
- Woo, N. Y. S., 1990. Metabolic and osmoregulatory change during temperature acclimation in the red sea bream, *Chrysophrys major*: Implications for its culture in the subtropics. *Aquaculture*, **87**: 197–208.

원고접수 : 2004년 5월 20일

수정본 수리 : 2004년 11월 3일

책임편집위원: 권혁추