

염분 변화에 따른 농어, *Lateolabrax japonicus* 유어의 생리 반응과 성장 차이

한형균 · 강덕영* · 전창영 · 장영진¹

국립수산물과학원 거제수산종묘시험장, ¹부경대학교 양식학과

Effect of Salinity Change on Physiological Response and Growth of Yearling Sea Bass, *Lateolabrax japonicus*

Hyoung-Kyun Han, Duk-Young Kang*, Chang-Young Jun and Young-Jin Chang¹

Keoje Marine Hatchery, NFRDI, Keoje 656-840, Korea

¹Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Two experiments were conducted for the physiological and growth responses of yearling sea bass, *Lateolabrax japonicus* (total length 24.4±1.5 cm, body weight 125.4±25.4 g) by the manipulation of salinity. To study the physiological responses of the sea bass by acute salinity change, we changed water salinity from 30 ppt into 2 ppt in rearing tank through 1 hour or 6 hour. To access the effect of salinity in the growth of sea bass, we also examined the growth of the sea bass in 2, 10, 20 and 30 ppt for 180 days. After salinity change, all yearlings appeared some stress response and ions changes in blood. The yearlings showed a slow recovery by an acute salinity exchange, but a fast recovery by slow salinity exchange. In the study about the influence of salinity in growth, although the food intake of yearlings in 20 ppt was significantly higher than the yearling in the other salinities, feed efficiency was higher in 10 ppt than the other salinities. However, the food intake and the feed efficiency in 2 ppt were significantly lower than in other groups. The growth of yearlings was significantly faster in 20ppt than in the other salinities, but the growth showed significantly slower in 2ppt than in the other salinities.

Keywords: Sea bass, *Lateolabrax japonicus*, Salinity, Physiological response, Growth

서 론

최근 들어 적조 및 해상유류 오염 등으로 바다가 황폐화되어 가고 있고, 값싼 중국산 활어가 수입이 증가되고 있는 시점에서 양식 어민들의 생산 활동에 있어 어려움은 한층 더해가고 있으며, 이러한 현실을 극복하기 위한 노력이 다방면에서 이루어지고 있다. 특히 우리나라 해산어류 양식 산업의 대부분을 차지하는 가두리 양식은 특정 시기에 발생하는 적조, 해상 유류오염 및 해산 질병에 매우 취약한 특성을 지니고 있어, 사육 어류의 개량폐사에 의한 막대한 경제적 손실을 입고 있다. 그러므로 우리나라 해역 환경의 근본적인 체질 개선이 이루어지지 않는한, 적조 및 해산 질병은 해마다 반복적으로 일어날 것이며, 발생빈도 역시 잦아져 그에 따른 경제적 손실은 매년 증가 추세를 나타낼 것이다. 또한 이러한 주변 해역의 환경 악화는 육상의 해산어류 양식장내 사육수에서도 문제를 일으켜 직접적인 사육어

폐사와 각종 바이러스 및 세균성 질병 발생에 따른 생산력 저하로 이어질 수 있다. 따라서 주변 해역에 대한 적극적인 환경 감시기능을 강화하고, 가두리에 의존적인 해산어류 양식 방식을 다양화하며, 보다 안정적인 생산력 확보를 위해 사육 관리 및 보존 기술의 개발 및 이미 개발된 새로운 생산 시스템에 적합한 어종 개발이 시행되어야 할 것이다. 이에 새로운 사육관리 및 보존 기법 중의 하나로, 특정시기에 주변 해역의 환경 악화 시, 육상 수조의 사육수를 해수에서 담수로 전환하여 해산 양식 어류를 장단기적으로 사육·관리하는 생산 시스템을 제시해 볼 수 있으며, 여기에 농어, *Lateolabrax japonicus*가 적합한 어종으로 고려되고 있다. 농어, *L. japonicus*는 우리나라 서·남해안과 중국, 타이완 및 일본(홋카이도 이남)의 각지 연안에 널리 분포하며(Yamada, 1986), 기수역에서 일정한 기간 생활을 하는 습성을 지니고 있다(Horiki, 1993). 이러한 농어는 넙치 및 조피볼락과 같은 고급 어종에 속하지만 환경에 대한 적응력이 강하고, 산지의 가격이 좋아 우리나라에서는 새로운 양식대상 종으로 부각되고 있다. 그러나 현재 수집에 의해 생산되는 국산 치어의

*Corresponding author: dykang@hotmail.com

가격이 수입산에 비해 높아 시장 경쟁력을 잃어 가고 있고, 자원량 감소에 의해 종묘 수급에 어려움을 겪고 있어 인공종묘기술개발이 필수적으로 요구되고 있다. 또한 최근에는 연안 환경의 악화로 해마다 일어나는 적조의 위협에 따라 양성단계에서 해상가두리 양식의 피해가 증가하고 있어 양식 어민들에게 안정적이며, 질 좋은 농어의 양성을 위해서는 새로운 개념의 양성 기술의 확보가 필요하다.

한편 농어는 담수와 해수에서 다중 양식이 가능한 종으로 알려져 있으며, 산업적으로 그 가치가 인정되고 있다. 하지만 그동안 이루어진 농어에 대한 연구는 Makino et al.(1995), Kim and Jun(1997) 및 Perez et al.(1999) 등 대부분 기초 생물·생태학적 분야에 한정되어 있었으나, 최근에 이르러 농어의 생식주기(Kang et al., 2001, 2002), 실내 성 성숙 및 자연산란유도(Han et al., 2001a), 초기발달, 성장 및 생존율에 미치는 수온과 염분의 영향(Han et al., 2001b) 등의 연구가 초기 종묘생산과 연계되어 이루어졌다. 하지만 아직까지 이들의 정확한 생리적 특성과 인위적 사육시 요구되는 관리 환경에 대한 정보는 아직 부족한 실정이다. 특히 산업계에서 담수사육 가능성이 제시되면서, 이들의 염분변화에 따른 생체기작과 반응을 통한 염분 내성 등과 같은 기초 자료들이 요구되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 양성 단계에 있어 농어의 담수사육 가능성을 확인해 보기 위해, 농어 유어(일령 약 200일~400일)를 대상으로 사육수의 담수화에 따른 생리적 반응과 최적 사육 염분을 확인해 보았다.

재료 및 방법

사육수 염분 교환 실험

실험재료로 쓰인 농어는 13개월 된 유어로서 개시시 크기는 전장 24.4 ± 1.5 cm, 체중 125.4 ± 25.4 g이었다. 실험구는 사육수를 해수(30 ppt)에서 저염수(2 ppt)로 1시간 내 교체 후 채혈, 24시간 후 재채혈한 실험구(1시간-담수화구)와 6시간 동안 점차적으로 사육수를 저염수로 교환 후 채혈, 24시간 후 재채혈한 실험구(6시간-담수화구)를 각 2반복으로 설정하였다. 실험수조는 FRP 원형수조(300 L)였고, 실험어는 건강한 개체를 각각 10마리씩 수용하였다. 개시시 해수 수온은 22.0°C , 염분 30.0 ppt, DO 5.3, pH 8.1이었고, 담수 역시 지하수를 22.0°C 로 가온하여 사용하였으며 이때 DO는 5.1 mg/L, pH는 7.6이었다.

채혈은 실험구별로 6마리씩 시행하였고, 이중에 따른 스트레스 영향을 최소화하기 위해 마취(사육수 20 L에 Benzocaine 2.5 g +99% 알콜 20 ml 희석 용액)시킨 후 미부 동맥으로부터 이루어졌다. 각 실험구에서 채취한 혈액은 원심분리(12,000 rpm, 5분)하여 분석 때까지 -70°C 에서 보관하였다. 한편, 전혈의 hematocrit(%PCV)는 microhematocrit 법을 사용하여 측정하였고, 코티졸 농도는 cortisol RIA kit(DSL, USA)의 항원과 표지 항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Wizard 1470 γ -counter(Hewlett Packard, USA)를 사용하여 radioim-

unoassay(RIA)로 측정했다. 글루코스, Na^+ , K^+ , Cl^- , total protein (TP), aspartate aminotransferase(AST) 및 alanine aminotransferase (ALT)는 건식생화학분석기(Ektachem DT-II analyzer, Eastman Kodak Co., USA)를, 삼투질 농도는 micro osmometer(3 MO, USA)를 사용했다.

염분별 사육 실험

실험어 및 실험구

농어의 담수 적응 능력과 각기 다른 염분에서 사육할 경우 성장과 생존율을 파악하기 위한 실험은 국립수산과학원 거제수산종묘시험장에서 180일간(2001년 9월~2002년 3월) 실시했다. 실험구는 2반복으로 염분 2 ppt인 지하수를 대조구로 하여 천연 여과해수와 혼합해 10 ppt, 20 ppt, 30 ppt와 같은 3개의 비교구로 설정하였다. 실험어는 약 200일령 된 유어(전장 14.4 ± 0.6 cm, 체중 31.7 ± 4.1 g)을 이용하였고, 각 실험수조에 15마리씩 수용했다. 그리고 실험 개시전 염분에 의한 스트레스를 방지하기 위해 실험 수조 내에서 5일간에 걸쳐 실험구별 염분으로 바꾼 후 10일간에 걸쳐 적응시켰다. 실험수조는 300 L 원형 FRP 수조(해수용량: 250 L)였다.

사육관리 및 환경

실험기간 동안 매일 사육환경(수온, 염분, DO, pH)과 사료공급량을 측정했고, 사육환경 결과는 Table 1에 나타내었다. 사육수는 전기를 이용한 온도조절장치(유원전기)를 이용해 해수와 담수를 각각 $22.8 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 로 맞추어 조절했고, 공급량은 하루 12회전 되게 했으며, 포기는 충분히 했다. 염분과 pH는 수질측정기(YSI 63, USA)를, DO는 용존산소측정기(YSI 58, USA)를 사용했다. 먹이는 넙치용 배합사료(이화사료)를 매일 3~4회 공급과 동시에 공급량을 측정했다.

성장도 측정 및 혈액분석

실험어의 전장 및 체장 측정은 개시부터 30일 주기로 어체 측정판을 이용하여 전장 1 mm 단위까지 계측했고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 실험기간 중 생존율은 폐사개체를 계수하여 산정했다. 실험 종료시 측정된 값들을 이용하여 개체당 일간섭식량(Daily Food Intake: DFI) 및 사료 효율을 아래의 식으로 구하였고, 실험구별 생존율 및 월별성장변화를 구하였다.

- ▶ $\text{DFI}(\text{mg}/\text{fish}/\text{day}) = \text{소비된 사료중량} / (\text{사육일수} \times \text{수용마리수})$
- ▶ $\text{사료효율}(\%) = (\text{어체의 습중량 증가분} / \text{건조 사료 섭취량}) \times 100$

Table 1. The environmental factors in each experimental unit

| Salinity(ppt) | W.T. ($^{\circ}\text{C}$) ¹ | Salinity(ppt) | D.O.(ppm) ² | pH |
|---------------|--|----------------|------------------------|---------------|
| 2 | 22.7 ± 0.7 | 2.1 ± 0.0 | 6.0 ± 0.0 | 7.6 ± 0.0 |
| 10 | 22.7 ± 0.4 | 10.1 ± 0.7 | 6.0 ± 0.1 | 7.8 ± 0.1 |
| 20 | 22.8 ± 0.5 | 20.6 ± 0.9 | 6.0 ± 0.1 | 7.9 ± 0.1 |
| 30 | 22.8 ± 0.7 | 29.4 ± 0.8 | 5.9 ± 0.1 | 8.1 ± 0.1 |

¹WT: water temperature; ²DO: dissolved oxygen.

그리고 실험 종료시 실험구별로 6마리(전장 24.3 ± 1.1 , 체중 130.1 ± 22.5 g)로부터 혈액을 채취한 다음, 앞서 설명한 방법과 동일하게 코티졸, 혈장 글루코스, Na^+ , K^+ , Cl^- 농도, TP, AST, ALT 및 삼투질농도를 분석하였다.

통계처리

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

결 과

사육수 염분 교환 실험

단기간 염분 변화를 통한 농어의 혈중 화학성상의 변화를 Table 2와 같이 파악해 보았다. 30 ppt의 수조(실험개시)에서 2 ppt로 1시간 이내에 염분을 변화시킨 1시간-담수화구의 경우, 코티졸 농도는 50 ± 30 ng/ml에서 179 ± 39 ng/ml로 유의하게 상승하였으며, 24시간 이후에도 지속적으로 높은 농도를 나타내었다. 한편 6시간동안에 걸쳐 서서히 2 ppt로 염분 환경을 변화시킨 6시간-담수화구는, 완전 교체 직후 123 ± 16 ng/ml로 유의하게 높게 나타났지만, 24시간 후 55 ± 19 로 급격하게 농도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 글루코스 농도는 염분변화에 따른 감소 경향을 보였으나, 개시시와 비교해 실험간 유의한 차이는 없었다. 특히 1시간-담수화구에서 24시간 뒤에 감소 경향을 가장 크게 나타냈다. Na^+ 의 농도는 1시간-담수화구에서 유의한 증가를 관찰할 수 있었고, 6시간-담수화구에서는 개시시와 유의한 차이가 없었다. 하지만 K^+ 및 Cl^- 에 있어서는 실험에 따른 일정한 경향을 파악할 수 없었다. TP는 염분 변화 이후 전체적으로 혈중 보유 함량이 낮아지는 경향을 보였으며, AST의 활성은 염분 변화 직후에는 다소 상승하다가 24시간 뒤 안정단계에 이르러 다시 감소하는 양상을 나타내었다. 그러나 ALT와 혈청의 삼투질 농도의 경우에는 실험개시 단계의 농도와 유의한 차이를 나타내지 못했다(Table 2).

염분별 사육 실험

섭식률, 사료효율 및 생존율

180일간의 사육실험 결과, 20 ppt구가 $4.81 \pm 0.24\%$ 로 가장 높은 사료섭식량을 나타내었고, 2 ppt구가 $4.24 \pm 0.27\%$ 로 가장 낮은 사료섭식량을 나타내었다. 사료효율은 역시 2 ppt구에서 $66.3 \pm 1.0\%$ 로 가장 낮게 나타났고, 10 ppt구가 $80.5 \pm 1.2\%$ 로 가장 높게 나타났다. 실험구별 생존율은 실험기간 동안 전량 생존하여 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 3).

성장

실험구별 유어의 성장은 30일 간격으로 180일 동안 측정하였다. 개시시 평균 전장 14.1~14.6 cm인 유어는 개시 90일 후 18.6~19.2 cm로 성장한 것으로 나타났지만, 실험구간의 차이는 발견할 수 없었다. 그러나 그 이후 실험구간에 성장속도의 차이를 보이며, 실험 종료시 10, 20 및 30 ppt($23.2 \sim 23.7$ cm)구가 2 ppt(22.6 ± 0.3 cm) 보다 빠른 길이 성장을 나타내었다. 한편 무게성장은 개시시 평균 중량 30.5~33.5 g인 유어들은 60일에 이르러 20 ppt > 30 ppt > 2 ppt = 10 ppt 순으로 성장 차를 나타내기 시작하였다. 이후 지속적인 성장 경향을 보였으며, 종료시 20 ppt(130.4 ± 4.9 g)가 가장 빠른 무게 성장을 나타내었고, 다음으로 30 ppt(122.7 ± 5.2 g), 10 ppt(118.6 ± 3.7 g), 2 ppt(105.6 ± 3.9 g) 순이었다(Fig. 1).

혈액성상

180일간 각각의 염분에서 사육한 유어를 대상으로 한 혈액

Table 3. Performance of yearling sea bass, *L. japonicus* reared in different salinities for 180 days

| Salinity (ppt) | Daily food intake (%) ¹ | Feed efficiency (%) ² |
|----------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 2 | 4.24 ± 0.27^b | 66.3 ± 1.0^c |
| 10 | 4.23 ± 0.31^b | 80.5 ± 1.2^a |
| 20 | 4.81 ± 0.24^a | 79.4 ± 3.6^a |
| 30 | 4.39 ± 0.11^{ab} | 76.4 ± 0.2^b |

^{1,2}Values with different superscripts within the same column are significantly different (P<0.05).

Table 2. Variations of chemical compositions in blood of yearling sea bass, *L. japonicus* following rearing salinity change from 30 ppt to 2 ppt

| Experiment group | Initial | Prompt changing water (for 1 hr.) | | Slowly changing water (for 6 hr.) | |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|-------------------|
| | | 1 | 24 | 1 | 24 |
| Sample time (hr) ² | 0 | 1 | 24 | 1 | 24 |
| Cortisol (ng/ml) | 50 ± 30^b | 179 ± 39^a | 185 ± 30^a | 123 ± 16^{ab} | 55 ± 19^b |
| Glucose (mg/dl) | 347 ± 47^{ab} | 259 ± 45^{ab} | 235 ± 25^b | 380 ± 48^a | 299 ± 38^{ab} |
| Na^+ (mEq/l) | 135 ± 3^{cd} | 154 ± 4^a | 148 ± 2^{ab} | 128 ± 5^d | 141 ± 1^{bc} |
| K^+ (mEq/l) | 1.0 ± 0.3 | 0.9 ± 0.3 | 0.7 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 | 0.8 ± 0.1 |
| Cl^- (mEq/l) | 98 ± 10 | 122 ± 7 | 119 ± 11 | 123 ± 4 | 121 ± 11 |
| Total protein (g/dl) | 5.4 ± 0.3^a | 3.7 ± 0.7^b | 4.6 ± 0.3^{ab} | 4.3 ± 0.2^{ab} | 3.8 ± 0.1^b |
| AST(IU/l) ³ | 22.7 ± 3.0^{ab} | 36.0 ± 7.7^a | 18.5 ± 5.2^{ab} | 31.5 ± 5.2^{ab} | 14.8 ± 3.1^b |
| ALT(IU/l) ⁴ | 2.7 ± 0.6 | 3.0 ± 0.5 | 1.8 ± 0.3 | 2.7 ± 0.6 | 2.3 ± 0.6 |
| Osmolality (mOsm/kg) | 331 ± 4 | 316 ± 4 | 330 ± 2 | 316 ± 9 | 320 ± 2 |

¹Values are mean±SEM (n=6). The values within the same row with different alphabetic letters are significantly different (P<0.05);

²Sample time after moving from 30 ppt into 2 ppt; ³AST: aspartate aminotransferase; ⁴ALT: alanine aminotransferase.

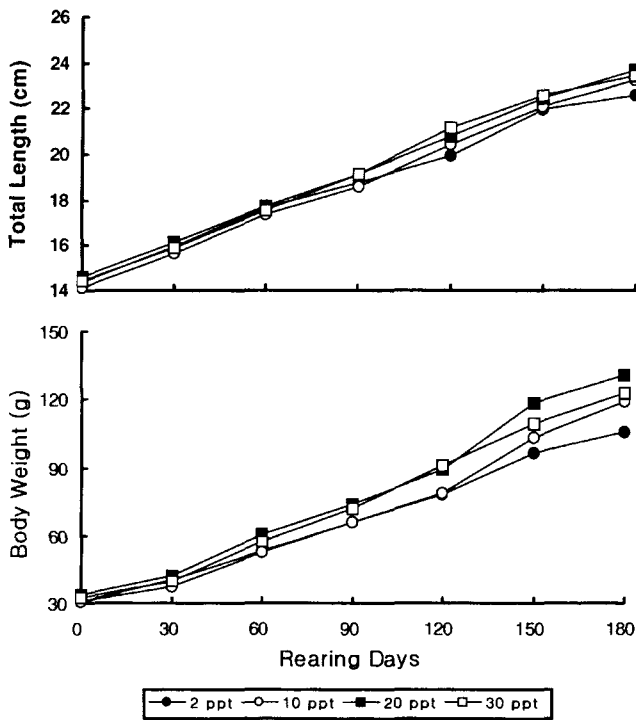


Fig. 1. Growth of yearling sea bass, *L. japonicus* reared in different salinities.

성상을 파악해 본 결과, total protein과 ALT를 제외하고 2 ppt~30 ppt의 사육수에 있어 농어 유어들의 혈액 조성은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 4).

고 찰

현재 우리나라의 농어, *L. japonicus* 양식은 바다 가두리를 중심으로 대부분 이루어지고 있고, 이 종이 염분내성을 통해 기수에서 서식하는 생리적 특징을 지니고 있어(Horiki, 1993), 육상수조에서 담수 사육 가능성이 높은 것으로 여겨지고 있다. 하지만 아직까지 이 종의 염분 적응력과 염분 조절 능력이 얼마

나 우수한 지에 대한 정확한 정보가 없으며, 사육시 담수를 활용할 경우의 경제성 여부가 구명되지 않아, 농어의 담수 양식은 아직 어민들에게 보편화되어 있지 못하고 있는 실정이다. 그러나 적어도 해산양식 어류의 담수사육이 적조, 연안수 오염 및 질병 발생 때 사육어류를 구제하는 하나의 방안이 될 수 있으며, 육상수조에서 환경수질 조절에 있어 큰 이점을 지니고 있어, 이 기술은 농어뿐만 아니라 해산 양식어류의 전반적인 생산성 증대에 기여할 것으로 기대된다. 이와 같은 어류 양식에 있어 염분변화 사육에 따른 산업적 기대 가치는 반대 경우에도 높게 나타난다. 연어의 경우, 인공종묘생산에 의해 만들어진 새끼들이 성장에 따른 바다로 회귀 시점, 즉 해수 방류 시점에서 삼투압 손상(osmotic impairment)에 의해 다량의 폐사와 성장 감소가 일어난다. 따라서 이러한 문제점 해결을 위해 사육 개체들의 염분적응력을 향상시켜 준다면, 기수역 자원의 효율적 이용과 증대에 의해 경제적 이익을 꾀할 수 있을 것으로 보고 있다(Higgs et al., 1982). 국내의 경우 알려진 바로는 양식이 가능한 광염성 어종은 송어(Chang and Hur, 1999; Hur and Chang, 1999; Chu et al., 2000), 감성돔 및 점농어 등으로 해수와 담수를 번갈아 가며 사육을 행할 경우 많은 경제적 이득을 이끌어 낼 수 있을 것으로 보고 있다.

일반적으로 연어류에서 코티졸 농도 증가는 삼투압조절과 같은 항상성의 문제가 시상하부 내의 삼투압 관련 수용기에 인식되며, 이때 증폭된 신호는 시상하부에서 뇌하수체로 전달되고 동 기관에서 아세틸콜린의 분비를 유도하며, 최종적으로 부신 피질에 의한 코티졸 분비를 증대시킨다(Tam et al., 1987). 이러한 코티졸은 아가미 염류세포의 $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATPase}$ 활성을 자극하여(Mayer-Gostan et al., 1987), 능동수송에 의한 Na^+ 펌프 작동을 증진시킨다. 이와 동시에 코티졸은 혈당 이용을 억제하여(Laycock and Wish, 1983), 혈당 글루코스의 농도를 증가시킨다(Tam et al., 1987). 본 연구 결과, 코티졸과 글루코스 농도는 일반적인 삼투압 조절에 따른 반응을 나타내었으나, 급격한 염분교환 시 담수화가 6시간에 걸쳐 2 ppt로 하강된 실험구 개체들은 1시간 담수화구보다 더 낮게 나타났다. 또한 1시간 담수

Table 4. Variations of chemical compositions in blood of yearling sea bass, *L. japonicus* reared in different salinities for 180 days

| Salinity (ppt) | 2 | 10 | 20 | 30 |
|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cortisol (ng/ml) | 217±46 | 182±35 | 161±35 | 150±30 |
| Glucose (mg/ml) | 381±49 | 435±9 | 355±37 | 347±47 |
| Na^+ (mEq/l) | 131±6 | 136±5 | 142±5 | 135±3 |
| K^+ (mEq/l) | 0.6±0.1 | 1.0±0.1 | 1.3±0.3 | 1.0±0.3 |
| Cl^- (mEq/l) | 83±10 | 75±10 | 77±12 | 98±10 |
| Total protein (g/dl) | 4.2±0.3 ^{bc} | 4.6±0.2 ^b | 5.8±0.3 ^a | 5.4±0.3 ^{ab} |
| AST(IU/l) ² | 33±7.3 | 25.5±3.4 | 26.5±5.3 | 22.7±3.0 |
| ALT(IU/l) ³ | 4.2±0.9 ^a | 1.8±0.4 ^b | 3.8±0.8 ^{ab} | 2.7±0.6 ^{ab} |
| Osmolality (mOsm/kg) | 334±5 | 342±4 | 342±4 | 331±4 |

¹Values are mean±SEM (n=6). The values within the same row with different alphabetic letters are significantly different (P<0.05)

²AST: aspartate aminotransferase; ³ALT: alanine aminotransferase.

화구는 코티졸 증가에 의한 글루코스의 동반상승이 나타나지 않았지만, 6시간에 걸친 담수화구는 코티졸과 글루코스의 동반 상승 현상을 보여주었다. 그리고 1시간 담수화구와 6시간 담수화구의 염분변화는 모든 어체에 상당한 스트레스로 작용하였을 것으로 생각되지만, 염분 스트레스 후에 코티졸과 글루코스의 실험개시시 값으로 회복되는 시간이 다르게 나타났다. 즉 1시간 담수화구의 염분교체 완료 후 24시간에 사육 어류들의 스트레스 반응은 여전히 높게 유지되고 있었으나, 6시간 담수화구는 순차적으로 염분 스트레스를 받아, 상대적으로 염분스트레스가 약한 이유로, 스트레스 회복 속도가 1시간 담수화구보다 빠른 것으로 생각된다. 일반적으로 연어과 어류에서 안정 상태이거나 스트레스를 받지 않았을 때 코티졸 값은 30~40 ng/ml (Wedemeyer et al., 1990), 스트레스후에는 40~200 ng/ml (Pickering et al., 1989)로 보고되고 있는 데, 본 연구의 코티졸과 글루코스의 값이 이와 비슷하게 나타났다. Barton et al.(1980)은 스트레스에 따른 코티졸 농도의 회복시간을 1~3시간짜까지 증가현상을 보이다가 6시간이내에 안정 값으로 회복되어지는 것으로 보고하였다. 그러므로 본 연구에서 느리게 염분을 교체한 실험구(6시간 담수화구) 보다는 급격하게 염분 변화가 일어났던 1시간 담수화구가 삼투압 조절을 위한 항상성 유지에 많은 에너지를 사용한 것으로 판단된다. Barton and Iwama(1991)는 코티졸의 회복되는 시간은 어종, 스트레스 종류 및 정도에 따라 다르다고 하였는데, 본 연구결과가 이에 따른 결과로 생각된다. 염분별 사육에 따른 실험구별 코티졸 농도는 모든 구에서 Pickering et al.(1989)가 보고한 스트레스 후 값으로 높게 남아 있었는데, 이부분에 대하여는 기수 및 담수어종에 있어서 삼투압 조절생리에 필수적인 호르몬으로 알려져 있는 프로락틴(Bern, 1983)과의 연관성을 좀더 자세히 연구할 필요성이 제기된다.

한편 급성 염분변화 실험과 장기간 염분별 사육 실험에서 Na^+ , K^+ , Cl^- 및 삼투질 농도로 볼 때, 농어의 삼투조절 능력이 우수함을 보여주고 있다. 경골어류의 삼투압 조절은 아가미, 소화관 및 신장에서 이루어지는데(Laurent and Kunel, 1980; Maina, 1990), 이들에 의해 담수 어류는 저장성 환경에서 고장성인 어체 내로 수분을 유입하며, 이온들을 담수 환경으로 배출한다. 이에 반해 해수 어류는 저염분 환경에서는 삼투 평형을 위해 수분 섭취를 제한하며, 고장성 환경에서는 수분 확보를 위해 대사를 조절한다(Kirsch et al., 1985). 특히 해수 어류는 체내로 들어온 1가 이온(Na^+ , Cl^- , K^+)을 소화관 벽에서 흡수하여 아가미에서 배출하고, 2가 이온(Mg^{2+} , Ca^{2+})을 소화관 내에 축적하여 신장을 통해 배출한다(Kirsch and Meister, 1982). Chang and Hur(1999)는 송어의 염분 변화 실험에서 고장성 환경의 해수에서 체내의 항상성을 유지하기 위하여 저삼투조절(hypo-osmoregulation)을 하며, 저장의 환경인 담수에서 고삼투조절(hyper-osmoregulation)을 하는 것을 보고한 바 있다. 본 연구의 결과를 통해, 농어 역시 송어와 같이 2 ppt~30 ppt 사이 이온농도 차를 찾아볼 수 없어, 저장 환경에서 고삼투 조절을 나타냈

을 것으로 추정되며, 추후 여기에 대한 보다 깊이 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

또한 염분별 장기 사육실험에서 성장 및 사료효율 결과를 통해, 사육 90일까지는 염분별 차이를 보이지 않았으나, 실험 종료시 20 ppt구의 개체들이 가장 빠른 성장을 나타내었다. 이러한 성장 증진효과는 해당 사육 염분이 성장 과정 중 어체에 최적으로 작용을 했기 때문으로 본다. 즉 최적 염분은 어체의 건강도를 향상시켜 사료 섭취량을 높이며, 항상성 유지를 위한 삼투조절에 필요한 에너지 소비를 감소시킴으로써 에너지 축적에 기여할 것으로 생각된다. 이러한 에너지 축적은 어체의 육질부 증대로 반영될 경우 체중 성장 향상으로 이어질 수 있을 것으로 사료된다. 한편 2 ppt에서 사육된 개체들의 성장은 실험 종료시 다른 모든 실험구에 비해 낮게 나타났는데 이것은 이 염분 조건이 농어 유어의 성장에는 최적 환경이 아님을 암시해준다.

이상의 연구결과로 농어는 삼투압 조절 능력이 우수한 것으로 나타났으며, 이미 보고 된 송어와 비교하였을 경우에도 비슷한 경향을 보였다. 2 ppt에서 180일 동안 성장 결과로 볼 때, 해수보다는 다소 낮았으나, 생존율 및 생리적 반응에서는 차이를 보이지 않아, 유어의 담수 양식이 가능한 것으로 사료되며, 추후에는 발달 시기별로 최적 담수사육 개시기를 파악해 보아야 할 것이다.

요 약

사육 염분의 급성교환 실험에서, 해수의 담수화가 1시간 이내에 이루어졌을 경우 농어 유어들은 다소의 스트레스 반응과 이온의 변화가 있었으며, 24시간 뒤에도 정상 회복이 더딘 것으로 나타났다. 그러나 6시간에 걸친 담수화 과정 중에 스트레스 반응은 담수화 직후 높게 나타났지만, 24시간 후 빠르게 정상으로 회복되는 것을 알 수 있다. 장기간 염분별 사육실험 결과, 20 ppt가 가장 높은 사료섭식량을 나타내었고, 2 ppt구가 가장 낮았다. 사료효율 또한 2 ppt구가 가장 낮게 나타났고, 10 ppt구가 가장 높았으며, 실험구별 유어의 성장은 실험 종료시 10, 20 및 30 ppt구가 2 ppt 보다 유의하게 높은 길이 성장을 보였다. 무게 성장은 실험 종료시 20 ppt가 가장 빠른 무게 성장을 나타내었고, 다음으로 30 ppt, 10 ppt, 2 ppt 순으로 나타났다. 염분별 사육 유어의 혈액 성분은 2 ppt~30 ppt의 사육수에 있어 농어 유어들의 혈액 조성은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- 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. Disease., 3: pp. 26.
- Barton, B. A., R. E. Peter and C. R. Paulence, 1980. Plasma cortisol levels of fingerling rainbow trout (*Salmo gairdneri*) at

- rest, and subjected to handling, confinement, transport and stocking. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**: 805-811.
- Bern, H. A., 1983. Functional evolution of prolactin and growth hormone in lower vertebrates. *Am. Zool.*, **23**: 663-671.
- Chang Y. J. and J. W. Hur, 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. *J. Korean Fish. Soc.*, **32**: 310-316 (in Korean).
- Chu, C., Y. J. Chang and J. W. Hur, 2000. Effects of supplemental salt in the diets on growth, survival rate and body fluid composition of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) reared in freshwater. *J. of Aquaculture* **13**: 317-323 (in Korean).
- Han, H. K., D. Y. Kang, S.B. Hur and C. Y. Jeon, 2001a. Influences of salinity on spontaneous maturation and spawning induction of brood stocks in sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *J. of Aquaculture*, **14**: 213-220 (in Korean).
- Han, H. K., D. Y. Kang, S. B. Hur and S. W. Kim, 2001b. Influences of temperature and salinity on early development, growth and survival rate in sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *J. of Aquaculture*, **14**: 29-33 (in Korean).
- Higgs, D. A., U. H. M. Fagerlund, J. G. Eales and J. R. McBride, 1982. Application of thyroid and steroid hormones as anabolic agents in fish culture. *Comp. Biochem. Physiol.*, **73**: 143-176.
- 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.
- Hur J. W. and Y. J. Chang, 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by gradual change in salinity of rearing water. *J. of Aquaculture*, **12**: 283-292 (in Korean).
- Kang, D. Y., H. K. Han and C. M. An, 2001. Reproductive cycle of sea bass, *Lateolabrax japonicus*. *Korean J. Ichthyology*, **13**: 39-45 (in Korean).
- Kang, D. Y., H. K. Han and H. J. Baek, 2002. Gonadal and sex hormonal changes of indoor-reared sea bass, *Lateolabrax japonicus* during annual reproductive cycle. *J. Korean Fish. Soc.*, **35**: (in printing).
- Kim, C. H. and H. C. Jun, 1997. Provisional classification of temperate sea bass, the genus *Lateolabrax* (Pisces: Moronidae) from Korea. *Kor. J. Ichthyology*, **9**: 108-113.
- Kirsch, R. and M. F. Meister, 1982. Progressive processing of ingested water in the gut of seawater teleosts. *J. Exp. Biol.*, **98**: 67-81.
- Kirsch, R., W. Humbert and V. Simoneaux, 1985. The gut as an osmoregulatory organ, comparative aspects and special references to fishes. (*in*) *Transport Processes, Ion and Osmoregulation* (eds.) Gilles, R. and M. Gilles-Baillien, Springer Verlag, Berlin, pp. 265-277.
- Laurent, P. and S. Kunel, 1980. Morphology of gill epithelia in fish. *Am. J. Physiol.*, **238**: 147-159.
- Laycock, J. and P. Wish, 1983. *Essential Endocrinology*. 2nd. Oxford University Press, Oxford, pp. 371.
- Maina, J. N., 1990. A study of the morphology of the gills of an extreme alkalinity and hyperosmotic adapted teleost *Oreochromis alcalicus grahami* (Boulenger) with particular emphasis on the ultrastructure of the chloride cells and their modifications with water dilution. ASEM and TEM study. *Ana. Embryology*, **181**: 83-98.
- Makino, N., M. Uchiyama, S. Iwanami, T. Tohyama and M. Tanaka, 1995. Differentiation and development of the swim-bladder in larvae of the Japanese sea bass *Lateolabrax japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **61**: 143-150.
- Mayer-Gostan, N., S.E. Wendelaar Bonga and P. Balm, 1987. Mechanisms of hormone action on gill transport. Academic Press, San Diego, pp. 211-238.
- Pérez, 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.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger and J. F. Carragher, 1989. Differences in the sensitivity of brown trout, *Salmo trutta*, and rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, to physiological doses of cortisol. *J. Fish Biol.*, **34**: 757-768.
- Tam, W. H., L. Birkett, R. Makaran, P. D. Payson, D. K. Whitney and C. K. C. Yu, 1987. Modification of carbohydrate metabolism and liver vitellogenic function in brook trout (*Salvelinus fontinalis*) by exposure to low pH. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **44**: 630-635.
- Wedemeyer, G. A., B. A. Barton and D. J. McLeay, 1990. Stress and acclimation. (*in*) *Methods for Fish Biology*. (eds.) Schreck, C.B., Moyle, P.B., American Fisheries Society, Bethesda, MD, pp. 451-489.
- 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, pp. 130-131. (in Japanese).

원고접수 : 2002년 9월 30일

수정본 수리 : 2003년 1월 9일

책임편집위원 : 김홍윤