

## 순치 기간에 따른 육봉형 산천어(*Oncorhynchus masou masou*)의 해수 적응능력

김병기 · 김재원\* · 박정환<sup>1</sup> · 성기백<sup>2</sup> · 김현주<sup>3</sup>

강원도립대학 해양생명과학과, <sup>1</sup>노스캐롤라이나주립대학 생물학과, <sup>2</sup>국립수산과학원 내수면양식 연구센터, <sup>3</sup>한국해양연구원

### Seawater Adaptability of Land-locked Masu Salmon *Oncorhynchus masou masou* by Acclimation

Pyong Kih Kim, Jae Won Kim\*, Jeonghwan Park<sup>1</sup>, Ki Baik Seong<sup>2</sup>  
and Hyeon-Ju Kim<sup>3</sup>

Department of Marine Bio-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, Korea

<sup>1</sup>Department of Biology, NC State University, Campus Box 7617, Raleigh, NC 27695-7617, USA

<sup>2</sup>Inland Aquaculture Research Center, NFRDI, Changwon 645-806, Korea

<sup>3</sup>Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Daejeon 305-343, Korea

The seawater adaptability of land-locked masu salmon *Oncorhynchus masou masou* via acclimation was examined for aquaculture purposes. The survival, blood chemistry, and histological changes of masu salmon (150 g) were measured after 7-, 15-, and 30-day acclimation periods. After a total of 60 days in seawater cultures that incorporated the various acclimation periods, survival was 83.5, 87.2, and 91.0% for the 7-, 15-, and 30-day periods, respectively; thus, survival increased with longer periods of acclimation. Feeding efficiencies were 32.1, 52.0, and 40.6% for the 7-, 15-, and 30-day periods, and specific growth rates were 0.14, 0.26, and 0.23%, respectively. Generally, masu salmon appeared to exhibit better growth performance after an acclimation period of 15 days. Cortisol concentrations [mean  $\pm$  SD] for 7, 15, and 30 days of acclimation were  $21.0 \pm 6.5$ ,  $17.8 \pm 4.8$ , and  $21.2 \pm 5.4$   $\mu$ g/dl, with the lowest values occurring with 15 days of acclimation. Osmolarities were  $359.2 \pm 26.1$ ,  $350.4 \pm 29.2$ , and  $354.6 \pm 29.3$  mOsm/kg, and glucose concentrations were  $60.7 \pm 20.7$ ,  $72.9 \pm 17.3$ , and  $76.6 \pm 14.1$  mg/dl for the 7-, 15-, and 30-day acclimation periods, respectively ( $P < 0.05$ ). The histological study revealed that both gills and both kidneys of the masu salmon exhibited middle- to end-stage and middle-stage lesions in the 7- and 15-day groups, respectively, whereas these organs only had early-stage lesions in the 30-day group in the final experiment. Therefore, the seawater acclimation of masu salmon should involve more than 30 days in seawater.

Keywords: Masu salmon, Seawater adaptability, Survival rate, Blood chemistry, Histological change

## 서 론

산천어(*Oncorhynchus masou masou*)는 우리나라 동해안을 따라 산간계곡에 서식하고 있으며, 일부(시마연어)는 바다로 내려가 성장하고 산란기에 인근의 하천으로 소상하여 번식하는 특성 때문에 지리적으로 동해역에 한정되어 분포한다(Seong, 1999). 따라서 산천어의 강해형인 시마연어는 우리나라 동해역의 주요어업자원으로 자리를 잡고 있으며, 육봉형인 산천어는 무지개송어의 수요를 대체하거나 강원도 화천군과 같은 지방자치단체의 축계생물로 인기를 끌고 있다.

반면, 우리나라 강원북부는 대표적인 한해성 해역으로 연어

가 소상하는 하천을 다수 보유하고 있지만, 연어류의 해상사육을 위한 양식대상종의 개발은 드문 실정이다. 그러나, KORDI (1986, 1992, 1996)에서는 동절기 남해안 가두리양식의 활성화를 위하여 무지개송어(캠루프송어, 스틸헤드송어 포함), 왕연어 및 은연어를 대상으로 육상과 해상사육기술을 산업화 한 바 있으나, 국내 토착종을 대상으로 한 해수양식은 이루어진 바는 없다. 또한, 연어과 어류 중 스틸헤드송어의 육봉형인 무지개송어는 양식대상종인 은연어에 비해 해수순치에 다소 시간이 걸리지만 해수에서 빠르게 성장할 수 있다(KORDI, 1996; Kim et al., 2005).

산천어 등의 육봉형어류를 해수에서 사육하게 되면 성장속도가 빨라 대형으로 키울 수 있고, 담수어류의 소비한계를 적극적으로 극복할 수 있으며, 담수에서 발생하던 수생균 및 담수 기

\*Corresponding author: kjw01@hanmail.net

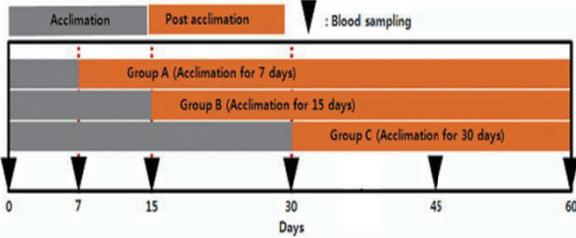


Fig. 1. Blooding sampling of masu salmon for seawater acclimation test.

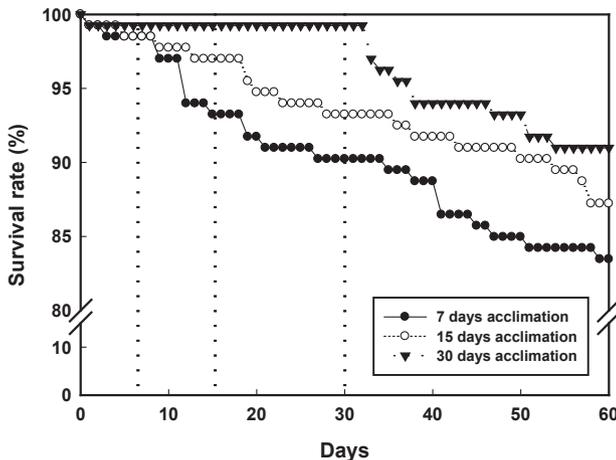


Fig. 2. Survival rate of masu the acclimation periods.

원 세균, 바이러스성 질병도 감소하여 사육이 용이한 장점이 있다(KORDI, 1986). 지금까지 해수순치에 대한 기존의 연구는 대부분 무지개송어를 대상으로 이루어져 왔고, 관련 연구들도 순치어류의 생존율이나 혈중 전해질 농도의 단기간 변화와 관련된 연구가 대부분이다(Bath and Eddy 1979; Kim et al., 2005).

따라서 본 연구에서는 동절기가 길어 비교적 저수온이 오래 지속되는 강원북부 지역의 해상가두리 사육용을 개발하기 위하여 연어과 어류 중 우리나라 토착종인 육봉형 산천어를 대상으로 해수적응력을 시험 평가하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 어류 및 실험 장치

산천어(어체중 150 g 전후)는 강원도 소재 개인 양어장에서 구입하여 강원도립대학 연구시설의 사육 시스템에 수용하였다. FRP로된 3개의 수조(2.0 m (L) × 2.0 m (W) × 1.2 m (H))에 산천어를 133마리씩 나누어 수용하였고, 수질은 수온  $12.0 \pm 1.9^\circ\text{C}$ , 용존산소 농도  $10.6 \pm 1.5 \text{ mg/L}$ , pH  $7.8 \pm 0.4$ 를 유지하면서 반 유수식으로 운전하였다.

순치(지하수에서 100% 해수로 이행) 기간을 7일(5 psu/day), 15일(2 psu/day), 30일(1 psu/day)로 달리하였으며, 그 후에는

완전 해수에서 사육하면서 총 60일 동안 순치능력을 평가하였다. 먹이는 무지개송어용 사료(조단백질: 43.0% 이상, 조지방: 13.0% 이상)를 일간 2회(09:00, 17:00) 만복 공급하였고, 순치 방법과 혈액샘플기간 등에 대한 실험 설계는 Fig. 1에 나타내었다.

### 혈액 분석 및 조직 관찰

혈액 분석을 위한 시료 채취는 실험 직전, 실험 시작 후 7, 15, 30일 그리고 45, 60일에 각 실험구에서 10마리를 무작위로 선택하여 채혈하였다. 실험 어류는 채혈 전 24시간 동안 절식한 후, 마취하지 않은 상태로 미부정맥으로부터 채혈하였다. 채혈 직후 micro-hematocrit method (Brown, 1980)을 이용하여 hematocrit를 측정하였고, cortisol의 분석은 Jeon et al. (2000)과 같은 방법을 사용하였다. Glucose, GOT, GPT, 전해질(sodium,  $\text{Na}^+$ ; chloride,  $\text{Cl}^-$ ) 등은 혈액성분분석기(KODAK EKTACHEM DTII SYSTEM, USA)로, 삼투질 농도(osmolality)는 micro osmometer ( $\mu\text{Osmtte}^{\text{TM}}$ , Precision System, USA)로 측정하였다.

조직 관찰은 각 실험구별 순치 직후(7, 15 및 30일)와 실험 종료시, 어체를 해부하여 각 기관별(아가미, 신장)로 추출한 후 Bouin's solution에 24시간 고정하였고, 이후 수세와 탈수과정을 거쳐 paraplant에 포매 후  $4\text{--}6 \mu\text{m}$  두께로 연속절편하여 조직 표본을 만들었다. 조직표본은 진행성인 Mayer's hematoxylin에서 약 4분 동안 핵 염색을 한 후, 0.5% eosin에서 약 1분 동안 세포질 염색을 실시하였으며, 광학현미경(BA 400-Motic)을 이용하여 검경하였다.

### 통계처리

본 실험에 대한 결과는  $\text{mean} \pm \text{S.D.}$ 로 나타내었고, SPSS ver. 10.0 프로그램을 사용해 ANOVA로 검증한 후,  $P < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성 비교를 하였다.

## 결 과

순치 기간에 따른 산천어의 생존율을 조사한 결과, 7일 실험구의 경우 실험시작부터 폐사가 발생하여 순치가 완료된 이후 97.0%로 낮아졌고, 실험이 종료되는 시점(60일)에는 83.5%를 나타냈다. 나아가 15일 실험구와 30일 실험구의 생존율은 각각 87.2와 91.0%로 나타나 해수 순치 기간이 길수록 생존율이 높았다(Fig. 2).

순치 기간에 따른 산천어 성장 결과는 Table 1에 제시하였다. 순치 기간을 포함하여 60일 간의 7, 15 및 30일 실험구의 사료효율은 각각 32.1, 52.0 및 40.6%로 나타나 15일 실험구의 사료효율이 가장 우수하였다. 일간성장률은 각각 0.14, 0.26 및 0.23%/day로 사료효율과 마찬가지로 15일 실험구가 높게 나타났다.

실험 기간 동안 6회의 혈액성상 농도를 측정된 결과(평균값)는 Fig. 3에 제시하였다. 혈중 glucose 농도는 실험 시작 시  $73.6 \pm 12.7 \text{ mg/dL}$  수준이었으나 순치 기간에 따라 7, 15 및 30일 실험

Table 1. Growth performance of masu salmon during the sea-water acclimation for 60 days

Exp. group	7 days acclimation	15 days acclimation	30 days acclimation
Initial mean weight (g)	160.5	159.7	159.2
Survival (%)	83.5	87.2	91.0
Mean weight gain (g/fish)	20.4	40.2	34.4
Feed efficiency (%) <sup>1</sup>	32.1	52.0	40.6
Specific growth rate (%/day) <sup>2</sup>	0.14	0.26	0.23
Daily Feed intake (%/day) <sup>3</sup>	0.43	0.50	0.56

<sup>1</sup>Fish wet weight gain × 100/feed intake (dry matter).

<sup>2</sup>(Ln final weight - Ln initial weight) × 100/days.

<sup>3</sup>Feed intake (day matter) × 100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight) × days fed/2].

험구가 각각  $60.7 \pm 20.7$ ,  $72.9 \pm 17.3$  및  $76.6 \pm 14.1$  mg/dL로, 7일 실험구의 농도가 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). 혈중 cortisol 농도는 시작 시  $22.5 \pm 8.6$  µg/dL 수준이었으나, 순치 기간에 따라 7, 15 및 30일 실험구가 각각  $21.0 \pm 6.5$ ,  $17.8 \pm 4.8$  및  $21.2 \pm 5.4$  µg/dL로 나타나 15일 실험구가 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). 혈중 GPT 농도는 시작 시  $4.6 \pm 2.1$  IU/L에서 각각  $8.9 \pm 2.7$ ,  $7.8 \pm 3.1$  및  $9.5 \pm 2.1$  IU/L로 모든 실험구에서 급격히 상승하였으며, 15일 실험구의 농도가 유의하게 낮았다( $P < 0.05$ ). 산천어 혈액의 평균 hematocrit 값은 실험 시작 시  $41.7 \pm 6.4\%$ 이었으

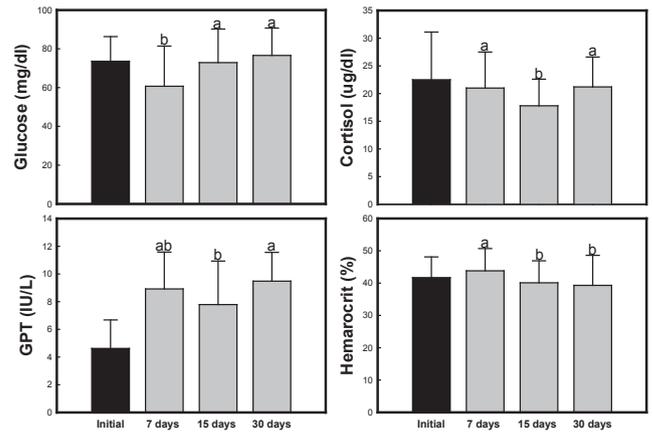


Fig. 3. Concentrations of major serum components of masu salmon by acclimation period. Different superscripts express  $P$  value ( $P < 0.05$ ), which mean the date are significantly different between experimental groups.

나, 순치 기간에 따라 각각  $43.8 \pm 6.9$ ,  $40.1 \pm 6.8$  및  $39.3 \pm 9.3\%$ 로 7일 실험구가 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ).

순치 기간에 따른 혈중 GOT, 삼투질 농도,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 경시적인 변화를 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 실험 시작 시 GOT 농도는  $96.7 \pm 40.0$  IU/L 수준이었으나, 순치 7일 후 7, 15 및 30일 실험구에서 각각  $39.8 \pm 14.2$ ,  $37.0 \pm 18.1$  및  $75.2 \pm$

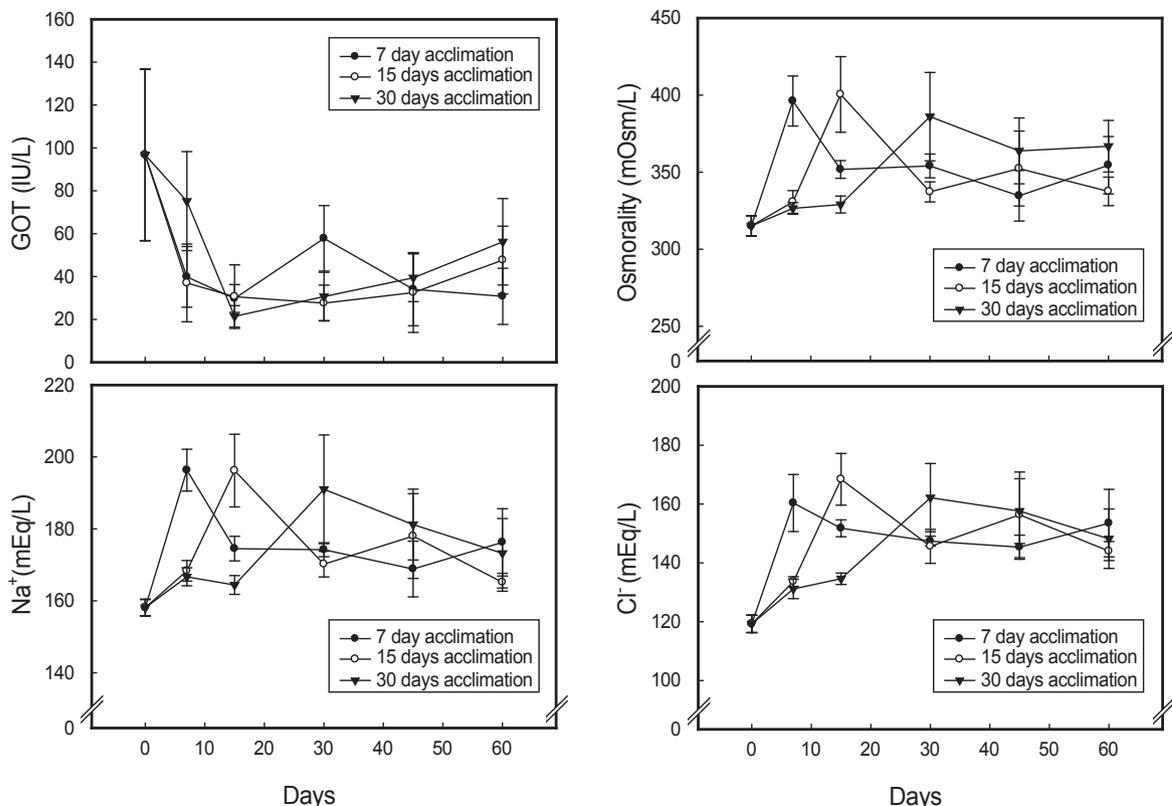


Fig. 4. Fluctuations of major serum concentration in masu salmon (before and after acclimation to seawater).

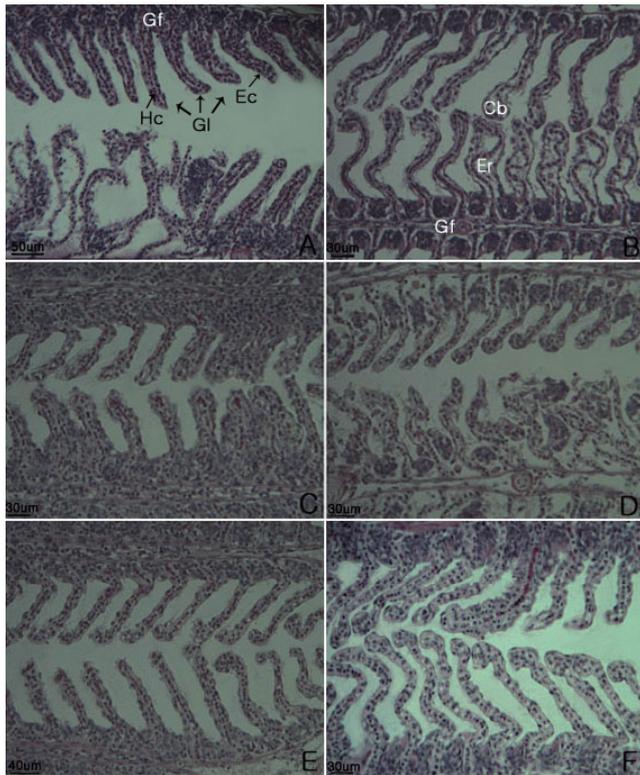


Fig. 5. Histological change of gill of masu salmon by acclimation period. A, after acclimation; B, final- 7 days acclimation group; C, after acclimation; D, final- 15 days acclimation group; E, after acclimation; F, final- 30 days acclimation group. Gf: gill filament, Gl: gill lamellae, Hc: hemocyte, Ec: Epithelial cell, Cb: clubbing, Er: The epithelial cell lifting.

23.1 IU/L로 순치 직후부터 급격히 감소하였다. 30일 경과 후 각각  $57.8 \pm 15.2$ ,  $27.6 \pm 8.4$  및  $30.7 \pm 11.3$  IU/L로, 60일 경과 후 각각  $30.8 \pm 13.1$ ,  $47.7 \pm 15.8$  및  $56.2 \pm 20.2$  IU/L로 나타났다. 순치 기간 동안 평균 GOT 농도는 7, 15 및 30일 실험구에서 각각  $39.0 \pm 16.5$ ,  $35.5 \pm 16.3$  및  $45.2 \pm 24.6$  IU/L로 큰 차이점을 보이지 않았다( $P > 0.05$ ). 실험 시작 시  $315.1 \pm 6.5$  mOsm/kg이었던 혈중 삼투질 농도는 7일 경과 후 7, 15 및 30일 실험구에서 각각  $396.2 \pm 16.2$ ,  $330.7 \pm 7.4$  및  $326.5 \pm 3.8$  mOsm/kg, 30일 경과 후 각각  $354.0 \pm 7.7$ ,  $337.2 \pm 6.5$  및  $386.0 \pm 28.7$  mOsm/kg로, 60일 경과 후 각각  $354.5 \pm 18.6$ ,  $337.5 \pm 9.2$  및  $366.8 \pm 16.7$  mOsm/kg으로 나타났다. 따라서 순치 기간 동안 평균 혈중 삼투질 농도는 각각  $359.2 \pm 26.1$ ,  $350.4 \pm 29.2$  및  $354.6 \pm 29.3$  mOsm/kg으로 실험구간의 큰 차이점을 보이지 않았다( $P > 0.05$ ). 혈중 GOT 농도와 달리 삼투질 농도는 순치시 급격히 상승하였으나 그 이후 안정화되는 것으로 나타났다.

전해질 이온인  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$  이온의 혈중 농도 변화도 혈중 삼투질 농도의 변화와 유사한 경향을 보였다. 실험 시작 시 혈중  $\text{Na}^+$  이온은  $158.1 \pm 2.3$  mEq/L이었으나, 완전 해수로 순치가 완료되는 시점인 7, 15 및 30일 경과 후 각각  $196.3 \pm 5.8$ ,  $196.2 \pm 10.1$ ,  $191.0 \pm 15.1$  mEq/L까지 급격히 상승하였다가 점차 감소하면

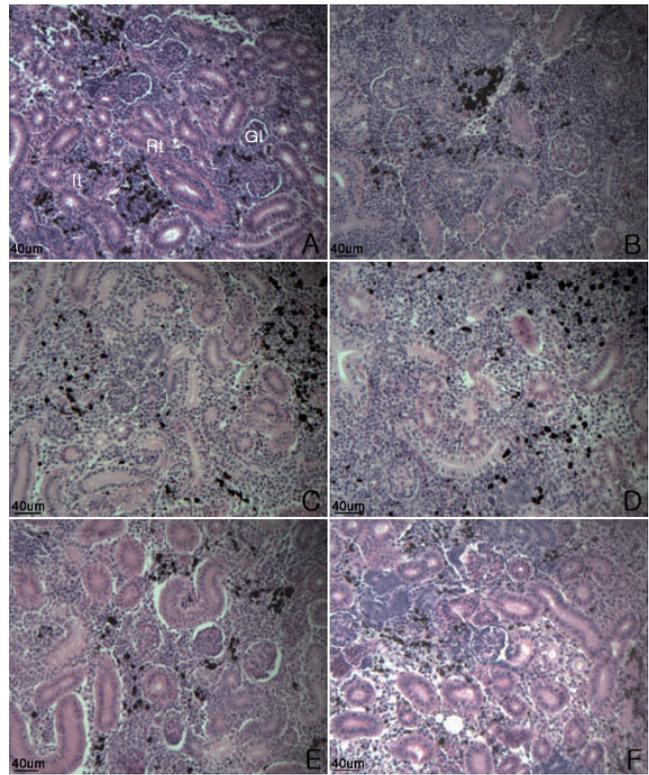


Fig. 6. Histological change of kidney of masu salmon by acclimation period. A, after acclimation; B, final- 7 days acclimation group; C, after acclimation; D, final- 15 days acclimation group; E, after acclimation; F, final- 30 days acclimation group. Gl: glomerulus, Rt: renal tubule, It: interstitial cell.

서 안정화되었다. 혈중  $\text{Cl}^-$  이온은 시작 시  $119.3 \pm 3.0$  mEq/L이었으나, 7일 경과 후 7, 15 및 30일 실험구의 농도는 각각  $160.3 \pm 9.7$ ,  $133.7 \pm 1.6$  및  $131.2 \pm 3.3$  mEq/L로 순치가 완료된 7일 실험구가 가장 높은 수치를 보였으며, 30일 후  $147.4 \pm 1.7$ ,  $145.6 \pm 5.8$  및  $162.2 \pm 11.6$  mEq/L, 60일 후  $153.5 \pm 11.5$ ,  $144.0 \pm 3.2$  및  $148.2 \pm 10.1$  mEq/L로 나타났다.

순치 기간에 따른 조직 표본 관찰결과 7일 실험구의 순치 직후 아가미 조직은 새엽의 혈관팽창, 새판 말단의 곤봉화 현상 및 새판의 이상비후 현상이 진행되었고, 각 개체당 아가미 내 일부(약 5%)에서 새판 상피층이 분리되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 5A). 실험 종료시에는 새판 말단의 두드러진 곤봉화현상, 새판 상피층의 분리 및 새판과의 부착 등 증기에서 말기로 진행되는 조직 병변을 보였다(Fig. 5B). 15일 실험구의 순치 직후 아가미 조직은 새판 말단의 곤봉화, 새엽 상피층 이상증식 등의 조직상을 보였으며, 7일 실험구의 순치 직후 아가미 조직과 비슷한 조직상을 보이지만 진행 상태는 느린 것으로 확인되었다(Fig. 5C). 실험 종료시 새판 상피층의 분리와 아가미 내 일부에서 새판의 파괴와 같은 증기에서 말기로 진행되는 조직 병변을 나타내었다(Fig. 5D). 30일 실험구의 순치 직후 아가미 조직은 새엽의 혈관팽창과 새판 말단의 곤봉화 현상 등이 부분적으로

나타나지만 정상 개체와 거의 가까운 형태를 보였다(Fig. 5E). 실험 종료시 새판 발달의 곤봉화 현상과 새엽 기저의 팽창이 뚜렷하게 보이는 초기의 병변 현상이 관찰되었다(Fig. 5F).

7일 실험구의 순치 직후 신장 조직은 흑색대식세포들이 30-40% 이상 나타나며, 간질 조직과 사구체의 수축 및 신관 상피층 상피세포 팽창 등의 초기에서 중기로 진행되는 조직상을 관찰할 수 있었다(Fig. 6A). 실험 종료시 흑색대식세포들이 50% 정도로 증가되었으며, 해수 순치 직후보다 더 많이 변성된 조직상을 나타내는 중기의 병변 현상을 보였다(Fig. 6B). 15일 실험구의 순치 직후 신장 조직은 흑색대식세포들이 20-30% 이상 나타나며, 간질 조직과 사구체의 수축 및 신관 상피층 상피세포 팽창 등의 조직상이 7일 실험구의 순치 직후 병변 현상보다 나쁘지 않은 것으로 관찰되었다(Fig. 6C). 실험 종료시 흑색대식세포들이 30-40% 이상 나타나며, 7일 실험구의 순치 직후 병변 현상과 비슷한 조직상을 관찰할 수 있었다(Fig. 6D). 30일 실험구의 순치 직후 신장 조직은 흑색대식세포들이 10% 전후로 나타나며, 간질조직, 사구체 및 신관 등이 안정된 구조를 하고 있었다(Fig. 6E). 실험 종료시 흑색대식세포들이 10-20% 정도로 나타났고, 간질 조직과 사구체의 수축 및 신관 상피층 상피세포 팽창 등이 부분적으로 보이는 초기 병변 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. 6F).

## 고 찰

연어류와 무지개송어의 해상사육을 위해서는 필수적으로 거쳐야 할 과정이 해수순치인데, 연어류는 육붕화되지 않아 2-3일에 해수순치가 가능하지만, 무지개송어는 육붕화 수준이 높아 해수순치 기간이 상대적으로 길고 생존율이 낮다(KORDI, 1992). 특히, 산천어는 국내에서 자연산을 잡아 양식종으로 개발하였기 때문에 해수순치 능력이 다소 떨어져 7-9일 정도가 필요한 것으로 나타났다(KORDI, 1992). 일본의 경우, 하천방류용 산천어는 1년에 10-20 g의 소형개체로 키워야 스몰트 비율이 높고 해수로의 이행이 가능한 것으로 보고하고 있으나, 국내에서는 해수사육 대상으로 검토하거나 사육한 실적이 없어 그 가능성의 판단이 요구된다. 최근 생물종 다양성협약에 따라 자국 토착 생물종에 대한 보호와 개발이 매우 중요한 시기로, 국내 자연 토착 자원을 대상으로 새로운 해상사육 품종의 개발이 필요할 실정이다.

본 연구 결과, 산천어는 연어류는 물론 무지개송어보다도 해수적응력이 낮은 것으로 조사되었다. 예를 들면, 왕연어와 은연어는 당년에 스몰트 비율이 거의 100%에 도달하고, 약 3일이면 해수순치가 가능하며, 순치이후 정상적으로 성장이 가능한 것으로 보고되어 있다(KORDI, 1996). 또한, 육붕형인 무지개송어의 경우에도 150 g 정도 되는 크기를 대상으로 약 7-10일 정도의 해수순치를 실시하면 생존율이 90% 이상이며, 해수에서도 정상적으로 성장하는 것으로 보고하고 있다(KORDI, 1992). 나아가 Kim et al. (2005)에 의하면 무지개송어를 대상으로 해수순치 전

30일간 염분사료를 공급하면 순치기간을 3일로 하여도 21일간 생존율은 72-88% 수준으로 매우 높은 것으로 보고하고 있다. 그러나 본 연구의 산천어는 순치기간(7-30일)을 포함하여 60일간의 해수사육에서 83.5-91.0%의 생존율을 보였다. 그리고, 순치 이후의 해수에서의 장기간 생존율(해수순치 후 61-172일까지)을 조사한 결과, 9-18%로 매우 낮아지는 것으로 나타났다(미발표자료). 이와 같이 장기간에 걸쳐 꾸준히 폐사가 나타나는 것은 위에 물이 차는 복수 증세로 폐사하는 것이 대부분이었으며, 일부는 삼투압 조절 실패로 사료를 섭취하지 않아 기아상태에 빠지는 개체들이 다수 관찰되었다. 따라서 생존율과 일간성장률의 평가, 스트레스 호르몬의 정도 등을 종합적으로 판단할 때 15일 실험구가 가장 우수한 것으로 나타났다.

해수순치에 따른 산천어의 스트레스와 관련하여 1차적으로 혈중 cortisol 호르몬의 변동, 그리고 2차적으로 glucose를 비롯한 간장효소(GOT, GPT)와 전해질( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) 농도 등의 변화가 나타난다(Jeon et al., 2000; Kim et al., 2005). 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 스트레스 관련 혈액 지표들이 15일 실험구에서 양호(glucose 제외)한 것으로 나타나, 산천어의 해수순치에 필요한 소요일수는 대체적으로 약 15일 정도로 나타났으며, 무지개송어의 해수순치에 필요한 소요일수 10일(KORDI, 1992) 보다 더 긴 것으로 나타났다.

한편, 간장효소(GOT)를 비롯한 혈액의 삼투압 관련지수는 순치기간에 따른 유의한 차이는 없었으나( $P>0.05$ ), 순치 전후의 변화는 일정한 패턴을 보였다. GOT의 경우는 전체적으로 감소하다 순치 15일 후, 15일과 30일 실험구에서 서서히 증가하는 경향을 보였고, 혈중 삼투질 농도(Osmolality)는 순치가 종료되는 시점에 증가하였다가 바로 감소하여 안정화 하는 경향을 보여 무지개송어를 대상으로 한 이전의 보고(Kim et al., 2005)와 유사한 패턴을 보였다. 나아가 혈중 전해질인  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 의 변동도 삼투질 농도의 변화와 유사하게 해수순치 종료 시 증가하였다가 바로 감소한 후 안정화 하는 패턴을 보였으나, 실험구별 유의한 차이는 관찰되지 않았다.

어류 아가미는 주로 가스교환에 관여하지만 동시에 체액과 외부 환경 사이의 삼투 균형을 유지하는 기능을 담당하고 있으며, 다른 기관에 비해 그 표면적이 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하게 반응하는 부위로 알려져 있다(Lee et al., 1997). 아가미는 환경의 급격한 변화에 따라서 1차적으로 새판의 박리와 공포화가 유발되고, 이에 따른 2차적 반응으로는 호흡 상피세포의 과다한 증생(edema)으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미 호흡효율의 감소를 초래하게 되고, 심할 경우 폐사할 수 있다(Lee et al., 1997). 0 psu에서 33 psu로 교환한 틸라피아 아가미에서는 해수사육 이전에 정상적인 조직상을 보인 반면, 해수사육에 의해 염분이 상승함에 따라 조직의 손상이 관찰되었으며, 해수사육 2일째에는 아가미 새판(gill lamella)의 모세혈관들이 응혈되고 새엽이 중첩되는 조직상을 보여 아가미의 호흡효율이 급격히 감소하여 사망한 것으로 보고되고 있다(Hur et al., 2001). 본 연구에서 급격한 염분변화를 보인 7일 순치한 실험구에서도 틸

라피아보다는 미약하지만 중기-말기 과정의 병변을 보이는 것으로 나타났다.

틸라피아, *Oreochromis niloticus* (Yoon et al., 1993)와 Cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi* (Galat et al., 1985)을 대상으로 연구한 결과에서 해수에 적응된 개체들의 사구체 크기가 수축된다고 보고하였다. 본 연구에서 염분에 적응된 모든 개체들에서 사구체의 수축을 관찰할 수 있었으며, 이러한 사구체의 수축은 아가미를 통하여 배출되어서 탈수상태에 빠지기 전에 더 많은 양의 수분을 재흡수하기 위하여 발생하는 것으로 생각되며, 더 많은 양의 혈액을 보내기 위해서 사구체 미세동맥이 팽창되는 현상이라고 보고하였다(Yoon et al., 1993). 아가미와 신장의 조직학적 측면에서 염분변화가 심하지 않은 30일 순치구가 가장 적절되며, 가능한 염분변화의 폭을 줄이는데 산천어의 스트레스를 줄일 것으로 사료된다.

따라서 산천어의 해수순치 및 양성을 위해서는 해수순치가 양호한 새로운 품종을 개발하기 위한 장기간의 시도와 준비가 필요할 것으로 판단되었다. 즉, 해수순치가 가능한 개체를 지속적으로 선발 육종하여 몇 세대를 거치면서 해수적응성이 큰 품종을 개발할 필요가 있다.

그러나 연구 대상인 산천어는 사육하는 지역이나 사육자의 선호도 때문에 다양한 품종을 구입하여 양식하기 때문에 개체군에 따라 해수적응성은 다소 차이가 있을 것으로 판단되고, 스몰트 된 개체를 선별하여 계대 사육을 실시한 해수적응력이 뛰어난 개체를 순치하여 사육한다면 생존율이 높아 산업화가 가능할 것으로 판단된다. 그러나 산천어의 스몰트는 소형개체에서 나타난다는 보고가 있어, 앞으로 어체의 크기에 따른 해수 순치 능력을 좀 더 평가해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

## 사 사

이 연구는 해양수산부(현, 국토해양부)의 지원으로 수행된 '해양심층수 다목적 개발'의 연구 지원과 국립수산물품질관리원(RP-2011-AQ-005)의 지원에 의하여 연구되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- Bath NR and Eddy FB. 1979. Salt and water balance in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) rapidly transferred from freshwater to seawater. J Exp Biol 83, 193-202.
- Brown BA. 2001. Routine hematology procedures. (in) Hama-tology: Principles and Producer. Lea and Feviger. Philadelphia. Bull. Freshwater Fish Res Leb 12, 1-4.
- Galat DL, Post G, Keefe TJ and Bouck GR. 1985. Histological changes in the gill, kidney and liver of Lahontan cutthroat trout, *Salmo clarki henshawi*, living in lakes of different salinity-alkalinity. J Fish Biol 27, 533-552.
- Hur JW, Chang YJ, Kang DY and Lee BK. 2001. Changes of gill tissue and body composition of juvenile grey mullet (*Mugil cephalus*) and nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to the sharp salinity change in a recirculation rearing system. Kor J Fish Aquat Sci 34, 51-56.
- Jeon JK, Kim PK, Myoung JG and Kim JM. 2000. Changes of serum cortisol concentration and stress responses in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) to netting. J Kor Fish Soc 33, 115-118.
- Kim PK, Kim Y. and Jeon JK. 2005. Use of Dietary Salt to Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) for Increasing Seawater Adaptability. J Aquacult 18, 69-75.
- KORDI. 1986. Study for the Development of Technics for High-valued Fish Culture (Ⅱ). BSPG00035-117-3. Seoul, Korea, 318.
- KORDI. 1992. Development of Sea Cage Culture Technics for Trouts. BSPG00173-524-3. Seoul, Korea, 73.
- KORDI. 1996. A Study for the Marine Ranching Program in Korea (Industrialization Project). BSPN00318-969-3. Seoul, Korea, 437.
- Lee YC, Chang YJ and Lee BK. 1997. Osmoregulation capability of juvenile grey mullets (*Mugil cephalus*) with the different salinities. Kor J Fish Aquat Sci 30, 216-224.
- Seong KB. 1999. Biological characteristics and population genetics of salmonid species from Korea. Ph. D. Thesis, Pukyong National University, Pusan, Korea.
- Yoon JM, Kang YC and Hong YP. 1993. Light and electron microscopy of gill and kidney on adaptation of Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the various salinities. Kor J Electron Microscopy 23, 27-40.

2011년 9월 7일 접수

2011년 10월 21일 수정

2011년 10월 31일 수리