

대왕붉바리 치어(*Epinephelus akaara*♀ × *E. lanceolatus*♂)의 생존, 성장 및 생리학적 반응에 미치는 염분의 영향

신윤경* · 최영재 · 길현우

국립수산과학원 남해수산연구소

Survival, Growth and Physiological Response of the Juvenile Hybrid Grouper (*Epinephelus akaara*♀ × *E. lanceolatus*♂) Exposed to Different Water Salinity Levels

Yun Kyung Shin*, Young Jae Choi and Hyun Woo Gil

Aquaculture Industry Research Division, South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

This study aimed to determine the appropriate salinity condition for optimal cultivation of the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀ × *E. lanceolatus*♂ in conditions of decreasing salinity. The survival, growth, metabolic rate, stress, and histological response were investigated in juvenile hybrid grouper exposed to different salinities for 30 days. At 0 psu, the survival rate of the juvenile hybrid grouper was 60% on the 2nd day of exposure and all individuals died on the 3rd day of exposure. At salinities above 3 psu, all animals survived throughout the exposure period. Growth rate for body weight of the juvenile hybrid grouper was the highest in the control and the lowest at 10 psu. Plasma osmolality of the juvenile hybrid grouper exposed to different salinities was 313-355 mg Osmol/kg at salinities above 10 psu, and then decreased to 225-264 mg Osmol/kg at salinities below 5 psu. The oxygen consumption rate tended to decrease as the salinity decreased. Stress responses of the juvenile hybrid grouper were analyzed with decreasing salinity. Therefore, it is considered that a salinity of more than 20 psu is suitable for the culture of the juvenile hybrid grouper.

Keywords: Hybrid grouper, Salinity, Survival, Growth, Stress response

서론

대왕붉바리는 온대성어류인 붉바리(*Epinephelus akaara*♀)와 아열대성 대왕바리(*E. lanceolatus*♂)의 교잡종으로 여름철 고수온 기간을 이용해 집중양성 할 수 있는 대체양식 어종으로 국내에서 개발되었다. 염분은 수서생물의 서식지 분포를 결정 짓고 생리적과정에 영향을 미치는 중요한 환경요인 중 하나이며, 염분변화는 어류의 대사에 직접적으로 영향을 미칠 수 있다(Boeuf and Payan, 2001; Nordlie, 2009; Anni et al., 2016). 일반적으로 해양경골어류는 염분 7.0-58.5 psu의 넓은 범위에도 견딜 수 있는 광염성이며(Sampaio et al., 2003), 염분변화에 노출되었을 때 이온조성과 삼투질 농도를 일정하게 유지할 수

있으며, 이온과 삼투조절이 일어나는 동안 에너지가 소모된다(Nordlie, 2009; Lisboa et al., 2015). 어류의 삼투조절에 사용되는 에너지는 10-50% 이상으로(Boeuf and Payan, 2001), 삼투조절에 의해 소비되는 에너지는 어류의 체액과 서식지의 염분 간에 삼투질농도차에 비례하므로(Handeland et al., 1998), 어류의 혈장삼투질 농도와 유사한 염분의 해수에서 사육할 경우 삼투조절에 필요한 에너지를 줄일 수 있다(Febry and Lutz, 1987; Woo and Kelly, 1995). 대사율은 해양생물에서 유기적으로 에너지를 소비하는 모든 생리적과정의 총체이며, 삼투조절과 관련된 에너지 비용의 예측은 산소소비 측정으로 가능하다(Anni et al., 2016). 그러므로 어류양식에서 삼투적 균형유지는 생존, 성장 및 건강도 등 어류의 양성관리를 위해 매우 필

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 690. 8971 Fax: +82. 61. 685. 9073

E-mail address: yunkshin@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0426>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 426-433, August 2021

Received 11 June 2021; Revised 12 July 2021; Accepted 20 August 2021

저자 직위: 신윤경(연구관), 최영재(연구사), 길현우(연구사)

요하다. 또한 교잡종의 염분적응력과 염분에 따른 생리적 반응과 관련한 국내정보는 불바리와 대왕불바리의 성장, 생존 및 스트레스에 미치는 염분의 영향(Lim et al., 2016) 외 매우 미흡한 실정으로, 염분에 의한 스트레스를 줄이고 성장을 증가시키기 위한 양성기술의 요소로서 염분적응력에 대한 연구는 반드시 필요하다.

따라서 본 연구는 대왕불바리의 염분내성범위, 염분변화에 따른 대사율, 스트레스 및 조직학적 반응을 분석하여 대왕불바리의 적정양성을 위한 염분 조건을 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

실험에 사용된 대왕불바리 치어는 Golden Seed Project 사업의 일환으로 전라남도 무안군에 위치한 청솔수산에서 2019년 8월에 생산한 개체들을 2020년 1월에 국립수산물과학원 남해수산연구소 생물사육실(Yeosu, Korea)로 옮긴 후 3톤 유수식 수조에서 수온 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분 34.1 ± 0.5 psu (일반해수), 용존산소농도 9.0 ± 1.0 mg/L를 유지하며 2달간 순치하였다. 순치기간 동안 먹이는 배합사료(Nova floating Ø3-4 mm; Aller aqua, Christiansfeld, Denmark)를 어체중의 1%씩 오전 8시경, 오후 1시와 6시경으로 나누어 매일 3회씩 공급하였다. 적정양성을 위한 염분 및 하한염분의 범위를 분석하기 위하여 실험수온은 $26 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 실험염분은 0 (지하수), 3, 5, 10, 15, 20, 25 ± 0.5 psu 및 일반해수(대조구, 34.1 ± 0.5 psu)였다. 각 염분별로 450 L 수조에서 실험어 50마리씩 수용하여 30일 동안 생존율, 성장 및 생리학적 반응을 조사하였다. 실험은 같은 방법으로 2회 반복하였다. 실험수온은 아쿠아트론(You won engineering Co., Ulsan, Korea)을 이용하여 유지하였으며, 염분은 지하수와 해수를 혼합하여 실험염분을 맞추면서 유수식으로 수행하였다. 실험염분은 수질측정기(Professional plus; YSI Inc., Yellow Springs, OH, USA)를 사용하여 매일 오전, 오후 1회씩 하루 2회 점검하였다. 실험에는 800개체를 사용하였으며, 개체의 크기는 평균 전장 10.2 ± 0.6 cm, 평균 체중량 19.5 ± 3.1 g이었다. 생존율은 오전, 오후 8시경에 12시간 간격으로 점검하여 사망개체를 선별하여 생존율로 환산하여 구하였으며, 사망개체는 실험어류가 뒤집히고 아가미 뚜껑의 운동이 정지되었을 때 사망으로 판정하였다.

실험어의 성장률은 각 실험구별 생존한 개체를 대상으로 전장과 체중을 측정하여 아래와 같은 공식에 따라 구하였다. 전장은 digital vernier calipers를 사용하여 0.1 mm 단위로 측정하였고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다.

전장성장률(growth rate for total length, %)=(실험종료시 전장-실험개시 시 전장)/(실험개시시 전장) \times 100

체중성장률(growth rate for body weight, %)=(실험종료시 체중-실험개시 시 체중)/(실험개시 시 체중) \times 100

염분변화에 따른 생리학적 반응은 각 실험염분에 노출시킨 후 30일째 살아있는 개체를 대상으로 산소소비율, 간과 신장의 조직 내 SOD (superoxide dismutase), CAT (catalase), 코티졸, GSH (glutathione)의 변화, 혈액내 삼투질 농도 및 아가미의 조직학적 반응을 분석하였다. 산소소비율은 respirometer chamber (volume, 2 L)와 산소호흡측정기(Orbis 3600; Orbis, Zurich, Switzerland)를 이용하여 실험 전후 respirometer chamber 내 용존산소의 차로써 구하였다. 삼투질농도는 삼투압측정기(OSMOMET 030; Gonotec, Berlin, Germany)를 이용하였다. 간과 신장의 조직내 코티졸, GSH, SOD 및 CAT 반응은 조직을 분쇄하여 10,000 rpm으로 원심분리한 후 세포상층액을 추출하여 -80°C 에 보관하여 분석에 사용하였다. SOD, CAT, 코티졸은 어류 ELISA kit (Cusabio Biotech, Wuhan, China)를 사용하였으며, Versamax SoftMax pro 6 (Molecular Devices, San Jose, CA, USA)를 이용하여 SOD와 코티졸은 파장 450 nm, CAT는 파장 520 nm에서 분석하였다. 조직내 GSH분석은 cold PBS containing 1 mM EDTA에서 조직을 분쇄하여 15분간 4°C 에서 10,000 rpm으로 원심분리하여 Kinetic Method를 이용하여 5분 간격으로 30분간 405-414 nm 파장으로 분석하였다. 간의 조직학적 분석은 조직을 적출하여 Bouin's solution에 24시간 동안 고정하고, 24-36시간 동안 흐르는 물에서 수세한 다음 70-100% 에탄올을 이용하여 단계적으로 탈수하였다. 이후 parplast (McCormick, Baltimore, MD, USA)을 이용하여 포매하고, microtome (RM2235; Leica, Wetzlar, Germany)을 이용하여 두께 4-6 μm 의 횡단면과 종단면의 연속절편을 제작하였다. 제작된 조직절편은 Mayer's hematoxylin-eosin (H-E) 비고 염색하여 광학현미경(BX50; Olympus, Tokyo, Japan)으로 관찰하였다. 실험결과에 사용된 유의성 검정은 SPSS 19.0을 이용하여 one-way ANOVA로 통계처리 후 Duncan's multiple range test로 사후 검증하였다.

결 과

염분별 생존율과 성장

대왕불바리 치어의 생존율은 0 psu 노출의 경우 2일째 60%였으며 노출 3일째 모두 폐사하였다(Fig. 1). 반면 3 psu 이상 염분 실험구에서는 노출 30일 동안 모두 생존하였다(Fig. 1). 각 실험 염분에 노출시킨 대왕불바리의 전장은 10.2 ± 0.6 mm에서 30일간 노출시킨 후 11.6-12.9 mm으로 염분변화에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$, Table 1). 반면 체중량은 19.5 ± 3.1 g에서 노출 30일 후 염분 10 psu에서 31.6 ± 7.5 g, 20 psu에서 40.9 ± 11.7 g, 그리고 대조구(34.1 psu)에서 44.4 ± 10.5 g이었다. 체중성장률은 대조구에서 128.7%로 모든 염분실험구에 비해 유의하게 높았으며($P < 0.05$), 20 psu에서 109.4%, 25 psu에서 91.4%, 15 psu에서 80.1% 그리고 10 psu에서 62.0%으로 체중성장은 10 psu에서 가장 낮았다(Table 1).

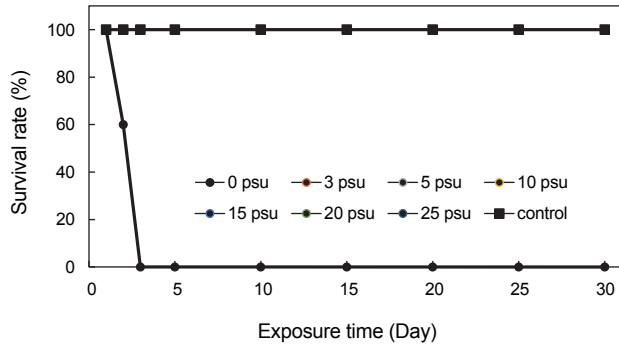


Fig. 1. Survival rate (%) of the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ exposed to different salinities for 30 days.

염분변화에 따른 생리학적 반응

삼투질농도 변화

염분에 따른 대왕붉바리 치어의 혈액 삼투질농도는 Table 2와 같으며, 염분 10, 15, 20, 25 및 대조구(34.1 psu)에 노출시킨 경우 313-355 mOsmol/kg으로 대조구와 유의한 차이를 보이지 않았다($P>0.05$). 반면, 0, 3, 5 psu 염분 노출구의 경우 대왕붉바리 치어의 삼투질 농도는 225-264 mOsmol/kg으로 대조구와 10 psu 이상의 모든 실험구에 비해 유의하게 감소하였다($P<0.05$).

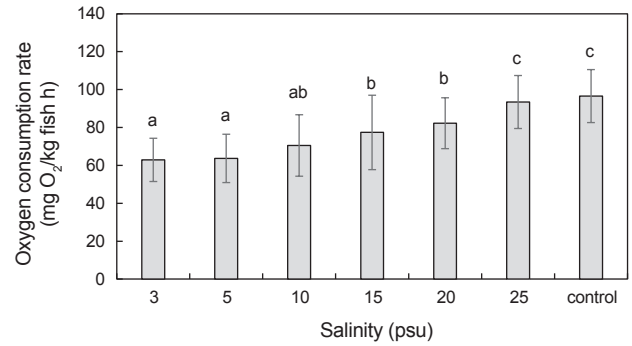


Fig. 2. Changes in oxygen consumption rate of the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ with decreasing of salinity. Different letters above each column indicate significant differences ($P<0.05$) between salinities, according to Duncan's multiple range test.

염분별 산소소비율 변화와 스트레스 반응

대왕붉바리 치어의 염분변화에 따른 산소소비율의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 염분 3 psu와 5 psu에서 산소소비율은 각각 62.9 ± 11.4 mg O₂/kg fish/h와 63.7 ± 12.7 mg O₂/kg fish/h으로 유사하였으며($P>0.05$), 염분 15 psu와 20 psu에서 각각 77.4 ± 19.6 및 82.3 ± 13.4 mg O₂/kg fish/h으로 유의한 차이가 없었다($P>0.05$). 그리고 25 psu에서는 93.4 ± 13.97 mg O₂/kg fish/h으로 대조구(34.1 psu)에서 96.6 ± 13.97 mg O₂/kg fish/h와 유사하였다($P>0.05$), 전체적으로 염분이 감소할수록 대왕붉

Table 1. Total body length (mm) and total wet body weight (g) in the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ exposed to different experimental salinities for 30 days

Parameter	Salinity (psu)				
	10	15	20	25	control
Initial total length (mm/fish)	10.2±0.6				
Final total length (mm/fish)	11.6±0.8	12.1±0.8	12.6±1.1	12.4±0.9	12.9±0.9
¹ GRL (%)	13.6±0.1	18.5±0.1	23.4±0.2	21.4±0.1	26.9±0.2
Initial body weight (g/fish)	19.5±3.1				
Final body weight (g/fish)	31.6±7.5	35.2±8.1	40.9±11.7	37.4±9.1	44.6±9.7
² GRW (%)	62.0±2.2	80.1±2.5	109.4±4.3	91.4±2.9	128.6±4.6

¹GRL (growth rate for total length,%)=(final total length- initial total length)/initial total length×100. ²GRW (growth rate for body weight, %)=(final body weight-initial body weight)/initial body weight×100. Data are expressed as mean±SE (n=50).

Table 2. Plasma osmolality (mOsmol/kg) in the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ exposed to different experimental salinities

Parameter	Salinity (psu)							
	0	3	5	10	15	20	25	control
Plasma osmolality (mOsmol/kg)	225±0.7	233±30.4	264±5.6	355±2.1	313±1.4	334±0.7	350±2.1	344±7.7
Sea water osmolality (mOsmol/kg)	2	101	158	305	442	576	719	981

Plasma osmolality in 0 psu was sampled on survival. Data are expressed as mean±SE (n=5).

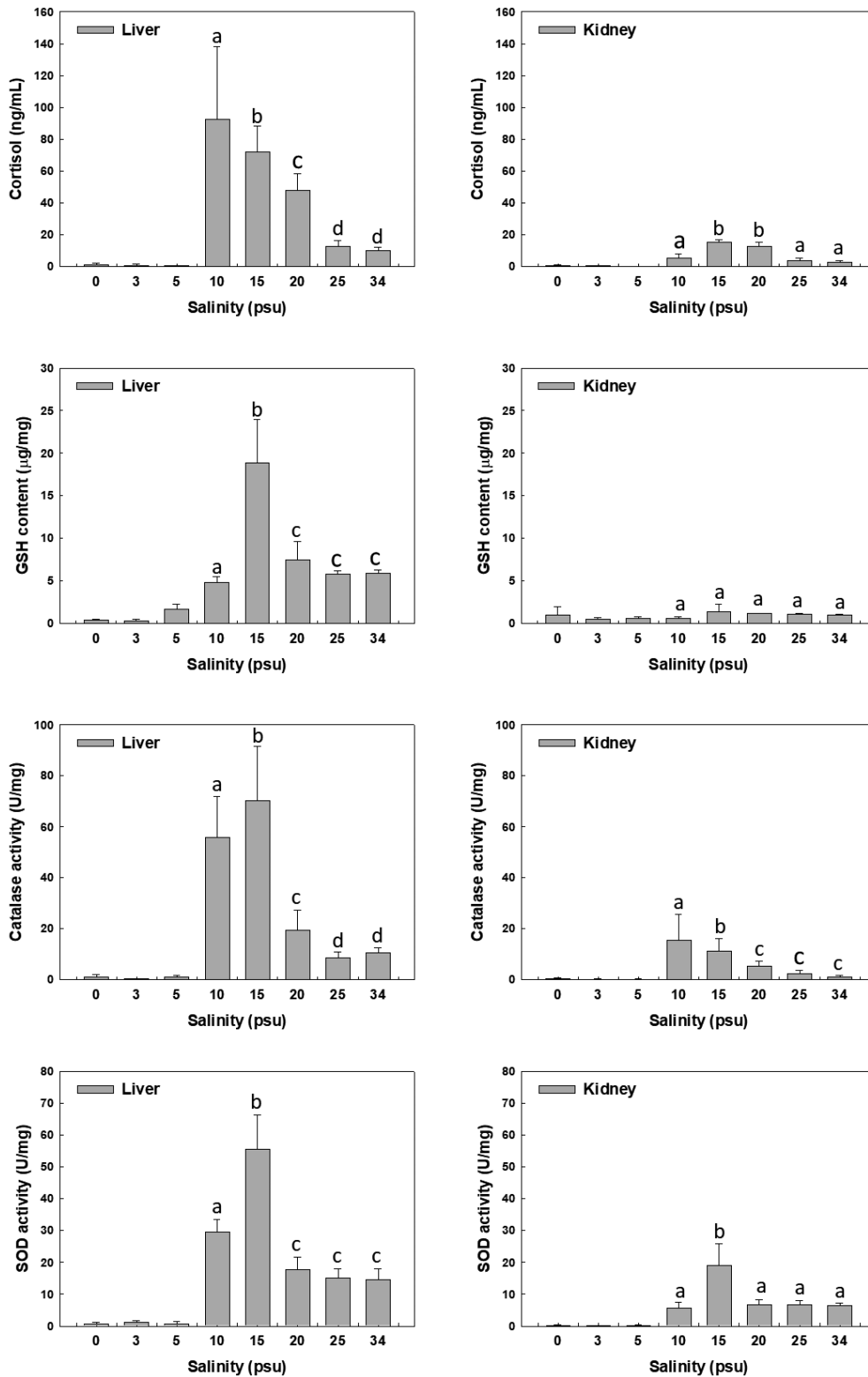


Fig. 3. Changes of cortisol, GSH, SOD and CAT in liver and kidney of the juvenile hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂ with decreasing of salinity. Different letters above each column indicate significant differences (P<0.05) between salinities, according to Duncan's multiple range test. GSH, glutathione; SOD, superoxide dismutase.

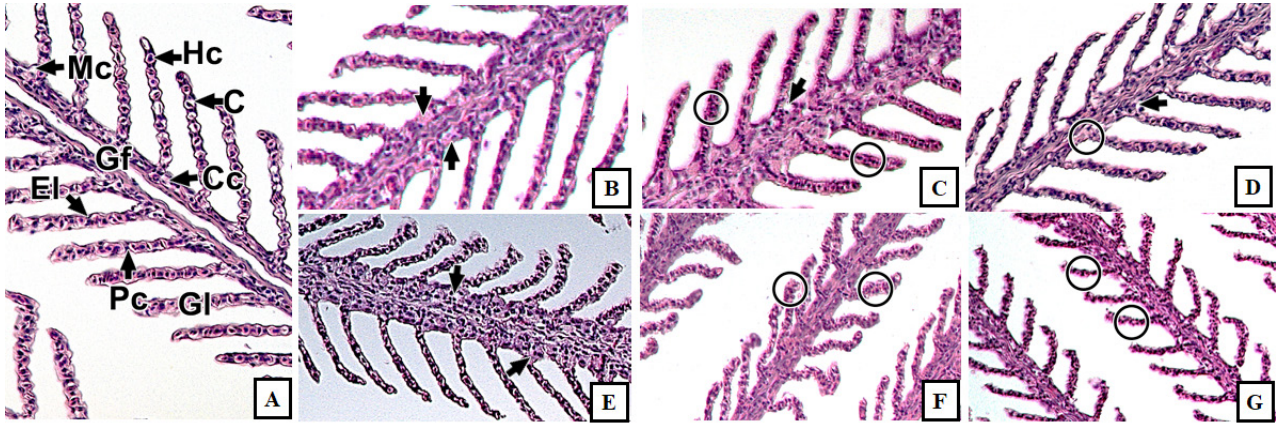


Fig. 4. Histological changes of gill with decreasing of salinity during 30 days of the hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂. A, control (34.1 psu). ×400; B, 25 psu, arrowhead: activated chloride cell. ×400; C, 20 psu, arrowhead: vacuolated mucous cell, circle: hypertrophy of epithelial cell. ×400; D, 15 psu, arrowhead: vacuolated mucous cell, circle: degeneration of chloride cell. ×200; E, 10 psu, arrowhead: destruction of chloride cell. ×200; F, 5 psu, circle: fusion of capillary. ×200; G, 3 psu. circle: destruction of epithelial layer. ×200; C, capillary; Cc, chloride cell; El, epithelial layer; Gf, gill filament; Gl, gill lamella; Hc, hemocyte; Mc, mucous cell; Pc, pillar cell.

바리 치어의 산소소비율은 감소하는 경향을 보였으며, 대조구에서 산소소비율이 가장 높았다(Fig. 2).

염분별 30일 동안 노출시킨 후 생존한 개체를 대상으로 간과 신장에서 코티졸, GSH, SOD 및 CAT 반응을 Fig. 3에 나타내었다. 코티졸은 간에서, 대조구의 경우 약 10 ng/mL의 농도를 유지하지만 염분 감소에 따라 급격히 증가하는 양상을 나타냈다. 특히 염분 20 psu 이하에서 대조구에 비해 농도 증가가 유의하게 관찰되었다($P < 0.05$). 신장의 경우에는 15, 20 psu 노출 시 코티졸이 약간 증가하는 것이 관찰되었으나 유의한 차이는 없었다($P > 0.05$). GSH는 간에서 대조구의 경우 약 6 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 의 농도를 유지하지만 15 psu 노출 시 유의하게 증가하는 것이 관찰되었다($P < 0.05$). 반면 신장의 경우 염분 감소에 따라 전체적으로 GSH 농도가 다소 증가한 것이 관찰되었으나, 유의성은 없었다($P > 0.05$). CAT는 간에서 대조구의 경우 약 9 U/mg의 활성도를 유지하고, SOD의 경우 13 U/mg의 활성도를 유지하지만, 염분 감소에 따라 활성도가 증가하는 것이 관찰되었다. 특히 10, 15 psu 노출 시 간에서 SOD와 CAT 활성도가 급격히 증가하였다($P < 0.05$). 전반적으로 염분 5 psu 이하에서 간과 신장에서 코티졸, GSH, SOD 및 CAT 반응 활성도가 나타나지 않았으며, 염분 10 psu와 15 psu에서는 유의하게 급격히 증가하는 경향을 보였으며, 25 psu 이상에서는 대조구와 유사한 상태를 유지하는 것으로 나타났다(Fig. 3).

염분에 따른 대왕붉바리 치어 아가미의 조직학적 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 대조구에서 아가미는 새판의 규칙적인 배열 등을 비롯한 정상적인 조직상을 보였다(Fig. 4A). 하지만, 25 psu와 20 psu에 노출된 개체의 아가미에서는 일부 염세포와 점액세포의 활성과 변성이 확인되었으며, 20 psu에서는 새판상피층의 비후와 모세혈관의 충혈이 나타났다(Fig. 4B and 4C).

15 psu 실험구 개체의 아가미에서는 새판상피층의 비후, 염세포 세포질의 호산성염색성 증가 및 점액세포의 공포화 등 조직학적 변성이 뚜렷하였다(Fig. 4D). 10 psu 이하의 실험구에서는 염세포의 붕괴와 점액세포의 소실(Fig. 4E and 4F), 벽주세포의 붕괴에 의한 모세혈관의 융합, 새판상피층의 소실(Fig. 4F and 4G) 등 염분농도가 감소함에 따라 조직학적 변성이 증가되는 경향을 보였다.

고 찰

염분은 수서생물의 생리에 직접적으로 영향을 미치므로 생태학적으로 중요한 환경요인 중 하나이다(Urbina and Glover, 2015). 이는 환경과 수서동물간의 삼투적 차이가 수서생물의 생리적 과정에 영향을 미치며, 폐사를 일으킬 수 있음을 의미한다(Edwards and Marshall, 2013). 또한 염분변화에 따른 어류의 삼투조절능력은 해양환경에서 어류의 생존과 성장을 예측할 수 있는 지표이다(Stewart et al., 2016) 본 연구에서 30일 동안 각 실험 염분에 노출시킨 대왕붉바리 치어는 0 psu에서 72시간째 모두 폐사하였으며 폐사 직전 삼투질농도는 225 mOsmol/kg이었다. 반면 3 psu 이상에서 30일간 모두 생존하여 대왕붉바리 치어가 생존이 가능한 염분의 한계는 3 psu 이상으로 분석되었다. 반면, Lim et al. (2016)에 따르면 대왕붉바리 치어(평균 전중 10.0 ± 0.4 g)의 경우 염분 8 psu에서 40일 노출 기간 동안 생존율이 90%였으며, 붉바리는 8 psu에서 전량 폐사하여 대왕붉바리가 붉바리에 비해 염분내성이 강한 것으로 보고하였다. 또한 바리류(*Epinephelus* spp.)는 광염성으로 염분 10-33 psu, 수온 22-28°C (Chen et al., 2016)에서 서식할 수 있는 것으로 알려져 있고, 붉바리(*Epinephelus akaara*)는 염분 5 psu에서는 폐

사하지 않으며, 3 psu에서 반수치사시간[LT₅₀ (h)]은 31.3시간으로 보고(Wu and Woo, 1983)되고 있다. 따라서 위에 보고된 바리류가 광염성 종임을 감안한다면 본 연구에서 붉바리 암컷과 대왕바리 수컷의 교잡종인 대왕붉바리 치어는 염분 3 psu 이상의 염분에서 30일 노출 기간 동안 모두 생존하여 생존 하한 염분은 3-5 psu으로 분석된다.

염분변화는 ROS (reactive oxygen species)생성을 유발시키는 산화스트레스 요인이며, 호르몬과 식세포작용 또는 면역세포 분화와 같은 세포면역에도 영향을 미친다(Dominguez et al., 2005; Lushckak, 2011; Yin et al., 2011). 또한 간의 효소활성은 스트레스의 크기, 오염원과 질병을 판단할 수 있는 생물지표이며, 어류의 건강상태를 나타낼 수 있다(Wagner and Congleton, 2004).

본 연구에서 대왕붉바리 치어의 간과 신장의 코티졸, GSH, SOD, CAT에 대한 산화스트레스 반응 결과 간에서 코티졸은 염분감소에 따라 유의하게 증가하였다. GSH는 간조직 15 psu에서 급격히 증가하였으나 10 psu 이하의 실험구에서 유의하게 감소하였으며, SOD와 CAT는 15 psu, 10 psu에서 유의하게 증가하였다. 반면 신장의 경우, GSH는 유의한 반응을 보이지 않았으며, SOD와 CAT는 염분 15 psu와 10 psu에서 증가하였다. 염분감소에 따른 SOD와 CAT활성의 증가는 *Acipenser naccarii*에서 보고되고 있으며(Álvarez and Nicieza, 2005), yellowfin fish sea bream *Acanthopagrus latus*와 Asian seabass *Lates calcarifer*은 염분 48 psu에서 6 psu로 감소함에 따라 코티졸이 증가하였다(Mozanzadeh et al., 2021). 이러한 결과는 본 연구의 대왕붉바리 치어와 유사한 결과를 나타내었다. 반면 sablefish *Anoplopoma fimbria* (Kim et al., 2017)와 golden pompano *Trachinotus ovatus* (Ma et al., 2016)에서는 염분감소에 따른 SOD와 CAT 활성이 감소하여 염분변화에 따라 종간에 다양한 변화를 나타내었다. 이러한 염분변화에 따라 나타나는 산화스트레스반응들의 다양한 결과들은 종 특이성을 가지며, 어류의 발달단계 및 적응기간, 실험조건 등에 따라 차이(Mozanzadeh et al., 2021)가 있는 것으로 추정된다. 또한 염분에 따른 아가미의 조직학적 반응은 15 psu이하에서 새판상피층의 비후, 염세포 및 점액세포의 공포화 등 변성이 뚜렷하여(Anni et al., 2016) 염분감소에 따라 조직학적 변성이 증가되는 경향을 보였다. 이러한 현상은 저염분에서 장기간 사육할 경우 염분이 만성스트레스 요인으로 작용하여 성장 및 대사장애를 일으키는 요인이 될 수 있을 것으로 여겨진다.

대왕붉바리 치어의 삼투질농도는 대조구에서 344 mOsmol/kg이고 염분 10 psu 이상에서는 313-355 mOsmol/kg, 5 psu 이하에서는 225-264 mOsmol/kg이었다. 전갱이류인 *Trachinotus marginatus*의 혈장 삼투질농도는 염분 4-20 psu에서 351.1±2.3-365.5±5.4 mOsmol/kg이었다(Anni et al., 2016). 붉바리 *Epinephelus akaara*의 경우 염분 30 psu에서 20, 12, 7 psu으로 감소시킨 경우 노출시간에 따라 혈장내 삼투질농도는

300-500 mOsmol/kg의 범위에서 변화를 보였다(Woo and Wu, 1982). 한편 black sea bream *Mylio macrocephalus* (Woo and Wu, 1982)의 경우에는 염분 3-30 psu의 범위에서 삼투질농도 320-380 mOsmol/kg을 보고하였다. 일반적으로 해산어류의 혈장내 삼투질농도는 서식지보다 낮게 유지되며, 400 mOsmol/kg 이하를 보고(Nordlie, 2009)하고 있어 본 연구에서 염분 10-34.1 psu에 노출시킨 대왕붉바리 치어의 혈장 삼투질농도는 해산어류의 일반적인 삼투질농도 특성을 나타내고 있다.

어류가 염분에 순치하는 동안 아가미의 구조적, 생화학적 및 생리적 변화가 발생하는 과정에서 에너지가 요구되며, 어류가 삼투조절에 사용되는 에너지는 총에너지의 10-50%이다(Boeuf and Payan, 2001). 그러므로 어류가 이온조절 또는 삼투조절에 사용되는 에너지의 차이는 어류의 혈장과 환경 간에 나타나는 삼투적인 농도차에 의존하는 것으로 보고된다(Handeland et al., 1998). 이는 어류의 혈장과 유사한 삼투질농도를 가지는 염분에서 사육한 어류는 삼투조절이나 이온조절에 사용되는 에너지가 적어 성장과 다른 대사과정에 에너지를 재분배할 수 있음을 의미한다(Anni et al., 2016). 본 연구에서 대왕붉바리 치어의 산소소비율은 염분감소에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 대조구(자연해수, 34.1 psu)에서 유의하게 높았고, 15 psu 이하에서 유의하게 낮았다. 체중증가에 따른 성장률은 대조구(자연해수, 34.1 psu)에서 128.7%로 가장 높았고, 15 psu와 20 psu에서 각각 101.0%, 109.7%으로 유사하여 대왕붉바리의 성장률은 대조구를 제외하고 체액삼투질 농도가 유사한 해수에서 성장률이 높았으며, 이는 sea bream *Sparus sarba*의 삼투질농도가 유사한 해수에서 높은 성장률을(Woo and Kelly, 1995) 보인 결과와 유사하다. 그러나 본 연구에서 대왕붉바리 치어의 성장률이 대조구(자연해수, 34.1 psu)에서 가장 높았으며, 이는 산소소비율이 높고, 삼투질농도차에 의한 에너지 비용이 높다(Moser and Hettler, 1989; Woo and Kelly, 1995)는 점을 감안한다면 상반된 결과를 보여주고 있다. 일반적으로 경골어류에서 염분내성에 대한 증가는 연령에 의존(Zydlowski and McCormick, 1997)하거나 크기에 의존(Farmer et al., 1978; Nordlie et al., 1982)하는 경향이 있다. 본 연구에서 대조구에서 대왕붉바리 치어의 성장률 및 산소소비율 증가 등 생리적 활성도 증가는 부화하여 자치어시기부터 자연해수에 순치되어 성장해온 결과로 보이며, 이러한 결과로부터 삼투조절에 이용되는 에너지의 양은 어류성장을 증가시키는데 충분한 요인은 아닌 것(Lisboa et al., 2015)으로 여겨진다.

따라서 본 연구결과를 종합하여 보면 염분 3-15 psu가 대왕붉바리 치어의 생존에 영향을 미치지 않는다 할지라도 산소소비율의 현저한 감소, 산화스트레스 효소의 유의한 반응 및 저염분에 기인한 아가미의 조직학적 변성 등으로 인해 장기간 양성할 경우 다양한 생리적 기능 장애가 발생할 것으로 판단되며, 양성 사육관리를 위해 염분 20 psu이상이 적합할 것으로 여겨진다.

사 사

본 연구는 2021년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업 (R2021007)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Álvarez D and Nicieza AG. 2005. Is metabolic rate a reliable predictor of growth and survival of brown trout *Salmo trutta* in the wild?. *Can J Fish Aquat Sci* 62, 643-649. <https://doi.org/10.1139/f04-223>.
- Annil SA, Biancjinì A, Barcarolli IF, Junior ASV, Robaldo RB, Tesser MB and Sampaio LA. 2016. Salinity influence on growth, osmoregulation and energy turnover in juvenile pompano *Trachinotus marginatus* Cuvier 1832. *Aquaculture* 455, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.01.010>.
- Boeuf G and Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth?. *Comp Biochem Physiol Part C Toxicol Pharmacol* 130, 411-423. [https://doi.org/10.1016/S1532-0456\(01\)00268-X](https://doi.org/10.1016/S1532-0456(01)00268-X).
- Chen TS, Wu YC and Chi SC. 2016. Decreasing salinity of seawater moderates immune response and increases survival rate of giant groupers post betanodavirus infection. *Fish Shellfish Immuno* 57, 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.08.050>.
- Dominguez M, Takemura A and Tsuchiya M. 2005. Effects of changes in environmental factors on the non-specific immune response of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Aquac Res* 36, 391-397. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01220.x>.
- Edwards SL and Marshall WS. 2013. Principles and patterns of osmoregulation and euryhalinity in fishes. In: *Euryhaline fishes, fish physiology* 32. McComick SD, Farrel AP, Brauner CJ, eds. Academic Press, Cambridge, MA, U.S.A., 1-44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396951-4.00001-3>.
- Farmer G, Ritter J and Ashfield D. 1978. Seawater adaptation and parr-smolt transformation of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*. *J Fish Res Board Can* 35, 93-100. <https://doi.org/10.1139/f78-013>.
- Febry R and Lutz P. 1987. Energy partitioning fish: the activity related cost of osmoregulation in euryhaline cichlid. *J Exp Biol* 128, 63-85. <https://doi.org/10.1242/jeb.128.1.63>.
- Handeland SO, Berge A, Björnsson BT and Stefánsson SO. 1998. Effect of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in sea water. *Aquaculture* 168, 289-302. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00356-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00356-1).
- Kim JH, Park HJ, Kim KW, Hwang IK, Kim DH, Oh CW and Kang JC. 2017. Growth performance, oxidative stress, and non-specific immune responses in juvenile sablefish *Anoplopoma fimbria* by changes of water temperature and salinity. *Fish Physiol Biochem* 43, 1421-1431. <https://doi.org/10.1007/s10695-017-0382-z>.
- Lim SG, Han SB and Lim HK. 2016. Effects of salinity on the growth, survival and stress responses of red spotted grouper *Epinephelus akaara* and hybrid grouper *Epinephelus akaara*♀×*E. lanceolatus*♂. *Korean J Fish Aquat Sci* 49, 612-619. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2016.0612>.
- Lisboa V, Barcarolli IF, Sampaio LA and Bainchini A. 2015. Effect of salinity on survival, growth and biochemical parameters in juvenile Lebranche mullet *Mugiliza* (Perciformes: Mugilidae). *Neotrop Ichthyol* 13, 447-452. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20140122>.
- Luschak VI. 2011. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquat Toxicol* 101, 13-30. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.10.006>.
- Ma Z., Zheng P, Guo H, Jiang S, Qin JG, Zhang D and Liu X. 2016. Salinity regular antioxidant enzyme and Na⁺ K⁺-ATPase activities of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758). *Aquac Res* 47, 1481-1487. <https://doi.org/10.1111/are.12606>.
- Moser ML and Hettler WF. 1989. Routine metabolism of juvenile spot *Leiostomus xanthurus* (Lacépède) as a function of temperature, salinity and weight. *J Fish Biol* 35, 703-707. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1989.tb03021.x>.
- Mozanzadeh MT, Safari O, Oosooli R, Mehrjooyan S, Najafabadi MZ, Hoseini SJ, Saghavi H and Monem J. 2021. The effect of salinity on growth performance, digestive and antioxidant enzymes, humoral immunity and stress indices in two euryhaline fish species: Yellowfin seabream *Acanthopagrus latus* and Asian seabass *Latescalcarifer*. *Aquaculture* 534, 736329. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736329>.
- Nordlie FG. 2009. Environmental influences on regulation of blood plasma/serum components in teleost fishes: a review. *Rev Fish Biol Fish* 19, 481-564. <https://doi.org/10.1007/s11160-009-9131-4>.
- Nordlie FG, Szelistowski WA and Nordlie WC. 1982. Ontogenesis of osmotic regulation in the striped mullet, *Mugil cephalus* L. *J Fish Biol* 20, 79-86. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1982.tb03896.x>.
- Sampaio LA, Tesser MB and Burkert D. 2003. Tolerância de juvenis do pompo *Trachinotus marginatus* (Teleostei, Carangidae) ao choque agudo de salinidade em laboratório. *Cienc Rural* 33, 757-761. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000400027>.
- Stewart HA, Noakes DLG, Cogliati KM, Peterson JT, Iversen MH and Schreck CB. 2016. Salinity effects on plasma ion levels, cortisol and osmolality in chinook salmon following lethal sampling. *Comp Biochem Physiol Part A Mol Integr Physiol* 192, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2015.11.011>.
- Urbina MA and Glover CN. 2015. Effects of salinity on osmoregulation, metabolism and nitrogen excretion in the amphi-

- dromous fish *Galaxias maculatus*. J Exp Mar Biol Ecol 473, 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.07.014>.
- Wagner T and Congleton JL. 2004. Blood chemistry correlates of nutritional condition, tissue damage and stress in migration juvenile chinook salmon *Oncorhynchus tshawitscha*. Can J Fish Aquat Sci 61, 1066-1074. <https://doi.org/10.1139/f04-050>.
- Woo NYS and Kelly SP. 1995. Effects of salinity and nutritional status on growth and metabolism of *Sparus sarba* in a closed seawater system. Aquaculture 135, 229-238. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01003-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01003-3).
- Woo NYS and Wu RSS. 1982. Metabolic and osmoregulatory changes in response to reduced salinities in the red grouper *Epinephelus akaara* (Temminck & Schlegel), and the black sea bream *Mylio microcephalus* (Basilewsky). J Exp Mar Biol Ecol 65, 139-161. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(82\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0022-0981(82)90041-7).
- Wu RSS and Woo NYS. 1983. Tolerance of hypo-osmotic salinities in thirteen species of adult marine fish: Implications for estuarine fish culture. Aquaculture 32, 175-181. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90279-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90279-X).
- Yin F, Peng S, Sun P and Shi Z. 2011. Effects of low salinity on antioxidant enzymes activities in kidney and muscle of juvenile silver pomfret *Pampus argenteus*. Acta Ecol Sin 31, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2010.11.009>.
- Zydlewski J and McCormick SD. 1997. The ontogeny of salinity tolerance in the American shad *Alosa sapidissima*. Can J Fish Aquat Sci 54, 182-189. <https://doi.org/10.1139/f96-251>.