J. Kor. Fish. Soc. 37(2), 116-121 한수지, 37(2), 116-121, 2004

빠른 염분변화가 striped bass 잡종 (*Morone chrysops* ♀× *M. saxatilis* ♂)의 생리적 반응과 생존에 미치는 영향

임한규* · 이종하 · 정민환[1] · 한형균 · 임영수 · 이정호 · 이병철
국립수산과학원 울진수산종묘시험장, [1]부경대학교 양식학과

Effects of Acute Change of Salinity on Physiological Response and Survival in Hybrid Striped Bass (*Morone chrysops* ♀×*M. saxatilis* ♂)

Han Kyu LIM*, Jong Ha LEE, Min Han JEONG[1], Hyoung-Kyun HAN, Young Soo LIM, Jeong-Ho LEE and Byung-Chul LEE
Uljin Marine Hatchery, National Fisheries Research and Development Institute, Uljin 767-860, Korea
[1]*Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

Physiological responses and tolerance limit of hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀×*M. saxatilis* ♂), were investigated on salinity changes from 33 psu to 0 psu and from 0 to psu 33 psu in two separate trials, respectively. In the acute salinity decrease from sea water (33 psu) to fresh water (0 psu), plasma level of cortisol, glucose, total protein, aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) were not affected, however, Na^+, Cl^- and osmolality significantly decreased. In the acute salinity increase from fresh water to sea water (33 psu), plasma cortisol level did not change. Glucose and total protein concentrations in plasma and hematocrit (Hct) decreased, whereas AST, ALT, Na^+, Cl^- and osmolality increased. The hybrid striped bass can overcome the acute changes of salinity, from 0 psu to 33 psu or from 33 psu to 0 psu, But salinity decrease stressed the fish much more than salinity increase.

Key words: Hybrid striped bass, Salinity, Stress response, Survival, Cortisol, Glucose

서 론

최근 일부 어류를 대상으로 폭넓은 염분 범위에 적응할 수 있는 특성을 어류 양식에 활용하려는 연구들이 추진되고 있다. 이러한 광염성 어류중 숭어 (*Mugil cephalus*), 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*) 및 농어 (*Lateolabrax japinicus*)는 해수에서 담수로 순응하여 담수양식을 시도하고 있으며 틸라피아 (*Oreochromis* sp.)는 반대로 해수에서 사육이 시도되고 있다 (Chang and Hur, 1999; Yoon et al., 2000; Min, 2003). 이처럼 어류 사육을 위한 적정 염분 범위를 벗어난 염분 순응이나 사육은 침체되어 있는 내수면 양식업을 활성화시킬 수 있고, 양식장의 입지 조건을 완화시키고, 질병의 치료나 예방 기능이 있으며 사육어류의 상품성을 향상시킬 수 있다. 그러나 염분의 변화는 사육 어류의 생존과 직결될 수 있을 만큼 커다란 스트레스 요인으로 작용하고 있다.

사육수의 급격한 염분변화에 따른 어류의 삼투압 조절은 이온과 수분 평형에 영향을 미쳐 어체의 생리조건을 악화시키거나 폐사를 유발하고 만성적인 경우 장기적으로 성장지연을 초래하는 것으로 알려져 있다 (Singly and Chavin, 1971; Tsuzuki et al., 2001; Partridge and Jenkins, 2002). 어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압 조절로 체내의 항상성을 유지하려고 한다 (Morgan and Iwama, 1991; Jarvis and Ballantyne, 2003). 어류의 삼투압 조절, 성장 및 생존과 관련해서는 많은 연구들이 보고되었으며 특히, 틸라피아 (Fontainhas-Fernandes et al., 2001)와 연어과 어류 (Lasserre et al., 1978) 및 turbot (Imsland et al., 2003)에서 염분변화에 따른 아가미 염류세포의 구조적 변화, Na^+, K^+-ATPase 활성과 삼투질농도의 변화 (Madsen et al., 1994) 및 삼투압 조절능력을 향상시키기 위한 연구와 갑상선호르몬 등의 내분비학적 연구가 이루어진 바 도 있다.

광염성 어류인 striped bass (*Morone saxatilis*)는 상업적 가치가 인정되어 원산지인 미국은 물론 이스라엘, 멕시코, 남아프리카공화국, 러시아 등에도 도입되어 담수, 기수 및 해수에서도 양식이 진행되고 있다. 최근에는 성장이 빠르고 내병성이 강한 교잡종을 생산하여 양식하고 있으며, 국내에서도 연구용으로 striped bass의 잡종이 도입되어 양식 가능성이 검토되고 있다. 그러나 국내 환경에서 이종의 환경 내성에 관한 자료는 매우 빈약한 실정이다. 본 연구는 해수와 담수 모두에서 striped bass 잡종의 양식 가능성과 염분 내성을 파악하기 위하여 양성용 striped bass 잡종을 대상으로 급격한 염분변화에 대한 생리적 상태의 변화와 내성을 조사하였다.

*Corresponding author: limhk@nfrdi.re.kr

재료 및 방법

실험어는 국립수산과학원 어류연구센터에서 사육중인 striped bass 잡종 72마리를 사용하였다. 실험어의 전장은 35.8±0.4 cm였으며 체중은 635.0±22.4 g이었다. 실험 어류는 실험 시작 전에 염분을 단계적으로 변화시켜 실험을 위한 염분(0 psu와 33 psu)으로 맞춘 후 10일 동안 안정시킨 다음 실험을 실시하였다. 염분변화를 위하여 Fig. 1에 보인 것처럼 담수에서 2시간만에 해수로 급격하게 염분을 변화시킨 실험구 (FW→SW)와 반대로 해수에서 담수로 염분을 빠르게 낮춘 실험구 (SW→FW)를 3반복으로 설치하였다. 실험 수조로는 270 L FRP 원형 수조를 이용하였으며 각 수조에는 담수 주입구와 해수 주입구를 각기 따로 설치하여 염분을 변화시켰다. 수조당 12마리를 수용하였으며, 실험기간 동안 수온은 20.0±0.5℃로 일정하게 유지시켰고 용존산소는 모든 수조에서 5 mg/L 이상을 유지하였다.

각 실험에서 혈액 샘플은 Fig. 1에 보인 것처럼 염분변화를 주기 전 (0시간)과 준 직후 (2시간) 그리고 8시간과 24시간 후 및 안정되었다고 예상되는 7일 후 (168시간)에 헤파린이 처리된 주사기를 이용하여 미부 혈관에서 채취하였다. 각 수조에서 각각 2마리를 임의로 잡아 마취하였으며 채혈전 꼬리지느러미를 약간 절개하여 다음 혈액 채취에서는 제외시켰다. 혈액을 채취한 실험어중 1마리에서는 아가미의 형태적 변화를 관찰하기 위하여 아가미 조직을 채취하여 Bouin's 용액에 고정한 다음, 상법에 따라 파라핀으로 포매된 조직을 5 μm 두께로 절편하고, haematoxylin-eosin으로 대비 염색하여 광학현미경 아래에서 관찰하였다. 채취한 혈액의 일부를 상온에서 20분 방치한 다음, 원심분리 (5,600×g, 5 min)하여 얻은 혈장은 분석 전까지 -72℃에 보관하였다. 혈장의 cortisol 농도는 Donaldson (1981)의 방사면역측정법 (RIA)에 따라 cortisol RIA kit (DSL, USA)로 항원과 표지항원이 항체에 경쟁적으로 반응하도록 유도한 다음, Hewlett Packard Gamma Counter (Cobra II 5010, Packard Co., USA)로 측정하였다. 혈장 glucose, total protein, Na^+, K^+, Cl^- 농도, aspartate aminotransferase (AST) 및 alanine aminotransferase (ALT)분석을 위하여 생화학 자동분석기 (Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장의 삼투질농도와 hematocrit (Hct)는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)와 Hct용 원심분리기를 사용하여 측정하였다.

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준오차로 표시하였으며, 측정값들 사이의 유의차 유무는 SPSS-

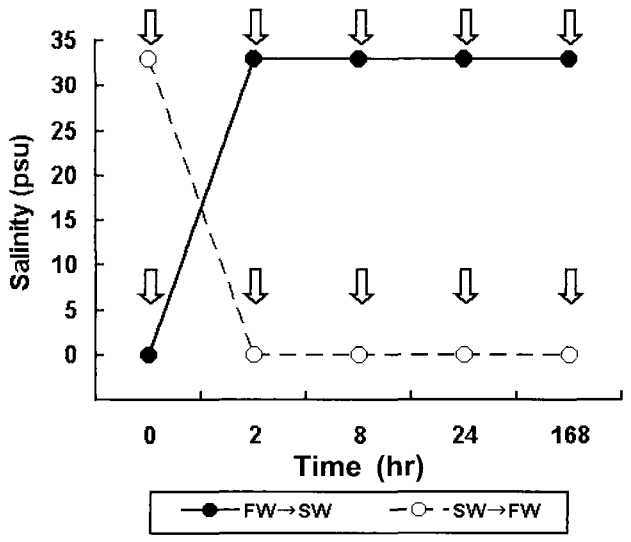

Fig. 1. Salinity changes designed for the experiment sudden rise and drop of salinity. Arrows indicate the blood sampling time.

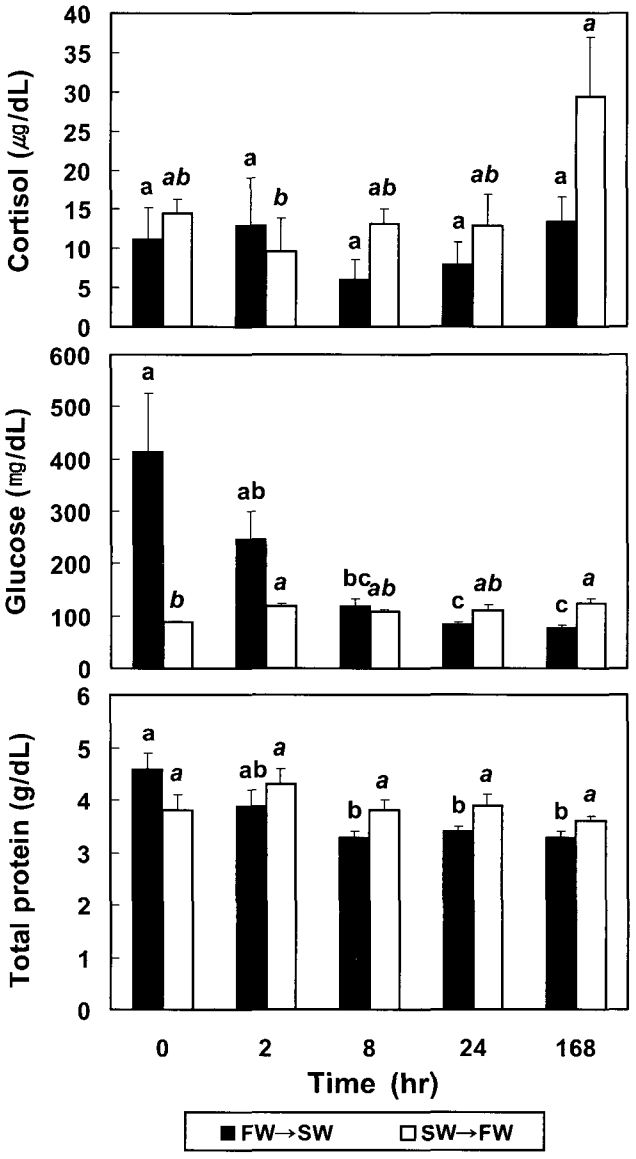

Fig. 2. Changes of cortisol, glucose and total protein in plasma of hybrid striped bass. Different superscripts (normal font for FW→SW, italic font for SW→FW) indicate significant differences between sampling times ($P > 0.05$).

통계 패키지 (version 9.0)를 사용하여 95%의 신뢰수준에서 ANOVA와 Tukey's multiple range test로 검정하였다.

결 과

사육수의 염분변화에 따른 혈중 cortisol, glucose 및 total protein 농도는 Fig. 2에 보였다. 빠르게 염분을 변화시켜도 striped bass 잡종의 혈중 cortisol의 농도는 전혀 영향을 받지 않았다. 그러나 담수에서 해수로 염분을 빠르게 상승시킨 경우 혈중 glucose와 total protein 농도는 염분 상승 후 6시간만에 처음 수치와 비교하여 유의적으로 감소하였다. 반대로 해수에서 담수로 염분을 감소시킨 경우 염분 감소 직후와 안정화된 168시간 후의 혈중 glucose 수치가 유의하게 높아진 것을 제외하면 혈중 glucose와 total protein의 농도는 염분변화 전과 유의한 차이가 없었다.

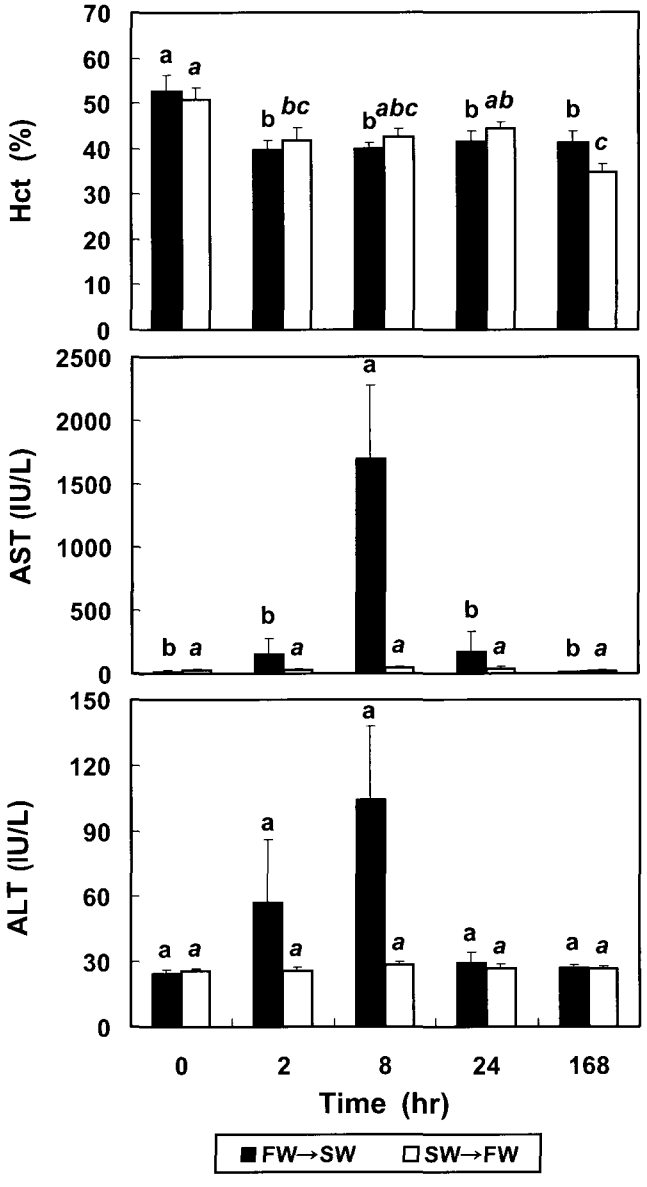

Fig. 3. Changes of hematocrit (Hct), aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) in hybrid striped bass. Other details as for Fig. 2.

Hct는 두 실험구 모두에서 염분변화 후 유의하게 감소하였다. 해수에서 담수로 염분을 감소시킨 경우 AST와 ALT는 유의적인 변화가 없었으나 담수에서 해수로 염분을 올린 경우 염분변화 후 6시간까지 증가하였다 (Fig. 3).

혈중 이온농도와 혈장의 삼투질농도는 사육수의 염분변화에 많은 영향을 받았다. Na^+와 Cl^-의 농도는 염분 상승과 함께 서서히 증가한 반면 사육수의 염분을 낮춘 실험구에서는 서서히 낮아져 7일 후에는 처음과 유의적인 차이를 보였다. Na^+나 Cl^-의 농도와는 달리 K^+의 농도는 염분변화 직후 낮아 졌으나 6시간만에 다시 염분변화 전과 같은 수준으로 회복되었다. 혈장의 삼투질농도는 염분을 올린 경우는 상승하였으나 내린 경우는 감소하였다 (Fig. 4).

염분변화에 따른 아가미의 조직상 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 염분을 변화시키기 전의 아가미는 정상적인 아가미의 조직형태를 보였으나 (Fig. 5A), 염분변화 24시간 후의 아가미 조직은 염분변화에 의해 부분적으로 손상을 받았다. 담수에서 해수로 염분을 급격히 올린 실험구의 아가미는 부분적으로 괴사 (necrosis)되었고 (Fig. 5B), 반대로 해수에서 담수로 내린 실험어의 아가미에서는 lamella aneurism가 관찰되었다 (Fig. 5C).

담수에서 해수로 염분을 상승시키는 경우가 해수에서 담수로 염분을 내리는 경우보다 폐사 개체가 일찍 발생하였고 폐사율도 높았다. 실험 종료시 담수에서 해수로 염분을 올린 실험구의 생존율은 91.7±4.8%였고, 반대로 해수에서 담수로 염분을 낮춘 실험구는 97.2±2.8%였으나, 두 실험구 사이에서 유의적인 차이는 없었다 (data not shown).

고 찰

어류 양식과정에서 사육수의 염분변화는 그 원인이 인위적이든 또는 자연적이든 빈번히 발생할 수 있다. 자연적인 염분변화는 홍수나 장마철에 큰 강의 하구나 그 근처에 위치한 양식장에서 자주 관찰할 수 있으며, 인위적인 염분의 변화는 사육중 사육어류의 기생충 구제나 광염성 어류의 담수나 해수 순응을 위한 경우이다. 이러한 염분변화는 양식가들에게 이익이 되기도 하지만 경우에 따라서는 심각한 피해를 주기도 하기 때문에 염분변화가 사육중인 어류의 생리상태와 생존에 미치는 영향을 파악하는 것은 양식의 효율을 증대시키기 위하여 매우 중요하다.

자연 발생적이든 인위적이든 사육수의 염분변화는 사육중인 어류에게 스트레스 요인으로 작용하여 삼투압 조절을 불안정하게 하고 (Mazeaud et al., 1977), 혈중 카테콜아민 (Schreck, 1982)과 cortisol (Chang and Hur, 1999) 수준을 상승시킨다. 이러한 스트레스가 반복되거나 어느 임계치 이상을 넘어서면

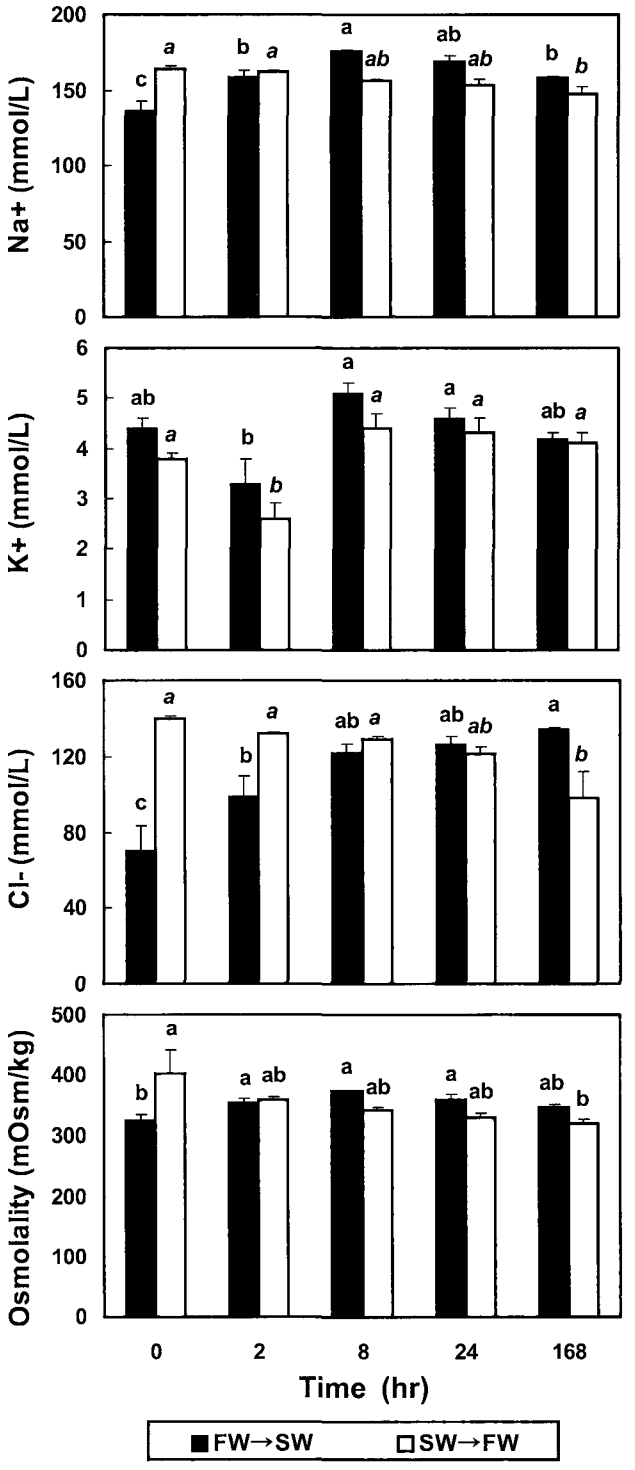

Fig. 4. Changes of Na^+, K^+, Cl^- and osmolality in plasma of hybrid striped bass. Other details as for Fig. 2.

질병에 대한 저항력이 감소되고 (Wedemeyer and Yasutake, 1977), 성장, 번식 및 생존에도 영향을 미친다. 따라서 기생충 구제나 광염성 어류의 담수나 해수 순응 사육처럼 양식 과정중 염분변화에 따른 효과를 얻기 위해서는 염분변화가 사육중인 어류에게 미치는 스트레스반응에 관한 충분한 검증이 필요하다.

Striped bass 잡종을 대상으로 한 본 연구에서 급격한 염분변화는 혈중 cortisol이나 glucose 농도의 상승을 동반하지 않아 striped bass (Madsen et al., 1994)에서 보고된 결과와 차이를 보였다. 이것은 striped bass 잡종이 자연에서도 다양한 염분에 서식할 정도로 광염성 어류이기 때문에 염분변화에 따른 스트레스를 최소화시킬 수 있는 적응능력을 가지고 있기 때문으로 추측해 볼 수 있다.

일반적으로 혈중 glucose 농도는 스트레스에 의해 증가된다. Barton and Iwama (1991)는 cortisol 농도가 높아짐에 따라 glucose 농도가 높아지는 현상은 스트레스에 의한 호르몬 반응을 뒤따른 2차 반응의 결과라고 하였다. 이러한 결과는 숭어 (Chang and Hur, 1999)나 pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (Tsuzuki et al., 2001) 등 많은 경골어류에도 보고되고 있다. 그러나 본 연구에서 염분을 변화시킨 두 실험구 모두에서 혈중 glucose 농도는 변화가 없거나 오히려 감소하였다. 이것은 첫째로, 스트레스로 인한 에너지 소비량의 증가에 따라 혈중 glucose를 에너지원으로 이용했던 것으로 추측할 수 있고, 둘째로는, 스트레스에 의한 glucose 소비 속도가 높아져 나타나는 결과일 수도 있다. 그리고 광염성인 striped bass 잡종

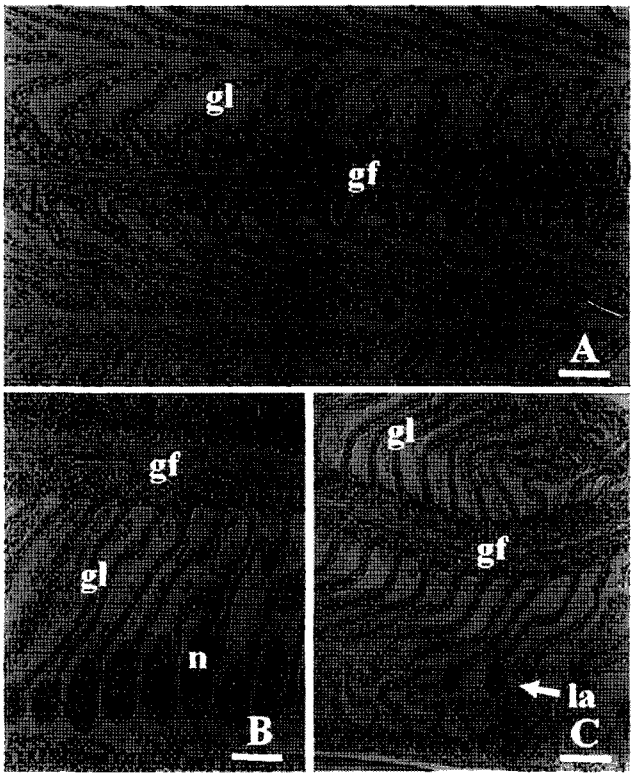

Fig. 5. Photomicrograps of gill lesions induced by salinity changes at 22 hr post change. A, before the change (0 hr.); B, FW→SW; C, SW→FW. gf, gill filament; gl, gill lamella; la, lamella aneurism; n, necrosis. Bar=50 μm.

의 특성 때문에 염분변화가 혈중 glucose 농도를 변화시킬 만큼 스트레스를 유발하지 않았을 가능성도 배제할 수 없다.

아민기 전이효소의 일종인 AST와 ALT는 간과 비장 등의 세포에 분포하며, 어체가 건강할 때는 혈중의 활성이 낮다가 조직의 괴사가 일어나거나, 병적 증상이 나타날 때는 세포외로 방출됨으로써 혈중의 활성이 높아지게 된다. 본 연구에서 해수에서 담수로 염분을 하강 시켰을 때는 AST나 ALT의 변화가 없다가 반대로 담수에서 해수로 염분을 상승시키면 염분변화 후 6시간만에 염분변화 전보다 유의하게 증가하였다. 이것은 Min (2003)의 연구 결과에서처럼 염분변화가 스트레스로 작용하여 실험어의 간과 비장 등의 세포가 손상되고 있음을 시사한다. 그러나 AST와 ALT의 측정값들은 실험전 실험어의 상태나 실험 과정에 따라 변화의 폭이 심하기 때문에 이 수치들을 어류에 대한 스트레스 지표로 이용하는 것은 많은 주의가 필요할 것으로 생각된다. Hct와 같은 혈액 인자는 생체의 산소 운반 능력을 나타낸다. Davis and Parker (1990)는 해산어류에 있어 스트레스는 일반적으로 Hct, 적혈구수 및 헤모글로빈량 등을 증가시킨다고 하였으나 본 연구에서는 염분변화 후 오히려 Hct가 감소하는 경향을 보였다. 이러한 차이를 파악하기 위해서는 스트레스와 혈액성상과의 관계에 관한 좀 더 체계적인 연구가 요구된다.

어류는 염분이 변하면 이를 극복하기 위하여 저삼투압조절 (hypo-osmoregulation)이나 고삼투압조절 (hyper-osmoregulation)을 한다. 본 연구에서 해수에서 담수로 염분을 변화시키면 어류가 체액보다 낮은 저장액 (hypotonic solution)에 노출되어 삼투압 조절의 혼란 때문에 Na^+, K^+, Cl^-이 어체에서 배출되었고 혈장의 삼투질농도도 낮아졌다. 반면에 담수에서 해수로 염분을 상승시킨 경우는 혈장의 이온농도가 상승하였고 이와 더불어 삼투질농도도 높아졌다. 그리고 이렇게 낮아지거나 높아진 혈중 이온농도나 삼투질농도는 실험을 종료한 7일째까지는 회복되지 않았다. 이것은 염분이 각기 다른 서식환경에 따라 어류의 체내 이온농도가 어느 정도 가변성을 가지는지 아니면 본 연구에서 회복기간으로 설정한 7일보다 더 긴 회복시간이 필요하기 때문인지 명확하지 않다. 따라서 이 부분에 대한 좀더 명확한 답을 얻기 위해서는 어류의 체내 이온조절에 관한 연구가 필요하겠다.

경골어류의 삼투 조절은 아가미, 근육, 소화관 및 신장에서 이루어진다. 이중 아가미는 호흡, 삼투압 조절 및 질소 노폐물의 배설 등을 담당하는 복잡한 기관이며 (Laurent and Dunel, 1980; Maina, 1990), 그 표면적이 다른 기관보다 넓기 때문에 환경변화에 가장 민감하다. 환경 변화에 따른 아가미의 1차적인 반응은 아가미 2차새변 호흡상피의 박리와 공포화를 유발하며, 이로 인한 2차적인 반응으로서 호흡상피세포의 과다한 증식으로 인한 유착 및 괴사가 일어나 아가미에 의한 호흡효율의 감소를 초래하게 되고 심할 경우 폐사로 이어진다. 숭어를 이용한 Lee (1996)와 감성돔을 이용한 Min (2003)의 연구에서 염분이 낮아질수록 2차새변의 괴사 및 공포화 현상이 현저하게 나타난다고 보고한 바 있으며, 본 연구에서도 급격한 염분 변화시 2차새변의 손상이 심하였으며 조직의 형태적 손상은 그 회복 속도도 늦다는 것을 알 수 있었다.

본 연구의 결과들을 종합한 결과 striped bass 잡종은 광염성인 특성 때문에 급격한 염분변화에서도 감성돔 (Min, 2003)이나 숭어 (Lee, 1996)보다 스트레스를 덜 받는 것으로 보인다. 그리고 염분변화중 염분 하강보다는 염분을 상승시키는 경우 어체가 받는 스트레스가 더 커졌다. 비록 striped bass 잡종이 염분변화에 강한 내성은 보였지만 이러한 특성을 양식에 활용하기 위해서는 작은 스트레스라도 최소화시킬 수 있는 염분 순응 방법의 개발이 필요하겠다.

참 고 문 헌

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. Ann. Rev. Fish Dis., 1, 3-26.

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. Kor. Fish. Soc., 32, 310-316. (in Korean)

Davis, K.B and N.C. Parker. 1990. Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. Aquaculture, 91, 349-358.

Donaldson, E.M. 1981. The pituitary-interrenal axis as an indicator of stress in fish. Academic Press, London, pp. 11.

Fontainhas-Fernandes, A., F. Russell-Pinto, E. Gomes, M.A. Reis-Henriques and J. Coimbra. 2001. The effect of dietary sodium chloride on some osmoregulatory parameters of the teleost, *Oreochromis niloticus*, after transfer from freshwater to seawater. Fish Physiol. Biochem., 23, 307-316.

Imsland, A.K., S. Gunnarsson, A. Foss and S.O. Stefansson. 2003. Gill Na^+, K^+-ATPase activity, plasma chloride and osmolality in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*) reared at different temperature and salinities. Aquaculture, 218, 671-683.

Jarvis, P.L. and J.S. Ballantyne. 2003. Metabolic responses to salinity acclimation in juvenile shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*. Aquaculture, 219, 891-909.

Lasserre, P., G. Boeuf and Y. Harache. 1978. Osmotic adaptation of *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. I. Seasonal variations of gill Na^+, K^+-ATPase activity in coho salmon, 0^+-age and yearling, reared in freshwater. Aquaculture, 14, 365-382.

Laurent, P. and S. Dunel. 1980. Morphology of gill

epithelia in fish. Ame. J. Physiol., 238, 147-159.
Lee, Y.C. 1996. Osmoregulation and growth of juvenile grey mullet, *Mugil cephalus* in different salinities. MS Thesis, Natl. Fish. Univ. Pusan, Busan, Korea, pp. 64. (in Korean)
Madsen, S.S., S.D. McCormick, G. Young, J.S. Endersen, R.S. Nishioka and H.A. Bern. 1994. Physiology of seawater acclimation in striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum). Fish Physiol. Biochem., 13, 1-11.
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. A SEM and TEM study. Ana. Embryol., 181, 83-98.
Mazeaud M., F. Mazeaud and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: Some new data with a general review. Trans. Ame. Fish. Soc., 106, 201-212.
Min, B.W. 2003. Physiological responses of black sea-bream, *Acanthopagrus schlegeli* to freshwater acclimation. Pukyong Natl. Univ., Busan, Korea, pp. 55. (in Korean)
Morgan, J.D and G.K. Iwama. 1991. Effects of salinity on growth, metabolism, and ion regulation in juvenile rainbow trout and steel head trout (*Oncorhynchus mykiss*) and fall chinook salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48, 2083-2094.
Partridge, G.J. and G.I. Jenkins. 2002. The effect of salinity on growth and survival of juvenile black bream (*Acanthopagrus butcheri*). Aquaculture, 210, 219-230.
Schreck, C.B. 1982. Stress and rearing of salmonids. Aquaculture, 28, 241-249.
Singley, J.A and W. Chavin. 1971. Cortisol levels of normal goldfish, *Carassius auratus* L., and response to osmotic change. Ame. Zool., 11, pp. 653.
Tsuzuki, M.Y., K. Ogawa, C.A. Strussmann, M. Maita and F. Takashima. 2001. Physiological responses during stress and subsequent recovery at different salinities in adult pejerrey *Odontesthes bonariensis*. Aquaculture, 200, 349-362.
Wedemeyer, G.A. and W.T Yasutake. 1977. Clinical methods for the assessment of the effects of environmental stress on fish health. U.S. Fish and Wildlife Service Technical Paper, 89, pp. 18.
Yoon, G.H., J.L. Lee, O.O. Kim and I.B. Kim. 2000. The freshwater culture of spotted sea bass *Lateolabrax maculatus* and grey mullet *Mugil cephalus* in Korea. In: Proceedings of the Autumn Meeting of Korean Societies of Aquaculture. Pukyong Natl. Univ., Busan, pp. 39. (in Korean)

2004년 1월 26일 접수
2004년 4월 20일 수리