Korean J. Ichthyol. 17(1), 43~48, 2005

단계적 염분변화가 Striped bass 잡종(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)의 생리적 반응에 미치는 영향

임한규* · **한형균**[1] · **이종하**[1] · **정민환**[2] · **허준욱**[3]

국립수산과학원 양식관리팀, [1]국립수산과학원 어류연구센터,
[2]부경대학교 양식학과, [3]한국해양대학교 해양과학기술연구소

Effects of Gradual Change of Salinity on Physiological Response in Hybrid Striped Bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)

Han Kyu Lim*, Hyoung-Kyun Han[1], Jong Ha Lee[1],
Min Hwan Jeong[2] and Jun Wook Hur[3]

Aquaculture Management Team, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea
[1]Finfish Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Uljin 767-860, Korea
[2]Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
[3]Research institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

We investigated physiological responses of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) to gradual changes of salinity from 33 psu to 0 psu and from 0 psu to 33 psu in two separate trials. Gradual salinity change was not accompanied by an increase in cortisol level in the plasma however, the glucose level in the plasma increased. Na^+, Cl^- and osmolality significantly increased with rising salinity, but they did not change with dropping salinity. The hybrid striped bass adjusted effectively without stress to the gentle change of salinity.

Key words : Hybrid striped bass, salinity, stress response, survival, cortisol, glucose

서 론

사육수의 급격한 염분변화에 따른 어류의 삼투압 조절은 이온과 수분 평형에 영향을 미치며, 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). 그러나 어류는 환경수의 염분변화에 대처하기 위해 삼투압 조절로 체내의 항상성 (homeostasis)을 유지하려고 하고 (Morgan and Iwama, 1991; Jarvis and Ballantyne, 2003), 이러한 특성을 양식현장에서 이용하고 있다. 최근 숭어 (*Mugil cephalus*), 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*), 농어 (*Lateolabrax japini-*

*Corresponding author: limhk@nfrdi.re.kr

cus) 및 틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 등과 같은 광염성(euryhaline) 어류를 원래 서식 염분범위를 벗어난 염분에서 사육하려고 시도하고 있다(Chang and Hur, 1999; Yoon *et al*., 2000; Min, 2003). 이처럼 특정 어류를 대상으로 적정 염분 범위를 벗어난 염분 순응이나 사육은 침체되어 있는 양식업을 활성화시킬 수 있고, 양식장의 입지 조건을 완화시키고, 질병의 치료나 예방기능이 있으며 사육어류의 상품성을 향상시킬 수 있는 장점들이 있다. 그러나 염분의 변화는 사육 어류의 생존과 직결될 수 있을 만큼 커다란 stress 요인으로 작용할 수 있기 때문에 사전에 충분한 검증이 필요하다.

저자들은 이전의 연구(Lim *et al*., 2004)에서 급격한 염분변화가 striped bass 잡종(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)의 생리적 반응에 미치는 영향을 조사한 결과 striped bass 잡종은 비교적 염분 변화에 광염성을 가지고 있었다. 따라서 본 연구는 striped bass 잡종의 염분 내성에 관한 연구의 일환으로 striped bass 잡종의 사육시 염분 변화에 따른 stress를 최소화하기 위하여 단계적으로 염분을 변화 시키는 경우 어체가 받는 혈액의 생리학적 반응을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어는 국립수산과학원 어류연구센터에서 사육중인 striped bass 잡종 96마리를 사용하였으며, 실험어의 전장은 37.2±3.1 cm였으며 체중은 718.5±164.7 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. 염분변화는 Fig. 1에 보인 것처럼 담수에서 해수로 2시간에 11 psu씩 단계적으로 염분을 상승시킨 실험구(FW → SW)와 반대로 해수에서 담수로 염분을 11 psu씩 서서히 낮춘 실험구(SW → FW)를 2반복으로 설치하였다. 실험 수조로는 4.5톤(수용량 2.3톤) 콘크리트 사각수조를 이용하였으며, 각 수조에는 담수와 해수 주입구를 각각 따로 설치하여 염분을 변화시켰다. 실험기간 동안 수온은 20.0±0.5°C로 일정하게 유지시켰고 용존산소는 모든 수조에서 5 mg/L 이상을 유지하였다.

각 실험에서 혈액 샘플은 Fig. 1의 화살표에 나타낸 것처럼 염분변화를 주기 전(0시간)과 준 직후(2, 74, 150시간) 그리고 안정화시킨 후(72, 148, 220시간)에 헤파린이 처리된 주사기를 이용하여 미부 혈관에서 채취하였다. 각 수조에서 각각 3마리를 임의로 잡아 마취하였으며 채혈전 꼬리지느러미를 약간 절개하여 다음 혈액 채

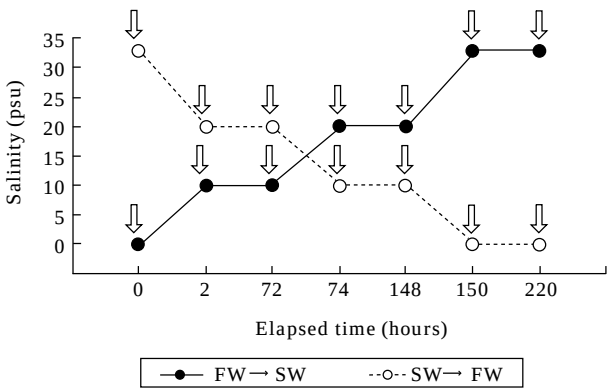

Fig. 1. Salinity changes designed for the experiment slow rise and drop of salinity. Arrows indicate the blood sampling time.

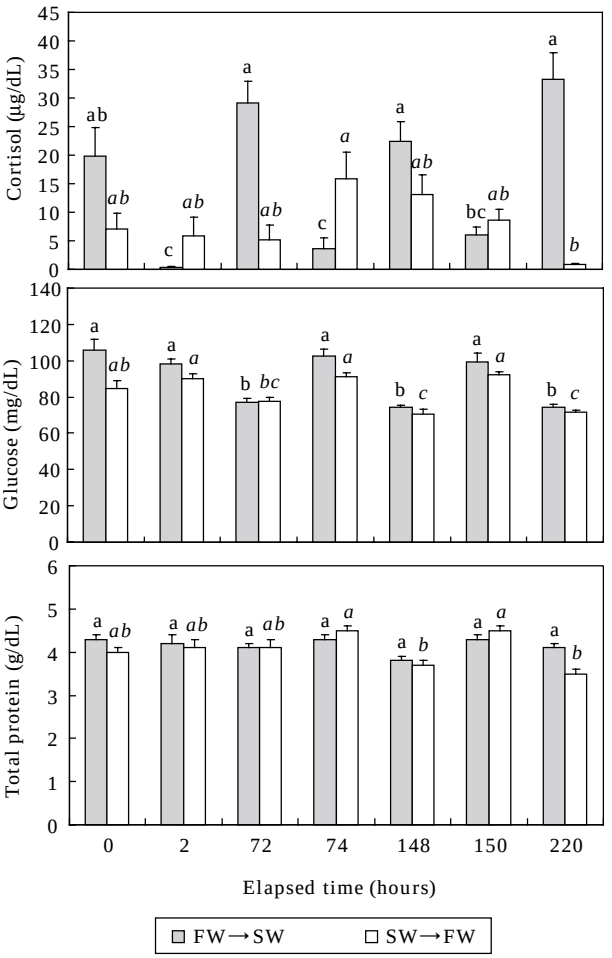

Fig. 2. Changes of cortisol, glucose and total protein in plasma of hybrid striped bass. Values are mean± SE (n = 6). Different superscripts (normal font for FW → SW, italic font for SW → FW) indicate significant differences between sampling times ($P > 0.05$).

취에서는 제외시켰다. 채취한 혈액의 일부를 상온에서 20분 동안 방치한 다음, 원심분리 (5,600×g, 5 min)하여 얻은 혈장은 분석 전까지 −72°C에 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 및 Na^+, K^+, Cl^- 농도의 분석을 위하여 생화학 자동분석기 (Advid 1650, JEOL Co., Japan)를 사용하였다. 혈장의 삼투질 농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)를 이용하여 측정하였으며, 전혈의 hematocrit (Hct)와 적혈구수 (RBC) 및 헤모글로빈량 (HGR)은 각각 Hct용 원심분리기나 자동혈액분석기 (Excell 500, USA)를 사용하여 측정하였다.

각 실험 결과로부터 얻어진 모든 측정값들은 평균±표준오차로 표시하였으며, 측정값들 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지 (version 9.0)를 사용하여 95%의 신뢰수준에서 ANOVA와 Tukey's multiple range test로 검정하였다.

결 과

단계적인 염분 변화 후 혈중 cortisol, glucose 및 total protein의 농도 변화는 Fig. 2에 나타냈다. 담수에서 해수로 단계적으로 염분을 올린 경우 염분 상승 직후 혈중 cortisol 농도는 감소하였다가 다시 처음의 수준으로 회복되었다. 해수에서 담수로 염분을 단계적으로 낮춘 경우 74시간째와 220시간째만 유의적으로 차이를 보였

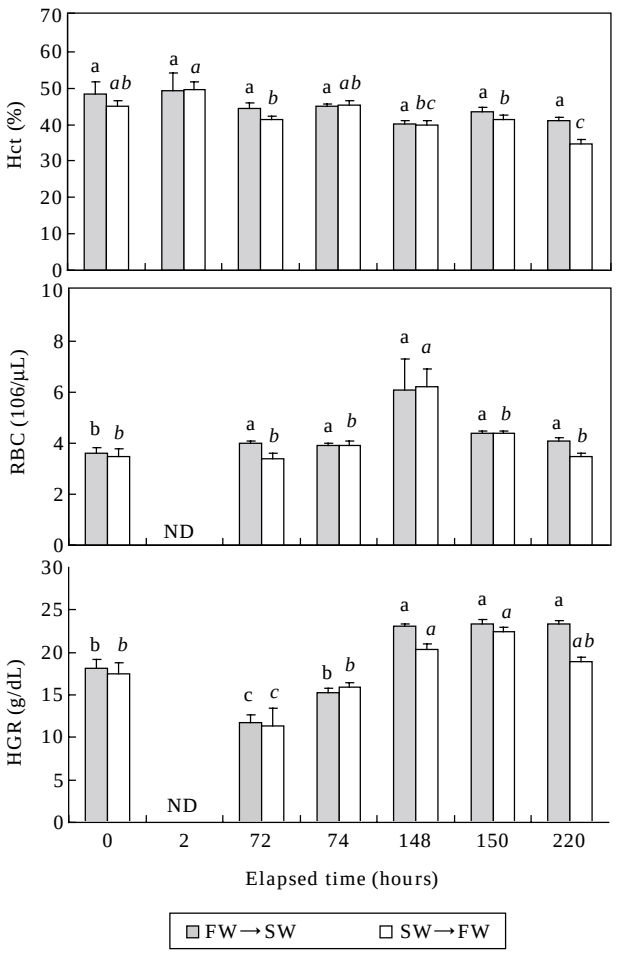

Fig. 3. Changes of hematocrit (Hct), red blood cell (RBC) and hemoglobin (HGR) of hybrid striped bass. ND: not detectable. Other details as for Fig. 2.

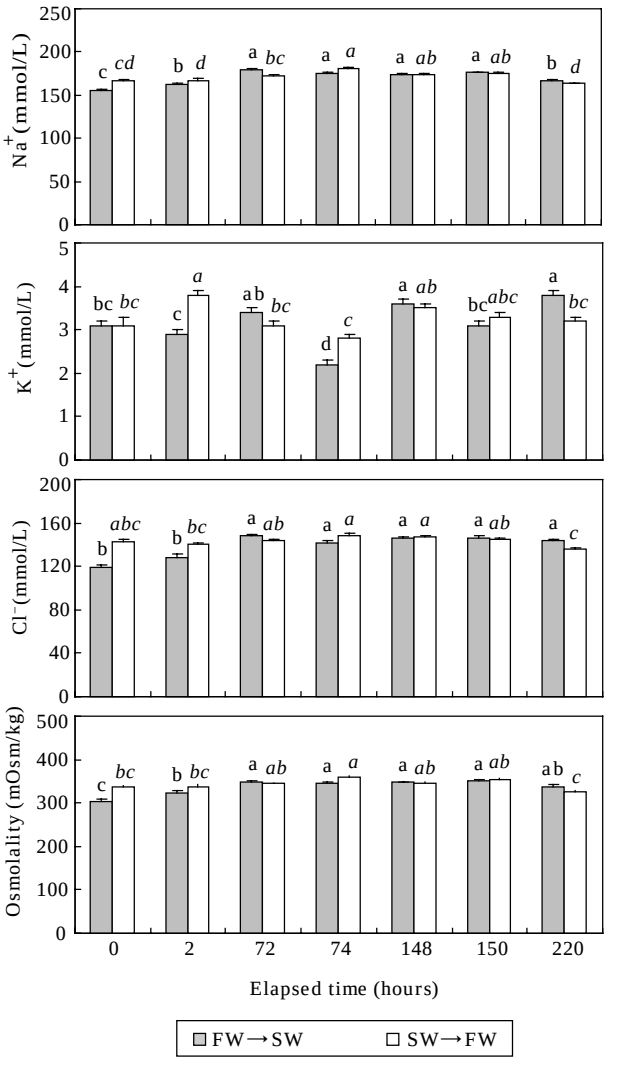

Fig. 4. Changes of Na^+, K^+, Cl^- and osmolality in plasma of hybrid striped bass. Other details as for Fig. 2.

을 뿐 나머지에서는 유의적인 차이가 없었다. 담수에서 해수로 염분을 올렸을 때 혈중 glucose의 농도는 cortisol과 반대의 경향을 보였으며, 해수에서 담수로 변화시키면 염분변화 후 안정화 시간을 준 148시간째와 220시간째에 처음보다 낮은 값을 보였다. 해수에서 담수로 염분을 낮춘 경우 148시간째와 220시간째를 제외하면 혈중 total protein의 함량은 염분변화에 크게 영향을 받지 않았다.

단계적으로 염분을 올리는 경우 Hct는 염분에 영향을 받지 않았으나 염분을 낮추는 경우에는 염분 감소와 함께 Hct도 낮아졌다. 적혈구 수는 해수에서 담수로 단계적으로 염분을 낮춘 후 148시간째에 증가한 것을 제외하면 실험구 모두에서 서로 유의적인 차이를 보이지 않았고, 염분을 올린 경우 염분 상승 후 높아졌다(Fig. 3).

혈중 이온농도와 혈장의 삼투질 농도는 사육수의 염분변화에 많은 영향을 받았다. Na^+와 Cl^-의 농도는 단계적인 염분 상승과 함께 서서히 증가하였으나 사육수의 염분을 낮춘 실험구에서는 Na^+의 경우 염분상승 실험구와 같이 서서히 증가하다가 다시 낮아 졌고 Cl^-은 실험기간 동안 큰 차이가 없었다. Na^+나 Cl^-의 농도와는 달리 K^+의 농도는 일정한 경향이 없이 변화되었으며, 혈장의 삼투질 농도는 염분을 올린 경우는 상승하였으나 내린 경우는 증가하다가 감소하였다(Fig. 4).

고 찰

다양한 염분에서 어류의 사육은 양식가들에게 많은 이익을 제공하기도 하지만 경우에 따라서는 사육중인 어류에게 stress와 폐사를 유발하여 경제적인 피해를 주기도 한다. 어류 양식과정에서 발생하는 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. 따라서 염분변화가 사육중인 어류의 생리상태와 생존에 미치는 영향을 파악하는 것은 양식의 효율을 증대시키기 위하여 매우 중요하다.

자연 발생적이든 인위적이든 사육수의 염분변화는 사육중인 어류에게 stress 요인으로 작용하여 삼투압 조절을 불안정하게 하고(Mazeaud *et al.*, 1977), 혈중 카테콜아민 (Schreck, 1982)과 cortisol (Chang and Hur, 1999) 수준을 상승시킨다. 이러한 stress가 반복되거나 어느 임계치 이상을 넘어서면 질병에 대한 저항력이 감소되고(Wedemeyer and Yasutake, 1977), 성장, 번식 및 생존에도 영향을 미친다. 따라서 기생충 구제나 광염성 어류의 담수나 해수 순응 사육처럼 양식과정 중 염분변화에 따른 효과를 얻기 위해서는 염분변화가 사육중인 어류에게 미치는 stress 반응에 관한 충분한 검증이 필요하다.

삼투압 stress에 의한 혈중 cortisol과 glucose는 동시적으로 증가되는 것으로 알려져 있다. Cortisol 농도의 증가는 해수 노출에 따른 삼투압 조절과 같은 항상성 문제로 인한 어체내의 삼투질 농도가 감소하면(Giles *et al.*, 1984), 시상하부의 신경세포(삼투압 수용기)가 이를 감지 · 증폭시켜 뇌하수체로 전달하고, 이때 뇌하수체에서는 아세틸콜린을 분비하여 부신을 자극한다. 부신피질은 cortisol 분비를 촉진하여 아가미 염류세포의 Na^+, K^+-ATPase 활성을 자극하여, 능동수송에 의한 Na^+ 펌프 작동을 증진시킨다. 이와 동시에 cortisol은 혈당이용을 억제하여 혈중 glucose 농도를 증가시킨다(Tam *et al.*, 1987; Mayer-Gostan *et al.*, 1987).

본 연구에서 단계적인 염분 하강은 혈중 cortisol 농도의 상승을 동반하지 않았는데, Lim *et al.* (2004)이 보고하였던 염분 급변시와 유사한 경향이었다. 이는 striped bass 잡종이 자연에서도 다양한 염분에 서식할 정도로 광염성 어류이므로 염분변화에 따른 stress를 최소화시킬 수 있는 적응능력을 가지고 있기 때문으로 추측해 볼 수 있다. 이와 유사한 연구로는 광염성 어류로 보고되고 있는 숭어 (*M. cephalus*)에서 유사한 경향을 보였다(Hur and Chang, 1999). 숭어의 경우, 단계적인 염분변화(해수에서 담수로 교환)에 따른 cortisol과 glucose 농도의 차이를 보여주지 않았으며, 고염분에 대한 저삼투압조절 (hypo-osmoregulation), 저염분에 대한 고삼투압조절 (hyper-osmoregulation)을 하는 것으로 보고하였다. 본 연구와 같은 종을 사용하였던 Lim *et al.* (2004)의 연구에서도 염분급변에 대한 고, 저삼투압조절을 하고 있는 것으로 나타났다. 본 연구에서도 해수에서 담수로 사육수를 교환하였을 때 유사한 결과를 얻었다. 이 어종이 이미 광염성 어류임을 보고하고 있으며, 본 연구에서도 염분적응에 뛰어남을 알 수 있었다.

본 연구에서 해수에서 담수로 사육수를 교환할 때보다 담수에서 해수로 교환할 때 의미 있는 차이를 보여주었다. Cortisol 농도의 경우, 2시간에 11 psu씩 상승시(0 psu에서 11 psu, 11 psu에서 22 psu, 22 psu에서 33 psu로 상승시)에는 실험개시시와 비교할 때 낮아지는 경향을 보이나, 각각의 염분을 3일간 유지한 후에는 실험개시시와 차이를 보여주지 않고 있다. 이러한 경향은 해수에서 담수로 사육수를 교환할 때보다, 담수에서 해수로 이동할 때 삼투압 조절 능력에서 차이를 보이고

있다. 이는 삼투압 조절을 위한 에너지 소비가 해수에서 담수로 변화할 때 보다는 담수에서 해수로 이동할 때 많음을 간접적으로 보여준다.

일반적으로 혈중 glucose 농도는 stress에 의해 증가된다. Barton and Iwama (1991)는 cortisol 농도가 높아짐에 따라 glucose 농도가 높아지는 현상은 stress에 의한 호르몬 반응을 뒤따른 2차 반응의 결과라고 하였다. 이러한 결과는 숭어 (Chang and Hur, 1999)나 pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) (Tsuzuki *et al*., 2001)와 같은 경골어류에서 보고되었다. 본 연구에서는 담수에서 해수로 이동시에 glucose의 농도는 차이를 보이지 않거나, 3일 유지 후에는 낮아지는 경향을 보였다. 3일 유지 후에 cortisol 농도는 실험개시시와 차이를 보이지 않아 stress를 받지 않음을 알수 있으며, glucose의 감소로 에너지 소비에도 큰 문제가 없는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구에서 2, 74 및 150시간에 낮아진 cortisol 농도는 혈액 샘플시간에 따라 차이가 나타난 것으로 추측할 수 있다. 경골어류의 stress시 나타나는 cortisol의 최고값으로 상승하였다가 내려오는 시간은 각각의 어종마다 다르다고 보고하였다 (Barton *et al*., 1980). 본 연구에서 나타난 염분 상승후 2시간째에 낮아진 cortisol 농도는 2시간이전에 실험개시시보다 높은 값이었거나, 개시시와 차이를 보이지 않았을 것으로 추측된다. 이에 대한 간접적인 증거는 glucose 농도에서 차이를 보이지 않은 것으로 판단할 수 있다.

Hct, RBC 및 HGR과 같은 혈액 성상은 생체의 산소 운반 능력을 나타낸다. Davis and Parker (1990)는 해산어류에 있어 stress는 일반적으로 Hct, RBC 및 HGR 등을 증가시킨다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 염분변화 후에도 Hct는 변화를 보이지 않던가 오히려 감소하는 경향을 보였다. RBC도 148시간째의 갑작스런 상승을 제외하고는 차이를 보이지 않았으나, HGR은 염분변화 후 감소하였다가 서서히 상승하였다. 본 연구에서 염분변화 후 혈액 인자들의 뚜렷한 상승을 관찰할 수 없었던 것은 cortisol의 경우처럼 striped bass 잡종이 자연에서도 다양한 염분에 서식할 정도로 광염성 어류이므로 염분변화에 따른 stress를 최소화시킬 수 있는 적응능력을 가지고 있기 때문으로 추측해 볼 수 있다. 앞으로 잡종 striped bass에서 염분변화에 따른 혈액 성상의 변화를 파악하기 위해서는 stress와의 관계에 대한 좀 더 체계적인 연구가 요구된다.

해수에서 담수로 염분을 변화시키면 어류가 체액보다 낮은 저장액 (hypotonic solution)에 노출되어 삼투압 조절의 혼란 때문에 Na^+, K^+, Cl^-이 어체에서 배출되었고 혈장의 삼투질 농도도 낮아지기 때문에 고삼투압조절을 하고, 반대로 담수에서 해수로 염분을 상승시킨 경우는 혈장의 이온농도가 상승하였고 이와 더불어 삼투질 농도도 높아지기 때문에 저삼투압조절을 한다. 본 연구에서도 염분변화에 따라 혈중 Na^+, Cl^- 및 삼투질 농도 등이 변화되었다. 이것은 염분이 각기 다른 서식환경에 따라 어류의 체내 이온농도가 어느 정도 가변성을 가지고 환경변화에 적응하는 것이라고 생각된다.

본 실험 결과와 이전의 연구 결과 (Lim *et al*., 2004)들을 종합한 결과 striped bass 잡종은 광염성인 특성 때문에 염분변화에 대해 감성돔 (Min, 2003)이나 숭어 (Lee, 1996)보다 stress를 덜 받는 것으로 생각된다. 따라서 이러한 생리적 특성은 이종의 양식생산에 유용하게 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

단계적인 방법에 의해 해수에서 담수로의 염분 하강과 담수에서 해수로의 염분 상승에 대한 잡종 striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)의 생리적 반응을 조사하였다. 단계적인 염분 변화는 혈중 cortisol 농도의 상승을 동반하지 않았으나, 혈중 glucose 농도는 상승하였다. 혈장의 삼투질 농도와 Na^+, Cl^- 농도는 염분 상승과 함께 유의하게 증가하였으나, 염분 하강 때는 차이를 보이지 않았다. 이상의 실험 결과들은 잡종 striped bass는 단계적인 염분변화에 매우 효과적으로 적응하고 있음을 보여주고 있으며, 염분 스트레스에 강한 광염성 어종임을 입증하였다.

인 용 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.

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, confine-ment, transport and stocking. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 37 : 805～811.

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. Aqua-

culture, 91 : 349～358.

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

Giles, M.A., H.S. Majewski and B. Hobden. 1984. Osmoregulatory and hematological reponses of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to extended environmental acidification. Can. J. Fish. Aquart. Sci., 41 : 1686～1694.

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. Aquaculture, 12 : 283～292. (in Korean)

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

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)

Lim, H.K., J.H. Lee, M.H. Jeong, H.K. Han, Y.S. Lim, J.H. Lee and B.C. Lee. 2004. Effects of acute change of salinity on physiological response and survival in hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂). J. Kor. Fish. Soc., 37 : 116～121. (in Korean)

Mayer–Gostan, N., S.E. Wendelaar Bonga and P. Balm. 1987. Mechanisms of hormone action on gill transport. Academic Press, San Diego, 211～238.

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 seabream, *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.

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.

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 National University, Busan, pp. 39. (in Korean)

Received: November 2, 2004
Accepted: January 17, 2005