

Article

은연어의 해수 순치에 따른 스트레스 반응의 변화

홍경표¹ · 김병기² · 전중균^{3*} · 김유희² · 박용주¹ · 명정구¹ · 김종만¹¹한국해양연구원 해양생물자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호²강원도립대학 해양생물자원개발과
(210-801) 강원도 강릉시 주문진읍 교항리 8-2³강릉대학교 생명과학대학 해양생명공학부
(210-702) 강원도 강릉시 지변동 123번지Serum Stress Responses during Seawater Acclimation
in Coho Salmon, *Oncorhynchus kisutch*Kyung-Pyo Hong¹, Pyong-Kih Kim², Joong-Kyun Jeon^{3*}, Youhee Kim²,
Yong-Ju Park¹, Jung-Goo Myoung¹, and Jong Man Kim¹¹Marine Living Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea²Department of Marine Bio-resources, Gangwon Provincial University
Gangwon-do 210-702, Korea³Division of Marine Bioscience and Technology
Kangnung National University, Gangwon-do 210-702, Korea

Abstract : Stress response to the seawater acclimation in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolt was investigated. Salt concentration of rearing water was gradually increased for 3 days from freshwater to seawater (30 ppt salt level). The changes of serum concentrations of cortisol as a primary stress indicator, and as secondary indicators, glucose (GLC), lactate (LAC), triglyceride (TG), cholesterol (CHOL), sodium ion (Na⁺), chloride ion (Cl⁻) and enzyme activities (alanine aminotransferase, ALT; aspartate aminotransferase, AST; lactate dehydrogenase, LDH) were quantified during the acclimation experiment. Among them, cortisol, LAC, TG, CHOL, ALT, AST concentrations showed rapid increase at the first exposure to the 10 ppt salt level (day 1), and began to decrease to the constant values after day 2 of adaptation at 20 ppt salt level. However, LDH concentration tended to decrease during the whole experimental period. Na⁺ and Cl⁻ showed slight decrease at day 1, and increased to a little bit higher values after day 2 rather than those in freshwater. All the fishes started on taking a food after day 4 of seawater adaptation. From these results, to reduce osmotic shock inducible stress to fish in seawater acclimation, gradual increase of salt levels is recommended.

Key words : 은연어(coho salmon), 해수순치(seawater acclimation), 스트레스 반응(stress response), 혈청 농도(serum concentration)

*Corresponding author. E-mail : jkjeon@kangnung.ac.kr

1. 서 론

연어과 어류는 냉수성 어종으로서 담수에서 부화하여 자어기를 보내고 스몰트(smolt)가 되면 바다로 내려가 성장하는데, 이러한 특성을 이용하여 겨울철 스몰트를 해상 가두리에 입식하여 다음해 여름까지 바다에서 양식을 하면 그 효율을 극대화할 수가 있으며 상품성도 높일 수가 있다(한국해양연구소 1988). 그러나 인위적으로 담수에서 해수로 옮길 때 대상 어류에 가해지는 스트레스는 해수 순치방법에 따라 어류에게 치명적 해를 끼칠 수 있다. 이때 적절한 순치 과정을 따른다면 어류는 해수 환경에 적응으로 노출되면서 받은 스트레스에 차츰 적응하면서 정상을 회복하게 되며 양식가는 해수에서의 고성장을 기대할 수가 있다.

어류는 양식장이나 실험실 내에서 해수-담수간 이동을 비롯하여 운송, 급격한 수온 변화 등 여러 원인에 의해 스트레스를 받게 되며 이들 스트레스에 대해 다양한 형태로 반응하게 된다. 즉, 일단 스트레스를 받으면 1차적으로 시상하부 - 뇌하수체 - 부신축(HPI)이 활성화되며 코르티코스테로이드(corticosteroids)와 카테콜라민(catecholamines)이 분비되고, 2차적 반응으로서 백혈구 세포 및 근육 단백질 감소, 전해질 균형 파괴, 혈액내 glucose 및 lactate 농도 변화 등 여러 가지 생리·생화학적 현상이 나타난다(Mazeaud et al. 1977). 이들 반응은 결국 스트레스를 받은 어류에게 폐사는 물론 성장 저하, 질병 감염율 증가, 항상성(homeostasis) 유지 능력 저하, 다른 스트레스에 대한 저항 능력 감소, 면역력 저하와 같은 부정적인 영향을 미치게 된다(Pickering et al. 1991; Olla and Davis 1992; Vijayan and Moon 1992; Fevolden and Røed 1993; Fevolden et al. 1993; Schreck et al. 1993). 이와 같은 부정적 스트레스 요인을 줄이기 위하여 대상 어류별로 적절한 취급 방법을 선택할 필요가 있으며, 더 나아가서 그 스트레스 정도를 정량적으로 측정하여 원인과 메카니즘을 이해하고 조절할 필요가 있다. 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)의 경우 해수 순치 중에 체내의 내분비계가 영향을 받아 코르티코스테로이드 호르몬이 분비되는데(Franklin et al. 1992), 이것으로 스트레스 여부를 판정할 수가 있다. 그러나 은연어와 같이 양식 과정의 일환으로 해수 순치가 필요한 어종의 경우 순치시키는 동안 어류는 해수에 적응하기 위해 체내에서 생리적으로 스트레스 반응을 조절할 것이라 여겨지지만, 이처럼 담수와 해수 사이를 오가는 어종들의 스트레스 반응에 관한 연구는 외국의 경우 Nikinmaa et al.(1983) 및 Franklin et al.(1992) 등의 보고가 있으며, 우리나라에서는 전 등(2000a, 2000b)이 은연어의 수송, 그물작업 및 운송 중에 일어나는 스트레스 반응

을 조사한 바 있다.

본 연구에서는 은연어 해상 사육을 위한 해수 순치 과정 중에 일어나는 어류의 스트레스 반응을 조사하여 염분 단계별 순치 방법의 타당성을 알아보고, 스트레스에 대한 반응 측정 지표로서 혈청 내 생화학적 성분 변화 양상을 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

실험 어류

강원도 평창의 육상 시설에서 담수 사육 중이던 은연어(*Oncorhynchus kisutch*, 평균 체중 150 g) 스몰트(약 4,000 마리)를 사용하였다.

해수 순치

은연어 스몰트를 경남 통영시 소재 한국해양연구원 해상 사육 시설에 설치한 캔버스 수조(30톤 용량)에서 3일간 단계적으로 해수 순치를 실시하였다. 해수 순치는 담수 상태에서 점진적으로 염분도를 증가시켰는데, 1일째는 10 ppt 염분도(1/3 해수)로, 2일째는 20 ppt 염분도(2/3 해수)로 증가시켰으며 3일째는 완전 해수(30 ppt)를 공급하였다. 해수의 교환은 매일 오전 10시부터 펌프를 이용하여 채워주었다. 수조에서 순치하는 동안 산소를 충분히 공급하였으며, 매일 2회 송어용 펠릿 사료를 소량 공급하였다. 순치하는 동안 해수의 비중과 염분도는 매일 오전 10시에 봉상 비중계와 염도계(YSI 58, Ohio, U.S.A.)로 측정하였다. 실험기간 중의 해수 온도는 12~16°C 범위였다. 4일째는 캔버스 수조를 해체하여 은연어를 해상가두리(5×5×5 m)에 수용하였고, 그 후 13일째까지 건강 상태와 사망 유무를 관찰하였다.

채혈과 혈액 분석

실험기간 중 매일 오후 5시경 은연어 20마리씩 무작위로 채포하여 마취하지 않은 상태로 꼬리정맥에서 채혈하였으며, 상온에서 원심분리(3,000 rpm, 20분)하여 혈청을 분리하였다. 혈청은 액체질소에 급속 동결하여 연구실로 운송한 후 분석 시까지 -80°C의 냉동고(MDFU 5086WBT, Sanyo, Japan)에서 보관하였다. 조사 항목은 전 등(2000a)과 같이, 1차 내분비 스트레스 반응의 지표로 코티졸(cortisol)을, 2차 반응의 지표로는 혈당(glucose, GLC)을 비롯하여 젖산(lactate, LAC), 콜레스테롤(cholesterol, CHOL)과 중성지방(triglyceride, TG), 전해질(sodium, Na⁺; chloride, Cl⁻), 아미노산 대사 효소(alanine aminotransferase, ALT; aspartate aminotransferase, AST)와 탄수화물 대사관련 효소(lactate dehydrogenase, LDH) 등을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

연어과 어류는 담수에서 해수로 이동하는 과정 중 염분도, 수온, 어류의 성, 어체 크기, 발달과정 등에 의해 생존율이 크게 영향을 받으며(Wedemeyer *et al.* 1980; Clarke and Shelbourn 1985; Hoar 1988), 담수에서 기른 연어(*O. nerka*)를 해수에 순치하는 과정이 없이 바로 해수로 옮기면 폐사율이 높아진다(Franklin *et al.* 1992). 한국해양연구소(1988)에서 연구한 바에 따르면 은연어를 해수에 순치할 때에는 완전 해수에 바로 투입하기보다 낮은 염분도부터 시작하여 차츰 높여가며 순치하였더니 이후의 해상 사육 중에 폐사율이 낮았다고 하였다. 어류는 작업 및 운송 중 스트레스를 받으면 내분비, 생리 및 혈액학적으로 여러 변화가 일어나며(Hattingh and Van Pletzen 1974; Nikinmaa *et al.* 1983), 심한 경우에는 사망하기도 한다(Specker and Schreck 1980). 게다가 비록 사망에 이르지 않더라도 스트레스가 장시간 계속되면 서론에서 언급한 바와 같은 부정적 영향을 받게 된다.

Fig. 1은 은연어를 해수 순치하는 동안 일어나는 코티졸의 변화를 나타낸 것이다. 해수로 옮기기 전(0일)에는 26.2 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 수준이었으며 10 ppt 해수(해수 순치 1일째)에서는 25.0 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 큰 변화가 없었으나, 20 ppt 해수(2일째)에서는 6.1 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 로 급격히 줄어들었다. 해수 순치 직전(0일째) 코티졸 농도가 높았던 것은 취급 과정에서의 스트레스가 작용하였기 때문일 것으로 판단되며, 해수 순치 2일째 이후에는 비교적 안정된 수준을 유지하였는데, 이것은 은연어를 육상 시설에서 사육하는 동안의 코티졸 농도(4.3 $\mu\text{g}/\text{dl}$)와 비슷한 수준이었다(전 등 2000a). 한편, 본 해수 순치 실험 기간동안 사망한 개체(스몰트는 없었다. Franklin *et al.*(1992)은 연어를 해수에 옮길 때 염분도를 순차적으로 올리면서 적응시키면 코티졸 농도는 처음에 상승하다가 1~2일 이내에 안정화되었으나, 적응 기간 없이 바로 해수로 옮기면 코티졸과 헤마토크리트(Ht), 전해

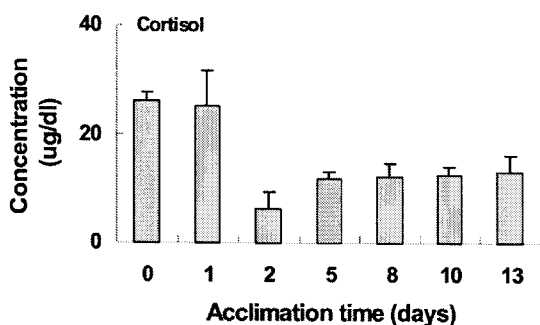


Fig. 1. Changes of cortisol concentration in coho salmon during acclimation to seawater. All values are means \pm S.D.

질 농도 등은 스트레스 때문에 상승하였다가 줄지 않고 결국에는 심한 탈수 증상을 보이면서 사망하였다고 보고 하였다. 담수어 중에서도 협염성(stenohaline) 어류인 잉어(*Cyprinus carpio*)는 염수에 노출시 코티졸 농도가 높은 수준을 오래 동안 유지하였으나, 광염성(euryhaline)인 틸라피아(*Oreochromis niloticus*)는 비교적 짧은 기간 증가하였다가 이후 곧 안정화하는 경향을 보이는데, 이처럼 해수 순치 중에 코티졸 농도가 증가하는 것은 해수 노출에 따른 고장(hypertonic) 전해질을 아가미를 통해 몸 밖으로 배출하기 위해서이다(Hanke *et al.* 1992). 실제로 광염성인 틸라피어를 각각 27, 35 및 50 ppt의 염수에 노출시킨 결과, 코티졸 농도는 대조구(3.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$)에 비해 각각 0.9, 2.5 및 6.4로 염분 농도와 비례하여 증가하였고, 반대로 염수에 노출시켰던 틸라피어를 담수에 재 노출시킨 경우에도 코티졸 농도는 증가하였다고 한다(Hanke *et al.* 1992). 본 연구에서도 코티졸의 하향 안정화는 Franklin *et al.*(1992)의 보고와 같이 해수 순치 2일경부터 나타났으며 이후에도 계속 안정 상태를 유지했다.

Fig. 2는 해수 순치에 따른 은연어 혈청의 생화학 성분인 GLC, LAC, TG 및 CHOL 농도 변화를 나타낸 것이다. 해수에 순치하기 전 GLC 농도는 25 mg/d이던 것이 완전 해수에 수용한지 3일이 경과한 해수 순치 5일째에는 일시적으로 54 mg/d까지 증가하였지만 이후 다시 순치하기 전의 수준인 25~30 mg/d으로 회복된 후 안정적인 경향을 보였다. 그리고 LAC 농도는 순치하기 전에 15.5 mmol/L이던 것이 10 ppt 해수에서는 14.8 mmol/L로 되었고, 20 ppt 해수에서는 6.9 mmol/L로 크게 줄었으며, 완전 해수 중에서는 안정적인 경향을 보였다(6.6~9.6 mmol/L). 이처럼 해수 순치 2일째부터 혈중 농도가 감소하는 것은 TG와 CHOL에서도 마찬가지였는데, 즉 TG는 해수 순치 전에 80 mg/d이던 것이 해수 순치 2일째에는 24 mg/d로 줄었고, CHOL도 해수 순치 전에 116 mg/d이던 것이 60 mg/d으로 감소하였다. 그러나 이들 TG와 CHOL 농도는 해수 순치 5일 이후부터 서서히 증가하는 경향을 보였는데 이것은 아마도 섭이 활동과 관련이 있을 것이라 여겨진다. 즉, 해수에 순치하면서 처음 3일 동안은 먹이를 주어도 전혀 섭이 행동이 없었으나 4일째부터는 조금씩 섭이 활동이 회복되었기 때문이다. 따라서 섭이를 시작하면서 TG와 CHOL 농도가 증가한 것이라 여겨지며, 실제로 이들 성분은 섭이와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있다(Shikata *et al.* 1993). 한편, Hanke *et al.*(1992)은 sea bass(*Dicentrarchus labrax*)를 완전 해수에서 1/2 해수(18 ppt 해수)와 1/3 해수(12 ppt)로 순치시키면서 시간대별로 혈중 GLC를 비교해 보았더니 코티졸 농도 변화와 약간의 시간 간격을 보이면서 변화하였음을 관찰하였다. 즉, 노출 3시간 후에 최고 수준을 보였다가 이후에는 안정

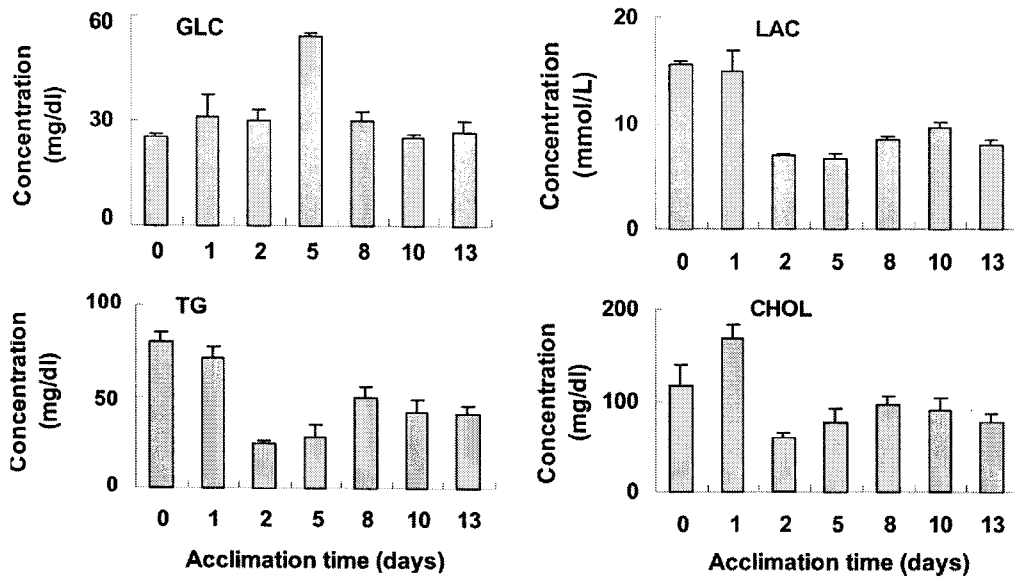


Fig. 2. Changes of glucose (GLC), triglyceride (TG), lactate (LAC) and cholesterol (CHOL) concentration in coho salmon during acclimation to seawater. All values are means \pm S.D.

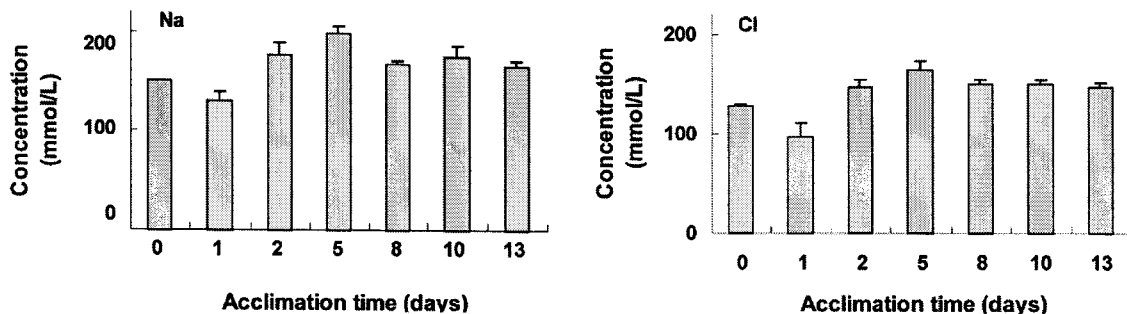


Fig. 3. Changes of sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) concentration in coho salmon during acclimation to seawater. All values are means \pm S.D.

적인 수준이었는데, 1/2 해수에 순치한 것은 1/3 해수에 순치한 것보다 코티졸 농도나 GLC 수준이 크게 변하지 않아 별다른 스트레스를 받지 않았다고 하였다. 이처럼 해산이라도 염도의 변화가 클수록 스트레스를 더 받는다는 것을 알 수 있다.

해수 순치 중에 은연어 혈청 중 전해질의 변화는 Fig. 3 과 같다. 해수 순치 직전 Na^+ 와 Cl^- 농도는 각각 150 및 128 mmol/L이었던 것이 10 ppt 해수에 순치 후 일시적으로 낮아졌다가 이후 증가하여 각각 165~198 및 146~164 mmol/L에서 안정된 수준을 유지하였다. 전해질 농도가 순치 2일 이후에 안정되는 것으로 미루어 은연어의 삼투질은 해수 순치 2일째에 안정화되었다고 볼 수 있다. 해수 순치 2일째의 Na^+ 와 Cl^- 농도는 전 등(1995, 1998)이 양식산 은연어에서 조사한 농도(160~170 및 140~150 mmol/L)와 거의 비슷하였다.

해수 순치 중 ALT, AST와 LDH 활성의 변화는 Fig. 4 와 같다. ALT와 AST는 해수 순치 직전에 각각 14 및 327 U/L이었고 1/3 해수로 순치시키면서 일시적으로 활성이 각각 38 및 703 U/L로 급격히 증가하였으나 2/3 해수에서는 다시 감소한 후 안정된 수준을 유지하였다. 한편, LDH 활성은 해수 순치하면서 12,825 U/L에서 10,850 U/L로 감소하기 시작하여, 해수 순치 10일째에는 4,950 U/L까지 감소하였다.

이상으로 은연어의 해수 순치 과정 중 스트레스 반응을 살펴보았는데, 은연어는 자어기(juvenile) 때에도 사육 과정에서 주어지는 여러 스트레스에 대한 반응으로서 코티졸 농도가 급격히 증가하며, 이와 함께 항체 생산 세포(antibody-producing cell, APC)의 수도 상당히 감소하는 것으로 알려져 있다(Salonius and Iwama 1993). 본 연구에서도 해수 순치 과정 초기에 급격히 코티졸 농도가 증

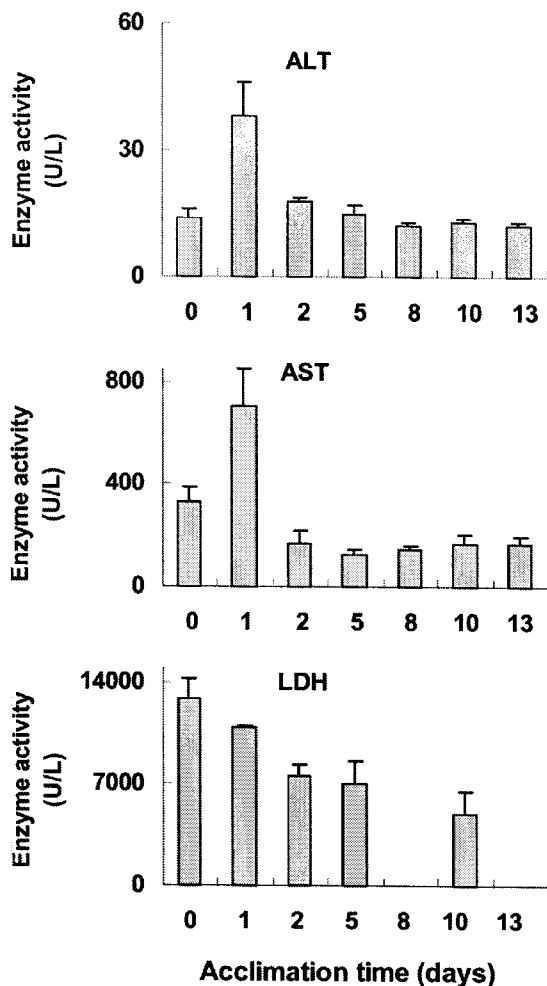


Fig. 4. Changes of alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST) and lactate dehydrogenase (LDH) activity in coho salmon during acclimation to seawater. All values are means \pm S.D.

가하였던 것을 보아 운송 및 해수 순치 자체가 은연어에게는 중대한 스트레스 요인으로 작용하는 것을 확인할 수 있었으며, 순치 시 담수에서 해수에 바로 수용하기보다는 해수의 염분도를 점차 높이면서 순치하면 스트레스를 줄일 수가 있다는 것을 알 수 있었다. 해수 순치 후 2일째부터 코티졸, LAC, TG, CHOL, 전해질(Na^+ , Cl^-), ALT, AST 농도가 일정한 수준으로 회복되어 유지되는 것으로 미루어 이 시점부터는 담수-해수 이동으로 인한 스트레스 상태에서 본격적으로 회복되는 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 은연어 해상 사육을 위한 해수 순치 과

정 중 일어나는 어류의 스트레스 반응을 조사하여 염분 단계별 순치 방법의 타당성을 알아보고, 스트레스에 대한 반응 측정 지표로서 혈청내 생화학적 성분의 변화 양상을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 은연어 스몰트를 3일에 걸쳐 점진적으로 염분도를 높이면서 해수 순치를 실시한 다음 완전 해수에서 사육하는 동안 은연어의 스트레스 반응을 살펴보았다. 스트레스에 대한 반응 지표로서 혈액중의 스트레스 호르몬인 코티졸을 비롯하여 GLC, LAC, TG, CHOL, 전해질(Na^+ , Cl^-), 효소활성(ALT, AST, LDH)의 변화를 순치 후 경과 시간에 따라서 측정하였다. 해수 순치 실험 결과 코티졸과 GLC, LAC, TG, CHOL의 농도, Na^+ 와 Cl^- 농도 및 ALT, AST 활성은 해수 순치 2일째(20 ppt, 2/3 해수에 수용)부터 정상 수준에 근접하여 안정화하는 경향을 보였으나, LDH 활성은 순치 기간 중 계속 감소하였다. 한편, 은연어는 실험 시작 후 4일째부터 먹이를 먹기 시작하여 순치에 따른 스트레스가 어느 정도 극복되고 있음을 간접적으로 알 수 있었다. 이와 같은 결과로 미루어 담수 사육한 은연어를 해수에 순치하는 과정에서 점진적으로 염분도를 상승시키는 것이 어류의 스트레스를 줄이는데 크게 기여한다고 여겨지며 상기 혈청 성분들은 스트레스 반응 지표로서 유효한 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 과학기술부 및 해양수산부 바다목장개발사업과 과학재단 지정 강릉대학교 동해안해양생물자원 연구센터의 연구지원에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 전중균, 김병기, 명정구, 김종만. 2000a. 그물작업에 의한 은연어의 스트레스 반응. *한국수산학회지*, 33, 115-118.
- 전중균, 김병기, 명정구, 김종만. 2000b. 담수 및 염수 운송이 은연어의 스트레스 반응에 미치는 영향. *한국수산학회지*, 33, 119-123.
- 전중균, 김병기, 박용주, 허형택. 1995. 주요 양식 어류의 혈액 성분과 관련 연구. *한국수산학회지*, 28, 123-130.
- 전중균, 김형배. 1998. 주요 양식어류의 하절기 혈액성분 비교. *한국양식학회지*, 11, 547-556.
- 한국해양연구소. 1988. 연어·송어류 양식기술개발에 관한 연구. BSPG 00066-202-3. 187p.
- Clarke, W.C. and J.E. Shelbourn. 1985. Growth and development of seawater adaptability of juvenile fall chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) in relation to temperature. *Aquaculture*, 45, 21-31.
- Fevolden, S.E., R. Nordmo, T. Refstie, and K.H. Røed. 1993. Disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*)

- selected for high or low responses to stress. *Aquaculture*, 109, 215-224.
- Fevolden, S.E. and K.H. Røed. 1993. Cortisol and immune characteristics in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) selected for high or low responses to stress. *J. Fish Biol.*, 43, 919-930.
- Franklin, C.E., M.E. Forster, and W. Davison. 1992. Plasma cortisol and osmoregulatory changes in sockeye salmon transferred to sea water: Comparison between successful and unsuccessful adaptation. *J. Fish Biol.*, 41, 113-122.
- Hanke, W., S.A. Hegab, H. Assem, B. Berkowsky, A. Gerhard, O. Gupta, and S. Reiter. 1992. Mechanisms of hormonal action on osmotic adaptation in teleost fish. p. 315-326. In: *Fish in Ecotoxicology and Ecophysiology*. eds. by T. Braunbeck, W. Hanke, and H. Segner, VCH Verlagsgemeinschaft, Weinheim.
- Hattingh, J. and A.J. Van Pletzen. 1974. The influence of capture and transportation on some blood parameters of freshwater fish. *Comp. Biochem. Physiol.*, 49A, 607-609.
- Hoar, W.S. 1988. The physiology of smolting salmonids. p. 275-343. In: *Fish Biology, Vol. XIb*. eds. by W.S. Hoar and D.J. Randall. Academic Press, New York.
- Mazeaud, M.M., F. Mazeaud, and E.M. Donaldson. 1977. Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 106, 201-212.
- Nikinmaa, M., A. Soivio, T. Nakari, and S. Lindgren. 1983. Hauling stress in brown trout (*Salmo trutta*): physiological responses to transport in fresh water or salt water, and recovery in natural brackish water. *Aquaculture*, 34, 93-99.
- Olla, B.L. and M.W. Davis. 1992. Comparison of predator avoidance capability with corticosteroid levels induced by stress in juvenile coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 121, 544-547.
- Pickering, A.D., T.G. Pottinger, J.P. Sumpter, J.F. Carragher, and P.Y. Le Bail. 1991. Effects of acute and chronic stress on the levels of circulating growth hormone in the rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 83, 86-93.
- Salonius, K. and G.K. Iwama. 1993. Effects of early rearing environment on stress response, immune function, and disease resistance in juvenile coho (*Oncorhynchus kisutch*) and chinook salmon (*O. tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 759-766.
- Schreck, C.B., A.G. Maule, and S.L. Kaattari. 1993. Stress and disease resistance. p. 170-175. In: *Recent Advances in Aquaculture IV*. eds. by J.F. Muir and R.J. Roberts. Blackwell Sci. Pub., Oxford.
- Shikata, T., D. Kheyyali, and S. Shimeno. 1993. Effect of feeding rates on hepatopancreatic enzymes and body composition in common carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 59, 835-839.
- Specker, J.L. and C.B. Schreck. 1980. Stress responses to transportation and fitness for marine survival in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) smolts. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 765-769.
- Vijayan, M.M. and T.W. Moon. 1992. Acute handling stress alters hepatic glycogen metabolism in food-deprived rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49, 2260-2266.
- Wedemeyer, G.A., R.L. Saunders, and W.C. Clarke. 1980. Environmental factors affecting smoltification and early marine survival of anadromous salmonids. *Mar. Fish. Rev.*, 42, 1-14.

Received May 20, 2004

Accepted Sep. 8, 2004