

무지개송어(*Onchorhynchus mykiss*)의 해수 적응 능력 개선을 위한 식염사료의 적용

김병기, 김유희*, 전중균¹

강원도립대학 해양생물자원개발과, ¹강릉대학교 해양생명공학부

Use of Dietary Salt to Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) for Increasing Seawater Adaptability

Pyong-Kih Kim, Youhee Kim* and Joong-Kyun Jeon¹

Department of Marine Bio-resources, Gangwon Provincial University, Gangneung 210-804, Korea

¹Faculty of Marine Bioscience and Technology, Kangnung National University, Gangneung 210-702, Korea

One 30-day feeding trial was conducted to examine the effects of dietary salt on seawater adaptability of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed three experimental diets containing 0% (control), 4% and 8% salt. The experimental period included 30 days of feeding trial in freshwater, 3 days of the step by step seawater acclimation without feeding diets, and 21 more days of seawater adaptation period (not with all experimental fish) with feeding the basal diet. Growth rates from triplicate groups were determined for 30 days of feeding trial. Blood samples were taken at the beginning and at the end of feeding trial, and 3 times (on 1st, 4th and 8th day) of the seawater adaptation period. Daily survival rates of duplicate groups from three experimental treatments were recorded for 21 days of the seawater adaptation period. Total average initial and final fish weight were 149.5 ± 7.6 and 187.1 ± 7.6 g. Feed efficiency of fish fed diets containing 4% and 8% salt were significantly better than those of fish fed the control diet. Average cumulative survival rates were 72, 80 and 88% from the control, 4% and 8% salt diets, respectively. Pulse rate per minutes decreased with dietary salt level. Serum Na^+ and Cl^- concentrations of fish fed 4% and 8% salt diets were significantly higher than those of fish fed the control diet ($P < 0.05$), however, the concentrations were stabilized after 8 days of seawater adaptation. Serum cortisol, glucose, cholesterol and tryglyceride concentrations, and the osmolarity of fish decreased with dietary salt level, these values were significantly lower than those of fish fed the control diet. These results indicated that the dietary supplementation of salt could have advantages for seawater adaptability of rainbow trout.

Keywords: Rainbow trout, Seawater adaptation, Dietary salt, Blood samples

서 론

무지개송어는 연어과 어류와 달리 해수 순치에 많은 시간이 소비되기 때문에 이 기간 중 수질 악화, 수온 변화, 장기간의 절식으로 인한 저항력 감소 및 이에 따른 스트레스로 인하여 많은 폐사가 유발된다(Pickerling et al., 1991; Schreck et al., 1993). 또한 해수로 옮긴 후에도 삼투압 쇼크로 인하여 성장이 지연되는 등의 문제점을 가지고 있다(Mckay and Gjerde, 1985). 이러한 문제를 해결하기 위한 방법 중의 하나는 해수 순치가 이루어지기 전에 담수에서 식염사료를 공급하는 일이다(Bath and Eddy, 1979). 식염사료 공급에 따른 효과는 여러 저자에 의해 밝혀져 있으나(Jackson, 1977; Jackson, 1979; Zaugg et al., 1983),

무엇보다도 순치에 따른 폐사의 감소와 순치후의 삼투압을 효율적으로 극복하게 하여 해상 사육 초기의 성장을 크게 향상시킬 수 있다는 점이다.

해수 순치 시 무지개송어는 조직 탈수가 일어나고 그 결과 해수 섭취량이 증가됨으로 혈중 삼투질 농도가 크게 증가한다(Bath and Eddy, 1979). 그 이후 정상적인 혈액 이온 농도를 유지하기 위해서 많은 에너지가 필요하고, 이에 따른 스트레스가 증가하게 된다(Ricker, 1979). 스트레스를 받게 되면 1차적으로 호르몬이 반응하게 되어 코르티코스테로이드(corticosteroid)와 카테콜라민(catecholamines)이 분비되며, 2차적 반응이 혈액 내에 일어나게 된다. 즉, 백혈구 세포 및 근육단백질 감소, 혈중 Na^+ 나 Cl^- 같은 전해질 균형 파괴, 혈액중 glucose 및 lactate 농도 등 여러 가지 생리적·생화학적 변화가 일어나게 된다(Mazeaud et al., 1977). 이와 같이 해수 적응 시 어류의 혈중 전해질 농도는

*Corresponding author: youheekim@hanmail.net

이들의 해수 적응 능력에 따라 그 값의 변동이 크다. 따라서 해수 순치 시 실험 어류가 변화된 환경에 얼마나 효과적으로 적응하는지를 알기 위해서는 순치 기간 또는 그후의 생존율뿐만 아니라 어류의 혈액 내 전해질의 농도 변화를 연구하면 더욱 효과적으로 적응 능력을 평가할 수 있다.

그러나 무지개송어의 해수 순치에 있어 식염사료를 이용한 기존의 연구는 혈중 전해질 농도 변화와 순치 어류의 생존율과 관련하여 연구한 경우는 있으나(Bath and Eddy, 1979), 연안 수온의 계절적 변화 등으로 인하여 해상 사육 기간이 짧은 지역에서 단기간에 큰 상품 크기로 성장시키는데 필요한 대형 해상 사육 종묘를 대상으로 한 연구는 많지 않다. 본 연구는 무지개송어의 해수 순치 전후 식염사료 공급에 따른 성장, 혈액 성분 및 생존율 등을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어

실험 어류는 평균체중 149.5 ± 7.6 g 되는 무지개송어 (*Oncorhynchus mykiss*)를 강원도 원주에 위치한 송어양식장에서 구입하여 실험 개시 시까지 실내 순환여과 사육조(1.5톤 여과조 부착)에서 무지개송어용 상품 사료로 사육하였다. 사육 시설은 250 L 유리수조 4개가 연속으로 연결된 사육 시스템 3개조에 30마리씩 수용 실험하였다. 실험 기간 동안 각 사육 수조로 유입되는 물은 14.5 L/min이었으며, 사육 수온은 $15.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$, 용존산소 7.03 ± 0.03 mg/L, pH 6.65 ± 0.07 이었다.

사료 공급 및 해수순치

실험에 사용된 식염사료는 종류수에 필요한 양의 식염을 녹여 사료에 혼합될 수 있도록 사료와 충분히 섞은 다음 -30°C 냉동에 보관하였다가 필요한 양만큼 꺼내어 공급하였다. 실험에 대한 전체 설계는 Fig. 1에 나타내었다. A는 식염사료를 공급한 30일간, B는 해수에 순치시키는 3일간의 기간 그리고 C는 해수 순치 후의 기간으로 나누었다. A 기간동안 무지개송어용 배합사료를 기본사료로 한 대조구(단순히 수분 첨가), 식염 4% 첨가구, 8% 첨가구로 나누어 30일간 3반복으로 실험하였다. B 기간동안의 해수 순치는 30일간 식염사료 공급이 끝난 후 각 실험구의 어류를 3일에 걸쳐 1/3 씩 해수의 농도를 높여 순치 3일째 100%의 해수로 순치하였다. 해수순치 기간동안에는 절

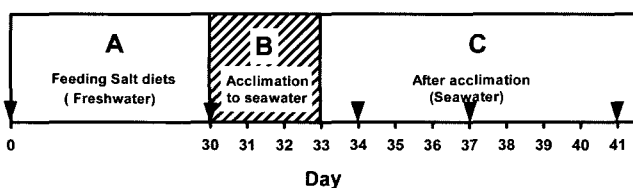


Fig. 1. Experimental design of rainbow trout transferred to seawater fed salt diets (▼: Sampling time for blood).

식시켰으며, 그 후 어류의 상태를 관찰하며 무지개송어용 상품 사료를 공급하였다.

성장, 생존율 및 호흡수 측정

어류의 성장을 측정하기 위해 실험 개시시와 30일째에 무게를 측정하여 성장 결과를 조사하였다. 해수 순치 후 생존율을 조사하기 위해 각 실험구의 2개의 반복구를 이용하여 21일간 각 실험구의 누적 생존율을 조사하였으며, 해수 순치 후 4일이 경과한 무지개송어를 대상으로 호흡수(pulse rate)를 측정하였는데 실험에 이용된 무지개송어는 별도의 분리된 유리수조에 수용하여 안정을 취한 후 1분간의 호흡수를 반복 측정하였다.

채혈 및 혈액 분석

혈액 분석을 위한 시료 채취는 실험 개시시, 식염사료 공급 30일 후, 해수 순치 후 1일, 4일, 8일에 생존율 측정을 위해 사용된 반복구를 제외한 나머지 사육조에서 3마리씩 채혈하였다(Fig. 1). 실험 어류는 24시간 동안 절식한 후 마취하지 않은 상태로 미부 대정맥으로부터 채혈하였다. 혈액은 1시간 상온에 방치한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심 분리한 혈청으로 전해질 농도 분석에 이용하였다. 스트레스 반응을 분석하기 위한 1차 내분비 스트레스 반응의 지표로는 cortisol을 조사하였다. Cortisol은 전 등(2000)과 같이 혈청 50 μl 를 사용하여 검체내의 항원과 124I로 표식한 항원이 양(羊)에서 만든 항코티졸 항체의 한 정된 결합부위에 결합하려고 경쟁적으로 반응하는 것을 이용한 시판용 Kit (Amerlex Cortisol RIA Kit, Kodak Clinical Diagnostic Ltd., Amersham, U.K.)를 이용하여 γ -counter (Wizard 1470, Wallac Co., U.S.A.)로 정량하였다. 2차반응의 지표로는 혈당(glucose, GLC)을 비롯하여 젖산(lactate, LAC), 콜레스테롤(cholesterol, CHOL)과 중성지방(triglyceride, TG), 전해질(sodium, Na^+ ; chloride, Cl^-) 등을 혈액성분분석기(KODAK EKTACHEM DT II SYSTEM, U.S.A.)로 분석하였다. 혈중 삼투질농도는 전 등(2003)과 같이 혈액을 채혈후 30분간 실온에서 방치하였다가 원심분리(3,000 rpm, 10분)를 한 다음 상등액인 혈청을 사용하여 micro osmometer (μ OsmetteTM, Precision System, U.S.A.)로 삼투질 농도를 측정하였다.

통계처리

통계 처리는 Computer program STATISTIX FOR WINDOWS 2.0 (Analytical Software, USA)를 사용하였으며, ANOVA test를 실시하여 최소 유의차 검정(LSD)으로 평균 간의 유의성($p < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

식염사료 공급에 따른 성장 효과

평균 체중이 149.5 ± 7.6 g인 무지개송어를 실내 수조에서 사

Table 1. Growth of rainbow trout fed salt diets for 30 day¹

Division	Dietary NaCl (% dry weight)		
	Control	4%	8%
Initial av. wt. (g)	151.42±8.76 ^a	149.11±9.76 ^b	147.73±6.71 ^b
Final av. wt. (g)	187.20±8.50 ^{ns}	186.94±10.56	187.12±5.94
Weight gain (g)	1034.62±44.67 ^b	1096.87±23.10 ^a	1102.83±46.90 ^a
DFR ² (%)	1.50±0.02 ^b	1.49±0.01 ^c	1.54±0.01 ^a
DGR ³ (%)	0.72±0.05 ^b	0.75±0.03 ^a	0.80±0.05 ^a
Feed efficiency ⁴ (%)	48.9±2.15 ^b	51.8±1.69 ^a	52.1±2.68 ^a

¹Values are mean±SE of triplicated group of fish. The values in each row with a different superscript are significantly different (P<0.05).

²Daily feeding rate=feed intake×100/[(initial fish wt+final fish wt)/2×days fed].

³Daily growth rate=(LN(final wt)-LN(initial wt))×100/ (T₂-T₁).

⁴Feed efficiency=fish wet weight gain×100/ feed intake (dry matter).

육한 결과는 Table 1에 있다. 30일의 사육기간 종료 후 실험어류는 187.1±7.4 g으로 성장하여 평균 1.25배 증가하였다. 실험 개시 시 대조구에 비해 평균 어체중이 작았던 처리구에서 실험 종료시 실험구간에 유의적 차이를 나타내지 않았다(P>0.05). 그러나 증중량을 비교해 보면 식염사료를 공급한 처리구가 더 높은 값을 보였다(P<0.05). 이 기간 동안의 사료 효율은 48.9~52.1%로 비교적 낮았으나 식염 첨가 비율이 증가하면서 효율이 향상되는 경향을 보였다. 또한 일일성장률은 0.72~0.80%로 사료효율과 같은 경향을 보였으며, 일일사료섭취량은 1.49~1.54%로 8% 식염 첨가구에서 가장 높은 사료 섭취율을 나타내었다(P<0.05). 해수 순치 시 사용되는 에너지양은 20~50%인 것으로 나타나고 있으며, 해수 순치 시 염분으로 인한 사료섭취와 사료전환에 장애를 가지는 것으로 알려져 있다(Boeuf and Payan, 2001). 그러나 이상의 결과와 같이 해수 순치를 용이하기 위하여 실시하는 순치 전 식염사료 공급은 8%의 식염을 첨가할 경우 사료의 기호도에는 문제가 없었으며, 성장에는 해가 되는 부분보다 오히려 성장이 개선되는 효과가 있었다.

해수 순치에 따른 무지개송어의 생존율 및 호흡수의 변화
 실험구별 해수 순치에 따른 21일간의 생존율 변화는 Fig. 2에 나타내었다. 3일간 100% 해수로 순치한 후에 생존율을 조사한 결과, 식염사료의 공급에 따라 변화가 뚜렷하였는데, 모든 실험구에서 순치 후 3~5일부터 폐사가 발생하기 시작하였다. 그러나 식염 4와 8% 실험구는 순치 후 각각 13일 및 15일에 폐사가 종료하여 생존율이 각각 88%로 안정되었다. 반면, 대조구 및 4% 식염 첨가구는 각각 14일과 13일에 폐사가 종료되었고, 생존율은 각각 80% 및 88%로 안정화 되었다. 그러나 대조구는 20일째에도 여전히 폐사가 진행되었고, 생존율은 72% 수준으로 첨가구보다 상당히 낮은 값을 보였다. 대부분의 해상 사육 종묘는 해수 순치 과정 동안 삼투압 쇼크로 인하여 많은 양이 폐사하고, 동시에 해상 사육 초기에 성장률이 크게 하락하는 것이 일반적이다. 또한 순치 후의 폐사 원인인 스트레스와 질병 저항성이 크게 떨어지는 문제를 해결하기 위하여 일부 어장에서는 식염사료 공급과 동시에 비브리오의 백신 접종을 실

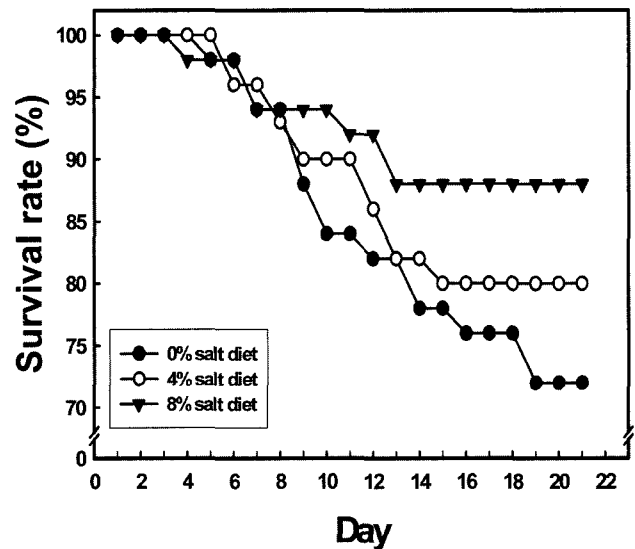


Fig. 2. Cumulative survival rates of rainbow trout after acclimation from freshwater to full strength of seawater for 21 days.

시하여 폐사율을 5% 미만으로 유지하는 일도 있다. Uno (1989)에 의하면 142 g되는 무지개송어를 100% 해수에 순치시킬 경우 3일 내에 전량 폐사하였고, 연어는 100% 해수에 순치시킬 경우 85%가 생존한 것으로 보고하였다.

한편 각 실험구에서 순치 후 4일 경과한 무지개송어를 대상으로 1분간의 호흡수를 측정된 결과는 Table 2에 있다. 담수에 남아 있는 어류와는 달리 해수로 적응된 어류는 잃어버린 몸의 수분을 보충하기 위하여 해수를 섭취하게 되는데(Kirsch et al. 1985), Na⁺와 Cl⁻과 같은 1가 이온은 장벽을 통해서 흡수하고(Kirsch and Meister 1982), 배설은 아가미를 통해서 하지만 다가 이온은 신장을 통해서 배설한다. 담수에서 해수로 옮겼을 때 중추신경계와 연결된 프로락티세포에서 해수 섭취량을 증가시키도록 한다(Boeuf and Payan 2001). 1분간의 호흡수(아가미 뚜껑의 박동수)는 식염사료 공급 농도가 높을수록 그 수가 줄어드는 경향을 보였는데, 대조구는 1분간 평균 119 회의 박동을 보인 반면, 식염 4%와 8% 첨가구는 각각 109회와 100회의

Table 2. Pulse rates of rainbow trout transferred from freshwater to full strength of seawater on the 4th day after seawater acclimation¹

Pulse rate	Dietary NaCl (% dry weight)		
	Control	4%	8%
No./min	119±15 ^{ns}	109±8	100±10

¹Values are mean±SE of triplicated group of fish.

평균 박동을 보여 유의적 차이는 없었으나 식염공급농도가 높을수록 감소하였다. 해수 순치 후 4일된 대서양 연어의 해수 섭취량은 7 ml/kg/hr로(Usher et al., 1988), 많은 양의 해수를 섭취한 결과로 소화물의 해수 함량이 높아져 결과적으로 질소의 소화율이 담수에 남아 있는 것보다 9~10%정도 낮은 것으로 보고하고 있어 순치가 적절하게 이루어지지 않을 경우 계속된 성장에도 직접적인 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 또한 대서양연어를 담수에서 해수로 0.1에서 3.88 ml/kg/hr로 증가하였으며, 해수에서 사육한지 10일째에 7.94 ml/kg/hr까지 증가하는 것으로 나타났다(Boeuf and Payan, 2001). 앞에서 언급한 식염 사료의 유용성 평가와 같이 본 연구에서도 순치 전 4와 8%의 식염사료를 30일간 공급한 결과 대조구보다 비교적 높은 생존율을 보여 식염사료의 첨가는 순치 시 생존율을 높이는데 효과가 있었다.

식염사료 공급 및 해수 순치에 따른 혈액 성상의 변화

해수 순치 시 갑작스럽게 해수로 순치되면서 어류는 삼투압 쇼크 상태에 놓이게 되고, 심하면 폐사하거나 스트레스에 노출되기도 한다. 이러한 결과는 초기 성장에 직접적인 영향을 미칠 수 있으며, 혈중 cortisol의 함량에 영향을 미치게 된다. 식염사료 공급 초기부터 5회에 걸쳐 혈중 cortisol의 함량을 조사한 결과는 Fig. 3과 같이 0.31~10.05 µg/dl를 나타내었으며, 해수 순치 후 0% 실험구에서 4일 및 8일째 가장 높은 값을 나타내었다. 특히, 모든 실험구에서 4일째에 cortisol 함량이 유의적으로 증가하는 것으로 나타났다($P<0.05$). 그러나 4%와 8% 실험구의 경우 대조구와는 달리 해수 순치 후 8일째에 cortisol의 함량이 유의적으로 감소하기 시작하여 3.23 µg/dl과 0.31 µg/dl을 각각 나타내어 해수 순치 전에 식염사료를 공급할 경우 스트레스의 정도가 경감됨을 알 수 있었다. Hong et al. (2004)에 의하면 은연어를 이용한 순치 실험에서 cortisol의 경우 순치 후 1~2일간 증가하다 그 후 하향 안정화하는 것으로 나타났으나 본 실험의 경우 4일째까지 증가한 후 하향 안정화되었다.

스트레스에 의한 2차적인 반응으로 혈중 전해질이나 여러 가지 혈액성상의 변화가 생기게 된다. 해수 순치시 혈중 전해질의 농도가 가장 민감하게 변화하는데, 혈중 전해질 중 Na^+ 의 경우 8% 식염사료를 공급한 뒤 순치시킨 실험구에서 가장 낮게 나타났으며($P<0.05$), 각 측정 시기인 사료 공급 후 30일, 해수 순치 1일, 해수 순치 후 4일 및 해수 순치 후 8일째 각 실험구 별 혈중 Na^+ 양은 항상 유의적으로 높게 유지되었으며($P<0.05$), 8% 실험구가 가장 낮은 값을 보였다($P<0.05$). 식염사료를 0%,

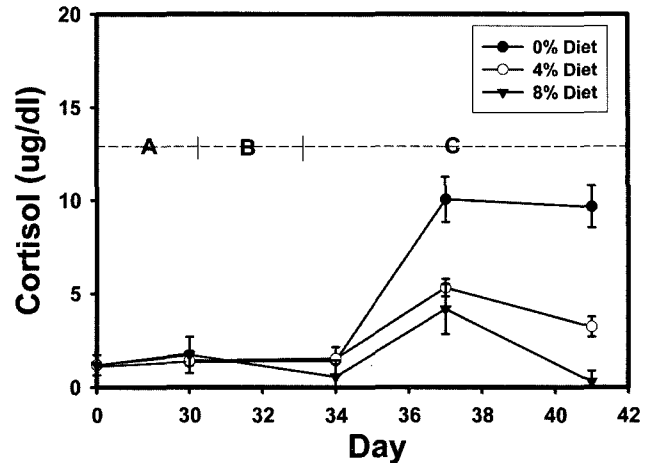


Fig. 3. Changes of serum cortisol of rainbow trout after acclimation from freshwater to full strength of seawater with fed the different salt diet.

및 8%의 식염을 첨가하여 공급한 실험구의 경우 어류의 혈중 Cl^- 는 해수 순치 4일째 최대값을 보였다가 해수 순치 8일째에 유의적으로 감소하였으나($P<0.05$), 0% 사료구의 경우 순치 후 Cl^- 값이 점차 증가하는 것으로 나타났다($P<0.05$). 혈청중의 전해질 농도 변화는 해수 순치 기간 중의 적응 현상을 효과적으로 규명할 수 있는 중요한 지표가 되는데(Uno 1989), 연어과 어류의 경우 스몰트화 시기에 도달하면 혈중 이온의 농도가 증가하고, hematocrit 값이 떨어지는 것과 같이 혈액의 조성이 변화하게 된다.

해수에 적응이 완료된 대서양연어 스몰트 혈액의 전해질 농도를 보면 Na^+ 137~171 mmol/L, Cl^- 124~147 mmol/L 수준을 유지하는 것으로 보고하고 있다(Bergheim et al., 1990). 본 연구의 경우 실험기간 동안의 혈중 Na^+ 농도는 110~205 mmol/L 수준을 유지하였고, 4% 및 8% 식염 공급구는 순치 후 8일째에 각각 169.4와 182.6 mmol/L 수준을 유지하여 위의 값보다 다소 높음을 알 수 있었다. 그러나 대조구는 그 값이 상승하여 순치 후 8일째에는 190.4 mmol/L에 도달하여 위에 제시한 값보다 높았다. 한편, 혈중 Cl^- 농도 범위는 85~172 mmol/L 정도였으며, 4% 및 8% 식염 공급구는 순치 후 4일째에 최대값을 보였고, 순치후 8일째는 각각 131.2와 103.0 mmol/L 수준으로 낮아져 위 결과보다 다소 낮은 값을 보였다. 그러나 대조구의 경우는 순치 후부터 지속적으로 그 값이 상승하여 순치 후 8일째에는 157.1 mmol/L에 도달하여 식염사료 공급구보다 다소 높게 유지됨을 알 수 있었다. Uno (1989)에 의하면 142 g되는 무지개송어를 12°C의 100% 해수에 순치시킬 경우 2일째 Na^+ 값이 210 mmol/L까지 상승하였고, 96 g의 무지개송어를 2.3~2.5%의 해수에 옮길 경우 48시간 후 Na^+ 값이 180 mmol/L 수준으로 높아진다고 보고하고 있다. 또한 연어는 12°C의 100% 해수에 순치시킬 경우 혈중 Na^+ 의 함량은 처음 며칠간 변화다가 147 mmol/L로 안정된 것으로 보고하고 있다. Maetz

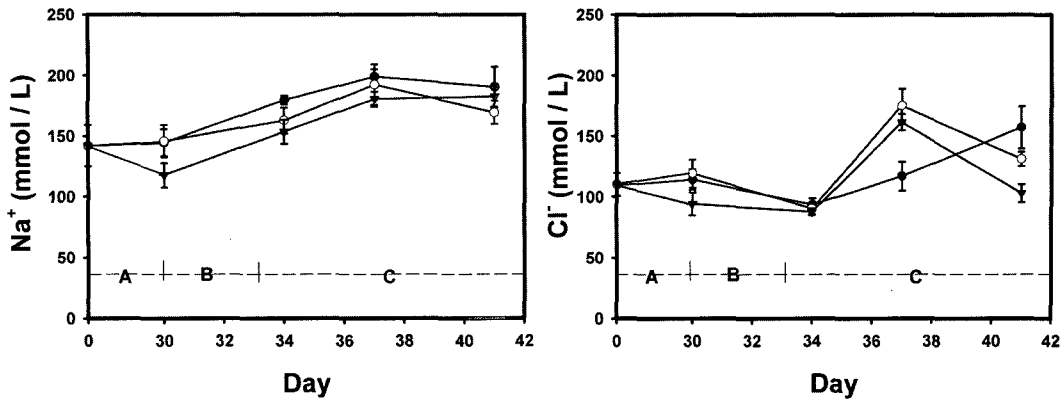


Fig. 4. Changes of serum sodium (Na^+) and chloride (Cl^-) concentration in ainbow trout after acclimation from freshwater to full strength of seawater with fed the different salt diet (●: 0% diet; ○: 4% diet; ▼: 8% diet).

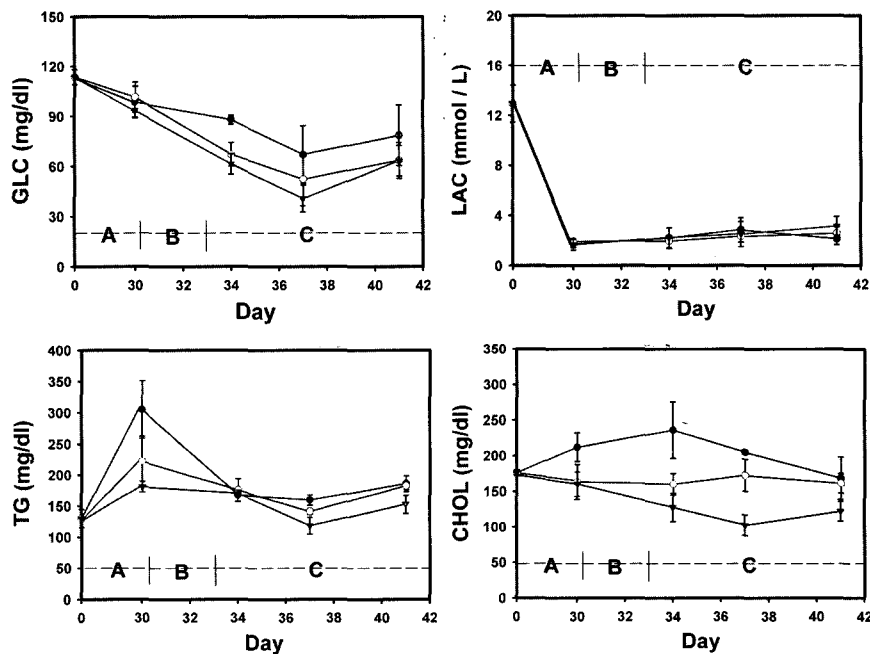


Fig. 5. Changes of serum glucose (GLC), tryglyceride (TG), lactate (LAC) and cholesterol (CHOL) concentration of rainbow trout after acclimation from freshwater to full strength of seawater with fed the different salt diet (●: 0% diet; ○: 4% diet; ▼: 8% diet).

(1971)에 의하면 식염사료를 공급 할 경우 아가미의 이온 배설 메카니즘이 활성화되어 순치가 쉬워지며, Zaugg and McLain (1969)는 담수에서 염류세포를 자극하여 해수에서 일찍 적응할 수 있다고 보고하고 있다. 나아가 Salman and Eddy (1990)는 순치 전 높은 농도의 식염을 섭취하면 해상 사육 시 사료 섭취 시기가 빨라지며, Na^+/K^+ -ATPase의 활성이 증가하고 염류세포 수가 증가하는 것으로 보고하고 있다.

혈중 GLC 함량은 54~118 mg/dl이 범위였으며(Fig. 5), 실험 개시보다 실험사료 공급후의 GLC 농도는 유의적으로 감소하였으며($P < 0.05$), 8% 식염사료를 먹인 무지개송어가 해수 순치 후 4일째에 가장 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 그리고 모든 실험 구에서 해수 순치 후 4일째에 까지 유의적으로 감소한 후 해수 순치 후 8일째에 다시 증가하는 것으로 나타났다($P < 0.05$). Hong

et al. (2004)은 은연어를 해수 중에 순치하였을 경우 순치 5일 째에 GLC의 농도가 2배 이상 증가한 뒤 안정되는 것을 보였다. 그러나 식염사료를 공급하였을 경우, 오히려 순치기간동안 GLC 농도가 감소하는 것으로 보아 식염사료의 공급으로 인한 영향임을 알 수 있다.

한편 혈중 LAC 양은 Fig. 5와 같이 실험 개시시 평균 12.95 mmol/L을 나타낸 후 유의적으로 감소한 다음 전 실험기간동안 유의적인 차이는 나타내지 않았다. 즉, 실험 개시시 LAC 값이 가장 높았으며, 모든 실험구에서 30일 공급 이후부터 유의적으로 낮아졌다($P < 0.05$). 그러나 순치기간 후의 변화는 거의 없었다($P > 0.05$). 은연어의 경우 해수 순치 전보다 해수 순치 후 점점 혈중 LAC 농도 감소하였는데(Hong et al., 2004), 본 실험에서 식염사료를 공급하였을 경우 순치기간과 이후에 거의 변

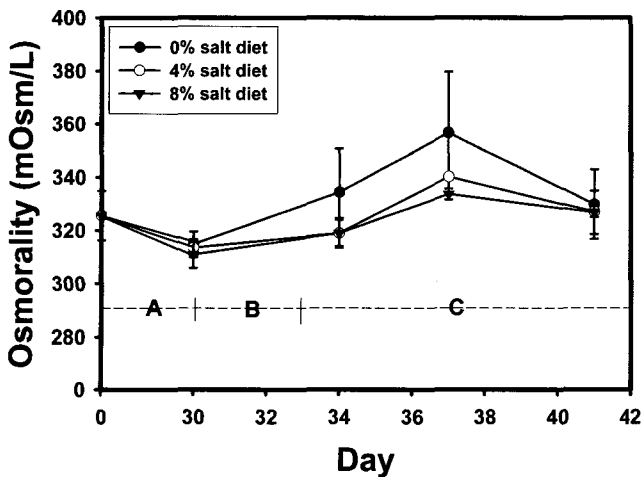


Fig. 6. Change of serum osmolarity of rainbow trout after acclimation from freshwater to full strength of seawater with fed the different salt diet.

화 없이 일정한 값을 나타낸 것으로 보아 식염사료 공급이 해수 순치로 인한 스트레스를 경감시킬 수 있는 것으로 여겨진다.

혈중 TG는 개시시보다 식염사료 공급 후 30일째에 증가하는 경향을 보였으며(Fig. 5), 특히 0% 실험구의 경우 가장 높은 값을 나타내었다. 그러나 TG 값은 해수 순치 후 모두 감소하였다. 그러나, 8% 공급구의 경우 전체 실험기간동안 다른 두 실험구인 0%와 4%에 비해 큰 변화를 보이지 않았다. 해수 순치 후 TG 농도가 감소하는 것은 은연어 해수 순치시 관찰된 결과와 비슷하였다(Hong et al., 2004). 혈중 CHOL 농도는 Fig. 5와 같이 전 실험기간동안 0% 실험구의 혈중 CHOL 농도가 높았고, 8% 실험구의 경우 해수 순치 후에 가장 낮게 나타났다($P < 0.05$). 0%와 4% 사료 공급구의 경우 실험기간동안의 유의적인 변화가 없었으나, 8% 실험구의 경우 해수 순치 후 1일째부터 실험 종료시까지 CHOL 농도가 유의적으로 낮아지는 것이 관찰되었다.

혈중 삼투질 농도는 실험 사료를 공급한 후 30일째에 가장 낮았으며(Fig. 6), 해수 순치기간 동안 증가하기 시작하여 4일째에 가장 높은 값을 나타내었다. 그러나 식염사료를 공급한 실험구의 경우 대조구에 비해서 삼투질 농도가 크게 변화하지 않고 안정되게 유지되는 것으로 나타났다. Jackson (1979)은 10% 식염사료를 순치 전 공급 할 경우 순치 후 혈중 삼투압 농도가 감소하고 폐사를 줄일 수 있는 것으로 보고하였다. 또한 해수 순치 시 삼투압의 불균형(osmotic imbalance)이 일어나면 plasma osmolality가 일어나고, 조직의 수분 감소 현상이 나타나 쉽게 폐사에 이르게 된다고 보고하고 있다(Bergheim et al. 1990).

국내에서 오랫동안 육봉화되어 해수 적응 능력이 크게 떨어져 있는 무지개송어의 기능 개선을 위해 본 연구의 내용을 토대로 순치 전 식염사료를 공급할 경우 순치 기간의 단축은 물론 해수로 순치시후 생존율을 향상시킬 수 있으며, 초기 사료 섭취를 도와 무지개송어의 단기 양성시 성장을 향상에 도움이 될 것으로 사료된다.

결론

무지개송어의 해상 사육을 위한 해수 순치 시 일어나는 문제점을 해결하기 위해 식염사료를 해수 순치전 공급하여 성장률, 혈액성상 및 생존율을 조사하였다. 해수 순치 전 30일간 식염사료 0%, 4% 및 8%를 공급하여 실내 수조에서 사육한 결과 평균 149.5 ± 7.6 g 인 어류가 187.1 ± 7.4 g으로 성장하였으며, 식염 첨가 비율이 증가할수록 사료효율이 향상되는 경향을 보였다. 생존율의 경우 식염사료 공급구가 88%로 대조구 72%에 비해 높게 나타났으며, 폐사개체 발생이 식염사료 공급구에서는 13~14일째에 종료되었으나 대조구의 경우 20일째에도 폐사개체가 발생하였다. 1분간의 호흡수(아가미 뚜껍의 박동수)는 식염사료 공급 농도가 높을수록 그 수가 줄어드는 경향을 보였다.

식염사료를 공급한 결과 혈중 Na^+ 와 Cl^- 농도는 대조구와 허다한 양상을 보이고, 순치 후 8일째에 쉽게 안정화됨을 알 수 있었다. 식염사료를 공급하였을 경우 실험기간동안 cortisol, GLC, TG, CHOL, Osmolarity는 대조구와 비교하여 낮게 나타났으며 식염함량이 높을수록 낮은 값을 나타내었다. 반면 LAC의 경우 식염사료 공급 후 그 수치가 낮아졌으나 실험구간의 차이는 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- Bath, N. R. and F. B. Eddy, 1979. Salt and water balance in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) rapidly transferred from freshwater to seawater. J. Exp. Biol., 83, 193-202.
- Bergheim, A., F. Kroglund, D. F. Vantne and B. O. Rosseland, 1990. Blood plasma parameters in farmed atlantic salmon (*Salmo salar* L.) transferred to sea cages at age eight to ten months. Aquaculture, 84, 159-165.
- Boeuf, G. and P. Payan., 2001. How should salinity influence fish growth? Comp. Bio. Physio. Part C, 130, 411-423.
- Hong, K.-P., P.-K. Kim, J.-K. Jeon, Y. Kim, Y.-J. Park, J.-G. Myoung and J. M. Kim. 2004. Serum stress responses during seawater acclimation in coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. Ocean Polar Re., 26, 433-438.
- Jackson, A. J., 1977. Reducing trout mortality after seawater transfer. Fish Farm. Int., 4, 31-32.
- Jackson, A. J., 1979. Acclimatization of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) to seawater. Ph. D. Thesis, University of Stirling, Great Britain, 162 pp.
- Kirsch, R. and M. F. Meister, 1982. Progressive processing of ingested water in the gut of seawater teleosts. J. Exp. Biol., 98, 67-81.
- Kirsch, R., W. Humbert and V. Simoneaus, 1985. The gut as an osmoregulatory organ: comparative aspects and special references to fishes. (in) R. Gilles and M. Gilles-Baillien (ed.), Transport Processes, Iono and Osmoregulation. Springer Verlag, Berlin, pp. 265-277.
- Maetz, J., 1971. Fish gills: mechanisms of salt transfer in freshwater and seawater. Phil. Trans. R. Soc. Lond., B262, 209-249.

- 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. Ame. Fish. Soc.*, 106, 201–212.
- Mckay, L. R. and B. Gjerde, 1985. The effect of salinity on growth of rainbow trout. *Aquaculture*, 49, 325–331.
- Pickering, A. D., T. G. Pottinger, J. P. Sumpter, J. F. Carragher and P. U. 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.
- Ricker, W. E., 1979. Growth rates and models. (in) W. S. Hoar and D. J. Randall (ed.), *Fish Physiology*, Vol. 8. Academic Press, London, pp. 678–743.
- Salman, N. A. and F. B. Eddy, 1990. Increased seawater adaptability of non-smolting rainbow trout by salt feeding. *Aquaculture*, 86, 259–270.
- Schreck, C. B., A. G. Maule and S. I. Kaattari, 1993. Stress and disease resistance. (in) J. F. Muir and R. J. Roberts (ed.), *Recent Advances in Aquaculture IV*. Blackwell Sci. Pub., Oxford. pp. 170–175.
- Uno, M., 1989. Seawater adaptability in autumn and freshwater adaptability in spring, in juveniles of several salmonid species. *Nip. Sui. Gak.*, 55, 191–196.
- Usher, M. L., C. Talbot and F. B. Eddy, 1988. Drinking in salmon smolts transferred to seawater and the relationship between drinking and feeding. *Aquaculture*, 73, 237–246.
- Zaugg, W. S. and L. R. McLain, 1969. Inorganic salt effects on growth, salty water adaptation and gill ATPase of Pacific salmon. (in) J. E. Halver and O. W. Neuhaus (ed.), *Fish in Research*. Academic Press, New York, pp. 293–306.
- Zaugg, W. S., D. D. Roley, E. G. Prentice, K. X. Goves and F. W. Waknitz, 1983. Increased seawater survival and contribution to the fishery of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) by supplemented dietary salt. *Aquaculture*, 32, 183–188.
- 小島, 傳泉, 孝行, 1985. 天然サクラマス幼魚のスマルト變態過程における海水適應能の變化. 北海道立水産孵化場研報, 40, 77–86.
- 전중균, 김병기, 명정구, 김종만, 2000. 그물작업에 의한 은연어 스트레스 반응. *한국수산학회지*, 33, 115–118.
- 전중균, 이지선, 손영창, 홍경표, 심원준, 김병기, 한창희, 2003. 노닐페놀을 주사한 조피볼 랍의 신장 MFO (mixed function oxidase)의 반응. *한국수산학회지*, 36, 573–577.

원고접수 : 2004년 12월 28일

수정본 수리 : 2005년 4월 12일