

## 산란을 위해 회유한 한국 연어 (*Oncorhynchus keta*) 지역개체군의 생화학적 특성

김수경\* · 성기백<sup>1</sup> · 이채성<sup>1</sup> · 김영대 · 김완기 · 조규태 · 전창영<sup>2</sup> · 공용근  
국립수산과학원 동해수산연구소, <sup>1</sup>영동내수면연구소, <sup>2</sup>방류종묘기술센터

### Biochemical Characteristics of Three Migratory Populations of Chum Salmon, *Oncorhynchus keta*, Spawning in Korea

Su Kyoung KIM\*, Ki Baik SEONG<sup>1</sup>, Chae Sung LEE<sup>1</sup>, Young Dae KIM,  
Wan Ki KIM, Qtae JO, Chang Young JEON<sup>2</sup> and Yong Geun GONG  
East Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangwon 210-861, Korea  
<sup>1</sup>Youngdong Inland Fisheries Research Institute, NFRDI, Gangwon 215-821, Korea  
<sup>2</sup>Marine Seed Releasing Technology Center, NFRDI, Chunnam 537-806, Korea

Nine biochemical characteristics of female *Oncorhynchus keta* subpopulations that migrate to three streams (Namdaechun, Myeongpachun, Oshipchun) in Gangwon, Korea, were evaluated during November 2006: aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, creatine kinase, triglyceride, cholesterol, glucose, hemoglobin, and urea in the blood and RNA/DNA in muscle. The three subpopulations were identical morphologically, but differed in their biochemical characteristics. The RNA/DNA ratio could be useful for distinguishing the subpopulations. RNA/DNA ratios of the Namdaechun and the Myeongpachun and Oshipchun subpopulations were  $3.52 \pm 0.7$  and  $2.9 \pm 0.7$  and  $2.4 \pm 0.8$ , respectively. The difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). By contrast, the blood parameters were somewhat ambiguous.

Key words: Chum salmon, Blood characteristics, Enzyme, RNA/DNA ratio

#### 서론

연어, *Oncorhynchus keta*는 서태평양 한국 북쪽에서 넓게 분포하여 러시아 북극해 연안까지 그리고 미국 북부해역에서부터 Oregon남쪽에 이르기 까지 지리적으로 광범위하게 장거리를 회유하며 지역적인 개체군들이 세분화되어 있는 것으로 알려져 있다 (Groot and Margolish, 1991; Salo, 1991). 회귀본능이 강한 연어는 2-5년 정도 바다에서 성장을 한 후 산란지역의 강이나 하천으로 돌아오는데 이런 특성이 지역개체군에 따라 유전적인 격리현상이 일어나게 하는 요인으로 알려져 있다 (Yoon, 2007). 한국에서는 연어자원 증강 사업이 1967년부터 시작이 되어왔으며, 영동내수면연구소가 1984년에 건립이 됨에 따라 2007년 현재까지 약 2억8천만 마리의 어린연어를 방류하는 등 적극적인 자원조성을 하고 있다. 그러나 방류에 따른 연어 어미의 회귀율은 연도별로 차이를 보여 0.1-0.5% 범위로 집계되었다 (영동내수면연구소, personal communication). 우리나라 회귀 연어 포획량과 방류량은 각각 1997년과 1999년까지 꾸준한 증가추세를 보였으나 2000년도에 이르러 급격한 감소추세를 보이고 있으며 (Fig. 1), 연안개발에 따른 연어 소상하천의 파괴, 동해안 해양수온 상승, 환경오염 등 다양한 원인이 작용하는 것으로 판단된다. 이러한 연어자원유지의 불리한 여건속에서도 산란을 위한 모천회귀율을 높이기 위해서는 하천 및 연안의 유지 및 관리가 중요시 되고 있으나

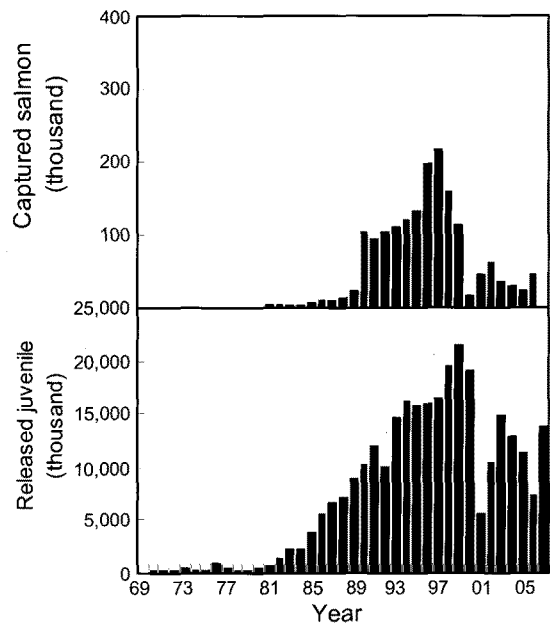


Fig. 1. Yearly variation of numbers of chum salmon juveniles released from and adults captured at the East Inland Fisheries Research Institute, Korea.

이에 관한 연구는 아직 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 대표적인 방류지역으로 총 방류량의 67.2%를 차지하고 있는 세 지역 하천의 연어어미의 생화학적

\*Corresponding author: skkim@nfrdi.re.kr

특성을 조사하여 지역에 따른 개체군간에 차이가 존재하는지를 4가지 주요 요소들로 구분하여 분석 하였다. 영양학적 요소로 근육내 RNA/DNA 농도, 조직 손상정도를 나타내는 지표로 alanine aminotransferase, aspartate aminotransferase와 creatine kinase, 지질대사능력의 지표로 triglycerides와 cholesterol, 스트레스의 지표로 glucose, 그리고 그 이외의 지표로 hemoglobin과 urea를 측정하였다. 회귀본능이 강한 어미연어 지역개체군의 생화학적 특성을 파악하면 차후 치어의 방류 적정지역의 선정에 기초자료로 제시하여 회귀를 향상을 목표로 하였다.

## 재료 및 방법

### 시료채취

강원도 고성군 명파천, 양양군 남대천, 삼척시 오십천에서 산란을 위해 회유한 연어어미 30마리씩을 2006년도 11월 21-23일까지 수집하여 현장에서 가랑이 체장과 무게를 측정하였고, 꼬리부분의 미부정맥에서 헤파린 처리를 한 3 mL 주사기로 채혈을 하고 얼음을 채워 신속하게 실험실로 이송을 한 후, 혈액 내 효소들과 그 이외의 생화학적 특성을 조사하였다.

### 혈액분석

채혈한 전혈을 혈액자동분석기 (Reflotron, Beringher Mannheim, Germany)를 이용하여 3가지 효소, aspartate aminotransferase (AST; EC 2.6.1.1), alanine aminotransferase (ALT; EC 2.6.1.2), creatine kinase (CK; EC 2.7.3.2)와 그 이외에 glucose, hemoglobin, urea, cholesterol, triglyceride를 Roche 분석키트 (Germany)로 분석하였다. 각 분석항목의 측정값은 평균과 표준오차로 표시하였다.

### RNA/DNA 측정

핵산 분석은 Clemmesen (1994) 과 Belchier et al. (2004)의 분석법을 변형하여 형광광도법으로 Microplate reader (Ascent FL, Thermo Electronic Co., Germany)를 사용하여 측정하였다 (Kim et al., 2005). 등지느러미 밑부분의 근육을 채취하여 동결 건조한 후 (-50°C, 24 hr), 무게를 측정하여 Tris-ethylenediaminetetraacetic acid (TE; 5 mM Tris-HCl, 0.5 mM EDTA, pH 7.5)+0.01% SDA (Sodium dodecyl acrylamide, Merck, Germany) 용액 400 µL에 넣고 수동마쇄기 (hand pestle; Retsch Qiagen, USA)로 얼음위에서 30초 동안 분쇄를 하였다. 그 후 4°C, 6,000 rpm에서 8분간 원심분리 (Centri-Micro 17 TR, 한일, 한국)를 하였고 상등액으로 핵산분석을 하였다. 형광염색액으로는 ethidium bromide (EtBr, Sigma)을 사용하였으며 20 µL RNase를 첨가하여 분해한 후 형광량의 차이를 DNA양으로 추정하였다.

### 통계처리

모든 측정시 one way ANOVA로 유의성을 확인 한 후 각

실험구간의 차이를 Turkey's honest significant test (Statistika, Germany)로  $p < 0.05$ 의 범위에서 검증하였다.

## 결 과

### 형태학적 특성

명파천, 남대천, 오십천에서의 연어 어미개체군의 가랑이 체장과 중량을 Fig. 2에 나타내었다. 명파천 개체군의 가랑이 체장은  $59.6 \pm 5.1$  cm, 남대천은  $59.5 \pm 4.0$  cm, 오십천은  $59.4 \pm 6.7$  cm로 매우 근사한 값을 보였으며 통계학적 검사결과 차이가 없는 것으로 나타났다. 전중은 남대천  $2.2 \pm 0.7$  kg, 명파천  $2.1 \pm 0.5$  kg과 오십천이  $2.2 \pm 0.7$  kg으로 가랑이 체장과 동일하게 통계학적으로 차이를 보이지 않았다.

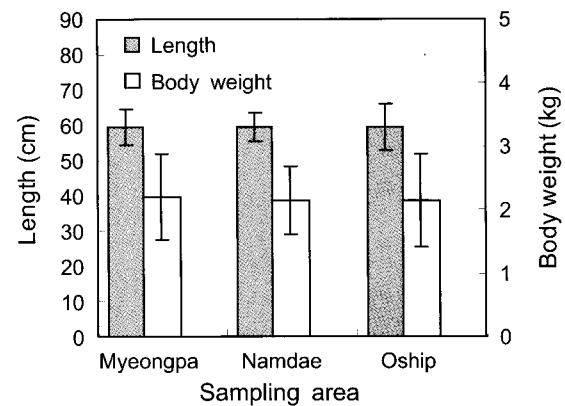


Fig. 2. Fork length and body weight of adult females of the chum salmon captured at the east streams of Korea. Error bars indicate standard deviation. Myeongpa, Myeongpachun population; Namdae, Namdaechun population; Oship, Oshipchun population.

### RNA, DNA 농도 및 비율

RNA 평균농도는 남대천 연어 개체군의 경우 가장 높은 값인  $2.2 \pm 0.5$  µg/mg을 보였으며 명파천과 오십천의 경우는 각각  $1.3 \pm 0.5$  µg/mg과  $0.8 \pm 0.2$  µg/mg을 나타냈다. DNA는 세 지역의 개체군에서 매우 유사한 농도인 명파천  $0.5 \pm 0.3$  µg/mg, 남대천  $0.6 \pm 0.1$  µg/mg과 오십천에서  $0.4 \pm 0.1$  µg/mg으로 나타났다. 건강도 판정의 지표가 되는 R/D의 비율은 남대천 개체군에서 가장 높게 나타나  $3.52 \pm 0.7$ 을 기록하였으며 명파천  $2.9 \pm 0.7$ , 오십천  $2.4 \pm 0.8$ 로 나타났다 (Fig. 3). 통계학적 검사결과 남대천의 개체군은 명파천과 오십천의 개체군과는 RNA농도와 R/D비율에서 차이를 보였으나 명파천과 오십천의 연어 개체군 사이에는 차이가 없는 것으로 검증되었다.

### 혈액학적 특성

세 지역 연어 어미개체군의 혈액학적 특성을 Fig. 4에 나타내었다. AST는 남대천이  $1,061 \pm 237$  U/L로 세 지역중 가장 낮게 나타났으며 오십천이 가장 높은  $2,329 \pm 270$  U/L의 활성을 보였다. 통계학적 검사결과 명파천과 남대천의 AST 활성

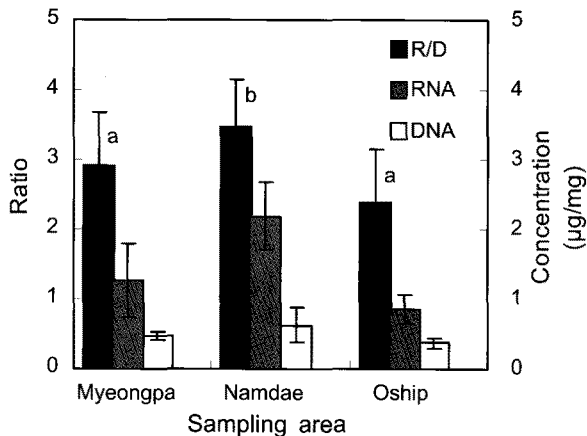


Fig. 3. Concentrations of RNA and DNA in dorsal muscle of chum salmon and its ratios as condition indexes. Data are presented by mean $\pm$ SD (n=90). Statistical analysis was followed by ANOVA test and Turkey's honest significant test,  $p < 0.05$ .

은 차이가 없는 것으로 조사되었으나 오십천의 연어개체군의 경우는 통계학적으로 차이가 존재하는 것으로 나타났다. ALT의 경우는 명파천과 남대천 개체군에서 각각 유사한 활성도인  $97 \pm 24$  U/L,  $95 \pm 21$  U/L를 보였다. 오십천 연어 개체군은 가장 낮은 활성도인  $77 \pm 4.2$  U/L의 수치를 보였지만 통계학적 검사 결과 다른 개체군들과 차이가 없었다. 혈액내 glucose의 농도를 보면 명파천과 남대천의 개체군들은 각각  $154 \pm 2.1$  mg/dL,  $157 \pm 3.6$  mg/dL로 유사한 값을 보인 반면 오십천의 개체군들은 평균  $80 \pm 14.4$  mg/dL의 낮은 수치를 기록하였다. CK의 활성은 glucose와 유사한 양상을 보여 명파천, 남대천 개체군들은 각각  $2.4 \pm 0.03$  mg/dL,  $2.4 \pm 0.07$  mg/dL, 오십천에서는  $0.5 \pm 0.12$  mg/dL의 낮은 값을 보였다. Hemoglobin의 농도는 명파천과 남대천에서 각각  $7.8 \pm 1.13$  mg/dL,  $9.1 \pm 0.04$  mg/dL로 남대천에서 다소 높은 값을 보였고 오십천의 개체군의 경우  $5.0 \pm 0.75$  mg/dL의 낮은 값을 보였으나 통계학적으로 차이를 보이지 않았다. 혈액내 요소(urea)의 경우는 명파천  $35.6 \pm 0.6$  mg/dL, 남대천  $32.3 \pm 1.12$  mg/dL 그리고 오십천에서  $20.0 \pm 0.69$  mg/dL의 농도를 보여 명파천과 남대천 개체군에서는 평균값에 차이가 없는 것으로 나타났으며, 오십천 개체군에서는 다른 지역의 수치와는 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다. 혈액내 중성지방인 triglyceride의 농도를 보면 명파천  $191.8 \pm 3.4$  mg/dL, 남대천  $178 \pm 6.01$  mg/dL, 오십천이  $72.5 \pm 0.72$  mg/dL로 나타났다. 그러나 통계학적 검사결과 명파천과 남대천 개체군간에는 평균값의 차이가 없었고 오십천과 두 개체군사이에는 차이가 있는 것으로 나타났다. 극성지방인 cholesterol의 혈액내 함량을 보면 명파천  $160.0 \pm 1.58$  mg/dL, 남대천  $178.0 \pm 6.01$  mg/dL, 오십천  $155.3 \pm 14.4$  mg/dL로 조사되었으며 세 지역 개체군사이의 평균값에 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 고 찰

다양한 해양생물에서 건강도를 판정하기 위하여 많은 요소들을 지표로 적용하여 왔으나 때로는 반응을 보이는 시간이 몇 분에서부터 몇 달까지 다양하게 존재함으로 적절한 요소들을 선택하는 것이 해양생물의 특성을 파악하는데 가장 중요하다고 볼 수 있다. 그중 핵산의 농도 및 비율을 건강도 지표로 하여 90년대 이후 많은 연구결과가 발표되고 있으며 환경자극에 의한 반응과 생식주기에 의한 생화학적 변화를 파악할 수 있는 지표로 제시 되었다 (Anger and Hirche, 1990; Kim et al, 2006). R/D의 비율을 지표로 이용하는 기본 원리는 핵산이 단백질 합성에 관여하며 그로 인한 성장과 연결 지을 수 있기 때문이다. 세포분화에 의한 생물내의 세포수의 변화는 핵속에 존재하는 DNA의 양이 체세포에서 비교적 일정하다는 전제하에 추정이 가능하며, RNA는 DNA로부터 리보솜에 유전정보를 운반하여 단백질합성을 가능하게 하는데 세포내 단백질 합성능력에 따라 그 양이 변화하기 때문에 그 비율을 지표로 사용하여 왔다 (Brachet, 1961). 어류 중 겨울철 또는 산란을 위한 장기간의 회유시 일정기간을 먹이를 섭취하지 않고 생존하는 종류들이 있다. 그 중 연어가 대표적이라 할 수 있는데, 우리나라의 연어개체군들은 태평양 서부 북쪽으로부터 연안을 따라 회유함으로써 본 연구에서 조사한 세지역의 개체군들의 회유거리는 오십천이 가장 길며 남대천, 명파천의 순서로 짧아진다 할 수 있다. 본 연구에서 일차적으로 외형적인 특성인 가랑이채장과 전중을 보면 명파천, 남대천, 오십천의 세지역의 연어 어미개체군에서 차이가 없음으로 유사한 건강상태로 추정할 수 있으나 근육내 RNA 농도와 R/D의 비율이 차이를 보임으로 연어들이 회유 경로에 따라 개체군들의 건강상태의 차이를 보였으며 남대천 지역의 연어어미들이 가장 양호한 상태로 판정되었다. 혈액학적 분석 중 아미노산 전이효소인 ALT와 AST의 수치변화는 간, 심장 및 근육 등의 조직 손상의 지표로 이용되어 왔다 (Sakamoto and Yone, 1978; Smith and Ramos, 1980). ALT는 간과 신장과 같은 특정장기가 손상되면 세포외로 유출되어 효소의 수치가 상승하고 AST는 세포질과 세포의 미토콘드리아에 모두 존재하며 손상 정도가 적은 경우에는 주로 세포질로부터 나오게 되며 미토콘드리아에서는 소량만이 유출이 되나, 조직의 심각한 손상이 있는 경우는 미토콘드리아에서 다량 유출이 되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 오십천 연어개체군의 경우 다른 지역 개체군과 비교하여 매우 높은 AST 활성을 나타내었고, 반면 간 특이적 효소인 ALT 활성이 명파천과 남대천 개체군들보다 비교적 낮은 수치를 보여 간 손상에 의한 효소의 증가보다는 근육의 손상 정도의 증가로 추정이 되었다. 글루코스는 해양생물의 주요에너지원으로 먹이섭취 유무와 계절적 변동, 스트레스에 대한 지표로 사용이 되어왔으며 (Telford, 1968; Lynch and Webb, 1973; Dean and Vernberly, 1965), 일시적인 스트레스를 받으면 catecholamine과 cortisol과 같은 호르몬의 증가로 에너지 요구가 증가함으로 혈액내 glucose수치가 증가하지만

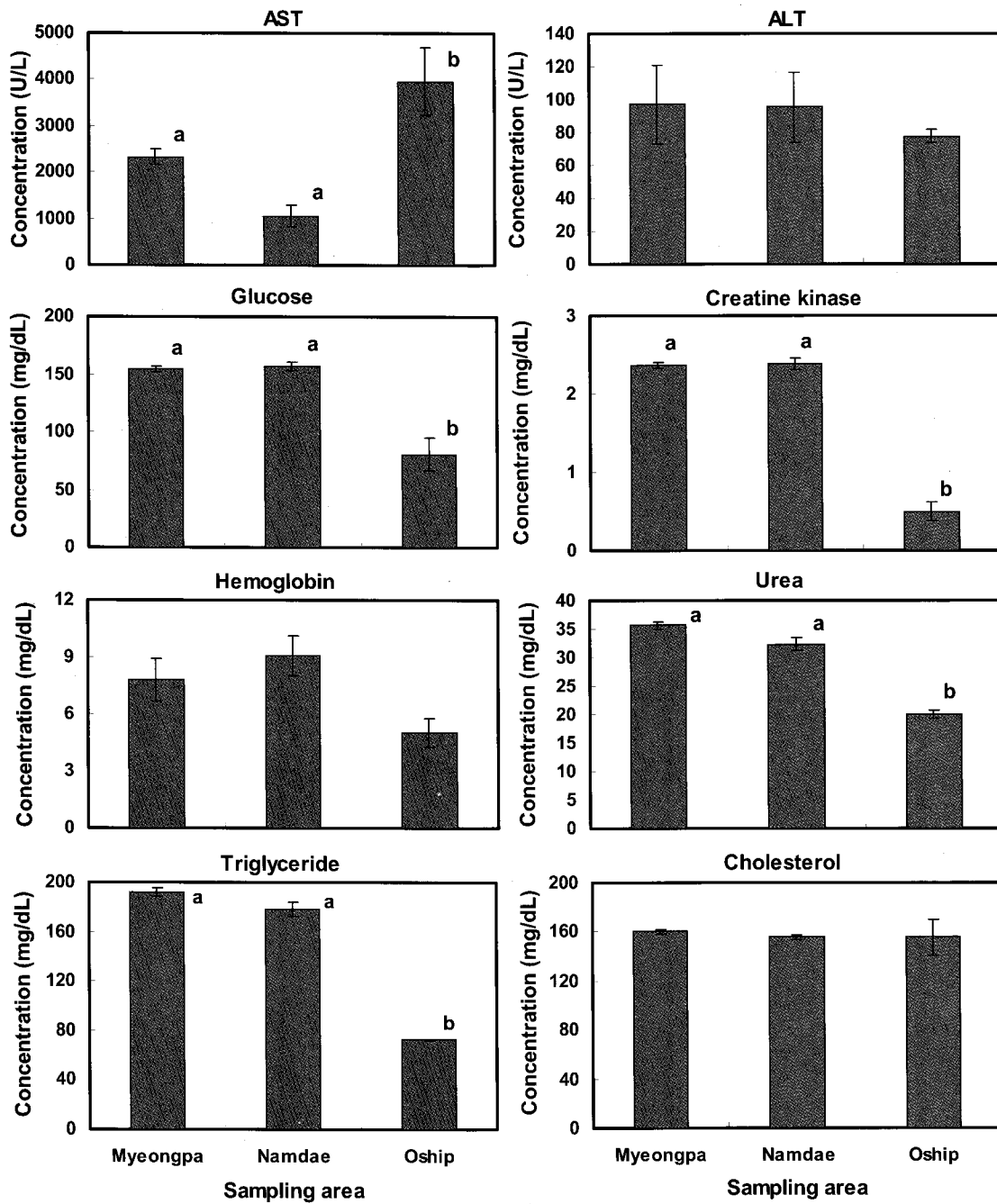


Fig. 4. Biochemical characteristics of blood from female adults of the chum salmon collected at three streams, Myeongpa, Namdae and Oship, in Korea. Error bars indicate standard error. Different alphabet in figures means statistical significance (ANOVA, Turkey's honest significant test,  $p < 0.05$ ).

(Clarkson et al., 2005), 많은 타 어종에서 장기간 먹이를 섭취하지 않은 경우에는 그 농도가 시간이 경과함에 따라 점차로 감소한다는 연구들이 발표되어 왔다 (Gaylord and Gatlin, 2000; Barton et al., 1988; Vijayan and Moon, 1992). 본 연구에서 명파천과 남대천 연어 개체군은 유사한 농도를 보인 반면 오십천 개체군이 유의적으로 낮은 값을 보여 회유시 더 많은 스트레스에 노출되고 장기간 먹이를 섭취하지 않음으로 간이

나 근육에 에너지원으로 저장되었던 글리코젠을 혈당으로 전환하여 소모하여 다른 지역 연어 개체군들 보다 더 낮은 수치를 보인 것으로 생각되었다. CK는 생체내 골격근, 심근, 뇌 및 평활근에 고농도로 존재하고 있다가 조직이 손상을 입으면 배출이 되어 혈청내 CK 활성 측정으로 효소가 많이 함유된 장기의 손상 또는 세포막의 투과성 변화를 파악할 수 있다 (Apple and Rhodes, 1988; Guglielmo et al., 2001). 이효

소는 ATP의 제공원으로 혈류를 따라 조직에 운반이 되는데, creatine을 creatine phosphate 화합물을 형성하도록 하며 많은 양이 존재하지는 않는다 (Smutná et al., 2002). CK의 농도가 증가 시 일반적으로 신장장애로 알려져 있으며 농도의 감소 시 단백질 이화작용의 증가로 판단이 되는데, 본 연구에서 명파천과 남대천 연어개체군에서는 유사한 농도를 보인 반면, 오십천 개체군에서는 매우 낮은 값을 보여 근육을 구성하고 있는 단백질 조직의 이화작용이 오십천 연어에서 증가된 것으로 추정 되었다. 또 다른 생리적인 지표로 에너지 저장 정도를 나타내는 극성지방에 대한 중성지방의 비율이 제시되고 있다 (Hentschel, 1998). 중성지방인 triglyceride는 에너지 저장원이며, 극성지방인 cholesterol 과 phospholipids는 세포막 내 구조를 형성하고 있어 생물의 크기를 나타내기도 한다. 본 연구에서 명파천과 남대천 어미 연어에서 높은 triglyceride의 양을 보였고, 오십천에서는 매우 낮은 농도를 보여 회유에 따른 에너지소비가 이 지역에서 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 콜레스테롤의 양이 세 지역에서 매우 유사하게 나타남으로 개체군의 크기가 일정하다는 위의 연구와 일치하였으며 본 연구에서도 생태학적 조사결과 세 지역 개체군들의 가량이 체장과 전중이 유사한 것으로 나타났다. 헤모글로빈 농도가 줄어들면 산소이용가능성이 줄고 근육 및 간에 저장되어 있던 글리코겐이 글루코스로 전환되어 사용이 되며 단백질 이화작용이 증가하는 등 대사작용의 변화를 초래하는 것으로 알려져 있다 (Dave et. al., 1975; Moon, 1983; Hochachka and Somero, 1984). 본 연구에서 헤모글로빈은 세 지역의 개체군의 평균값은 차이를 보였지만 개체간의 차이가 커서 통계학적 유의성은 없는 것으로 나타났다. 혈액내 요소의 농도는 경골어류에서 이온수송에 의한 삼투압 조절시 중요한 역할을 하여 왔으며 (Wright and Land, 1998) 농도가 감소하는 경우는 장기간의 공식에 의한 것으로 본 연구에서는 오십천 연어 개체군에서 농도가 더 낮은 것으로 나타나 세지역의 연어어미들에 관한 공식기간의 정보가 없는 상태에서 성육지인 북태평양에서 모친 회유시 이동거리와 환경의 영향을 받아 에너지 소비가 더 컸던 것으로 추정이 가능하였다. 모든 지표들을 종합하여 볼 때 혈액학적 소견으로는 명파천과 남대천의 개체군간의 차이는 없었으나 R/D 분석결과 남대천이 건강상태가 가장 양호하였으며, 오십천 연어 개체군의 경우 혈액내 글루코스의 농도와 근육의 R/D 비율이 감소하였고, 산란을 위한 회유시 장시간 먹이를 섭취하지 않음으로 에너지 소비가 극도에 달하여 육상동물에서와 같이 일차적인 주 저장 에너지원인 글리코겐을 글루코스로 전환하여 소비함으로 그 농도가 감소하였고, 중성지방인 triglyceride 농도가 낮았으며, 심지어는 이차적으로 근육내 단백질로부터 아미노산까지 소비하기에 이른 것으로 판단되었다. 이를 뒷받침하는 자료로 장기간 공식에 의한 근육 손상으로 발생하는 CK의 활성 감소를 들 수 있다. 명파천과 남대천 연어 개체군이 혈액학적으로 유사한 값을 보이고 통계학적 차이를 보이지 않으나 오십천 개체군과는

여러 지표들이 유의성을 보이는 이유는 매년 하천을 회유하는 산란기의 연어를 포획하여 종묘생산을 하며 지역적으로 치어를 방류하는 과정을 들 수 있다. 강원도 북부지역인 명파천, 남대천에서 수집된 어미로부터 생산된 치어들이 다시 이 지역을 중심으로 지속적으로 방류되고, 강원도 남부지역인 삼척의 연어개체군들과는 장기간 분리되어 생산 방류되어 왔음으로 다시 산란을 위해 회유하는 어미 또한 생화학적으로 지역적인 특성을 보이는 것으로 생각되었다. 그럼으로 회귀율 상승을 통한 연어자원증강을 위해서는 위와 같이 지역적인 환경특성과 지역 개체군들의 특성을 지속적으로 조사하여 어미로부터 유래하는 자어 또는 치어와의 영양상태의 상관관계를 밝히고 그로 인하여 생산된 종묘들의 방류 후 건강상태를 파악 할 수 있다면 좀 더 효과적인 방류계획을 수립할 수 있을 것으로 생각되었다.

## 사 사

본 연구는 국립수산물연구원 동해수산연구소 및 영동내수면연구소 경상과제인 “동해안 특산품종 개발” 및 “연어자원증강 및 보존연구”에 의하여 수행이 되었으며 (RP-2008-AQ-026), 시료 채집 및 분석에 도움을 주신 여러분께 감사의 드립니다.

## 참 고 문 헌

- Anger, K. and H.J. Hirche. 1990. Nucleic acids and growth of larvae and juvenile spidercrab, *Hyas araneus*. Mar. Biol., 105, 403-411.
- Apple, F.S. and M. Rhodes. 1988. Enzymatic estimation of skeletal muscle damage by analysis of changes in serum creatine kinase. J. Appl. Physiol., 65, 2598-2600.
- Barton, B.A., C.B. Schreck and L.G. Fowler. 1988. Fasting and diet content affect stress-induced changes in plasma glucose and cortisol in juvenile chinook salmon. Progr. Fish-Cult., 50, 16-22.
- Belchier, M., C. Clemmesen, L. Cortes, T. Doan, A. Folkvord, A. Garcia, A. Geffen, H. Hoje, A. Johannessen, E. Moksness, H. de Pontual, R. Ramirez, D. Schnack and B. Sveinsbo. 2004. Recruitment studies: manual precision and accuracy of tools. Techniques in Marine Environmental Sciences, No. 33, ICES, Copenhagen, Denmark, 1-35.
- Brachet, J. 1961. Nucleocytoplasmic interactions in unicellular organism. In: The Cell. Brachet. J. and A.E. Mirsky, eds, Academic Press, New York, USA, 771-841.
- Clarkson, K., J.D. Kieffer and S. Currie. 2005. Exhaustive exercise and the cellular stress response in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. Comp. Biochem.

- Physiol., 140A, 225-232.
- Clemmesen, C. 1994. The effect of food availability, age or size on the RNA, DNA content in individual measured herring larvae: laboratory calibration. *Mar. Biol.*, 118, 377-382.
- Dave, G., M.L. Johansson-Sjöbeck, Å. Larsson, K. Lewander and U. Lidman. 1975. Metabolic and hematological effects of starvation in the European eel. *Anguilla anguilla* L., Carbohydrate, lipid, protein and inorganic ion in metabolism, *Comp. Biochem. Physiol.*, 52A, 423-430.
- Dean, J.M. and F.J. Vernberg. 1965. Effects of temperature acclimation on some aspects of carbohydrate metabolism in decapod crustacea. *Biol. Bull. Mar. Biol. Lab., Woods Hole*, 129, 87-94.
- Gaylord, T.G. and D.M. Gatlin. 2000. Assessment of compensatory growth in channel catfish, *Ictalurus punctatus* R. and associated changes in body condition indices. *J. World Aquacult. Soc.*, 31, 326-335.
- Groot, C. and L. Margolis. 1991. Pacific Salmon Life Histories. University of British Columbia Press, Vancouver, Canada, 1-564.
- Guglielmo, C.G., T. Piersma and T.D. Williams. 2001. A sport-physiological perspective on bird migration: evidence for flight-induced muscle damage. *J. Exp. Biol.*, 204, 2683-2690.
- Hentschel, B.T. 1998. Spectrofluorometric quantification of neutral and polar lipids suggested a food-related recruitment bottleneck for juveniles of a deposit-feeding polychaete population. *Limnol. Oceanogr.*, 43, 543-549.
- Hochachka, P.W. and G.N. Somero. 1984. Biochemical Adaptation. Princeton University Press, New Jersey, USA, 1-537.
- Kim, S.K., H. Rosenthal, C. Clemmesen, K.Y. Park, D.H. Kim, Y.S. Choi and H.C. Seo. 2005. Various methods to determine the gonadal development and spawning season of the purplish Washington clam, *Saxidomus pupuratus* (Sowerby), *J. Appl. Ichthyol.*, 21, 101-106.
- Kim, S.K., J.S. Kim, B.R. Kim, D.H. Kim, Y.R. Cho, H.C. Seo, Y.H. Lee and J.H. Kim. 2006. Comparison of nucleic acid levels, ratio and ecophysiological aspects among three populations of the fleshy prawn *Fenneropenaeus chinensis* in Korea. *J. Fish. Sci. Technol.*, 9, 7-13.
- Lynch, M.P. and K.L. Webb. 1973. Variations in serum constituents of the blue crab, *Callinectes sapidus*: glucose. *Comp. Biochem. Physiol.*, 45, 127-139.
- Moon, T.W. 1983. Metabolic reserves and enzyme activities with food deprivation in immature American eel, *Angilla rostrata*. *Can. J. Zool.*, 67, 2189-2193.
- Sakamoto, S. and Y. Yone. 1978. Requirement of red sea bream for dietary iron. 2. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44, 223-225.
- Salo, E.O. 1991. Life history of chum salmon, *Oncorhynchus keta*. In: Groot, C. and L. Margolis eds., Pacific salmon life histories. University of British Columbia press, Vancouver, 231-309.
- Smith, A.C. and F. Ramos. 1980. Automated chemical analysis in fish health assessment. *J. Fish Biol.*, 17, 445-450.
- Smutná, M., L. Vorlová and Z. Svobodová. 2002. Pathobiochemistry of ammonia in the internal environment of fish. *ACTA Vet. Brno.*, 71, 169-181.
- Telford, M. 1968. The effects of stress on blood sugar composition of the lobster, *Homarus americanus*. *Can. J. Zool.*, 46, 819-826.
- 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.
- Wright, P.A. and M.D. Land. 1998. Urea production and transport in teleost fishes. *Comp. Biochem. Physiol.*, 119A, 47-54.
- Yoon, M.G. 2007. Molecular population genetics of chum salmon based on mitochondrial and nuclear DNA analyses. Ph.D. thesis, Hokkaido University, Japan, 1-128.

---

2008년 5월 7일 접수

2008년 6월 23일 수리