

연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 생존, 성장 및 생리학적 반응에 미치는 염분의 영향

조규석¹ · 장석우¹ · 이유진¹ · 강동양¹ · 강한승^{2*}

¹충청북도내수면산업연구소

²엠에스바이오랩

Effect of Salinity on Survival, Growth and Physiological response of Juvenile Chum Salmon (*Oncorhynchus keta*)

Kyu Seok Cho¹, Seok Woo Jang¹, Yu Jin Lee¹, Dong Yang Kang¹, Han Seung Kang^{2*}

¹Department of Inland Fisheries Research Institute, Chung Cheong Buk-Do 27432, Korea

²MS BioLab, Daejeon 34576, Korea

Corresponding Author

Han Seung Kang

MS BioLab, Daejeon 34576, Korea

E-mail : hanseungkang66@gmail.com

Received : November 21, 2022

Revised : November 28, 2022

Accepted : December 02, 2022

본 연구는 연어(*Oncorhynchus keta*) 치어의 성장, 생존 및 혈액 성상에 미치는 염분 농도의 영향을 파악하고자 실시되었다. 실험은 염분 농도 0, 10, 20 및 30‰에서 30일간 실시되었으며 3반복으로 진행되었다. 4주 후 생존율은 0, 10 및 20‰ 실험구에서 87.5% 이상이었으나, 30‰ 실험구는 75%로 유의한 감소를 보였다. 증중율(Weight gain), 일간 성장률(specific growth rate), 사료효율(feed efficiency), 일간 사료섭식량(daily feed intake), 일간 단백질섭취율(daily protein intake), 단백질효율(protein efficiency ratio)은 10‰ 실험구에서 가장 높았다. 혈장성분 중 ALT (alanine aminotransferase)는 10, 20 및 30‰ 실험구가 0‰ 실험구에 비해서 유의한 감소를 보였으나, Na⁺ (sodium)과 Cl⁻ (chloride)는 유의한 증가를 보였다. 또한, 실험기간 중 TP (total protein)과 K⁺ (potassium)은 변동을 보이지 않았다. 결론적으로 연어 치어(11~33 g)의 성장과 생존에 적합한 최적의 염분 농도는 10‰로 보이나, 혈액 성상의 영향은 향후 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

This study was conducted to investigate the effects of different salinity on growth, survival and hematological parameters of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). The fish were tested at salinity 0, 10, 20 and 30‰ for 30 days with three replicated groups. After the 30 days, the survival rate was 87.5% or more for 0, 10, 20‰ and significantly decreased to 75% at 30‰. Weight gain, specific growth rate, feed efficiency, daily feed intake, daily protein intake and protein efficiency ratio were the highest at 10‰. In the plasma components, the alanine aminotransferase (ALT) was significantly decreased at 10, 20 and 30‰ in compared with 0‰, whereas sodium (Na⁺) and chloride (Cl⁻) was significant increased and there was no significant change in the total protein (TP) and potassium (K⁺). In conclusion, the optimal salt concentration for the growth of juvenile chum salmon (11~33 g) was confirmed to be 10‰, but the association with the change in blood composition should be further studied.

Keywords: *Oncorhynchus keta*(연어), Salinity(염분 농도), Growth(성장), Hematological parameter(혈액 성분)

서론

해양환경은 해양생물들에게 생리대사와 서식분포에 영향을 미

치는 중요한 요인이다. 특히 어류는 수온 및 염분 등의 외부 환경 요인에 의해 체내 생화학, 생리상태 및 성장 등에 영향을 받는다 (Beckmann et al., 1990; Bervoets et al., 1996; Boeuf and Payan, 2001).

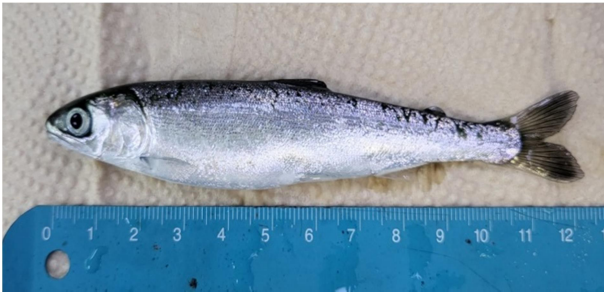


Fig. 1. *Oncorhynchus keta*

환경요인 중에서 염분의 변화는 세포 내 수분과 염분의 불균형을 일으키며, 이러한 염분의 불균형은 생리적인 스트레스 및 대사과 관계가 있기 때문에 대사율의 감소 등 체내 기작에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bailey et al., 1996; Hussain et al., 2013; Zhang and Shi, 2013). 또한 어류에 있어서 염분의 변화는 산화적 스트레스(oxidative stress) 발생에 따른 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)이 생성되며, 이를 제거하기 위해 항산화 효소(antioxidant enzyme)가 활성화 된다는 보고가 있다(Pandey et al., 2003). 특히, 적정 농도를 벗어난 염분의 변화는 항상성(homeostasis)을 유지하기 위하여 삼투압 조절을 하게 되며, 빈번한 삼투압 조절 등에 따른 체내 생리학적 변화의 대응은 질병 및 폐사에 영향을 미친다고 알려져 있다(Wedemeyer and McLeay, 1981; Weirich and Tomasso, 1991; Marshall, 2002; Hur et al., 2006).

연어(*Oncorhynchus keta*)는 주로 10~11월경 강원도 고성 북한, 양양 남대천을 비롯하여 삼척 오십천과 울진 태화강 등의 하천에 소상하여 산란하는 우리나라 고유의 소하성 어종이다(Kwon et al., 2014). 일반적으로 연어과 어류는 해수와 담수를 오가는 소하성 어류로서 일반적으로 염분적응 능력이 타 어종에 비해 뛰어나다고 알려져 있다. 그러나 연어과 어류의 높은 염분적응 능력도 어종, 서식환경 및 성장 등에 따라 다르게 나타난다(Parry, 1958, 1960; Shrimpton et al., 1994; Kreeger, 1995). 연어(*O. keta*)는 부화 후부터 난황 흡수 단계에 이르기까지 해수적응 능력이 빠르게 발달한다(Kojima et al., 1993). 연어(*O. keta*)의 체중이 약 1 g 정도가 되면 담수에서 해수로 이동하게 되는데 초기 해수적응 단계에서 성장의 정도에 의존적인 폐사가 발생하였다(Taniyama et al., 2016; Kaneko et al., 2019).

본 연구는 연어(*O. keta*)의 담수 양식에 관한 기초적인 자료를 수집하고자 우선적으로 치어 단계에서 각 염분 농도별 생존, 성장 및 혈액성분의 변화를 측정하였다. 연구를 통해 연어(*O. keta*)의 담수 양식 가능성 확인 및 담수 양식 기술을 개발하여 내수면 양식산업 활성화에 목적을 둔다.

Table 1. Ingredient composition of experimental diets for chum salmon *Oncorhynchus keta*

| Parameters | Value (%) |
|---------------|-----------|
| Crude protein | 52.0 |
| Crude lipid | 10.0 |
| Ca | 1.7 |
| P | 1.7 |
| Crude fiber | 1.4 |
| Crude Ash | 13 |
| Water | 12.0 |

재료 및 방법

1. 실험어 및 실험수조

연어(*O. keta*)는 2021년 12월 한국수산자원공단 동해생명연구센터에서 수정란을 분양받아 충북내수면산업연구소에서 2022년 6월까지 7개월간 사육실의 수조(2.4×0.6×0.2 m)에서 사육하였다. 본 연구를 수행하기 위한 실험시스템은 순환여과 방식으로 실험수조(0.8×1.2×0.3 m), 여과조(0.5×0.7×0.2 m), 냉각기(DBI-050, 50 W) 및 자외선 살균기로 구성되었다. 여과조는 바이오샌드 필터를 채워 넣어 여과되도록 하였다. 실험어는 평균 체중 11.92±0.41 g의 외형적으로 건강한 개체를 선별하였다(Fig. 1). 각각의 실험구에는 연어(*O. keta*) 20마리씩 수용하였으며, 3반복구로 하여 30일간 실시하였다.

2. 염분 농도, 사육 수온, 사육수의 환수 및 사료 공급

염분 농도는 0, 10, 20 및 30‰로 설정되었고, 실험 용수는 담수의 경우 충북내수면산업연구소에서 생산한 여과 지하수를 사용하였고, 해수는 강원도립대학교 양어실습장에서 채수한 여과 해수를 사용하였다. 실험 수온은 선행 연구를 통해 도출된 연어 치어 성장의 최적 수온인 14±1°C에 맞추어 실시되었고, 실험 용수의 교환은 3일 간격으로 전량 환수하였다. 광주기는 오전 9시에 점등하고 오후 6시에 소등하여 명기 9시간 및 암기 15시간을 설정하였다. 실험기간 동안 사료는 시판 중인 송어사료(천하제일, 참송어 2호)를 투입하였고, 사료성분은 Table 1에 나타내었다. 실험 사료는 1일 어체중의 3%로 하여 1일 2회(10시, 17시)에 나누어 투입하였다.

Table 2. Experimental conditions of the water used in the test

| Parameters | Value |
|-------------------------------|-----------|
| Temperature (°C) | 14.0±1.0 |
| pH | 7.8±0.4 |
| Dissolved oxygen (mg/l) | 8.9±0.4 |
| Ammonia-nitrogen (mg/l) | 0.3±0.1 |
| Nitrite-nitrogen (mg/l) | 0.02±0.01 |
| Nitrate-nitrogen (mg/l) | 3.60±1.05 |
| Chemical oxygen demand (mg/l) | 2.04±0.33 |
| Suspended solid (mg/l) | 0.4±0.1 |

3. 사육수의 수질분석

수온, DO 및 pH 등 수질분석은 수질측정기(WTW, Multi 3410)를 이용하여 매일 측정하였고, 화학적 산소요구량(COD), 부유물질(SS), 암모니아성질소(NH₄⁺-N), 아질산성질소(NO₂⁻-N) 및 질산성질소(NO₃⁻-N)는 수질오염공정시험법에 준하여 주 1회 실시하였다(Table 2).

4. 성장도 및 생존율 측정

실험어의 체중과 전장 등 성장도는 실험어 10마리를 실험시작 시와 실험종료 시에 전장 1 mm 단위까지 측정하였고, 체중은 전자저울을 사용하여 0.01 g까지 측정하였다. 실험기간 중 생존율은 매일 오전 사료투여 전에 폐사 개체를 계수하여 산정했다.

5. 혈액분석

채혈은 각 실험수조에서 실험 30일째 연어 치어를 3마리씩 무작위로 추출하여 시행했고, 이동에 따른 스트레스 영향을 최소화하기 위해 tricaine methanesulfonate (MS 222, Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시킨 후 미부정맥에서 헤파린이 처리된 1 ml 주사기를 사용하여 채혈하였다. 채취한 혈액은 4°C, 5,000 g로 5분간 원심 분리하여 혈장을 분리하였고, 분리한 혈장으로 유기성분과 무기성분의 변화를 측정하였다. 이러한 혈장분석은 Catalyst Dx Chemistry Analyzer (IDEXX, USA)를 이용하여 유기성분인 ALB (Albumin), ALT (Alanine Aminotransferase), TP (Total Protein), 무기성분인 Sodium (Na⁺), Potassium (K⁺) 및 Chloride (Cl⁻)를 분석하였다.

6. 통계분석

모든 실험분석은 3 반복으로 실시하였으며, 분석 결과에 대한 통계학적 유의성은 SPSS 통계 프로그램(SPSS Inc.)을 이용하였다. ANOVA test를 실시하여 Duncan's multiple range test를 통해 $p < 0.05$ 일 때 유의성이 있는 것으로 간주하였다.

결 과

본 연구는 연어 치어를 대상으로 염분 농도에 따른 생존율, 성장, 사료효율 및 혈액 성분 등을 분석하였다. 연구 결과 생존율은 0‰와 10‰에서 각각 97.5% 및 95.0%이었고, 20‰는 87.5% 정도로 낮아지는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었고, 30‰에서는 생존율 75.0%로서 유의적인 감소를 나타내었다(Table 3). 실험기간 30일 동안 14일까지는 폐사가 발생하지 않았다. 성장 및 사료효율에 관한 연구 결과로는 다음과 같다. 증중율(weight gain, WG)은 0‰와 10‰이 각각 148.3% 및 190.3% 정도로 유의적으로 증가한 수치를 보였고, 20‰와 30‰은 각각 120.4% 및 99.4% 정도로 유의적으로 낮은 결과값을 나타내었다($p < 0.05$). 사료효율(feed efficiency, FE)은 0‰와 10‰이 각각 90.5% 및 93.8% 정도로 유의적으로 증가한 수치를 보였고, 20‰와 30‰은 각각 78.7% 및 7.02% 정도로 유의적으로 낮은 결과값을 나타내었다($p < 0.05$). 일간 성장률(specific growth rate, SGR)은 10‰, 0‰ 및 20‰ 순으로 각각 3.5%, 3.0% 및 2.6% 정도로 유의하게 높은 것으로 나타났고, 30‰은 2.3%로 가장 낮았다(Table 3).

일간 사료섭취율(daily feed intake, DFI)은 10‰에서 3.43%로 유의적인 증가를 보였으나, 0‰, 20‰ 및 30‰에서는 각각 3.15%, 3.17% 및 3.10%로 유의적인 변화를 보이지 않았다($p < 0.05$). 일일 단백질섭취율(daily protein intake, DPI)은 10‰와 0‰에서 각각 1.47% 및 1.45% 정도로 유의적으로 낮았으나, 20‰과 30‰은 각각 1.57%와 1.65% 정도로 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 단백질효율(protein efficiency ratio, PER)은 10‰와 0‰에서 각각 1.80% 및 1.74% 정도로 유의적으로 높았으나, 20‰과 30‰은 각각 1.51% 및 1.35%로 유의적으로 낮았다($p < 0.05$). 길이 성장(length)은 10‰, 0‰, 20‰ 및 30‰에서 각각 17.25 cm, 17.03 cm, 15.98 cm 및 15.23 cm로 나타났($p < 0.05$) (Table 4). 실험결과, 성장 및 사료 이용성은 10‰에서 가장 우수한 것으로 나타났고, 그 다음으로 0‰와 20‰ 순이었으며, 30‰은 가장 낮은 경향을 보였다.

염분 농도에 따른 연어 치어의 생리적 변화를 측정하기 위해서 실험종료 시 혈액 성상을 조사하였다(Table 5). 혈액 유기성분의 경우, ALT (alanine aminotransferase)는 대조구(0‰, 80.3)가 10‰ (46.8), 20‰ (42.0) 및 30‰ (32.0)보다 유의적으로 높았다. TP는 0‰ (4.4)가 10‰ (4.7), 20‰ (4.6) 및 30‰ (4.1)로 유의성이 나타나지 않았다. 무기성분 가운데 Na⁺은 0‰ (176.3)가 10‰ (180.0), 20‰ (179.8) 및 30‰ (179.8)로 염분 농도구가 대조구에 비해 유

Table 3. Survival rate, growth performance and feed efficiency of juvenile chum salmon (*O. keta*) fed experimental diet for 30 days¹

| Groups | ² Survival (%) | ³ Initial weight (g) | ⁴ Final weight (g) | ⁵ WG (%) | ⁶ SGR (%) | ⁷ FE (%) |
|--------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|
| 0‰ | 97.5±3.5 ^b | 12.2±0.2 | 30.2±0.4 | 148.3±7.4 ^b | 3.0±0.1 ^c | 90.5±2.8 ^b |
| 10‰ | 95.0±7.1 ^b | 11.7±0.4 | 33.3±0.1 | 190.3±8.9 ^c | 3.5±0.1 ^d | 93.8±1.1 ^b |
| 20‰ | 87.5±3.5 ^{ab} | 12.3±0.7 | 26.9±0.4 | 120.4±14.5 ^a | 2.6±0.2 ^b | 78.7±5.7 ^a |
| 30‰ | 75.0±7.1 ^a | 11.5±0.8 | 22.4±1.0 | 99.4±7.5 ^a | 2.3±0.1 ^a | 70.2±0.9 ^a |

¹The data correspond to the mean of 3 replicates ± standard error and *superscripts in the same row are significantly different ($p < 0.05$). ²Survival rate=(final number/initial number)×100, ³Initial weight, ⁴Final weight, ⁵Weight gain=(final body weight-initial body weight)×100/initial body weight. ⁶Specific growth rate=(Ln final weight of fish-Ln initial weight of fish)×100/days of feeding trial. ⁷Feed efficiency=fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter). Significant difference between each experimental group in the $p < 0.05$ level are indicated as a, b, c, d

Table 4. Daily feed intake (DFI), daily protein intake (DPI), protein efficiency ratio (PER) and length of juvenile chum salmon (*O. keta*) fed experimental diet for 30 days¹

| Groups | ² DFI (%) | ³ DPI | ⁴ PER | ⁵ Length |
|--------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 0‰ | 3.15±0.02 ^a | 1.45±0.03 ^b | 1.74±0.05 ^b | 17.03±0.11 ^c |
| 10‰ | 3.43±0.04 ^b | 1.47±0.02 ^b | 1.80±0.02 ^b | 17.25±0.21 ^c |
| 20‰ | 3.17±0.04 ^a | 1.57±0.04 ^{ab} | 1.51±0.11 ^a | 15.98±0.18 ^b |
| 30‰ | 3.10±0.18 ^a | 1.65±0.05 ^a | 1.35±0.02 ^a | 15.23±0.11 ^a |

¹The data correspond to the mean of 3 replicates ± standard error and *superscripts in the same row are significantly different ($p < 0.05$). ²Daily feed intake=feed intake×100/[(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared/2]. ³Daily protein intake= protein intake×100/[(initial fish wt.+final fish wt.+dead fish wt.)×days reared/2]. ⁴Protein efficiency ratio=wet weight gain/protein intake. ⁵Length (cm). Significant difference between each experimental group in the $p < 0.05$ level are indicated as a, b, c

Table 5. Change of serum alanine aminotransferase, total protein, sodium, potassium, chloride to treatment of each different salinity for 30 days in chum salmon, *O. keta*

| Groups | ALT | TP | Na ⁺ | K ⁺ |
|--------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0‰ | 80.3±19.9 ^a | 4.4±0.30 ^a | 176.3±3.50 ^a | 2.6±0.10 ^a |
| 10‰ | 46.8±11.9 ^b | 4.7±0.30 ^a | 180.0±0.10 ^b | 3.7±2.50 ^a |
| 20‰ | 42.0±14.3 ^b | 4.6±0.50 ^a | 179.8±0.50 ^b | 3.6±1.30 ^a |
| 30‰ | 32.0±13.5 ^b | 4.1±1.40 ^a | 179.8±0.50 ^b | 3.8±0.40 ^a |

Values (means ± SD) with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) as determined by Duncan's multiple range test. Significant difference between each experimental group in the $p < 0.05$ level are indicated as a, b

의적으로 높게 나타났다. K⁺는 0‰ (2.6)가 10‰ (3.7), 20‰ (3.6) 및 30‰ (3.8)로 대조구가 염분 농도에 비해 낮게 나타났으나 유의성이 나타나지 않았다. Cl⁻은 0‰ (127.0)가 10‰ (131.8), 20‰ (130.5) 및 30‰ (130.5)로 염분 농도가 대조구에 비해 유의적으로 높게 나타났다.

고찰

일반적으로 연어과 어류는 친어의 상류 이동(upstream migration) 후 담수에서 5단계 생활사를 가지는데 산란(spawning), 난(egg), 프라이(fry), 파(parr) 및 스몰트(smolt)이다. 각 단계는 서식처의 환경에 따라 영향을 받게 되며 연어 개체수에 영향을 끼치게 된다

(Timothy et al., 2021). 연어과 어류의 치어는 스몰트화의 직전 단계인 파(parr) 단계에서 염분 내성이 최고치에 달하게 되고, 스몰트(smolt) 단계에서도 염분 내성이 유지되는 것으로 보고되었다(Yeo and Choe, 2002). 연어(*O. keta*)는 3~4 cm가 되는 파(parr) 단계에서 담수에서 바다 연안으로 이동을 시작하게 된다(Anderson et al., 2003). 본 연구에서 실험한 연어(평균 체중 11.92±0.41 g)는 파(parr) 무늬가 사라진 개체로서 담수를 떠나 바다로 이동하는 개체들로 사료된다.

염분 변화는 어류의 삼투압 조절에 영향을 미침으로써 이온과 수분의 평형 혼란, 스트레스 유발 등의 생리 조건을 악화시켜 최종적으로 성장 및 성숙지연을 초래하는 것으로 알려져 있다(Min, 2003). 특히, 연어과 어류의 치어기에서 염분 내성의 발달은 어류의 크기와 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있는데, 동일한 기간 동안 어체의 크기가 큰 개체일수록 염분 내성이 높은 경향이 있다(Parry, 1958; Conte et al., 1966). 또한, 연어과 어류의 염분 내성은 어종에 따라 다르게 나타나는데, 담수에서 해수로 바로 옮겼을 때 무지개송어는 80 g 이상만 생존했고 나머지는 폐사했으며(Parry, 1958), 홍연어는 염분 내성에 있어 어체 크기에 따라 차이는 나지 않은 것으로 보고되었다(Kaeriyama et al., 1992).

Robert (1971)가 은연어(*O. kisutch*) 치어에서 염분에 노출시킨 후 생존율을 측정하였다. 그 결과 성장률, 사료섭식률 및 사료전환효율이 염분 5~10‰에서 가장 높게 나타났고, 은연어 생산량을 증대시키기 위해서 염분 농도를 조절할 필요가 있음을 보고하였다. Kojima 등 (1993)은 연어(*O. keta*)를 해수에서 사육하다가 7~10 g 되었을 때 7주 동안 담수 사육으로 전환한 결과 성장도가 증가한 것으로 보고하였고, Handeland과 Stefansson (2002)은 담수에서 사육한 대서양연어 치어를 염분 농도 0, 6, 13.1 및 20.2‰ 실험구로 옮긴 후 성장도를 실험한 결과, 0‰에 비하여 염분 6‰과 13.1‰에서 성장도는 13%씩 감소했고, 20.2‰에서는 28%가 감소한 것으로 나타나 염분 농도가 증가할수록 성장도는 낮아졌다고 보고하였다.

이와는 반대로 Duston (1994)은 대서양연어 스몰트의 성장률은 염분에 거의 영향을 받지 않는다고 보고하였다. 즉, 대서양연어 스몰트(26g~36 g)를 염분 0, 10, 20 및 31‰에 넣었는데, 처음에는 폐사가 없다가 30일 후에 해수(34‰)에서 47% 폐사가 발생하였고, 20‰ 이하에서는 10% 이하의 폐사율을 보였다. 성장도는 염분 10‰ 보다 20‰와 31‰에서 일시적으로 낮았지만, 90일을 더 사육한 결과 각 염분 농도 별로 유의미한 차이는 없었다고 보고하였다.

ALT는 대부분의 척추동물의 간세포에 존재하며, 간 기능의 검사지표로 사용된다. 다양한 스트레스 요인에 의해 간세포가 단기 및 장기간에 걸쳐 파괴되면 혈액 중에서 이들 효소의 수치가 증가하게 된다(Kang et al., 2007). 특히 어류에서는 염분의 변화, 저산소(hypoxia) 등에 의한 스트레스 반응으로 수치가 증가 또는 감소하는 경향을 나타낸다(Pan et al., 2003). 연어 치어(26.57±6.32 g)

를 염분 0, 5, 10, 15 및 20‰에 130일간 노출시킨 후 ALT 변화를 측정된 결과, ALT는 대조구에 비해 염분 5~20‰에서 유의적인 감소 보였다(Liu, 2013). 이러한 결과는 본 연구와 동일한 결과를 나타내었다.

TP는 수분평형과 영양상태를 판단하는 유용한 지표이며, 환경적 염분 농도에 따라 민감하게 반응한다(Chang and Hur, 1999). Kim 등 (2016)의 연구에서 저염분 노출에 대한 은대구의 혈장 단백질은 유의적으로 감소되었으며, Lee와 Huh (2004)는 puffer fish의 총 단백질도 저염분 노출에 의해 유의적으로 변화하였다고 보고한 바 있다. 또한, 연어 치어를 염분 0~20‰에서 130일간 노출시킨 결과 TP는 염분 농도가 증가함에 따라 감소된다고 보고되었다(Liu et al., 2013). 그러나 본 연구에서는 위에서 언급한 것처럼 각 염분 농도 구간에서 유의한 차이가 나타나지 않았는데, 다른 연구와 비교해서 짧은 실험기간(30일)에 기인하여 유의성이 나타나지 않은 것으로 사료된다.

염분의 변화는 어류의 삼투압 조절에 있어 많은 영향을 미치는데, 이러한 결과로 Na⁺, K⁺ 및 Cl⁻ 이온의 농도 변화가 발생한다(Kim et al., 2009). Blackburn과 Clark (1987)은 은연어(*O. kisutch*)를 염분에 노출시킨 결과, 염분 내성의 지표 중 하나인 혈장 Na⁺ 농도가 상승하는 패턴과 96시간 LC₅₀ 변동 패턴과 거의 일치하는 경향을 보여 혈장 Na⁺ 농도 상승이 어류 스트레스 및 폐사를 유발할 수 있을 것으로 추정된다고 하였다. 또한, 연어(*O. keta*) 치어(26.57±6.32 g)를 염분 0, 5, 10, 15, 20‰에 130일간 노출시킨 후 혈액성분의 변화를 측정된 결과, Na⁺와 Cl⁻은 염분 15와 20‰이 0과 5‰보다 유의적으로 높은 결과를 나타내었다(Liu, 2013). 또한, Iwata 등 (1982)의 연구에서 연어(*O. keta*)를 담수에서 해수로 옮겼을 때 혈장 Na⁺ 농도는 점차적으로 증가된다고 보고하였다. Bakke 등 (1991)도 대서양연어(*Salmo salar*)를 염분 5, 10 및 34‰에 노출시켰을 때 Na⁺와 Cl⁻은 염분 농도가 증가함에 따라 유의적으로 증가됨을 확인하였다.

Liu 등 (2013)은 연어(*O. keta*) 치어를 염분 0, 5, 10, 15 및 20‰에 각각 130일간 노출시킨 결과, K⁺은 염분 농도구가 대조구 보다 더 낮았다고 보고하였다. Bakke 등 (1991)은 대서양연어를 0, 5, 10 및 34‰에 노출시킨 결과, K⁺의 유의적인 변동은 없었다고 밝혔다. Lim 등 (2005)도 Na⁺과 Cl⁻ 농도는 단계적인 염분 상승했지만, K⁺의 농도는 일정한 경향 없이 변화되었다고 하였다. Na⁺과 Cl⁻ 값이 염분 실험구에서 유의적으로 상승한 것은 삼투압 조절과 그에 따른 스트레스로 인해 유의성이 나타나는 것으로 여겨진다.

1979년부터 1998년까지 산란하기 위해 강으로 되돌아오는 연어의 체중이 감소하였는데, 그 이유로 해수 표층의 염분 농도의 유의적 감소와 상관관계가 있다고 보고되었다(Clarke, 1992; Read and Gould, 1992; Morita et al., 2001). 체중 감소의 원인은 지구 온난화에 의해서 고위도 지역에서 염분 농도의 감소에 의해 플랑크톤 생산량 및 먹이로 활용되는 치어 생존율이 감소되었기 때문으로 보고되었다(Sutcliffe et al., 1983; Conover et al., 1995). 또한,

Stephen 등 (1989)은 대서양연어에서 염분 농도 및 사료공급량에 따른 성장도 변화를 연구한 결과, 성장속도는 염분 농도보다는 영양상태에 더 영향을 많이 받는다고 주장하였다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 연어과 어류의 생활사 단계에 따라 성장도에 미치는 염분의 영향은 다르게 나타날 수 있다. 즉, 본 연구에서 실험한 연어 치어(11~33 g)에서는 10‰에서 가장 좋은 성장 및 사료 이용성을 보였지만, 좀 더 성장하게 되면 염분의 영향보다는 사료량에 따라 더 큰 영향을 받을 수 있다. 따라서 연어 양식을 위해서는 염분 농도에 대하여 각 생활사 단계별 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- Anderson M, Buckwalter J, Cappiello T, Cline C, Dean J, DeCicco F, Greenwood S, Hauser B, Hayes B, Hill D, Inoue F, McCracken B, Rich C, Seaberg S, Wiedmer M. 2003. Juvenile salmonid and small fish identification aid. ADF&G Habitat & Restoration Division version 1.1, Compiled by Ed Weiss
- Bakke H, Bjerknes V, Vreeide A. 1991. Effects of rapid changes in salinity on the osmoregulation of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 96: 375-382.
- Bailey J, Parsons J, Couturier CA. 1996. Salinity tolerance in the blue mussel, *Mytilus edulis*. *Bull Aquacult Assoc Can* 96: 74-76.
- Beckmann RP, Mizzen LE, Welch WJ. 1990. Interaction of HSP70 with newly synthesized proteins: implications for protein folding and assembly. *Science* 248: 850-854.
- Bervoets L, Verheyen R, Blust R. 1996. Uptake of zinc by the midge larvae *Chironomus riparius* at different salinities: Role of speciation acclimation, and calcium. *Environ Toxicol Chem* 15: 1423-1428.
- Blackburn J, Clarke WC. 1987. Revised procedure for the 24 hour seawater challenge test to measure seawater adaptability of juvenile salmonids. *Can Tech Rep Fish Aquat Sci* 1515: 1-35.
- Boeuf G, Payan P. 2001. How should salinity influence fish growth? *Comp Biochem Physiol Part C* 130: 411-423.
- Chang YJ, Hur JW. 1999. Physiological responses of grey mullet, *Mugil cephalus* and Nile tilapia *Oreochromis niloticus* by rapid changes in salinity of rearing water. *Fish Aquatic Sciences* 32: 310-316.
- Clarke A. 1992. Global warming, ocean cooling. *Nature* 360: 17-18.
- Conover RJ, Wilson S, Harding GCH, Vass WP. 1995. Climate, copepods and cod: some thoughts on the long-range prospects for a sustainable northern cod fishery. *Climate Research* 5: 69-82.
- Conte FP, Wagner HH, Fessler J, Gnose C. 1966. Development of osmotic and ionic regulation in juvenile coho salmon *Oncorhynchus kisutch*. *Comp Biochem Physiol* 18: 1-15.
- Duston J. 1994. Effect of salinity on survival and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) parr and smolts. *Aquaculture* 121: 115-124.
- Handeland SO, Stefansson SO. 2002. Effects of salinity acclimation on pre-smolt growth, smolting and post-smolt performance in off-season Atlantic salmon smolts (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 209: 125-137.
- Iwata M, Hirano T, Hasegawa S. 1982. Behavior and plasma sodium regulation of chum salmon fry during transition into seawater. *Aquaculture* 28: 133-142.
- Hur JW, Lee JY, Kim YH, Park IS, Chang YJ. 2006. Effects of salinity on hematological changes and survival of cultured olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J Kor Environ Biol* 24: 380-386.
- Hussain M, Park HW, Farooq M, Jabran K, Lee DJ. 2013. Morphological and physiological basis of salt resistance in different rice genotypes. *J Int Agri Biol* 15: 113-118.
- Kaeriyama M, Urawa S, Suzuki T. 1992. Anadromous Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) Derived from Nonanadromous Kokanees: Life History in Lake Toro. *Scientific Reports of the Hokkaido Salmon Hatchery* 46: 157-174.
- Kaneko N, Torao M, Koshino Y, Fujiwara M, Miyakoshi Y, Shimizu M. 2019. Evaluation of growth status using endocrine growth indices, insulin-like growth factor (IGF)-I and IGF-binding protein-1b, in out-migrating juvenile chum salmon. *General and Comparative Endocrinology* 274: 50-59.
- Kang DY, Kang HW, Kim GH, Jo KC, Kim HC. 2007. Effect of cold shock on the physiological response of the cultured mullet, *Mugil haematocheilus* in winter. *Korean Journal of Fisheries Society* 40: 226-233.
- Kim JH, Park HJ, Hwang IK, Kim DH, Oh CW, Lee JS, Kang JC. 2016. Alterations of Hematological Parameters, Plasma Constituents and Antioxidant Responses in the Sablefish *Anoplopoma fimbria* Depending on Salinity. *The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science* 49: 830-837.
- Kim YS, Do YH, Min BH, Lim HK, Lee BK, Chang YJ. 2009. Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. *Journal of Aquaculture* 22: 28-33.
- Kojima I, Iwata M, Kurokawa T. 1993. Development and temporal decrease in seawater adaptability during early growth in

- chum salmon, *Oncorhynchus keta*. Aquaculture 118: 141-150.
- Kreeger KY. 1995. Differences in the onset of salinity tolerance between juvenile chinook salmon from two coastal Oregon river systems. Can J Fish Aquat Sci 52: 623-630.
- Kwon ON, Kim JK, Yoon MG, Kim DH, Hong KE. 2014. Marine prey selectivity of released juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early marine migration in Korean waters. J Fisher Mar Sci Edu 26: 421-429.
- Lee BK, Huh MK. 2004. Effects of Varying Salinity on the Growth and Hematological Response of Juvenile Pufferfish, *Takifugu obscurus*. Korean Journal of Ichthyology 16: 254-260.
- Lim HK, Han HK, Lee JH, Jeong MH, Hur JW. 2005. Effects of Gradual Change of Salinity on Physiological Response in Hybrid Striped Bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*). Korean Journal of Ichthyology 17: 43-48.
- Liu W, Zhi BJ, Zhan PR, Guan HH, Qin DL. 2013. Effects of salinity on haematological biochemical indices and liver tissue in juvenile *Oncorhynchus keta*. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao 21: 2411-2417.
- Marshall WS. 2002. Na⁺, Cl⁻, Ca²⁺ and Zn²⁺ transport by fish gills: retrospective review and prospective synthesis. J Exp Zool 293: 264-283.
- Min BH. 2003. Physiological responses of black seabream, *Acanthopagrus schlegelii* to freshwater acclimation. Master Thesis, Pukyong National University, Busan, KOR. 55.
- Morita SH, Morita K, Sakano H. 2001. Growth of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) correlated with sea-surface salinity in the North Pacific. Journal of Marine Science 58: 1335-1339.
- Pan CH, Chien YH, Hunter B. 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricus juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 297: 107-118.
- Pandey S, Parvez S, Sayeed I, Haques R, Bin-Hafeez B, Raosuddin S. 2003. Biomarkers of oxidative stress: a comparative study of river Yamuna fish Wallagattu (Bi. & Schn.). Sci Total Environ 309: 105-115.
- Parry G. 1958. Size and osmoregulation in fishes. Nature Lond 181: 1218-1219.
- Parry G. 1960. The development of salinity tolerance in the salmon, *Salmo salar* L. and some related species. J Exp Biol 37: 425-434.
- Read JF, Gould WJ. 1992. Cooling and freshening of the subpolar North Atlantic Ocean since the 1960s. Nature 360: 55-57.
- Robert GO. 1971. Effects of Salinity on the Survival and Growth of Pre-Smolt Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Journal of the Fisheries Board of Canada 28: 343-349.
- Shrimpton JM, Bernier NJ, Iwama GK, Randall DJ. 1994. Differences in measurements of smolt development between wild and hatchery reared juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) before and after saltwater exposure. Can J Fish Aqua Sci 51: 2170-2178.
- Stephen D, McCormick Richard L, Saunders Arthur D, MacIntyre. 1989. The effect of salinity and ration level on growth rate and conversion efficiency of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. Aquaculture 82: 173-180.
- Sutcliffe WH, Loucks RH, Drinkwater KF, Coote AR. 1983. Nutrient flux onto the Labrador Shelf from Hudson Strait and its biological consequences. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 40: 1692-1701.
- Taniyama N, Kaneko N, Inatani Y, Miyakoshi Y, Shimizu M. 2016. Effects of seawater transfer and fasting on the endocrine and biochemical growth indices in juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). General and Comparative Endocrinology 236: 146-156.
- Timothy JB, Colin N, Caleb F, Jeff J, Britta TP. 2021. Chum Salmon Life-Cycle Model Description and Results for the Chehalis River Basin. NOAA Contract Report NMFS-NWFSC-CR-2021-02. 1-21.
- Wedemeyer GA, McLeay DJ. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In: Pickering, A.D. (Ed.), Stress and fish, Academic Press, London, U.K. pp 247-276.
- Weirich CR, Tomasso JR. 1991. Confinement and transport induced stress on red drum juveniles: effect of salinity. Prog Fish Cult 53: 146-149.
- Yeo IK, Choe MK. 2002. Studies on the Salinity Tolerance of Juvenile Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. Korean J Ichthyol 14: 205-211.
- Zhang JL, Shi H. 2013. Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. Photo Res 115: 1-22.