

## 수온과 염분이 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 생존, 대사 및 조직학적 변화에 미치는 영향

양성진\* · 이정용\* · 신윤경\*\* · 황형규\* · 명정인†

(\*국립수산과학원 · \*\*남동해수산연구소)

### Effects of Temperature and Salinity on Survival, Metabolism and Histological Change of the Rockfish, *Sebastes schlegeli*

Sung Jin YANG\* · Jeong Young LEE\* · Yun kyung SHIN\*\* · Hyung Kyu HWANG\* · Jeong-In MYEONG†

(\*National Institute of Fisheries Science · \*\*Southeast Sea Fisheries Research Institute)

#### Abstract

The suitable temperature and salinity for the long-distance transportation for the rockfish were investigated by assessing survival rate, metabolism, histological change. All experimental groups showed survival rates of 100%. Daily Oxygen consumption rhythm was decreased during nights and increased during days. Average oxygen consumption was significantly decreased as temperature and salinity were decreased. Ammonia excretion was significantly increased as temperature and salinity were decreased. Histological changes were observed in the skin and gill of the rockfish exposed to 10 psu under all the temperature conditions, with larger changes at 4°C. Further, nucleus deformation and uniformity in the cytoplasm were also observed.

**Key words :** *Sebastes schlegeli*, Salinity, Temperature, Survival, Oxygen consumption, Ammonia excretion, Histological change

#### I. 서론

현재 전 세계적으로 수산물 소비량이 계속 증가하고 있다(FAO, 2015). 특히, 우리나라와 일본에서 중심 되었던 활어 소비문화가 전 세계적으로 확대되어 국가 간의 활수산물 교역량 또한 증가할 전망이다. 기존의 활수산물 수송 방법은 활어차를 이용한 운송법과 항공기를 이용한 항공 수송법이 사용되어 왔다(Piper et al., 1982; Davis and Parker, 1986).

하지만 활어차를 이용한 수송은 운반 가능 시간

이 짧아 거리상 가까운 일본 외 수송 시간이 24시간 이상 걸리는 먼 거리로의 수송이 불가능하다. 따라서 현재까지 장거리 수송은 넙치만을 소량 미국으로 항공 운송하고 있다. 하지만 이러한 항공 운송은 신속하다는 장점이 있으나 운반비가 비싸며 수송 품종이 다양하지 못하다는 문제가 있어(Piper et al., 1982; Berka, 1986) 항공 운송법을 대신할 활수산물 장거리 수송법 개발이 필요하다.

수송 중 어류의 대사산물에 의한 수질악화는 장거리 수송 시 가장 큰 문제점이다. Harmon (2009)에 의하면 어류 배설물에서 발생된 미세

† Corresponding author : 051-720-2410, cosmo@Korea.kr

\* 이 논문은 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2016017)의 지원에 의해 수행되었습니다.

부유물질은 수질 악화뿐만 아니라 어류의 아가미에 직접적인 손상을 입힌다고 하였다. 대사산물인 암모니아의 농도 증가는 어류 수송 시 폐사의 원인이 되며(Sohn et al., 2015), 또한, pH의 급격한 감소는 아가미에 손상을 일으켜 삼투압 조절 기능에 장애를 가져온다(Tomasso et al., 1980). Wedemeyer (1996)에 의하면 운반수 내 이산화탄소 축적은 호흡성 산증(respiratory acidosis)을 유발하여 혈액의 산소 운반 능력을 손상시키거나 조직의 저산소증을 일으켜 수송 후 폐사가 일어난다고 보고하였다.

따라서 현재까지 대사를 억제시켜 운반하는 기술에 대한 많은 연구가 이루어졌다(Ferreira et al., 1984; Yoshikawa et al., 1989; Cho et al., 1994). 이 중 수온을 저하시켜 운반하는 저온 수송법이 가장 효과적이지만 기술적인 문제로 인해 그 동안 상용화 되지 못했다. 하지만 현재 기술적인 부분이 해결되어 2012년 활어 저온 수송이 가능한 활어용 컨테이너가 개발된 상태이다(MOF, 2014).

그러나 수송생물의 저온 생리 특성을 고려하지 못한 장시간의 수송은 극심한 스트레스 요인으로 작용하여 건강도 하락으로 인해 상품의 가치를 떨어뜨리거나 폐사를 유발하므로, 안정적인 활어 수송을 위해서는 적정 수온·염분 등의 수송 조건의 탐색이 선행되어야 한다(Harmon, 2009).

조피볼락(*Sebastes schlegeli*)은 2014년 생산량이 약 24,598톤으로 전체 양식 생산량의 29% 정도를 차지하는 우리나라 대표 양식 어종이다(MOF, 2015). 하지만 양식장 증가 및 생산 기술 발달로 인해 국내 소비량에 비해 과잉 생산되고 있어 새로운 해외 시장 개척과 확대가 절실한 실정이다(Yoon et al., 2015).

따라서 본 연구는 조피볼락의 활어용 컨테이너 수송을 위하여 수온 및 염분에 따른 생존, 대사 그리고 조직학적 변화를 조사하여 수송 시 적정 수온 및 염분을 구명하고자 한다.

## II. 조사 방법

### 1. 실험 생물 및 조건

실험에 사용된 조피볼락은 경남 거제에 소재한 양식장에서 구입하여 국립수산물품질관리원내 사육실로 옮긴 후 유수식 수조(2톤)에서 14일간 적응시켰다. 조피볼락의 크기는 전장  $28.6 \pm 1.8$  cm, 전중  $409.0 \pm 70.4$  g이었다. 적응기간 동안 수온은  $15 \pm 1$  °C 염분은  $33.5 \pm 0.5$  psu였으며, 먹이로 배합사료를 매일 2회에 걸쳐 반복 공급하였다.

적정수송 조건을 탐색하기 위해 수온(4, 6, 8, 10 °C), 염분(10, 18, 34 psu) 2가지 요인을 교차 실험하였다. 200 L의 순환여과식 아크릴수조 12개에 실험 염분별로 조피볼락을 각각 15마리씩 수용하였으며, 수용 직후 수온을 서서히 낮추어 실험 수온에 도달시켰다. 실험기간은 국내에서 미국 로스앤젤레스까지 활어용 컨테이너를 이용하여 활수산물을 수송하는 시간을 감안하여 14일로 설정하였다. 용존산소는 포화농도 상태로 유지하였고, 생존율은 매일 오전 오후 각 1회씩 사망개체를 확인하여 누적 폐사율을 조사하였다.

### 2. 수온 염분별 대사량 측정

산소소비량은 조피볼락을 넣은 respirometry chamber(12.8 L)의 유입수와 유출수의 용존산소 차이를 생물호흡측정기(Oxygen Optode Sensor 3835, Aanderaa, Norway)를 이용하여 측정하였다. 실험어는 24시간동안 절식 시킨 후 무게를 측정 한 뒤 respirometry chamber에 수용하였다. 광주기는 실험실 내 전등을 타이머로 조절하여 빛 12시간(명기), 암흑 12시간(암기)으로 유지하였다. 각 실험 수온(4, 6, 8, 10 °C) 및 염분(10, 18, 34 psu) 별 산소소비일주기리듬과 평균산소소비량을 구하였으며, 다음의 식으로 계산하였다.

$$\text{Oxygen consumption (mg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1})$$

$$= \frac{(C_i - C_0) \times F \times 60}{W}$$

$C_i$  = Dissolved oxygen of inlet water (mg L<sup>-1</sup>)

$C_0$  = Dissolved oxygen of outlet water (mg L<sup>-1</sup>)

F = Flow rate (L min<sup>-1</sup>)

W = Weight (kg)

암모니아 배설량은 산소소비율 측정과 동시에 respirometer chamber에서 실험액 2 mL를 채수하여 phenol-hypochlorite방법을 이용하여 분광광도계 (Ultrospec 3300 pro, Amersham Bioscience, USA)에서 450 nm의 파장으로 흡광도를 측정하여 아래의 공식에 따라 암모니아 배설량을 계산하였다.

$$\text{Ammonia excretion (mg NH}_4\text{-N kg}^{-1} \text{ h}^{-1}) \\ = \frac{(A_t - A_i) \times V}{T \times W}$$

$A_i$  = Initial ammonia concentration (mg NH<sub>4</sub>-N L<sup>-1</sup>)

$A_t$  = t-hour, ammonia concentration (mg NH<sub>4</sub>-N L<sup>-1</sup>)

V = Volume of chamber (L)

W = Weight (kg)

### 3. 조직학적 분석

실험 종료 시(14일 째) 근육과 아가미를 적출하여 10% 중성포르말린에 24시간 동안 고정하였다. 그 후 1 mm 두께로 잘라 10% 중성포르말린에 24시간 동안 재고정 한 후 24시간 동안 흐르는 물에 수세하였다. 그 후 표본조직가공기를 이용하여 70%, 80%, 90%, 95%, 100% 순으로 1시간씩 단계별 ethanol 탈수과정을 거친 후 파라핀 포매기를 이용해 포매를 하였다. 포매 된 시료는 4 μm로 연속 절편하여 조직표본을 제작한 후 Harris hematoxylin-eosin Y (H-E) 대비 염색을 하여 관찰하였다.

### 4. 통계처리

실험의 결과 값은 평균±표준편차로 나타내었으며, 실험구간 유의성(P<0.05)은 SPSS program (Ver. 17.0)을 사용하여 One-way ANOVA test 또는 Two-way ANOVA test와 Duncan test로 검증하였다.

## Ⅲ. 결 과

### 1. 생존율

실험 종료 시 모든 실험구에서 100%의 생존율을 보였다(Data not showed).

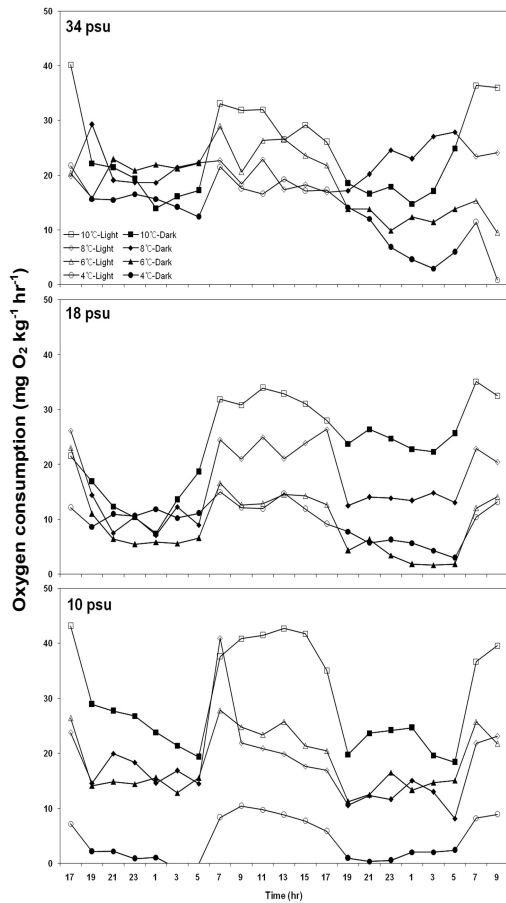
### 2. 수온과 염분에 따른 대사량 변화

산소소비 일주리들은 모든 실험구에서 암기에 감소하고, 명기에 증가하는 것으로 나타났다. 18 psu의 경우에는 6와 4℃일 때 산소소비율의 변화는 2.99-23.05 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>로 유사하게 나타났다. 10 psu에서는 4℃일 때 산소소비율이 0.35-10.44 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>로 가장 낮았다(Fig. 1).

평균 산소소비율은 모든 염분구에서 수온이 낮아질수록 유의하게 감소하였다. 34 psu에서는 4℃(13.06±1.65 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), 18 psu에서는 6℃(9.10±0.86 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)와 4℃(9.73±1.02 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>), 10 psu에서는 4℃(4.01±0.73 mg O<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>)에서 가장 낮았다. 염분은 낮아질수록 산소소비량이 유의하게 감소하여 10 psu에서 가장 낮았다(Fig. 2). 평균 산소소비량은 수온과 염분의 영향을 받는 것으로 나타났다(<Table 1>).

암모니아 배설률은 모든 염분구에서 4℃일 때 가장 높게 나타났다. 염분은 낮아질수록 암모니아 배설률이 유의하게 증가하여 10 psu에서 가장 높았다(Fig. 2)). 암모니아 배설률은 수온, 염분 및 수온×염분 상호작용에 영향을 받는 것으로 나타났다(<Table 1>).

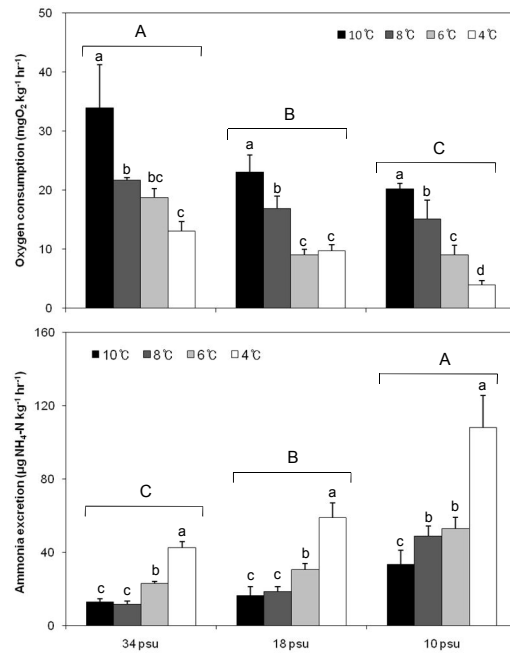
수온과 염분이 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 생존, 대사 및 조직학적 변화에 미치는 영향



[Fig. 1] Daily rhythm of oxygen consumption in rockfish, *Sebastes schlegeli* exposed to various temperatures (4, 6, 8, 10°C) and salinities (10, 18, 34 psu)

<Table 1> P-values from two-way ANOVAs of oxygen consumption and ammonia excretion in rockfish, *Sebastes schlegeli* exposed to various temperatures and salinities at 7 days Sal×Temp: Interaction of salinity and temperature

Parameter	Salinity	Temperature	Sal×Temp
Oxygen consumption	<0.001	<0.001	<0.123
Ammonia excretion	<0.001	<0.001	0.001



[Fig. 2] Oxygen consumption and ammonia excretion of rockfish, *Sebastes schlegeli* exposed to various temperatures (4, 6, 8, 10°C) and salinities (10, 18, 34 psu). Means ± S.D. Different capital letters mean significant difference between salinity and small letters between temperature ( $P<0.05$ ).

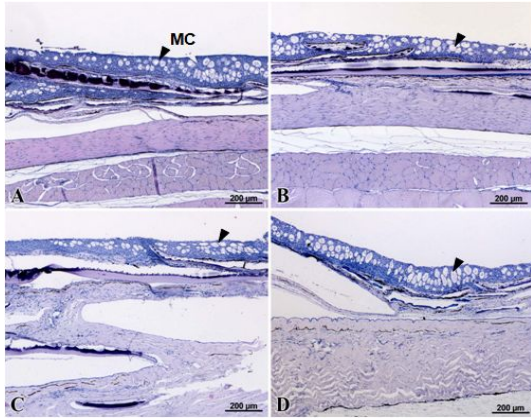
### 3. 피부와 아가미의 조직학적 변화

34 psu의 경우 4°C일 때 피부의 점액세포가 타원형에서 긴 원주형으로 비대 되었다. 아가미는 대조구와 비교하였을 때 특이적인 조직학적 변화가 관찰되지 않았다(Figs. 3, 4).

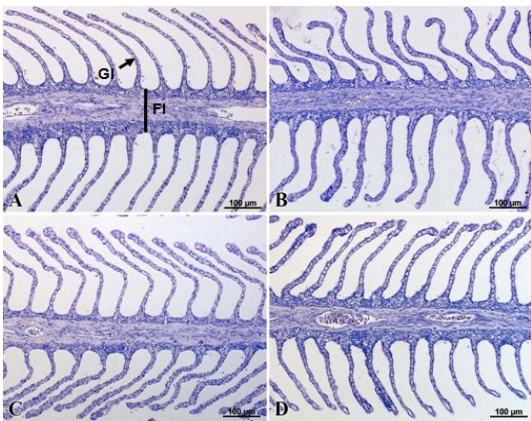
18 psu의 경우 모든 수온에서 피부 점액세포의 과증식이 관찰되었다. 아가미는 대체적으로 새판을 둘러싸고 있는 상피세포들이 비대 되었으며, 4°C일 때 새판의 끝에 존재하는 세포들이 비대되고, 핵의 퇴화 및 세포질의 균질화가 관찰되었다(Figs. 5, 6).

10 psu의 경우 피부 점액세포의 과증식 및 비대가 두드러지게 나타났으며, 4°C일 때 상피층에

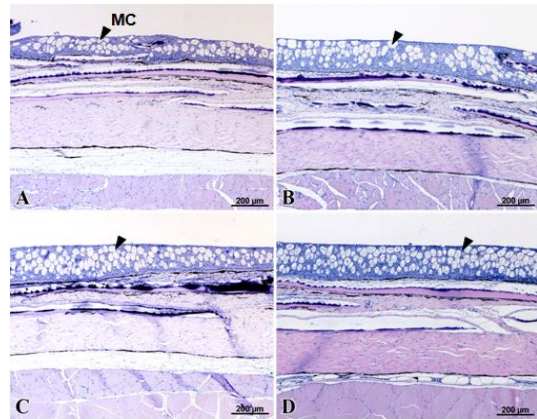
는 점액세포가 대부분을 차지하고 있었다. 아가미는 6°C에서 부분적으로 새관의 융합이 관찰되었다. 4°C의 경우 새관을 둘러싸고 있는 상피세포들이 입방형으로 비대되고, 과증식 되면서 인접하는 새관과 융합되어 새관의 끝부분은 일직선의 형태를 이루고 있었다([Figs. 7, 8]).



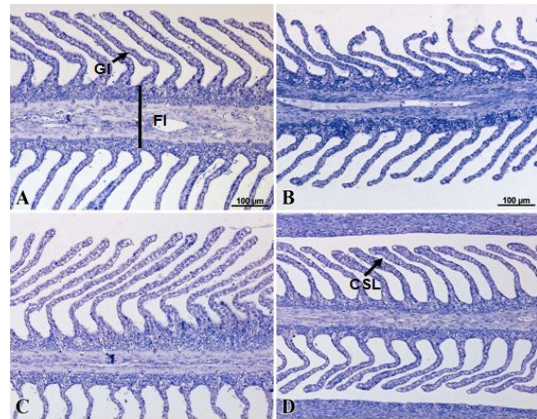
[Fig. 3] Histological microscopy in the skin of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 34 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. MC: Mucous cell (arrowhead).



[Fig. 4] Histological microscopy in the gill of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 34 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. FI: filament, GI: gill lamellae.



[Fig. 5] Histological microscopy in the skin of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 18 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. MC: Mucous cell (arrowhead).



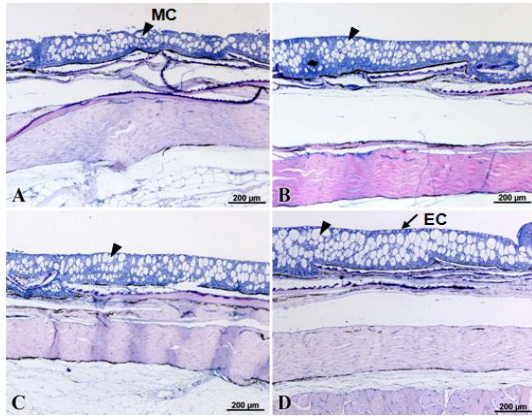
[Fig. 6] Histological microscopy in the gill of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 18 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. CSL: club-shaped lamella, FI: filament, GI: gill lamellae.

#### IV. 고찰

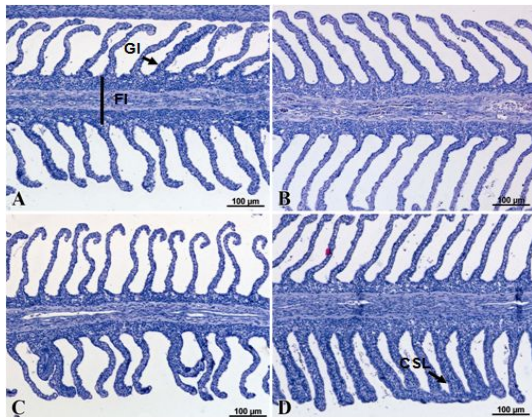
어류는 스트레스를 받게 되면 일차적으로 catecholamine response, corticosteroid response, neuroendocrine response가 일어나며, 그에 따라 대사량, 혈액성상, 삼투조절능력 그리고 면역력 등이



변하게 되어, 최종적으로 생존, 성장 및 발달, 질병 저항력, 행동



[Fig. 7] Histological microscopy in the skin of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 10 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. EC: epithelial cell (arrow), MC: Mucous cell (arrowhead).



[Fig. 8] Histological microscopy in the gill of rockfish, *Sebastes schlegeli* of depending on water temperature at 10 psu (14 days). (A) 10°C, (B) 8°C, (C) 6°C, (D) 4°C. CSL: club-shaped lamella, Fi: filament, Gl: gill lamellae.

습성 등이 변하게 된다(Kwon et al., 2015). 본 연구에서 모든 실험구의 생존율이 100%로 나타나 4, 6, 8, 10°C의 수온과 10, 18, 34 psu의 염분

은 조피볼락의 생존 범위 내인 것으로 나타났다.

활어 운반 시 어류의 대사량은 운반수의 수질과 직접적인 관련이 있어 가장 먼저 고려되어야 할 요인이다. 이러한 대사량의 생리적 지표로 산소소비율과 암모니아 배설량을 들 수 있으며, 어류의 산소소비율은 수온과 염분에 영향을 받는다(Wedemeyer, 1997). 본 연구결과 조피볼락은 암기에 비해 명기에 산소소비량이 높은 뚜렷한 산소소비리듬이 나타났다. 또한, 10°C이하의 수온과 34 psu에서 10 psu 사이의 염분에서도 명암기의 산소소비 일주기리듬이 사라지지 않아 냉수성이며, 광염성인 어종으로 나타났다.

조피볼락의 평균 산소소비량은 10°C에서 4°C까지 수온이 낮아질수록 유의하게 감소하는 것으로 나타났다. 감성돔(*Acanthopagrus schlegeli*)의 경우 산소소비량이 15, 20, 25°C에서 수온이 낮아질수록 유의하게 감소하였고(Chang et al., 2005), 대왕바리(*Epinephelus lanceolatus*)의 경우도 32°C에서 수온이 10°C 낮아질수록 산소소비율이 2배 이상 감소하였으며(Jeong et al., 2014), 유럽 바다송어, *Dicentrarchus labrax*의 경우도 25°C부터 10°C까지 수온이 낮아질수록 유의하게 감소하여(Claireaux and Lagardère, 1999), 본 연구와 유사하게 나타났다. 염분에 따른 조피볼락의 산소소비량은 염분이 감소할수록 유의하게 낮아지는 경향이 나타났으며 이는 *D. labrax*의 경우 5-20 psu 염분 범위에서 염분이 낮아질수록 산소소비량이 유의하게 감소한다는 결과(Claireaux and Lagardère, 1999)와 일치하였다.

암모니아 배설율은 각 염분구에서 수온이 낮아질수록 높아져 4°C에서 가장 높았다. 또한, 염분이 낮아질수록 유의하게 높아져 10 psu-4°C에서 가장 높게 나타났다. 이는 황복의 경우 22 psu 및 32 psu보다 2 psu와 12 psu에서 암모니아 배설률이 높아진다는 연구 결과(Lee and Kim, 2005)와 유사하였다. 이러한 암모니아 배설률 증가는 생물이 적합지 않은 환경에 있을 시 단기간에 나타날 수 있는 현상으로 저수온과 저염분의

복합작용에 의한 스트레스로 대사량이 증가한 것으로 보인다. 따라서 수온과 염분을 낮출수록 조피볼락의 산소소비량이 낮아졌으나, 18 psu 이하의 염분과 4℃ 이하 일 때의 수온에 장기간 노출될 경우 조피볼락의 건강도에 악영향을 끼칠 수 있을 것으로 여겨진다.

일반적으로 어류가 스트레스에 노출되면 피부의 점액세포 과증식과 상피세포의 변형이 관찰되고, 아가미의 경우 새편을 둘러싸고 있는 상피층의 비대 및 핵응축과 염세포의 과증식과 같은 다양한 조직학적 변화가 관찰된다(Müller and Loyd, 1994; Philpott, 1980). Oh and Park (2011)에 의하면 미꾸리 (*Misgurnus mizolepis*)의 경우 18℃에서 4℃로 수온을 갑자기 낮출 경우 피부(등, 체측, 후두부)의 점액세포 수와 크기가 현저히 증가하는 경향이 나타나 피부의 점액세포 변화 양상을 저수온에 대한 조직학적 스트레스 지표로 유용할 것이라고 보고하였다. 또한 Fanta et al. (2003)에 의하면 급격한 환경 변화는 아가미 상피층이 과도하게 증식한다고 하였고, Cho et al. (2013)에 의하면 송어의 경우 염분이 급변할 경우 염세포가 증가되며, 담수에 적응한 틸라피아를 해수로 바로 사육할 경우 아가미 2차 새편의 모세혈관이 응혈(bloodclot)되고 새편이 증척되는 조직학적 변형이 일어나 3일 째 모두 폐사했다고 보고하였다.

본 연구에서 조피볼락의 조직 변형은 18 psu 이하의 염분과 4℃의 수온에서 관찰됐으나 피부는 점액세포의 과증식 및 비대를 제외하고는 특별한 조직학적인 변화가 관찰되지 않았다. 아가미는 상피세포의 괴사 및 모세혈관의 파괴와 같은 비가역적인 증상들이 관찰되지는 않았다. 하지만 본 연구에서 보이는 이러한 증상들은 외부의 환경변화에 적응하고 스트레스에 스스로를 방어하기 위한 기작으로써 이러한 스트레스가 장기간 지속될 경우 피부와 아가미 조직의 구조적인 변형이 발생할 것으로 생각된다.

## V. 결론

결과를 요약해보면, 본 연구에서 조피볼락의 산소소비율은 수온과 염분이 낮을수록 감소하였다. 그러나 수온과 염분이 낮아질수록 암모니아 배설량이 증가하였으며, 4℃의 수온과 10 psu의 염분에서 피부와 아가미의 조직학적 변화가 나타났다. 따라서 조피볼락 활어용 컨테이너 수송을 위한 적정 수온은 6-10℃, 염분은 18-34 psu으로 사료된다.

## References

- Berka R.(1986). The transport of live fish. A review. EIFAC Technical Report, 48, FAO, Rome, 52.
- Chang Y. J. · Jeong M. H. · Min B. H. · Neill W. H. & Fontaine L. P.(2005). Effects of Photoperiod, Temperature, and Fish Size on Oxygen Consumption in the Black Porgy *Acanthopagrus schlegeli*. Journal of Fisheries Science. Technology. 8(3), 142~150.
- Cho Y. J. · Kim Y. Y. · Lee N. G. & Choi Y. J. (1994). Basic studies on developing equipment for waterless transportation of live fish. Bulletin of the Korea Fisheries Society, 27(5), 501~508.
- Cho J. K. · Kim T. I. · Son M. H. · Kim K. M. & Jin Y. G.(2013). Survival and histological changes in gill of the rockfish, *Sebastes schlegeli* following exposure to naphthalene. Korean journal of ichthyology, 25(1), 1~8.
- Claireaux G. & Lagardère J. P.(1999). Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass. Journal of Sea Research 42, 157~168.
- Davis K. B. & Parker N. C.(1986). Plasma corticosteroid stress response of fourteen species of warmwater fish to transportation. Transactions of the American Fisheries Society, 115, 495~499.
- Fanta E. · Riod F. S. · Romao S. · Vianna A. C. C. & Freiberger S.(2003). Histopathology of the fish, *Corydoras paleatus* contaminated with sublethal levels of organophosphorus in water and food. Ecotoxicology Environmental Safety, 54, 119~130.
- FAO.(2015). Food outlook: Biannual report on global

- food markets, 1~142.
- Ferreira J. · Schoonbee T. · Smith G. L.(1984). The use of benzocainehydrochloride as an aid in the transport of fish. *Aquaculture* 42, 169~174.
- Harmon T. S.(2009). Methods for reducing stressors and maintain water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. *Reviews in Aquaculture*, 1, 58~66.
- Jeong M. H. · Kim S. D. · Lim H. K. · Kim M. J. & Kim B. S.(2014). Effects of Oxygen Consumption in the Giant Grouper *Epinephelus lanceolatus* by Water Temperature and Photoperiod. *Korean Journal of ichthyology*, 26(4), 259~266.
- Kwon W. J. · Kim Y. C. · Yoon M. J. & Jeong H. D. (2015). Characterization of asymptomatic Megalocytivirus infection in farmed rockfish (*Sebastes schlegeli*) in Korea. *The journal of fisheries and marine sciences education*, 27(4), 1184~1193.
- Lee J. Y. & Kim D. B.(2005). The Optimum Salinity and the Effects of the Rapid Salinity Change on Oxygen Consumption and Nitrogen Excretion in River Purrer, *Takifugu obscurus*. *Journal of Aquaculture*, 18(1), 45~51.
- MOF.(2014). Development of the transport system of live fish for export. Ministry of Oceans and Fisheries, ROK, 1~157.
- MOF.(2015). Statistic Database for Fishery Production Survey. Ministry of Oceans and Fisheries, ROK, Retrieved from <http://stat.mof.go.kr/portal/cate/partStat.do>.
- Müller R. & Lloyd R.(1994). Sublethal and chronic effects of pollutants on freshwater fish. Oxford. Oxford Blackwell Scientific.
- Oh M. K. & Park J. Y.(2011). Temporal variations of skin mucus cells of *Misgurnus mizolepis* (Cobitidae) by a change of water temperature. *Korean journal of ichthyology*, 23(2), 145~149.
- Philpott C. W.(1980). Tubular system membranes of teleost chloride cells: Osmotic response and transport sites. *American Journal of Physiology* 238, 171~184.
- Piper R. G. · McElwain I. B. · Orme L. E. · McCraren, J. P. · Fowler L. G. & Leonard J. R. (1982). *Fish hatchery management*. American Fisheries Society, Bethesda, MD. 517.
- Sohn S. G. · Lee J. Y. · Lee Y. S. · Kim K. S. · Kim B. R. · Lee J. H. & Choi, H. S.(2015). Acute toxicity of ammonia on juvenile banded catfish (*Pseudobagrus fulvidraco*). *The journal of fisheries and marine sciences education*, 27(5), 1229~1235.
- Tomasso J. R. · Davis K. B. & Parker N. C.(1980). Plasma corticosteroid and electrolyte dynamics of hybrid striped bass (white bass × striped bass) during netting and hauling. *Proceeding of the World Mariculture Society*, 11, 303~310.
- Wedemeyer G. A.(1996). Transportation and handling. In: Pennel W, Barton B. (Eds), *Principles of Salmonid Culture. Developments in aquaculture and fisheries science*, Elsevier, Amsterdam, 29, 727~758.
- Wedemeyer G. A.(1997). Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: Iwama GW, Pickering AD, Sumpter JP, Schreck CB (Eds). *Fish stress and health in aquaculture*, pp. 35~72. Cambridge University Press, New york.
- Yoon M. J. · Lee J. D. · Kang K. H. · Park S. Y. & Kim J. G.(2015). Physicochemical properties of olive flounder *Paralichthys olivaceus*, Red seabream *Pagrus major* and Jacopever *Sebastes schlegeli*. *The journal of fisheries and marine sciences education*, 27(5), 1447~1456.
- Yoshikawa H. · Ueno S. & Mitsuda H.(1989). Short and long term cold-anaesthesia in Carp. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55, 491~498.

---

● Received : 27 May, 2016

● Revised : 27 June, 2016

● Accepted : 05 July, 2016