

북방전복, *Haliotis discus hannai*의 장거리 수송을 위한 적정 수온 및 염분 조건

양성진, 명정인, 박정준, 신윤경

국립수산과학원 전략양식연구소 양식관리과

Optimum environmental condition of live container for long distance transport in live abalone *Haliotis discus hannai*

Sung-Jin Yang, Jeong-In Myeong, Jung-Jun Park, and Yun-Kyung Shin

Aquaculture Management Division, Aquaculture Research Institute, NFRDI, Busan 619-902, Korea

ABSTRACT

We investigated the survival rate by water temperature and salinity, physiological rhythm and morphological change of live abalone to get to know optimum water temperature and salinity suitable for long-distance transportation of live abalone. At 8°C and above, 96-100% of survival rate was shown at all experiment groups. At 6°C, 66% of abalones survived in normal seawater but they showed 0% of survival rate at 30 ± 0.5 psu and 26 ± 0.5 psu of salinity at the same water temperature. There was no significant difference of oxygen consumption rate for a week between the seawater and 30 ± 0.5 psu. Also, a positive correlation was shown between salinity and water temperature and the oxygen consumption rate was slightly higher at 30 ± 0.5 psu than seawater. Thinned epithelial layers and expansion of lymph sinus were observed less than 30 ± 0.5 psu or below 6°C of temperature. This result shows that the optimum level of water temperature and salinity is considered to be 6-8°C and more than 30 ± 0.5 psu respectively.

Key words: *Haliotis discus hannai*, Long-distance transportation, Oxygen consumption, Temperature

서 론

최근에 들어 구제역이나 조류독감 또는 광우병과 같은 가축의 질병으로 인하여 육류의 소비는 점차 줄어드는 추세인 데 반하여, 우수한 단백질 공급원으로서 건강 식품으로 각광받고 있는 수산물의 소비는 뚜렷한 증가추세에 있으며, 국민소득의 증대 및 외식산업의 발달과 함께 활어 상태의 해산물을 선호하는 소비자들의 요구로 인하여 활수산물의 소비량 또한 급격히 증가하고 있다.

특히, 우리나라와 일본 등지에서 주로 횡감으로 소비되었던

활수산물이 보다 많은 국가에서 선호하는 식품으로 자리매김함에 따라, 국가간의 활수산물 교역량 역시 앞으로 크게 증대될 전망이다. 그러나 산지로부터 활수산물을 매입하여 소비지역까지 수송하는 과정에 많은 물류비용이 소요됨으로써 국내의 활수산물 가격뿐만 아니라 세계적으로도 가격이 크게 상승하고 있는 실정이다.

실질적으로, 상온 조건하에서의 활수산물의 수송은 활수산물과 물의 비율이 15:85 정도로 물의 양이 대부분을 차지하지만 활어 수송 시 배설이나 점액물질의 분비로 인한 수질 변화는 수송 생물에 스트레스 요인으로 작용하여 생존시간을 24시간 이상 유지시킬 수 없기 때문에, 대부분 단거리 수송에 국한되어 있으며, 장거리 수송의 경우에는 비행기를 이용한 소량 수송에 의존하고 있다 (Piper *et al.*, 1982; Berka, 1986).

이러한 상황에 따라 컨테이너를 이용한 활수산물의 대량수송으로 물류비용을 최대한으로 절감시키고, 더 나아가서는 활수산물의 소비가 적은 국가로부터 저렴한 가격의 활수산물을 수입하는 동시에, 경쟁력 있는 국내의 활수산물을 외국으로 수출하고자 하는 노력이 진행되고 있으며, 그 일환으로 활어 수

Received: December 5, 2014; Revised: December 20, 2014;
Accepted: December 26, 2014

Corresponding author : Yun-Kyung Shin

Tel: +82 (51) 720-2431 e-mail: Yunkshin@korea.kr
1225-3480/24548

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

조를 갖춘 컨테이너를 이용한 활수산물 수송용 컨테이너가 보급되고 있다.

일반적으로 활수산물 수송 방법은 저온 환경에서 생물의 대사 속도를 최소화하여 활수산물의 수송 밀도 증대 및 품질 수준을 향상시키는 냉각 수조 수송 방법, 이산화탄소 등 마취제와 저온을 병행하는 마취 수송 방법, 전기쇼크 수송 방법, 빙온 영역에서 인공 동면을 유도하여 대사속도의 최소화를 통한 무수 수송시키기 위한 인공 동면 수송 방법 등이 개발되었으나 상업적 실용화 수준에는 미치지 못하고 있는 실정이다 (Hatting, 1977; Chung, 1980; Ferreira *et al.*, 1984; Yoshikawa *et al.*, 1989; Yoon *et al.*, 1998; Kim and Cho., 1992; Cho *et al.*, 1994).

북방전복 (*Haliotis discus hannai*) 은 수산분야 10대 수출전략 품목 및 수산종자산업의 품목으로 양식성장 잠재력과 고부가가치를 가진 양식생물로서 평가되고 있다. 또한 북방전복양식생산량은 09년 6,207톤, 11년 6,779톤, 13년 7,479톤으로 우리나라 양식패류 생산량 중 2.6% (MOF, 2013) 에 불과하지만 생산금액은 56.5% (MOF, 2013) 의 비중을 차지하고 있어 우리나라 패류양식산업에 있어서 북방전복은 매우 중요한 품종으로 자리 잡고 있다.

최근 1인당 수산물 소비량이 중국 30 kg, 미국 24.1 kg, 유럽 22.2 kg으로 과거에 비해 크게 증가하고 있으며 (FAO, 2012), 소득 수준의 증가와 함께 해삼, 북방전복, 해산어류 등과 같은 고급 수산물의 소비가 급증할 것으로 예상되어 북방전복 등의 국내 주요 수산물 수출 시장확대가 기대되며 이러한 수출 시장 확대를 위한 안정적인 물량공급의 일환으로 활어 컨테이너를 이용한 북방전복의 장거리 수송 방법의 개발이 필요하다.

따라서 본 연구는 수출 주요 품목인 국내 양식 북방전복의 대량 장거리 수송 시스템 구축을 위하여 최적 수송조건을 확립하기 위하여 수송용 활어컨테이너의 적정 수온, 및 염분 조건을 구명하기 위하여 수온 및 염분에 따른 생존율, 산소소비율 그리고 조직학적 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 북방전복은 전라남도 완도군 전복양식장에서 채취하여 실험실로 옮긴 후 2톤 수조에서 10일간 순치시킨 후 실험에 사용하였다. 순치기간 동안 수온 $15 \pm 1^\circ\text{C}$, 염분은 33.5 ± 0.5 psu로 유지되었으며, 먹이는 시판중인 건 다시마를 공급하였다. 실험에 사용된 개체의 크기는 각각 82.9 ± 3.8 mm, 전중 67.7 ± 8.5 g의 것을 사용하였다. 장거리 수송에 적합한 수온, 염분 범위를 설정하기 위하여 수온 4, 6, 8, 10°C , 염분은 26 psu, 30 psu 및 일반해수 (33.5 psu) 로 설정하였

다. 실험기간은 국내에서 미국 로스앤젤레스까지 활어컨테이너를 이용하여 활수산물을 수송하는데 소요되는 기간을 장거리 수송 기간으로 간주하여 14일을 설정하였다

실험수행기간 동안 광주기는 12 L:12 D를 유지하였다. 실험방법은 지수식 및 순환여과식으로 행하였으며, 수온은 냉각기 (대일, DA-500B) 와 온도조절기를 이용하여 조절하였다. 실험해수는 공기를 주입시키면서 장거리수송시스템의 용존산소농도 12-15 mg/L로 조절하였다. 생존율은 12시간 간격으로 관찰하였으며, 셀터에서 탈락된 개체 중 외부자극에도 발근육의 수축 반응이 없는 것을 폐사한 것으로 간주하였다. 산소소비 일주리듬은 생물호흡측정시스템 (Oxygen Optode Sensor 3835) 을 이용하여 1시간 간격으로 24시간 측정하여 하루 동안의 산소소비율의 변화를 분석하였다. 각 실험수온 및 염분별 산소소비율은 24시간 동안 측정된 산소소비율의 평균값을 이용하였다.

조직학적 반응은 전복의 발근육을 적출하여 조직학적 분석을 실시하였다. 광학현미경 조직표본 제작은 적출한 시료들을 10% 중성포르말린 용액에 24시간 동안 고정하고, 48시간 동안 흐르는 물에 수세하였다. 그 후 단계별 ethanol 탈수과정 후 paraplast (McCormick, USA) 에 포매 하였다. 포매된 시료는 microtome (RM2235, Leica, Germany) 을 이용하여 4-6 μm 두께로 연속 절편하여 조직표본을 제작한 후 Harris hematoxylin-eosin Y (H-E) 염색을 하여 광학현미경 (Carl Zeiss, DE/ Axloscope A1) 으로 관찰하였다.

1. 통계처리

모든 실험 결과는 One-way ANOVA test를 실시하였으며, 평균 간의 유의성 ($P < 0.05$) 은 Duncan test (Duncan, 1955) 로 검정하였다. 통계 분석은 SPSS program (ver 17.0) 을 사용하여 분석하였다.

결 과

1. 수온 및 염분 별 생존율 및 산소소비율의 변화

북방전복의 장거리 수송에 적합한 수온 및 염분범위를 설정하기 위하여 수온 4, 6, 8, 10°C , 염분 26 ± 0.5 , 30 ± 0.5 psu 및 일반해수 (33.5 ± 0.5 psu) 의 범위에 북방전복을 14일 수송기간 동안 노출시킨 후 생존율을 조사하였다 (Fig. 1). 일반해수의 경우 수온 10°C 와 8°C 에서는 생존율이 98-100%로 폐사가 거의 발생하지 않았으나 6°C 와 4°C 에서는 노출 2-3 일째부터 사망하기 시작하여 6°C 는 노출 14일째 생존율이 66% 이었고 4°C 에서는 노출 8일째 모두 사망하였다 (Fig. 1A). 염분 30 ± 0.5 psu의 경우 10°C 와 8°C 는 폐사가 거의 발생하지 않았으나 6°C 는 노출 13일째 4°C 는 8일째 모두 사망

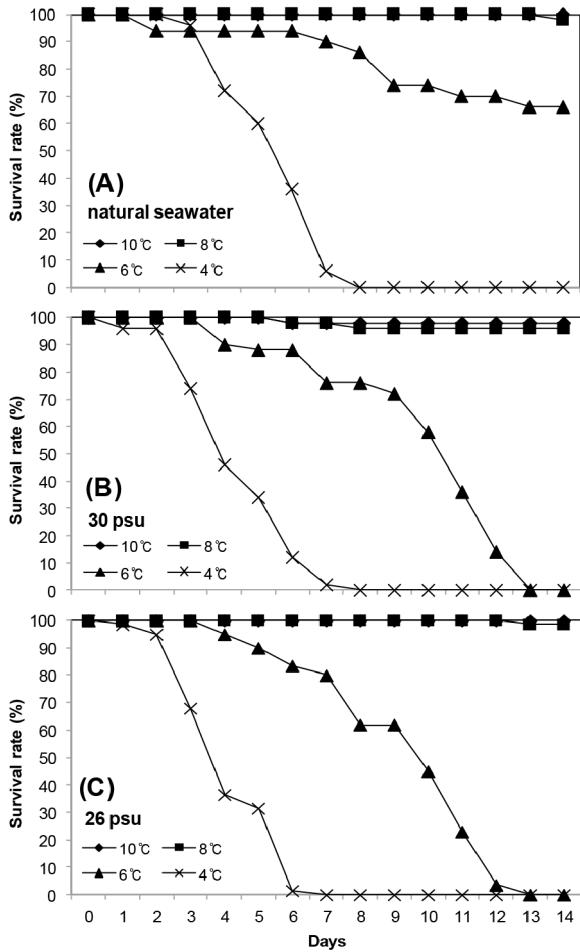


Fig. 1. Survival rate of abalone *Haliotis discus hannai* with changes of different temperature and salinity.

하였고 (Fig. 1B), 26 ± 0.5 psu에서는 6°C와 4°C에서 노출 13일째와 7일째 모두 사망하여 염분감소와 저수온의 복합 영향의 차이가 뚜렷하게 나타났다 (Fig. 1C). 수온 6°C의 경우에는 염분 33 ± 0.5 psu에서 노출 14일째 생존율 66%를 나타내었으며, 염분 30 ± 0.5 psu와 26 ± 0.5 psu에서는 노출 13일째 모두 사망하여 염분에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

24시간 동안 산소소비 일주리듬은 일반해수와 염분 30 ± 0.5 psu의 경우 낮보다는 밤에 다소 높은 것으로 나타났으나 유의한 차이를 보이지 않았으며 (p < 0.05, Fig. 2), 수온 4°C에서는 밤과 낮의 일주리듬이 없이 유사한 것으로 나타났다. 반면 염분 26 ± 0.5 psu에서는 밤 기간에 비해 낮 동안의 산소소비율이 높게 나타나 일반해수와 30 ± 0.5 psu의 산소소비 일주리듬과 상반되는 결과를 나타내었다 (Fig. 2).

수온 및 염분 별 전복의 일간 평균 산소소비율을 Fig. 3에 나타내었다. 전복의 산소소비율은 모든 실험염분에서 수온이 감소함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 염분 26 ± 0.5

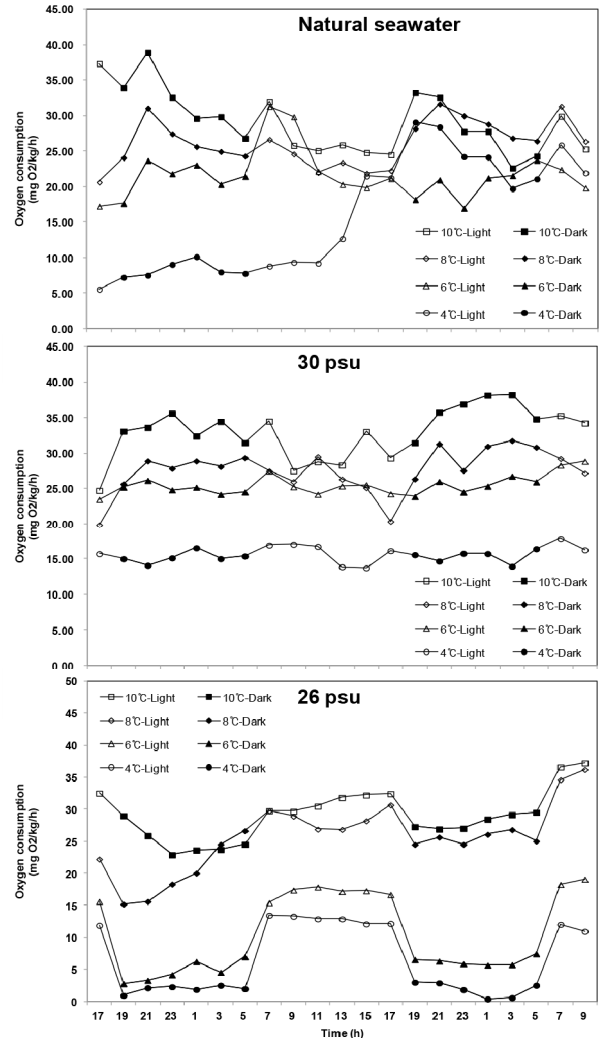


Fig. 2. Daily rhythm of oxygen consumption with different temperature and salinity in abalone *Haliotis discus hannai*.

psu 및 수온 6°C이하에서 산소소비율은 8°C에 비해 52% 이상 현저히 감소하여 저수온 및 저염분에 의한 대사기능 저하 현상을 나타내었다. 염분 별 산소소비량을 비교하면 수온 10°C에서 29.1-32.9 mgO₂/wet wt/h으로 염분 별 유사하였다. 한편 수온 8°C에서 산소소비량을 비교하여보면, 일반해수에서 26.1 mgO₂/wet wt/h, 염분 30 psu에서 27.6 mg O₂/wet wt/h으로 일반해수에 비해 다소 산소소비량이 상승하였다

2. 조직학적 변화

각 수송조건에 14일 동안 노출시킨 복방전복의 건강도를 분석하기 위해 전복 발의 상피층과 근육을 관찰하였다. 대조구인 염분 33.5 ± 0.5 psu의 농도에서 8°C, 6°C, 4°C에 노출된 복

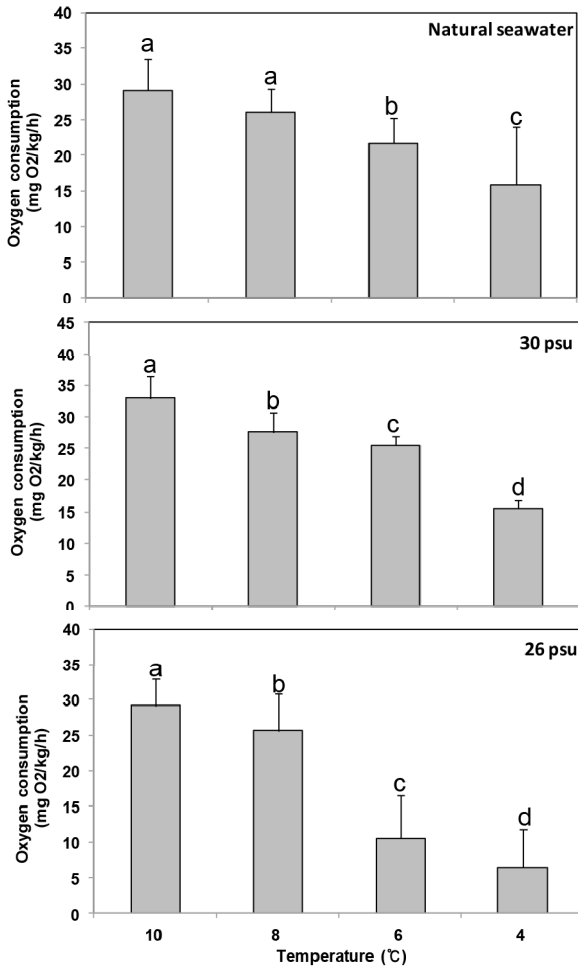


Fig. 3. Changes of daily average oxygen consumption rate of abalone *Haliotis discus hannai* with different temperature and salinity. Different letters on the bar mean significantly difference ($P < 0.05$)

방전복 발의 상피층과 근육들은 모든 실험구들에서 대조구와 큰 차이를 보이지 않았다 (Fig. 4, 5). 염분 30 psu의 농도에서는 실험 7일째에는 정상개체들과 뚜렷한 변화가 나타나지 않았지만 실험 14일째부터 6°C와 4°C의 개체들은 상피세포의 응축으로 인하여 상피층의 두께가 감소하였고 (Fig. 6), 4°C의 수온에서 14일 동안 노출된 개체들은 혈림프동의 확장과 함께 주변에 존재하는 근섬유다발들은 분절되는 증상이 관찰되었다 (Fig. 7). 염분 26 psu에 노출된 전복의 발 상피층은 7일째 모든 수온구간에서 상피층의 두께 감소 및 호염기성 세포가 관찰되었다. 또한 14일이 경과된 실험개체들에서는 수온이 낮아지면서 상피층의 두께 감소와 더불어 상피층의 탈락이 나타났다 (Fig. 8). 26 psu에 노출된 북방전복의 발 근육을 모든 수온구간에서 대조구와 비교하였을 때 뚜렷하게 근섬유다발의 밀도

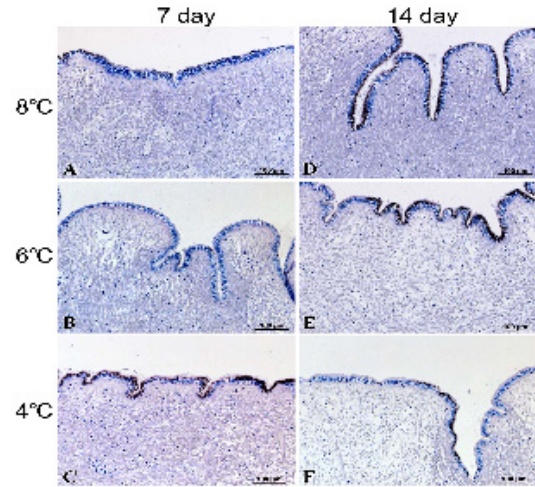


Fig. 4. Histological microscopy in the foot epidermal layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 34 psu. A-F: Note there was no significantly different from control.

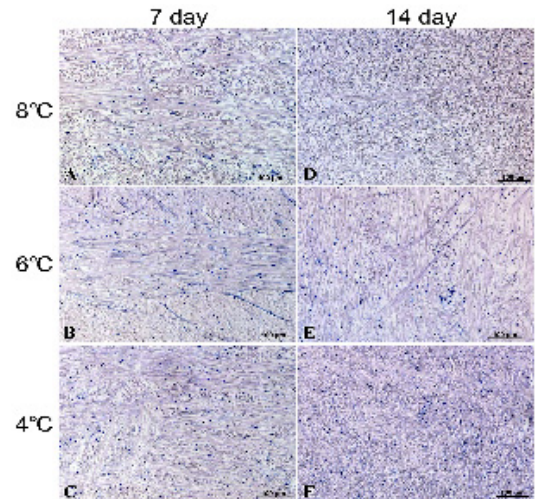


Fig. 5. Histological microscopy in the foot muscular layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 34 psu. A-F: Note there was no significantly different from control.

가 감소하였다. 특히 4°C의 개체들은 근섬유다발의 두께가 얇아졌으며, 거대한 혈림프동이 관찰되었다 (Fig. 9).

고 찰

생리적 반응은 환경 또는 생물자체의 스트레스에 의한 영향으로 인해 세포적 또는 생화학적 반응의 총체로서 나타나며, 연령, 크기 및 생활사를 포함한 여러 가지 요인에 의해 영향을 받으며, 특히 수온, 염분 등 환경의 변화에 따라 다양한 반응을

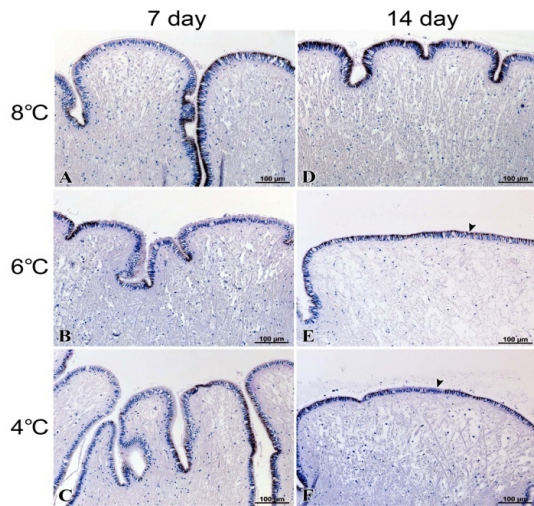


Fig. 6. Histological microscopy in the foot epidermal layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 30 psu. **A-D:** Note there was no significantly different from control. **E and F:** Showing the thin epidermal layer with condensing epithelial cell (arrowhead).

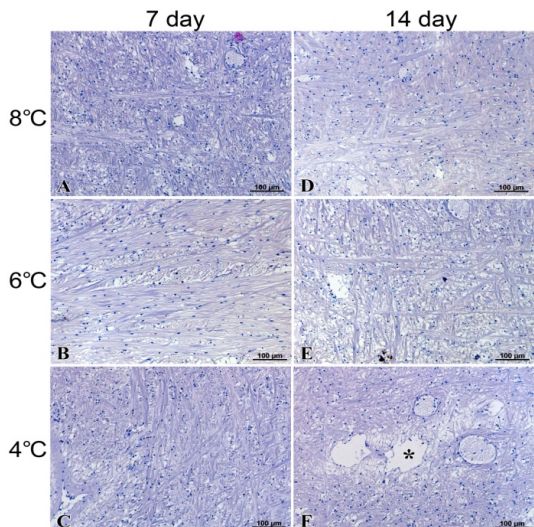


Fig.7. Histological microscopy in the foot muscular layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 30 psu. **A-E:** Note there was no significantly different from control. **F:** Showing the extension haemolymph sinus (asterisk) and rupture of muscle fiber.

보인다 (Bayne *et al.*, 1985). 그러므로 북방전복의 대사활성에 미치는 수온과 염분의 적정범위 및 임계범위 설정은 건강한 활어 상태로 수송하는데 도움이 될 것으로 여겨진다.

일반적으로 대사율은 일상적 물질대사 시보다 수송 시에 약 3배 가량 높게 나타나므로 (Froese, 1988) 이러한 수송 시의 높은 대사율에 의한 이산화탄소와 암모니아의 과도한 축적은

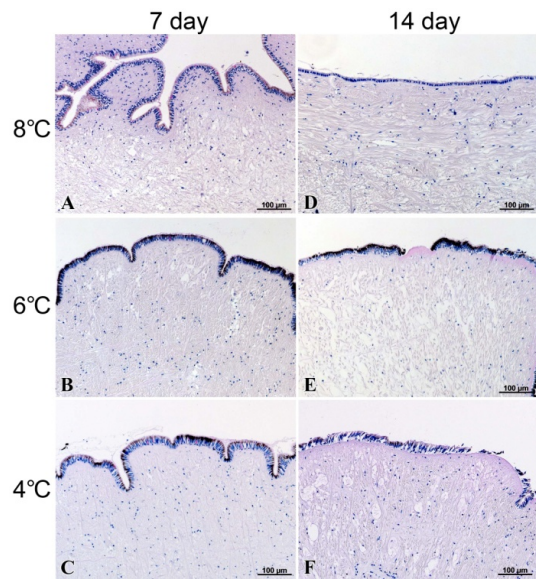


Fig. 8. Histological microscopy in the foot epidermal layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 26 psu. **A-C:** Showing the thin epidermal layer and appearance of eosinophilic cell at 7 days. **D-F:** Note the falling off epidermal layer (arrowhead) at 14 days.

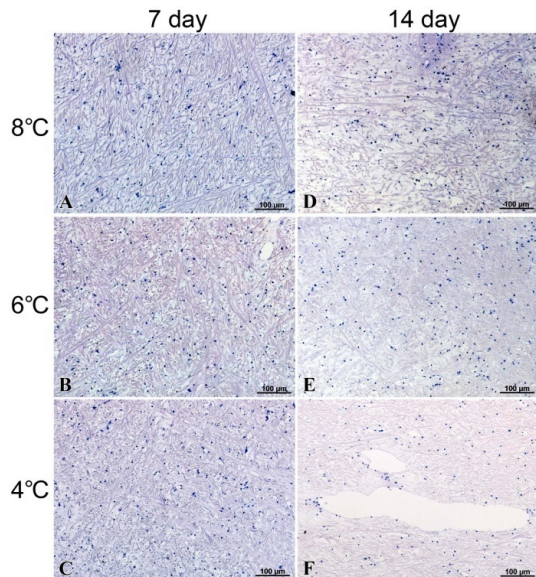


Fig. 9. Histological microscopy in the foot muscular layer of abalone, *Haliotis discus* of depending on water temperature at 26 psu. **A-F:** Note the significantly decreased muscle fiber density from control and especially showing the thin muscle fiber bundle and extensions of the hemolymph sinus at 4°C (14 days).

운반수의 수질 악화시켜 운반 생물에게 스트레스를 주며 심한 경우 폐사를 일으키게 된다. 따라서 수송 시 온도를 가능한 낮

게 하여 대사율을 최소화 시키기 것이 중요하며, 단거리 수송인 경우 보통 열대어류는 22℃, 온대성 어류는 15-18℃로 서식수온보다 약 4-6℃ 낮게 하여 수송을 하지만 (Lim *et al.*, 2003), 10일 이상의 장거리 수송 시에는 그보다 더 낮은 수온의 운반이 필요할 것으로 사료된다.

저온 수송은 그에 따른 운반 생물의 대사율 감소를 기대할 수 있으나 내성 범위를 벗어난 급격한 수온 변화에 노출된 패류는 생존율과 성장률 감소 및 기관계의 조직학적 변화 등이 나타난다 (Bayne *et al.*, 1985; Widdows, 1985; Shin *et al.*, 2012). 오분자기 (*Haliotis diversicolor supertexta*) 치패는 20℃에 순치된 경우, 1주일간 생존 범위는 3.5-32.7℃이며 30℃에 순치된 경우는 14.0-36.8℃로 나타났으며 (Chen and Chen, 1999), 시볼트전복 (*Haliotis sieboldi*) 치패는 10-25℃에서의 48 시간동안의 생존율은 100% 였으나 30℃ 이상에서는 0%로 나타나 급격한 온도 변화 시 생존율이 낮게 나타났으며 (Kim *et al.*, 2006). 저수온 조건에서의 북방전복 (*H. discuss hannai*) 의 7일 간 생존율은 12℃에서는 100% 였으나, 9℃, 6℃, 3℃에서는 각각 90%, 35%, 5%로 나타나 온도가 낮아질수록 낮게 나타났으며 (Park *et al.*, 2013), 본 논문에서도 일반해수에서 10℃, 8℃, 6℃, 4℃의 온도 구간으로 14일간 사육한 북방전복의 생존율이 각각 100%, 98%, 66%, 0%로 나타나 유사하게 나타나 북방전복의 경우 8℃ 이하의 저온 수송은 부적합한 것으로 사료된다.

일반적으로 해산 패류의 등장성 범위는 50-150%이며 (Tucker, 1970), 염분 변화에 따라 심장박동수, 산소소비의 유형, 암모니아배설 변화 등의 다양한 생리적 변화가 수반되며 (Pierce and Greenberg, 1972), 낮은 염분에서 전형적인 패류의 반응은 먹이섭취, 성장률 및 대사율 감소 (Bohle, 1972; Widdows, 1985) 및 패각의 폐쇄 (Hand and Stickle, 1977; Shumway, 1977) 등을 나타낸다. 염분감소에 따른 패류의 생존율에 대하여, 25psu, 30℃에서 순치시킨 오분자기 (*H. diversicolor supertexta*) (Chen and Chen, 2000) 의 경우 14-33 psu의 범위에서 생존이 가능하였으나, *Haliotis asinina* (Singhgraiwan *et al.*, 1992) 의 경우에는 20.5%의 저염분으로 옮겼을때, 생존이 가능하였고, 북방전복 (Shin *et al.*, 2011) 의 생존율은 37 psu에서는 100%인 반면 19.8 psu에서 노출 6일째, 12.8 psu 이하에서는 노출 24시간 이내 모두 사망하여 북방전복의 생존율은 20 psu 이하의 저염분에서는 매우 낮게 나타나 유사하였다.

수온과 염분은 수계생물들의 생존, 성장, 대사 등의 다양한 측면의 생리적 반응을 결정하는 중요한 환경 조절요소이며 이들은 단일 영향으로 생물체에게 적용하기도 하지만 대부분 복합적으로 작용하여 생물에게 영향을 주게 된다 (Magnuson, 1979; Reynolds and Casterlin, 1979). 본 연구에서 실험

기간 동안 수온과 염분 별 북방전복의 생존율은 일반해수에서 수온 8℃이상일 때 생존율이 98-100%였고, 30 ± 0.5 psu와 26 ± 0.5 psu에서도 수온이 8-10℃일 때의 생존율은 96-100%로 나타나 8-10℃의 수온 범위는 북방전복의 생존에 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다. 일반해수의 경우 6℃에서의 생존율이 66%로 나타난 반면, 염분 30 ± 0.5 psu-수온 6℃에서는 노출 12일째 생존율이 14% 였으며 13일째에 모두 폐사하였고, 염분 26 ± 0.5 psu-수온 6℃에서는 노출 12일째 생존율이 3.5% 였으며 13일째에 모두 폐사하였으며, 4℃의 경우 일반 해수와 30 ± 0.5 psu의 염분에서는 생존율이 노출 6일째 12-36%인 것 비해 26 ± 0.5 psu에서는 1.5%로 매우 낮게 나타나 염분의 영향이 뚜렷하게 나타났다. 북방전복의 염분내성농도는 24.9 psu (Shin *et al.*, 2011) 으로 염분 25 psu 이하는 생존에 영향을 미치는 농도이므로 저수온과의 복합 영향을 고려해볼 때 수송조건에 적합하지 못한 것으로 여겨진다.

일반적으로 활수산물 수송 방법은 저온 환경에서 생물의 대사 속도를 최소화하여 활수산물의 수송 밀도를 증대시켜 많은 양을 수송할 수 있다. 대사속도를 추정할 수 있는 산소소비율은 생물체의 대사지표로서 이용된다. 생리적으로 스트레스를 겪고 있는 생물에서 여러 가지 형태로 변화하며 (Sastry and Varge, 1977), Almada-Villela (1984) 는 다양한 환경변화의 스트레스에 노출된 생물에서 호흡률이 증가하거나 감소하는 것으로 보고하였다. 북방전복의 성장은 20℃ 전후 (Sakai, 1962) 에서 빠르며, 최적성장수온 15-20℃ (NFRDI, 2011) 에서 신진대사가 활발하여 먹이섭취량, 산소소비량 등이 많이 요구므로 오랜 시간이 소요되는 수송기간 내 이러한 조건은 적합하지 못하다. 본 연구에서 북방전복의 24시간 동안 산소소비율의 일주일들은 일반해수와 염분 30 ± 0.5 psu에서 수온간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 수온 및 염분 별 산소소비율은 모든 농도에서 수온이 하강할수록 감소하였으며, 일반해수에 비해 30 ± 0.5 psu에서 산소소비율은 다소 높게 나타났다.

북방전복은 연안에 위치하고 있는 양식어장에서 사육되어온 양식생물로서 24시간 동안 일주일들은 수온 염분간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이는 가두리 내에서 사육되어온 사육 환경의 영향으로 (Ryland, 1990) 수송기간 동안 조석주기 및 명암에 대한 영향은 뚜렷하지 않을 것으로 사료된다.

북방전복은 수온이 하강할수록 산소소비율은 감소하였으나, 노출기간이 길어질수록 수온 6℃에서 발근육층이 두꺼워지고 상피세포가 탈락하는 점, 수온에 대한 스트레스가 상승하는 점 등으로 보아 수온 6℃ 이하 수송은 안정하지 못한 것으로 여겨진다.

생리적 범위 내에서 염분 변화에 따른 패류의 먹이섭취 및 대사와 관련된 생리적 반응은 노출 초기에는 감소되지만 2-3

일 지나면서 점차 세포 내 삼투요인을 변화시켜 조절하며, 정상적인 기능을 되찾아 회복하므로 (Widdows, 1985), 염분 30 ± 0.5 psu의 조건은 수송기간 동안 북방전복의 생존 및 생리 활성에 뚜렷한 영향을 미치지 않은 것으로 사료된다.

이상의 결과를 요약해보면 북방전복의 장거리 수송을 위하여 수온 $8-10^{\circ}\text{C}$, 염분은 30 ± 0.5 psu이상이 적합할 것으로 사료된다.

요 약

북방전복을 활어상태로 장거리 수송에 적합한 수온 및 염분의 조건을 구명하기 위하여 수온 및 염분 별 생존율, 산소소비율의 생리적리듬 및 조직학적 변화를 조사하였다. 10°C 와 8°C 에서는 모든 염분에서 생존율이 96-100%로 폐사가 거의 발생하지 않았다. 6°C 와 4°C 의 경우 염분의 영향이 뚜렷하게 나타났으며 북방전복의 염분내성농도는 24.9 psu (Shin *et al.*, 2011) 으로 염분 25 psu 이하는 생존에 영향을 미치는 염분이므로 저수온과의 복합 영향을 고려해볼 때 수송조건에 적합하지 못한 것으로 여겨진다.

북방전복의 24시간 동안 산소소비율의 일주기들은 일반해수와 염분 30 ± 0.5 psu에서 수온간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 염분 및 수온 별 산소소비율은 모든 염분에서 수온이 하강할수록 감소하였으며, 일반해수에 비해 30 ± 0.5 psu에서 산소소비율은 다소 높게 나타났다. 북방전복 발상피와 근육의 조직학적 지표는 염분 30 ± 0.5 psu이하와 수온 6°C 이하의 복합구에서 상피층의 두께 감소 또는 혈림프동 확장 등이 관찰되었다. 이러한 결과로부터 북방전복의 장거리수송을 위한 수온의 적정범위는 $8-10^{\circ}\text{C}$, 염분은 30 ± 0.5 psu이상으로 여겨진다.

사 사

이 연구는 국립수산물연구원 수산시험연구 (적조피해저감연구) 의 지원 (RP-2014-AQ-139) 에 의해 수행되었습니다.

REFERENCES

- Almada-villela, P.C. (1984) The effects of reduced salinity on the growth of small *Mytilus edulis*. *Journal of Marine Biological Association United Kingdom*, **64**: 171-182.
- Bayne, B.L., Brown, D.A., Burns, K., Dixon, D.R., Ivanovici, A., Livingstone, D.R., Lowe, D.M., Moore, M.N., Stebbing, A.R.D. and Widdows, J. (1985) The effects of stress and pollution on marine animals (Praeger special studies). Praeger Scientific, Westport, C.T. pp. 9.
- Berka, R. (1986) The transport of live fish. A review. EIFAC Technical Report, 48, FAO, Rome, pp. 52.
- Bohle B. (1972) Effects of adaptation to reduced salinity on filtration activity and growth of mussels (*Mytilus edulis*). *Journal of Experimental Marine Biological Ecology*, **10**: 41-49.
- Chen, J.C. and Chen, W.C. (2000) Salinity tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Aquaculture*, **181**: 191-203.
- Chen, J.C. and Chen, W.C. (1999) Temperature tolerance of *Haliotis diversicolor supertexta* at different salinity and temperature levels. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, **124**: 73-80.
- Cho, Y.J., Kim, Y.Y., Lee, N.G., and Choi, Y.J. (1994) Basic studies on developing equipment for waterless transportation of live fish. *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, **27**(5): 501-508.
- Chung, K.S. (1980) Cold anesthesia of tropical fish. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **46**: 391-392.
- FAO. (2012) The state of world fisheries and aquaculture 2012. Retrieved from <http://www.FAO.org/docrep/016/i2727e/i2727e01.Pdf>.
- Ferreira, J., Schoonbee, T. and Smith, G.L. (1984) The use of benzocaine hydrochloride as an aid in the transport of fish. *Aquaculture*, **42**: 169-174.
- Froese, R. (1988) Insulating properties of Styrofoam boxes used for transporting live fish. *Aquaculture*, **159**: 283-292.
- Hand, S.C. and Stickle, W.B. (1977) Effects of tidal fluctuations of salinity on pericardial fluid composition of the American *Crassostrea virginica*. *Marine Biology*, **42**: 259-271.
- Hatting, J. (1977) The effect of tricanemethanesulphonate (MS222) on the microhaematocrit of fish blood. *Journal of fish biology*, **10**: 453-455.
- Kim, Y.Y. and Cho, Y.J. (1992) Early changes after death of plaice *Paralichthys olivaceus* muscle 1. Relationship between early changes after death and temperature dependency. *Bulletin of the Korean Fisheries Society*, **25**: 189-196.
- Kim, T.H., Kim, K.J., Choe, M.K. and Yeo, I.K. (2006) Physiological changes of juvenile abalone, *Haliotis sieboldi* exposed to acute water-temperature stress, *Journal of Aquaculture*, **19**: 77-83.
- Lim, L.C., Dhert, P. and Sorgeloos, P. (2003) Recent developments and improvements in ornamental fish packaging systems for air transport. *Aquaculture Research*, **34**: 923-935.
- Magnuson, J.J., Crowder, L.B. and Medrick, P.A. (1979) Temperature as an ecological resource. *American Zoology*, **19**: 331-334.
- MOF. (2013) Statistic Database for Fishery Production Survey. Retrieved from <http://stat.mof.go.kr/portal/cate/partStat.do>.
- NFRDI (2011) http://portal.nfrdi.re.kr/bbs?id=cultureliving&flag=lis&boardIdx=4&sv=FC_B.
- Pierce, S.K. and Greenberg, M.J. (1972) The nature of

- cellular volume regulation in marine bivalves. *Journal of Experimental Biology*, **57**: 681-692.
- Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E., McCraren, J.P., Fowler, L.G. and Leonard, J.R. (1982) Fish Hatchery Management. American Fisheries Society, Bethesda, MD. pp. 517.
- Reynolds, W.W. and Casterin, M.E. (1979) Behavioral thermoregulation and the 'final preferendum' paradigm. *American Zoology*, **19**: 211-224.
- Ryland, J.S. (1990) A circadian rhythm in the tropical ascidian *Diplosoma virens* (Asciacea: Didemnidae). *Journal of Experimental Marine Biological Ecology*, **138**: 217-225.
- Sakai, S. (1962) Ecological studies on the abalone *Haliotis discus hannai* Ino (4). *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, **28**: 899-904.
- Sastry, A.N. and Vargo, S.L. (1977) Variations in the physiological response of crustacean larvae to temperature. In: Physiological response of marine biota to pollutants edited by Vernberg, F.J., Calabrese, A., Thurberg, F.P., Vernberg W.B., Academic Press, New York., pp. 410-424.
- Shin, Y.K., Jun, J.C., Im, J.H., Kim, D.W., Son, M.H. and Kim, E.O. (2011) Physiological responses in abalone *Haliotis discus hannai* with different salinity. *Korean Journal of Malacology*, **27**(4): 283-289. [in Korean]
- Shin, Y.K., Lee, W.C., Kim, D.W., Son, M.H., Jun, J.C., Kim, E.O. and Kim, S.H. (2012) Seasonal changes in physiology of the abalone *Haliotis discus hannai* reared from Nohwa Island on the south coast of Korea. *Journal of Malacology*, **28**: 131-136. [in Korean]
- Singhagraiwan, T., Doi, M. and Sasaki, M. (1992) Salinity tolerance of juvenile donkey's ear abalone, *Haliotis asinina* Linne. *Thailand Marine Fisheries Research Bulletin*, **3**: 71-77.
- Shumway, S. (1977) The effects of fluctuating salinity on the tissue water content of eight species of bivalve mollusks. *Journal of Comparative Physiology*, **116**: 269-285.
- Tucker, L.E. (1970) Effects of external salinity on *Scutus breviculus* (Gastropoda, Prosobranchia)- I. Body weight and blood composition. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **36**: 301-319.
- Widdows, J. (1985) The effects of fluctuating and abrupt changes in salinity on the performance of *Mytilus edulis*. In: Marine Biology of Polar Regions and Effects of stress on marine organism edited by Gray, J. S. and Christiansen, M.E., Wiley-Interscience, pp. 555-566.
- Yoon, S.M., Kim, C.B., Cho Y.C. and Hur, B.K.(1998) Study of the temperature container system for a live fish transportation, *REF-J.*, **10**(3): 343-347.
- Yoshikawa, H., Ueno, S. and Mitsuda, H. (1989) Short and long term cold-anesthesia in Carp. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**: 491-498.