

〈Original article〉

## 수온별 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 행동, 생존율 및 혈액생리학적 반응

박형준 · 민병화 · 김성연\*

국립수산과학원 양식관리과

## Behavior, Survival and Blood Physiological Responses of Red-spotted Grouper *Epinephelus akaara*, at Different Water Temperature

Hyung-Jun Park, Byung Hwa Min and Sung-Yeon Kim\*

Aquaculture Research Division, National Institute of Fisheries Science, 216 Gijanghaean-ro,  
Gijang-eup, Gijang-gun, Busan 46083, Republic of Korea

**Abstract** - To determine the optimum water temperature (a temperature which minimizes metabolic activities and stress in fish) for long distance transportation of red-spotted grouper (*Epinephelus akaara*), by evaluating the behavior, survival and physiological and hematological responses to variable water temperature conditions (9, 12, 15, 18 and 21°C) for 48 hours. Fish exposed to 9°C died at 48 hours exposure, but those exposed to 12, 15, 18 and 21°C treatment groups all survived. Fish in the 15, 18 and 21°C exposure groups exhibited normal swimming, while those exposed to 12°C were observed to be stationary at the bottom of the tank. The plasma cortisol and glucose concentration were higher in fish exposed to 12°C than at other temperature conditions. The fish in the 12 and 15°C groups had significantly higher hematocrit (Ht) and hemoglobin (Hb) than those in the 18 and 21°C groups ( $P < 0.05$ ). Levels of aspartate aminotransferase (AST), NH<sub>3</sub> and osmolality showed a pattern similar to the levels of plasma cortisol, while alanine aminotransferase (ALT) and total protein did not significantly vary among the experimental groups. These results indicate that the optimum water temperature for long distance transportation of the red-spotted grouper is 15°C.

**Key words** : *Epinephelus akaara*, water temperature, cortisol, behavior, survival, glucose

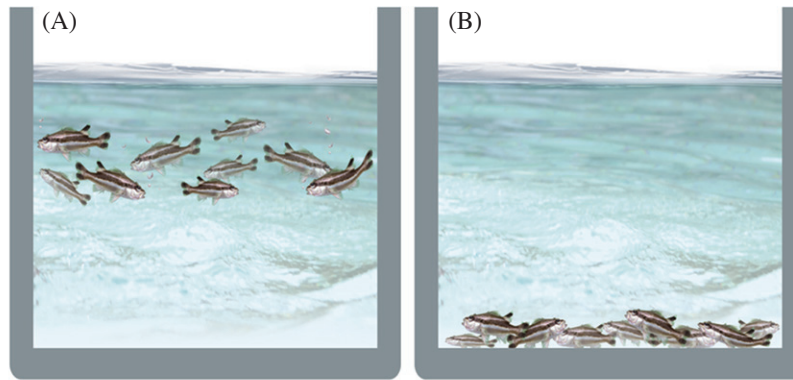
### 서 론

바리과 어류는 전 세계 3조 원 이상의 시장규모를 가지고 있고, 중화권을 비롯하여 동남아시아, 일본과 우리나라에서

도 고가로 소비되며, 최근에는 수산물 시장의 확대로 그 수요가 계속적으로 증가하고 있는 고급 해산 어류이다 (Park *et al.* 2016). 특히, 붉바리 (*Epinephelus akaara*)는 바리과 어류 중에서도 식감이나 맛이 좋아 그 수요가 증가하고 있으며, 이를 충족시키기 위해 중국과 동남아시아 지역에서 붉바리의 종자생산 및 양성기술개발을 시도하고 있는 실정이다.

최근, 우리나라에서도 붉바리의 이러한 국제적 소비시장

\* Corresponding author: Sung-Yeon Kim, Tel. 051-720-2190,  
Fax. 51-720-2439, E-mail. ssykim@korea.kr



**Fig. 1.** The swimming behavior of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* at different water temperature (A: 15, 18 and 21°C, B: 12°C) during this experiment.

을 고려하여 국립수산물과학원 수산종자(Golden Seed Project, GSP)사업단에서는 붉바리의 종자생산 기술을 확립한 바 있으며, 생산된 종자를 대만 등 중화권 시장에 수출을 시도하고 있으나, 장거리수송을 위한 수온 등의 적정 조건은 아직 밝혀져 있지 않은 상태이다.

수온은 어류의 대사, 생리활성, 성장, 건강도, 생존 및 번식에 영향을 미치는 가장 중요한 요인 중 하나이다(Schreck 1982; Robert 1992; Santos and Pacheco 1996; Cataldi *et al.* 1998). 그러나 어류양식에 있어 급격한 수온의 변화는 수송, 축양, 선별, 고밀도 등과 마찬가지로 어체에 스트레스 요인으로 작용하게 된다. 어체가 스트레스 요인에 노출되게 되면 1차적으로 시상하부-뇌하수체-간신선축의 활성이 높아지며, 이로 인해 cortisol이 혈중으로 분비하게 되며(Perry and Reid 1993; Wendelaar Bonga 1997; Chang and Hur 1999), 2차적 반응으로는 물-이온의 불균형, 간세포의 파괴에 의한 aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT)의 증가, 심장박동, 산소소비의 증가 및 에너지 동원의 증가, 즉 혈중 글루코스의 상승이 나타나며, 총 단백질 및 NH<sub>3</sub>의 상승이 여러 경골어류에서 보고되고 있다(Park *et al.* 2016; Yang *et al.* 2017).

따라서, 본 연구에서는 수온별 붉바리의 행동, 생존율 및 혈액생리학적 반응을 조사함으로써 장거리 수송을 위한 적정 수온을 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험어 및 수온조건

2015년 2월에 국립수산물과학원 GSP 사업단에서 생산(제주대학교 해양과학연구소)한 붉바리 종자를 2015년 6월에

국립수산물과학원(부산 기장군) 실내 사육실의 유수식 원형 수조(1 ton)에 수용하여 10일 동안 순치 사육하였다. 이 기간 동안 수온은  $21 \pm 0.5^\circ\text{C}$ , 염분은  $33 \pm 0.1$  psu, 광주기는 10L:14D였으며 상업용 사료를 하루에 2번 반복으로 공급하였다. 실험어의 평균 전장은  $11.3 \pm 1.5$  cm, 체중은  $53.4 \pm 5.4$  g이었다.

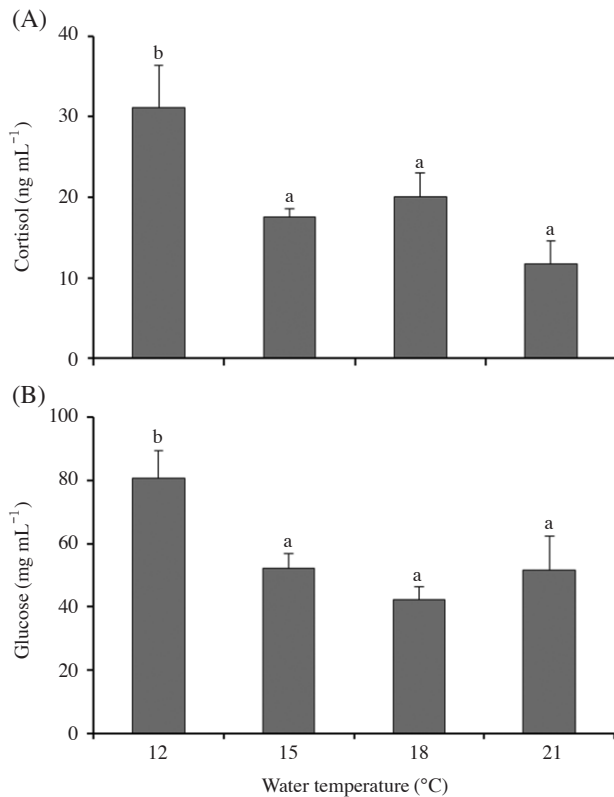
실험어 50마리를 히터 및 냉각기가 설치된 순환여과식 50 L 사각플라스틱 수조 5개에 10마리씩 수용하여 각 수조의 수온을 21°C에서 3시간만에 9, 12, 15, 18, 21°C로 맞추었으며, 이후 48시간 동안 유지하였다. 모든 실험은 2반복으로 수행하였다.

### 2. 채혈 및 혈액분석

실험 48시간째, 모든 실험어를  $150 \text{ mg L}^{-1}$ 의 tricaine methan sulphate (MS-222, Sigma, USA)로 마취시킨 뒤, heparin sodium (Sigma, USA) 처리한 1 mL 주사기를 사용하여, 실험어의 미부혈관으로부터 채혈하였다. 채혈 직후, 혈액의 일부는 hematocrit (Ht)와 hemoglobin (Hb) 분석을 위해 사용하였으며, 나머지 혈액은 상온에서 20분간 방치한 뒤, 원심분리(4°C, 8,000 rpm, 10분)하여 분석 전까지  $-80^\circ\text{C}$  초저온 냉동고에 보관하였다.

Ht는 혈액을 모세유리관에 넣어 원심분리(10,000 rpm, 15분)하여 Ht측정판(Micro-haematocrit reader, Hawksley Co, UK)으로, Hb, 혈장의 글루코스, 총단백질(total protein: TP), aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT) 및 NH<sub>3</sub>는 자동생화학분석기(Fuji dry-chem 4000i, Fujifilm Co., Japan)로 측정하였다. 삼투질 농도는 삼투압측정기(Vapro 5520, WESCOR Co., USA)로 측정하였다.

혈장 코티졸 농도는 Fish Cortisol ELISA kit (Cusabio Biotech, China)를 상법에 따라 분석하였다.



**Fig. 2.** Plasma cortisol (A) and glucose (B) concentration of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* in different water temperature at the conclusion of this experiment. Data were expressed as mean  $\pm$  SEM ( $n=10$ ). Different letters denote significant difference among each group ( $P<0.05$ ).

### 3. 통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료 값 사이의 유의차 검정 ( $P<0.05$ )은 SPSS 통계처리프로그램 (version 10.0; SPSS Inc., USA)에 의한 One-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 실시하였다.

## 결 과

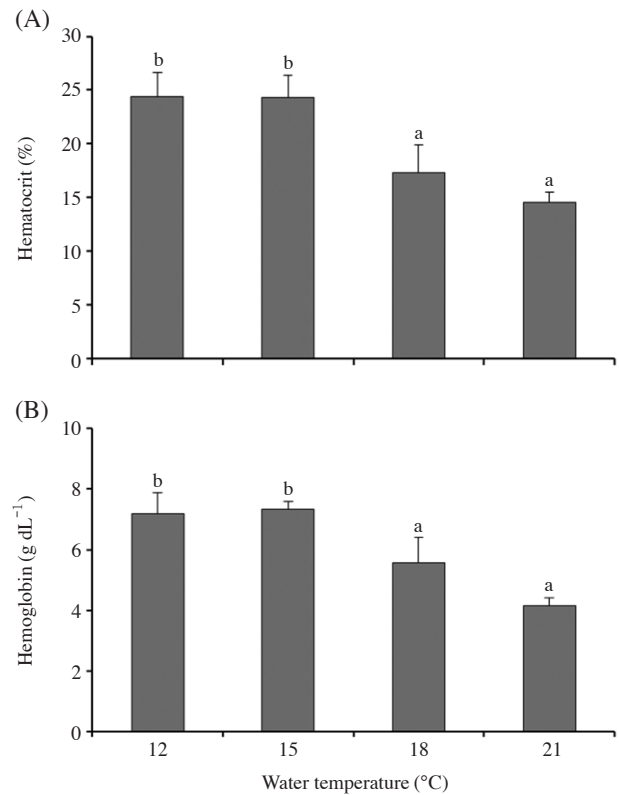
### 1. 실험어의 생존율 및 유영행동

실험어는 9°C구에서 48시간째에 전량 폐사하였으나, 12, 15, 18 및 21°C구에서는 모두 생존하였다.

15, 18, 21°C구에서는 실험어가 정상적인 유영활동을 하였으나 (Fig. 1A), 12°C구에서는 유영 없이 바닥에 가라앉은 상태를 확인하였다 (Fig. 1B).

### 2. 코티졸 및 글루코스 변화

혈장 코티졸은 12°C에서  $31.2 \pm 5.2$  ng mL<sup>-1</sup>로 15, 18,



**Fig. 3.** Hematocrit (A) and hemoglobin (B) concentration of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* in different water temperature at the conclusion of this experiment. Data were expressed as mean  $\pm$  SEM ( $n=10$ ). Different letters denote significant difference among each group ( $P<0.05$ ).

21°C에서 각각  $17.6 \pm 0.9$ ,  $20.0 \pm 3.0$ ,  $11.8 \pm 2.8$  ng mL<sup>-1</sup>보다 유의하게 높았다 ( $P<0.05$ , Fig. 2A).

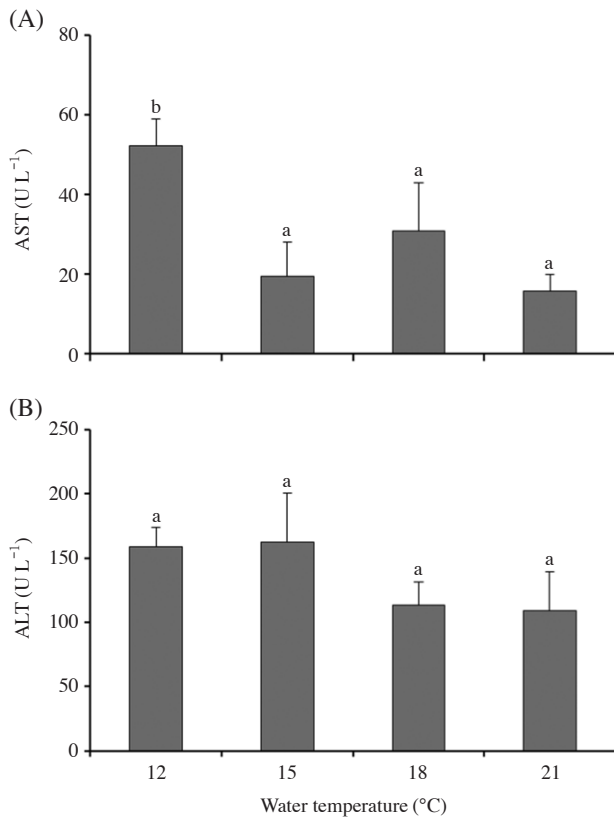
또한 글루코스도 코티졸과 마찬가지로, 12°C구가 다른 실험구보다 유의하게 높은 것으로 나타났다 ( $P<0.05$ , Fig. 2B).

### 3. Ht 및 Hb

12°C 및 15°C의 Ht는 각각  $24.4 \pm 2.1$ ,  $24.3 \pm 2.2\%$ 로 18°C 및 21°C구의  $17.3 \pm 2.6$ ,  $14.5 \pm 1.0\%$ 보다 유의하게 높았다 ( $P<0.05$ , Fig. 3A). 또한, Hb도 Ht와 같은 변화의 패턴을 보였다 (Fig. 3B).

### 4. AST 및 ALT

혈장 AST는 12°C가  $52.2 \pm 6.8$  UL<sup>-1</sup>로 15, 18 및 21°C구의  $39.4 \pm 8.5$ ,  $30.8 \pm 12.1$  및  $15.8 \pm 4.0$  UL<sup>-1</sup>보다 유의하게 높았다 ( $P<0.05$ , Fig. 4A). 그러나 ALT에서는 실험구간 유의한 차이를 보이지 않았다 ( $P<0.05$ , Fig. 4B).



**Fig. 4.** Plasma AST (A) and ALT (B) concentration of red-spotted grouper *Epinephelus akaara* at different water temperature at the conclusion of this experiment. Data were expressed as mean  $\pm$  SEM ( $n = 10$ ). Different letters denote significant difference among each group ( $P < 0.05$ ).

**Table 1.** Plasma total protein, NH<sub>3</sub> and osmolality of the red-spotted grouper *Epinephelus akaara*, at different temperatures

Water temperature (°C)	Total protein (g dL <sup>-1</sup> )	NH <sub>3</sub> (μg dL <sup>-1</sup> )	Osmolality (mmol kg <sup>-1</sup> )
12	2.2 $\pm$ 0.6 <sup>a</sup>	290.0 $\pm$ 18.7 <sup>b</sup>	419.0 $\pm$ 40.3 <sup>b</sup>
15	2.2 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	193.3 $\pm$ 35.5 <sup>a</sup>	340.0 $\pm$ 26.9 <sup>ab</sup>
18	1.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	180.3 $\pm$ 11.5 <sup>a</sup>	326.0 $\pm$ 5.0 <sup>a</sup>
21	2.4 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	155.5 $\pm$ 16.0 <sup>a</sup>	319.8 $\pm$ 11.3 <sup>a</sup>

Data were expressed as mean  $\pm$  SEM ( $n = 10$ ). Different letters denote significant difference among each group ( $P < 0.05$ ).

### 5. 총단백질, NH<sub>3</sub> 및 삼투질 농도

혈장 내 총단백질은 실험구 간 통계적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 12°C구의 NH<sub>3</sub> 및 삼투질 농도는 12°C구에서 각각 290.0  $\pm$  18.7 μg dL<sup>-1</sup>, 419.0  $\pm$  40.3 mmol kg<sup>-1</sup>으로 21°C구의 155.5  $\pm$  16.0 μg dL<sup>-1</sup>, 319.8  $\pm$  11.3 mmol kg<sup>-1</sup>보다 유의하게 높았다 ( $P < 0.05$ , Table 1).

## 고찰

수온은 어류의 장거리 수송 시 중요한 요인 중 하나로, 수송 시 대상종의 적정 사육 수온을 벗어날 경우 어체는 스트레스를 받으며, 이러한 상태가 장기간 지속될 경우 폐사에 이를 수도 있다. 그러나 수송 시 대상종의 적정 사육 수온을 유지할 경우, 어체의 대사가 원활해져 그 결과 어체는 많은 산소를 소비하게 되므로 수송 시 외부에서 산소 공급량을 늘려야 하는 불편함이 있으며, 공급할 산소량이 정해져 있다면 수송물량을 줄일 수 밖에는 없다. 따라서 장거리 수송 시에는 대사를 최소화 하기 위하여 수온을 낮추는 방법이 필요하다. 그러나 수온의 변화는 어체에 스트레스를 유발시킴으로 붉바리 종자의 성공적인 장거리 수송을 위해서는 스트레스와 대사를 동시에 최소화할 수 있는 수온 구멍이 필요하다고 판단된다. 이를 위해서 본 연구에서는 수온별 붉바리의 수온별 행동, 생존율 및 혈액성상을 조사하였다.

본 실험에서 붉바리는 48시간째 9°C에서 전량 폐사한 반면, 12~21°C구에서는 100%의 생존율을 보였다. 반면, 12°C구에서는 유명행동이 현저하게 떨어졌으나, 15°C 이상에서는 정상적인 행동이 유지되는 것으로 보아 행동학적 측면에서 붉바리의 수송 시 적정 최저수온은 15°C인 것으로 나타났다.

어류는 스트레스를 받는 동안 혈장의 코티졸 농도가 뚜렷하게 상승하므로, 주로 스트레스 반응 지표로 이용된다 (Mommsen *et al.* 1999). 스트레스 (stressor) 노출에 따른 혈장 코티졸의 상승이 감성돔 (*Acanthopagrus schlegeli*), 강도다리 (*Paltichthys stellatus*) 및 조피볼락 (*Sebastes schlegeli*) 등 많은 경골어류에서 보고되고 있다 (Min *et al.* 2006; Kim *et al.* 2009; Do *et al.* 2016). 스트레스로 인한 혈중 코티졸의 상승은 글루코스 신생합성 (gluconeogenesis)을 촉진시켜 글루코스의 혈중 분비를 증가시키며, 증가된 글루코스는 스트레스로 인해 증가된 에너지 요구를 충족시켜 항상성을 유지할 수 있도록 한다 (Vijayan and Tan 1997). 여러 스트레스 요인에 대한 혈장 코티졸 및 글루코스의 동반상승은 이미 많은 생물에서 보고된 바 있으며 (Schreck 1982; Barton and Schreck 1987; Robertson *et al.* 1988). 본 연구에서 코티졸 및 글루코스 변화를 토대로 각 수온별 붉바리의 스트레스 반응을 조사한 결과, 12°C구에서 코티졸 및 글루코스의 농도가 동반 상승하였고, 다른 실험구 (9°C 제외)보다 유의하게 높은 것으로 보아, 붉바리는 12°C 이하에서 스트레스를 많이 받음을 시사한다.

일반적으로 혈액학적 parameters (Ht, Hb 등)의 변화는 스트레스의 2차적 반응으로 나타난다 (Barton and Iwama 1991). 본 연구에서 붉바리의 Ht와 Hb는 15°C 이하에서 유

의하게 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 저수온 스트레스 대하여 항상성 유지를 위해 산소가 많이 필요함을 의미한다.

AST와 ALT는 아민기 전이효소로 척추동물의 간 기능을 나타내는 일반적인 지표가 되며, 어류에서는 수온 변화, 저산소, pH, 암모니아, 중금속에 등에 의한 스트레스 반응을 평가하는 데 사용되고 있다(Pan *et al.* 2003). 본 연구에서는 12°C에서 AST 수치가 상승하는 결과를 나타내었는데, 이러한 결과는 저수온에 의한 스트레스 반응으로 간세포의 손상이 나타나 AST 수치가 상승한 것으로 판단된다.

또한 생리학적 스트레스의 2차 반응으로 물-미네랄 균형에 변화가 나타난다(Barton and Iwama 1991). 일반적으로 척추동물은 체내에 일정한 염분을 유지함으로써 세포 내외의 이온 경사를 유지한다. 이러한 이유로 어류는 끊임없이 삼투압 조절 작용을 하는데, 어류는 해수와 담수에서 그 차이를 보인다. 해수 경골어류의 경우 체내의 일정한 삼투질 농도를 유지하기 위하여 이온은 방출하고, 물은 흡수하는 저삼투압조절 능력을 가진다(Min *et al.* 2006). 따라서 어류에 있어 수온 변화, 축양 등 스트레스 유발요인 노출은 이러한 삼투압조절에 혼란을 야기시켜 혈장의  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  및 삼투질 농도의 변화를 초래한다(Raune *et al.* 1999; Choi *et al.* 2006). 본 연구에서 붉바리는 15°C 이상에서는 정상적으로 삼투압조절이 이루어지고 있으나, 12°C에서는 저수온 스트레스로 인해 삼투압조절 장애가 나타남이 확인되었다.

총 단백질은 어류의 건강도나 영양상태 및 질병진단의 지표로 활용되고 있으며(Ozaki 1978; Yangisawa and Hashimoto 1984), 수온(Nakagawa *et al.* 1977)을 비롯한 수질(Byrne *et al.* 1989) 등 여러 스트레스 요인으로 변화가 일어난다(Ishioaka 1980). 특히 스트레스 반응에 따른 코티졸의 상승은 혈장 단백질의 상승을 유도한다(Van der Boon *et al.* 1991). 따라서 본 연구에서는 12°C에서 스트레스에 의한 총 단백질 농도의 상승을 예상하였으나, 실험기간 유의한 차이를 보이지 않았다. 이러한 결과에 대해서는 향후 다양한 조건의 수온 실험을 통해 고찰할 필요가 있을 것으로 보인다.

$\text{NH}_3$ 는 간 및 아가미 조직이 손상되거나 그에 따른 기능 장애로 인해 혈중 농도가 증가한다(Randall and Tsui 2002). 체내에  $\text{NH}_3$ 의 농도가 상승하면 아가미 상피의 과증식(Benli *et al.* 2008), 삼투압조절 혼란(Person-Le Ruyet *et al.* 2003), 호르몬 조절 변화(Dosdat *et al.* 2003) 등 여러 측면에서 부정적인 영향을 미치며, 과민반응, 코마상태, 경련 및 폐사에 이르게 한다(Wright 2007). 본 연구에서는 12°C구에서 유의하게 혈중  $\text{NH}_3$ 가 증가하였는데, 이는 저수온의 영향으로 간 및 아가미의 손상으로 체내  $\text{NH}_3$ 가 체외로 배출되지 못하고 체내에 축적됨으로 그 농도가 상승한 것으로 보인다.

이상의 결과를 바탕으로 붉바리가 48시간 동안 혈액생리

학적으로 스트레스가 최소화되는 수온은 15°C로 확인되었으므로, 이 시간 동안 붉바리의 장거리 수송을 위한 적정 수온은 15°C가 적합한 것으로 사료된다.

## 적 요

본 연구에서는 붉바리(*Epinephelus akaara*)의 장거리 수송 시 최적의 수온(대사활동과 스트레스를 최소화하는 수온)을 조사하고자, 수온별(9, 12, 15, 18 및 21°C)로 48시간 동안 어체를 노출시켜 어류의 행동 변화, 생존 및 혈액생리학적 반응을 확인하였다. 9°C에 노출된 붉바리는 48시간만에 전량 폐사하였지만, 12, 15, 18 및 21°C의 그룹에서는 모두 생존하였다. 15, 18 및 21°C의 붉바리는 정상적인 유행 활동을 보였으나, 12°C에 노출시킨 붉바리는 유행없이 수조 바닥에 가라앉아 있는 상태를 보였다. 혈장 코티졸 농도와 글루코스는 다른 실험구보다 12°C에 노출시킨 붉바리에서 더 유의하게 높았다( $P < 0.05$ ). 12 및 15°C 그룹은 18 및 21°C보다 Ht 및 Hb가 유의한 차이를 보였다( $P < 0.05$ ). AST,  $\text{NH}_3$  및 삼투질 농도는 혈장 코티졸과 비슷한 양상을 보였으나( $P < 0.05$ ), ALT와 총단백질은 다른 실험구에 비해 유의적인 차이를 보이지 않았다( $P > 0.05$ ). 이러한 결과로 미루어 볼 때, 붉바리의 장거리 수송을 위한 적정 수온은 15°C임을 시사하고 있다.

## 사 사

본 연구는 농림축산식품부 · 해양수산부 · 농촌진흥청 · 산림청의 지원과제 수산종자 장거리 수송기술 개발 및 수출 경쟁력 강화(213008-05-1-SB110)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Benli AÇK, G Kóksal and A Özkul. 2008. Sublethal ammonia exposure of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.): Effects on gill, liver and kidney histology. *Chemosphere* 72:1355-1358.
- Barton BA and CB Schreck. 1987. Metabolic cost of acute physical stress in juvenile steelhead. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116:257-263.
- Barton BA and GK Iwama. 1991. Physiological change in fish from stress in aquaculture with emphasis in the response and effects of corticosteroids. *Annu. Rev. Fish. Dis.* 1:3-26.
- Byrne P, D Speare and HW Ferguson. 1989. Effects of a cationic detergent on the gills and blood chemistry of rainbow

- trout (*Salmo gairdneri*). Dis. Aquat. Org. 6:195-196.
- Cataldi E, P Di Marco, A Mandich and S Cataudella. 1998. Serum parameters of Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* (Pisces: Acipenseriformes): effects of temperature and stress. Comp. Bioche. Physiol. 121:351-354.
- Chang YJ and JW Hur. 1999. Physiological responses of grey mullet (*Mugil cephalus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) by rapid changes in salinity of rearing water. J. Kor. Fish. Soc. 32:313-316.
- Choi CY, BH Min, NN Kim, SH Cho and YJ Chang. 2006. Expression of HSP90, HSP70 mRNA and change of plasma cortisol and glucose during water temperature rising in freshwater adapted black porgy, *Acanthopagrus schlegli*. J. Aquaculture 19:315-322.
- Do YH, BH Min, YD Kim and MS Park. 2016. Changes on hematological factors and oxygen consumption of Korean rockfish *Sebastes schlegeli* in high water temperature. JFMSE 28:738-745.
- Dosdat A, J Person-Le Ruyet, D Coves, G Dutto, E Gasset, AL Roux and G Lemarie. 2003. Effect of chronic exposure to ammonia on growth, food utilization and metabolism of the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). Aquat. Living Resour. 16:509-520.
- Ishioka H. 1980. Stress reactions induced by environmental salinity changes in red-seabream. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. 46:523-532.
- Kim YS, YH Do, BH Min, HK Lim, BK Lee and YJ Chang. 2009. Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. J. Aquaculture 22:28-33.
- Min BH, GA Noh, MH Jeong, DY Kang, CY Choi, IC Bang and YJ Chang. 2006. Effects of oral administration of thyroid hormone on physiological activity and growth of black porgy reared in freshwater or seawater. J. Aquaculture 19:149-156.
- Mommsen TP, MM Vujayan and TW Moon. 1999. Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. Rev. Fish Biol. Fish. 9:211-268.
- Nakagawa H, M Kayama and K Ikuta. 1977. Electrophoretic evidence of seasonal variation of carp plasma albumin. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ. 16:99-106.
- Olsen JE, O Junttila and T Moritz. 1995. A localized decrease of GA1 in shoot tips of *Salix pentandra* seedlings precedes cessation of shoot elongation under short photoperiod. Physiol. Plant. 95:627-632.
- Ozaki H. 1978. Physiology of fish, Vol. 1, Blood. Circulation. Midori-shobo, Tokyo, pp. 1-326.
- Pan CH, YH Chein and B Hunter. 2003. The resistance to ammonia stress of *Penaeus monodon* Fabricius juvenile fed diets supplemented with astaxanthin. J. Exp. Mar. Boil. Ecol. 297:107-118.
- Park JY, JM Park, CK Hong, KM Kim and JK Cho. 2016. Physiological and biochemical of blood on low temperature stress in seven-band grouper, *Epinephelus septemfasciatus*. Kor. J. Ichthyol. 28:1-8.
- Perry SF and SD Reid. 1993.  $\beta$ -adrenergic signal transportation in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. Fish Physiol. Bioche. 11:195-203.
- Person-Le Ruyet J, A Lacut, NL Bayon, AL Roux, K Pichavant and L Quemener. 2003. Effects of repeated hypoxic shocks on growth and metabolism of turbot juveniles. Aquat. Living Resour. 16:25-34.
- Randall DJ and TKN Tsui. 2002. Ammonia toxicity in fish. Mar. Pollut. Bull. 45:17-23.
- Raune NM, DT Nolan, J Rotllant, L Tort, PHM Balm and SE Wendelaar Bonga. 1999. Moulting of the response of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss* Walbaum) to confinement, by an ectoparasitic (*Argulus foliaceus* L.) infestation and cortisol feeding. Fish Physiol. Bioche. 20:43-51.
- Robert ER. 1992. Biological indicators of stress in fish. American Fish. Trans. Am. Fish. Soc. 121:274-276.
- Robertson LC, MR Lamb and RT Knight. 1988. Effects of lesions of temporal-parietal junction on perceptual and attentional processing in humans. J. Neuro. 8:3757-3769.
- Santos MA and M Pacheco. 1996. *Anguilla anguilla* L. Stress biomarkers recovery in clean water and secondary treated pulp mill effluent. Ecotoxicol. Environ. Safe. 35:96-100.
- Schreck CB. 1982. Stress and rearing of salmonids. Aquaculture 28:241-249.
- Vijayan V and CC Tan. 1997. Developing human biliary system in three dimensions. Develop. Biol. 249:389-398.
- Vinodhini R and M Narayanan. 2009. The impact of toxic heavy metal on the hematological parameters in common carp (*Cyprinus carpio* L.). Iranian J. Environ. Health Sci. Eng. 6:23-28.
- Wendelaar Bonga SE. 1997. The stress response in fish. Physiol. Rev. 77:591-625.
- Wright PA. 2007. Ionic, osmotic, and nitrogenous waste regulation. Fish Physiol. 26:283-318.
- Yanagisawa T and K Hashimoto, 1984. Plasma albumins in elasmobranchs. Nissuishi. 50:1083.
- Yang SJ, JY Lee, JC Jun, JI Myeong and BH Min. 2017. Investigation of suitable temperature and salinity for long distance transport of the rockfish *Sebastes schlegeli*. Kor. J. Fish. Aquat. Sci. 50:25-31.

Received: 17 March 2017

Revised: 10 April 2017

Revision accepted: 11 April 2017