

떡장어(*Eptatretus burgeri*)의 혈액성상과 산소소비에 미치는 수온 및 염분의 영향

도용현 · 민병화 · 명정인 · 지영주 · 장영진[†]
(국립수산과학원 · [†]부경대학교)

Effects of Water Temperature and Salinity on Blood Properties and Oxygen Consumption in Hagfish (*Eptatretus burgeri*)

Yong-Hyun DO · Byung-Hwa MIN · Jeong-In MYEONG · Young-Ju JEE · Young-Jin CHANG[†]

(*National Fisheries Research & Development Institute · [†]Pukyong National University)

Abstract

Hagfish *Eptatretus burgeri* is classified as a agnathans and has many different physiological properties compared with vertebrates. In this study, we examined effects of water temperature and salinity on blood properties and oxygen consumption in hagfish. In the experiment of water temperature change, hematocrit (Ht), red blood cell (RBC) and glucose of hagfish blood revealed the lowest values at 15°C. Oxygen consumption of hagfish had significantly increased with rising water temperature, and the increasing rate was twice as much when the temperature was manipulated every 5°C. Also, oxygen consumption during the night time (a short photoperiod) was significantly higher than that of the daytime. Q10 level was 3.50 in the light period and 3.92 in the dark period. No significant change in plasma glucose level was showed in changing salinity from 30 psu to 22 psu, while it had rapidly increased at 20 psu (13.7±4.0 mg/dL) and thereafter all hagfish were dead at 18 psu. However, osmolarity, Na⁺, K⁺ and Cl⁻ levels had significantly decreased when salinity decreased. This results are expected to develop the artificial rearing techniques of natural hagfish.

Key words : Hagfish, Water temperature, Salinity, Blood property, Oxygen consumption

I. 서론

지구상의 수계에 살고 있는 어류는 30,000여종에 달하며, 그 중 경골어강 27,000여종, 연골어강 1,500여종 및 무악어강 50여종이 분포하는 것으로 알려져 있다. 무악어강은 가장 원시적인 특성을 가진 계통의 원구류를 포함하고 있으며, 턱(jaw)이 없는 떡장어 *Eptatretus burgeri*는 대표적인 해산 원구류이다. 이 어종은 수심 10~60 m에

서 서식하는 연안어종으로서, 한국의 남해 및 제주도 연안을 비롯하여 일본 중부이남, 북태평양 지역에 분포한다.

떡장어는 분류학적으로 척삭동물문(Chordata), 어상강(Pisces), 무악어강(Agnatha), 원구아강(Cyclostomata), 떡장어목(Myxiniiformes), 피장어과(Myxinidae)에 속한다. 본 종은 척추동물과 무척추동물의 경계에서 척추동물로의 진화에 합류하

[†] Corresponding author : 051-629-5915, yjchang@pknu.ac.kr

*이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

지 않은 중간 그룹에 속한다고 할 수 있다. 그리고 경골어류와 비교하여, 다음과 같은 형태학적 차이점을 보이고 있다. 첫째, 척추골이 없고 일생 동안 척삭(notochord)을 가진다. 둘째, 눈은 거의 퇴화되어 피부속에 묻혀 있으며, 6쌍의 아가미 구멍이 일렬로 배열되어 있다. 셋째, 턱과 위가 없으며, 흡수면적이 매우 넓고 긴 장(intestine)을 가진다. 넷째, 비늘과 짝지느러미가 없으며, 두줄의 점액선을 가진다. 이와 같은 떡장어의 특징을 고려해 볼 때, 본종은 형태적 특징뿐만 아니라, 번식, 혈액, 내분비 및 삼투압조절 등 생리적으로도 무척추동물 및 경골어류와 다른 특성을 나타낼 것으로 예상되며, 따라서 흥미로운 생물학적 연구소재가 될 것으로 기대된다.

떡장어는 식품명으로서 꼬장어로 불리우며, 비타민 A와 지방이 풍부하다. 특히, 해독 작용과 세포 재생력이 좋은 점액성 단백질과 콜라겐 성분으로 이루어진 양질 단백질이 체성분의 16.6% (Hwang Eun-Young, 1999)나 차지하는 고단백 식품이다. 가죽 또한 질기면서도 부드러워 고급 피혁제품의 원료로 이용되고 있다. 더욱이 최근에는 피부로부터 bradykinin관련 펩티드의 정제(Shin Mi-Jung et al., 2003), 생리활성 펩티드의 정제(Go Hye-Jin, 2000) 및 cDNA 클로닝(Shon Hee-Young, 2006) 등 여러가지 생리활성 물질의 탐색 및 추출에 대한 연구가 진행되고 있다. 이처럼 새로운 생리활성 물질이 떡장어로부터 개발되면 기존의 식품용, 공업용 재료로의 이용뿐 아니라 의약품 원료로서 활용도가 높아져 떡장어의 수요는 급격히 증가할 수 있어, 감소일로에 있는 떡장어 자원의 고갈을 부추길 소지가 있다.

더욱이 떡장어의 여름철 장기축양(long-term holding), 자원증식 및 양식에 관한 기술의 개발이 요구되어 왔음에도, 계속 자연산만을 어획하여 식용 및 공업용으로 사용해 왔다. 이로 인해, 1993년의 148톤에서 2012년의 43톤으로 계통판매량이 급감함으로써(농림수산식품부, 2013), 남획과 환경오염에 의한 자연자원의 감소라는 문제점

을 낳게 되었다. 나아가 이 부족량을 채우기 위해 2012년에는 무려 5,504톤이나 수입된 바 있다. 이러한 공급부족의 문제점을 해결하기 위해, 인공사육 시스템 및 사육조건을 구명하여 장기 축양기술을 확립하고, 떡장어의 자원증식 및 양식을 위하여 번식생리학적 기법에 의한 종묘생산 방법이 개발되어야 한다.

경골어류에 비하여 원구류의 생리·생태 등 생물학적 지식은 연구된 바가 극히 미미하고 아직 밝혀지지 않은 점이 많다. 특히 떡장어의 생물학적 기초연구는 그다지 이루어지지 않고 있어, 국외에서는 난문(micropyle)의 구조(Morisawa, 1999), 계절변화에 따른 생식소 발달(Nozaki et al., 2000), 정자의 미세구조 및 침체반응(Morisawa & Cherr, 2002), 정자형성과정(Morisawa, 2005), 점액의 생태역학(Lim et al., 2006) 등의 번식·점액생리학적인 단편적 연구가 있을 뿐이다.

여름철 떡장어의 폐사를 막기 위하여는 포획 후 축양수조에서 고수온 자극이나 인위적 접촉 스트레스를 받지 않도록 해야 한다. 이 어종의 생체구조 특성상 스트레스를 받는 즉시 점액을 과다하게 분비하며(Fudge et al., 2005), 심할 경우에는 활력저하 및 호흡곤란으로 폐사에 이르는 사례가 자주 관찰된다. 그러므로 떡장어의 인공사육시 나타날 수 있는 수온, 염분 및 명암 급변 등과 같은 인위 스트레스에 대한 연구를 통해 떡장어의 축양기술을 확립할 필요성이 있다.

본 연구에서는 자연산 떡장어의 축양기술 개발에 대한 기초자료를 제공하기 위하여, 수온별 혈액성상 및 산소소비량, 염분별 혈액성상 및 생존율을 조사하여 적정 사육조건을 알아 보았다.

II. 재료 및 방법

1. 실험어 및 사육관리

제주도 인근해역에서 통발에 의해 어획된 떡장어 중, 외형적으로 상처없이 점액의 과다 분비가

일어나지 않은 150마리(전장 20.7±1.1 cm, 체중 14.1±2.1 g)를 골라 연구실로 옮겨 실험에 사용할 때까지 약 2주간 안정시켰다.

실험어 사육시스템으로 사용하기 위하여 5개의 플라스틱 사각수조(50 cm×35 cm×30 cm, 수용적 45 L)와 3개의 여과수조(여과솜, 산호사, 모래 여과조)로 구성된 순환여과 사육시설을 제작하였다. 사육수조 바닥에는 먹장어가 은신할 수 있는 shelter를 설치하였으며, 과도한 빛이 들어가는 것을 막기 위해 수조 색깔은 파란색으로 하고 뚜껑을 덮어 주었다. 순환여과 시스템의 총수량은 345 L로서 1일 환수량은 총수량의 2%, 사육수의 순환율은 21회/일이었다. 사육조건으로서 수온은 19~20℃, 염분은 35 psu, 광주기는 12L:12D가 되게 하였으며, 충분한 에어레이션을 해 주었다.

2. 수온별 어체의 생리활성

가. 채혈 및 혈액분석

수용적 45 L의 사각수조에 먹장어 10마리를 수용하여, 염분조건은 34 psu로 유지한 가운데 수온을 20℃로부터 매일 오전에 1℃씩 하강·상승시켜 실험수온(10, 15, 20, 25℃)에 도달하면, 해당수온에서 어체를 24시간동안 적응시켰다. 이후 먹장어를 ethylene glycol phenyl ether (Sigma, USA)로 마취시킨 다음, 꼬리부분의 미부혈관에서 heparin sodium을 처리한 주사기(3 mL)를 사용하여 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 자동혈액분석기(Automatic Blood Cell Counter, SEAC, Italy)로 적혈구용적(hematocrit, Ht), 적혈구수(red blood cell, RBC), 혈액소농도(hemoglobin, Hb)를 측정 한 뒤, 원심분리(6,000 rpm, 5분)하여 얻은 나머지 혈장은 분석전까지 -72℃에 보관하였다. 혈장 glucose의 농도는 생화학 자동분석기(Aivid 1650, JEOL Co., Japan)로, 스트레스 지표호르몬인 cortisol 농도는 cortisol RIA kit (DSL, USA)를 사용하여 방사면역측정법(RIA)으로 측정하였으며, 먹장어 분류학적 및 혈액학적 특성을 고려하여 LC-MS/MS

(liquid chromatography-tandem mass spectrometry)로 다시 한번 측정하여 분석 정확도를 높이고자 하였다.

나. 산소소비량 조사

용존산소의 측정이 연속적으로 가능한 밀폐순환 유수식 산소소비 측정시스템(Oxyguard 6, Denmark)을 이용하여 수온별(10, 15, 20, 25℃) 먹장어의 단위체중당산소소비량(mg O₂/kg/h)을 측정하였다. 먹장어 5마리를 호흡실에 넣어 24시간 안정시킨 후, 염분 35 psu, 12L:12D의 광주기 조건(명기: 형광등 조명으로 1,032 lux유지, 암기: 호흡실을 차광막으로 덮어 암흑유지)에서 수온변화를 주면서 산소소비량을 조사하였다. 항온수조(JS-WBP-170RP, Korea)를 이용하여 호흡실의 수온을 20℃로부터 시간당 1℃씩 하강·상승시켜 각 실험수온에 도달하면, 24시간동안 안정시킨 후, 산소소비량을 측정하였다.

산소소비량 산정에 필요한 호흡실 전후의 유입수(IW)실과 유출수(OW)실의 용존산소는 각실에 부착된 용존산소 측정센서(OS)에 의해 10분 간격으로 컴퓨터(PC)에 입력되도록 하였다. 이 용존산소량의 차이로 다음 식에 의해 계산된 단위체중당 산소소비량의 평균값을 먹장어의 산소소비량으로 나타냈다.

$$\text{단위체중당 산소소비량(mg O}_2\text{/kg/h)} = \frac{\{(C_i - C_o) \times F \times 60\}}{W}$$

여기에서, C_i=유입수의 용존산소량(mg/L), C_o=유출수의 용존산소량(mg/L), F=유입수량(L/min), W=어체총중량(kg)이다.

3. 염분별 어체의 생리활성

가. 채혈 및 혈액분석

수용적 45 L의 사각수조에 먹장어 40마리를 수용하여 수온조건은 20℃로 유지한 가운데, 여름철 해수의 염분이 가장 낮아지는 30 psu로부터 매일 오전에 2 psu씩 감소시키면서 18 psu까지

염분별로 실험어로부터 채혈하였다. 채취한 혈액의 Ht, RBC 및 Hb와 혈장의 Na⁺, K⁺, Cl⁻, glucose 함량 및 cortisol 농도는 수온별 생리활성 실험에 제시한 생화학 자동분석기로 분석하였다. 염분별 삼투압조절 능력을 평가하기 위한 삼투질농도는 micro-osmometer (3MO plus, Advanced Instruments Inc., USA)로 측정하였다.

나. 생존율

실험기간중 염분별로 매일 폐사개체를 파악하여 폐사율을 구하고, 이로부터 생존율을 역산하였다.

4. 통계처리

각 실험결과로부터 얻어진 자료값(mean±S.D.) 사이의 유의차 유무는 SPSS 통계패키지(version 10.1)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 수온별 어체의 생리활성

가. 혈액성상

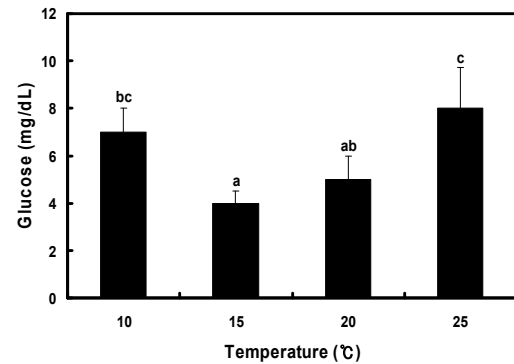
실험수온별 먹장어 혈액의 Ht, RBC, Hb 값은 <Table 1>에서 보는 바와 같다. 수온 10℃, 15℃, 20℃ 및 25℃에서 먹장어의 Ht는 각각 14.6±2.9%, 10.5±0.4%, 13.2±1.1%, 14.9±1.2%로서, 15℃에서 유의하게 낮았으며 15℃를 중심으로 수온이 하강·상승함에 따라 Ht가 증가하는 경향을 보였다. RBC 역시 10℃ 0.59±0.1×10⁶ cell/μL, 15℃ 0.44±0.1×10⁶ cell/μL, 20℃ 0.55±0.1×10⁶ cell/μL, 25℃ 0.61±0.1×10⁶ cell/μL로서, 15℃를 중심으로 수온의 하강·상승에 따라 증가하였다. 그러나 Hb는 각각 7.8±1.0 g/dL, 0.44±0.1 g/dL, 0.55±0.1 g/dL, 0.61±0.1 g/dL를 나타냄으로써, 수온별로 그 값에 유의한 차이를 보이지 않았다.

<Table 1> Hematocrit (Ht), red blood cell (RBC) and hemoglobin (Hb) levels in hagfish *Eptatretus burgeri* under four water temperature regimes

Water temp. (°C)	Ht (%)	RBC (×10 ⁶ cell/μL)	Hb (g/dL)
10	14.6±2.9 ^b	0.59±0.1 ^b	7.8±1.0
15	10.5±0.4 ^a	0.44±0.1 ^a	8.4±1.1
20	13.2±1.1 ^{ab}	0.55±0.1 ^{ab}	7.5±0.1
25	14.9±3.3 ^b	0.61±0.1 ^b	7.9±0.7

The values are mean±SD. Means within each item followed by the same alphabetic letter are not significantly different (P>0.05).

혈장 glucose 농도는 [Fig. 1]에서와 같이, 25℃에서 8.0±1.7 mg/dL로 나타나, 10℃의 7.0±1.0 mg/dL, 15℃의 4.0±0.5 mg/dL, 20℃의 5.0±1.0 mg/dL 보다 유의하게 높았다. 또 15~20℃를 중심으로 수온이 하강·상승함에 따라 glucose 농도가 유의하게 증가하는 경향을 보였다(P<0.05).



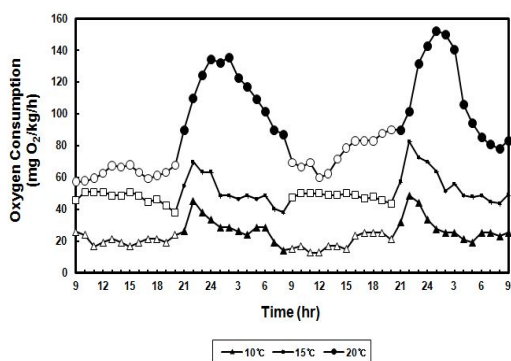
[Fig. 1] Plasma glucose levels in hagfish *Eptatretus burgeri* under four water temperature regimes. Same alphabetic letters are not significantly different (P>0.05).

한편, 스트레스 지표호르몬인 혈장 cortisol 농도를 각 수온별로 분석하였지만, RIA 및 LC 모두의 분석방법에서 그 농도 측정이 불가능하였

다.

나. 산소소비량

떡장어의 수온별 단위체중당 산소소비량은 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이, 10℃에서 24.3±7.9 mg O₂/kg/h, 15℃에서 50.9±8.8 mg O₂/kg/h, 20℃에서 90.8±28.0 mg O₂/kg/h로 수온이 상승함에 따라 소비량이 직선적으로 증가하는 경향을 나타냈지만, 25℃에서는 폐사개체가 발생함으로써 산소 소비량을 측정할 수 없었다.



[Fig. 2] Oxygen consumption of hagfish *Eptatretus burgeri* under three water temperature regimes.

[Fig. 2]의 떡장어 산소소비 경향을 관찰한 결과, 산소소비량은 수온이 높아질수록 유의하게 많아졌고, 그 증가량은 수온이 5℃ 상승함에 따라 약 2배씩 증가하였다. 또한 명기동안에는 산소소비량이 적고 기복이 없이 일정한 반면, 암기 동안에는 암기 개시 직후에 갑자기 증가했지만 이후 시간경과에 따라 실험개시시 산소소비 수준으로 안정되는 경향을 보였다. 명기와 암기의 평균 산소소비량은 모든 수온에서 암기 소비량이 명기에 비해 유의하게 많았다. 그러나 낮은 수온에서는 암기 개시 직후에 급격한 산소소비 증가는 보이지 않았으며, 실험개시시인 명기의 산소소비 수준으로 회복되는 데 걸리는 시간도 짧았다. 명기 조건에서 수온이 10℃에서 20℃로 10℃ 상승했을 때, Q₁₀값은 3.50, 지수함수식의 기울기(b)는

0.1253, 암기 조건에서 Q₁₀값은 3.92, b는 0.1366로 명기보다 암기에서 산소소비량이 많았다(Table 2). 또한 명기와 암기 산소소비 경향의 기울기 값에 대한 r²은 각각 0.9481, 0.9984로 높은 상관관계를 나타냈으며, 산소소비량은 수온의 상승과 함께 명기와 암기 모두 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

<Table 2> Mean oxygen consumption (mg O₂/kg/h) of hagfish *Eptatretus burgeri* under three water temperature regimes during light and dark periods

Water temp. (°C)	Light Period	Dark Period
10	19.7±4.0 ^a	28.8±8.4 ^b
15	47.6±3.1 ^c	54.4±11.3 ^d
20	69.1±9.8 ^e	112.9±23.3 ^f
b	0.1253	0.1366
a	6.1329	7.2325
r ²	0.9481	0.9984
Q ₁₀	3.50	3.92

Parameter “b” and “a” are for the exponential model, r² is for the linearized transform of the exponential model.

다. 생존율

실험기간 중 10, 15, 20℃의 실험구에서는 폐사개체가 발생하지 않았지만, 25℃에서 모든 개체가 폐사하여 생존율 0%를 나타냈다.

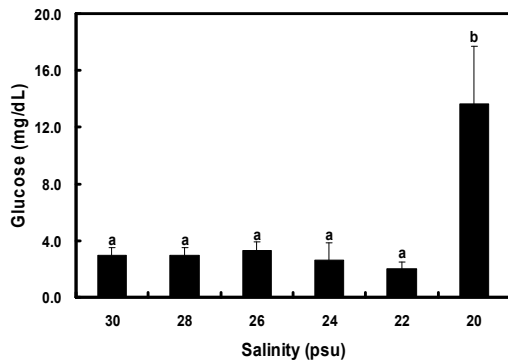
2. 염분별 어체의 생리활성 비교

가. 혈액성상

20 psu부터 30 psu까지 각 염분별 떡장어 혈액의 Ht는 30 psu 13.2±1.1%, 26 psu 10.7±1.7%, 20 psu 10.4±1.1%로 염분이 낮아짐에 따라 그 값도 낮아지는 경향이었으나, 유의한 차이는 없었다. RBC 값 역시 30 psu 0.55±0.1×10⁶ cell/μL, 26 psu 0.46±0.1×10⁶ cell/μL, 20 psu 0.44±0.1×10⁶ cell/μL로 Ht와 같은 경향이었지만, 유의한 차이

를 보이지 않았다. Hb 또한 30 psu 7.5 ± 0.1 g/dL, 26 psu 7.3 ± 0.3 g/dL, 20 psu 6.5 ± 0.7 g/dL로서 Ht, RBC와 비슷한 경향이었으나 유의한 차이는 나타나지 않았다.

혈장 glucose 농도는 [Fig. 3]과 같이, 30 psu 3.0 ± 0.5 mg/dL, 26 psu 3.3 ± 0.6 mg/dL, 22 psu 2.0 ± 0.5 mg/dL로 서로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 20 psu에서는 13.7 ± 4.0 mg/dL로 급격히 증가하였다($P < 0.05$).



[Fig. 3] Plasma glucose levels in hagfish *Eptatretus burgeri* under six salinity conditions. Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$).

혈장 삼투질농도는 <Table 3>과 같이, 30 psu의 943.3 ± 18.0 mOsm/kg으로부터 20 psu의

<Table 3> Plasma Na^+ , K^+ , Cl^- and osmolality levels in hagfish *Eptatretus burgeri* under six salinity conditions

Salinity (psu)	Na^+ (mEq/L)	K^+ (mEq/L)	Cl^- (mEq/L)	Osmolality (mOsm/kg)
30	473.0 ± 11.4^c	8.3 ± 0.5^d	385.0 ± 12.5^c	943.3 ± 18.0^d
28	367.0 ± 25.0^b	5.7 ± 0.8^c	308.0 ± 20.0^b	683.8 ± 29.0^c
26	319.0 ± 26.9^b	4.1 ± 0.3^b	259.0 ± 24.1^b	655.3 ± 26.0^c
24	331.0 ± 26.2^b	3.6 ± 0.5^b	266.0 ± 35.2^b	599.3 ± 11.0^b
22	346.0 ± 21.3^b	3.0 ± 0.3^b	282.0 ± 18.2^b	580.7 ± 11.9^b
20	233.0 ± 32.4^a	1.3 ± 0.2^a	179.0 ± 34.6^a	436.0 ± 11.5^a

Same alphabetic letters are not significantly different ($P > 0.05$).

436.0 ± 11.5 mOsm/kg까지 염분의 감소와 함께 지속적으로 낮아지는 특징을 보였다. Na^+ 의 농도 역시 30 psu에서 473.0 ± 11.4 mEq/L였던 것이 20 psu에서는 233.0 ± 32.4 mEq/L로 급격히 감소하였다($P < 0.05$). K^+ 과 Cl^- 도 30 psu에서 각각 8.3 ± 0.5 mEq/L, 385.0 ± 12.5 mEq/L였지만, 20 psu에서 각각 1.3 ± 0.2 mEq/L, 179.0 ± 34.6 mEq/L로 유의하게 감소하였다($P < 0.05$). 각 염분별로 떡장어 혈장의 cortisol 농도를 분석한 결과, 수온별 결과와 동일하게 두가지 분석방법 모두에서 측정되지 않았다.

IV. 고찰

본 연구에서 사용한 순환여과 사육수조 내에서 떡장어는 주간에 빛을 피해 shelter 속으로 숨어들었지만, 야간에는 shelter 밖으로 나와 이동 및 먹이활동을 하는 행동특성을 보였다. 이것은 눈이 없는 떡장어가 야행성 어류로서 자연광주기(12L:12D)에서 야행성을 나타낸다는 Ooka-Souda et al. (2000)의 언급과 동일하였다. 따라서 인공적인 수조사육에서 주간에 과도한 빛이 들어가는 것은 사육 중인 떡장어에게 명암 스트레스로 작용할 수 있어, 주간에도 빛을 차단하고 은신처인 shelter를 설치하는 것이 자연에 보다 가깝다는 것을 의미한다.

나. 생존율

실험기간 중 30 psu에서 22 psu까지의 5개 실험구에서는 폐사개체가 관찰되지 않았다. 그러나 20 psu부터 폐사개체가 발생하기 시작하여 18 psu에서는 모든 실험어가 폐사하여 생존율 0%를 나타냈다.

환경수 중의 용존산소는 수중동물의 호흡에 필요한 필수요인으로서, 서식동물의 생리·생태학적 조건에 직접적인 영향을 미친다. 어류는 일반적으로 명기에 산소소비량이 많은 어종, 암기에 산소소비량이 많은 어종 및 명기와 암기의 산소소비량 차이가 없는 어종의 세 가지 산소소비 형태를 보이는 것으로 알려져 있다(Byun Soon-Gyu et al., 2008). 이와 같은 광주기에 따른 산소소비량의 차이 외에, 어류의 산소소비량에 큰 영향을 주던 요인에는 수온이 있다(Chang Young Jin et al., 2001). Jeong Min-Hwan et al. (2007)은 감성돔 *Acanthopagrus schlegelii*을 사용하여 수온 및 광주기에 따른 산소소비량의 변화를 측정된 결과, 수온상승에 따라 산소소비량이 증가하고, 명기에는 산소소비량이 암기에 비해 많은 뚜렷한 리듬을 보임으로써, 이 어종은 명기동안에 활성이 높은 주간활동형 어종이라 판정하였다. 이에 비하여 본 연구에서 사용한 떡장어는 명기동안에는 산소소비량이 적고 일정한 반면, 암기동안에는 산소소비량이 많은 경향을 보임으로써, 감성돔과는 달리 암기동안에 활성이 높은 야간활동형 어종인 것으로 판단된다. 떡장어의 명암별 산소소비 경향은 야행성 경골어류인 강도다리 *Platichthys stellatus* (Byun Soon-Gyu et al., 2008)와 비슷하다.

수온이 높아질수록 유의하게 많아진 떡장어의 산소소비량은, 수온이 어체의 대사에 직접적인 영향을 미치는 조절인자로 작용했다는 것을 나타낸다. 경골어류의 산소소비율은 온도상승에 따라 직선적으로 증가하는데(Kim Il-Nam et al., 1995), 본 연구의 결과도 이에 부합하였다. Q_{10} 값은 온도변화에 적응하기 위한 동물의 대사량으로서,

온도 상승으로 인한 체내 효소반응과 생리학적 작용으로 유발된 에너지 요구량을 나타낸다. 본 연구에서의 Q_{10} 값은 명기에서 3.50, 암기에서 3.92로 나타났다. 이 수치는 경골어류인 강도다리에서 명기 1.39, 암기 1.21 (Byun Soon-Gyu et al., 2008), 감성돔 1.90 (Jeong Min-Hwan et al., 2007), 농어 치어 *Dicentrarchus labrax* 1.6~3.8 (Josef et al., 1998)과 비교하여 높은 수치를 나타냈다. 이것은 떡장어가 원시어류인 원구류인 메다 경골어류와 비교하여 고수온에 대한 적응력이 낮아 더 많은 에너지가 요구되기 때문인 것으로 추측된다.

스트레스에 의해 일어나는 혈중 cortisol의 상승은 항상성 유지에 필요한 에너지 수급을 위한 glucose 생합성(glucogenesis)을 통한 글루코스의 혈중 분비를 증가시킨다. 따라서 어체의 혈장 cortisol과 glucose의 동반상승은 스트레스의 일차적 지표로 가장 널리 이용되며, 혈액의 Ht, RBC 및 Hb 등은 이차적 지표로서 어체의 건강도 및 생리활성을 평가하는 데 이용된다(Davis and Parker, 1990). 본 연구에서 Hb를 제외한 Ht, RBC 값은 15°C에서 낮으나, 이를 중심으로 수온이 상승·하강함에 따라 유의하게 증가하였고, glucose 함량도 15°C를 중심으로 수온이 상승·하강함에 따라 유의하게 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 수온의 상승·하강이 떡장어에 스트레스로 작용한다는 것을 의미하며, 다른 혈액성상의 분석결과와 종합하여 볼 때, 떡장어의 사육을 위한 적정 수온은 15°C인 것으로 추측된다.

한편 스트레스 여부의 직접적인 지표 호르몬이 되는 혈장 cortisol 농도는 RIA 및 LC-MS/MS 방법 모두에서 측정할 수 없었다. 이것은 떡장어가 분류학적으로 원구류에 속하여 경골어류와 다른 내분비학적 기능을 가질 수 있으며, 떡장어의 생리학적 특징 중 하나인 점액을 생산하는 데 필요한 점액성 물질이 혈액속에 존재하여, 혈장 cortisol의 측정을 간섭한 것으로 추측되며 이를 위한 전처리 방법의 연구가 필요하다.

떡장어 혈액의 Ht, RBC, Hb 값은 염분변화에 따라 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 $Na^+Cl^-K^+$ 및 삼투질농도는 염분이 낮아질수록 유의하게 감소하였으며, glucose는 20 psu에서 갑작스런 증가가 나타났다. 또한 해수에서 떡장어의 삼투질농도는 943.3±18.0 mOsm/kg으로 해수 경골어류 350~500 mOsm/kg에 비하여 매우 높고, 해수의 삼투질농도와 비슷하며, 혈장내 이온농도 역시 높은 것은 떡장어가 삼투압 조절형을 나타내는 경골어류와 반대로 삼투압 순응형 어류(osmo-conformer)라는 것을 의미한다.

떡장어의 경우, 장기 축양기술이 개발되지 않아 활어집장장 및 소비처에서 고밀도로 수용하고 고수온기에는 냉각기에 의한 저온유지로 수일간 보관하는 정도의 기술수준에서 어체를 취급하고 있다. 그러나 본 연구의 결과를 통해 15℃보다 낮은 10℃는 떡장어에 오히려 스트레스로 작용한다는 것을 알 수 있다. 그리고 20 psu에서 glucose 농도의 급격한 증가와 18 psu에서 모두 폐사한 점은 떡장어의 염분 내성이 약한 것을 알 수 있다. 이는 앞으로 떡장어 축양시 대량의 담수가 섞인 저염분해수(본 연구의 결과, 22 psu 이하의 해수)를 사용하는 것은 염분 스트레스에 의한 폐사를 일으킬 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 여름철에 과도한 냉각기의 사용으로 10℃까지 수온을 낮게 유지하는 것은 냉각기 사용으로 인한 경체성 및 어체의 활성에 나쁜 영향을 줄 것으로 판단된다.

본 연구에서 밝혀진 떡장어의 수온·염분 실험에 관한 연구결과는 본종의 장기 축양 및 양식기술 개발을 위한 기초자료로서 활용될 것으로 기대된다.

Reference

Byun, Soon-Gyu · Jeong, Min-Hwan · Lee, Jong-Ha · Lee, Bea-Ik · Ku, Hag-Dong · Park, Sang-Un · Kim, Yi-Cheong & Chang, Young Jin (2008). Diel

rhythm of oxygen consumption of the starry flounder *Platichthys stellatus* by water temperature, *Journal of Korean Fisheries Society* 41(2), 113~118.

Chang, Young Jin · Hur, Jun-Wook & Lim, Han-Kyu (2001). Growth and survival of juvenile grey mullet, *Mugil cephalus* in rearing system with recirculated seawater and freshwater, *Journal of Aquaculture* 14(1), 29~33.

Davis, K. B. & Parker, N. C. (1990). Physiological stress in striped bass: Effect of acclimation temperature. *Aquaculture* 91, 349~358.

Fudge, D. S. · Levy, N. · Chiu, S. & Gosline, J. M. (2005). Composition, morphology, mechanics of hagfish slime, *Journal of Experimental Biology* 208, 4613~4625.

Go, Hye-Jin (2000). Purification of bio-active peptide from hagfish, *Eptatretus burgeri*. Master thesis. Pukyong National University, Busan, Korea.

Hwang, Eun-Young (1999). Nutritional qualities of meat protein and biologically active peptide in hagfish, *Eptatretus burgeri*. Ph.D. thesis. Pukyong National University, Busan, Korea.

Jeong, Min-Hwan · Kim, Young-Soo · Min, Byung-Hwa & Chang, Young Jin (2007). Effect of fish number in respiratory chamber on routine oxygen consumption of black porgy, *Acanthopagrus schlegelii* reared in seawater or freshwater, *Journal of Aquaculture* 20(2), 121~126.

Josef, D. V. · Villani, P. · Gasteiger, E. & Niederstatter, H. (1998). Oxygen consumption in sea bass fingerling, *Dicentrarchus labrax* exposed to acute salinity and temperature changes: Metabolic basis for maximum stocking density estimations. *Aquaculture* 169, 303~313.

Kim, Il-Nam · Chang, Young Jin & Kwon, Jun-Yeong (1995). The patterns of oxygen consumption in six species of marine fish, *Journal of Korean Fisheries Society* 28(3), 313~381.

Lim, J. · Fudge, D. S. · Levy, N. & Gosline, J. M. (2006). Hagfish slime ecomechanics: testing the gill-clogging hypothesis, *Journal of Experimental Biology* 209, 702~710.

Morisawa, S. (1999). Fine structure of micropylar region during late oogenesis in egg of the hagfish *Eptatretus burgeri* (Agnatha), *Development Growth*

- & Differentiation 41, 611~618.
- Morisawa, S. (2005). Spermiogenesis in the hagfish *Eptatretus burgeri*, Biological Bulletin 209, 204~214.
- Morisawa, S. & Cherr, G. N. (2002). Acrosome reaction in spermatozoa from hagfish (Agnatha) *Eptatretus burgeri* and *Eptatretus stouti*: Acrosomal exocytosis and identification of filamentous actin, Development Growth & Differentiation 44, 337~344.
- Nozaki, M. · Ichikawa, T. · Tsuneki, K. & Kobayashi, H. (2000). Seasonal development of gonads of the hagfish *Eptatretus burgeri* correlated with their seasonal migration. Zoological Science 17, 225~232.
- Ooka-Souda, S. · Kadota, T. & Takeuchi, H. (2000). Circadian rhythms in locomotor activity of the hagfish, *Eptatretus burgeri*, The effect of cutting the spinal cord. Zoological Science 17, 329~333.
- Shin, Mi-Jung · Kim, Eun-Jung · Kim, Chan-Hee · Go, Hye-Jin · Kim, In-Hae · Ryu, Hong-Soo · Huh, Min-Do · Chung, Joon-Ki & Park, Nam-Gyu (2003). Purification of a bradykinin-related peptide from the skin of hagfish, *Eptatretus burgeri*, Journal of Korean Fisheries Society 36(1), 30~34.
- Sohn, Hee-Young (2006). cDNA cloning of bradykinin-related peptide isolated from Korean hagfish, *Eptatretus burgeri*. Master thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
-
- 논문접수일 : 2013년 12월 09일
 - 심사완료일 : 1차 - 2014년 01월 29일
2차 - 2014년 02월 12일
 - 게재확정일 : 2014년 02월 13일