

꼬막, *Tegillarca granosa* (Linnaeus)의 용존산소 변화에 따른 생리적 반응

신윤경⁺ · 문태석 · 위중환
국립수산진흥원 남해수산연구소

Effects of the Dissolved Oxygen Concentration on the Physiology of the Manila clam, *Tegillarca granosa* (Linnaeus)

Yun Kyung SHIN⁺, Tae Seok MOON and Chong Hwan WI
South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Yosu 556-820, Korea

To investigate the effects of the dissolved oxygen concentration (DO) of *Tegillarca granosa* (Linnaeus), We measured LC₅₀, survival, oxygen consumption rate, filtration rates and blood composition under 10 ± 0.5°C and 25 ± 0.5°C as a function of DO. The 16 days-LC₅₀ of DO for *T. granosa* was 1.31 mg DO/L in large individual and 0.95 mg DO/L in small individual. At 25°C, the LC₅₀ of DO in large and small individual was 1.13 and 1.24 mg DO/L, respectively. With decreasing DO, oxygen consumption rate, and filtration rates of *T. granosa* decreased. Blood composition of *T. granosa* was analysed hemoglobin, glucose, total protein, total cholesterol, GOT and GPT. Hg was increased with decreasing DO, but glucose was decreased below 1.2 mg DO/L. Total protein, total cholesterol, GOT and GPT were investigated irregular and decreasing aspect.

Key words: *Tegillarca granosa* (Linnaeus), LC₅₀, Oxygen consumption, Filtration, Blood composition

서 론

꼬막은 피조개 및 새꼬막과 함께 들조개과 (Arcidae) 패류로서 우리나라 서해안과 남해안의 내만역 간석지의 수심 1~2 m에서 간조시 4~5시간 노출선의 펄질에 주로 서식한다. 꼬막의 형태적 특징은 17~18줄의 방사륜이 있으며, 체액에 적혈구를 가지고 있어 혈액이 붉게 보인다.

일반적으로 많은 조간대 동물들은 서식지 환경에서 수중내 산소변화에 수시로 직면하고 있으며, 특히 조석주기동안 규칙적으로 저산소나 심지어는 무산소 조건에 노출되어 있다. 또한 정확성이거나 이동이 적은 패류는 활동을 감소시키며, 에너지 이용을 감소시켜 저산소에 대한 저항을 증가시킨다 (DeZwaan and Wijsman, 1976; Pamatmat, 1980). Herreid (1980)에 의하면 저산소에 대한 반응은 그 동물의 생리적 상태와 수온, 염분, pH 및 오염원 등의 환경에 의존하여 나타나므로 용존산소의 감소에 대한 패류의 호흡대사 및 여수율 등의 생리적 반응은 양식생물로서 유용한 꼬막에 있어서 반드시 필요한 조사로 생각된다.

패류의 호흡조절에 대한 호흡보상은 ventilation rate의 증가와 관련이 있으며, 산소분압의 감소가 있을 때 발생하며 (Herreid, 1980), 생리적 보상의 전략은 해산 패류의 pumping activity의 패턴이 다르므로 서식지에 따라서 다양하게 나타난다 (Tayler and Brand, 1975). 활동적인 어류들은 수중의 저산소상태에 매우 민감하지만 저서성 이매패류들은 패각을 닫은 채 인내하며, 특히 꼬막류는 헤모글로빈 호흡색소를 가지고 있으므로 헤모글로빈의 산소친화도를 높여 저산소 수준에서도 더욱 인내할 수 있을 것으로

여겨진다.

산소분압의 감소에 따른 호흡조절 능력은 많은 패류들에서 잘 알려져 있으며 (Bayne, 1967; 1973; Hamwi and Haskin, 1968; Taylor and Brand, 1975; Shumway, 1983; Brand and Morris, 1984), 최근에는 산소가 감소되는 동안 심장활동, mantle cavity ventilation, 산소이용 능력 등의 변화에 초점을 두고 있다. 그러나 패류 중 독특하게 헤모글로빈 색소를 가진 들조개과 패류에 대하여는 피조개에 관한 연구 외엔 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 꼬막, *Tegillarca granosa* (Linnaeus) 양식기술 개발 연구의 일환으로서, 저산소상태에서 인내할 수 있는 임계 산소 농도 및 생리학적 특성을 알아보기 위하여 동계 10°C 및 하계 수온 25°C에서 개체 크기별로 반수치사농도, 산소소비율, 여수율 및 혈액 성상의 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

실험동물인 꼬막은 전남 보성군 장도해역에서 동계 (11월~2월)와 하계 (6월~9월)에 걸쳐 채집하여 실험실로 옮긴 후 0.5 t 수조에서 각 실험수온에 순응시켜 실험에 사용하였다. 실험수온은 10 ± 1°C와 25 ± 1°C였으며, 염분은 일반해수 (32.5 ± 0.5‰), 그리고 개체크기는 성패, 각장 30 mm 전후, 치패, 20 mm 전후의 것을 사용하였다. 실험방법은 지수식으로 행하였으며, 실험농도는 0.4, 0.8, 1.2 및 1.6 mg DO/L이었으며, 실험해수의 용존산소 농도는 N₂가스와 공기를 주입시키면서 산소검량기를 사용하여 설정된 실험농도로 조절하면서 실험기간동안 사망률, 산소소비율 및 여수율 등을 측정하였다.

사망률은 12시간 간격으로 점검하여 사망개체를 선별하여 구하

⁺Corresponding author: kkshin@nfrdi.re.kr

였으며, 반수치사농도는 Probit분석 (Finney, 1971)에 의하여 산출하였다. 호흡률의 측정은 산소검량기 (YSI 5000)를 사용하여 실험전후의 용존산소의 차로서 구하였으며, 여수율은 0.001%의 neutral red를 이용하여 Cole and Hepper (1954)의 방법을 이용하였다. 혈액성분의 분석은 각 시험구별 혈청을 분리하여 total protein은 biuret법, glucose 및 total cholesterol은 효소법 그리고 GOT 및 GPT는 Reitman-Frankel법으로 측정하였으며, 헤모글로빈 함량은 각 시험구별 채혈 후 즉시 Cyanmethemoglobin법으로 측정하였다. 자료분석을 위한 통계처리 방법은 SPSS-통계패키지를 이용한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test를 사용하였다.

결 과

수중내 용존산소의 변화에 따른 꼬막의 생존율과 반수치사 농도를 알아보기 위하여 동계 (10 ± 0.5°C) 및 하계 (25 ± 0.5°C)수온에서 용존산소농도 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 그리고 6.5 mg DO/L에 노출시킨 결과 (Table 1), 하계수온의 경우, 작은 개체는 0.4 mg DO/L에서 4일째 모두 폐사하였으며, 큰 개체는 5일 동안 5% 생존하였다. 반수치사 농도는 각각 1.24와 1.13 mg DO/L으로 각장 30 mm 전후의 큰 개체에서 다소 높은 내성을 나타내었다.

Table 1. Survival (%) of *Tegillaca granosa* exposed to different dissolved oxygen concentrations.

DO conc. (mg/L)	Water quality					Survival (%)	LC ₅₀ and 95% confidence limit (mg/L)
	Individual size	pH	Temp. (°C)	Exposed period (days)	Salinity (‰)		
0.4	Small	8.02	25 ± 0.5	4	32.5 ± 0.5	0	1.24 (1.09~1.43)
0.8		7.99				10	
1.2		8.02				45	
1.6		8.04				70	
6.5		7.99				100	
0.4	Large	7.85	25 ± 0.5	5	32.5 ± 0.5	5	1.13 (0.93~1.37)
0.8		7.99				45	
1.2		7.96				50	
1.6		8.02				75	
6.5		7.98				100	
0.4	Small	7.88	10 ± 0.5	16	32.5 ± 0.5	0	0.95 (0.90~1.00)
0.8		8.05				55.0	
1.2		7.99				70.0	
1.6		7.98				90.0	
6.5		7.85				100	
0.4	Large	7.98	10 ± 0.5	16	32.5 ± 0.5	0	1.31 (1.19~1.42)
0.8		7.98				0	
1.2		7.86				72	
1.6		8.02				92	
6.5		7.82				100	

LC₅₀ was calculated by the probit scale

한편 동계수온의 경우, 작은 개체는 0.4, 큰 개체는 0.8 mg DO/L에 노출된 지 16일째 모두 사망하였으며, 반수치사 농도는 각각 0.95와 1.31 mg DO/L으로 하계수온에 비해 상당히 높은 내성을 나타내어

수온에 따라 용존산소에 대한 내성이 다르게 나타났다.

25°C에서 각 용존산소에 노출된 지 3일째 꼬막의 산소소비율을 측정된 결과 (Fig. 1), 1.6 mg DO/L 이상에서는 개체크기에 관계

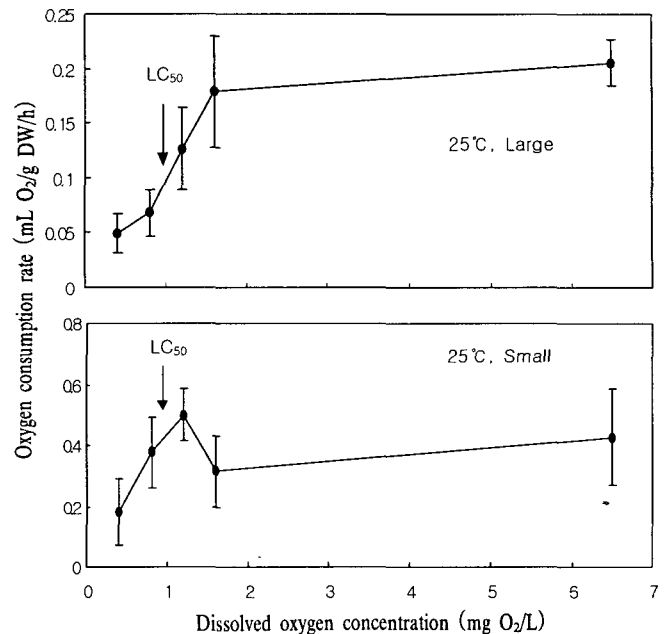


Fig. 1. Changes of oxygen consumption rate (± SE) in *Tegillaca granosa* with different dissolved oxygen levels at 25°C.

없이 변화를 나타내지 않았으나, 차츰 용존산소의 감소에 따라 호흡을 감소시켜 인내하는 것으로 나타났으며, 큰개체는 대조구에 비해 0.4 mg DO/L에서 호흡률 75%, 작은 개체는 56% 감소하였다. 한편 10°C의 경우에는 각 실험농도에 노출된 지 10일째 호흡률을 측정된 결과 (Fig. 2), 하계수온인 25°C에 비해 호흡률이 상당히 감소하였으며, 용존산소의 감소에 따라 호흡률은 감소하여 대조구에 비해 큰개체는 70%, 작은개체는 85% 감소하였다.

Fig. 3은 25°C에서 용존산소의 변화에 따른 여수율의 반응을 나타낸 것이다. 꼬막의 여수율은 큰개체의 경우에는 호흡률의 양상과 마찬가지로 수중내 용존산소의 감소에 따라 현저히 감소하는 경향을 보였으며, 대조구에 비해 여수율은 0.4 mg DO/L에서 75% 감소하였으나, 반면 작은 개체의 경우에는 1.2 mg DO/L에서는 대조구보다 높은 여수율을 보였으며, 0.8 mg DO/L 이하에서는 낮은 여수율을 보였다.

한편, 10°C에서 큰개체의 경우 대조구에 비해 용존산소의 감소에 따라 감소를 한 후 0.8 mg DO/L까지는 감소된 일정 양상을 보였으며, 0.4 mg DO/L에서 현저히 감소하였다. 그리고 작은개체는 초기에는 용존산소의 감소에 따라 여수율이 감소하였으나 큰개체와는 달리 0.2 mg DO/L 이하부터는 다소 일정한 양상으로 여수율이 유지되었다 (Fig. 4).

한편, 꼬막의 혈액 성분 (Table 2)에 대해 Hemoglobin, glucose, total protein, total cholesterol, GOT, GPT를 분석하였다. Hemoglobin은 수온 10°C, 대조구에서 3.17~4.16, 25°C에서는 4.36~4.85

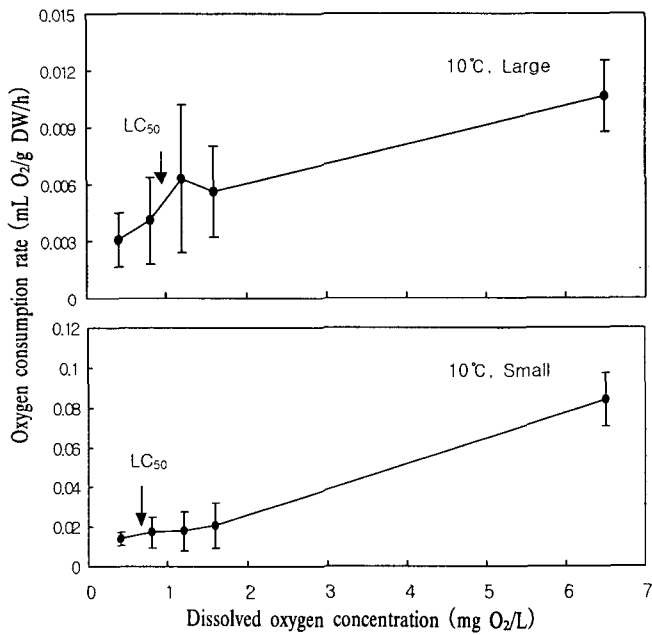


Fig. 2. Changes of oxygen consumption rate (\pm SE) in *Tegillarca granosa* with different dissolved oxygen levels at 10°C.

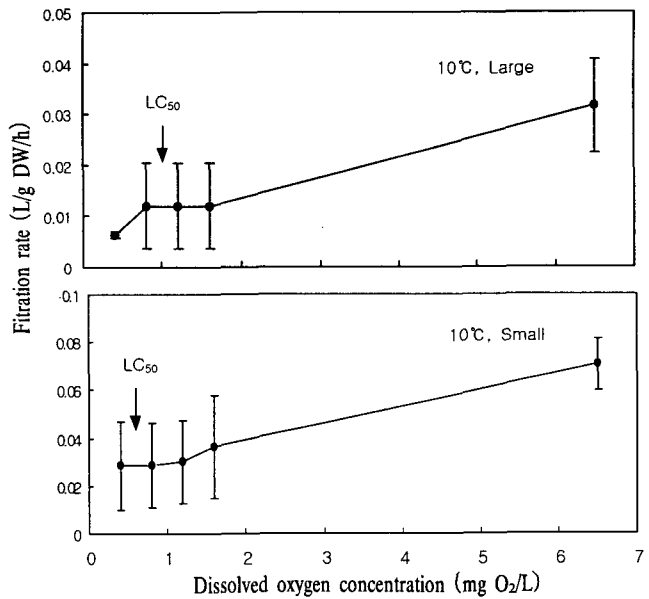


Fig. 4. Changes in filtration rate (\pm SE) in *Tegillarca granosa* with different dissolved oxygen levels at 10°C.

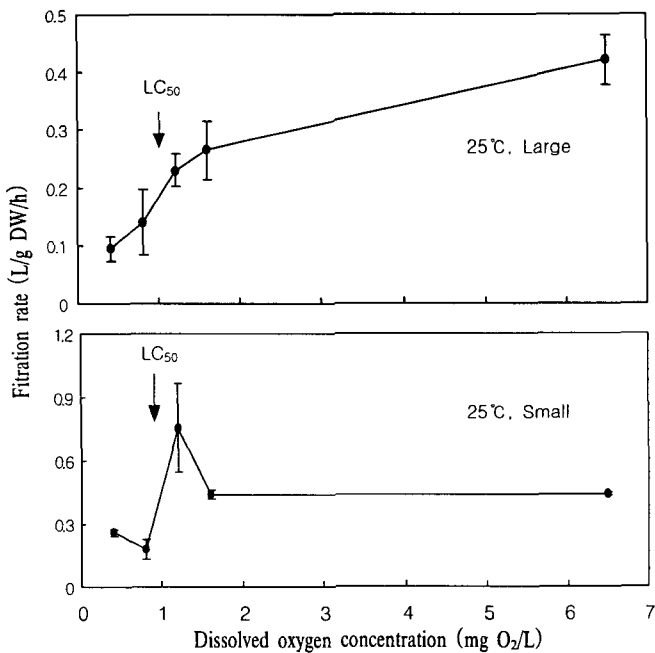


Fig. 3. Changes of filtration rate (\pm SE) in *Tegillarca granosa* with different dissolved oxygen levels at 25°C.

g/dL였으며, 개체크기에 관계없이 수중내 용존산소의 감소에 따라 증가하였으나 25°C의 경우에는 용존산소가 0.8 mg/L 이하로 감소하면 헤모글로빈의 양이 현저히 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, 환경요인에 대한 스트레스의 지표로 이용되고 있는 glucose의 양은 수온 10°C에서는 용존산소의 감소에 따라 감소한 반면, 수온 25°C에서는 용존산소 농도 1.6~1.2 mg/L에서는 증가를 보였지만

0.8 mg/L 이하에서는 감소를 보였다. 그 외 총단백질, 총콜레스테롤, GOT 및 GPT 등은 감소하거나 불규칙한 경향을 보였다.

고 찰

수중에서 산소분압의 감소에 따른 해산패류의 대사 반응은 호흡률을 조절하거나 순응하는 양상으로 나타난다. 일반적으로 호흡률을 조절할 수 있는 경우의 호흡보상은 아가미를 통한 물의 증가, 아가미에서의 산소교환 능력, 혈액의 산소를 수송할 수 있는 능력 등과 관련이 있으며, 이러한 현상은 산소분압의 감소가 있을 때 나타난다 (Herreid, 1980). 이러한 산소 분압에 따른 생리적 보상 전략은 종과 서식지에 따라 다양하게 나타난다 (Taylor and Brand, 1975).

수온별 꼬막, *T. granosa*의 용존산소에 대한 반응치사 농도는 하계수온 25°C의 경우 4~5일 동안 1.24~1.13 mg DO/L, 동계수온 10°C의 경우에는 16일 동안 0.95~1.31 mg DO/L으로 수온에 의한 용존산소의 영향이 크게 나타났다. 수중내 용존산소에 대한 내성의 정도는 바지락, *Ruditapes philippinarum*의 경우 수온 23°C에서 6days-LC₅₀이 2.40 mg DO/L (Shin et al, 2001)이었으며, 펄에 서식하는 coot clam, *Mulina lateralis* (Shumway and Scott, 1983)은 무산소 상태에서 2~11일 동안 생존하였으며, *Macoma balthica*는 무산소 상태에서 2~3일 생존하여 간석지 서식하고 있는 바지락에 비해, 주기적으로 공기에 노출되는 시간이 길고 펄에 서식하는 꼬막이 용존산소에 대한 내성이 큰 것으로 보이며, 또한 저 산소에 인내할 수 있는 능력은 자연 서식지 환경에서 경험했던 hypoxia의 정도와 관련이 있을 것으로 여겨진다.

꼬막의 호흡 및 여수율은 용존산소의 감소에 따라 감소하면서 그들의 대사율을 조절하는 양상을 나타내었다. 저산소 상태에서

Table 2. Blood composition of *Tegillaca granosa* with dissolved oxygen concentration at 10°C and 25°C

Temp. (°C)	Concentration (mg O ₂ /L)	Hemoglobin (g/dL)		Glucose (mg/dL)		Total protein (g/dL)		Total cholesterol (mg/dL)		GOT (Karmen unit)		GPT (Karmen unit)	
		Large	Small	Large	Small	Large	Small	Large	Small	Large	Small	Large	Small
10	Control	3.17	4.16	33.33	20.51	0.56	0.59	5.24	3.50	169.0	107.0	23.0	19.0
	1.6	3.53	7.53	14.74	12.82	0.47	0.40	7.87	3.50	102.0	143.0	22.0	24.5
	1.2	4.18	8.00	16.02	7.05	0.34	0.22	2.62	7.87	135.0	150.0	20.0	20.5
	0.8	5.54	5.42	8.97	9.61	0.19	0.18	2.62	2.62	148.0	190.0	54.0	23.5
	0.4	8.90	8.14	6.42	11.53	0.16	0.12	1.75	2.62	85.0	84.0	26.0	21.5
25	Control	4.85	4.36	39.82	36.27	0.63	0.60	5.36	4.27	152.0	148.0	29.0	31.0
	1.6	6.32	5.20	40.41	38.66	0.49	0.43	6.25	3.95	135.0	142.0	24.0	26.5
	1.2	7.69	4.29	42.73	40.05	0.31	0.28	4.21	4.15	88.0	94.0	22.0	24.5
	0.8	7.21	3.22	13.65	10.22	0.21	0.25	3.19	2.72	82.0	86.0	36.0	22.0
	0.4	3.02	3.06	5.62	7.04	0.15	0.11	1.99	1.68	68.0	72.0	30.0	20.5

패류의 일반적인 반응은 활동이 감소하며, 에너지 보유물의 감소가 (Bayne et al., 1976; Pamatmat, 1980) 일어나며, 저산소에 대한 반응과 관련된 기작은 그 동물의 생리적 상태와 수온, 염분, pH 및 오염원 등의 환경에 의존하므로 (Herreid, 1980), 용존산소의 감소에 따라 서식지별 대사조절 능력은 여러 종류의 패류에서 알려져 있으나 (Brand and Robert, 1973; Taylor and Brand, 1975; Sobral and Widdow, 1997), Hg 호흡색소를 가지는 들조개류에 대한 대사조절에 관한 연구는 *Neotia ponderosa* (Deaton and Mangum, 1976)와 피조개 (*Scapharca inaequivalvis*) 외엔 아직 미흡한 실정이다. Hg를 함유하는 arcid, *Neotia ponderosa* (Deaton and Mangum, 1976)은 ventilation rate가 매우 낮으나 Hg의 산소 포용력이 높아 저산소 상태에서도 인내하는 것으로 보고 (Deaton and Mangum, 1976)하였으며, Zwaan et al. (1992)에 의하면 *Venus gallina*, *Mytilus galloprovincialis*와 *Scapharca inaequivalvis* 가운데 피조개 (*Scapharca inaequivalvis*)가 용존산소의 감소에 따라 가장 오래 생존하였는데 이는 극단적인 산소압에서 일정한 양으로 산소소비를 조절할 수 있는 적혈구 속의 Hg 때문인 것으로 보고하였다. 본 실험종인 꼬막은 저 산소 상태에 노출되어 있는 동안 노출 초기에는 폐각을 닫은 상태로 유지된 후 다시 폐각을 열면서 저 산소 상태에 인내한 후 사망하는 것으로 관찰되었다. 특히 혈액 성분의 분석 결과 용존산소량이 감소함에 따라 헤모글로빈 양이 증가하는데 이는 주변환경의 용존산소의 감소에 따라 대사를 낮추며, 소비되는 에너지를 감소시키고 대사를 조절할 수 있는 범위 내에서 헤모글로빈을 증가시켜 산소의 친화도를 증가시켜 생존하기 위한 수단으로 이용하는 것으로 보인다. 또한 꼬막의 형태적 특징은 입수관 출수관이 매우 짧으며, libial palp가 덜 발달되어 있고, 특히 여수율이 매우 낮은 것으로 보아 ventilation rate가 매우 낮은 것으로 추정되지만 저산소 상태에서는 항상 폐각을 열고 있는 것이 관찰되는 것으로 보아 *Neotia ponderosa* (Deaton and Mangum, 1976)와 유사하게 Hg의 산소포용력을 높여 호흡을 조절하는 것으로 여겨진다.

대사와 스트레스의 지표로 이용되는 혈중 글루코스의 양은 용존산소의 감소에 따라 10°C에서는 감소하는 경향을 보였으나 25°C에서는 1.2 mg DO/L 이상에서는 다소 증가하고, 0.8 mg DO/L 이

하에서는 현저히 감소하였다.

외부 환경변화의 스트레스에 의해 일어나는 일반적인 생리적 현상은 체내 항상성이 깨어지고 성장 및 삼투조절 능력 등의 저하 (Davis et al., 1985; Barton et al., 1987)가 수반되며, 혈액학적 반응은 혈장내 cortisol과 glucose의 급속한 증가 (Carmichael et al., 1984)가 일어나는데, 수온 25°C와 용존산소 1.2 ppm에서 꼬막의 glucose의 일시적 증가는 고온과 용존산소의 영향으로 인한 생리적 보상관계인 것으로 여겨지며, 0.8 mg DO/L 이하에서는 체내 대사 에너지의 고갈로 인해 혈중 glucose 및 단백질 등이 에너지원으로 소비된 것으로 보이며, 0.8 mg DO/L 이하의 용존산소는 꼬막류에서 치명적인 영향인 것으로 여겨진다.

이상의 결과를 종합하면 꼬막의 수중내 용존산소에 대한 내성은 고수온에 크게 영향을 받으며, 다른 패류에 비하여 저산소에 대한 내성이 큰 것으로 여겨지는데 이는 용존산소의 감소에 따라 혈액 내 헤모글로빈의 양을 증가시켜 산소포용력을 높여 호흡을 조절 하면서 저산소에 대한 내성을 가지는 것으로 추정된다.

요 약

전남 보성군 장도해역의 필질에 서식하는 꼬막의 환경내성에 대한 연구의 일환으로 수중내 용존산소의 감소에 따라 생존율, 호흡률, 여수율 등의 생리적 반응 및 혈액성상의 변화를 조사하였다. 꼬막의 용존산소농도의 감소에 따른 LC₅₀은 수온 10°C에서 16일 동안 큰개체 1.31 mg DO/L, 작은 개체는 0.95 mg DO/L이었으며, 수온 25°C의 경우에는 각각 1.13와 1.24 mg DO/L이었다. 호흡률과 여수율은 용존산소의 감소에 따라 대체로 감소하는 경향을 보였다. 혈액성분은 Hemoglobin, glucose, total protein, total cholesterol, GOT 및 GPT 등을 분석하였다. 헤모글로빈은 모든 개체에서 수중내 용존산소의 감소에 따라 증가하였으나, 스트레스의 지표로 이용되고 있는 glucose는 수온 25°C, 용존산소 1.6~1.2 mg DO/L에서 일시적 증가를 보였으며, 1.2 mg DO/L 이하에서 감소하는 경향을 보였다. 그외 total protein, total cholesterol, GOT 및 GPT 등은 용존산소의 감소에 따라 감소하거나 불규칙한 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

- Barton, B.A., C.B. Schreck and L.D. Barton. 1987. Effects of chronic cortisol administration and daily acute stress on growth, physiological conditions and stress responses in juvenile rainbow trout. *Dis. Aquat. Org.*, 2, 173~185.
- Bayne, B.L. 1967. The respiratory responses of *Mytilus perna* L. (Mollusca: *Lamelli branchia*) to reduced environmental oxygen. *Physiol. Zool.*, 40, 307~313.
- Bayne, B.L. 1973. The response of three species of bivalve mollusc to declining oxygen tension at reduced salinity. *Comp. Biochem. Physiol.*, 45A, 793~806.
- Bayne, B.L., L. Thompson and J. Widdows. 1976. Physiology. I. In, marine mussels: their physiology and ecology, edited by B.L. Bayne, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 121~206.
- Brand, A.R. and D. Roberts. 1973. The cardiac responses of the scallop *Pecten maximus* (L.) to respiratory stress. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 13, 29~43.
- Brand, A.R. and D.J. Morris. 1984. The respiratory responses of the dog cockle *Glycymeris glycymeris* (L.) to declining environmental oxygen tension. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 83, 89~106.
- Carmichael, G.J., J.R. Tomasso, B.A. and K.B. Davis. 1984. Confinement and water quality induced stress in largemouth bass. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 113, 767~777.
- Cole, H.A. and B.T. Hepper. 1954. The use of neutral red solution for the comparative study of filtration rate of *Lamelli branches*. *J. Cons Int. Explor. Mer.*, 20, 197~203.
- Davis, K.B., P. Torrance, N.C. Parker and M.A. Suttle. 1985. Growth, body composition and hepatic tyrosine aminotransferase activity in cortisol-fed channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque. *J. Fish. Biol.*, 27, 177~184.
- Deaton, L.E. and C.P. Mangum. 1976. The function of haemoglobin in the arcid clam *Noetia ponderosa*. II. Oxygen uptake and storage. *Comp. Biochem. Physiol.*, 53A, 181~186.
- DeZwaan, A. and T.C.M. Wijsman. 1976. Anaerobic metabolism in bivalvia (Mollusca). Characteristics of anaerobic metabolism. *Comp. Biochem. Physiol.*, 54B, 313~317.
- Hamwi, A. and H.H. Haskin. 1968. Oxygen consumption and pumping rates in the hard clam *Mercenaria mercenaria*: a direct method. *Science*, 163, 823~824.
- Herreid, C.F. 1980. Hypoxia in invertebrates. *Comp. Biochem. Physiol.*, 67A, 311~320.
- Pamatmat, M.M. 1980. Facultative anaerobiosis of benthos. In, Marine benthic dynamics, edited by K.R. Tenore and B.C. Coull, Univ. of South Carolina, Columbia, 69~90.
- Shin, Y.K., Y. Kim, E.Y. Chung and S.B. Hur. 2001. Effects of the dissolved oxygen concentration on the physiology of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. *J. Korean Fish. Soc.*, 34, 190~193.
- Shumway, S.E. 1983. Factors affecting oxygen consumption in the coot clam *Mulinia lateralis* (Say). *Ophelia*, 22, 143~171.
- Shumway, S.E. and T.M. Scott. 1983. The effects of anoxia and hydrogen sulphide on survival, activity and metabolic rate in the coot clam, *Mulinia lateralis* (Say). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 71, 135~146.
- Sobral, P. and J. Widdows. 1997. Influence of hypoxia and anoxia on the physiological responses of the clam *Ruditapes decussatus* from southern Portugal. *Mar. Biol.*, 127, 455~461.
- Taylor, A.C. and A.R. Brand. 1975. Effects of hypoxia and body size on the oxygen consumption of the bivalve *Arctica islandica* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 19, 187~196.
- Zwaan, A. de, P. Cortesi, G. van-den, Thillart, S. Brooks, K.B. Storey and J. Roos. 1992. Energy metabolism of bivalves at reduced oxygen tensions. *Marine coastal eutrophication*. no. Suppl., 10 29~1040.

2002년 3월 7일 접수

2002년 8월 31일 수리