



진동 스트레스에 따른 양식 자라, *Pelodiscus sinensis*의 산소소비 및 암모니아 배설

이정열*, 성용식, 허준욱
군산대학교 해양생명과학부

Oxygen Consumption and Ammonia Excretion in Cultured Soft-Shelled Turtle, *Pelodiscus sinensis* Exposed Vibration Stress

Jeong Yeol Lee*, Young Sik Sung and Jun Wook Hur
School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

We examined the effects of the vibration stress on oxygen consumption and ammonia excretion of cultured soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*. For the stressed group vibration of 45~78 dB (V) from electric vibrator was turned on for 15 min with 2-h intervals during daytime hours (08:00~18:00) for 28 days. Two different sizes of soft-shelled turtle, large (carapace length: 12~16 cm, body weight: 300~600 g, large size turtle: LST) and middle (16~20 cm, 700~1,000 g, middle size turtle: MST) were used. The oxygen consumption of LST the beginning of the experiment (1 day) was 124.30 mg O₂/kg/hr, and after 7, 14, 21 and 28 days of stress decreased by 47.2, 71.6, 79.1 and 86.0%, respectively. In MST, oxygen consumption of beginning day was 66.04 mg O₂/kg/hr, and after 28 days of stress decreased by 76.5%. Ammonia nitrogen excretion showed a similar pattern to that of oxygen consumption. Ammonia nitrogen excretion of beginning of the experiment was 0.537 mg N/kg/hr, and after 28 days of stress decreased by 75.4% for LST, and by 74.3% for the middle ones. From in this study it was showed that the physiological activity was reduced by 50% following 8.4 days of vibration stress for LST, and 15.5 days for MST.

Keywords: Soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis*, Vibration Stress, Oxygen consumption, Ammonia Excretion

서 론

Barton and Iwama (1991)는 임계수준을 넘어선 스트레스(stress)는 생물체의 생리활성을 떨어뜨림으로써 건강도를 약화시킬 수 있다고 하였다. 특히 만성적인 스트레스는 생물체의 항상성(homeostasis)을 유지하기 어렵게 하여, 많은 에너지를 소비하게 한다. 이로 인해 체성장과 생명유지를 위한 대사에 사용되어야 할 에너지가 필요 이상으로 소모되므로, 성장의 둔화 및 폐사율의 증가를 가져올 수 있다(Schreck, 1982; Barton and Iwama, 1991).

자라, *Pelodiscus sinensis*는 거북목 자라과에 속하는 파충류로 약용, 기호 및 건강식품으로 많이 이용되고 있다. 자연상태에서 자라는 수초, 수서곤충 및 어린고기를 먹고사는 잡식성이지만 양식시에는 배합사료를 공급한다. 이 종의 서식지는 사니질로 되어있는 하천, 호소, 늪지 및 저수지 등이며, 주로 밤에 활동을 하는 것으로 알려져 있다(Kim, 1998). 최근 자라의 서

식지 및 자연산란장이 공사 및 골재채취 등으로 파괴되고 있으며, 또한 생활오수 및 산업폐수 등으로 자원량이 감소되어, 1990년대 초부터 종묘생산 및 양식이 시도되고 있다. 양식과정 중 자라는 소음 및 진동 등에 매우 민감하며, 겁이 많은 동물로 먹이 길들이기가 쉽지 않으며, 주위의 낮은 소음 및 진동에도 많은 영향을 받는다(Sung, 2006). 이러한 현실로 자라양식장은 주로 지형적으로 소음 및 진동 등에 영향을 받지 않는 곳에 설치하여 사육되고 있다. 그러나 도시화 및 산업화로 인하여 새로운 도로 및 건물 건설 등으로 자라양식장에 미치는 영향은 클 것으로 판단된다.

지금까지 자라를 대상으로 보고된 연구는 종묘생산 및 새끼 자라 양성 등에 대하여 알려져 있으나(Kim, 1998), 대사생리에 대한 연구는 부족한 실정이다(Sung, 2006). 한편, 국외 연구로는 담수산 자라에 대한 연구는 최근에 중국에서 일부 보고하고 있으나(Zhou, 2004, 2005), 주로 바다에 서식하는 거북류를 대상으로 핸들링, 포획 스트레스에 대한 호르몬 분비 반응 등에 대한 보고가 있다(Gregory et al., 1996; Cash et al., 1997; Mahmoud and Licht, 1997; Gregory and Schmid, 2001; Jessop

*Corresponding author: yjeong@kunsan.ac.kr

et al., 2002).

따라서 지금까지 국내외적으로 사육하면서 받을 수 있는 환경 스트레스(진동)에 대한 대사, 생리적 반응에 대한 보고가 없어 이에 대한 연구의 필요성이 제기된다. 본 연구에서는 진동 스트레스에 노출될 때 나타나는 생리적 반응의 단기적 지표로서 산소소비량과 배설량 변화를 조사하여 자라 양식의 기초자료로 이용하고자 한다.

재료 및 방법

실험동물 및 실험조건

실험 재료인 자라는 전북 김제군 소재 자라양식장에서 양식 중인 것 중 활력이 좋은 대형(갑장: 16~20 cm, 체중: 700~1,000 g, large size turtle: LST)과 중형자라(갑장: 12~16 cm, 체중: 300~600 g, middle size turtle: MST)를 구득하여 군산대학교 양어장에서 충분히 안정시킨 후, 실험실에 마련된 실험 수조에 수용하였다. 실험수조는 1.5 ton 크기의 FRP 수조에 20마리씩 수용하고 수온자동조절장치를 거쳐 나온 사육수를 0.5 m³/h의 속도로 연속하여 공급해 주었다. 먹이는 스트레스를 받아 먹지 않기 때문에 수질악변을 고려하여 공급하지 않았다. 그리고 모든 실험은 2반복으로 설정하였다.

진동 자극은 자체 제작한 진동기(vibrator)에 타이머를 연결하여, 1일중 주간(08:00~18:00)에만 2시간 간격으로 15분씩 28일 동안 매일 스트레스 자극을 주었다. 진동의 크기는 압진동(22.2~33.7 dB, V)을 고려하여 이 보다 20~30 dB(V) 높은 45.0~68.2 (평균 56.6) dB(V)를 주었으며, 실험시 사육수온은 17.0~18.6°C, pH는 7.2~7.9, 용존산소는 7.1~7.8 mg/mL로 나타났다(Table 1). 실험조건과 사육환경 등은 Table 1에서 보는 것과 같이 자라의 사육에 영향을 줄 정도의 수질은 아니었다. 한편, 대조군 자라는 진동의 영향이 없는 별도의 사육수조에서 정상적으로 사육하면서 실험에 사용하였다.

산소소비량 및 암모니아 배설량 측정

산소소비량과 암모니아 배설량 측정은 아크릴로 제작한 호흡실(50×20 cm)에 미공 여과(0.8 μm) 시킨 환경수를 넣고 진동에 노출된 자라를 1마리씩 수용하여 자라가 안정이 될 때까지 약 20분간 신선한 환경수가 흐르도록 한 후, 3방향 콕크를 돌려 호흡실내 환경수가 호흡실에 부착된 산소전극(YSI-58)을 거쳐 다시 호흡실로 흐르도록 1 시간 동안 방치한 후 실험 전후 환경수내 용존산소량과 암모니아량을 측정하였다. 측정된 용존산소량은 다음의 식(Kim, 1980)에 의해 자라의 산소소비량으로 환산하였다.

$$O_2 \text{ mg/kg/hr} = \frac{(C1 - C2) \times V}{t \times W}$$

C1: 실험 시작시 용존산소량, mg/L

C2: 실험 종료시 용존산소량, mg/L

V: 호흡실내 환경수 용량, L

t: 방치시간, hour

W: 실험동물의 중량, kg

그리고 환경수내 암모니아량은 Phenolhypochloride법(Solorzano, 1969)으로 검수를 발색시켜 비색분석계(UV/VIS-200S)로 비색 분석한 후 암모니아 농도를 계산하였다.

결과 및 고찰

수산생물이 외부로부터 스트레스를 받으면 이를 보상하기 위하여 내적으로 catecholamine, corticosteroid와 같은 호르몬을 과다 분비함으로써 대사체계에 변화를 가져오는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer and McLeay, 1981). 이러한 대사체계의 변화를 총체적으로 나타내 주는 지표가 산소소비량과 질소배설량이다(Lee and Hur, 2004; Sung, 2006). 산소소비는 수온(Brett and Glass, 1973; Wi and Chang, 1976), 염분(Rao, 1971; Forsberg, 1994), 광주기(Withey and Saunders, 1973), 크기(Brett and

Table 1. Experimental conditions and rearing environment

	Items	Ranges
Experimental conditions	Tank size (cm)	300×100×50
	Animal size (g)	300~600 / 700~1000
	Numbers of animal stocked	20
	Vibration added (dB, V)	45.0~68.2
	Vibration at normal condition (dB, V)	22.2~33.7
	Noise added (dB, A)	73.6~83.2
	Noise at normal condition (dB, A)	51.6~67.3
	Water temperature (°C)	17.0~18.6
	pH	7.2~7.9
	Dissolved oxygen (mg/L)	7.1~7.8
Rearing conditions	Total ammonia nitrogen (mg/L)	0.016~0.031
	Nitrite nitrogen (mg/L)	0.001~0.009
	Alkalinity (mg/L CaCO ₃)	37.15~51.27
	Hardness (mg/L CaCO ₃)	97.79~149.28

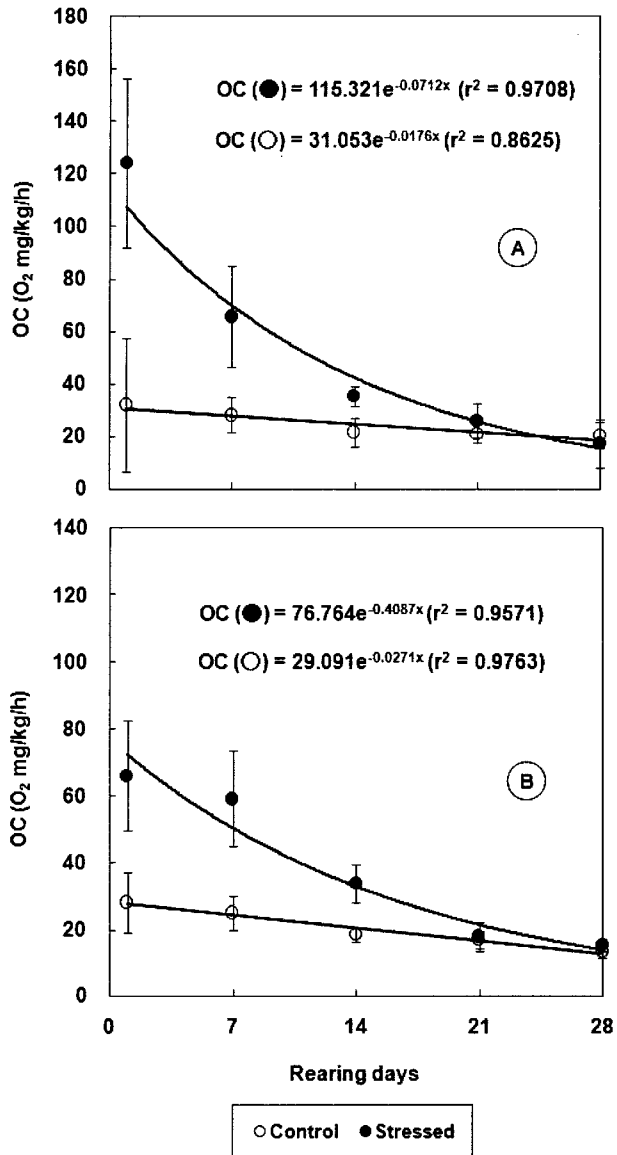


Fig. 1. Variations of oxygen consumption (OC) in large and middle size of soft-shelled turtle to vibration stress. A: LST, B: MST.

Glass, 1973), 사료공급량(Brett and Groves, 1979) 및 스트레스 정도(Smart, 1981; Barton and Schreck, 1987) 등 여러 가지 요인에 의해 달라지는 것으로 알려지고 있다. 산소소비에 가장 많은 영향을 미치는 수온은 상승에 비례하여 산소소비량이 증가한다고 하였다(Brett and Glass, 1973). 이와 반대로 스트레스를 심하게 받으면 산소소비량이 감소하는 것으로 알려져 있다(Wedemeyer et al., 1981).

본 연구에서 진동 스트레스를 주지 않은 LST의 산소소비량은 사육일수에 따라 지수식 $OC=31.053e^{-0.0176D}$ ($r^2=0.8625$)로 나타났으며, 스트레스를 준 LST는 지수식 $OC=115.321e^{-0.0712D}$ ($r^2=0.9708$)로 나타났다(Fig. 1A). 처음 스트레스를 준 사육 1일째의 산소소비량은 대조구보다 스트레스 실험구는 약 4배가 많은 것으로 나타났으며, 이 값은 사육일수가 경과 할수록 대조

구와 비슷한 값으로 감소하였다. 산소소비량 결과에 따른 감소율은 스트레스를 준 후 사육 7일째 47.2% 및 14일째 71.6%로 감소하는 것으로 나타났다. 감소율로 측정된 값을 노출일수에 대하여 그래프를 그려보면 $RD(\text{산소소비 감소율}) = -0.1421T^2 + 6.8924T + 2.0714$ ($r^2=0.9896$)로 직선회귀식으로 나타났다. 이 직선식에서 50%의 산소소비를 가져오는 노출일수(RD_{50})를 계산하여 보면 8.4일이었다.

MST의 경우, LST와 산소소비 경향은 유사하게 나타났다(Fig. 1B). 대조구는 $OC=29.091e^{-0.0271D}$ ($r^2=0.9763$)로 지수식을 보였으며, 실험구는 $OC=76.764e^{-0.4087D}$ ($r^2=0.9571$)로 지수식을 나타내었다. 사육 1일째 실험구는 대조구보다 약 2.3배가 높은 산소소비량을 보여주었다. 산소소비량 결과에 따른 감소율은 스트레스를 준 후 사육 14일째 48.8%로 감소하는 것으로 나타났다. 산소소비 감소율과 노출일수(T)와의 관계는 $RD = -0.0405T^2 + 4.2090T - 5.3114$ ($r^2=0.9496$)로 직선회귀식을 보였으며, 노출일수에 따른 50% 감소일(RD_{50})은 15.5일로 나타났다.

스트레스를 주지 않은 LST의 암모니아 배설량은 사육일수에 따라 지수식 $AE=0.2114e^{-0.0121D}$ ($r^2=0.9470$)로 나타났으며, 스트레스를 준 LST는 지수식 $AE=0.5923e^{-0.0549D}$ ($r^2=0.9898$)로 나타났다(Fig. 2A). 대조구에 비하여 실험구는 21일전까지는 높은 배설량을 보였으나, 21일후 낮아지는 값을 보였다. 암모니아 배설량 결과에 따른 감소율은 스트레스를 준 후 사육 7일째 18.4% 및 21일째 67.4%로 감소하는 것으로 나타났다. 감소율과 노출일수와의 관계는 $AD(\text{암모니아 배설량 감소율}) = -0.0487T^2 + 4.2176T - 2.6514$ ($r^2=0.9850$)의 회귀직선식을 보였으며, 노출일수(T)에 따른 50% 감소일(RD_{50})은 15.1일로 나타났다.

MST에서 대조구의 암모니아 배설량은 사육일수에 따라 지수식 $AE=0.2239e^{-0.0208D}$ ($r^2=0.8494$)로 나타났으며, 스트레스를 준 MST는 지수식 $AE=0.6222e^{-0.0498D}$ ($r^2=0.8244$)로 나타났다(Fig. 2B). 감소율과 노출일수와의 관계는 $AD = -0.1647T^2 + 7.1237T + 1.6571$ ($r^2=0.9883$)의 직선회귀식으로 나타났으며, 노출일수(T)에 따른 50% 감소일(RD_{50})은 8.4일로 나타났다.

진동 스트레스를 준 자라의 산소소비량과 암모니아 질소 배설 경향을 보면 LST나 MST 모두 스트레스를 받은 초기에는 스트레스를 받지 않은 자라에 비하여 산소소비량은 약 2.3~4.0배, 암모니아 질소 배설량은 2.6~3.2배 많은 경향을 보이다가 스트레스가 계속됨에 따라 점차 감소하여 스트레스 자라 3~4주가 되면 스트레스를 받지 않은 대조군 자라보다 낮거나 비슷한 양을 나타내었다. 즉, 스트레스에 대한 자라의 산소소비량 및 암모니아 질소 배설량은 실험 초기에는 진동 스트레스를 받은 자라가 진동 스트레스를 받지 않은 대조군보다도 월등히 높은 산소소비량 및 암모니아 질소 배설량을 보였는데 이는 진동 스트레스로 놀라서 생리활성이 빨라졌기 때문이며, 스트레스가 누적되어 감에 따라 생리활성도가 활력을 잃어 3~4주 후 및 이후에는 대조군보다 낮은 산소소비량 및 암모니아 질소 배설량을 나타낼 것으로 추측된다. 스트레스로 인하여 생리활성도가

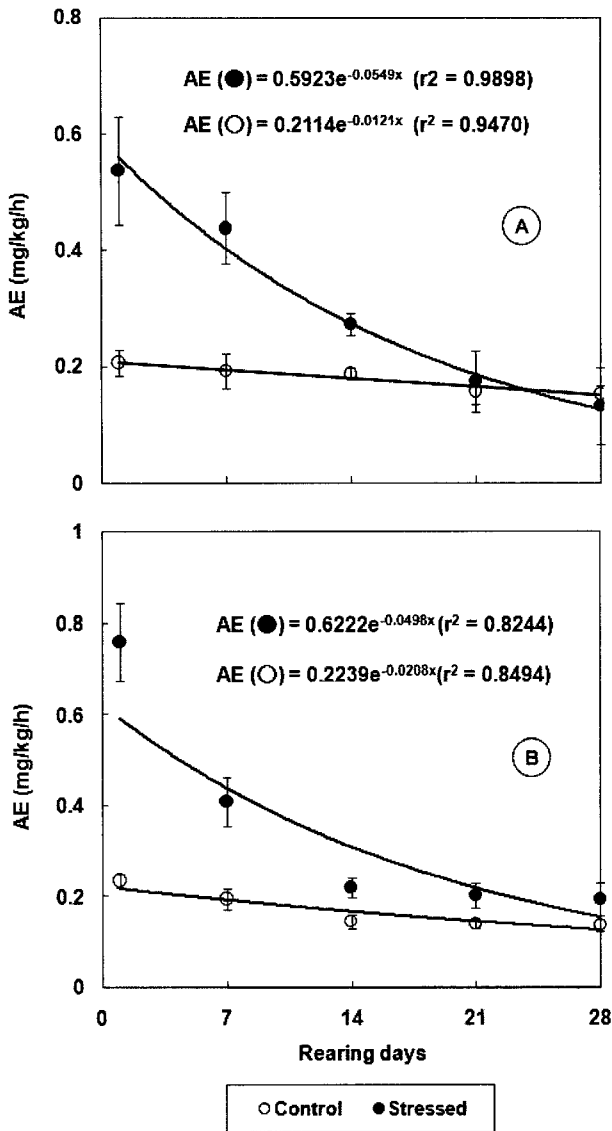


Fig. 2. Variations of ammonia excretion (AE) in large and middle size of soft-shelled turtle to vibration stress. (A): LST, (B): MST.

50% 감소되는 일수는 산소소비량의 경우 LST가 8.4일, 그리고 MST가 15.1일로 나타난 반면 암모니아 질소 배설량은 LST가 15.1일, MST가 8.4일로 각각 나타났다. 결국, 산소소비량과 암모니아 배설량 변동 경향으로 본 자라의 진동에 대한 생리 활성도는 식용 자라의 경우 진동 자극 8.4일 후가 되면 스트레스를 심하게 받아 처음 활성도의 50% 이상을 잃어버리고 약 3주 후가 되면 생리활성도가 저하되어 폐사에 이르는 것으로 나타났다. Lee and Hur (2004)는 뱀장어, *Anguilla japonica*에 대한 진동 스트레스에서 생리활성의 50% 감소를 가져오는 경과일수를 3.4일이라고 보고하여 본 자라가 뱀장어보다 진동에 대한 내성이 다소 강함을 보였다. 또 LST가 MST에 비하여 스트레스에 대한 완충력이 작은 것으로 나타났는데, 이는 넓치, *Paralichthys olivaceus*에서도 대형 넓치가 소형 넓치에 비해 스트레스 반응

이 높게 나타난 점과 유사하였다(Hur et al., 2003).

일반적으로 스트레스가 나타나는 단계(진신 적응 증후군)는 3단계로 나누어진다(Schreck and Moyle, 1990). 첫째는 경고반응(stage of alarm reaction)으로 스트레스 요인이 가해지면 스트레스에 대처하기 위하여 교감신경과 중추신경을 통하여 쇼크 상태 후에 반쇼크 상태로 이어진다. 두 번째는 저항기(stage of resistance)로 경고반응 후 스트레스를 이겨 내려고 모든 에너지를 스트레스 회복(항상성 유지)에 소모하는 단계이다. 만일 스트레스가 지속되면 강하게 저항하지만 새로운 다른 스트레스가 가해지면 저항성은 약해진다. 세 번째 단계로는 생리적 피폐기(stage of exhaustion)로 스트레스에 적응하지 못하는 생물은 폐사하며, 만일 스트레스를 극복한 생물이라 하더라도 스트레스 극복을 위해 모든 에너지를 소비하였기 때문에 생리적으로 매우 약한 시기이다. 즉, 스트레스가 지속되는 상황이 되면 폐사율을 높아지고 항상성 유지를 위한 체내 에너지 소모가 많아져 다른 스트레스 요인 및 질병에 대한 저항력이 매우 약한 시기가 될 수 있다.

따라서 본 연구에서 폐사개체는 나타나지 않았으나, 대조군에 비하여 진동 스트레스를 받은 자라의 산소소비율 및 암모니아 배설량이 감소하는 것은 생리적 피폐기에 처해 있는 상황으로 에너지 소비가 많음을 알 수 있다. 스트레스 자극 초기에는 경고반응으로 보여지며, 이후 저항기를 거쳐, 생리활성의 50% 감소를 가져오는 경과일수는 스트레스 자극 후 약 10일을 전후하여 생리적 활성이 급격히 하락한 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때, 진동은 자라에 상당한 스트레스 요인으로 작용한 것으로 나타났다. 산소소비량 및 암모니아 배설량 등에서 체내 항상성이 스트레스 자극 10일 이후 생리활성도가 50% 이하로 감소하여 항상성 유지를 위한 모든 에너지를 소비하여 생리적 피폐기로 폐사할 수 있을 것으로 생각된다. 자라는 다른 수산생물과는 다르게 스트레스 상황에 처해 있을 때, 체외로 나타나는 징후가 뚜렷하지 않아 본 연구에서 나타난 산소소비와 암모니아 배설량은 자라의 생리적 활성도를 조사하는데 기초자료로 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

요 약

양식 자라, *Pelodiscus sinensis*를 사용하여 진동 스트레스에 노출될 때 나타나는 생리적 반응의 단계적 지표로서 산소소비량(호흡)과 암모니아 배설량 변화를 조사하였다. 자라는 대형(갑장: 16~20 cm, 체중: 700~1,000 g)과 중형(갑장: 12~16 cm, 체중: 300~600 g)으로 구분하여, 1.5 ton 크기의 FRP 수조에 20마리씩 수용하였다. 진동 자극은 자체 제작한 진동기(vibrator)에 타이머를 연결하여, 하루 중 주간(08:00~18:00)에만 2시간 간격으로 15분씩 28일 동안 매일 스트레스 자극을 주었다. 진동의 크기는 45.0~68.2(평균 56.6) dB(V)였으며, 대조군 자라는 진동의 영향이 없는 별도의 사육수조에서 정상적으로 사육

하면서 실험에 사용하였다.

연구결과, 진동 자극은 자라에 상당한 스트레스 요인으로 작용한 것으로 나타났다. 산소소비량 및 암모니아 배설량 등에서 체내 항상성이 스트레스 자극 10일 이후 생리활성도가 50% 이하로 감소하여 항상성 유지를 위한 모든 에너지를 소비하여 생리적 피폐기로 폐사직전인 것으로 나타났다. 자라는 다른 수산생물과는 다르게 스트레스 상황에 처해 있을 때, 체외로 나타나는 징후가 뚜렷하지 않아 본 연구에서 나타난 산소소비와 암모니아 배설량은 자라의 생리적 활성도를 조사하는데 기초자료로 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

참고문헌

- Barton, B. A. and C. B. Schreck, 1987. Influence of acclimation temperature on interrenal and carbohydrate stress responses in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 62, 299-310.
- Barton, B. A. and G. K. Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu. Rev. Fish Dis.*, 1, 3-26.
- Brett, J. R. and N. R. Glass, 1973. Oxygen consumption and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 379-387.
- Brett, J. R. and T. D. D. Groves, 1979. Physiological energetics. (in) W. S. Hoar, D. J. Randall and J. R. Brett (eds.), *Fish Physiology*. Academic Press, New York, pp. 279-352.
- Cash, W. B., R. L. Holberton and S. S. Knight. 1997. Corticosterone secretion in response to capture and handling in free-living red-eared slider turtles. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 108, 427-433.
- Forsberg, O. I., 1994. Modelling oxygen consumption rates of post-smolt Atlantic salmon in commercial-scale land-based farms. *Aquacul. Inter.*, 2, 180-196.
- Gregory, L. F. and J. R. Schmid, 2001. Stress responses and sexing of wild kemp's ridley sea turtles (*Lepidochelys kempii*) in the northeastern gulf of Mexico. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 124, 66-74.
- Gregory, L. F., T. S. Gross, A. B. Bolten, K. A. Bjorndal, and L. J. Guillette, 1996. Plasma corticosterone concentration associated with acute captivity stress in wild loggerhead sea turtle (*Caretta caretta*). *Gen. Comp. Endocrinol.*, 108, 427-433.
- Hur, J. W., Y. J. Chang, B. K. Lee and J. Y. Lee, 2003. Effects of hypo-salinity on physiological response, survival and growth of the cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Korean J. Ichthyol.*, 15, 77-86.
- Jessop, T. S., R. Knapp, J. M. Whittier, and C. J. Limpus, 2002. Dynamic endocrine responses to stress: Evidence for energetic constraints and status dependence in breeding male green turtles. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 126, 59-67.
- Kim, K. S., 1998. Seedling production of the soft-shelled turtle, *Trionyx sinensis*. Master Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea, 41 pp.
- Kim, Y. S., 1980. Efficiency of energy transfer by population of the farmed pacific oyster, *Crassostrea gigas* in Geoje-Hansan Bay. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 13, 179-193.
- Lee, J. Y. and J. W. Hur, 2004. Effect of vibration stress on the oxygen consumption, ammonia excretion and blood characteristics of the cultured eel, *Anguilla japonica*. *J. Aquaculture*, 17, 262-267.
- Mahmoud, I. Y. and P. Licht, 1997. Seasonal changes in gonadal activity and the effects of stress on reproductive hormones in the common snapping turtle, *Chelydra serpentina*. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 107, 359-372.
- Rao, M. M., 1971. Influence of activity and salinity on the weight dependent oxygen consumption of the rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Mar. Biol.*, 8, 205-212.
- Schreck, C. B. and P. B. Moyle, 1990. *Methods for fish biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland, pp. 1-684.
- Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, 28, 241-249.
- Smart, G. R., 1981. Aspects of Water Quality Producing Stress in Intensive Fish Culture. CRC, FL., pp. 277-293.
- Solorzano, L., 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenylhypochloride method. *Limnol. Oceanogr.*, 14, 799-801.
- Sung, Y. S., 2006. Effects of noise and vibration physiological response in soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*). Master thesis, Kunsan National University, Gunsan, Korea, 41 pp.
- Wedemeyer, G. A. and D. J. McLeay, 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. (in) A. D. Pickering (ed.), *Stress and Fish*. Academic Press, London, pp. 247-275.
- Wi, J. H. and Y. J. Chang, 1976. A basic study on transport of live fish (I). *Bull. Fish. Res. Dev. Agency, Korea*, 15, 91-108.
- Withey, K. G. and R. L. Saunders, 1973. Effect of reciprocal photoperiod regime on standard rate of oxygen consumption of post-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 30, 1898-1900.
- Zhou, X., C. Niu and R. Sun. 2004. The effects of vitamin E on antiacid stress ability in juvenile soft-shelled turtles (*Pelodiscus sinensis*). *Comp. Biochem. Phys.*, 137, 299-305.
- Zhou, X., C. Niu and R. Sun. 2005. The effect of vitamin C on stress withstanding capability in the juvenile soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*). *Aquacult. Nutr.*, 11, 169-174.

원고접수 : 2007년 1월 25일

수정본 수리 : 2007년 2월 22일