

뱀장어, *Anguilla japonica*의 산소소비, 암모니아 배설 및 혈액성상에 미치는 진동의 영향

이정열* · 허준욱¹

군산대학교 해양생명과학부, ¹한국해양대학교 해양과학기술연구소

Effect of Vibration Stress on the Oxygen Consumption, Ammonia Excretion and Blood Characteristics of the Cultured Eel, *Anguilla japonica*

Jeong-Yeol Lee* and Jun-Wook Hur¹

School of Marine Life Science, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

¹Research Institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Physiological responses (oxygen consumption, ammonia excretion, hemoglobin, red blood cell and white blood cell) of cultured eel, *Anguilla japonica* to vibration stress were studied in an indoor experimental system. Vibration of 76-93 dB (V) from an electric vibrator was provided in 15-minute intervals during daytime (0800-1800) over a ten day period. Oxygen consumption before the beginning of the experiment (0 day) was 83.9 mg O₂·kg⁻¹·hr⁻¹. After 1, 5 and 10 days of stress respiration rate decreased by 37.5, 53.7 and 70.5%, respectively. Ammonia excretion showed a similar pattern to that of oxygen consumption. Ammonia excretion decreased by 80.1% following 10 days of vibration stress. Blood hemoglobin concentration also decreased at 1, 3 and 10th day were 29.4% on day 1, 83.9% on day 3 and 87.9% by day 10, while red blood cell counts at day 1 and day 10th were 59.8% and 84.7% lower than initial counts, respectively. The white blood cell count increased by 191.2% at day 7, dropping to 41.5% at day 10. Physiological activity was reduced by 50% following 3.4 days of vibration stress.

Keywords: Eel, *Anguilla japonica*, Vibration stress, Oxygen consumption, Ammonia excretion

서 론

어류는 수중에서 기계적 진동뿐만 아니라 가청 이하의 진동과 초음파 진동 등을 감지하는데, 물속에서 진동의 전파속도는 공기 중에서 보다 4배나 빠르고 또 멀리 전달된다(李, 1992). 수중에서 어류가 진동을 감지하는 것은 물 입자의 속도, 이동 및 압력 등에 따라 달라진다. 진동이 물의 전파를 통해서 어류의 몸 표면에 전달되면 두부에 있는 세 개의 골편에 의해 속귀로 전달되어 진동을 감지하게 되며, 또한 부레에서도 감지한다(박 등, 1995). 일반적으로 어류는 5~25 Hz의 저주파 진동까지 감지한다고 알려져 있는데(Evans, 1993), 16~13,000 Hz의 진동은 속귀의 하부에 있는 소낭(sacculus)과 개막(lagena)으로 감지하고, 가청과 저주파의 중간 진동인 18~30 Hz는 측선과 속귀로 감지한다(鄭, 1969).

양식어류는 양식과정 중에서 스트레스를 받을 수 있는 많은 요인에 노출되어 있는데, 이러한 스트레스는 양식어류에 생리

적 불균형을 가져온다. 일반적으로 어류는 외부환경의 변화에 따라 어느 정도 스트레스를 극복할 능력을 가지고 있으나, 임계 수준을 넘어선 스트레스는 어체의 생리활성을 떨어뜨림으로써 건강도를 약화시킬 수 있다(Barton and Iwama, 1991). 특히 외부로부터 스트레스를 자주 받게 되면 어체는 항상성을 유지하기 어렵게 되며, 이를 극복하기 위하여 많은 에너지를 요구하게 된다. 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).

우리나라의 집약적인 양식과정에서 스트레스 요인으로 작용하고 있는 냉수대, 저염분, 수송, 적조 및 수질 등에 대한 연구는 다수 보고되고 있으나(Smart, 1981; Chang et al., 2001a, b; Hur et al., 2002, 2004), 소음 및 진동과 같은 스트레스에 대한 연구는 희소한 실정이다. 과거 양식장 자체의 양식기기 등에서 발생하는 소음 및 진동은 어류에 영향을 주지 않는 것으로 간주하여 왔으나, 최근 산업화 및 도시의 발달로 각 지역의 도로 공사 및 산업시설 등의 설비에 따른 소음 및 진동이 인근 양식장에 심각한 피해를 미치고 있다고 알려지면서 소음 및 진동이

*Corresponding author: yjeong@kunsan.ac.kr

어류에 미치는 영향에 대한 연구의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구는 주요 담수양식어류이고 야행성이면서 외부 자극에 민감한 반응을 보이는 뱀장어, *Anguilla japonica*를 대상으로 진동 자극에 의한 산소소비량, 암모니아 배설량, 헤모글로빈, 적혈구(RBC) 및 백혈구(WBC) 등의 변화를 조사하여 진동에 따른 뱀장어의 다른 생리적 변화를 구명하고자 하였다.

재료 및 방법

실험어와 실험조건

본 연구에 사용된 뱀장어는 전북 고창군의 양만장으로부터 구득한 평균체장 45~55 cm, 평균체중 150~250 g의 성만이다. 실험수조로 가져온 후 충분히 안정 상태를 유지하였으며, 실험 기간은 10일 간격으로 2회 반복 실험을 실시하였다. 실험은 순환여과식으로 설치한 사각 FRP 수조(180×45×50 cm) 4개를 이용하였으며, 각 수조 당 20마리를 수용하였다. 1일 사육수의 회전은 약 3회전으로 하였으며, 광주기는 자연광의 상태로 하였다.

진동 방법은 자체 제작한 진동기에 타이머를 달아 주간(08:00-18:00)에 15분 간격으로 10일간 계속하여 진동자극을 가하였다. 진동 자극시 암진동의 크기(59~63 dB,A) 보다 25 dB (A) 내외 높은 76~93db (V) 범위로 자극하였다. 실험시 사육수온은 24.5~25.5°C, pH는 7.2~8.1, 용존산소는 7.4~8.1 mg/ml로 나타났다. 실험조건과 사육환경 등은 Table 1에서 보는 것과 같이 뱀장어의 사육에 악영향을 줄 정도의 수질은 아니었다.

산소소비량과 암모니아 배설량 측정

산소소비량과 암모니아 배설량은 아크릴로 제작한 호흡실(50×10×30 cm)에 여과시킨 사육수를 넣고 진동에 노출된 뱀장어를 수용하여 일정시간 동안 방치하였다. 용존산소 측정은 호흡실에 부착시킨 용존산소측정기(YSI-58)의 산소전극에 의해 조사하였으며, 암모니아 배설량은 Phenolphthalein법(Solorzano, 1969)으로 분석하였다.

Table 1. Experimental conditions and rearing environment

	Items	Levels
Experimental condition	Numbers of eel stocked	20
	Vibration added (dB,V)	76~93
	Normal condition of vibration (dB,V)	59~63
	Noise added (dB,A)	84~89
	Normal condition of noise (dB,A)	73~79
Rearing condition	Water temperature (°C)	24.5~25.5
	pH	7.2~8.1
	Dissolved oxygen (mg/L)	7.4~8.1
	NH ₄ -N (mg/L)	0.005~0.650
	NO ₂ -N (mg/L)	0.001~0.039
	Alkalinity (CaCO ₃)	87.75~103.75
	Hardness (CaCO ₃)	130.39~199.04

혈액의 채취 및 분석

실험어의 혈액 채취는 진동에 노출된 뱀장어를 대상으로 산소소비량이 측정이 끝난 다음, 각 실험구에서 3마리씩 무작위 추출하여 20 IU/ml heparin sodium (Sterile Solution HEPARIN Inj., Choongwae Pharma Corporation, HwaSung-Gun, Korea) 처리한 플라스틱 주사기(3 mL-23G, Dong Shin Medical Instruments Co., KongJu-Si, Korea)로 마취 없이 1분 이내에 미병부의 혈관에서 채혈하였다. 개체별로 채취한 혈액은 1.5 ml Microtube (MCT-175-C, AXYGEN SCIENTIFIC INC., Union City, USA)에 분주하였다.

혈구 중 적혈구는 Hayem 액으로 처리하였으며, 백혈구는 Turk 액으로 처리하여 Thoma-zeiss 혈구계산판 위에서 현미경을 이용하여 200-400배로 검경하였다. 헤모글로빈은 혈액을 과황산칼륨 존재하에 황산으로 처리하여 헤모글로빈의 철을 유리시키고 티오시안산제이철의 붉은색을 발산시켜 표준용액에 대해 비색 분석하였다.

통계처리

각 실험에서 얻어진 자료 값 사이의 유의차 유무는 SPSS-통계 패키지(SPSS 9.0, SPSS Inc., Chicago, USA)에 의한 ANOVA 및 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

결과 및 고찰

일반적으로 어류 양식과정에서 양식어류가 어떤 질병유발 요인에 노출되더라도 좋은 사육환경에서는 병적 증상이 나타나지 않거나 발병하더라도 자연 치유가 대부분이다. 그러나 사육환경 중 인위적, 환경적 스트레스 요인 등으로 어병에 대한 저항성이 약화되면 1차적으로 생리적 불균형을 초래하여 항상성 유지에 영향을 주고, 장기적으로는 생존율과 성장 등에 악영향을 미칠 수 있다(Chang et al., 2001a; Hur et al., 2003).

어류양식 과정에 관여하는 직접적인 스트레스 요인으로는 수온변화, 산소부족, pH변화, 과밀양식, 암모니아태 질소, 아질산태 질소, 수질, 수류, 광선(밝기), 어류의 취급, 수송, 염분변화, 소음, 진동 등을 들 수 있고, 스트레스로 야기된 생리적 변화를 해석할 때 필요한 환경요인으로는 외적요소로서 먹이, 순화온도, 염분, 수질, 광주기 등과 내적요소로서는 성장, 성숙, 유전, 내분비, 어종 및 질병감염 등 여러 요인이 관계한다.

본 연구에서는 이러한 스트레스 요인 중 진동에 대한 생리학적 변화를 관찰하기 위하여 뱀장어를 이용하여 실험을 실시하였다.

진동 스트레스를 주지 않았던 뱀장어 그룹의 산소소비율은 실험 개시시 83.99 mg O₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹이던 것이 스트레스를 주면 산소소비율이 급격히 감소하는 경향을 보였다(Fig. 1). 스트레스 처리 1일이 경과하면서 산소소비율은 56.46 mg O₂ · kg⁻¹ · hr⁻¹로 실험개시시에 비해 37.5%가 감소하였다. 이러한 감소는 스트레스 경과일수에 따라 더욱 증가하는 경향을 보여, 실험종료

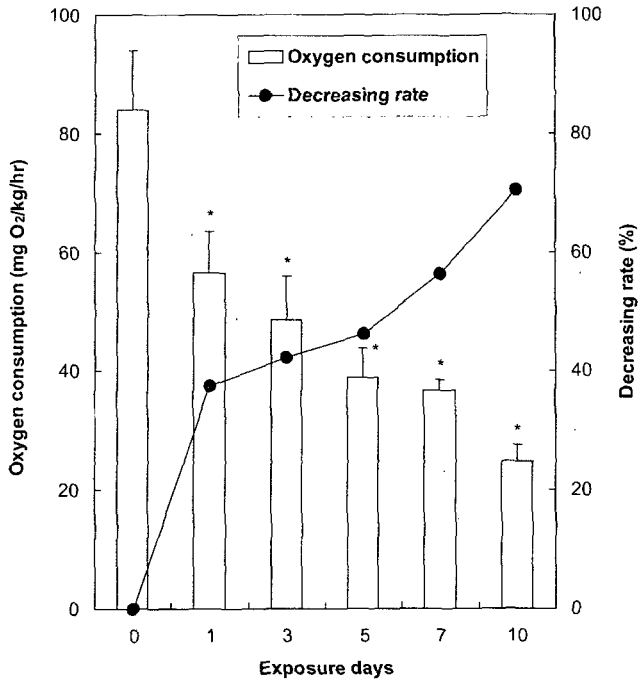


Fig. 1. Variations in oxygen consumption of cultured eel, *Anguilla japonica* by vibration stress. Asterisk indicates significant difference at $P=0.05$ level between the 0 day.

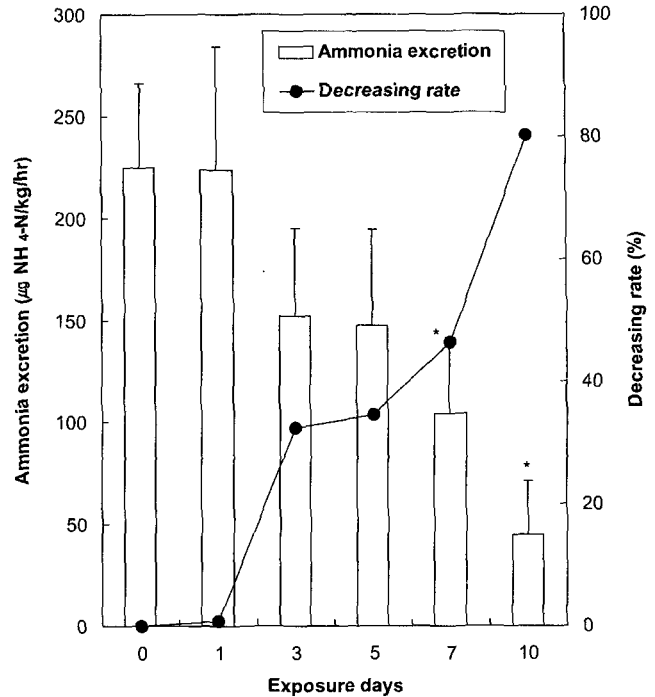


Fig. 2. Variations in ammonia excretion of cultured eel, *Anguilla japonica* by vibration stress. Asterisk indicates significant difference at $P=0.05$ level between the 0 day.

시인 10일째에는 $24.79 \text{ mg O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 70.5%의 산소소비 감소를 나타냈다. 산소소비율(Y)을 경과일수(X)에 대하여 회귀 직선식으로 나타내 보면 $Y=69.191e^{-0.1029X}$ ($R^2=0.903$)로 표시되었으며, 평균 산소소비율(진동을 주지 않았을 때의 산소소비율)에 비해 50%의 산소소비율이 감소하는 일수를 구해보면 4.9일이 된다. 즉, 진동 스트레스를 4.9일 이상 주면 뱀장어의 생리활성도(산소소비율)가 50% 이상 감소되는 것으로 나타났다. 평균 산소소비의 감소는 혈중 젖산(Lactic acid)생성이 적고, 글루코스 분비속도의 감소 등으로 산소 공급능력이 충분할 때 일어난다(Perry and Reid, 1993). 이러한 현상은 그 어체가 아무런 스트레스를 받지 않고 있는 상황이며, 만약 스트레스 상황에 처해지면 많은 산소를 필요로 하기 때문에 산소소비는 일시적으로 증가할 것이다. 본 연구에서 나타난 1일 이전에는 산소소비가 증가하였을 수도 있으나, 1일째부터 감소하였는데 이러한 감소현상은 어체가 스트레스 상황에 적응되어진 것이 아니라 진동 스트레스에 글루코스 분비 속도 및 에너지 동원에 문제가 있음을 암시해준다. 산소소비율의 감소는 헤모글로빈이 감소되는 것으로 증명될 수 있는데, 이는 Rodrigues et al. (1989)이 지적한 바와 같이 헤모글로빈의 감소는 호흡률을 감소시킨다고 할 수 있다.

진동 스트레스에 대한 암모니아 배설을 변화는 실험개시시 $225.0 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로부터 스트레스 후 1일째에는 $223.5 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 큰 차이를 보이지 않았으나($P>0.05$), 3일째에는 $152.2 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 32.4%가 감소하였다(Fig. 2). 이후 암모니아 배설율은 급격히 감소하여 실험 종료시인 10일째에는

$44.9 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 80.1%가 감소하였다. 스트레스 처리 일수(T)에 대한 암모니아 배설 감소율(AD)을 구해 보면 $AD=0.1463+8.3434T$ ($r=0.9663$)로 나타났고, 암모니아 배설율이 50%로 감소하는 일수(AD_{50})를 구해보면 6일째인 것으로 나타났다. 결국, 산소소비량과 암모니아 배설량으로 보았을 때, 뱀장어는 스트레스를 5~6일 이상 받으면 생리 활성도가 50% 이상 감소하는 것으로 나타났다.

헤모글로빈과 적혈구의 변화도 산소소비 경향과 유사한 결과를 보였다. 헤모글로빈의 경우, 실험 개시시 $196.8 \text{ mg Fe} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로부터 스트레스 1일째 $139.0 \text{ mg Fe} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 적은 감소율을 보였지만, 3일째에는 $31.6 \text{ mg Fe} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 83.9%의 현저한 감소율을 보였고, 10일째에는 $23.9 \text{ mg Fe} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 낮아졌다(Fig. 3). 또 적혈구수의 경우에도 감소율은 1일째에 59.8%의 급격한 감소율을 나타내었고 이후 실험기간 10일 동안에는 84.7%의 감소율을 보였다(Fig. 4). 헤모글로빈과 적혈구의 감소율은 산소소비 감소율보다 커서 스트레스 자극 2일이 지나면 50% 이상의 감소를 나타내는 것으로 나타났다. 백혈구수의 변동은 다른 항목과는 다르게 스트레스 자극 후 서서히 증가하는 경향을 보인다 7일째에는 191.2%로 증가되는 경향을 보였다가, 10일째에는 58.5%로 급격히 낮아지는 값을 보였다(Fig. 5).

혈액의 헤모글로빈 함량과 적혈구수의 감소는 뱀장어가 진동 스트레스에 따라 산소수급에 문제가 있음을 암시해준다. 헤모글로빈의 감소는 호흡률을 감소시키며(Rodrigues et al., 1989), 혈액내 산소를 받아 드릴 수 있는 헤모글로빈 적혈구 수의 감

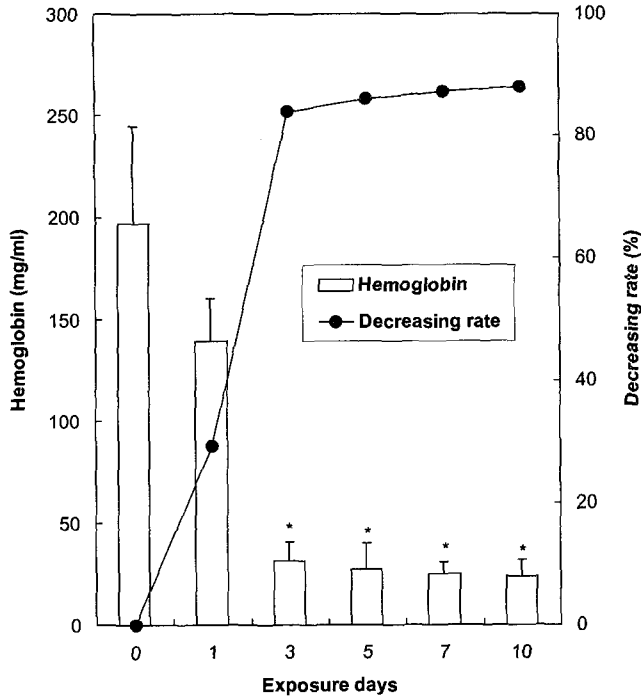


Fig. 3. Variations in blood hemoglobin of cultured eel, *Anguilla japonica* by vibration stress. Asterisk indicates significant difference at $P=0.05$ level between the 0 day.

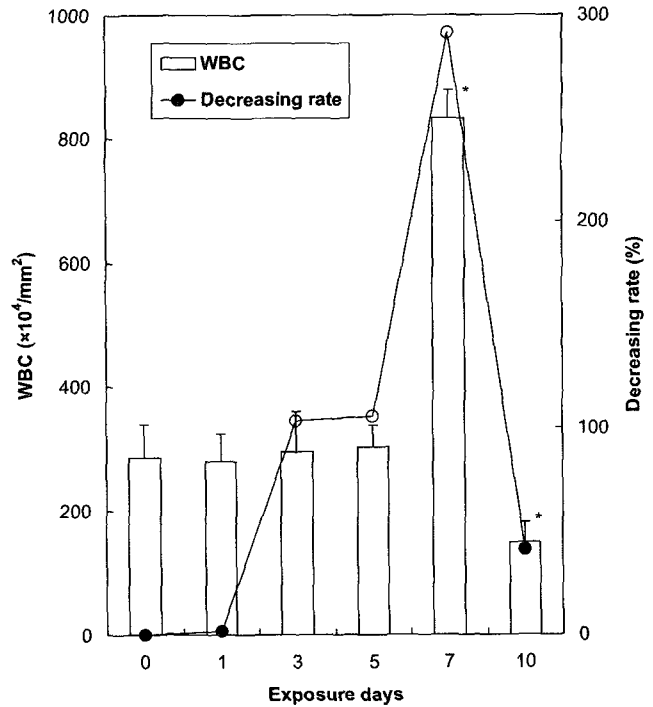


Fig. 5. Variations in white blood cell (WBC) of cultured eel, *Anguilla japonica* by vibration stress. Asterisk indicates significant difference at $P=0.05$ level between the 0 day.

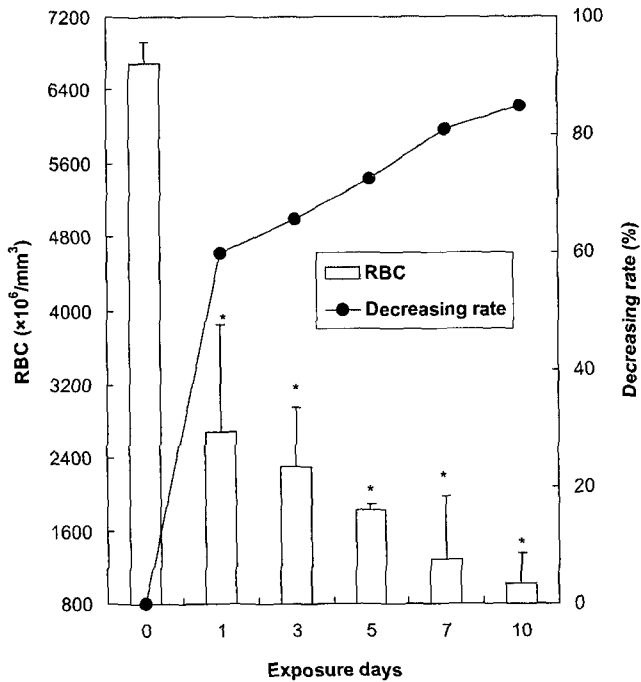


Fig. 4. Variations in red blood cell (RBC) of cultured eel, *Anguilla japonica* by vibration stress. Asterisk indicates significant difference at $P=0.05$ level between the 0 day.

소는 생체내 산소수급에 문제가 발생하여(Perry and Reid, 1993), 에너지 동원에 문제가 생긴다고 하였다. 만일 진동의 스트레스 강도가 약하다면 뱀장어는 이를 극복하기 위해 헤모글로빈이나

적혈구수를 증가시켜 산소수급 및 에너지 동원을 증가시켜, 실험 개시시 값으로 회복시켰을 것이다. 그러나 계속된 진동 스트레스는 뱀장어에 상당한 악영향을 미쳐 마침내 헤모글로빈 및 적혈구수의 감소를 가져왔고 이로 인해 산소소비량도 감소된 것으로 판단된다. 녀치의 경우, 수온 및 수송 스트레스 후 헤모글로빈과 적혈구수에 일시적인 증가를 보이다가 빠르게 실험개시 상태로 회복되는 것으로 보고되고 있다(Chang et al., 2001a, b; Hur et al., 2003, 2004). 즉 녀치는 수온 및 수송 등의 약한 스트레스에 대해서는 회복되는 과정에서 어느 정도 혈액성상에 혼란을 초래하다 곧 회복되고 있으나, 본 연구에서는 계속되는 스트레스 요인에 뱀장어가 적응하지 못하고 수온이상의 스트레스로 작용하여 회복을 하지 못하는 것으로 보여진다.

백혈구는 외부로부터 병원균이 침입하게 되면 그 수가 늘어나 체내 방어 체계를 갖추게 한다. 일반적으로 면역체계가 무너지거나 외부로부터 스트레스 상황에 처해지면 그 수는 증가되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 백혈구의 변동은 진동 스트레스에 대하여 7일째 까지 증가하는 경향을 보이다가 10일째에 감소하는 것으로 나타났다. 이는 다른 측정 항목과는 상반되게 스트레스에 대한 방어기작의 수단으로 백혈구수를 증가시켜 면역체계를 갖추려 하였으나, 계속된 스트레스로 인하여 면역체계가 무너지면서 적혈구 수 감소와 더불어 백혈구 수도 급격한 감소를 가져온 것으로 10일째의 뱀장어는 생리적으로 피폐기에 접어든 것으로 보여진다.

일반적으로 스트레스가 나타나는 단계(전신적응증후군)는 3

단계로 나누어진다(Schreck and Moyle, 1990). 첫째 경고반응(Stage of alarm reaction)으로 스트레스 요인이 가해지면 스트레스에 대처하기 위하여 교감신경과 중추신경을 통하여 쇼크상태 후에 반쇼크상태로 이어진다. 둘째는 저항기(Stage of resistance)로 경고반응 후 스트레스를 이겨 내려고 모든 에너지를 스트레스 회복(항상성을 유지)을 위해 소모하는 단계이다. 이때 지속되는 스트레스에는 강하게 저항하지만 새로운 다른 스트레스가 가해지면 저항성이 약해지는 시기이다. 세 번째 단계로는 생리적 피폐기(stage of exhaustion)로 스트레스에 적응하지 못하는 어류는 사망하며, 스트레스를 극복한 어류는 스트레스 해소를 위해 모든 에너지를 소비하였기 때문에 생리적으로 매우 약한 시기이다. 스트레스가 지속되는 상황이 되면 폐사율을 높일 수 있고 항상성 유지를 위한 체내 에너지 활성이 약해져 또 다른 스트레스 요인 및 질병에 대한 저항력이 매우 약한 시기가 될 수 있다.

본 연구의 경우, 산소소비 및 배설, 혈액성상에서 스트레스 경과 일수에 따른 생리적 대사의 감소율을 적분 평균하여 진동이 뱀장어에 미치는 영향을 종합적으로 표현하면 Fig. 6에 나타낸 바와 같이 $Y=83.6036e^{-0.1512X}$ ($R^2=0.9558$)의 지수곡선식으로 나타낼 수 있다. 스트레스 자극 1일 이전에는 경고반응으로 보여지며, 이후 저항기를 거쳐 스트레스 자극 10일째에는 생리적 피폐기로 보여진다. 생리활성의 50% 감소를 가져오는 경과 일수는 스트레스 자극 후 3.4일로 3일 이전에는 어느 정도 진동 스트레스에 적응하려는 경향을 보였으나, 4일 이후에는 계속되는 스트레스에 적응하지 못하고 생리적 활성이 급격히 하락한 것으로 나타났다.

이상의 연구결과를 종합하여 볼 때, 진동은 뱀장어에 상당한 스트레스 요인으로 작용한 것으로 나타났다. 백혈구 수에

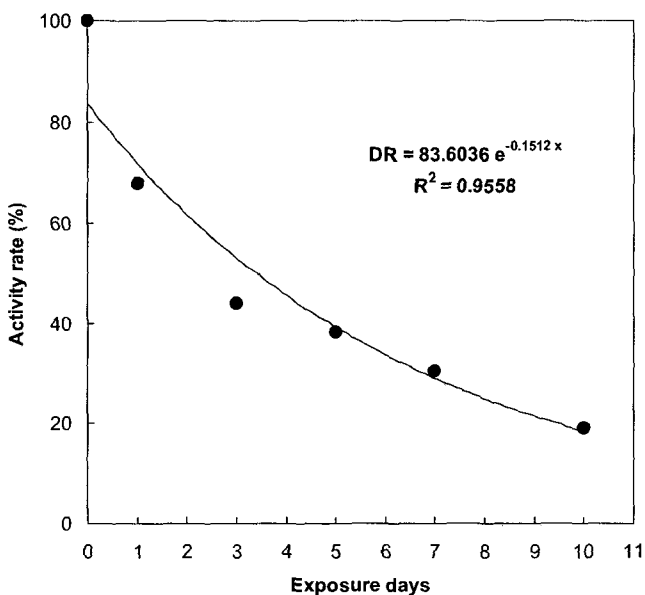


Fig. 6. Change of physiological activity in cultured eel, *Anguilla japonica* by exposure to vibration stress.

서 나타난 경향으로는 면역능력을 회복하려 하였으나, 스트레스 정도가 심하여 헤모글로빈, 적혈구, 산소소비량 및 암모니아 배설량 등에서 체내 항상성이 스트레스 자극 3일 이후에 급격하게 낮아지는 것으로 나타났다. 특히, 10일째에는 거의 항상성 유지를 위한 모든 에너지를 소비하여 생리적 피폐기로 폐사직전인 것으로 나타났다. 뱀장어는 다른 경골어류와는 다르게 수조 저면에서 생활을 많이 하므로 진동 등의 스트레스에 대하여 더욱 민감하게 반응하는 것으로 보여진다. 그러나 본 연구에서는 몇 가지 생리적 활성도 변화를 측정하는 항목만을 조사하여 진동에 따른 뱀장어의 생리적 피폐시기를 논의한 바, 추후에는 호르몬 및 이온 변화 등을 조사하여 보다 생리적 활성도 변화에 따른 기작을 구명하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

적 요

진동 스트레스에 따른 양식 뱀장어의 생리학적인 반응(산소소비량, 암모니아 배설량, 헤모글로빈 함량, 적혈구수 및 백혈구수 변화)을 조사하였다. 연구에 사용된 뱀장어는 평균체장 45~55 cm, 평균체중 150~250 g이었다. 진동 자극은 특수 제작한 진동기를 이용하여 76~93 dB (V)의 크기를 주었다. 진동은 타임머를 이용하여 주간(08:00~18:00)에 15분 간격으로 10일간 계속하여 스트레스를 가하였다. 진동 스트레스에 따른 산소소비율은 실험개시시 $83.99 \text{ mg O}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로부터 스트레스 처리 후 1일이 경과하면서 37.5%, 5일 후 53.7%, 그리고 10일째에는 70.5%가 감소하는 것으로 나타났다. 암모니아 배설율은 실험개시시 $225.0 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로부터 스트레스 후 1일째에는 $223.5 \mu\text{g N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ 로 차이를 보이지 않았으나, 3일째에는 32.4%로 감소하였고, 이후 암모니아 배설율은 급격히 감소하여 실험종료시인 10일째에는 80.1%의 감소율을 보였다. 헤모글로빈의 경우, 실험개시시 $196.8 \text{ mg Fe} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로부터 1일째 29.4%의 감소를 보이던 것이 3일째에는 83.9%로 급격한 감소를 보였고, 10일째에는 87.9%의 감소율을 보였다. 적혈구수의 감소율도 1일째에 59.8%의 현저한 감소율을 보였으며, 10일째에는 84.73%의 감소율을 보였다. 백혈구수의 변동은 다른 항목과는 대조되게 3일과 5일 및 7일째에 실험개시시보다 각각 3.4%, 6.1% 및 191.2%로 증가되는 경향을 보였다가, 10일째에는 58.5%로 낮아진 값을 보였다. 진동에 의한 뱀장어의 생리활성 감소율은 $Y=83.6036e^{-0.1512X}$ ($R^2=0.9558$)의 지수식으로 나타낼 수 있으며, 50%의 감소를 가져오는 스트레스 경과 일수는 3.4일이었다.

감사의 글

본 논문은 2004년도 군산대학교 수산과학연구소의 학술연구 보조비에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

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.

Chang, Y. J., J. W. Hur, H. K. Lim and J. K. Lee, 2001a. Stress in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and fat cod (*Hexagrammos otakii*) by the sudden drop and rise of water temperature. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**: 91–97 (in Korean).

Chang, Y. J., J. W. Hur, S. H. Moon and J. U. Lee, 2001b. Stress response of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) and Japanese croaker (*Nibea japonica*) to live fish transportation. *J. of Aquaculture*, **14**: 57–64 (in Korean).

Evans, D. H., 1993. *The Physiology of Fishes*. CRC, Boca Raton, pp. 114–130.

Hur, J. W., B. K. Lee, Y. J. Chang, J. K. Lee, Y. S. Lim, J. H. Lee, C. H. Park and B. K. Kim, 2002. Stress responses of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to hypo-salinity changes of rearing water. *J. of Aquaculture* **15**: 69–75 (in Korean).

Hur, J. W., C. Y. Choi, Y. J. Chang and William H. Neill, 2003. Effects of confinement and transport stress on physiological condition in olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *J. of Aquaculture*, **16**: 135–141 (in Korean).

Hur, J. W., Y. J. Chang and I.-S. Park, 2004. Blood changes of cultured olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) to live fish transportation. *Bull. Mar. Sci. and Tech.*, **13**: 9–14.

Perry, S. F. and S. D. Reid. 1993. β -adrenergic signal transduction in fish: interactive effects of catecholamines and cortisol. *Fish. Physiol. Biochem.* **11**: 195–203.

Rodrigues, A. L., M. L. Bellinaso and T. Dick. 1989. Effect of some metal ions on blood and liver delta-aminolevulinatase of *Pimelodis maculata* (Pisces, Pimelodidae). *Comp. Biochem. Physiol.*, **94**: 65–72.

Schreck, C. B., 1982. Stress and rearing of salmonids. *Aquaculture*, **28**: 241–249.

Schreck C. B. and P. B. Moyle, 1990. *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland. 684 pp.

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.

박홍양 · 윤종만 · 장계남 · 허형택 외, 1995. 어류생물학. 정문각, 서울, pp. 188–192.

李出宰, 1992. 作業環境騒音振動學. 東和技術, 서울, pp. 19–47.

鄭文基., 1969. 魚類生態學. 科學技術後援會, 서울, pp. 39–47.

원고접수 : 2004년 8월 23일

수정본 수리 : 2004년 11월 3일

책임편집위원: 강주찬