

참메기, *Silurus asotus*의 수온과 광주기 변화에 따른 산소 소비량

조재운 · 김유희
부경대학교 양식학과

Oxygen Consumption of Far Eastern Catfish, *Silurus asotus*, on the Different Water Temperatures and Photoperiods

Jae-Yoon JO and Youhee KIM

Department of Aquaculture, Pukyong National University, Nam-gu, Pusan, 608-737, Korea

Oxygen consumption rate of Far eastern catfish, *Silurus asotus*, weighing 280 g, was measured using continuous flow respirometry chamber linked computer monitoring system. Mean oxygen consumption rates at 15°C, 20°C, 25°C, and 30°C were ranged in 35.2~96.4 mg O₂/kg fish/hr, 78.6~127.9 mg O₂/kg fish/hr, 120.1~231.7 mg O₂/kg fish/hr, and 197.5~352.3 mg O₂/kg fish/hr, respectively. The oxygen consumption rates increased with increasing water temperature ($p < 0.05$). A photoperiod-mediated oxygen consumption rates was higher during the light period than during the darkness ($p < 0.05$). When acclimated with different photoperiods, 24L:0D, 12L:12D, and 0L:24D, the lowest oxygen consumption rate was observed in the continuous darkness (0L:24D). The differences between maximum and minimum oxygen consumption rates over 24 hour increased with increasing water temperature and the difference was the highest in 12L:12D. Oxygen consumption rate changed suddenly at dawn and at dusk.

Key words: far eastern catfish, *Silurus asotus*, oxygen consumption, water temperature, photoperiod

서 론

어류의 생명 유지에 영향을 주는 산소는 가장 중요한 수질 요인일 뿐만 아니라 어류의 산소 소비량은 에너지 소비와 관련하여 대사율의 자료로 직접 이용된다. 산소 소비량의 측정은 용존산소의 측정이 비교적 쉽고 타당성 있는 자료를 얻을 수 있기 때문에 호흡의 측정에 가장 쉽게 이용되고 있는 방법이다. 여러 가지 서로 다른 환경 조건에서 여러 종류의 담수어류를 대상으로 하여 많은 연구자들이 이에 관련된 연구를 수행하였으며, 자연적인 조건하에서 어류의 산소 소비량에 영향을 줄 수 있는 우선적인 요인은 수온과 광주기 변화라고 보고하고 있다 (Job, 1969; Armitage and Wall, 1982; De Silva et al., 1986; Chakraborty et al., 1992a). 특히 광주기는 산소 소비량의 일간 리듬에 영향을 주는 것으로 나타났고 (Davies, 1962; De Silva et al., 1986), 이러한 산소 소비량은 연구자들에 따라 약간의 차이를 나타내고 있다 (Eriksson, 1978; Chakraborty et al., 1992b).

대사율은 호흡실 (respiratory chamber)을 이용하여 호흡실에 연속적으로 들어가는 물의 산소 함량의 차이나 정제된 물에서 시간에 따른 산소 함량 차이를 이용하여 측정되어져 왔지만, 호흡실의 크기와 전체 설계에 따라 밀폐 지수식 형태와 밀폐 유수식 형태에 따라 측정된 수치는 상당한 차이를 나타낸다 (Ross and McKinney, 1988). 따라서 지속적이면서도 반복적인 측정이 필요하기 때문에 이러한 연구는 실험 환경 조건을 조절할 수 있는 밀폐 유수식 호흡실 (through-flow respirometer)에서만 가능하다 (Gnager, 1983).

참메기는 우리 나라 서해와 남해로 흐르는 각 하천에 널리 서식하는 메기과 어류로 양식이 활발히 이루어지고 있는 중요한 식용어이다. 메기과 어류중 차넬메기 (*Ictalurus punctatus*), African catfish (*Clarias lazera*), Southern catfish (*Silurus meridionalis*)

의 산소 소비량에 대한 연구는 보고된 바가 있으나 (Andrew and Matsuda, 1975; Hogendoorn, 1983; Xie and Sun, 1990; 1992; Jarboe, 1996), 참메기 (*Silurus asotus*)의 산소 소비량에 대한 연구는 이루어져 있지 않아 실제 양어장에서 사육시 참메기가 요구하는 최소한의 용존 산소 함량을 유지시키는 데 필요한 자료는 부족한 실정이다. 본 연구는 참메기 (*Silurus asotus*)를 대상으로 수온 및 광주기 조절에 따른 일간 산소 소비량의 변화를 연속적인 컴퓨터 모니터링 시스템을 이용하여 조사하였다.

재료 및 방법

실험어

실험에 이용된 참메기, *Silurus asotus*는 부경대학교 양식공학 실험실에 사육중이던 평균 280 g 어류를 1 마리씩 이용하여 측정하였다. 실험전 어류는 3 일간 절식시켰고, MS-222로 마취하여 무게를 측정한 후에 호흡실에 수용하였다.

호흡실

- 물의 공급과 환경 조절

호흡실은 간단한 순환 시설을 이용하여 170 L의 저수조 (reservoir)에서 순환 펌프 (PB-36-E-D, 7W, 1/20HP, 한일)를 통해 양수되어 저수조와 동일 용량의 탱크 (head tank)로 가게 되고 이것은 호흡실을 거쳐 다시 저수 탱크로 흐르도록 설계하였다 (Fig. 1). Head tank에는 자동 온도 조절 장치가 연결되어 있는 히터를 이용하여 적정 수온을 유지하였고, 95% 이상의 산소 포화도를 유지하기 위해 2~3개의 에어스톤을 블로워에 연결하여 사용하였다. 또한, 저수 탱크에서 양수되어 head tank로 들어가기 전에 10 μm 와 3 μm의 카트리지 필터를 차례로 거치도록 하여 입자성 부유물질의 양을 최소화시켰고, 수중 미생물에 의해 소비되는 미량의 산소

소비를 줄이기 위해 유수식 자외선 살균기 (Model: P301, 처리용량 3 ton/hr, 삼지통상)를 통과하여 재 이용되도록 하였다. 호흡실을 거처나간 물은 산소 probe를 통과하도록 하였다. 물의 흐름은 평균 1 L/min을 유지하였고, pH는 7.35~7.50을 유지하였다. 한 단위의 실험이 끝난 후 어류를 제거하고, 시설 내에 박테리아 등의 번식을 방지하기 위해 가정용 표백제를 1 ppm 첨가하여 1 일간 실험 장치를 작동시킨 다음, 물을 배수하고 새로운 지하수를 채워 2 일간 충분히 시설을 작동시켜, 염소 살균 후에 남아 있을 지 모를 잔존 염소를 제거하였고, 실험 시작전 지하수를 넣어 충분히 포기시킨 후에 사용하였다.

• 호흡실

호흡실은 실험에 사용되는 어류에 맞게 10 cm (W) X 25 cm (L) X 10 cm (H)의 직육면체를 8 mm 두께의 아크릴로 제작하여 사용하였다 (Fig. 1). 호흡실의 윗부분은 공기가 새어 들어가는 것을 막기 위해 고무링을 이용하였다. 또한, 호흡실 내에 들어간 공기를 빼내기 위해 6 mm 직경의 구멍을 한쪽 부분에 뚫고 투명비닐판에 소형 밸브를 연결하여 사용하였다. 호흡실로 들어가는 유입수는 10 mm의 관을 연결시키고, 그 끝부분은 막은 다음 옆쪽면에 작은 구멍을 뚫어 유입수가 골고루 확산되도록 하였다. 흘러나온 물은 10 cm (W) X 10 cm (L) X 6 cm (H)의 측정실로 들어가도록 하였다. 호흡실은 한꺼번에 4 개를 동시에 사용할 수 있고, 각각의 호흡실마다 측정실이 각각 연결되어 있다. 측정실의 위쪽 부분에는 지름 67 mm의 구멍을 뚫어 산소 probe를 연결하였고 물이 새어나오거나 공기가 새어 들어가는 것을 방지하기 위해 고무링을 끼워 넣어 이러한 문제점을 해결하였다. 또한, 측정실 내에 공기 방울을 제거하기 위해 호흡실에 이용한 것과 같은 방법을 사용하였다.

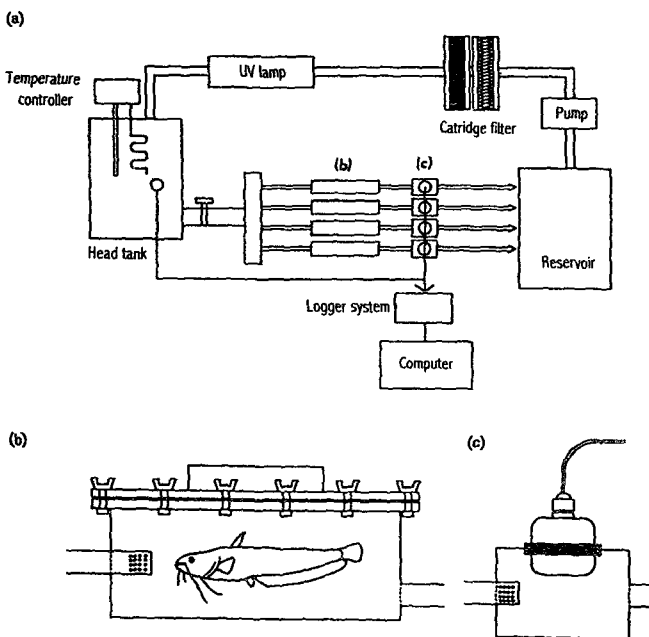


Fig. 1. Schematic diagrams of (a) the respirometer system, (b) the respirometer chamber and (c) the dissolved oxygen measurement chamber.

• 산소 측정 시설

용존 산소의 측정은 산소 probe (OxyGuard, Denmark)와 4 Channel Multi Data Logger System (OxyGuard, Denmark)을 사용하여 측정하였다. 대사실을 통해 나온 물은 바로 연결되어 있는 측정실 (Fig. 1)로 들어온 다음 다시 흘러나가도록 설계하였으며, 호흡실의 유입수와 유출수의 용존산소량은 산소 probe를 통해 매 50초 마다 측정하였고, μ Log VL 100 Software를 이용하여 설정하였다. 설정된 프로그램에 맞게 50초 간격으로 측정된 산소량은 산소 측정 판넬을 통해 Data Logger에 저장된후 자료를 프로그램을 통해 다운로드 받을 수 있다. 실험 시작전 산소 probe는 공기 중에서 충분히 보정한 다음 사용하였다.

실험 조건

참매기를 수온 15°C, 20°C, 25°C 및 30°C에서 광주기를 24L:0D, 12L:12D 및 0L:24D로 변화시켜 매 조건마다 산소 소비량을 측정하였다. 광주기는 암막장치를 이용하여 인위적으로 광주기를 조절하였다.

산소 소비량의 계산

측정된 용존 산소량의 자료를 기초로 유입수의 용존 산소량과 배출수의 용존 산소량의 차이로 산소 소비량 (oxygen consumption rate)을 계산하였다.

산소 소비량 (mg O₂/kg fish/hr)

$$= \{(C_i - C_o) \times Q \times 60\} / B$$

여기서, C_i=유입수의 산소 농도, mg/L

C_o=유출수의 산소 농도, mg/L

Q=유입 수량, L/min

B=어류의 무게, kg

통계 처리

통계 처리는 computer program SATISTIX 4.0 (Analytical Software, USA)를 사용하였으며, ANOVA test를 실시하여 최소 유의차 검정 (LSD)으로 평균 간의 유의성 (p<0.05)을 검정하였다.

결 과

수온과 광선 조건과 참매기의 산소 소비량과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 수온 15°C부터 30°C까지 산소 소비량은 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 특히 연속적인 명기 조건에서 산소 소비량은 다른 광주기 조건에 비해 큰 것으로 나타났다.

수온 15°C, 20°C, 25°C 및 30°C에서 광주기 조건을 24L:0D, 12L:12D와 0L:24D로 각각 달리하였을 때 평균 산소 소비량과 일간 산소 소비량의 변화를 Table 1과 Fig. 3에 나타내었다. 수온 15°C에서 산소 소비량은 24L:0D, 12L:12D, 0L:24D에서 96.4 mg O₂/kg fish/hr, 90.3 mg O₂/kg fish/hr 및 35.2 mg O₂/kg fish/hr로 나타났고, 수온 20°C에서는 127.9 mg O₂/kg fish/hr, 115.2 mg O₂/kg fish/hr 및 78.6 mg O₂/kg fish/hr로 각각 나타내어, 수온 증가에 따라 뚜렷한

Table 1. Oxygen consumption rate (mg O₂/kg fish/hr) of Far eastern catfish (*Silurus asotus*) under different photoperiods and water temperatures

Water Tem.	Photoperiod (LD)	Mean in 24 hr (± SD)	Mean in light (± SD)	Mean in dark (± SD)	Maximum	Minimum
15°C	24:0	96.41 (± 9.69)	96.41 (± 9.69)	—	119.22	81.9
	12:12	90.33 (± 16.32)	103.92 (± 9.04)	76.74 (± 8.48)	116.32	70.46
	0:24	35.20 (± 4.58)	—	35.20 (± 4.58)	42.9	29.17
20°C	24:0	127.87 (± 8.10)	127.87 (± 8.10)	—	148.57	113.8
	12:12	115.21 (± 10.58)	119.93 (± 11.68)	110.49 (± 7.00)	142.42	94.93
	0:24	78.62 (± 11.98)	—	78.62 (± 11.98)	97.5	51.09
25°C	24:0	231.73 (± 24.87)	231.73 (± 24.87)	—	264.62	185.71
	12:12	201.39 (± 29.88)	225.38 (± 17.07)	173.04 (± 8.47)	273.84	163.00
	0:24	120.09 (± 8.04)	—	120.09 (± 8.04)	144.29	103.14
30°C	24:0	352.33 (± 17.88)	352.33 (± 17.88)	—	377.2	319.61
	12:12	258.56 (± 34.52)	288.47 (± 11.89)	228.14 (± 18.50)	296.49	207.7
	0:24	194.52 (± 9.15)	—	194.52 (± 9.15)	223.11	180.78

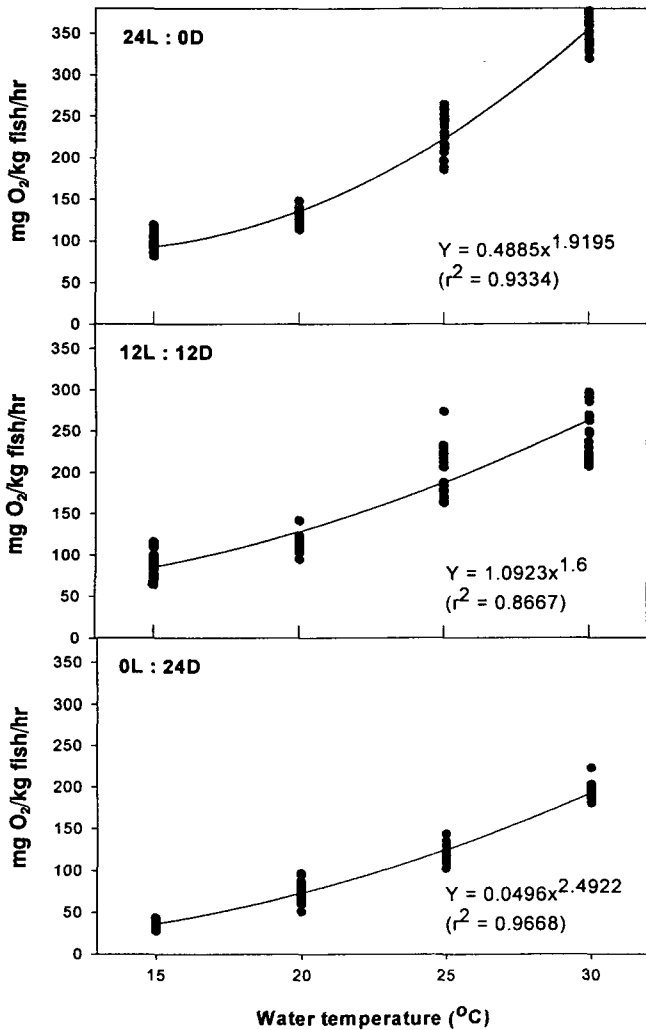


Fig. 2. Relationship between oxygen consumption rate and water temperature in various photoperiod in Far eastern catfish, *Silurus asotus*.

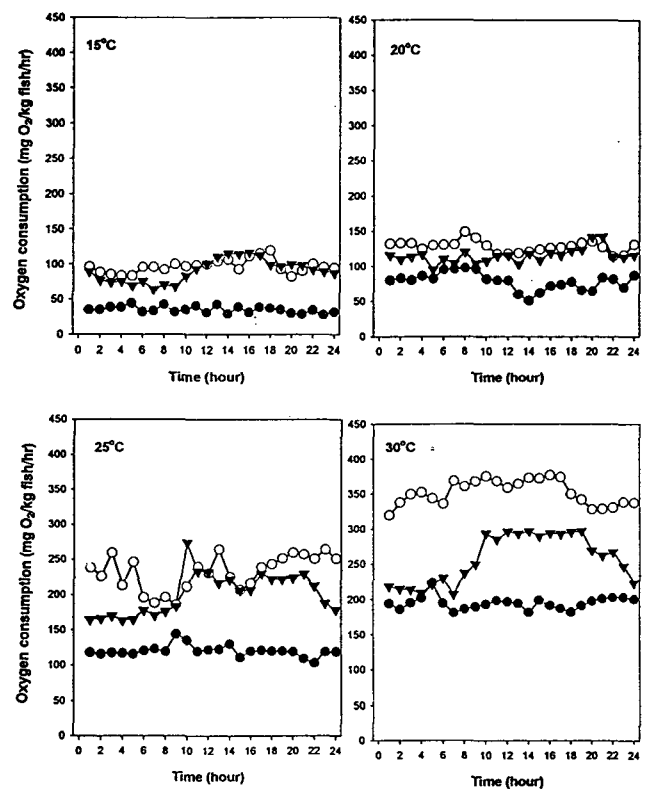


Fig. 3. Fluctuation of mean oxygen consumption rates of Far eastern catfish (*Silurus asotus*) over 24 hour period under different photoperiods and water temperatures. (○ : 24L:0D; ▲ : 12L:12D; ● : 0L:24D)

산소 소비량의 증가를 보였다. 또한, 수온 25°C에서 231.7 mg O₂/kg fish/hr, 201.4 mg O₂/kg fish/hr, 120.1 mg O₂/kg fish/hr, 수온 30°C에서 352.3 mg O₂/kg fish/hr, 258.6 mg O₂/kg fish/hr 그리고 194.5 mg O₂/kg fish/hr로 광주기 조건에 따라 각각 나타내어 수온 증가에 따라 산소 소비량은 증가하는 것으로 나타났다 (p<0.05).

또한 연속적인 암처리구인 0L:24D 실험구의 산소 소비량이 다른 두 광주기 조건에서 보다 유의적으로 낮았다 ($p < 0.05$).

사육 적수온보다 낮은 수온 15°C와 25°C에서는 광주기 변화에 상관 없이 산소 소비량의 변동 폭은 일정하게 나타났다. 그러나, 참메기의 대사활동을 원활히 할 수 있는 수온 25°C와 30°C에서는 산소 소비량의 변동 폭이 크게 나타났다. 특히, 12L:12D의 광주기 조건 하에서는 빛을 비추어주는 시간동안 용존 산소 소비량이 증가하다가 암 조건에서는 감소하는 현상이 관찰되었다. 그러나, 연속 암기 조건(0L:24D)에서는 다른 온도에서와 마찬가지로 산소 소비량의 변동 폭은 크게 나타나지 않았다.

수온 변화에 따른 매 시간마다의 산소 소비량의 평균 값의 최대 값과 최소 값의 차이를 Fig. 4에 나타내었다. 수온이 증가함에 최대 값과 최소 값의 차이는 점차 증가하였고, 특히 12L:12D에서 산소 소비량의 차가 크게 나타났다 ($p < 0.05$). 그러나, 연속적인 암기 조건에서 수온 20°C 이상에서 산소 소비량의 변동폭은 약 50 mg O₂/kg fish/hr로 거의 비슷하게 나타났다. 수온 15°C에서는 최대값과 최소값의 차이가 20 mg O₂/kg fish/hr 미만으로 나타나 수온이 낮아짐에 따라 산소 소비량의 변동폭은 감소한다는 것을 알 수 있었다.

고 찰

여러 가지 환경 요인이 어류의 산소 소비량에 미치는 영향을 파악하기 위해 다양한 어종을 대상으로 하여 연구를 진행해 왔으며, 어류의 대사율은 산소 소비량과 직접 관련되기 때문에 다른 동물에서와 마찬가지로 대사율 측정은 산소 소비량을 측정함으로써 간접적으로 이루어지고 있으며, 비교적 타당성 있게 측정되어져 왔다. 산소 소비량의 측정은 사용된 어종이나 측정 시설을 가지고 있을 지라도 항상 좋은 수질을 유지해야 하고 어류에 대한 스트레스도 최소화시켜야 한다. 플랑크톤, 조류나 찌꺼기 등은 용존 산소 측정에 상당한 오차를 유발할 수 있을 것이다 (Chech, 1990). 이러한 문제점을 해결하기 위해서 실제 자외선 살균기와 여과기를 설치하여서 이러한 문제점을 해결할 수 있었다.

산소 소비량을 측정하기 위해 여러 연구자들에 의해 호흡실의 개발이 꾸준히 이루어져 왔다. 유수식 대사율의 측정은 Ahmed and Magid (1968)에 의해 틸라피아를 대상으로 하여 측정된 것으로부터 컴퓨터 모니터링을 이용하는 방법에 이르기까지 다양하게 변화해 오고 있다 (Meyer and Brune, 1982). 본 실험에서도 좀더 정밀하게 정확하게 반복적으로 측정할 수 있는 호흡실을 고안하여 시설 내에서 물을 재순환시키면서 사용할 수 있고 또한 연속적인 컴퓨터 모니터링 시스템을 통해 계속적으로 측정이 가능하도록 설계하였다.

많은 연구자들은 어류의 산소 소비량에 결정적인 영향을 주는 요인으로 수온을 대표적인 예로 들었고, 또한 여러 어종을 대상으로 증명되었다. Table 1과 Fig. 1에서 보는 바와 같이 참메기의 산소 소비량은 수온의 증가에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 수온을 15°C에서 25°C로 10°C 올렸을 때 산소 소비량은 약

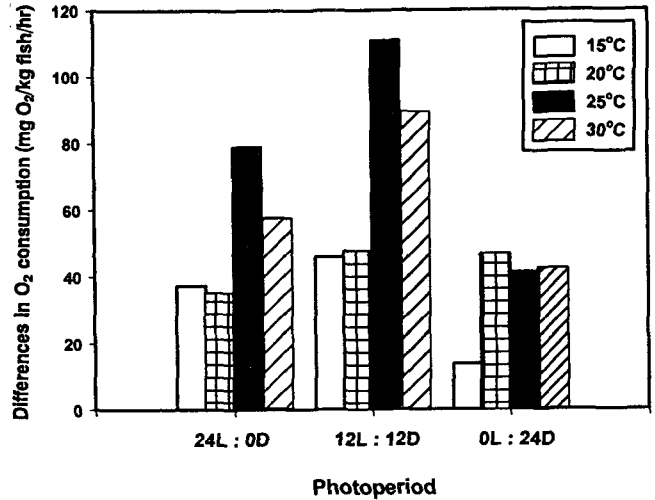


Fig. 4. Mean differences between maximum and minimum oxygen consumption rates of Far eastern catfish (*Silurus asotus*) over a 24 hour period under different photoperiods and water temperatures.

3배까지 증가하였고 수온을 20°C에서 30°C까지 올렸을 때 산소 소비량은 약 2배까지 증가하는 것으로 나타났다. 무지개송어를 대상으로 수온에 따른 산소 소비량을 조사한 결과, 수온 10°C 이하에서 수온을 10°C 올렸을 때 어류의 대사율은 3.5배 증가하였고, 수온 12°C 이상에서 수온을 10°C 올렸을 때 약 1.7배 증가한다고 보고하였다 (Muller-Feuga et al., 1978). Southern catfish (*Silurus meridionalis*)를 대상으로 수온에 따른 산소 소비량의 변화를 실험한 결과, 수온 10°C, 15°C, 20°C 와 30°C에서 평균 산소 소비량은 21.5, 40.5, 56.8 그리고 92.8 mg O₂/kg fish/hr로 각각 나타났다 (Xie and Sun, 1990), 참메기를 대상으로 실험한 결과와 상당한 차이를 나타내었지만 연속적인 암기 조건에서 측정된 수치와 비교한다면, 수온 15°C와 20°C에서는 비슷한 양상을 나타내었다. 이러한 측정 오차의 이유는 용존 산소 측정 방법에서 기인하는 것으로 여겨지는데, Xie and Sun (1990)의 산소소비량 측정은 9시부터 16시까지 1시간 간격으로 측정된 자료로 산소 소비량을 계산하였고, 또한 용존 산소량을 측정하기 위해 채수된 샘플을 같은 실험구끼리 혼합시켜 산소를 측정하였다. 또한 용존 산소 측정법은 Winkler법을 이용하여 이루어졌기 때문에 채수 후 바로 측정한다고 해도 어느 정도 소요되는 시간이 있을 것으로 여겨진다.

광주기에 대한 연구는 어류의 성숙과 산란의 인위적인 조절에 대해 많은 연구가 이루어져 있다. 또한 몇몇 어종은 광주기와 관련하여 다양한 산소 소비량을 가지는 것으로 알려져 있으며 (Davies 1962; Holliday et al., 1964; De Silva et al., 1986), Love (1980)는 이러한 이유를 호르몬 때문이라고 논의하였는데, *Fundulus grandis*의 경우, 혈관 수축제인 serotonin의 함량은 밤보다 낮동안에 더 높았고, 또한 *Carassius auratus*의 혈액속의 adrenocorticotrophic hormone의 경우 해가 뜨고난 후 4시간과 7~9시간에서 정점을 나타내어, 분명하지는 않지만 빛은 호르몬 분비의 기폭제 역할을 한다고 보고하였다. 참메기의 경우 광주기에 뚜렷한 산소

소비량의 차이를 나타내었다. 특히 연속적인 암조건 상태에서 산소 소비량은 24L:0D와 12L:12D 사이클과 비교하여 현저히 떨어지는 것으로 나타났고, 빛이 있는 것 보다 암흑 상태에서 더 안정적인 상태를 유지한다는 것을 알 수 있었다. 24L:0D에서 해뜰 무렵과 해질 무렵에서 산소 소비량의 변화를 관찰할 수 있었다. 어류는 하루중의 시간에 따라 정해져 있는 양상으로 그들의 유영 활동을 변화시켜 산소 소비량에 영향을 미치고 이러한 유영활동은 광주기와 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 또한 Kim et al. (1997)에 의하면 황복 (*Takifugu obscurus*)의 산소 소비량의 측정 결과 광주기와는 관련없이 생물학적인 주기를 가지면서 산소 소비량이 증가하는 것으로 나타내었다.

Fig. 4에서 처럼 수온이 증가할 수록 산소 소비량의 최대값과 최소값의 차이가 크게 나타났는데, 특히 명기와 암기를 계속적으로 반복한 12L:12D에서는 명기와 암기에 대한 변화 폭이 뚜렷하여 가장 큰 차이를 나타내었지만, 24L:0D와 0L:24D 경우 일정한 빛 조건에 대해 참메기가 안정인 상태를 보였고, 특히 연속 암기조건인 0L:24D에서는 참메기의 행동학적인 습성상 가장 안정적인 상태를 나타내어 산소 소비량의 변동폭이 크지 않은 것으로 나타났다. 산소 소비량이 광주기 변화에 따라 증가하거나 감소하는 양상은 잉어 (*Cyprinus carpio*)에서도 보고되었다 (Chakraborty et al., 1992a; b).

어류의 호흡이란 아가미를 통해 산소를 섭취한 후 개체의 세포 내 미토콘드리아에서 산소를 사용하고, 노폐물을 환경으로 배설하는 것까지를 포함한다고 할 수 있다. 호흡은 먹이에 포함되어 있는 에너지를 고에너지의 화학적 결합으로 전환하는 데 필요한 산소를 제공한다. 그 결과 생명을 유지하고 활동하도록 하고, 또한 사료를 소화시키고 성장, 번식과 에너지가 필요한 다른 모든 기능을 수행할 수 있도록 한다 (Chech, 1990).

본 실험 결과는 호흡실 설계에 따른 산소 소비량의 연속적인 측정으로 좀더 정확하고 상세한 변화를 조사할 수 있었다. 앞으로 개체 크기에 따른 대사량의 측정으로 통해 양식 시설내에서 유지해야 할 최소한의 산소 소비량의 범위를 파악할 수 있고, 또한 여러 가지 환경 조건 변화에 따른 산소 소비량의 변화를 계속적으로 조사할 수 있을 것으로 생각되었다.

요 약

참메기, *Silurus asotus*를 대상으로 수온 (15°C, 20°C, 25°C 및 30°C)과 광주기 (24L:0D, 12L:12D 및 0L:24D)에 따른 산소 소비량의 변화를 연속적인 컴퓨터 모니터링 시스템을 이용하여 조사하였다. 평균 무게 280 g의 참메기의 산소 소비량은 수온의 증가에 따라 증가하였고, 15°C에서 35.2~96.4 mg O₂/kg fish/hr, 20°C에서 78.6~127.9 mg O₂/kg fish/hr, 25°C에서 120.1~231.7 mg O₂/kg fish/hr, 30°C에서 197.5~352.3 mg O₂/kg fish/hr으로 나타났다 (p<0.05). 광주기에 따른 산소 소비량은 암기 조건에서 보다 명기 조건에서 산소 소비량이 더 높게 나타났다. 또한, 24L:0D와 12L:12D와 비교하여 0L:24D에서 평균 산소 소비량이 낮게 나타났다 (p<0.05). 산소 소비량의 최대값과 최소값의 차이는 수온이 상승함에 따라 증가하였

고, 12L:12D에서 가장 큰 것으로 나타났고, 새벽녘과 저녁 무렵에 산소 소비량의 급격한 변화를 나타내었다. 특히, 12L:12D의 조건에 두었을 때 명기와 암기에 대한 뚜렷한 반응을 보였다.

사 사

이 논문은 부경대학교 해양산업개발연구센터를 통한 한국과학재단 연구비 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부이며, 연구비 지원에 대하여 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Ahmed, N.D. and A.M.A. Magid. 1968. Oxygen consumption in *Tilapia nilotica* (L.). *Hydrobiology*, 33, 513~553.
- Andrews, J.W. and Y. Matsuda. 1975. Influence of various culture conditions on the oxygen consumption of channel catfish. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 104, 322~327.
- Armitage, K.B. and T.J. Wall. 1982. The effects of body size, starvation and temperature acclimation on oxygen consumption of the crayfish *Orconectes nais*. *Comp. Biochem. Physiol.* 73A, 63~68.
- Chakraborty, S.C., L.G. Ross and B. Ross. 1992a. Specific dynamic action and feeding metabolism in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Comp. Biochem. Physiol.*, 103A, 809~815.
- Chakraborty, S.C., L.G. Ross and B. Ross. 1992b. The effect of photoperiod on the resting metabolism of carp (*Cyprinus carpio*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 101A, 77~82.
- Chech, J.J. Jr. 1990. Respirometry. In *Methods for Fish Biology*. Schrech, C. B. and P. B. Moyle (eds.). American Fisheries Society, Maryland, USA. 335~362p.
- Davies, R.E. 1962. Daily rhythm in the reaction of fish to light. *Science*, 137, 430~432.
- De Silva, C.D., S. Premawansa and C.N. Keembiyahetty. 1986. Oxygen consumption in *Oreochromis niloticus* (L.) in relation to development, salinity, temperature and time of day. *J. Fish. Biol.*, 29, 267~277.
- Eriksson, O.L. 1978. Spring inversion of the diel rhythm of locomotor activity in young sea going brown trout *Salmo trutta* L., and Atlantic salmon *Salmo salar* L.. *Aquilo. Ser. Zool.*, 14, 68~79.
- Gnaiger, E. 1983. The twin-flow microrespirometer and simultaneous calorimetry. In : Gnaiger, E. and J. Forstner (eds.). *Polarographic Oxygen Sensors-Aquatic and Physiological Application*. pp. 134~166. Springer, Berlin.
- Hogendoorn, H. 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.). *Aquaculture*, 35, 1~17.
- Holliday, F.G.T., J.H.S. Blaxter and R. Lasker. 1964. Oxygen uptake of developing eggs and larvae of the herring (*Clupea herengus*). *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 44, 711~723.
- Jarboe, H.H. 1996. The influence of water exchange rate on diel ammonia production and oxygen consumption of channel catfish in a closed recirculating raceway system. *Journal of Applied Aquaculture*, 6, 1~12.
- Job, S.V., 1969. The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica* (Teleostei) I. The effect of size, temperature and salinity. *Marine Biology*, 2, 121~126.

- Kim, W.S., J.M. Kim, S.K. Yi and H.T. Huh. 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish *Takifugu obscurus*. Marine Ecology Progress Series, 153, 293~298
- Love, M.R. 1980. The Chemical Biology of Fishes, Vol. II. Advances 1968~1977. pp. 943. Academic Press, New York.
- Meyer, D.I. and D.E. Brune. 1982. Computer modeling of the diurnal oxygen levels in a stillwater aquaculture pond. Aquacultural Engineering, 1, 245~261.
- Muller-Feuga, A., J. Petit and J.J. Sabaut. 1978. The influence of temperature and wet weight on the oxygen demand of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) in fresh water. Aquaculture, 14, 355~363.
- Ross, L.G. and R.W. McKinney. 1988. Photoperiod mediated variation in respiratory rate of *Oreochromis niloticus* and its implication for tilapia culture. p.421~428. In The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. Pullin, R.S. V., T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J.L. Maclean (eds.). ICLARM Conference Proceedings 15, 623p. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Xie, X. and R. Sun. 1990. The bioenergetics of the southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen). I. Resting metabolic rate as a function of body weight and temperature. Physiological Zoology, 63, 1181~1195.
- Xie, X. and R. Sun. 1992. The bioenergetics of the Southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) : growth rate as a function of ration level, body weight and temperature. J. Fish Biology, 40, 719~730.

1998년 8월 24일 접수

1998년 10월 23일 수리