

## 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 어체중 및 수온에 따른 산소 소비량

김유희 · 조재윤  
부경대학교 양식학과

### Oxygen Consumption in Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in Relation to Body Weight and Water Temperature

Youhee Kim and Jae-Yoon Jo

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

Changes of oxygen consumption of Nile tilapia in relation to different body sizes (average body weight 4 g, 40 g, 120 g and 400 g) and water temperatures (20°C, 25°C and 30°C) were investigated by a continuous oxygen monitoring system.

Mean oxygen consumption of 4 g, 40 g, 120 g and 400 g Nile tilapia at 20°C were 318.8, 214.9, 84.1 and 69.4 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr and that at 25°C were 435.2, 345.9, 151.5, and 115.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, and that at 30°C were 611.1, 538.4, 320.8, and 236.0 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, respectively. Oxygen consumption per unit body weight tended to decrease exponentially at all temperatures (P<0.05) as body weight of the fish increased. Oxygen consumption of this fish at 25°C was 1.61±0.18 times higher than that at 20°C and oxygen consumption at 30°C was 1.53±0.27 times higher than that at 25°C. Oxygen consumption per unit body weight linearly increased with the water temperature increased.

Also, oxygen consumption of this fish during day time was higher than that during night time at 12L:12D day light condition. The differences between maximum and minimum daily oxygen consumption of this fish increased with the water temperature increased.

Key words : Oxygen consumption, Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*

### 서 론

산소는 어류와 패류 등 모든 종류의 생물의 생존에 필수적인 요소이다. 특히, 수서 환경에서는 산소가 부족해지는 일이 종종 발생하기 때문에 기초 산소 소비량과 이에 영향을 끼치는 요인을 파악하는 것이 양식 생산 증가를 위해 필요하다.

틸라피아는 우리 나라에서 겨울철 저수온에 생존할 수 없기 때문에 야외 노지에서 보다 가온에 의한 실내 순환여과식 사육 시설을 이용하고 있으며, 다른 양식 방법과 달리 계속적인 산소 보충

없이 성장에 필요한 환경 유지가 어려우므로 틸라피아의 산소 소비량에 대한 충분한 연구가 필요하다.

틸라피아의 수온, 어체 크기, 광주기와 산소 소비량과 관련한 연구는 꾸준히 진행되어 오고 있다 (Ahmed and Magid, 1968; Verheyen et al., 1985; De Silva et al., 1986; Ross and McKinney, 1988a, b; Ron et al., 1995; Iwama et al., 1997; Kim and Jo, 1999). 그러나, 연구자들마다 실험에 이용된 장치와 형태가 달랐기 때문에 측정된 자료마다 차이를 보이고 있다. 그러므로 이러한 자료들의 평

균값을 이용하여 시설 내의 환경 수용력을 결정하기란 어려울 것으로 생각되지만, 실제 순환 사육 시설 내에서 틸라피아의 산소 소비량을 측정하기 전에 반드시 어체 중량 및 수온에 따른 나일 틸라피아의 산소 소비량에 대한 기초 측정이 먼저 선행될 필요가 있다.

이와 같은 산소 소비량을 측정하는 방법도 측정 시설의 크기와 형태 등이 다양해지고 있으며 (Ahmed and Magid, 1968; Burggren and Randall, 1978; Itazawa et al., 1978; Itazawa and Ishimatsu, 1981; Ross and McKinney, 1988b; Xie and Sun, 1990; Guinea and Fernandez, 1991; McKim et al., 1994), 과거에는 산소 측정을 위해 시간과 노력이 많이 필요한 Winkler법을 이용하여 산소 소비량을 측정해 왔으나, 최근에는 측정 기기와 기술의 발달로 연속적인 측정 시스템을 이용하므로써 더욱 효과적이고 정확한 산소 소비량을 측정할 수 있게 되었다.

따라서, 이 실험에서는 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*)의 체중 및 수온 변화에 따른 산소 소비량을 조사하였으며, 산소 측정은 컴퓨터를 이용하여 연속 측정이 가능한 호흡실을 이용하여 측정하였다.

## 재료 및 방법

### 실험 어류

실험에 사용된 어류는 부경대학교 양어장의 순환 여과식 양식시설에서 사육중인 나일틸라피아를 사용하였다. 기초 대사량을 측정하기 일주일 전에 실내 수조로 옮겨와 예비 사육을 거쳐 실내에 순치시킨 다음 산소 소비량을 측정하였고, 실험 시작 3일 전부터 절식시켰다. 실험어는 MS222 (Sigma Chemical Co., USA)에 마취시켜 무게를 측정된 다음 실험 장치에 수용하였다.

### 실험 장치

기초 산소 소비량을 측정하기 위해 연속적으로 물이 흘러나가고 다시 재 이용할 수 있도록 자체

고안한 호흡실(respirometer chamber)을 사용하였고(Fig. 1(a)), 유입수와 호흡실을 거쳐나오는 배출수의 산소량을 측정하여 산소 소비량을 조사하였다.

### 호흡실

호흡실은 실험에 사용된 어류의 크기에 따라 45 mm (W)×250 mm (L)×150 mm (H)와 95 mm (W)×300 mm (L)×200 mm (H)의 직육면체를 8 mm 두께의 아크릴로 제작하여 사용하였고 (Fig. 1(b)), 호흡실의 윗부분은 공기가 새어 들어가는 것을 막기 위해 고무링을 이용하였다. 또한 호흡실 내에 물과 함께 들어간 공기를 빼내기 위해 6 mm 직경의 구멍을 한쪽 부분에 뚫고 투명 비닐 관에 소형 밸브를 연결하여 사용하였다. 호흡실로 들어가는 유입수는 10 mm의 관을 연결시키고 그 끝부분은 막고 측면으로 작은 구멍을 뚫어 유입수가 고르게 확산되도록 하였다. 흘러나온 물은 100 mm (W) × 100 mm (L) × 60 mm (H)의 측정실로

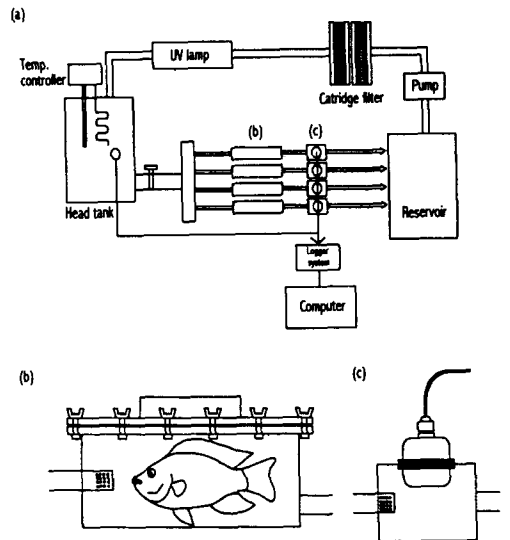


Fig. 1. Schematic diagrams of oxygen consumption measuring system in the laboratory. (a) whole respirometer system; (b) fish chamber; (c) dissolved oxygen measurement chamber.

들어가도록 하였다(Fig. 1(c)). 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 밀착시켜 넣어 이러한 문제점을 해결하였다. 또한, 측정실 내에 공기방울을 제거하기 위해 호흡실에 이용한 것과 같은 방법을 사용하였다.

### 산소 측정 시설

용존 산소의 측정은 산소 측정 전극 4 개와 4 Channel Multi Data Logger System (OxyGuard, Denmark)을 사용하여 측정하였다. 호흡실의 유입수와 유출수의 용존산소량은 산소 probe를 통해 매 30초마다 측정하였고,  $\mu$ Log VL 100 Software를 이용하여 측정 시간의 간격을 설정하였다. 설정된 프로그램에 맞게 30초 간격으로 측정된 산소량은 산소 측정 판넬을 통해 data Logger에 저장된 후 자료를 프로그램을 통해 다운로드 받아 분석에 이용하였다.

### 물의 공급과 환경 조절

호흡실은 간단한 순환 시설을 이용하여 170 ℓ의 저수 탱크 (reservoir)에서 순환 펌프 (PB-36-E-D, 7W, 1/20HP, 한일)를 통해 양수되어 저수 탱크와 동일 용량인 공급 탱크 (head tank)로 가게 되고, 이것은 호흡실을 거쳐 다시 저수 탱크로 흐르도록 설계하였다(Fig. 1). 공급 탱크에는 자동 온도 조절 장치가 연결되어 있는 히터를 이용하여 적정 수온을 유지하였고, 95% 이상의 산소 포화도를 유지하기 위해 2~3개의 에어스톤을 ब्ल로 위에 연결하여 사용하였다. 또한 저수 탱크에서 양수되어 공급 탱크로 들어가기 전에 10  $\mu$ m와 3  $\mu$ m의 카트리지 필터를 연속적으로 거치도록 하여 입자성 부유물질의 양을 최소화시켰고, 시스템 내에 미생물의 농도를 최소화 하여 미생물에 의한 미량의 산소 소비를 줄이기 위해 유수식 자외선 살균기(Model : P301, 처리용량 3 ton/hr, 삼

지통상)를 통과하여 재 이용되도록 하였다. 호흡실을 거쳐나간 물은 산소 probe를 통과하도록 하였고, 물의 흐름은 평균 1 ℓ/min을 유지하였으며, 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 후, 물을 배수하고 새로운 지하수를 채워 2 일간 충분히 시설을 작동시켜, 염소 살균 후에 남아 있는 잔류 염소를 제거하였으며, 실험 시작전 지하수를 넣어 충분히 폭기시킨 후에 사용하였다.

### 실험 조건

체중에 따른 산소 소비량의 변화를 알아보기 위해 평균 어체중이 4 g, 40 g, 120 g 및 400 g 전후의 어류를 호흡실에 수용하여 실험하였다. 실험 어류가 작은 경우에 통과 수량에 비하여 소비되는 산소가 아주 적기 때문에 이로 인한 측정 오차를 줄이기 위하여 4 g의 경우 8 마리, 40 g의 경우 5 마리를 한 호흡실에 동시에 수용하였고 120 g 및 400 g 어류는 각각 1 마리씩 수용하여 실험하였으며, 사육 수온에 따른 산소 소비량의 변화를 알아보기 위해 각각의 체중에 따라 수온 20℃, 25℃ 및 30℃에서 산소 소비량을 조사하였다. 어류는 각각의 수온에 충분히 적응하도록 50 ℓ 용량의 동일 수온의 유리수조에 수용하여 일주일간 적응시킨 후 실험 장치로 옮겨 사용하였다. 또한 이때 광주기는 명기와 암기가 동일한 12L:12D조건을 사용하였으며 이때, 09:00~21:00까지 명조건을, 그 이후에는 제작된 암막장치를 이용하여 암조건을 주었다.

### 산소 소비량의 계산

측정된 용존 산소량의 자료를 기초로 하여 유입수의 용존 산소량과 배출수의 용존 산소량을 아래의 식을 이용하여 산소 소비량(oxygen consumption)을 계산하였다.

$$\text{Oxygen consumption (mg O}_2\text{/kg fish/hr)} = \{ (C_i - C_o) \times Q \times 60 \} / B$$

여기서,  $C_i$  = 유입수의 용존 산소량, mg/ℓ  
 $C_o$  = 유출수의 용존 산소량, mg/ℓ  
 $Q$  = 유량, L/min  
 $B$  = 어체량, kg

### 통계 처리

통계 처리는 STATISTIX 4.0 (Analytical Software, USA) 통계 프로그램으로 ANOVA test를 실시하여 최소 유의차 검정(LSD)으로 평균간의 유의성( $p < 0.05$ )을 검정하였다.

## 결 과

나일틸라피아의 체중 및 수온에 따른 산소 소비량을 밝히기 위하여 평균 어체중을 4 g, 40 g, 120 g 및 400 g의 실험 어류를 수온 20℃, 25℃ 및 30℃에서 각각 산소 소비량의 변화를 조사하였다.

수온 20℃에서 평균 체중 4 g, 40 g, 120 g 및 400 g 틸라피아의 시간당 평균 산소 소비량은 각각 318.8 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 214.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 84.1 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 69.4 mg O<sub>2</sub>/kg fish였고, 수온 25℃에서는 시간당 435.2 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 345.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 151.5 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 115.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish으로 증가하였으며, 수온 30℃에서는 시간당 611.1 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 538.4 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 320.8 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 236.0 mg O<sub>2</sub>/kg fish으로 각각 나타났다.

어체 크기가 증가할 수록 단위 체중당 산소 소비량은 지속적으로 감소하는 경향이 모든 온도 구간에서 뚜렷하게 나타났다( $p < 0.05$ ). 이때 어체중이 증가함에 따라 산소 소비량은 지속적으로 감소하는 것으로 나타났으며(Fig. 2), 수온 증가에 따라 지수값이 감소하였다.

또한, 수온 20℃에서 보다 25℃에서 산소 소비량은 평균 1.61±0.18 배 증가하였고, 수온 25℃에서 보다 수온 30℃에서는 평균 1.53±0.27 배까지 증가하는 것으로 나타났으며, 이때, 증가량은

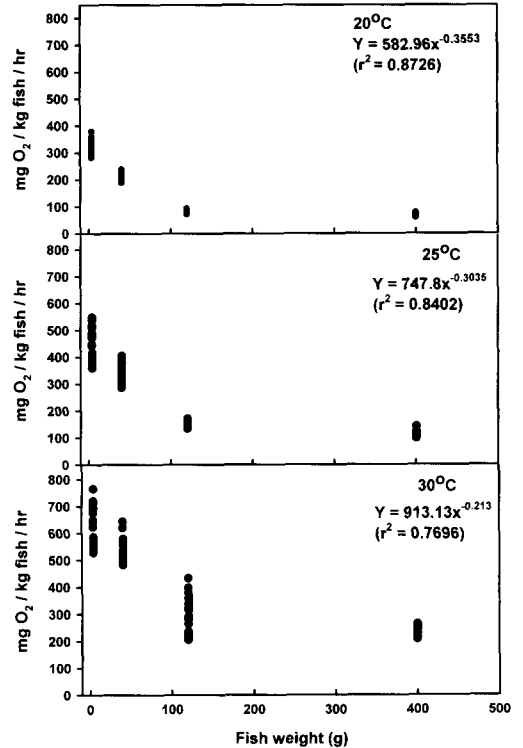


Fig. 2. Relationship between oxygen consumption and average body weight of Nile tilapia, *O. niloticus*, at different water temperatures.

수온 20℃에서 25℃로 증가할 때 산소 소비량은 어체 크기에 따라 4 g 어류에서 133.97 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 40 g 어류에서 110.23 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 120 g 어류에서 71.18 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr 및 400 g 어류에서 41.97 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr의 증가를 보였고, 다시 30℃로 증가시켰을 때 4 g 어류는 153.44 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 40 g 어류는 170.45 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 120 g 어류는 132.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr 및 400 g 어류는 99.2 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr까지 증가하는 것으로 나타나, 수온 증가에 따라 산소 소비량의 증가폭도 커지는 것으로 나타났다. 온도 증가에 따라 단위 체중당 산소 소비량은 직선적으로(Fig. 3) 증가하였다( $p < 0.05$ ).

각 실험구의 일간 산소 소비량의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 이때 광주기 조건을 명기와 암기

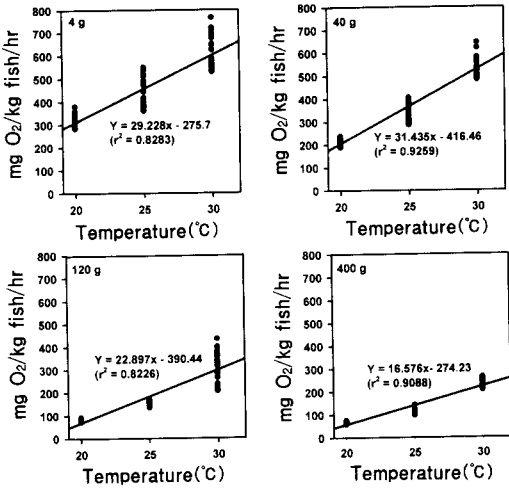


Fig. 3. Relationship between oxygen consumption and water temperature of four different body weights of Nile tilapia, *O. niloticus*.

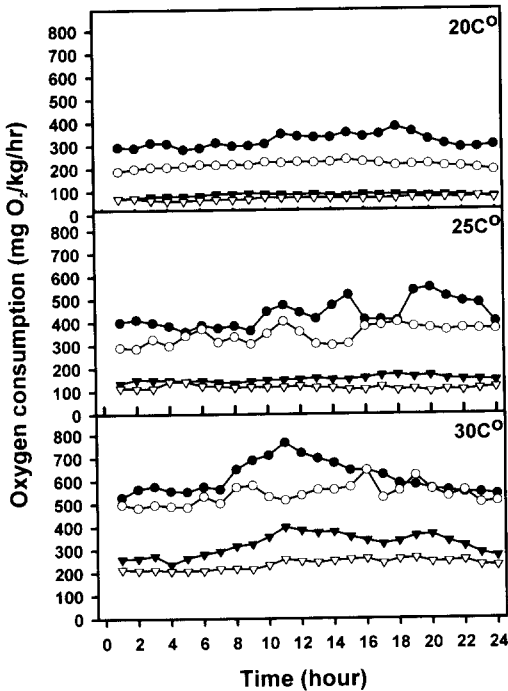


Fig. 4. Changes of oxygen consumption of Nile tilapia, *O. niloticus*, in different body weight (●: 4 g; ○: 40 g; ▼: 120 g; ▽: 400 g) and water temperature.

가 동일하도록 12L:12D 조건하에서 실험한 결과 낮동안 즉 명기 구간에서 산소 소비량이 암기보다 높은 것을 관찰할 수 있었다. 각 온도 구간에 일간 최대 최소 산소 소비량의 차이를 조사한 결과 수온이 증가할수록 그 폭이 커졌고, 산소 소비량의 최대 최소 값의 차이는 4 g 어류의 경우 수온 20°C, 25°C 및 30°C에서 각각 90.67 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 184.98 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr, 237.51 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr을 나타내었으며, 이러한 경향은 40 g, 120 g 및 400 g 틸라피아에서도 동일한 현상을 나타내어 수온이 증가함에 따라 최대 최소 값의 차이도 커지는 것으로 나타났다.

## 고 찰

틸라피아에 대한 산소 소비량은 연구자들마다 그들 나름대로의 측정 방법을 개발하여 꾸준히 연구되어 왔다. 이러한 산소 소비량은 호흡실 (respirometer chamber)을 이용하여 호흡실에 연속적으로 들어가는 물의 산소 함량의 차이나 정체된 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, 1988b). 따라서, 지속적이면서도 반복적인 측정이 필요하기 때문에 이러한 연구는 실험 환경 조건을 조절할 수 있는 밀폐 유수식 형태(flow-through respirometer)가 가장 적당하다(Gnaiger, 1983). 밀폐 유수식 호흡실을 이용한 산소 소비량의 측정은 Ahmed and Magid (1968)에 의해 틸라피어를 대상으로 하여 측정된 것으로 부터 컴퓨터 모니터링을 이용하는 방법에 이르기까지 다양하게 변화해 왔으며(Meyer and Brune, 1982), 본 연구에서도 여러 연구자들이 고안한 설계들을 충분히 검토한 뒤 정밀하게 정확하게 반복적으로 측정할 수 있는 호흡실을 제작할 수 있었다. 또한 시설 내에서 물을 재 순환시키면서 사용할 수 있고 또한 연속적인 컴퓨터 모니터링 시스템을 이용하여 연구를 수행할 수 있

도록 고안하였다.

틸라피아의 기초 대사량에 대한 여러 연구자들의 측정치를 비교한 결과 120 g의 나일틸라피아를 수온 25°C에서 측정하였을 때 산소 소비량은 140.0 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr을 나타내었고 (Ross and McKinney, 1988b), 본 연구에서도 동일한 크기와 동일한 조건에서 평균 151.5 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr (144.58~158.83 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr)을 나타내어 비슷한 결과를 나타내었으며, 또한 평균 무게 10 g의 틸라피아(*Oreochromis alcalius grahami*)의 수온 25°C에서 산소 소비량이 415~970 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr으로 측정되어(Farnklin et al., 1995), 본 실험의 4 g, 수온 25°C에서의 평균 산소 소비량 435.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr (404.13~505.89 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr)와 유사한 값을 나타내었다. 평균 110 g의 자바틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)를 수온 21.7°C에서 실험한 Iwama et al.(1997)의 연구 결과 평균 산소 소비량은 78.6~177.2 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr으로 나타나, 120 g 나일틸라피아를 수온 20°C에서 측정본 실험 결과, 평균 84.1 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr (67.75~86.72 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr)과 비교할 때 비슷한 범주 안에 들어가는 것으로 나타났다(Table 1).

이와 반대로 Caulton (1977, 1978), Becker et al. (1989)과 Zuim (1979) 등의 연구 결과는 50 g 전후의 비슷한 크기임에 불구하고 산소 소비량은 25°C에서 105~113.7 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr을 나타내어 이 실험의 결과 40 g 어류에서 평균 345.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish/hr 보다 약 1/3 정도 낮은 수치를 나타내었는데, 이러한 이유는 위에서 언급한 실험에 이용된 장치 외에 용존 산소의 측정시 Winkler법을 이용하였기 때문에 나타나는 개인간의 오차 또는 실험 중에 일어난 온도 변화, 채수 후 측정 시간에 따른 오차 때문일 것으로 추정된다.

이에 대해 Colt and Watten (1988)은 몇가지 타당한 이유를 적고 있는데, 용존 산소를 적정할때 물을 채수한 후 바로 황산망간(MnSO<sub>4</sub>) 용액과 알칼리성 요오드 아지드화 나트륨(KOH+KI+NAN<sub>3</sub>) 용액을 바로 첨가하지 않는다면 물 속의 산소는 감소할 지 모른다고 보고 하였으며, 또한 채수한 물을 산소병에 마개를 덮어 두면 아주 미세한 공기방울 때문에 적정을 통한 산소 측정 방법은 산소 probe를 통해 얻어지는 값보다 높게 나올 수 있다고 하였다.

그리고 다른 이유는 용존 산소의 측정 횟수와 연관이 있는 것으로 생각된다. 즉, 다른 연구자들

Table 1. Comparison of oxygen consumption rates among various species and sizes of tilapias

Species	Condition		Oxygen consumption (mg O <sub>2</sub> /kg fish/hr)	Author
	Size (g)	Temp. (°C)		
<i>Oreochromis niloticus</i>	50	25	105.0	Zuim, 1979
"	50~100	25	126.0~162	Ross and Ross, 1983
"	75	25	120.8	Verheyen et al., 1985
"	70~120	25	55~140	Ross and Mckinney, 1988a
<i>O. mossambicus</i>	110	21.7	78.6~177.2	Iwama et al., 1997
"	50~100	16~37	105~134	Caulton, 1978
<i>O. alcalius grahami</i>	10	25	415~970	Farnklin et al., 1995
<i>Tilapia rendalli</i>	50	17~40	187.5	Caulton, 1977
<i>O. niloticus</i> × <i>O. mossamicus</i>	45~74		101.6~113.7	Becker et al., 1989
<i>O. niloticus</i>	4	25	435.2	Present study
"	40	25	345.9	"
"	120	25	151.5	"
"	400	25	115.9	"

은 호흡실의 설계시에 직접 채수하면서 산소를 측정하였기 때문에 단위 시간당 측정할 수 있는 횟수는 한정되어 있는데 반해 이 실험에서는 연속 측정 모니터링 시스템을 이용하여 용존 산소량을 짧은 간격으로 연속 측정이 가능하였기 때문에 측정 오차 폭을 줄일 수 있었던 것으로 판단된다.

Wagner et al. (1995)은 사료 공급과 소화보다 암기조건이 산소 소비량에 더 큰 영향을 미친다고 보고하였다. 본 실험에서는 각 수온에서 명기 조건에서 산소 소비량이 암기 조건에서 보다 크게 나타내었는데, Jo and Kim(1999)의 메기, *Silurus asotus*의 광주기에 따른 산소 소비량의 변화를 조사한 결과 연속적인 명기 조건 또는 암기 조건에서 보다 12L:12D에서의 산소 소비량의 일간 최대 최소값의 차이가 크게 나타났으며, 본 실험의 결과와 같이 암기 조건에서 보다 명기 조건에서 산소 소비량이 더 큰 것으로 나타났다. 이것은 나일틸라피아는 광주기에 반응을 보인다고 할 수 있으며, 틸라피아의 광주기 변화에 따른 산소 소비량의 변화는 De Silva et al. (1986)도 같은 결과를 보고하였다.

위의 연구 결과를 토대로 나일틸라피아를 사육할 때 필요한 최소한의 산소 소비량을 얻을 수 있었으며, 또한 개체 중량, 수온뿐만 아니라 낮과 밤 동안의 나일틸라피아의 산소 소비량의 변화가 뚜렷이 나타남을 알 수 있었으므로 이들 자료를 토대로 하여 pilot 규모와 산업적 규모의 틸라피아 양식장의 산소 소비량에 대한 충분한 자료로 활용할 수 있을 것으로 생각된다.

## 요 약

나일틸라피아를 대상으로 체중(평균 어체중 4 g, 40 g, 120 g 및 400 g)과 수온(20℃, 25℃ 및 30℃)에 따른 산소 소비량의 변화를 연속적인 컴퓨터 모니터링 시스템을 이용하여 조사하였다.

수온 20℃에서 평균 체중 4 g, 40 g, 120 g 및 400 g 틸라피아의 시간당 평균 산소 소비량은 각각 318.8 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 214.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 84.1 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 69.4 mg O<sub>2</sub>/kg fish였고,

수온 25℃에서는 시간당 435.2 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 345.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 151.5 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 115.9 mg O<sub>2</sub>/kg fish으로 증가하였으며, 수온 30℃에서는 시간당 611.1 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 538.4 mg O<sub>2</sub>/kg fish, 320.8 mg O<sub>2</sub>/kg fish 및 236.0 mg O<sub>2</sub>/kg fish으로 증가하여, 어체 크기가 증가할수록 단위 체중당 산소 소비량은 지수적으로 감소하는 경향이 모든 온도 구간에서 뚜렷하게 나타났다(p<0.05). 또한, 수온 20℃에서 보다 25℃에서 산소 소비량은 평균 1.61±0.18 배 증가하였고, 수온 25℃에서 보다 수온 30℃에서는 평균 1.53±0.27 배까지 증가하는 것으로 나타났으며, 온도 증가에 따라 단위 체중당 산소 소비량은 직선적으로 증가하였다. 수온 20℃, 25℃ 및 30℃ 때의 산소 소비량은 개체 크기에 따른 산소 소비 증가량의 차이는 있었지만, 수온 증가에 따라 산소 소비량의 증가가 뚜렷하게 나타났다(p<0.05). 이 실험에서는 광주기 조건을 명기와 암기가 동일하도록 12L:12D조건하에서 실험한 결과 낮동안 즉 명기 구간에서 산소 소비량이 암기보다 높게 나타났으며, 수온이 증가함에 따라 최대 최소 값의 차이도 커지는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- Ahmed, N. D. and A. M. A. Magid, 1968. Oxygen consumption in *Tilapia nilotica* (L.). *Hydrobiology*, 33 : 513-553.
- Becker, K., D. Noffz and L. Fishelson, 1989. Estimation of the critical oxygen tension for and recovering capabilities of red tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) hybrids. *Trop. Freshwater Biol.*, 2 : 141-148.
- Burggren, W. W. and D. J. Randall, 1978. Oxygen uptake and transport during hypoxic exposure in the sturgeon *Acipenser transmontanus*. *Respir. Physiol.*, 34 : 171-183.
- Caulton, M. S., 1977. The effect of temperature on routine metabolism in *Tilapia rendalli* bou-lenger. *J. Fish Biol.*, 11 : 549-553
- Caulton, M. S., 1978. The effect of temperature and mass on routine metabolism in *Sarotherodon* (*Tilapia*) *mossambicus* (Peters). *J. Fish*

- Biol., 13 : 195-201.
- Colt, J. and B. Watten, 1988. Application of pure oxygen in fish culture. *Aquacul. Eng.*, 7 : 397-441.
- 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.
- Farnklin, C. E., I. A. Johnston, T. Crockford and C. Kamunde, 1995. Scaling of oxygen consumption of Lake Magadk-tilapia, a fish living at 37°C. *J. Fish Biol.*, 46 : 829-834.
- Gnaiger, E., 1983. The twin-flow microrespirometer and simultaneous calorimetry. In 'Polarographic Oxygen Sensors' (ed E. Gnaiger and J. Forstner). *Aquacul. and Physiol. Applic.*, Springer, Berlin. p.134-166.
- Guinea, J. and F. Fernandez, 1991. The effect of SDA, temperature and daily rhythm on the energy metabolism of the mullet, *Mugil saliens*. *Aquaculture*, 97 : 353-364.
- Itazawa, Y. and A. Ishimatsu, 1981. Gas exchange in an air-breathing fish, the snakehead *Channa argus*, in normoxic and hypoxic water and in air. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 47 : 829-834.
- Itazawa, Y., T. Matsumoto and T. Kanda, 1978. Group effects on physiological and ecological phenomena in fish-I. Group effect on the oxygen consumption of the rainbow trout and the medaka. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 44 : 965-969.
- Iwama, G. K., A. Takemura and K. Takano, 1997. Oxygen consumption rates of tilapia in fresh water, seawater and hypersaline seawater. *J. Fish Biol.*, 51 : 886-894.
- Jo, J.-Y. and Y. Kim. 1999. Oxygen consumption of Far Eastern catfish, *Silurus asotus*, on different water temperature and photoperiods. *J. Korean Fish. Soc.*, 32 : 56-61 (in Korean).
- Kim, Y. and J.-Y. Jo. 1999. Effects of feeding frequency on oxygen consumption of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in a recirculating aquaculture system. *J. Korean Fish. Soc.*, 32 : 144-148 (in Korean).
- McKim, J. M., J. W. Nichols, G. J. Iien and S. L. Bertelsen, 1994. Respiratory-cardiovascular physiology and chloroethane gill flux in the channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. Fish Biol.*, 44 : 527-547.
- Meyer, D. I. and D. E. Brune, 1982. Computer modeling of the diurnal oxygen levels in a stillwater aquaculture pond. *Aquacul. Eng.*, 1 : 245-261.
- Ron, B., S. K. Shimoda, G. K. Iwama and E. G. Grau, 1995. Relationships among ration, salinity, 17 $\alpha$ -methyltestosterone and growth in the euryhaline tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Aquaculture*, 135 : 185-193.
- Ross, B. and L. G. Ross, 1983. The oxygen requirements of *Oreochromis niloticus* under adverse condition. In : *Proceedings of the First International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, Nazareth, Israel, 8~13 May. pp. 134-143.
- Ross, B. and R. W. McKinney, 1988a. Photoperiod mediated variation in respiratory rate of *Oreochromis niloticus* and its implication for tilapia culture. p.421~428. In ; R. S. V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai and J. L. Maclean (eds.). *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture*. ICLARM Conference Proceedings 15, 623p. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand and International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Ross, L. G. and R. W. McKinney, 1988b. Respiratory cycles in *Oreochromis niloticus* (L.), measured using a six-channel microcomputer-operated respirometer. *Comp. Biochem. Physiol.*, 89A : 637-643.
- Verheyen, E., R. Blust and C. Doumen, 1985. The oxygen uptake of *Sarotherodon niloticus* L. and the oxygen binding properties of its blood and hemolysate (Pisces; Cichlidae). *Comp. Biochem. Physiol.*, 81A : 423-426.
- Wagner, E. J., S. A. Miller and Th. Bosakowski, 1995. Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. *Prog. Fish-Cult.*, 57 : 199-205.
- 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. *Physiol. Zool.*, 63 : 1181-1195.
- Zuim, S. M. F., 1979. Studies on the hourly oxygen consumption and respiration rate of *Tilapia nilotica*. *Cienc. Cult. (Sao Paulo)*, 3 : 1177.