

순환여과식 사육 시설에서 사료 공급 횟수에 따른 나일틸라피아, *Oreochromis niloticus*의 산소 소비량

김유희 · 조재윤
부경대학교 양식학과

Effects of Feeding Frequency on Oxygen Consumption of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, in a Recirculating Aquaculture System

Youhee KIM and Jae-Yoon JO

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

This study was conducted to test actual oxygen consumption rates of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at a commercial scale high density culture tank in the recirculating culture system, with a special emphasis on the oxygen consumption rate of this species with different daily feeding frequencies.

Nile tilapia, an average of 400 g and a total weight of 390 kg, were stocked in a circular concrete tank of 2.9 m in diameter and 0.8 m in depth, in a recirculating culture system. The fish were fed commercial diet 1, 2, 5, and 9 times per day between 09:00 h and 19:00 h. Feed was evenly supplied where the fish were fed more than once a day. Dissolved oxygen of influent and effluent water was monitored every 50 seconds by a computer with electrodes for 24 hours.

The standard metabolic rate of tilapia was 39.1 ± 4.4 mg O₂/kg fish/hr in the present study. The maximum oxygen consumption was reached between 30 to 50 minutes after feeding. The maximum oxygen consumption levels of 1, 2, 5, and 9 feeding times per day were 161.2, 123.4, 111.1 and 111.1 mg O₂/kg fish/hr, respectively. While the mean oxygen consumption levels of 1, 2, 5, and 9 feeding times per day were 79.9 ± 21.5 , 81.3 ± 14.8 , 84.2 ± 9.9 and 98.9 ± 11.0 mg O₂/kg fish/hr, respectively. These results show that oxygen consumption rates are not much different between the feeding frequencies. These results could be used to design to provide desirable oxygen supply system in the recirculating high-density tilapia culture system.

Key words: Nile tilapia; *Oreochromis niloticus*; oxygen; feeding frequency

서 론

집약적 양식 시설 내에서 사육수의 용존 산소량은 생산량을 제한하는 가장 중요한 요인이라고 할 수 있으며 이러한 생산력은 부족한 양만큼의 산소를 부수적으로 첨가하므로 환경 수용력을 배가시킬 수 있다.

사육 시스템 내에서 산소를 소비하는 주요 요인은 어류에 의한 호흡 때문이라고 할 수 있다. 이러한 호흡으로 인한 산소 소비량은 환경 수용력을 결정하는 요인이면서 동시에 가장 예측하기 어려운 요인 중의 하나이다. 시설 내에 산소 소비 요인들은 사육 생물의 양과 시설의 설계에 연관된 많은 물리적, 생물학적 변수에 달려 있다. Timmons and Losordo (1994)에 의하면 사육 생물의 호흡률 즉, 산소 소비량은 수온, 대사활동과 밀접한 관계가 있다고 하였으며, 여기서 대사활동이란 사료 공급량과 먹이 먹은 후로부터의 시간, 그리고 사육 생물의 크기, 사육 생물의 총량, 사육 생물의 종류 등에 영향을 받는다고 보고하였다.

산소 소비량에 대한 연구는 어류의 크기, 생체량 및 성장률과 여러 가지 환경 요인에 대해 여러 어종을 대상으로 폭넓게 연구되어 오고 있다 (Avnimelech et al., 1992; Berg et al., 1993; Yager and Summerfelt, 1993). 어류 대사량을 측정하기 위하여 한 마리 또는 여러 마리의 어류를 대상으로 특별히 고안된 호흡실에서 산소 소비량을 측정하며, 실험어는 측정 전 며칠간 절식시킨 후에 기초 대사율로서 산소 소비량을 측정한다 (Savitz, 1971; Tandler and Beamish, 1981). 그러나, 실험실 조건하에서 각각의 어류에

대한 산소 소비량을 측정하는 것은 고밀도로 설계 운영되고 있는 양식 시설에 적용하는 것은 소량의 어류만을 사용하는 조건에서 얻은 결과이기 때문에 부적합할 지 모른다. 그러므로, 양식 현장에서 이용할 수 있는 자료를 얻기 위해서는 실제 고밀도로 사육되고 있는 순환여과식 사육 탱크에서 어류의 산소 소비량의 측정이 필요하다.

순환여과식 사육 시설에서 일간 산소 소비량의 변화는 어류의 사료 공급 횟수와 관련이 있다 (Bergheim et al., 1983). 어류는 사료를 섭취하게 되면 산소 소비량이 급속히 증가하게 되고, 또한 성장률에도 영향을 미치게 되는데, 몇몇 연구자들은 사료 공급 횟수가 어류에 미치는 영향에 대한 연구를 진행하고 있으며 (Sampath, 1984; Thomassen and Fjaera, 1996), 순환 여과식 사육 시설의 수질에 미치는 영향에 대해서도 연구가 이루어지고 있다. 즉, 사료를 공급할때 어류의 호흡량은 증가하게 되고 이에 따라 시설 내의 용존 산소량은 감소하게 되고, 낮은 용존 산소량이 지속되게 되면 결국은 사육 생물의 스트레스를 유발할 수 있다. 몇몇 연구자는 어류의 산소 소비에 대한 사료 섭취 효과 (Ross and McKinney, 1988; Van Dam and Pauly, 1995)와 사료 공급후 용존 산소량의 일간 변화 (Beamish, 1974; Brett and Zala, 1975; Guinea and Fernández, 1991)에 대해서 보고한 바가 있었고, 우리나라 담수어 양식의 주요 대상종인 틸라피아에 대한 산소 소비량의 변화는 Job (1969), Ross et al. (1992)과 Iwama et al. (1997) 등에 의해서 기초 대사량에 대한 연구가 주로 이루어져 있으나, 실험실 조건하에서 각각의 어류에 대한 산소 소비량을 측정하는 것을

고밀도로 설계 운영되고 있는 양식 시설에 적용하는 것은 소량의 어류만을 사용하는 조건에서 얻은 결과이기 때문에 부적합지 모른다. 그러므로 적정 산소 소비량을 유지하는데 필요한 일간 산소 소비량을 사료 공급 횟수를 달리하여 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험 어류

실험에 이용된 어류는 부경대학교 부속어장의 순환여과식 사육 시설 내에서 고밀도로 사육 중이던 체중 400 g 전후의 나일틸라피아 (*Oreochromis niloticus*) 390 kg을 선별하여 실험에 이용하였다.

2. 실험 장치

실험에 이용된 사육 장치는 지름 2.9 m, 높이 0.8 m의 콘크리트 원형 수조를 이용하였다. 유입수는 150 mm gate valve를 이용하여 유입되는 수량을 110 L/min으로 조절하였고, 배출수는 250 mm의 PVC 파이프를 통해 나가도록 하였다. 또한 실험중 어류의 배설물 등이 축적될 때는 중앙 배수관으로 연결된 stand pipe를 이용하여 배설물 및 찌꺼기 등을 제거하였다. 수온과 수량은 1 시간 간격으로 측정하였으며, 실험 기간동안 수질 조건은 Table 1에 나타내었다.

3. 산소의 측정

용존 산소의 측정은 산소 probe와 4 Channel Multi Data Logger System (OxyGuard, Denmark)을 사용하여 측정하였다. 유입수와 유출수의 용존산소량은 산소 probe를 통해 50초 간격으로 측정하였고, μ Log VL 100 Software를 이용하여 측정 조건을 설정 및 자동 기록되도록 하였다. 측정된 용존 산소량은 Data Logger에 저장된 후 프로그램을 통하여 자료를 전송 받아 산소 소비량을 계산하였다.

4. 절식 어류의 산소 소비량

실험어를 3일간 절식시킨 후 산소 소비량의 변화를 자연 광주기 조건하에서 측정하였다. 측정시 낙차에 의한 산소 증가량과 공기 및 물의 접촉면을 통해 녹아들어가는 산소량을 차단하기 위하여 유입구에 150 mm 투명 아크릴 관을 연결하여 주입구가 수표면 아래 30 cm 위치에 놓이도록 하였다. 또한 수표면을 통해 녹아

들어가는 산소를 줄이기 위해 0.1 mm 두께의 투명 비닐을 이용하여 수표면 위에 덮어 이를 방지하였다.

5. 사료 공급 횟수에 따른 산소 소비량

사료 공급 횟수에 따른 산소 소비량과 최대값에 이르는 시간과 수치를 조사하였다. 사료 공급 횟수는 자연 광주기 조건에서 낮동안 1일 1회, 2회, 5회 및 9회로 나누어 공급하였고, 1회 공급시에는 12:00시에, 2회 공급시에는 6시간 간격으로 10:00시와 16:00시에, 5회 공급시에는 10:00부터 18:00까지 2시간 간격으로 공급하였고, 9회 공급시에는 10:00 부터 18:00까지 1시간 간격으로 공급하였다. 각각의 실험구는 실제 실험에 들어가기 3일전부터 실험 조건과 같은 횟수로 사료를 공급하였고, 3일후부터 2일간 측정된 자료를 실험 측정값으로 사용하였다. 실험에 사용된 사료는 상품사료를 사용하였고, 공급량은 하루에 어체중의 1%를 각 실험구에 맞게 나누어 주었다.

6. 산소 소비량의 계산

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

$$\text{산소 소비량 (mg O}_2\text{/kg fish/hr)} = \{(C_i - C_o) \times F \times 60\} / B$$

여기서, C_i = 유입수의 용존산소농도, mg/L

C_o = 유출수의 용존산소농도, mg/L

F = 유량, L/min

B = 어체중량, kg

7. 통계처리

통계 처리는 Computer program SATISTIX 4.0 (Analytical Software, USA)를 사용하였으며, ANOVA test를 실시하여 최소 유의 차 검정 (LSD)으로 평균간의 유의성 ($p < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

3 일간 절식시킨 나일틸라피아의 산소 소비량의 일간 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 산소 소비량은 30.9~42.8 mg O₂/kg fish/hr의 범위였고 평균 산소 소비량은 39.1 mg O₂/kg fish/hr을 나타내었다 (Table 2). 이 결과는 절식시킨 틸라피아 1마리의 산소 소비량을 측정된 다른 연구자들의 결과와 비교해 보면, Ross and McKinney (1988)의 경우 약 90 mg O₂/kg fish/hr을 소비하는 것으로 나타내어, 본 연구에서 어류 1 마리를 대상으로 하여 측정된 산소 소비량 보다 낮은 값을 나타내었다. 板澤 (1991)은 이러한 산소 소비율의 차이를 그룹을 지은 어류와 단지 한 마리를 격리시켜 측정된 것과의 차이로 보았고 이 두가지 경우 중 격리시킨 경우에서 단위 체중당 산소소비량이 더 크다고 보고하였다.

대사실을 이용하여 산소 소비량을 측정하는 경우, 유입되는 물의 산소 포화도를 거의 100%에 가깝게 유지하는데 반해, 이

Table 1. Water quality during the experimental period

Parameters	Values
Total nitrogen (mg/ℓ)	17.73~28.1
TAN (mg/ℓ)	0.14~0.44
NO ₂ -N (mg/ℓ)	0.013~0.025
NO ₃ -N (mg/ℓ)	10.73~10.79
Total organic carbon (mg/ℓ)	5.66~6.68
BOD (mg/ℓ)	32.60~38.9
PO ₄ ³⁻ -P (mg/ℓ)	79.51~79.79
pH	7.43~8.06
Water temperature (°C)	19.7~20.6

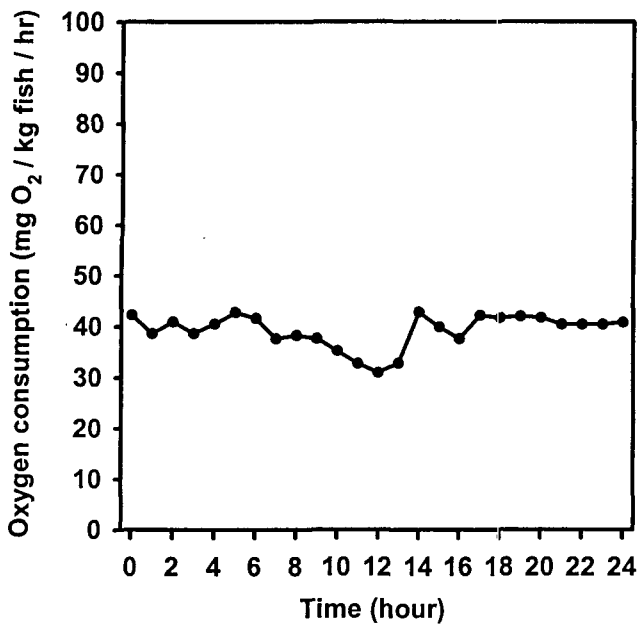


Fig. 1. Fluctuation of oxygen consumption rates of Nile tilapia, *O. niloticus*, in a recirculating culture tank for 24 hours. The experimental fish were not fed for 3 days prior to the test.

Table 2. Oxygen consumption rates of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in a recirculating culture system under various daily feeding frequencies

Feeding frequency	Oxygen consumption rate (mg O ₂ /kg fish/hr)		Time to peak (min)	Daily oxygen consumption (g O ₂ /d)
	Average	Maximum		
Starving	39.1 ± 4.4	-	-	-
1	79.9 ± 21.5	161.2 ± 12	30 ± 40	575.2
2	81.3 ± 14.8	123.4 ± 2.4	30 ± 50	762.6
5	84.2 ± 9.9	111.1 ± 3.2	30 ± 50	791.4
9	98.9 ± 11.0	111.1 ± 3.9	30 ± 50	932.0

실험에서는 유입되는 사육수의 용존 산소량이 5 ppm (산소포화도 55%) 전후를 유지하였기 때문에 산소 소비량이 낮게 나타난 것으로 사료된다. 사육수의 산소 포화도 감소에 따른 산소 소비량의 감소에 대한 연구 결과는 Ahmed and Magid (1968), Yamamoto and Hirano (1988)과 Yamamoto et al. (1990) 등에 의해서 보고되었으며, 山元 · 高殿 (1985)에 따르면, 틸라피아를 대상으로 실험한 결과, 산소 포화도 99.1%에 사육하였을 때 산소 소비량은 279 mg O₂/kg fish/hr을 나타내었으며, 산소 포화도 24.4%와 6.4%에서는 212.4 mg O₂/kg fish/hr와 52.2 mg O₂/kg fish/hr을 소비하는 것으로 나타내었다.

사육 어류가 먹이를 먹거나 놀라는 등의 스트레스를 받게 되면 용존 산소의 소비량이 급격히 증가되며 사육조의 용존 산소량은 사료 섭취후 최저값으로 떨어질 가능성이 높다. 어종, 어체의 크기, 수질 환경 등에 따라 사료 공급 횟수가 달라지지만 사료 공급 횟수는 사육 시설내의 일간 산소 소비량의 변화에 큰 영향을 주므로, 순환여과식 사육 시스템과 같은 고밀도 양식장에서 먹이 공급 횟수에 따라 용존 산소량의 변화를 예측해야 하며, 안정적인

용존 산소량의 유지를 위해 사료 공급후 일정한 시간동안의 산소 소비량의 변화를 조사할 필요가 있다 (Wagner et al., 1995).

본 연구에서는 사료 공급전 부터 사료 공급후 일정시간까지 사료 공급 횟수에 따른 일간 산소 소비량의 변화를 나일틸라피아를 대상으로 조사한 결과 사료 1회 공급시 산소 소비량은 사료 공급 후 약 30~40분 후에 최대 161.2 mg O₂/kg fish/hr까지 증가하였으며, 약 3시간 경과한 다음 사료 공급전 산소 소비량의 상태로 돌아오는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 사료 공급을 1일 2회 하였을 경우 사료 공급후 30~50분 후에 최대 123.4 mg O₂/kg fish/hr 증가하였고 다시 3시간 이후 사료 공급전 상태로 돌아오는 것으로 나타났다 (Fig. 3).

Fig. 4와 5는 사료를 1일 5회 그리고 9회 공급하였을 때 산소 소비량의 변화를 나타내었다. 10:00시 이후부터 18:00시까지 사료를 2시간과 1시간 간격으로 각각 공급하였다. 최대 산소 소비량은 두 실험구에서 111.1 mg O₂/kg fish/hr으로 나타났고, 1회와 2회 공급하였을 경우와 마찬가지로 최대 산소 소비량은 사료 공급후 30~50분 사이에 나타났다. Phillips et al. (1998)은 사료를 공급한 그 즉시부터 사육 탱크 내에 용존 산소량은 감소하기 시작한다고 보고하였다. 또한, 무지개송어를 대상으로 하여 사료 공급후 산소 소비량의 변화를 조사한 결과 사료 공급후 1시간 동안 최대값을 나타내었다고 보고하였다 (Brett and Zala, 1975). 그러나, 본 실험에서는 산소 소비량이 최대 값에 도달한 후 점차 감소하기 시작하여 3시간 이내에 사료 공급전의 상태로 돌아가는 것을 알 수 있다. 잉어 (*Cyprinus carpio*)의 경우 사료 공급후 2.5~6시간째에 최고치에 이르렀다 (Chakraborty et al., 1992). large mouth bass (*Micropterus salmoides lacepedes*)의 경우 사료 공급후 2시간째 (Tandler and Beamish, 1981), aholehole (*Kuhlia sandivicensis*)

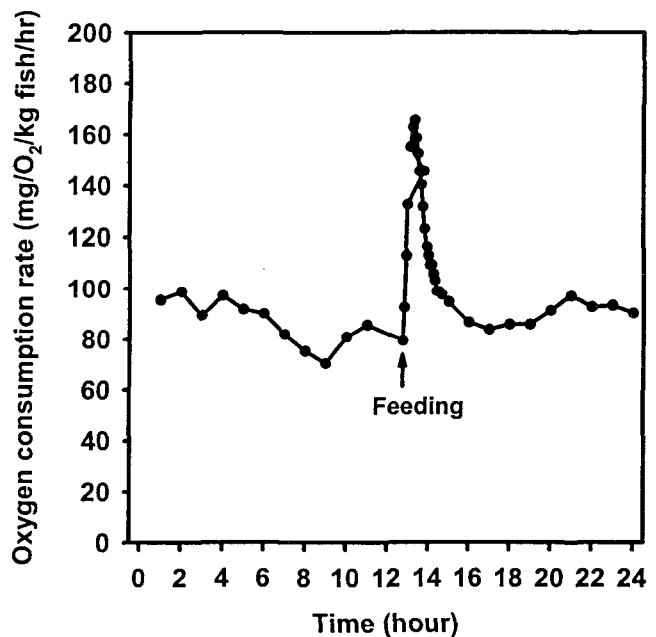


Fig. 2. Fluctuation of oxygen consumption rates of Nile tilapia, *O. niloticus*, in a recirculating culture system when the fish were fed once a day.

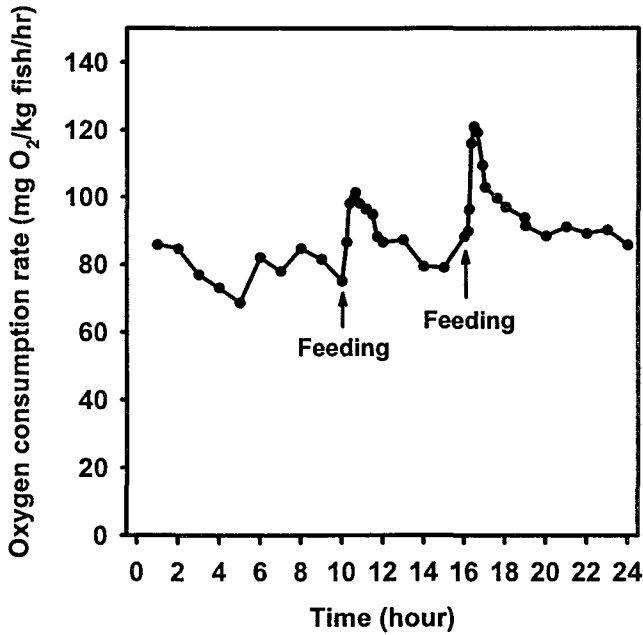


Fig. 3. Fluctuation of oxygen consumption rates of Nile tilapia, *O. niloticus*, in a recirculating culture system when the fish were fed twice a day.

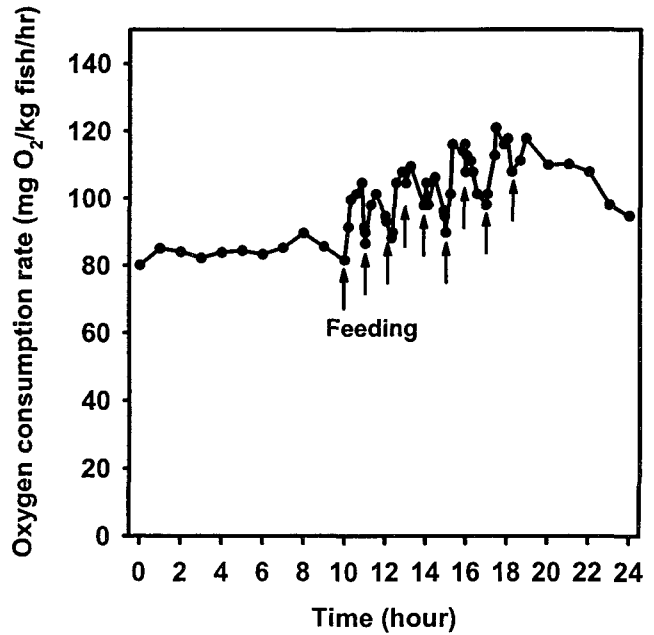


Fig. 5. Fluctuation of oxygen consumption rates of Nile tilapia, *O. niloticus*, in a recirculating culture system when the fish were fed 9 times a day.

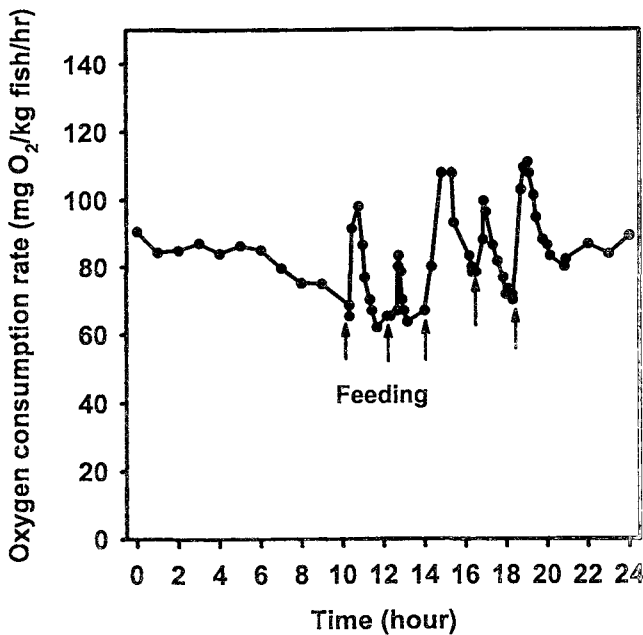


Fig. 4. Fluctuation of oxygen consumption rates of Nile tilapia, *O. niloticus*, in a recirculating culture system when the fish were fed 5 times a day.

는 10~12시간째에 최고치에 도달하였다고 한다 (Muir and Niimi, 1972). 사료 공급후 최고 산소 소비량에 도달하는 시간은 사료 공급량과 공급 조건에 따라서 달라진다는 몇몇 연구자의 의견 (Beamish, 1974; Jobling and Davies, 1980)과는 반대로 Muir and Niimi (1972)와 Vahl and Davenport (1979)는 산소 소비량과 사료 공급횟수와는 관련이 없다고 하였다. 본 실험에서도 공급 횟수

와는 상관없이 최대치에 이르는 시간은 모두 사료 공급후 30~50 분 이내인 것으로 나타났으며, 최대 산소 소비량은 2회, 5회 및 9회 공급에서 보다 사료를 1회 공급하였을 때 산소 소비량의 최대값이 가장 높았다 (Table 2).

산소 소비량의 증가는 소화관에서 음식물의 이동, 소화 흡수와 섭취된 사료와 관련된 후기 흡수 대사 과정에서 발생하는 에너지와 관련이 있다 (Hepher, 1988). 사료 공급후의 산소 소비량은 절식 상태에서 보다 70.7~98.0 mg O₂/kg fish/hr까지 증가하는 것으로 나타나 절식 상태에서 보다 약 50% 이상 산소 소비량이 증가하는 것으로 나타났다. Blue gill (*Lepomis macrochirus*)에서도 사료 공급후 48 시간동안 산소 소비량은 사료 공급 전의 기본 값보다 평균 57% 증가하는 것으로 보고하여 (Schalles and Wissing, 1976) 본 실험의 결과와 비슷한 경향을 보였다.

요 약

상업적 규모의 순환여과식 탱크에서 사료 공급 횟수에 따른 산소 소비량의 변화를 조사하였다. 실험에 이용된 사육 장치는 순환여과식 시설내의 원형 콘크리트 탱크 (직경 270 cm, 높이 80 cm)를 이용하여 평균 체중 400 g의 나일틸라피아 (*Oreochromis niloticus*)를 390 kg 방양하여 실험에 이용하였다. 우선 3일간 사육 어류를 절식시킨 후 기초대사율을 측정하였고, 사료 공급 횟수를 1회, 2회, 5회 그리고 9회로 나누어 공급한 후 산소 소비량의 일간 변화를 측정하였다.

절식 상태에서 산소 소비량 (기초대사율)은 평균 39.1 ± 4.4 mg O₂/kg fish/hr이었고 사료 공급횟수에 따른 1일 평균 산소 소비량은 1회, 2회, 5회 및 9회 공급시 각각 79.9 ± 21.5, 81.3 ± 14.8, 84.2

± 9.9 및 98.9 ± 11.0 mg O₂/kg fish/hr을 소비하는 것으로 나타나 사료 공급 횟수가 증가함에 따라 평균 산소 소비량은 증가하였으나, 유의적인 차이는 나타나지 않았다. 사료 공급후 최대 산소 소비량에 도달하는 시간은 사료 공급후 30~50분으로 나타나 사료 공급 횟수와는 유의적인 상관 관계가 없는 것으로 나타났다. 사료 공급 횟수에 따른 산소 소비량의 최대치는 1회, 2회, 5회 및 9회 공급시에 각각 161.2, 123.4, 111.1 및 111.1 mg O₂/kg fish/hr을 소비하는 것으로 나타나 하루에 1회 공급하였을 때 최대 산소 소비량이 가장 높은 것으로 나타났다.

사 사

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

참 고 문 헌

- Ahmed, D.N. and A.M.A. Magid. 1968. Oxygen consumption in *Tilapia nilotica* (L.). *Hydrobiology*. 33, 513~553.
- Avnimelech, Y., N. Mozes and B. Weber. 1992. Effects of Aeration and mixing on nitrogen and organic matter transformations in simulated fish ponds. *Aquacul. Eng.* 11, 157~169.
- Beamish, F.W.H. 1974. Apparent SDA of large mouth bass, *Micropterus salmoides*. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 31, 1763~1769.
- Berg, A., A. Danielsberg, A. Seland and T. Sigholt. 1993. Oxygen demand for postsmolt atlantic salmon. *Fish Farming Technology*. 297~300.
- Bergheim, A., O.I. Forsberg and S. Sanni. 1983. Biological basis for landbased farming of atlantic salmon: Oxygen consumption. *Fish Farming Technology*, 289~295.
- Brett, J.R. and C.A. Zala. 1975. Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) under controlled conditions. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 32, 2479~2486.
- Chakraborty, S.C., L.G. Ross and B. Ross. 1992. Specific dynamic action and feeding metabolism in common carp, *Cyprinus carpio* L. *Comp. Biochem. Physiol.* 103A, 809~815.
- 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.
- Hepher, B. 1988. *Nutrition of Pond Fishes*. Cambridge University Press, Cambridge. 388p.
- 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.
- Job, S.V., 1969. The respiratory metabolism of *Tilapia mossambica* (Teleostei). I. The effect of size, temperature and salinity. *Mar Biol.* 2, 121~126.
- Jobling, M. and S. Davies. 1980. Effects of feeding on a metabolic rate and the SDA in plaice, *Pleuronectes platessa*. *J. Fish. Biol.* 16, 629~638.
- Muir, B.S. and A.J. Niimi. 1972. Oxygen consumption of the euryhaline fish aholehole (*Kuhlia sandivicensis*) with reference to salinity, swimming, and food consumption. *J. Fish. Res. Bd. Can.* 29, 67~77.
- Phillips, T.A., R.C. Summerfelt, and R.D. Clayton. 1998. Feeding frequency effects on water quality and growth of walleye fingerlings in intensive culture. *Prog. Fish-Cult.* 60, 1~8.
- Ross, L.G., R.W. McKinney, S.K. Cardwell, J.G. Fullarton, S.E.J. Roberts and B. Ross. 1992. The Effects of dietary protein content, lipid content and ration level on oxygen consumption and specific dynamic action in *Oreochromis niloticus* L. *Comp. Biochem. Physiol.* 103A, 573~578.
- Ross, L.G. and R.W. McKinney. 1988. Respiratory cycles in *Oreochromis niloticus* (L.), measured using a six-channel microcomputer-operated respirometer. *Comp. Biochem. Physiol.* 89A, 637~643.
- Sampath, K. 1984. Preliminary report on the effects of feeding frequency in *Channa striatus*. *Aquaculture*. 40, 301~306.
- Savitz, J. 1971. Nitrogen excretion and protein consumption of the bluegill sunfish (*Lepomis macrochirus*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 28, 449~451.
- Schalles, J.F. and T.E. Wissing. 1976. Effects of dry pellet diets on the metabolic rates of bluegill (*Lepomis macrochirus*). *J. Fish. Res. Bd. Can.* 33, 2443~2449.
- Tandler, A. and F.W.H. Beamish. 1981. Apparent specific dynamic action (SDA), fish weight and level of caloric intake in large-mouth bass, *Micropterus salmoides lacepedes*. *Aquaculture*. 23, 231~242.
- Thomassen, J.M. and S.O. Fjaera. 1996. Studies of feeding frequency for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquacul. Eng.* 15, 149~157.
- Timmons, M.B. and T.M. Losordo. 1994. *Aquaculture water reuse systems: Engineering design and management*. ELSEVIER SCIENCE B. V. p333.
- Vahl, O. and J. Davenport, 1979. Apparent specific dynamic action of food in the fish *Blennius pholis*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1, 109~113.
- Van Dam, A.A. and D. Pauly. 1995. Simulation of the effects of oxygen on food consumption and growth of the Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Aquacul. Res.* 26, 427~440.
- Wagner, E.J., S.A. Miller and T. Bosakowski. 1995. Ammonia excretion by rainbow trout over a 24-hour period at two densities during oxygen injection. *Progressive Fish-Cult.* 57, 199~205.
- Yager, T.K. and R.C. Summerfelt. 1993. Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. *Aquacul. Eng.* 12, 19~36.
- Yamamoto, K.-I. and O. Hirano. 1988. Changes of oxygen consumption in rose bitterling, field gudgeon, common minnow, dark chub and common carp under progressive hypoxia. *Suisanzoshoku*. 36, 45~48.
- Yamamoto, K.-I., T. Hironaka, H. Yamashita and K. Wataishi. 1990. Changes of oxygen consumption in yellowtail, saddled weever, scorpion-fish, richardson dragonet and tiger puffer under progressive hypoxia. *Suisanzoshoku*. 38, 35~39.
- 山元憲一・高殿俊行. 1985. 低酸素下におけるウナギ, ドジョウ, ティラピア, アユの酸素消費量の變化. *水産増殖*. 33, 103~107.
- 板澤靖男. 1991. 呼吸. In. *魚類生理學*. 板澤靖男・羽生功 (eds.) 恒星社厚生閣, 東京. pp.1~34.

1998년 8월 24일 접수

1999년 2월 13일 수리