

## 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향

오승용\*, 조재윤<sup>1</sup>

한국해양연구원 해양생물자원연구본부, 부경대학교 양식학과

### Effects of Body Weight and Dietary Protein Level on Ammonia Excretion by the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*

Sung-Yong Oh\* and Jae-Yoon Jo<sup>1</sup>

\*Marine Living Resources Research Division, Korea Ocean Research &  
Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

<sup>1</sup>Department of Aquaculture, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Ammonia is the major limiting factor in intensive aquaculture production systems. Therefore, quantification of ammonia excretion is important for the water quality management in aquaculture systems. Ammonia excretion is known to be affected by many factors such as body weight and dietary protein level (DPL). In this study, experiments were carried out to investigate the effects of body weight and DPLs on the rates of ammonia excretion of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. Three sizes of fishes (mean initial weight; 4.8 g, 42.7 g and 176.8 g) were fed each of two dietary protein levels (30.5% and 35.5%). Daily feeding levels for the three fish sizes of 4.8 g, 42.7 g and 176.8 g were 6%, 3%, and 1.5% body weight per day, respectively. Each group of fish was stocked in a 17.1-L aquarium and all treatments were triplicated. Following feeding, the weight-specific ammonia excretion rate of *O. niloticus* increased, peaked at 4 to 8 h, and returned to pre-feeding levels within 24 h. Total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate per unit weight decreased with the increase of fish weight for each diet ( $P < 0.05$ ). The TAN excretion rate increased with increasing dietary protein content for each fish size ( $P < 0.05$ ). TAN excretion rates (Y) for each diet with different fish weights were described by the following equations: low DPL diet (30.5%):  $Y (\text{mg kg}^{-1} \text{d}^{-1}) = 955.69 - 147.12 \ln X$  ( $r^2 = 0.95$ ), high DPL diet (35.5%):  $Y (\text{mg kg}^{-1} \text{d}^{-1}) = 1362.41 - 209.79 \ln X$  ( $r^2 = 0.99$ ). Where: X=body weight (g wet wt.). The TAN excretion rates ranged 28.5%-37.1% of the total nitrogen ingested for the low DPL diet (30.5%) and 37.4-38.5% for the high DPL diet (35.5%). Total nitrogen losses of fish fed the high DPL diet (35.5%;  $0.26 \sim 0.91 \text{ g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) were higher than those fed the low DPL diet (30.5%;  $0.22 \sim 0.68 \text{ g kg}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). The losses decreased per kg of fish as fish size increased. Results will provide valuable information for water quality management and culture of Nile tilapia in recirculating aquaculture systems.

**Keywords:** *Oreochromis niloticus*, Excretion, Nitrogen, Size, Protein

## 서론

순환여과식 양식 방법은 효율적으로 물을 이용하며 주위 기 후 조건에 영향을 받지 않고 배출수를 줄일 수 있는 장점이 있지만 높은 생산비용과 숙련된 운영 기술이 문제점으로 대두되고 있다(Chen et al., 1993). 따라서 순환여과식 사육 시설이 상업적으로 경쟁력을 가지기 위해서는 효과적인 수처리 과정의 개발이 중요하며, 이를 통한 효율적인 운영이 필수적이다. 이를 위해서는 순환여과식 사육 시설에서 발생하는 사육수의 특성, 즉

어류 대사작용에 의해 발생하는 대표적 오염물인 암모니아와 같은 주요 노폐물에 대한 자료가 요구된다.

암모니아는 어류에게 독성을 띠며 집약적 양식 시설에서 어류 생체량과 방양밀도를 제한하는 주요 인자로 고려된다(Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992). 또한 국부적인 부영영화를 초래하여 어류 폐사를 일으킬 수 있는(Skjoldal and Dundas, 1989; Pillay, 1992) 조류의 증식을 조장한다(Gowen and Bradbury, 1987). 암모니아 배설량의 정량화는 사육 시설 내 최대 방양량/밀도, 유량 그리고 생물여과조의 크기를 추정하는데 중요하며(Paulson, 1980; Porter et al., 1987; Forsberg and Summerfelt, 1992; Wu, 1995), 사육에 따른 환경

\*Corresponding author: syoh@kordi.re.kr

적 영향을 평가하거나(Wu, 1995; Dosdat et al., 1996) 어류 수송시 부하 밀도를 계산하는데(Froese, 1988) 필수적이다. 이와 같은 어류의 암모니아 배설은 체중과 사료 내 단백질 함량(Jobling, 1981; Handy and Poxton, 1993; Yager and Summerfelt, 1993) 등에 따라 영향을 받으며, 많은 온수성 어류 중에 대해 먹이 섭취 후의 질소 배설에 관해 연구되어(Carter and Brafield, 1992; Gershanovich and Pototskij, 1992; Echevarria et al., 1993; Kikuchi, 1995) 왔다. 그러나 이들 인자들에 의한 어류의 암모니아 배설 경향 및 배설량, 특히 실제 사료 공급이 이루어지는 동안 시스템 내 가해지는 암모니아 부하량에 대한 정량화 정보는 극히 드물다.

따라서 본 실험에서는 전 세계적으로 주요 양식 대상종인 나일틸라피아를 대상으로 어체 크기와 사료 내 단백질 함량에 따른 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설 경향과 배설량을 조사하였으며, 이를 토대로 시스템 내 부하되는 TAN 부하량을 산정하여 순환여과식 양식 시스템 내 수질관리 및 사육방법 개발을 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

**재료 및 방법**

**실험어**

실험어는 부경대학교 부속어장의 순환여과식 사육 시설 내에서 고밀도로 사육 중이던 나일틸라피아(*Oreochromis niloticus*) 치어와 미성어를 사용하였다. 실험에 사용하기 10일전 미리 선별, 수용한 뒤 실험 사료로 예비 사육하여 순치시킨 다음 본 실험 시작 전 2일간 절식시킨 후 각 실험 수조에 무작위로 수용하였다. 실험 시작 시 체중이 각각 4.8±0.1 g (mean±SD), 42.7±0.4 g 그리고 176.8±0.7 g의 나일틸라피아를 각각 30마리, 10마리 그리고 5마리씩 3반복 수용하여 실험에 이용하였다. 실험 2주 후 실험어의 어체중은 각각 8.2±0.6 g, 51.7±1.4 g 그리고 188.1±5.8 g이었다. 실험 기간 동안 수온은 28±0.1°C를 유지하였으며, 용존산소는 실험 수조 내 에어레이션을 통해 5.7±0.2 mg/L로 유지하였다.

**실험사료 및 공급**

실험 사료의 조성표와 일반성분은 Table 1에 나타내었으며, 일반적으로 틸라피아의 성장 단계별로 필요한 조단백질 함량인 30.5%와 35.5%의 사료를 제조하여 실험에 이용하였다. 실험 사료원으로는 실제 상품 사료에 주로 사용되는 백색어분, 대두분, 콘글루텐, 밀가루, 오징어 간유(squid liver oil)를 사용하였으며, 종합 비타민과 종합 미네랄을 혼합하여 제조하였다. 실험 어류의 구경에 맞게 2, 3 및 4 mm 펠릿으로 성형한 후 건조시킨 다음, 망으로 고르게 된 후 밀봉하여 -30°C 초저온 냉동기(Forma Scientific model 8138)에 보관하면서 사용하였다.

세가지 크기의 나일틸라피아에 대한 사료 공급 방법은 Lovell (1989)의 방법에 따랐다. 평균 어체중이 각각 4.8 g, 42.7 g 그

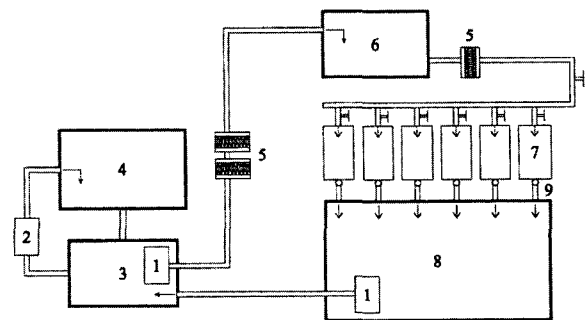
**Table 1.** Composition and proximate analysis of the experimental diets (% of dry matter basis)

	Diet I	Diet II
White Fish meal <sup>1</sup>	5.0	5.0
Wheat flour <sup>2</sup>	40.0	36.8
Soybean meal <sup>1</sup>	33.2	36.2
Corn gluten meal <sup>1</sup>	5.0	10.0
Squid liver oil <sup>3</sup>	2.3	2.5
Vitamin premix <sup>4</sup>	3.0	3.0
Mineral premix <sup>4</sup>	3.0	3.0
Cellulose	8.5	3.5
Proximate analysis		
Moisture	11.9	12.8
Crude protein	30.5	35.5
Crude fat	4.3	4.6
Crude ash	6.0	6.3
Gross energy (cal/g)	3950	3979

리고 176.8 g의 실험어에게 각각 어체중의 6%, 3%, 1.5% (습 중량 기준)에 해당하는 실험사료를 각각 일간 6회, 4회 그리고 3회 나누어 공급하였다. 모든 사료는 공급 시 전량이 섭취되어 먹이의 유실이 없도록 충분한 주의를 기울였으며, 08시부터 18시까지 사료 공급 회수에 따라 시간을 균등히 나누어 공급하였다.

**실험장치**

실험 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 소규모 순환여과식 사육 시설을 사용하였다. 시스템 내 TAN의 축적을 방지하기 위해 질산화 여과조인 회전원판식 여과조(Rotating Biological Contactor, RBC)를 사용하였고, 어류 분 및 다른 유기물에 의한 TAN 생성의 영향을 배제하기 위해 Oh et al. (2004)이 사용한 동일한 규격의 분 수집 장치인 TUF (Tokyo University of Fisheries) column system과 200 µm와 100 µm의 카트리지 필터(cartridge filter)를 설치하여 지속적으로 제거하였다. 어류 사



- 1. Submerged pump 2. Peristaltic pump 3. RBC reservoir
- 4. RBC 5. Cartridge filter 6. Head tank 7. Experimental chamber
- 8. Reservoir 9. TUF column

**Fig. 1.** Diagrammatic representation of the experimental system used.

육조로의 물 유입을 위한 head tank는 용적이 340 L인 원형 고무수조를 이용하였다. 어류 사육조는 가로 23 cm, 세로 39 cm, 높이 26 cm인 유리 수조를 사용하여, 실험 기간 동안 수량은  $17.1 \pm 0.1$  L, 유량은  $31.7 \pm 2.4$  L/h를 유지하였다. 분과 유기물이 잘 모이도록 하기 위해서 어류 사육조를 15° 정도의 경사를 주어 설치한 다음 어류를 사육하였다.

### 실험방법

각 크기의 나일틸라피아가 사육환경 조건에 대한 적응과 사료 섭취 및 배설에 대한 정상적인 리듬을 확보하기 위해 2주간 동일한 방법으로 사료 공급을 하였다. 사료 공급 14일째에 실험에 이용된 각 크기의 나일틸라피아가 대해 일간 사료 공급에 따른 24시간 동안의 TAN 배설을 조사하였다. TAN 배설은 24 시간동안 2시간 간격으로 어류 사육조의 유입수와 배출수를 채수하여 측정하였다. 나일틸라피아의 각 크기별 TAN 배설률은 Leung et al. (1999)이 보고한 방법과 같이 어류가 수용되지 않은 대조구와 연계하여 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{TAN 배설률}(\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}) = \{(C_0 - C_1)Q_1 - (C_2 - C_1)Q_2\} / W$$

여기서,  $C_1$ =유입수의 TAN 농도(mg/L)

$C_0$ =실험구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)

$C_2$ =대조구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)

$Q_1$ =실험 수조를 지나가는 시간당 유량(L/hr)

$Q_2$ =대조구를 지나가는 시간당 유량(L/hr),

$W$ =어체중(kg)

어류 무게는 마지막 샘플을 하고 난 뒤 측정을 하였으며, 수조 수량과 연계하여 사육밀도를 산정하였다. 위 식을 통해 계산된 TAN 배설률( $\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )을 시간에 대한 TAN 배설률로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 일간 TAN 배설률( $\text{mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ )을 추정하였으며, 이렇게 산정된 일간 TAN 배설률에 사육밀도를 곱하여 시스템 내 가해지는 TAN 부하량을 계산하였다.

### 분석방법

실험 사료의 수분은 상온 가열 건조법(105°C, 4시간)으로, 회분은 직접 회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법의 방법으로 측정하였고, 조단백질은 Kjeldahl법에 의한 질소 정량법( $N \times 6.25$ )으로 측정하였다(AOAC, 1990). 총에너지 측정은 시료 1 g을 취한 후 calorimeter (PARR 1261, USA)를 이용하여 측정하였다. 어류 사육조 유입수와 배출수의 TAN은 채수 직후 바로 측정하였으며, 분석은  $\text{NH}_3$  선택전극(Orion Research Inc., 9512BN)이 부착된 Ion meter (Orion Research Inc., Model 720A)를 이용하여 이온선택성 전극법(APHA, 1992)에 의해 분석하였다. 사육수 내 용존산소와 수온 측정은 DO meter (KRK, KDO-5151,

Japan)를 이용하였다.

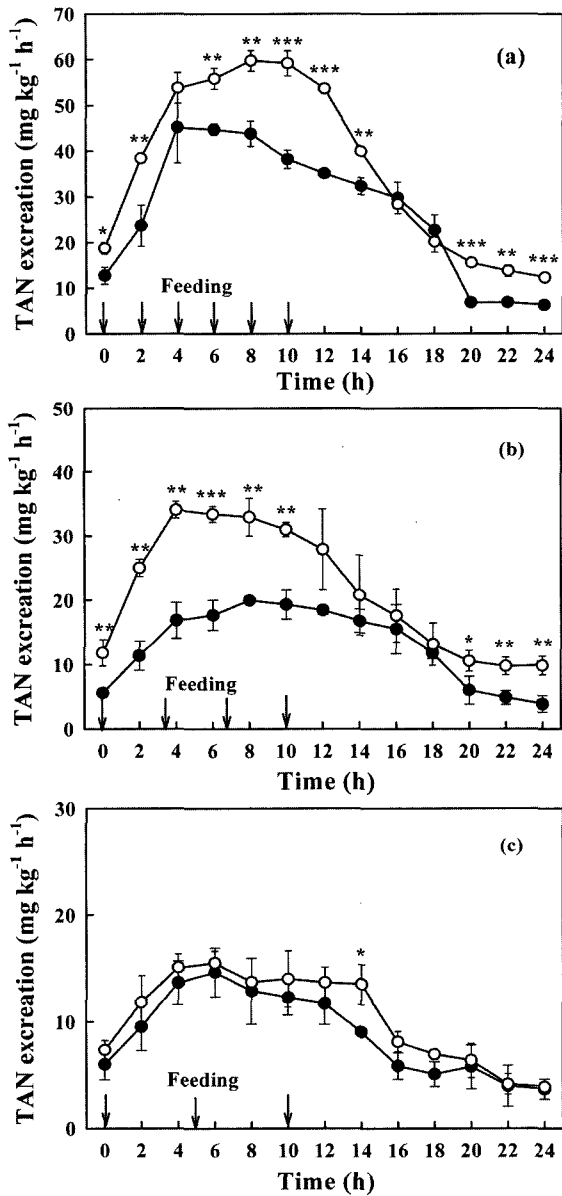
### 통계 처리

시간당 및 일간 TAN 배설률은 MINITAB 13 (Statistical Software, USA) 통계 프로그램으로 ANOVA를 실시하여 차이를 검정하였다( $P < 0.05$ ).

## 결 과

세 가지 크기의 나일틸라피아의 일간 사료 공급에 따른 시간당 TAN 배설률 조사 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 실험구에서 사료 공급과 동시에 TAN 배설량이 증가하는 것으로 나타났다. 평균 무게 8.2 g의 시간당 TAN 배설률은 단백질 함량 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 평균  $6.3 \sim 45.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 과  $12.3 \sim 59.8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  범위를 보였으며, 35.5% 실험구에서 대부분 유의적으로 높은 값을 보였다( $P < 0.05$ ). 최대 TAN 배설률은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 첫 번째 사료 공급 후 4시간과 8시간에 나타났으며 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 후 10시간 정도 경과한 시점에 처음의 배설률로 낮아졌다. 평균 무게 51.7 g의 시간당 TAN 배설률은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 평균  $3.9 \sim 20.0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 과  $9.9 \sim 34.1 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  범위를 보였으며, 평균 8.2 g 실험구와 마찬가지로 35.5% 실험구에서 대부분 유의적으로 높은 값을 보였다( $P < 0.05$ ). 최대 TAN 배설률은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 첫 번째 사료 공급 후 8시간과 4시간에 나타났으며, 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 후 10시간 정도 경과한 시점에 처음의 배설률로 낮아져 8.2 g 실험구와 유사한 경향을 보였다. 평균 무게 188.1 g의 시간당 TAN 배설률은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 평균  $3.7 \sim 14.6 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ 과  $3.9 \sim 15.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  범위를 보였다. 다른 실험구와는 달리 30.5%와 35.5% 실험구의 시간당 TAN 배설률은 첫 번째 사료 공급 14시간 후를 제외한 모든 TAN 배설률에 있어 유의적이지 않았다( $P > 0.05$ ). 최대 TAN 배설률은 두 실험구 모두에서 사료 공급 후 6시간에서 나타났으며, 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 후 8시간 정도 경과한 시점에 처음의 배설률로 낮아졌다.

각 실험구의 시간당 TAN 배설률을 적분한 결과 나타난 일간 TAN 배설률은 어체중이 감소할수록 단백질 함량이 높을수록 증가하는 것으로 나타나 어체중과 사료 내 단백질 함량에 따른 유의적인 상관관계를 보였다(Table 2, Fig. 3). 평균 무게 8.2 g의 일간 TAN 배설률은 단백질 함량 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각  $676.2 \pm 41.4 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  와  $908.4 \pm 20.5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  이었으며, 평균 무게 51.7 g 실험구에서는 각각  $327.1 \pm 30.0 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  와  $533.6 \pm 50.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  으로 나타나 35.5% 실험구가 유의적으로 높은 값을 보였다( $P < 0.01$ ). 그러나 평균 무게 188.1 g 실험구의 경우 각각  $218.2 \pm 38.3 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  와  $258.9 \pm 8.8 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$  으로 나타나 35.5% 실험구가 높은 일간 TAN

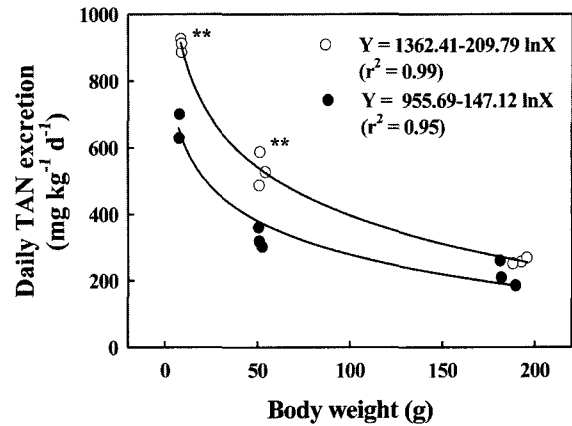


**Fig. 2.** Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of *O. niloticus*, average weight of 8.2 g (a), 51.7 g (b) and 188.1 g (c), respectively. The fish were fed diets containing either 30.5% (filled circles) or 35.5% (open circles) protein, 6 times (a), 4 times (b) and 3 times (c) a day, respectively. Values are mean±SD (n=3). Asterisks indicate the significance levels (\*: P<0.05, \*\*: P<0.01 and \*\*\*: P<0.001).

**Table 2.** Results of two-way ANOVA on the effects of body weight and dietary protein level (DPL) on the daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rates of *O. niloticus*

Source of variation	d.f.	SS	MS	F
Fish weight	2	948721	474360	400.43***
DPL	1	114914	114914	97.00***
Fish weight×DPL	2	32425	16213	13.69**

Asterisks indicate the significance levels of the effects (\*\*: P<0.01 and \*\*\*: P<0.001).



**Fig. 3.** Relationship between daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate and body weight for *O. niloticus* fed diets containing either 30.5% (filled bars) or 35.5% (open bars) protein. Significantly different means are indicated by asterisk (\*\*: P<0.01).

배설률을 보였으나, 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 이상의 결과에서 단백질 함량이 다른 사료(30.5%, 35.5%) 공급과 어체중(X: g)에 따른 나일틸라피아의 일간 TAN 배설식(Y: mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>)은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 Y=955.69-147.12 lnX (r<sup>2</sup>=0.95)와 Y=1362.41-209.79 lnX (r<sup>2</sup>=0.99)으로 나타났다.

위의 실험 결과 나일틸라피아의 성장 단계별로 사료를 통하여 섭취한 질소에 대해 총암모니아성 질소로 배설, 손실되는 질소와 시스템 내 부하되는 TAN 부하율을 Table 3에 나타내었다. 평균 무게 8.2 g의 나일틸라피아의 경우 단백질 함량 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 섭취된 질소의 29.0±1.9%와 37.4±0.6%가 TAN으로 손실되었으며(P<0.01), 시스템 내 TAN 부하율은 각각 9.1±0.5 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>와 13.9±0.2 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>로 35.5% 실험구에서 유의적으로 높은 부하율을 보였다(P<0.001). 평균 무게 51.7 g의 경우 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 섭취된 질소의 28.5±3.1%와 38.5±2.7%가 TAN으로 손실되었으며(P<0.05), 시스템 내 TAN 부하율은 각각 9.8±0.7 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>와 16.3±1.7 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>로 역시 35.5% 실험구에서 유의적으로 높은 값을 보였다(P<0.01). 평균 무게 188.1 g의 경우 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각 섭취된 질소의 37.1±9.7%와 38.3±3.1%가 TAN으로 손실되었으며, 시스템 내 TAN 부하율은 각각 11.7±1.9 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>와 14.4±0.8 g m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>로 35.5% 실험구가 높았지만 유의적인 차이를 보이지 않았다(P>0.05).

### 고찰

어류의 식후 TAN 배설률은 사료를 먹은 후 즉각적으로 증가하며 그 양의 정도와 시간은 어류의 크기, 섭취한 양 그리고 수온에 따라 달라진다(Kaushik, 1980). 단백질 함량이 각각 30.5%와 35.5%인 사료를 세가지 크기의 나일틸라피아에게 공급한

**Table 3.** Results of nitrogen intake, total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of three different size groups of *O. niloticus* fed two different protein level diets (30.5%, 35.5%), and resulting TAN loading rate in the water. Values are mean±SD (n=3)

Average fish weight	Dietary protein level	Intake N	TAN excretion	TAN loss	Culture density	TAN loading rate
g	%	mg kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	% N intake	kg m <sup>-3</sup>	g m <sup>-3</sup> d <sup>-1</sup>
8.2±0.6	30.5	2332.0±29.6	676.2±41.4	29.0±1.9	13.4±0.1	9.1±0.5
	35.5	2426.6±66.6	908.4±20.5**	37.4±0.6**	15.3±0.4	13.9±0.2***
51.7±1.4	30.5	1148.9±38.5	327.1±30.0	28.5±3.1	30.0±0.6	9.8±0.7
	35.5	1384.9±98.4	533.6±50.3**	38.5±2.7*	30.5±1.1	16.3±1.7**
188.1±5.8	30.5	597.6±62.3	218.2±38.3	37.1±9.7	53.8±1.4	11.7±1.9
	35.5	679.7±65.6	258.9±8.8	38.3±3.1	56.2±1.1	14.4±0.8

Significantly different means, within each column, are indicated by asterisk (\*: P<0.05, \*\*: P<0.01 and \*\*\*: P<0.001).

결과 모든 크기의 나일틸라피아에서 사료 공급 즉시 TAN 배설률이 증가하여 사료 공급이 이루어지는 낮 동안 지속적으로 높은 TAN 배설률을 보였으며, 첫 사료 공급 후 4~8시간이 경과한 정오(12:00)에서 오후 4시(16:00) 사이에 최고 배설률에 도달하였다. Oh (2004)는 참돔 치어(평균 체중 17.1 g)를 대상으로 23.0°C에서 어체중의 3%를 4시간 간격으로 3회에 걸쳐 사료를 공급하였을 때 TAN 배설률은 첫 사료 공급 후부터 4시간 경과사까지 급격히 증가하였으며, 이후에도 사료 공급이 이루어지는 낮동안 지속적으로 상승하여 첫 사료 공급 후 8시간 경과시 최대 peak에 도달하여 본 연구 결과와 유사하였다. Dosdat et al. (1996)은 평균 체중 10 g과 100 g의 sea bass (*Dicentrarchus labrax*), sea bream (*Sparus auratus*), turbot (*Scophthalmus maximus*), brown trout (*Salmo trutta fario*) 그리고 무지개송어(*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 20.0°C에서 각각 어체중의 1.5%를 하루 두 번(10:00, 16:30), 어체중의 0.5%를 하루 한번(10:00) 공급하였을 때, 평균 체중 10 g의 경우 사료 공급 3~5 시간 후, 100 g의 경우 5~8시간 후 최대 배설률에 도달하는 것으로 나타났다. 또한 평균 체중 34.8~207.9 g의 milkfish (*Chanos chanos* Forsskal)를 대상으로 26~28°C 범위에서 어체중의 0.9~3.9%의 사료를 공급하였을 때 사료 공급 6시간 후 최대 TAN 배설률에 도달한 보고(Sumagaysay, 2003)가 있으며, red drum (*Sciaenops ocellatus*)은 사료 공급 6~8시간 후(McGoogan and Gatlin, 1999), mangrove snapper (*Lutjanus argentimaculatus*)는 6~12시간 후(Leung et al., 1999) 최대 TAN 배설률에 도달하였다. 이와 같은 결과에서 사료 공급 후 TAN 최대 배설률과 이에 다다른 소요 시간은 어종, 수온, 사료 공급 방법의 차이와 섭취된 질소의 양 그리고 크기 등에 의한 차이에서 연유된 것으로 사료된다. 그리고 최초 사료 공급 후 약 20~21시간 경과 후 TAN 배설률은 초기 농도로 회복된 결과는 Oh et al. (2004)과 Dosdat et al. (1999) 결과와 일치하였으며, 대사율에 차이가 있는 소형어와 대형어 사이에서 동일한 패턴을 보인 가장 큰 요인은 Leung et al. (1999)이 제안한 바와 같이 대사율의 제한요소인 수온의 차이가 없었기 때문으로 생각된다.

모든 경골어류에 있어 TAN 배설률은 사료 내 단백질 섭취

와 직접적인 상관관계를 가지며, 양적·질적으로 어류의 질소성 노폐물 생성에 영향을 미치는 주된 인자이다(Kaushik, 1980; Jobling, 1981). 본 실험 결과 단백질 함량이 높은 사료 공급에 따라 어류 크기에 상관없이 TAN 배설률이 높아지는 결과는 이전의 연구자들의 결과와 일치하였다(Brunty et al., 1997; Cai et al., 1996). 일반적으로 사료 내 단백질 함량이 증가하면 어류 내 질소 함유량도 증가하지만(Rychly, 1980), TAN 배설률 역시 증가한다(Beamish and Thomas, 1984). Brunty et al. (1997)도 역시 tilapia를 대상으로 사료 내 단백질 함량에 따른 암모니아 배설을 조사한 결과 단백질 함량이 높은 사료일수록 암모니아 배설률이 높아지는 결과를 얻어 본 실험 결과와 일치하였으며, 단백질 함량이 증가함에 따라 사료 내 질소 함유량이 증가하기 때문이라고 고찰하였다.

본 실험 결과 어체중 증가에 따라 TAN 배설률이 감소하는 것은 소형어가 대형어에 비해 단위 어체중 당 높은 대사율을 보이기 때문이다(Jobling, 1981; Handy and Poxton, 1993). 이와 같은 결과는 Porter et al. (1987)와 Kaushik and Cowey (1991)의 결과에서도 잘 나타나 있으며, 어체중 증가에 따른 사료 소비 감소 또한 TAN 배설률이 감소하는 요인(Sumagaysay, 2003)으로 작용한 것으로 생각된다. 본 실험에서 나타난 나일틸라피아의 일간 TAN 배설률은 크기와 사료 내 단백질 함량에 따라 218.2~908.4 mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>으로 나타났다. Shiau and Cheng (1999)은 3.2 g의 tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)를 대상으로 140.0~314.0 mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>의 일간 TAN 배설률을 보고하였고, Jobling (1981)은 3~90 g의 plaice (*Pleuronectes platessa*)를 대상으로 20.0°C에서 64.0~720.0 mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> 일간 TAN 배설률을 보고하였다. Porter et al.(1987)는 3~90 g의 gilthead seabream (*Sparus aurata*)를 대상으로 21.0~24.2°C에서 264.0~1032.0 mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>의 배설률을, Oh et al. (2004)은 17.1~21.5 g의 red sea bream (*Pagrus major*)를 대상으로 23.0°C에서 506.2~684.5 mg kg<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>의 일간 TAN 배설률을 보여 다른 연구자들과의 결과와 다소 차이를 보였으나, 이는 실험에 이용된 어종, 수온, 어체중, 사료량 및 조성, 사료 공급 방법 등의 차이에 의한 것으로 생각된다.

이와 같이 어류가 암모니아를 배설하는 것은 사료 중의 단백질에 포함된 질소를 체내 성장에 이용하고 난 나머지를 배설하는 것으로, 30.5% 실험구에서 나타난 TAN 배설률은 섭취된 질소의 28.5~37.1%의 범위를 보여 가장 큰 어류인 평균 무게 188.1 g의 배설 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 35.5% 실험구의 TAN 배설률은 섭취된 질소의 37.4~38.5%로 어류가 성장함에 따라 증가하는 경향이었으나 유의적인 차이는 보이지 않았다. 어류가 성장함에 따라 섭취된 질소에 대해 배설 비율이 높아지는 것은 체내 질소 이용률이 감소하기 때문으로(Jobling, 1981; Handy and Poxton, 1993), Begum et al. (1994)은 서로 다른 종의 어류 사이에, 그리고 같은 종 내에 있어서도 각각 다른 성장 단계에서 사료 내 단백질을 다르게 이용할 수 있어 모든 종과 모든 성장 단계에 따라서 사료 내 단백질 함량과 어류의 TAN 생성 사이의 관계는 달라진다고 보고한 바 있다. Dosdat et al. (1996) 역시 10 g과 100 g의 무지개송어를 대상으로 실험한 결과 섭취된 사료 내 질소에 대해 각각 32%와 37%의 TAN 배설률을 보여 어체중이 증가할수록 TAN 배설 비율이 높았다. 이밖에 Kaushik and Gomes (1988)는 무지개송어 150 g에게 51%의 단백질 함량의 사료를 어체중의 0.5%를 공급하였을 때 섭취된 질소의 42%를 암모니아로 배설한다고 보고하였으며, Beamish and Thomas (1984)는 49% 단백질 함량의 사료를 380 g의 무지개송어에게 어체중 0.5%로 공급하였을 때 섭취된 질소의 30~33%를 배설하는 것으로 보고하였다. 평균 무게 75 g의 sea bass를 대상으로 44~54% 조단백질 함량의 사료를 어체중의 1%를 공급하였을 때 사료의 질에 따라 섭취된 질소의 30~35%가 암모니아로 배설하는 것으로 보고하여(Ballestrazzi et al., 1994) 본 실험 결과와 유사한 배설 비율을 보였으나, 30 g의 sea bass를 대상으로 한 연구에서는 여러 비율로 사료를 공급하였을 때 56~70%의 더 높은 수치를 보고하였다(Spyridakis, 1989). 이 차이는 아마도 상이한 사료의 질과 먹이 공급 방법이 달랐기 때문으로 사료된다. Porter et al. (1987)은 3 g과 90 g의 sea bass를 대상으로 어체중의 2.0~2.5%와 1.4~2.0%의 사료를 공급한 결과 섭취된 질소의 35~37%가 TAN으로 배설되는 것으로 나타나 역시 본 연구 결과와 유사하였다.

본 실험 결과 TAN 배설에 따른 질소 손실은 30.5%와 35.5% 실험구에서 각각  $0.22\sim 0.68 \text{ g N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 과  $0.26\sim 0.91 \text{ g N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 으로 사료 내 단백질 함량이 높고 어체중이 감소할수록 증가하는 것으로 나타났으며,  $13.4\sim 56.2 \text{ kg m}^{-3}$ 의 사육밀도에서 질소 부하율은  $9.1\sim 16.3 \text{ g m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 으로 나타났다. Sumagaysay (2003)이 milkfish를 대상으로  $0.8\sim 1.5 \text{ kg m}^{-3}$ 의 사육밀도에서 보고한  $0.47\sim 0.48 \text{ g N kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 의 질소 손실과  $0.07\sim 0.33 \text{ g m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ 의 질소 부하율은 많은 차이를 보였지만, 이것은 어종과 실험이 이루어진 사육밀도의 차이에 의해서 나타난 것으로 생각된다. 본 실험 결과 시스템 내 가해지는 질소 부하율은 사료 공급량과 사료 내 단백질 함량, 사육밀도, 어체중 등에 따라서 달라지는 것으로 나타났으며, 이와 같은 자료는 실제 양식 현장

에서 나일틸라피아의 성장 단계별에 따른 암모니아 발생률 및 사육밀도, 사료 공급 비율을 산정하는데 이용할 수 있을 뿐만 아니라 시스템 내 이용되는 질산화 여과조 등의 설계에 기초 자료가 되며 양식 시스템 내 수질 관리 및 사육 관리에 큰 도움이 될 수 있으리라 생각된다.

## 요 약

암모니아는 양식 생산성을 제한하는 주요 인자로서 암모니아 배설의 정량화는 양식시스템 내 수질 관리를 위해 중요하다. 어류의 암모니아 배설은 체중과 사료 내 단백질 함량에 영향을 받는 것으로 알려져 있으며, 본 실험에서는 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 체중과 사료 내 단백질 함량에 대한 영향을 조사하였다. 세가지 크기의 나일틸라피아, 초기 평균 무게가 4.8 g, 42.7 g, 그리고 176.8 g를 대상으로 두가지 단백질 함량(30.5%와 35.5%)의 사료를 각각 어체중의 6%, 3%, 그리고 1.5% 공급하였다. 각 실험어는 17.1 L 수조에 3반복 수용하여 실험을 수행하였다. 사료 공급 후 최대 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설률은 4~8 시간 사이에 나타났으며, 24시간 이내로 사료 공급 이전 농도로 회복되었다. TAN 배설률( $\text{mg kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )은 어류 무게가 증가할수록 감소하였으며, 사료 내 단백질 함량이 증가할수록 증가하였다( $P < 0.05$ ). 단백질 함량이 다른 두 가지 사료를 공급했을 때 나일틸라피아의 어체중(X, 습중량)에 따른 일간 TAN 배설식(Y,  $\text{mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ )은 다음과 같다. 저단백질(30.5%) 실험구(Y,  $\text{mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ )= $955.69 - 147.12 \ln X$  ( $r^2=0.95$ ), 고단백질(35.5%) 실험구(Y,  $\text{mg kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ )= $1362.41 - 209.79 \ln X$  ( $r^2=0.99$ ). 섭취된 질소에 대한 TAN 배설 비율은 저단백질(30.5%) 및 고단백질(35.5%) 실험구에서 각각 28.5~37.1%와 37.4~38.5%으로 나타났으며, 이에 따른 총 질소 손실은 각각  $0.22\sim 0.68 \text{ g kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 과  $0.26\sim 0.91 \text{ g kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ 으로 고단백질 실험구와 어체중이 감소할수록 높게 나타났다. 이와 같은 결과들은 순환여과식 나일틸라피아 양식장 내 수질 및 사육관리를 위한 중요한 자료가 될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 해양수산부의 연구용역 과제인 ‘통영해역의 바다 목장화 개발 연구’의 일부 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 그리고 실험 사료 제작에 협조해 주신 부경대학교 사료영양학 실험실 부원들에게 감사드립니다.

## 참고문헌

AOAC., 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1298 p.

- APHA, 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed., EPS Group, pp. 122-124.
- Ballestrazzi, R., D. Lanari, E. D'Agaro and A. Mion, 1994. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 127, 197-206.
- Beamish, F. W. H. and E. Thomas, 1984. Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 41, 359-371.
- Begum, N. N., S. C. Chakraborty and M. Zaher, 1994. Replacement of fishmeal by low-cost animal protein as a quality fish feed ingredient for Indian major carp *Labeo rohita* fingerlings. *Sci. Food Agricult.* 64, 191-197.
- Brunty, J. L., R. A. Bucklin, J. Davis, C. D. Baird and R. A. Nordstedt, 1997. The influence of feed protein intake on tilapia ammonia production. *Aquac. Eng.*, 16, 161-166.
- Cai, Y. J. and R. C. Summerfelt, 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion in wall-eye. *Aquaculture*, 104, 127-138.
- Cai, Y. J., J. Wermerskirchen and I. R. Adelman, 1996. Ammonia excretion rate indicates dietary protein adequacy for fish. *Prog. Fish-Cult.*, 58, 124-127.
- Carter, C. G and A. E. Brafield, 1992. The bioenergetics of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.): the influence of body weight, ration and dietary composition on nitrogenous excretion. *J. Fish Biol.*, 41, 533-543.
- Chen, S., M. B. Timmons, D. J. Aneshnasley and J. J. Bisogni, Jr., 1993. Suspended solids characteristics from recirculating aquacultural systems and design implications. *Aquaculture*, 112, 143-155.
- Choi, S. M., S. H. Ko, G. J. Park, S. R. Lim, G. Y. Yu, J. H. Lee and S. C. Bai, 2004. Utilization of song-gang stone as the dietary additive in juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J. Aquacult.* 17, 39-45.
- Dosdat, A., F. Servais, R. Metailler, C. Huelvan and E. Desbryeres, 1996. Comparison of nitrogen losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141, 107-127.
- Echevarria, G., N. Zarauz, J. Lopez-Ruiz and S. Zamora, 1993. Study of nitrogen excretion in the gilthead seabream (*Sparus aurata* L): Influence of nutritional state. *Comp. Biochem. Physiol.*, 105A, 17-19.
- Forsberg, J. A. and R. C. Summerfelt, 1992. Effects of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. *Aquaculture*, 102, 115-126.
- Froese, R., 1988. Relationship of body weight and loading densities in fish transport using the plastic bag method. *Aquacult. Fish. Manage.*, 19, 275-281.
- Gershanovich, A. D. and I. V. Pototskij, 1992. The peculiarities of nitrogen excretion in sturgeons (*Acipenser ruthenus*) (Pisces, Acipenseridae): I. The influence of ration size. *Comp. Biochem. Physiol.* 103A, 609-612.
- Gowen, R. J. and N. B. Bradbury, 1987. The ecological impact of salmonid farming in coastal waters: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Annual Review*, 25, 563-575.
- Handy, R. D. and M. G. Poxton, 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. *Rev. Fish Fish. Biol.* 3, 205-241.
- Jobling, M., 1981. Some effects of temperature, feeding and body weight on nitrogenous excretion in young plaice *Pleuronectes platessa* L. *J. Fish Biol.*, 18, 87-96.
- Kaushik S. J., 1980. Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in the carp (*Cyprinus carpio* L.) and the rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 1751-1765.
- Kaushik, S. J. and C. B. Cowey, 1991. Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish. In: C. B. Cowey and C. Y. Cho (ed.). *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*, pp. 37-50.
- Kaushik, S. J. and E. F. Gomes, 1988. Effect of frequency of feeding on nitrogen and energy balance in rainbow trout under maintenance conditions. *Aquaculture*, 73, 207-216.
- Kikuchi, K., 1995. Nitrogen excretion rate of Japanese flounder—a criterion for designing close circulating culture systems. *Bamidgeh*, 47, 112-118.
- Leung, K. M. Y., J. C. W. Chu, and R. S. S. Wu, 1999. Effects of body weight, water temperature and ration size on ammonia excretion by the areolated grouper (*Epinephelus areolatus*) and mangrove snapper (*Lutjanus argentimaculatus*). *Aquaculture*, 170, 215-227.
- Lovell, T., 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand Reinhold, New York, 260 pp.
- McGoogan, B. B. and D. M. III Gatlin, 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* I. Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture*, 333-348.
- Oh, S. Y., C. H. Noh, K. P. Hong and J. M. Kim, 2004. Total ammonia nitrogen excretion rates and feces production rates as an index for comparing efficiency of dietary protein utilization of offsprings from selected Korean strain, cultured Japanese strain and their intraspecific hybrid strain of juvenile red sea bream, *Pagrus major*. *Ocean Polar Res.*, 26, 415-423.
- Paulson, L. J., 1980. Models of ammonia excretion for brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Can. J. Fish. Aquacult. Sci.*, 37, 1421-1425.
- Porter, C. B., M. D. Krom, M. G. Robbins, L. Brickell and A. Davidson, 1987. Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66, 287-297.
- Pillay, T. V. R., 1992. *Aquaculture and the Environment*. Fishing News Books, Oxford, pp. 56-189.
- Rychly, J., 1980. Nitrogen balance in trout. II. Nitrogen excretion and retention after feeding with varying protein and carbohydrate levels. *Aquaculture*, 20, 343-350.
- Shiau, S. and D. Cheng, 1999. Ammonia excretion and oxygen consumption of tilapia are affected by different carbohydrate ingestion. *Fish. Sci.*, 65, 321-322.
- Skjoldal, H. R. and I. Dundas, 1989. The *Chrysochromulina polyepis* bloom in the Skagerrak and Kattegat in May-June 1988: environmental conditions, possible causes, and effects. *ICES Coop. Res. Rep.*, No. 175, 59 pp.

- Spyridakis, P., R. Metailler, J. Gabaudan and A. Riaza, 1989. Studies on nutrient digestibility in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). I. Methodological aspects concerning faeces collection. *Aquaculture*, 77, 61–70.
- Sumagaysay, N. S., 2003. Nitrogen and phosphorus digestibility and excretion of different-sized groups of milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) fed formulated and natural food-based diets. *Aquat. Res.*, 2003, 407–418.
- Wu, R. S. S., 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar. Poll. Bull.*, 31, 159–166.
- Yager, T. K. and R. C. Summerfelt, 1993. Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. *Aquac. Eng.*, 12, 19–36.
- 
- 원고접수 : 2005년 3월 10일  
수정본 수리 : 2005년 4월 7일