

강도다리 *Platichthys stellatus* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향

오승용* · 장요순 · 노충환¹ · 최희정 · 명정구 · 김종관

한국해양연구원 해양생물자원연구부, ¹한국해양연구원 동해특성연구부

Effect of Water Temperature on Ammonia Excretion of Juvenile Starry Flounder *Platichthys stellatus* by Sung-Yong Oh*, Yo-Soon Jang, Choong Hwan Noh¹, Hee Jung Choi, Jung-Goo Myoung and Chong-Kwan Kim (Marine Living Resources Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea; ¹East Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute, 695-1, Hujung-ri, Jukbyeon-myun, Uljin-gun, Gyeongbuk 767-813, Korea)

ABSTRACT The effect of water temperature on fasting and post-prandial total ammonia excretion (TAN) of the starry flounder *Platichthys stellatus* (mean body weigh : 42.4 ± 3.4 g) was studied. The fasting and post-prandial TAN excretions were measured under three different water temperatures (10, 15 and 20°C) for 24 hours using a recirculating system. In each treatment three replicates were set up and total 45 fish were used. Fish were taken to the indoor aquarium, acclimated over 10 days at three temperatures, and transferred to TAN measuring system for measurements of TAN excretion at the same temperatures. After 3 days of starvation, fasting TAN excretion was measured at each temperature. To investigate post-prandial TAN excretion, fish were hand-fed to satiation level with a commercial diet containing 50.2% crude protein for 7 days, two times daily 08:00 and 16:00 h. The fasting and post-prandial TAN excretion increased with increased water temperature ($p < 0.05$). Mean fasting TAN excretion rates at 10, 15 and 20°C were 10.9, 11.2 and 12.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹, respectively. The value at 20°C was higher than those at 10 and 15°C ($p < 0.05$), but there was no significant difference between 10°C and 15°C. Mean post-prandial TAN excretion rates at 10, 15 and 20°C were 33.0, 43.4 and 55.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹, respectively. Two peaks of post-prandial TAN excretions were observed, and the second peak was always greater than the first. The post-prandial TAN excretion rate reached to the maximum after 10 hours from the first feeding at 10°C (45.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), 15°C (64.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹) and 20°C (83.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), respectively. The TAN loss for ingested nitrogen at 20°C (48.8%) was higher than that for 10°C (43.0%) and 15°C (45.7%). This study provides empirical data for estimating ammonia excretion and managing culture management of starry flounder under given temperatures.

Key words : Starry flounder, *Platichthys stellatus*, ammonia excretion rate, water temperature, marine fish

서 론

해양 경골어류는 먹이 내 단백질을 효율적으로 이용하지 만 많은 부분을 에너지원으로 사용하기 때문에 상당한 양

의 질소 대사산물을 배설한다(Dosdat *et al.*, 1996). 어류의 질소 대사 작용의 최종 부산물은 암모니아로서, 총 질소 배설의 75~80%를 차지한다(Handy and Poxton, 1993; Leung *et al.*, 1999). 이와 같은 암모니아는 어류에게 독성을 띠며 사육수 중에 고농도일 경우 스트레스를 유발해 성장률을 떨어뜨리고(Meade, 1985), 사육 시스템 내 어류 생체량과 방향밀도를 제한하는 주요 인자로 간주되고 있다(Beamish

*교신저자: 오승용 Tel: 82-31-400-7728, Fax: 82-31-406-2882, E-mail: syoh@kordi.re.kr

and Tandler, 1990; Handy and Poxton, 1993). 따라서 암모니아 배설의 정량화는 어류를 건강하게 사육하기 위한 최대 사육밀도, 유량 그리고 수질 정화를 위한 생물여과조의 크기를 추정하는 데 필수적이며 (Porter *et al.*, 1987; Forsberg and Summerfelt, 1992; Wu, 1995), 환경적 영향과 어류의 단백질 대사에 관한 영양적 지표로 사용할 수 있다 (Jobling, 1981).

어류의 암모니아 배설은 크기, 수온, 섭취한 단백질의 양 등에 따라 달라지며 (Jobling, 1981; Beamish and Thomas, 1984; Cai and Summerfelt, 1992), 이 중 수온은 어류의 모든 생리적 대사 반응에 직접적인 영향을 미치는 대사조절인자 (Brett and Groves, 1979)로서, 단백질의 소화·흡수에 직접적으로 영향을 미친다 (Forsberg and Summerfelt, 1992; Kikuchi *et al.*, 1995).

동해안 특산종인 강도다리 *Platichthys stellatus*는 새로운 양식 대상종으로 산업적으로 가치가 높은 어종이다. 이제까지 강도다리에 관한 연구로는 정자의 냉동보존 효과 (임 등, 2006), 성성숙 (임 등, 2007) 그리고 산소 소비 (변 등, 2008) 등 번식 및 생리적 특성에 관한 초기 연구가 이루어지고 있지만, 암모니아 배설에 관한 연구는 없다.

따라서 본 연구는 강도다리의 안정적인 사육관리를 위한 기초 자료를 수집하기 위해 강도다리 치어를 대상으로 수온에 따른 질식 및 사료 섭취 후 총암모니아 질소 배설 경향과 배설량을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 순치

실험어는 강원도 속초 한국해양연구원 해양심층수센터에서 사육 중인 치어 (평균 무게 30.5 ± 1.4 g) 300마리를 사용하였다. 수온에 따른 강도다리의 암모니아 배설을 조사하기 위해 실험 전 400 L FRP 수조 2개와 침지식 생물여과조 ($1.0 \times 1.5 \times 2.0$ m, 3.0 ton)로 구성된 실내 순환여과식 시설에 옮겨 1주 동안 $10.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 조건에서 순치시켰다. 순치 기간 동안 시판용 해산어 상품사료 (E-hwa Feed Co., Korea, 단백질 함량 50.2%)를 일간 어체중의 0.5~0.1%를 공급하였으며, 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 조절하였다. 사육수 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였다. 순치 기간 동안 사육수의 pH는 8.1 ± 0.1 , 염분은 34.2 ± 0.9 psu를 유지하였다.

2. 실험 장치

강도다리 치어의 수온에 따른 총암모니아성 질소 (total ammonia nitrogen, TAN) 배설률을 조사하기 위해 어류 사

육조, 생물여과조 그리고 공급탱크와 저수탱크로 이루어진 오와 조 (2005)의 시스템을 수정하여 사용하였다. 시스템 내 TAN의 축적을 방지하기 위해 질산화 여과조인 회전원판식 여과조 (rotating biological contactor, RBC)를 사용하였고, 어류 사육조로의 물 유입을 위한 공급탱크는 용적이 340 L인 원형 고무수조를 이용하였다. 어류 사육조는 가로 23 cm, 세로 39 cm, 높이 26 cm인 유리수조를 사용하였으며, 실험 기간 동안 수량은 17.1 ± 0.1 L, 유량은 36.0 ± 0.3 L h⁻¹를 유지하였다. 분과 유기물이 잘 모이도록 하기 위해서 어류 사육조를 15° 정도의 경사를 주었으며, 모인 분과 유기물은 직경이 16 mm인 플라스틱 파이프를 이용해 배출하였다.

3. 실험 방법

각 실험 수온에 실험어의 순치는 200 L 유리수조 2개와 침지식 생물여과조 ($1.0 \times 1.2 \times 0.5$ m, 0.6 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 3 set에서 이루어졌다. 실내 수조에 순치된 강도다리 치어를 각 set별 유리수조마다 50마리씩, 총 6개의 유리수조에 분산 수용하였다. 실험 수온인 10°C, 15°C 그리고 20°C로 조절하기 위해 10°C 실험구 1 set를 제외하고 나머지 2 set의 순환여과식 시스템은 10°C로부터 3~6 일간에 걸쳐 서서히 높였다. 수온 조절이 이루어진 후 강도다리 치어는 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰으며, 순치 기간 중 사료는 하루에 어체중의 1.5~3.0% 비율로 하루에 두 번 (08:00, 16:00 h) 공급하였다.

순치된 강도다리는 2-phenoxyethanol (Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시켜 무게를 측정된 후 실험 수온이 유지되는 실험 장치 내 어류 사육조에 수용하였다. 운반 및 섭취한 사료 (즉, 단백질)의 영향을 배제한 TAN 배설을 측정하기 위해 72시간 절식한 후 24시간 동안 TAN 배설률을 조사하였다 (Leung *et al.*, 1999). 절식 시 TAN 배설률을 측정 후 다시 무게를 측정된 다음 사료 섭취에 따른 정상적인 TAN 배설 패턴을 확보하기 위해 실험 장치 내에서 7일간 하루에 두 번 (08:00, 16:00 h)으로 반복 사료 공급을 하였다. 사료 공급 8일째에 일간 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률을 24시간 동안 조사하였다. 실험에 이용된 강도다리 치어의 체중은 42.4 ± 3.4 g (평균 \pm S.D., 습중량)이었으며, 어류 사육조에 5마리씩, 3반복 수용하였다.

4. 암모니아 측정 및 자료 처리

강도다리 치어의 수온에 따른 절식 시 TAN 배설률은 어류 사육조 유입수와 배출수를 08:00시부터 2시간 간격으로 다음 날 02:00시까지 채수한 후 다시 6시간 후 (08:00 h) 채수하여 TAN 농도를 측정하여 구하였다. 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률은 사료 공급 직전 (08:00 h)에 채수한 후 절식 TAN 배설률 측정 방법과 동일한 방법으로

채수하여 TAN 농도를 측정하였다. 각 실험 조건의 TAN 배설률은 어류가 수용되지 않은 대조구와 연계하여 다음의 식을 이용하여 구하였다(Leung *et al.*, 1999). TAN 분석은 Strickland and Parsons (1972)의 방법에 따라 측정하였다.

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

- 여기서, C₁=유입수의 TAN 농도(mg/L)
- C₀=실험구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)
- C_C=대조구 수조 배출수의 TAN 농도(mg/L)
- Q₁=실험구를 지나가는 시간당 유량(L/hr)
- Q₂=대조구를 지나가는 시간당 유량(L/hr),
- W=어체중(kg)

위 식을 통해 계산된 TAN 배설률(mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 시간에 대한 TAN 배설률로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 일간 TAN 배설률(mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹)을 추정하였다.

모든 자료의 통계처리는 SPSS 11.5 (SPSS Inc., USA) 통계 프로그램을 이용하였다. 강도다리 치어의 TAN 배설률에 대한 수온의 영향은 분산분석(ANOVA)을 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

결 과

1. 절식에 따른 TAN 배설

강도다리 치어의 수온에 따른 절식 시 시간당 평균 TAN

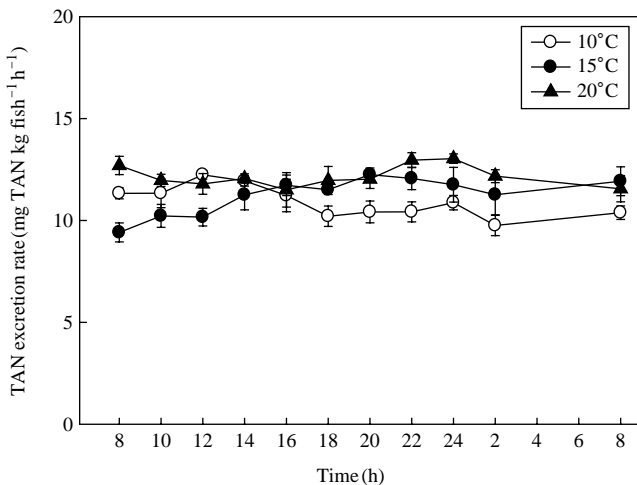


Fig. 1. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) rate of the fasted starry flounder *Platichthys stellatus* under three different water temperatures. Values represent mean ± S.E. (n=3).

배설률의 일간 패턴과 그 결과를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 절식 시 시간당 평균 TAN 배설률은 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 9.2~12.7 (10.9±0.2, mean±S.E.), 8.8~13.2 (11.2±0.2) 그리고 9.9~13.6 (12.2±0.51) mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 증가하였으며, 10°C와 15°C에 비해 20°C가 유의적으로 높았지만 (p<0.05), 10°C와 15°C간에는 차이가 없었다 (p>0.05). 시간당 TAN 배설률(Fig. 1)을 적분한 결과(Fig. 2)에서 일간 TAN 배설률은 각각 258.8±3.4, 272.1±7.6 그리고 290.6±9.6 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 20°C가 10°C에 비해 유의적으로 (p<0.05) 높았지만, 15°C와는 차이가 없었다 (p>0.05).

2. 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설

수온에 따른 강도다리 치어의 일간 사료 공급에 따른 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 일간 패턴과 그 결과를 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 수온 10, 15 그리고 20°C 모두에서 사료 공급과 동시에 TAN 배설량이 증가하였다. 수온

Table 1. Total ammonia nitrogen (TAN) excretion of the fasted starry flounder *Platichthys stellatus* under three different water temperatures

	Water temperature (°C)		
	10	15	20
TAN excretion rate* (mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹)	10.9±0.2 ^a	11.2±0.2 ^a	12.2±0.5 ^b

*Values (mean±S.E.) with different superscript are significantly different (p<0.05, n=33).

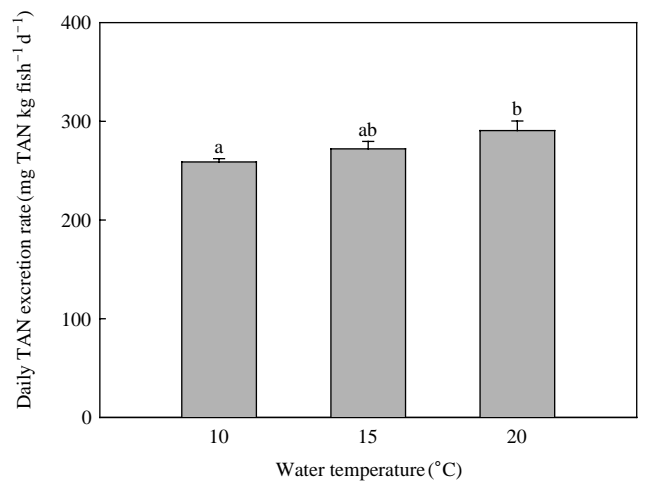


Fig. 2. Daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of the fasted starry flounder *Platichthys stellatus* under three different water temperatures. Values (mean±S.E.) with different letter are significantly different (n=3).

Table 2. Results of nitrogen (N) intake rate, total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate and TAN loss of starry flounder *Platichthys stellatus* fed a diet two times a day under three different water temperatures

Temp. °C	TAN excretion rate (n=33)	Daily intake N rate (n=3)	Daily TAN excretion rate (n=3)	TAN loss (n=3)
	mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹ *	mg N kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	mg TAN kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	%*
10	33.0 ± 1.5 ^a	1836.1 ± 57.4 ^a	788.9 ± 10.1 ^a	43.0 ± 0.8 ^a
15	43.4 ± 2.5 ^b	2252.4 ± 50.4 ^b	1027.7 ± 7.4 ^b	45.7 ± 0.7 ^a
20	55.3 ± 2.5 ^c	2676.5 ± 81.6 ^c	1304.8 ± 18.7 ^c	48.8 ± 0.9 ^b

*Values (mean ± S.E.) with different superscript in same column are significantly different ($p < 0.05$).

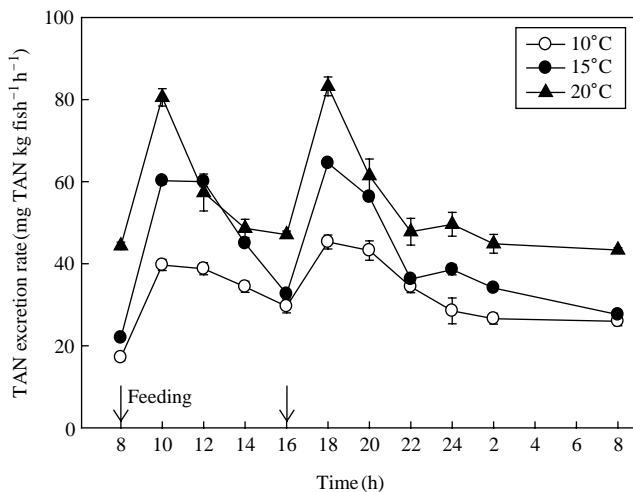


Fig. 3. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of starry flounder *Platichthys stellatus* under three different water temperatures. Fish were fed a diet two times (08:00 and 16:00 h) a day. Values represent mean ± S.E. (n=3).

10°C의 경우 사료 공급(어체중의 2.2%)에 따른 식후 시간당 TAN 배설률은 15.6~48.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위였으며 평균 33.0 ± 1.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타났다. 첫 번째 사료 공급이 이루어진 08:00시부터 TAN 배설률은 증가하기 시작해 공급 2시간(즉, 10:00 h) 후에 첫 번째 peak 값(평균 39.7 ± 2.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 TAN 배설률은 감소하였다가 두 번째(즉, 16:00 h) 사료 공급이 이루어진 2시간(즉, 18:00 h) 후에 두 번째 peak 값(평균 45.3 ± 1.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 16시간 후에는 처음의 배설률로 낮아졌다. 수온 15°C와 20°C의 경우 사료 공급에 따른 식후 시간당 TAN 배설률은 각각 21.3~65.5와 41.0~87.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위를 보였으며, 평균 TAN 배설률은 각각 43.4 ± 2.5와 55.3 ± 2.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$, Table 2). 수온 15°C(어체중의 2.7%)와 20°C(어체중의 3.2%)에서 사료 공급에 따른 식후 일간 TAN 배설 패턴은 수온 10°C와 동일하게 사료 공급과 동시에 증가하기 시작해

사료 공급(즉, 08:00, 16:00 h)이 이루어진 2시간 후(즉, 10:00, 18:00 h)에 peak 값을 보였다. 수온 15°C의 첫 번째와 두 번째 peak 값은 각각 평균 60.2 ± 0.9와 64.5 ± 0.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 수온 20°C에서의 peak 값은 각각 평균 80.5 ± 2.1와 83.2 ± 2.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타났다. 이상의 결과에서 수온 10, 15 그리고 20°C 모두 두 번의 사료 공급에 따라 두 번의 TAN 배설률 peak를 보였고 첫 번째보다 두 번째 peak 값이 높게 나타났으며, 수온 상승에 따라 TAN 배설률은 유의적으로 증가하였다.

사료를 통하여 섭취한 질소는 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 1836.1 ± 57.4, 2252.4 ± 50.4 그리고 2676.5 ± 81.6 mg N kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). 사료 공급에 따른 식후 시간당 TAN 배설률을 적분한 결과 일간 TAN 배설률은 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 788.9 ± 10.1, 1027.7 ± 7.4 그리고 1304.8 ± 18.7 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$, Table 2). 섭취한 질소에 대해 TAN으로 배설, 손실되는 질소는 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 43.0 ± 0.8, 45.7 ± 0.7 그리고 48.8 ± 0.9%로 나타나 10°C와 15°C에 비해 20°C의 손실 비율이 유의적으로 높았으며($p < 0.05$), 10°C와 15°C의 손실 비율은 차이가 없었다.

고 찰

본 실험에서 수온은 강도다리 치어의 절식과 사료 공급에 따른 TAN 배설에 직접적인 영향을 미쳤으며, 타 연구 결과들과 일치하였다(Cui and Wootton, 1988; Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992; Tanaka and Kadowaki, 1995; Leung *et al.*, 1999). 절식에 따른 TAN 배설은 어류 체단백질의 이화작용(catabolism)과 대사회전(turnover)의 결과로서(Storer, 1967; Jobling, 1981) 절식 기간과 수온에 따라 다양하게 나타난다. Iwata(1970)는 2g의 금붕어(*Carassius auratus*)를 대상으로 20°C 조건에서 7일간 절식한 결과 3.75 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹을 보고하였고, Forsberg and Summerfelt(1992)는 4.5 g과 5.2 g의 walleye(*Sti-*

zostedion vitreum vitreum)를 대상으로 6시간 절식 후 각각 수온 20°C에서 21.1 mg TAN kg⁻¹ h⁻¹과 수온 25°C에서 31.2 mg TAN kg⁻¹ h⁻¹로 TAN 배설률을 보고하여 수온 상승에 따라 증가한다고 보고하였다. Jobling (1981) 역시 35 g의 plaice (*Pleuronectes platessa*)를 대상으로 10°C에서 17°C로 상승할 경우 27 mg NH₄-N kg fish⁻¹ h⁻¹에서 56 mg NH₄-N kg fish⁻¹ h⁻¹으로 배설률이 증가한다고 보고해 본 실험 결과와 일치하였다. 본 실험에서는 절식 시 10°C에 비해 20°C의 일간 TAN 배설률이 약 1.12배 증가하였으며, 이것은 수온 상승에 따라 높아진 대사 요구량이 아미노산의 탈아미노화(deamination)에 의해 부분적으로 충족된다는 것을 나타낸다 (Forsberg and Summerfelt, 1992).

어류의 사료 섭취에 따른 식후(post-prandial) TAN 배설은 즉각적으로 증가하며 그 양의 정도와 시간은 어류의 크기, 섭취한 양 그리고 수온에 따라 달라진다 (Kaushik, 1980). 본 실험 결과 수온 10, 15 그리고 20°C 모두에서 사료 공급 즉시 TAN 배설률이 증가하였으며, 수온 상승에 따라 질소 섭취 증가와 함께 TAN 배설량 역시 증가하였다. 이러한 경향은 plaice (*Pleuronectes platessa*, Jobling, 1981), gilthead seabream (*Sparus aurata*, Porter *et al.*, 1987) 그리고 areolated grouper (*Epinephelus areolatus*, Leung *et al.*, 1999)에서도 보고된 바 있다.

사료 섭취에 따른 식후 TAN 배설 패턴에 대한 자료는 양어가들에게 수질 관리를 위한 중요한 정보를 제공할 수 있다 (Forsberg and Summerfelt, 1992; Leung *et al.*, 1999). 본 실험의 경우 두 번의 사료 공급에 따라 두 번의 TAN 배설 peak 값을 보였으며, 모두 사료 공급 2시간 후 나타났고 두 번째 peak 값이 높게 나타났다. Dosdat *et al.* (1996) 역시 평균 체중 10 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 어체중의 1.5%를 하루 두 번 (10:00, 16:30 h) 공급하였을 때 두 번의 TAN 배설 peak를 관찰하였으며, 두 번째 peak는 첫 번째보다 높다고 보고하였다. Lied and Braaten (1984)은 대서양대구 (*Gadus morhua*)를 대상으로 사료 공급 후 5~6시간 후 peak 값을 관찰하였고, Kaushik (1980)은 잉어 (*Cyprinus carpio*)와 무지개송어 (*Salmo gairdneri*)를 대상으로 09:00시와 16:00시에 반복 사료 공급하였을 경우 최대 TAN 배설 값이 최초 사료 공급 10시간 후인 19시로 나타나 본 실험 결과(최초 사료 공급 10시간 후인 18:00시)와 유사하였다. 또한 Sumagaysay (2003)는 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 후에 최대 TAN 배설률에 도달한다고 보고하였다. 이상의 결과에서 사료 공급 후 최대 TAN 배설에 도달하는

소요 시간은 어종, 수온, 사료 공급 방법(시간과 횟수 등), 섭취한 사료량 그리고 크기 등에 따라 달라진다는 것을 알 수 있었으며, 강도다리의 경우 사료 공급이 이루어진 2시간 후 사육탱크 내 TAN 농도 감소를 위한 환수가 이루어져할 것으로 생각된다.

본 실험 결과 강도다리 치어는 수온에 따라 어체중의 2.2~3.2%를 사료를 섭취하였으며, 섭취한 사료 내 질소의 43.0~48.8%를 TAN으로 배설하는 것으로 나타났다. Kaushik and Gomes (1988)는 150 g의 무지개송어를 대상으로 51%의 단백질 함량의 사료를 어체중의 0.5%를 공급하였을 때 섭취된 질소의 42%를 암모니아로 배설한다고 보고해 본 실험 결과와 유사하였다. Porter *et al.* (1987)은 3 g과 90 g의 gilthead seabream을 대상으로 어체중의 2.0~2.5%와 1.4~2.0%의 사료를 공급한 결과 섭취된 질소의 35~37%가 TAN으로 배설된다고 보고하였다. 강도다리와 같은 냉수성 어종인 turbot의 경우 개체 크기 10 g과 100 g에서 섭취 질소의 21% (Dosdat *et al.*, 1996)만을 TAN으로 배설해 강도다리에 비해 높은 사료 내 단백질 이용 효율을 가진 것으로 나타났다. 이와 같은 차이는 어종, 공급한 사료의 질과 단백질 함량, 섭취한 양 그리고 어종 마다 가지는 단백질 이용 능력 등에 의한 나타난 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온은 강도다리 치어의 질소 대사 작용을 조절하는 주요 인자로 작용한다는 것을 알 수 있었고, 일간 TAN 배설 패턴과 배설량은 양식 시스템 내 수질관리 및 사육관리에 활용할 수 있으며, 강도다리 치어의 사료 내 단백질 이용 효율에 관한 중요한 정보를 제공한다.

요 약

강도다리 치어(평균 42.4±3.4 g, 총 45마리)의 수온(10, 15 그리고 20°C)에 따른 절식과 식후 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설을 조사하였다. 절식 및 식후 TAN 배설은 순환여과식 시스템 내에서 24시간 동안 3반복으로 측정하였다. 절식 TAN 배설은 실험 수온에 10 일 이상 순치한 후 암모니아 측정 시스템에 옮겨 3일간 절식 후 측정하였고, 식후 TAN 배설은 상품 사료(단백질 함량 50.2%)를 하루에 두 번(08:00, 16:00 h), 7일간 공급한 뒤 실시하였다. 절식과 사료 공급에 따른 TAN 배설은 수온 상승에 따라 증가하였다($p < 0.05$). 절식 시 수온 10, 15 그리고 20°C에서 시간당 평균 TAN 배설률은 각각 10.9, 11.2 그리고 12.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 20°C가 10°C와 15°C에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 경우 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 33.0, 43.4 그리고 55.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹으로 나타났다. 두 번의 peak TAN 배설률이 나타났으며, 두 번째 peak가

첫 번째보다 높았다. 최대 TAN 배설률은 최초 사료 공급 10시간 후 나타났으며, 수온 10, 15 그리고 20°C에서 각각 45.3, 64.5 그리고 83.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었다. 수온 10, 15 그리고 20°C에서 섭취한 질소에 대한 TAN 배설 비율은 각각 43.0, 45.7 그리고 48.8%로 나타나 20°C가 10°C와 15°C에 비해 유의적으로 높았다 ($p < 0.05$). 이상의 결과는 강도다리 치어의 수온에 따른 암모니아 배설을 추정하고 수질관리 및 사육관리를 위한 실험적 자료를 제공한다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원 기본과제(PE98204)와 국토해양부 해양심층수의 다목적 이용 개발 과제의 지원에 의해서 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 변순규 · 정민환 · 이종하 · 이배익 · 구학동 · 박상언 · 김이청 · 장영진. 2008. 수온에 따른 강도다리 *Platichthys stellatus*의 산소소비 리듬. 한국수산학회지, 41: 113-118.
- 오승용 · 조재윤. 2005. 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향. 한국양식학회지, 18: 122-129.
- 임한규 · 변순규 · 이종하 · 박상언 · 김이청 · 한형균 · 민병화 · 이배익. 2007. 실내 사육한 강도다리 *Platichthys stellatus*의 성성숙과 생식주기. 한국양식학회지, 20: 212-218.
- 임한규 · 안철민 · 손맹현 · 박민우 · 김응오 · 변순규. 2006. 희석액과 보존온도에 따른 강도다리(*Platichthys stellatus*) 정자의 냉장보존 효과. 한국양식학회지, 19: 47-51.
- Beamish, F.W.H. and A. Tandler. 1990. Ambient ammonia, diet and growth in lake trout. Aquat. Toxicol., 17: 155-166.
- 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.
- Brett, J.R. and T.D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. In: Hoar, W.H., Randall, D.J. and Brett, J.R. (eds.), Bioenergetics and Growth. Fish Physiology. vol. 8. Academic Press, New York, pp. 279-352.
- Cai, Y. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquaculture, 104: 127-138.
- Cui, Y. and R.J. Wootton. 1988. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: The effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion. J. Fish Biol., 33: 431-444.
- Dosdat, A., F. Servais, R. Metailler, C. Huelvan and E. Desbroyeres. 1996. Comparison of nitrogen losses in five teleost fish species. Aquaculture, 141: 107-127.
- Forsberg, J.A. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. Aquaculture, 102: 115-126.
- Handy, R.D. and M.G. Poxton. 1993. Nitrogen pollution in mariculture: toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. Rev. Fish Biol. Fish., 3: 205-241.
- Iwata, K. 1970. Relationship between food and growth in young crucian carps (*Carassius auratus cuvieri*), as determined by the nitrogen balance. Jpn. J. Limnol., 31: 129-151.
- 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 E.F. Gomes. 1988. Effects of frequency of feeding on nitrogen and energy balance in rainbow trout under maintenance conditions. Aquaculture, 73: 207-216.
- Kikuchi, K., T. Sato, N. Iwata, I. Sakaguchi and Y. Deguchi. 1995. Effects of temperature on nitrogenous excretion of Japanese flounder. Fish. Sci., 61: 604-607.
- 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.
- Lied, E. and B. Braaten. 1984. The effect of feeding and starving and different ratios of protein-energy to total-energy in the feed on the excretion of ammonia in the Atlantic cod (*Gadus morhua*). Comp. Biochem. Physiol., 78: 49-52.
- Meade, J.W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. Prog. Fish-Cult., 47: 135-145.
- 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.
- Strickland, J.D. and T.R. Parsons. 1972. A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd edition. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 167: 310 pp.
- Storer, J.H. 1967. Starvation and the effects of cortisol in the goldfish (*Carassius auratus* L.). Comp. Biochem. Physiol., 20: 939-948.
- 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. Aquacult. Res., 34: 407-418.
- Tanaka, Y. and S. Kadowaki. 1995. Kinetics of nitrogen excretion by cultured flounder *Paralichthys olivaceus*. J. World Aquacult. Soc., 26: 188-193.
- Wu, R.S.S. 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. Mar. Poll. Bull., 31: 159-166.