

대구 *Gadus macrocephalus* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향

오승용* · 박홍식¹ · 노충환²

한국해양연구원 해양생물자원연구부, ¹한국해양연구원 해양과학국제협력센터,
²한국해양연구원 동해특성연구부

Effect of Water Temperature on Ammonia Excretion of Juvenile Pacific Cod *Gadus macrocephalus* by Sung-Yong Oh*, Heung-Sik Park¹ and Choong Hwan Noh² (Marine Living Resources Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea; ¹Center for International Cooperative Programs, Korea Ocean Research & Development Institute Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea; ²East Sea Environment Research Department, Korea Ocean Research & Development Institute, 695-1, Hujung-ri, Jukbyeon-myun, Uljin-gun, Gyeongbuk 767-813, Korea)

ABSTRACT A study was carried out to examine the effect of water temperature on daily pattern and rate of total ammonia nitrogen (TAN) excretion in juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus* (mean body weight: 36.5 ± 0.8 g) under fasting and feeding conditions. Fish were acclimated over 10 days under three different water temperatures (9, 11 and 13°C), and transferred to TAN measuring system under each water-temperature condition. After 72 hours of starving, fasting TAN excretion was measured at each temperature. To investigate post-prandial TAN excretion, fish were hand-fed with a commercial diet containing 40.6% crude protein for 7 days, two times daily at 08:00 and 16:00 h. Water was sampled from both the inlet and outlet of the fish chamber every 2 h over a 24-h period. Both fasting and post-prandial TAN excretion increased with increased water temperatures ($p < 0.05$). Mean fasting TAN excretion rates at 9, 11 and 13°C were 9.3, 11.0 and 11.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹, respectively. The value of 9°C was lower than those of 11 and 13°C ($p < 0.05$), but there was no significant difference between 11°C and 13°C. Mean post-prandial TAN excretion rates at 9, 11 and 13°C were 23.0, 31.6 and 45.4 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹, respectively. A peak value of post-prandial TAN excretion rate occurred after 2 h from each feeding, and the second value is always higher than the first value. Maximum post-prandial TAN excretion rate occurred after 10 h from the first feeding at 9°C (mean 38.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), 11°C (52.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹) and 13°C (77.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), respectively. The TAN loss for ingested nitrogen at 9°C (43.9%) was lower than those of 11°C (46.4%) and 13°C (48.4%). The overall results indicate that water temperature exhibits a significant effect on the nitrogen excretion of juvenile Pacific cod.

Key words : Pacific cod, *Gadus macrocephalus*, ammonia excretion rate, water temperature, marine fish

서 론

양식 어류는 한정된 공간 내에서 고밀도 사육과 더불어 빠른 성장을 위해 인공배합사료를 지속적으로 공급한다. 이

와 같은 사육 조건은 자연 생태계와 비교할 수 없을 정도의 높은 성장률을 보이지만, 안정적인 생산을 위해서 항상 사육 환경 관리가 이루어져야 한다. 즉, 사육 과정 중 발생하는 오염물질의 특성 및 이를 처리하기 위한 여과 시스템의 효율에 따라 양식의 성공 여부가 달라지게 된다(Delos Reyes and Lawson, 1996). 사육 시스템 내에서 발생하는 환

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

경오염의 가장 큰 원인은 사료에서 기인하는 것으로, 먹지 않은 사료와 분(feces)과 같은 미소화 사료 잔여물의 고품질 형태와, urea와 암모니아와 같은 어류의 대사산물을 들 수 있다(Cripps, 1993). 이 중 암모니아는 사료의 주성분인 단백질의 어류 체내 소화 과정 중 발생하는 대사 노폐물로서, 집약적 양식 시스템 내 어류의 성장률과 폐사율에 직접적인 영향을 미치며(Meade, 1985; Thomas and Piedrahita, 1998), 어류 생체량과 사육밀도를 제한하는 인자로 간주되고 있다(Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992). 따라서 양식 어류의 사육 과정 중 발생하는 암모니아 배설 특성에 관한 정보는 시스템 내 질소 노폐물의 변화 정도를 구명하고 사육 환경 개선을 위한 환수시기와 양의 결정, 수질관리를 위한 질산화 생물여과조의 설계, 그리고 시스템 내 수용밀도를 추정하는 데 중요한 근거 자료가 된다(Porter et al., 1987; Forsberg and Summerfelt, 1992; Wu, 1995). 또한 암모니아 배설량은 다양한 인자들에 대한 단백질 대사 효율 지표로 이용될 수 있어 어류의 질소 수지에 관한 중요한 정보를 제공한다(Rychly and Marina, 1977; Jobling, 1981; Beamish and Thomas, 1984; Perera et al., 1995; Dosdat et al., 1996; Gélineau et al., 1998; Engin and Carter, 2001).

어류의 암모니아 배설은 섭취 사료의 단백질 함량, 섭취량, 개체 크기, 절식 기간 및 수온 등 많은 내·외부 요인들의 영향을 받지만(Jobling, 1981; Beamish and Thomas, 1984; Cai and Summerfelt, 1992; Engin and Carter, 2001; 오와 최, 2009), 이 중 수온은 어류의 대사 반응에 직접적인 영향을 미치는 대사조절인자(Brett and Groves, 1979)로서 가장 큰 영향을 미친다. 즉, 수온 상승은 어류의 체내 생화학 반응을 가속화시키고 많은 양의 질소 노폐물을 시스템 내로 배출하기 때문에, 특히 고수온기 양식장 내 환경 관리가 중점적으로 이루어져야 하는 이유가 된다.

대구(*Gadus macrocephalus*)는 1981년부터 수정란 방류사업이 지속적으로 이루어지고 있지만(한국해양연구원, 2003), 양식 기술 개발은 초기 단계 수준이다. 특히, 사육 과정 중 발생하는 대사 노폐물에 관한 정보는 부족한 실정으로 시스템 내 환수 및 수질관리 등 환경 관리에 어려움을 겪고 있다. 따라서 본 연구에서는 대구의 생산성 향상 및 안정적인 사육 관리 기술 개발을 통한 친환경적 생산 관리 체계 구축을 위해 대구 치어를 대상으로 수온에 따른 절식 및 식후(post-prandial) 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설 경향과 배설량을 조사하였다.

재료 및 방법

1. 실험어 및 순치

실험어는 강원도 속초 한국해양연구원 해양심층수센터에

서 사육 중인 대구 치어(평균 무게 32.1 ± 1.4 g) 60마리를 사용하였다. 실험어는 실내 수조에 적응시키기 위해 실험 전 FRP 수조(용적 400 L) 2개와 침지식 질산화 생물여과조($1.0 \times 1.5 \times 2.0$ m, 3.0 ton)로 구성된 순환여과식 시설에 옮겨 2주 동안 $11.0 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 조건에서 순치시켰다. 순치기간 동안 시판용 해산어 상품사료(Purina Co., Korea, 단백질 함량 40.6%)를 일간 어체중의 2.0~3.0%를 하루에 두 번(08:00, 16:00 h) 공급하였으며 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 조절하였다. 사육수 내 용존산소는 유량 조절과 포기(aeration)를 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였고, 수질관리 및 배설물 제거를 위해 일일 전체 수량의 10% 이상을 환수시켰다. 순치 기간 동안 사육수의 pH는 8.1 ± 0.1 , 염분은 33.2 ± 0.9 psu를 유지하였다.

2. 실험 장치

대구 치어의 수온에 따른 TAN 배설률은 실험어 수용을 위한 어류 사육조, 수질 관리를 위한 질산화 생물여과조 그리고 사육수 순환을 위한 공급탱크와 저수탱크로 이루어진 소형 순환여과식 시스템을 이용하여 측정하였다(오와 조, 2005). 질산화 생물여과조는 직경 62 cm의 스카이라이트 골판으로 만든 원판 80장(총표면적 48.28 m²)을 여과재료로 사용한 회전원판식 여과조(rotating biological contactor, RBC)를 이용하여 시스템 내 TAN 축적을 방지하였고, 공급탱크는 원형 고무수조(용적 519 L)를 이용하였으며 저수탱크는 직사각형($1.0 \times 3.0 \times 1.0$ m, 3 ton) 형태의 FRP 수조를 사용하였다. 대구 치어를 수용한 어류 사육조는 가로 23 cm, 세로 39 cm, 높이 26 cm인 유리수조를 사용하였으며, 실험 기간 동안 수량은 20.5 ± 0.5 L, 유량은 36.3 ± 1.7 L/h를 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 대한 순치는 유리수조(용적 200 L) 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 대구 치어를 순치 수온(11°C)에 조절된 각 set별 유리수조마다 10마리씩, 총 6개의 유리수조에 분산 수용하였다. 실험 수온(9, 11 그리고 13°C)으로 바꾸기 위해 11°C 실험구 1 set를 제외하고 나머지 2 set의 순환여과식 시스템은 11°C 로부터 3일간에 걸쳐 서서히 높이거나 낮추어 조절하였다. 수온 조절이 이루어진 후 대구 치어는 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰으며, 순치 기간 중 사료는 하루에 두 번(08:00, 16:00 h), 어체중의 2.0~3.0% 비율로 공급하였다. 실험 기간 동안 광주기는 12L:12D를 유지하였으며, 명조

건은 32-W 형광등을 이용하여 유도하였다.

순치된 대구 치어는 2-phenoxyethanol (Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시켜 무게를 측정된 다음 실험 수온이 유지된 실험 장치 내 어류 사육조에 수용한 후, 운반 및 섭취한 사료(즉, 단백질)의 영향을 배제한 내인성 TAN 배설률을 측정하기 위해 72시간 절식한 후 24시간 동안 TAN 배설률을 조사하였다(Leung *et al.*, 1999a). 절식에 따른 TAN 배설률을 측정된 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) 만복 사료 공급을 하였다. 사료 공급 8일째에 일간 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률을 24시간 동안 조사하였다. 실험에 이용된 대구 치어의 체중은 36.5 ± 0.8 g (평균 \pm S.D., 습중량)이었으며, 어류 사육조에 3마리씩, 3반복 수용하였다.

4. 암모니아 측정 및 자료 처리

대구 치어의 수온에 따른 절식 시 TAN 배설률은 어류 사육조 유입수와 배출수를 08:00시부터 2시간 간격으로 다음날 08:00시까지 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 어류를 수용하지 않은 대조구와 연계하여 다음의 식을 이용하여 구하였다(Leung *et al.*, 1999a). 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, C_1 = 유입수의 TAN 농도 (mg/L)
- C_0 = 실험구 수조 배출수의 TAN 농도 (mg/L)
- C_c = 대조구 수조 배출수의 TAN 농도 (mg/L)
- Q_1 = 실험구를 지나가는 시간당 유량 (L/h)
- Q_2 = 대조구를 지나가는 시간당 유량 (L/h)
- 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. 대구 치어의 TAN 배설률에 대한 수온의 영향은 분산분석 (ANOVA)을 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균 간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

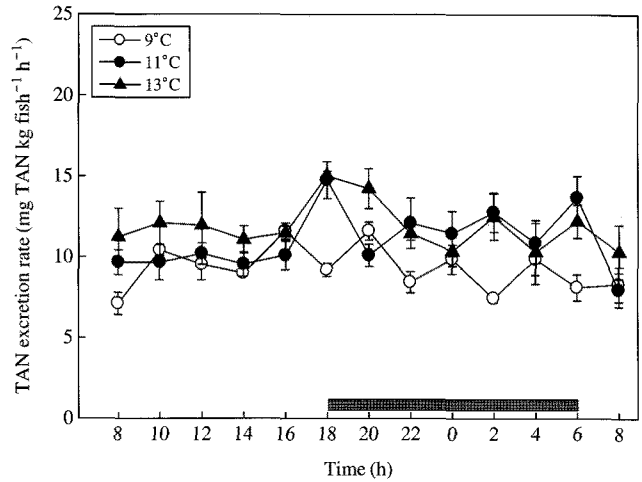


Fig. 1. Daily variations of total ammonia nitrogen (TAN) rate of the fasted Pacific cod *Gadus macrocephalus* subjected to three different water temperatures. The dashed bar represents the night period. Values represent mean \pm S.E. (n=3).

Table 1. Total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of the fasted Pacific cod *Gadus macrocephalus* subjected to three different water temperatures

	Water temperature (°C)		
	9	11	13
TAN excretion rate* (mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹)	9.3 \pm 0.3 ^a	11.0 \pm 0.4 ^b	11.9 \pm 0.4 ^b

*Values (mean \pm S.E.) with different superscript are significantly different (p < 0.05, n=39).

결 과

1. 절식에 따른 TAN 배설

대구 치어의 수온에 따른 절식 시 시간당 평균 TAN 배설률의 일간 패턴과 그 결과를 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 절식 시 시간당 평균 TAN 배설률은 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 6.3~12.1 (9.3 \pm 0.3, mean \pm standard error), 6.4~14.8 (11.0 \pm 0.4) 그리고 7.1~15.6 (11.9 \pm 0.4) mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 증가하였다. 일간 배설률(Fig. 2)은 각각 225.3 \pm 6.7, 267.8 \pm 10.2 그리고 286.7 \pm 20.3 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나, 9°C에 비해 11°C와 13°C가 각각 약 1.18배와 1.27배 증가하였다. 이상의 결과에서 대구 치어의 절식 시 시간당 및 일간 평균 TAN 배설률은 수온 상승에 따라 모두 증가하였으며, 9°C에 비해 11°C와 13°C가 유의하게 (p < 0.05) 증가하였지만, 11°C와 13°C 간에는 차이가 없었다 (p > 0.05).

2. 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설

수온에 따른 대구 치어의 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 일간 패턴과 그 결과를 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 수온 9, 11 그리고 13°C 모두에서 사료 공급과 동시에 TAN 배설률이 증가하였다. 수온 9°C의 경우 사료 공급에 따른 식후 시간당 TAN 배설률은 12.5~40.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위였으며 평균 23.0±1.1 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타났다. 첫 번째 사료 공급이 이루어진 08:00시부터 TAN 배설률은 증가하기 시작해 공급 2시간(즉, 10:00h) 후에 첫 번째 peak 값(평균 28.9±2.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 TAN 배설률은 감소하였다가 두 번째(즉, 16:00h) 사료 공급이 이루어진 2시간(즉, 18:00h) 후에 두 번째 peak 값(평균 38.0±1.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 보였다. 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 14시간 후에는 처음의 배설률로 낮아졌다. 수온 11°C와 13°C의 경우 식후 시간당 TAN 배설률은 각각 9.4~59.7와 20.0~78.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ 범위를 보였으며, 시간당 평균 TAN 배설률은 각각 31.6±1.6과 45.4±2.7 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 식후 일간

TAN 배설 패턴은 수온 9°C와 동일하게 수온 11°C와 13°C에서도 사료 공급과 동시에 증가하기 시작해 사료 공급(즉, 08:00와 16:00h)이 이루어진 2시간 후(즉, 10:00와 18:00h)에 peak 값을 보였다. 수온 11°C의 경우 첫 번째와 두 번째 peak 값은 각각 평균 37.4±2.2와 52.9±4.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 수온 13°C의 경우 각각 평균 68.1±1.4와 77.5±0.3 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 9°C와 마찬가지로 11°C와 13°C에서도 두 번째 peak 값이 첫 번째 peak 값보다 높게 나타났다.

사료 공급에 따른 식후 일간 평균 TAN 배설률은 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 564.3±11.5, 784.4±44.5 그리고 1122.8±53.8 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 섭취한 질소에 대해 TAN으로 배설, 손실되는 질소는 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 43.9±0.8, 46.4±0.7 그리고 48.4±1.1%로 나타나 9°C에 비해 11°C와 13°C의 손실 비율이 유의하게 높았으며($p < 0.05$), 11°C와 13°C는 차이가 없었다.

이상의 결과에서 수온 9, 11 그리고 13°C 모두 두 번의 사료 공급에 따라 두 번의 TAN 배설률 peak를 보였고 첫 번

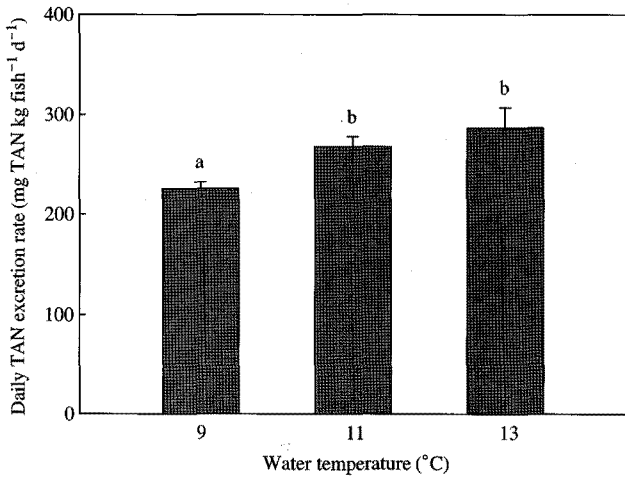


Fig. 2. Daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of the fasted Pacific cod *Gadus macrocephalus* subjected to three different water temperatures. Values (mean ± S.E.) with different letter are significantly different (n=3).

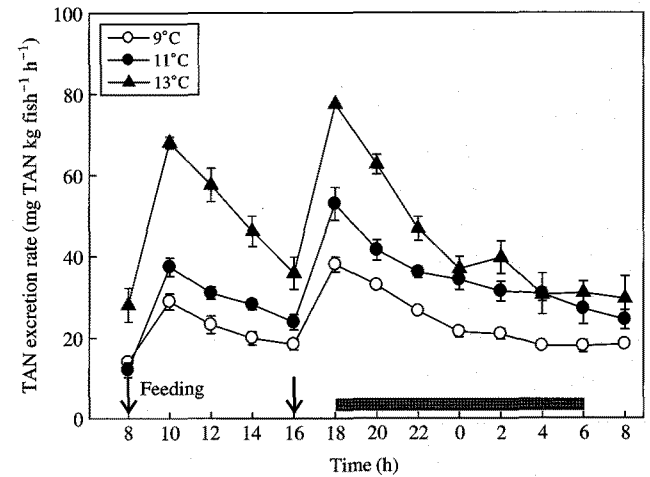


Fig. 3. Daily variations of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of Pacific cod *Gadus macrocephalus* subjected to three different water temperatures. Fish were fed a diet two times (08:00 and 16:00 h) a day. The dashed bar represents night period. Values represent mean ± S.E. (n=3).

Table 2. Nitrogen (N) intake rate, total ammonia nitrogen (TAN) excretion and TAN loss rate of Pacific cod *Gadus macrocephalus* fed a diet two times a day under three different water temperatures

Temp. (°C)	Daily intake N rate (n=3) mg N kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	TAN excretion rate (n=39) mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹ *	Daily TAN excretion rate (n=3) mg TAN kg fish ⁻¹ d ⁻¹ *	TAN loss (n=3) %*
9	1288.1 ± 47.2 ^a	23.0 ± 1.1 ^a	564.3 ± 11.5 ^a	43.9 ± 0.8 ^a
11	1688.5 ± 75.0 ^b	31.6 ± 1.6 ^b	784.4 ± 44.5 ^b	46.4 ± 0.7 ^b
13	2316.3 ± 78.1 ^c	45.4 ± 2.7 ^c	1122.8 ± 53.8 ^c	48.4 ± 1.1 ^b

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

째보다 두 번째 peak 값이 항상 높았으며, 사료 공급 2시간 후 peak 배설률을 보였다. 수온 상승에 따라 TAN 배설률이 유의하게 증가하였으며, 섭취 질소에 대한 질소 손실 비율은 9°C에 비해 11°C와 13°C가 약 2.5~4.5% 높게 나타났다.

고 찰

본 실험 결과 수온은 대구 치어의 절식과 사료 공급에 따른 암모니아 배설에 직접적인 영향을 미쳤으며, 이전의 연구 결과와 일치하였다(Cui and Wootton, 1988; Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992; Tanaka and Kadowaki, 1995; Leung *et al.*, 1999a; 오 등, 2009). 절식에 따른 암모니아 배설은 어류 자체 체단백질의 이화작용(catabolism) 및 대사회전(turnover)에 따른 내인성(endogenous) 배설(Jobling, 1981)을 나타내며, 절식 기간과 수온, 어종에 따라 다양하게 나타난다. 오 등(2009)은 같은 냉수성 어종인 강도다리(*Platichthys stellatus*) 치어(평균 무게 42.4 g)를 대상으로 3일간 절식 후 수온이 10, 15 그리고 20°C로 상승함에 따라 각각 10.9, 11.2 그리고 12.2 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 TAN 배설률이 증가하는 결과를 보고하였다. 강도다리의 일간 내인성 배설률 역시 258.8~290.6 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 본 실험의 225.3~286.7 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹와 거의 유사하였으며, 수온 상승에 따라 증가하는 결과를 보였다. Kaushik and Cowey(1991)와 Ballestrazzi *et al.*(1994) 역시 몇 종의 경골어류를 대상으로 보고한 100~200 mg N kg fish⁻¹ d⁻¹의 일간 내인성 질소 배설률과도 유사하게 나타났다. 이상의 결과에서 수온 상승은 대구 치어의 체내 아미노산의 탈아미노화(deamination) 작용을 증가시켜 높아진 대사 요구량을 부분적으로 충족시켰으며(Forsberg and Summerfelt, 1992), 그 결과 수온 9°C에 비해 13°C의 절식 시 TAN 배설률은 약 1.27배 증가한 것으로 생각된다.

어류가 섭취하는 사료 내 단백질은 수온과 더불어 암모니아 배설에 직접적인 영향을 미친다(Brett and Zala, 1975; Kaushik, 1980). 즉, 외부 단백질의 유입에 따른 체내 소화작용의 결과 TAN 배설은 즉각적으로 증가하며(Kaushik, 1980), 어종 및 섭취량 그리고 수온 등에 따라 배설 경향과 양은 달라진다. 수온 상승에 따른 식후 TAN 배설량의 증가는 minnows(*Phoxinus phoxinus*)(Cui and Wootton, 1988)와 areolated grouper(*Epinephelus areolatus*)(Leung *et al.*, 1999b), Arctic charr(*Salvelinus alpinus*)(Lyytikäinen and Jobling, 1998) 그리고 강도다리(오 등, 2009) 등에서도 동일한 결과를 보였다.

사료 공급 후 나타나는 암모니아 배설의 일간 패턴은 사육 시스템 내 환수 시기 및 환수량 등 시스템 내 수질 관

리를 위한 중요한 정보를 제공한다(Porter *et al.*, 1987; Forsberg and Summerfelt, 1992). 내인성 TAN 배설률의 일간 패턴은 수온에 관계없이 큰 변화를 보이지 않은 반면(Brett and Zala, 1975; Kaushik, 1980; Clarke *et al.*, 1985; 오 등, 2009), 식후 TAN 배설률의 일간 패턴은 사료 공급 방법에 영향을 받는 것으로 나타났다. 일반적으로 식후 TAN 배설률은 사료 공급 횟수에 따라 unimodal 또는 polymodal 리듬을 보인다(Kaushik, 1980; Kaushik and Cowey, 1991). 본 실험의 경우 두 번의 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 보였으며, 모두 사료 공급 2시간 후 나타났고, 두 번째 peak 값이 항상 높게 나타났다. Dosdat *et al.*(1996)은 sea bass(*Dicentrarchus labrax*), sea bream(*Sparus auratus*), turbot(*Scophthalmus maximus*), brown trout(*Salmo trutta fario*) 그리고 rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로, 오 등(2009)은 강도다리를 대상으로 그리고 오와 최(2009)는 볼락(*Sebastes inermis*)을 대상으로 두 번 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 관찰하였으며, 두 번째 peak는 첫 번째보다 높다고 보고하였다. 그러나 peak 시간의 경우 sea bass, sea bream, turbot, brown trout 그리고 rainbow trout은 사료 공급 3~5시간 후, 그리고 강도다리는 사료 공급 2시간 후 그리고 볼락은 6시간 후에 나타나 어종에 따라 다른 결과를 보였다. Lied and Braaten(1984)은 같은 속 어류인 Atlantic cod(*Gadus morhua*)를 대상으로 하루 한 번 사료를 공급한 후 사료 공급 5~6시간 후 한 번의 TAN 배설 peak만이 나타났다고 보고하였다. Arctic charr(Lyytikäinen and Jobling, 1998)와 참돔(오 등, 2004) 역시 한 번의 사료 공급 후 한 번의 TAN 배설 peak를 보였으며, 각각 사료 공급 2~3시간 그리고 6시간 후 최대 TAN 배설률에 도달한다고 보고하였다. 따라서 사료 공급에 따른 식후 최대 TAN 배설률에 도달하는 시간은 어종, 수온, 섭취한 질소의 양, 사료 공급 횟수 그리고 크기 등에 따라 달라지며, 대구의 경우 사료 공급이 이루어진 2시간 후 환수를 통한 사육 시스템 내 수질관리가 이루어져할 것으로 판단된다.

본 실험 결과 대구 치어는 수온에 따라 섭취한 사료 내 질소의 43.9~48.4%를 TAN으로 배설하였으며, 수온 상승에 따라 증가하였다. 냉수성 어종인 강도다리 역시 수온 10°C에 비해 20°C에서 5.8% TAN 배설 비율이 증가하였으며(오 등, 2009), walleye의 경우 20°C에 비해 25°C에서 29.0%(Forsberg and Summerfelt, 1992), 그리고 볼락(오와 최, 2009)의 경우 15°C에 비해 25°C에서 5.5% 증가하는 것으로 나타나 본 실험 결과와 유사하였다. 이와 같은 결과는 내인성 TAN 배설률과 마찬가지로 수온 상승으로 유발된 높은 대사 에너지 요구량을 섭취한 사료 내 아미노산의 이화작용으로 충족시킨 결과, TAN 배설률이 증가한 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온은 대구 치어의 절식과 사료 섭취에 따른 내인성 및 식후 TAN 배설에 유의한 영향을 미쳤

다. 식후 TAN 배설 패턴과 배설량은 사육 시스템 내 암모니아의 축적을 방지하기 위한 환수 시기 및 환수량의 결정 및 질산화 생물여과조 설계 그리고 대구 치어 성장에 영향을 미치는 질소 수치 산정을 위한 유용한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

요 약

대구 치어(평균 36.5 g)의 수온(9, 11 그리고 13°C)에 따른 절식(fasting)과 식후(post-prandial) 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설의 일간 패턴과 배설률을 조사하였다. 실험어는 10일 이상 실험 수온에서 순치한 후 각 실험 수온 조건의 암모니아 배설 측정 시스템으로 옮겨 TAN 배설률을 측정하였다. 절식 TAN 배설은 72시간 절식 후 측정하였고, 식후 TAN 배설은 상품 사료(단백질 함량 40.6%)를 하루에 두 번(08:00, 16:00h), 7일간 공급한 뒤 측정하였다. 실험어 사육수조 유입수와 배출수를 2시간 간격으로 24시간 동안 채수하여 TAN을 분석하였으며, 모든 실험 조건은 3반복으로 실시하였다. 절식 및 식후 TAN 배설 모두 수온 상승에 따라 증가하였다($p < 0.05$). 절식 시 시간당 평균 TAN 배설률은 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 9.3, 11.0 그리고 11.9 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었고, 11°C와 13°C가 9°C에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 경우 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 23.0, 31.6 그리고 45.4 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹으로 나타났다. 최대 평균 TAN 배설률은 최초 사료 공급 10시간 후 나타났으며, 수온 9, 11 그리고 13°C에서 각각 38.0, 52.9 그리고 77.5 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹이었다. 수온 9, 11 그리고 13°C에서 섭취한 질소에 대한 TAN 배설 비율은 각각 43.9, 46.4 그리고 48.4%로 나타나 11°C와 13°C가 9°C에 비해 유의적으로 높았다($p < 0.05$). 이상의 결과에서 수온은 대구 치어의 질소 대사에 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 수산특정연구개발사업인 “외해 심층가두리를 이용한 대구·참치 등 양식기술개발(PM55350)”과 한국해양연구원 기본연구사업(PE98473와 PE98523)의 지원에 의해서 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

인 용 문 헌

오승용 · 노충환 · 홍경표 · 김중만. 2004. 한국산 선발계통, 일본산

양식계통 그리고 이들 두 계통간 잡종 계통 참돔 치어의 총 암모니아성 질소 배설률 및 분 배출률을 통한 사료 내 단백질 이용 효율 비교. *Ocean and Polar Res.*, 26: 415-423.

오승용 · 장요순 · 노충환 · 최희정 · 명정구 · 김종관. 2009. 강도다리 *Platichthys stellatus* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향. *한국어류학회지*, 21: 1-6.

오승용 · 조재윤. 2005. 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향. *한국양식학회지*, 18: 122-129.

오승용 · 최상준. 2009. 볼락 *Sebastes inermis* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향. *Ocean and Polar Res.*, 31: 231-238.

한국해양연구원. 2003. 대구자원의 효율적 증강대책. 한국해양연구원, 82pp.

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.

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.

Brett, J.R. and T.D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. In: Hoar, W.H., D.J. Randall and J.R. Brett (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.

Clarke, E.R., J.P. Harman and J.R. Forster. 1985. Production of metabolic and waste products by intensively farmed rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish Biol.*, 27: 381-393.

Cripps, S.J. 1993. The application of suspended particle characterization techniques to aquaculture system. In: Wang, J. (ed.), *Techniques for Modern Aquaculture*. American Society of Agricultural Engineering, St. Joseph, MI, pp. 26-34.

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: 431-443.

Delos Reyes, A.A. and T.B. Lawson. 1996. Combination of a bead filter and rotating biological contactor in a recirculating fish culture system. *Aquacult. Eng.*, 15: 27-39.

Dosdat, A., F. Servais, R. Metailler, C. Huelvan and E. Desbruyeres. 1996. Comparison of nitrogen losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141: 107-127.

Engin, K. and C.G. Carter. 2001. Ammonia and urea excretion rates

- of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture*, 194: 123-136.
- Forsberg, J.A. and R.C. Summerfelt. 1992. Effects of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. *Aquaculture*, 102: 115-126.
- Gélineau, A., F. Médale and T. Boujard. 1998. Effect of feeding time on postprandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout. *J. Fish Biol.*, 52: 655-664.
- 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: Cowey, C.B. and C.Y. Cho (eds.), *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. University of Guelph, Canada, pp. 37-50.
- Leung, K.M.Y., J.C.W. Chu and R.S.S. Wu. 1999a. 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.
- Leung, K.M.Y., J.C.W. Chu and R.S.S. Wu. 1999b. Interacting effects of water temperature and dietary protein levels on post-prandial ammonia excretion by the areolated grouper *Epinephelus areolatus* (Forskål). *Aquac. Res.*, 30: 793-798.
- Lied, E. and B. Braatan. 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.
- Lyytikäinen, T. and M. Jobling. 1998. The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J. Fish Biol.*, 52: 1186-1198.
- Meade, J.W. 1985. Allowable ammonia for fish culture. *Prog. Fish-Cult.*, 47: 135-145.
- Perera, W.M.K., C.G. Carter and D.F. Houlihan. 1995. Feed consumption, growth and growth efficiency of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) fed on diets containing bacterial single cell protein. *Br. J. Nutr.*, 73: 591-603.
- Porter, C.B., M.D. Krom, M.G. Robbins, L. Brickell and A. Davidson. 1987. Ammonia excretion and total N budget for gilt-head seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. *Aquaculture*, 66: 287-297.
- Rychly, J. and A.B. Marina. 1977. Ammonia excretion of trout during a 24-hour period. *Aquaculture*, 11: 173-178.
- Strickland, J.D. and T.R. Parsons. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, 2nd edition. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.*, 167: 310.
- Tanaka, Y. and S. Kadowaki. 1995. Kinetics of nitrogen excretion by cultured flounder *Paralichthys olivaceus*. *J. World Aquacult. Soc.*, 26: 188-193.
- Thomas, S.L. and R.H. Piedrahita. 1998. Apparent ammonia-nitrogen production rates of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) in commercial aquaculture system. *Aquacult. Eng.*, 17: 45-55.
- Wu, R.S.S. 1995. The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. *Mar. Poll. Bull.*, 31: 159-166.