Vol. 31(3):231-238
DOI: 10.4217/OPR.2009.31.3.231

Ocean and Polar Research

September 2009

Article

볼락 *Sebastes inermis* 치어의 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향

오승용[1*] · 최상준[2]

[1]한국해양연구원 해양생물자원연구부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29
[2]국립수산과학원 육종연구센터
(656-842) 경상남도 거제시 남부면 다포리 201

Effect of Water Temperature on Ammonia Excretion of Juvenile Dark-banded Rockfish *Sebastes inermis*

Sung-Yong Oh[1*] and Sang Jun Choi[2]

[1]Marine Living Resources Research Department, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea
[2]Genetics and Breeding Research Center, NFRDI
Geoje 656-842, Korea

Abstract : A study was carried out to investigate the effect of water temperature on daily pattern and rate of total ammonia nitrogen (TAN) excretion in juvenile dark-banded rockfish *Sebastes inermis* (mean body weight: 14.8±0.3 g) under fasting and feeding conditions. Fish were acclimated over 10 days under three different water temperatures (15, 20 and 25°C). After 72 hours of starvation, fasting TAN excretion was measured at each temperature. To investigate post-prandial TAN excretion, fish were hand-fed with a commercial diet containing 47.7% crude protein for 7 days, two times daily at 09:00 and 17:00 hr. Water was sampled from both the inlet and outlet of each chamber every 2 hrs over a 24 hr period. Both fasting and post-prandial TAN excretion increased with increase in water temperature ($P<0.05$). Mean fasting TAN excretion rates at 15, 20 and 25°C were 8.1, 9.0 and 9.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}, respectively. The value of 15°C was lower than those of 20 and 25°C ($P<0.05$), but there was no significant difference between 20°C and 25°C ($P>0.05$). Mean post-prandial TAN excretion rates at 15, 20 and 25°C were 20.1, 22.9 and 23.4 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}, respectively. A peak post-prandial TAN excretion rate occurred after 12 hrs from the first feeding at 15°C (mean 28.7 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}), 20°C (33.7 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}) and 25°C (36.8 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}), respectively. The TAN loss for ingested nitrogen at 15°C (36.2%) was lower than that of 20°C (40.8%) and 25°C (41.7%). Based on overall results, water temperature exerts a profound influence on the nitrogen metabolism of juvenile dark-banded rockfish.

Key words : Dark-banded rockfish, *Sebastes inermis*, ammonia excretion rate, water temperature, marine fish

1. 서 론

암모니아는 대다수 경골어류의 질소 대사 작용 결과 생성되는 최종 부산물로서(Elliott 1976; Handy and Poxton 1993), 총 질소성 노폐물의 75~90%를 차지한다(Dosdat et al. 1996). 어류에 의해 배설된 암모니아는 수중에서 온도와 pH 그리고 염분에 따라 비이온화(NH_3) 또는 이온화(NH_4^+)된 형태의 비율이 달라지며(Trussell 1972), 비이온

* Corresponding author. E-mail : syoh@kordi.re.kr

화된 형태가 어류에게 더 높은 독성을 보인다(Meade 1985). 어류 양식을 위해 일반적으로 허용 가능한 사육수 내 비이온화된 암모니아 농도는 0.0125 mg NH_3-N/*l*로, 매우 낮은 농도에서도 어류에게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Meade 1985). 따라서 집약적 양식 시스템 내 암모니아 농도는 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). 또한 암모니아 배설은 어류의 단백질 대사에 미치는 다양한 환경적, 영양적 인자들에 관한 지표로 이용되며 어류의 질소 수지에 관한 중요한 정보를 제공한다(Rychly and Marina 1977; Jobling 1981; Beamish and Thomas 1984; Perera et al. 1995; Engin and Carter 2001). 따라서 암모니아 배설의 정량화는 어류의 단백질 대사 효율의 지표(Jobling 1981; Dosdat et al. 1996; Gélineau et al. 1998; 오 등 2004)일 뿐만 아니라 질소 노폐물의 변화 정도를 구명하고 사육 환경 개선을 위한 환수시기와 양의 결정, 수질 정화를 위한 생물여과조의 설계, 그리고 시스템 내 수용 생체량 및 밀도를 추정하는데 중요한 자료가 된다(Porter et al. 1987; Forsberg and Summerfelt 1992; Wu 1995).

어류의 암모니아 배설은 수온, 크기, 사료 내 단백질 함량 및 섭취량 등과 같은 많은 내·외부 인자의 영향을 받는다(Jobling 1981; Beamish and Thomas 1984; Cai and Summerfelt 1992; Engin and Carter 2001). 이 중 수온은 어류와 같은 변온동물의 대사 반응에 직접적인 영향을 미치는 대사조절인자(Brett and Groves 1979)로서, 어류의 성장과 생존에 가장 큰 영향을 미치는 외부인자이다. 따라서 walleye(*Stizostedion vitreum*)(Forsberg and Summerfelt 1992), Arctic charr(*Salvelinus alpinus*)(Lyytikäinen and Jobling 1998), sea bass(*Dicentrarchus labrax*)(Ruyet et al. 2004) 등을 포함한 많은 어류에서 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향 연구가 이루어졌다.

볼락(*Sebastes inermis*)은 양식 대상 종으로서 뿐만 아니라 정착성이 강해 연안 자원 증대를 위한 방류 어종으로 매우 유망한 어종으로서 그 가치가 매우 높지만, 최근 초기 종묘생산 과정 동안 수질 변화를 연구한 결과에서도 배합사료의 공급이 이루어지는 동안 부화장 내 암모니아와 같은 질소성 노폐물의 증가 등 심각한 오염 현상이 문제점으로 지적되고 있다(오와 노 2006). 따라서 본 연구에서는 볼락의 생산성 향상, 단백질 이용 효율 및 앞으로의 친환경적 생산 관리 체계 개발을 위한 정보 수집을 위해 볼락 치어를 대상으로 수온에 따른 절식 및 사료 섭취 후 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설 경향과 배설량을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험어 및 순치

실험어는 경상남도 통영시 한국해양연구원 해상가두리에서 사육 중인 볼락 치어(평균 무게 10.0±0.2 g) 300마리를 사용하였다. 실험어는 초기 실내 수조에 적응시키기 위해 실험 전 400 *l* FRP 수조 2개와 침지식 생물여과조(1.0×1.5×2.0 m, 3.0 ton)로 구성된 순환여과식 시설에 옮겨 1주 동안 15.0±0.1°C 조건에서 순치시켰다. 순치기간 동안 시판용 해산어 상품사료(Purina Co., Korea, 단백질 함량 47.7%)를 일간 어체중의 1.0~1.5%를 하루에 두 번(09:00, 17:00 h) 공급하였으며, 수온은 히터와 냉각기를 이용하여 조절하였다. 사육수 내 용존산소는 유량 조절과 에어레이션을 통해 80% 이상의 포화상태를 유지하였고, 일일 전체 수량의 10% 이상을 환수시켰다. 순치 기간 동안 사육수의 pH는 8.0±0.1, 염분은 33.5±1.2 psu를 유지하였다.

실험 장치

볼락 치어의 수온에 따른 TAN 배설률은 어류 사육조, 질산화 생물여과조 그리고 공급탱크와 저수탱크로 이루어진 오와 조(2005)의 시스템을 사용하였다. 질산화 생물여과조로서 회전원판식 여과조(rotating biological contactor, RBC)를 이용하여 시스템 내 TAN 축적을 방지하였고, 공급탱크는 용적이 340 *l* 원형 고무수조를 사용하였다. 볼락 치어를 수용한 어류 사육조는 가로 23 cm, 세로 39 cm, 높이 26 cm인 유리수조를 사용하였으며, 실험 기간 동안 수량은 17.4±0.5 *l*, 유량은 57.3±2.7 *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.

실험 방법

각 실험 수온에 실험어의 순치는 200 *l* 유리수조 2개와 침지식 생물여과조(1.0×1.2×0.5 m, 0.6 ton)로 구성된 순환여과식 시스템 3 set에서 이루어졌다. 실내 수조에 순치된 볼락 치어를 각 set별 유리수조마다 50마리씩, 총 6개의 유리수조에 분산 수용하였다. 실험 수온인 15°C, 20°C 그리고 25°C로 조절하기 위해 15°C 실험구 1 set를 제외하고 나머지 2 set의 순환여과식 시스템은 15°C로부터 3~6일간에 걸쳐 서서히 높였다. 수온 조절이 이루어진 후 볼락 치어는 10일 이상 각 실험 조건에 추가 순치시켰으며, 순치 기간 중 사료는 하루에 어체중의 1.5~2.0% 비율로 하루에 두 번(09:00, 17:00 h) 공급하였다. 실험 기간 동안 광주기는 12L:12D를 유지하였으며, 명조건은 32-W 형광등을 이용하여 유도하였다.

순치된 볼락 치어는 2-phenoxyethanol(Sigma, St. Louis, MO, USA)로 마취시켜 무게를 측정한 다음 실험 수온이 유지된 실험 장치 내 어류 사육조에 수용한 후, 운반 및 섭취한 사료(즉, 단백질)의 영향을 배제한 내인성 TAN 배설량을 측정하기 위해 72시간 절식한 후 24시간 동안 TAN 배설률을 조사하였다(Leung et al. 1999a). 절식 시 TAN 배설률을 측정한 후 다시 무게를 측정한 다음 사료 섭취에 따른 정상적인 TAN 배설 패턴을 확보하기 위해 실험 장치 내에서 7일간 하루에 두 번(09:00, 17:00 h) 사료 공급(어체중의 1.82±0.03%)을 하였다. 사료 공급 8일째에 일간 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률을 24시간 동안 조사하였다. 실험에 이용된 볼락 치어의 체중은 14.8±0.3 g(평균±S.D., 습중량)이었으며, 어류 사육조에 10마리씩, 3반복 수용하였다.

암모니아 측정 및 자료 처리

볼락 치어의 수온에 따른 절식 시 TAN 배설률은 어류 사육조 유입수와 배출수를 09:00시부터 2시간 간격으로 다음 날 09:00시까지 채수하여 TAN 농도를 측정하여 구하였다. 사료 공급에 따른 식후 TAN 배설률은 사료 공급 직전(09:00 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. 1999a). TAN 분석은 Strickland and Parsons(1972)의 방법에 따라 측정하였다.

$$\text{TAN 배설률(mg TAN kg fish}^{-1}\text{ h}^{-1}) = \{(C_O - C_I)Q_1 - (C_C - C_I)Q_2\}/W$$

여기서, C_I = 유입수의 TAN 농도(mg/*l*)
C_O = 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. 볼락 치어의 TAN 배설률에 대한 수온의 영향은 분산분석(ANOVA)를 실시하여 Duncan's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

3. 결 과

절식에 따른 TAN 배설

볼락 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 15, 20 그리고 25°C에서 각각 6.1~10.0(8.1±0.2, mean±standard error), 7.6~10.3(9.0±0.1) 그리고 7.9~11.0(9.2±0.1) mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}로 나타나 수온 상승에 따라 증가하였다. 일간 배설률(Fig. 2)은 각각 194.0±6.5, 215.5±4.1 그리고 221.8±5.1 mg TAN kg fish^{-1} d^{-1}로 나타나, 15°C에 비해 20°C와 25°C가 각각 약 1.11배와 1.14배 증가하였다. 이상의 결과에서 볼락 치어의 절식 시 시간당 및 일간 평균 TAN 배설률은 수온 상승에 따라 모두 증가하였으며, 15°C에 비해 20°C와 25°C가 유의하게($P<0.05$) 증가하였지만, 20°C와 25°C간에는 차이가 없었다($P>0.05$).

사료 공급에 따른 식후 TAN 배설

수온에 따른 볼락 치어의 식후 시간당 평균 TAN 배설

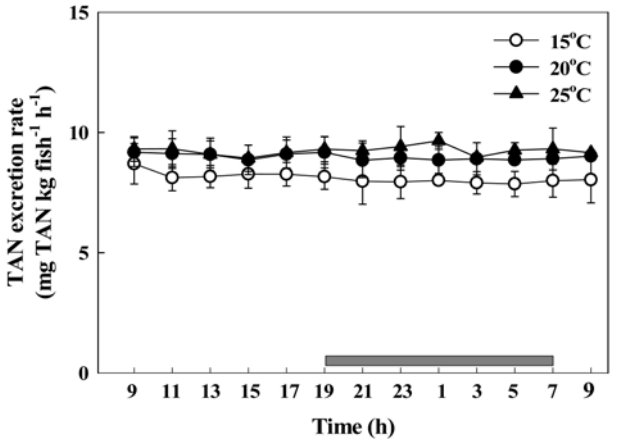

Fig. 1. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) rate of the fasted dark-banded rockfish *Sebastes inermis* under three different water temperatures. The dashed bar represents the night period. Values represent mean±standard error (n=3).

Table 1. Total ammonia nitrogen (TAN) excretion of the fasted dark-banded rockfish *Sebastes inermis* under three different water temperatures

	Water temperature (°C)		
	15	20	25
TAN excretion rate* (mg TAN kg fish^{-1} h^{-1})	8.1±0.2^a	9.0±0.1^b	9.2±0.1^b

*Values (mean±standard error) with different superscript are significantly different ($P<0.05$, n=39).

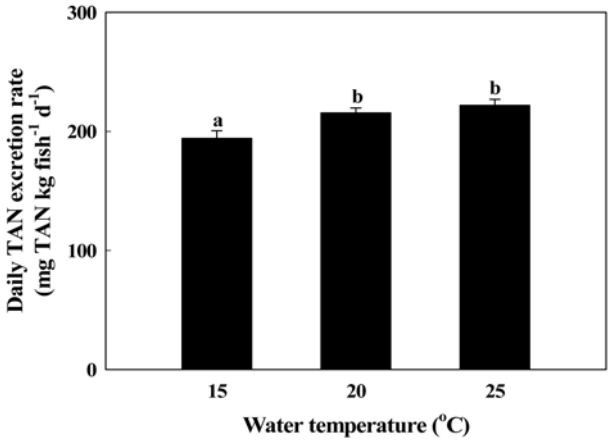

Fig. 2. Daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of the fasted dark-banded rockfish *Sebastes inermis* under three different water temperatures. Values (mean±standard error) with different letter are significantly different (n=3).

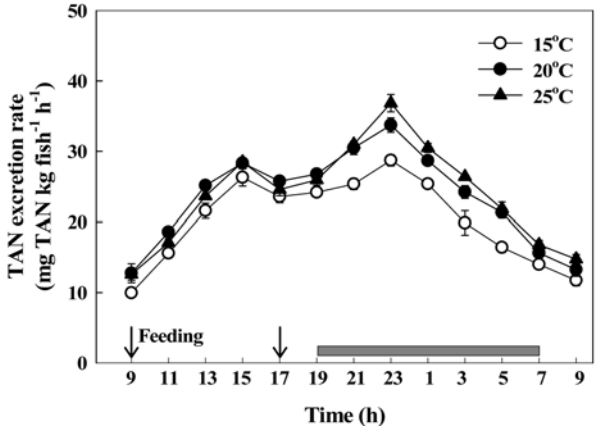

Fig. 3. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of dark-banded rockfish *Sebastes inermis* under three different water temperatures. Fish were fed a diet two times (09:00 and 17:00 h) a day. The dashed bar represents night period. Values represent mean±standard error (n=3).

률의 일간 패턴과 그 결과를 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 수온 15, 20 그리고 25°C 모두에서 사료 공급과 동시에 TAN 배설률이 증가하였다. 수온 15°C의 경우 사료 공급에 따른 식후 시간당 TAN 배설률은 9.7~29.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1} 범위였으며 평균 20.1±1.0 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}로 나타났다. 첫 번째 사료 공급이 이루어진 09:00시부터 TAN 배설률은 증가하기 시작해 공급 6시간(즉, 15:00 h) 후에 첫 번째 peak 값(평균 26.3±1.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1})을 보였다. 이후 TAN 배설률은 감소하였다가 두 번째(즉, 17:00 h) 사료 공급이 이루어진 6 시간(즉, 23:00 h) 후에 두 번째 peak 값(평균 28.7±0.8 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1})을 보였다. 이후 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 10시간 후에는 처음의 배설률로 낮아졌다. 수온 20°C와 25°C의 경우 식후 시간당 TAN 배설률은 각각 11.0~33.4와 11.0~39.0 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1} 범위를 보였으며, 평균 TAN 배설률은 각각 22.9±1.0과 23.4±1.3 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}로 나타나 25°C가 15°C에 비해 유의하게($P<0.05$) 높았지만 20°C와는 차이가 없었고 ($P>0.05$, Table 2), 20°C는 15°C와도 차이가 없었다 ($P>0.05$). 식후 일간 TAN 배설 패턴은 수온 15°C와 동일하게 수온 20°C와 25°C에서도 사료 공급과 동시에 증가하기 시작해 사료 공급(즉, 09:00, 17:00 h)이 이루어진 6 시간 후(즉, 15:00, 23:00 h)에 peak 값을 보였다. 수온 20°C의 경우 첫 번째와 두 번째 peak 값은 각각 평균 28.3±0.8와 33.7±1.0 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}이었고, 수온 25°C의 경우 각각 평균 28.5±0.4와 36.8±1.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}로 나타나 15°C와 마찬가지로 20°C와 25°C에서도 두 번째 peak 값이 첫 번째 peak 값보다 높게 나타났다.

사료 공급에 따른 식후 일간 평균 TAN 배설률은 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 501.2±18.2, 569.0±12.9 그리고 583.0±8.6 mg TAN kg fish^{-1} d^{-1}로 나타나 20°C와 25°C가 15°C에 비해 유의하게 높았지만($P<0.05$), 20°C와 25°C간에는 차이가 없었다($P>0.05$). 섭취한 질소에 대해 TAN으로 배설, 손실되는 질소는 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 36.2±1.5, 40.8±0.6 그리고 41.7±0.9%로 나타나 15°C에 비해 20°C와 25°C의 손실 비율이 유의하게 높았으며($P<0.05$), 20°C와 25°C는 차이가

Table 2. Results of nitrogen (N) intake rate, total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate and TAN loss of dark-banded rockfish *Sebastes inermis* fed a diet two times a day under three different water temperatures

Temp.	Daily intake N rate (n=3)	TAN excretion rate (n=39)	Daily TAN excretion rate (n=3)	TAN loss (n=3)
°C	mg N kg fish^{-1} d^{-1}*	mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}*	mg TAN kg fish^{-1} d^{-1}*	%*
15	1384.8±17.3^{a}	20.1±1.0^{a}	501.2±18.2^{a}	36.2±1.5^{a}
20	1395.7±10.6^{a}	22.9±1.0^{ab}	569.0±12.9^{b}	40.8±0.6^{b}
25	1397.0±13.8^{a}	23.4±1.3^{b}	583.0±8.6^{b}	41.7±0.9^{b}

*Values (mean±standard error) with different superscript in same column are significantly different ($P<0.05$).

없었다.

이상의 결과에서 수온 15, 20 그리고 25°C 모두 두 번의 사료 공급에 따라 두 번의 TAN 배설률 peak를 보였고 첫 번째 보다 두 번째 peak 값이 높았으며, 사료 공급 6시간 후 peak 배설률을 보였다. 수온 상승에 따라 TAN 배설률이 증가하였으며, 섭취 질소에 대한 질소 손실 비율은 15°C에 비해 20°C와 25°C가 약 4.6~5.5% 높게 나타났다.

4. 고 찰

어류의 먹이 섭취, 소화(효소 반응), 성장, 산소 소비 및 암모니아 배설과 같은 대사 과정은 수온에 직접적인 영향을 받으며, 일반적으로 수온 상승과 함께 증가한다(Forsberg and Summerfelt 1992). 본 실험 결과 수온 상승은 볼락 치어의 절식과 사료 공급에 따른 TAN 배설률 상승에 직접적인 영향을 미쳤으며, flounder(*Paralichthys olivaceus*)(Tanaka and Kadowaki 1995), walleye(Forsberg and Summerfelt 1992; Cai and Summerfelt 1992), areolated grouper(*Epinephelus areolatus*)(Leung et al. 1999a) 그리고 starry flounder(*Platichthys stellatus*)(오 등 2009) 등의 결과와 일치하였다. 절식에 따른 TAN 배설은 사료와 같은 외인성 단백질원의 섭취 및 소화·흡수에 기인한 것이 아닌 어류 자체가 가지고 있는 체단백질의 이화작용(catabolism)과 대사회전(turnover)에 따른 내인성(endogenous) 배설(Jobling 1981)을 나타내며, 절식 기간과 수온, 어종에 따라 다양하게 나타난다. 오 등(2004)은 17.1~21.5 g의 참돔(*Pagrus major*)을 대상으로 23°C 조건에서 3일간 절식한 결과 6.5~14.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}의 내인성 배설률을, Porter et al.(1987)은 3~90 g의 gilthead seabream(*Sparus aurata*)을 대상으로 24°C 조건에서 15~20시간 절식한 후 10~16 mg NH_4-N kg fish^{-1} h^{-1}의 내인성 배설률을 보고하였다. 오 등(2009)은 42.4 g의 starry flounder를 대상으로 수온 10, 15 그리고 20°C에서 3일간 절식 후 TAN 배설률이 각각 10.9, 11.2 그리고 12.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}으로 증가한다고 보고해 본 실험 결과와 일치하였다. Ballestrazzi et al.(1994)와 Kaushik and Cowey(1991)는 몇 종의 경골어류를 대상으로 100~200 mg N kg fish^{-1} d^{-1}의 일간 내인성 질소 배설률을 보고하였으며, 본 실험의 194.0~221.8 mg TAN kg fish^{-1} d^{-1}의 일간 내인성 TAN 배설률과 유사하였다. 이상의 결과에서 수온 상승은 볼락 치어의 체내 아미노산의 탈아미노화(deamination) 작용을 증가시켜 높아진 대사 요구량을 부분적으로 충족시킨 결과(Forsberg and Summerfelt 1992), 절식에 따른 일간 TAN 배설률이 15°C에 비해 20°C와 25°C가 약 1.11배와 1.14배 증가한 것으로 판단된다.

어류의 TAN 배설은 수온과 더불어 섭취하는 먹이에 직접적인 영향을 받는다(Brett and Zala 1975; Kaushik 1980; Ming 1985). 즉, 외부 단백질의 유입에 따른 체내 이화작용의 결과 TAN 배설은 즉각적으로 증가하며(Kaushik 1980), 그 양의 정도와 시간은 어종, 크기, 섭취량, 그리고 수온 등에 따라 달라진다. 오 등(2009)은 42.4 g의 starry flounder를 대상으로 수온 10, 15 그리고 20°C에서 어체중의 2.2~3.2%의 사료를 공급한 후 각각 33.0, 43.4 그리고 55.3 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}의 시간당 평균 TAN 배설률을 보여 수온 상승에 따라 증가하였으며, Lyytikäinen and Jobling(1998)은 6 g의 Arctic charr를 대상으로 수온 11.0, 14.4 그리고 17.7°C에서 만복 사료 공급한 후 각각 5.95, 7.31 그리고 10.54 mg N kg fish^{-1} h^{-1}의 질소 배설률을 보여 본 실험과 유사한 경향을 보였다. 수온 상승에 따른 식후 TAN 배설의 증가는 minnows (*Phoxinus phoxinus*)(Cui and Wootton 1988)와 areolated grouper(Leung et al. 1999b) 등에서도 동일한 결과를 보였다.

암모니아 배설에 관한 일간 패턴은 어류 사육 시스템 내 수질 관리를 위한 중요한 정보를 제공한다(Porter et al. 1987; Forsberg and Summerfelt 1992). 절식 후 나타난 내인성 TAN 배설률의 일간 패턴은 수온에 관계없이 큰 변화를 보이지 않았으며, 이전의 결과들과 일치하였다(Brett and Zala 1975; Kaushik 1980; Clarke et al. 1985; 오 등 2009). 식후 TAN 배설률의 일간 패턴은 사료 공급횟수에 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 6시간 후 나타났고 두 번째 peak 값이 높게 나타났다. 또한 수온이 높을수록 peak 값이 높았다. 오 등(2009) 역시 starry flounder를 대상으로 수온 10, 15 그리고 20°C에서 두 번의 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 관찰하였고 각 peak 값은 사료 공급 2시간 후 나타났으며 두 번째 peak 값이 항상 높고 수온이 높을수록 증가하는 결과를 보고하여 본 실험 결과와 유사하였다. Dosdat et al.(1996) 역시 평균 체중 10 g의 sea bass, sea bream(*Sparus auratus*), turbot(*Scophthalmus maximus*), brown trout(*Salmo trutta fario*) 그리고 rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)를 대상으로 두 번 사료 공급 후 두 번의 TAN 배설 peak를 관찰하였으며, peak 값은 사료 공급 3~5시간 후 나타났고 두 번째 peak는 첫 번째보다 높다고 보고하였다. 이와는 달리 하루에 한 번 사료 공급이 이루어진 Atlantic cod(*Gadus morhua*)(Lied and Braaten 1984), Arctic charr(Lyytikäinen and Jobling 1998) 그리고 참돔(오 등 2004)은 한 번의 TAN 배설 peak를 보였으며,

각각 사료 공급 5~6시간, 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, 볼락의 경우 사료 공급이 이루어진 6시간 후 환수를 통한 사육 시스템 내 수질관리가 이루어져할 것으로 판단된다.

본 실험 결과 볼락 치어는 수온에 따라 섭취한 사료 내 질소의 36.2~41.7%를 TAN으로 배설하는 것으로 나타났으며 수온 상승에 따라 배설 비율이 높아졌다. 오 등(2009)은 수온 10, 15 그리고 20°C에서 starry flounder의 TAN 배설 비율을 조사한 결과 수온 상승에 따라 각각 43.0, 45.7 그리고 48.8%로 증가하는 것으로 나타나 본 실험 결과와 유사하였다. Forsberg and Summerfelt (1992)는 walleye의 경우 20°C에 비해 25°C의 일간 TAN 배설률이 29.0% 높다고 보고하였고, Speece(1973)는 trout를 대상으로 16.6°C가 9.4°C에 비해 일간 TAN 배설률이 18.8% 높다고 보고하였다. 이와 같은 결과는 앞서 밝혀진 절식에 따른 내인성 TAN 배설률과 마찬가지로 수온 상승으로 유발된 높은 대사 에너지 요구량을 외부로부터 유입된 사료 내 아미노산의 이화작용으로 충족시킨 결과, 높은 수온에서 TAN 배설률이 증가한 것으로 생각된다.

이상의 결과에서 수온은 볼락 치어의 절식과 사료 섭취에 따른 내인성 및 식후 TAN 배설에 직접적인 영향을 미치는 대사조절인자로 작용하였다. 식후 TAN 배설 패턴과 배설량은 사육 시스템 내 암모니아의 축적을 방지하기 위한 환수 시기의 결정 및 생물여과조 설계 그리고 사료 공급 방법 결정에 유용한 정보로 활용할 수 있을 것이다.

5. 결 론

볼락 치어(평균 14.8±0.3 g, 총 90마리)의 수온(15, 20 그리고 25°C)에 따른 절식(fasting)과 사료 섭취에 따른 식후(post-prandial) 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설률의 일간 패턴과 배설률을 조사하였다. 실험어는 10일 이상 실험 수온에서 순치한 후 암모니아 배설 측정 시스템 내 사육수조에 수용하였다. 절식 TAN 배설은 72시간 절식 후 측정하였고, 식후 TAN 배설은 상품 사료(단백질 함량 47.7%)를 하루에 두 번(09:00, 17:00 h), 7일간 공급한 뒤 측정하였다. 사육수조 유입수와 배출수를 2시간 간격으로 24시간 동안 채수하여 TAN을 분석하였고, 모든 실험은 3반복으로 실시하였다. 절식 및 식후 TAN 배설 모두 수온 상승에 따라 증가하였다 ($P<0.05$). 절식 시 시간당 평균 TAN 배설률은 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 8.1, 9.0 그리고 9.2 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}이었고, 20°C와 25°C가 15°C에 비해 유의적으로 높았다($P<0.05$). 식후 시간당 평균 TAN 배설률의 경우 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 20.1, 22.9 그리고 23.4 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}으로 나타났다. 최대 평균 TAN 배설률은 최초 사료 공급 12시간 후 나타났으며, 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 28.7, 33.7 그리고 36.8 mg TAN kg fish^{-1} h^{-1}이었다. 수온 15, 20 그리고 25°C에서 섭취한 질소에 대한 TAN 배설 비율은 각각 36.2, 40.8 그리고 41.7%로 나타나 20°C와 25°C가 15°C에 비해 유의적으로 높았다($P<0.05$). 이상의 결과에서 수온은 볼락 치어의 질소 대사에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원 기본연구사업 “해양 어류의 대사생리에 미치는 환경인자의 영향 연구(PE98428)”의 지원에 의해서 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

오승용, 노충환 (2006) 대형 수조에서 볼락 종묘 생산에 따른 수질 환경의 변화. 한국양식학회지 **19**(1):25-32

오승용, 노충환, 홍경표, 김종만 (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**(3):415-423

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

오승용, 조재윤 (2005) 나일틸라피아의 암모니아 배설에 미치는 어체중과 사료 내 단백질 함량의 영향. 한국양식학회지 **18**(2):122-129

Ballestrazzi R, Lanari D, D'Agaro E, Mion A (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**(2-3):197-206

Beamish FWH, Thomas E (1984) Effects of dietary protein and lipid on nitrogen losses in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. Aquaculture **41**(4):359-371

Brett JR, Groves TDD (1979) Physiological energetics. In: Hoar WH, Randall DJ, Brett JR (eds) Fish physiology, vol 8. Academic Press, New York, pp 297-352

Brett JR, Zala CA (1975) Daily pattern of nitrogen excretion and oxygen consumption of sockeye salmon (*Oncorhynchus*

nerka) under controlled conditions. J Fish Res Bd Can **32**(12):2479-2486

Cai YJ, Summerfelt RC (1992) Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. Aquaculture **104**(1-2):127-138

Clarke ER, Harman JP, Forster JR (1985) Production of metabolic and waste products by intensively farmed rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol **27**(4):381-393

Cui Y, Wootton RJ (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**(3): 431-443

Dosdat A, Servais F, Metailler R, Huelvan C, Desbruyeres E (1996) Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. Aquaculture, **141**(1-2):107-127

Elliott JM (1976) Energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout, *Salmo trutta,* in relation to body weight, water temperature and ration size. J Anim Ecol **45**(3):923-948

Engin K, Carter CG (2001) Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. Aquaculture **194**(1-2):123-136

Forsberg JA, Summerfelt RC (1992) Effects of temperature on dial ammonia excretion of fingerling walleye. Aquaculture **102**(1-2):115-126

Gélineau A, Médale F, Boujard T (1998) Effect of feeding time on postprandial nitrogen excretion and energy expenditure in rainbow trout. J Fish Biol **52**(4):655-664

Handy RD, Poxton MG (1993) Nitrogen pollution in mariculture : toxicity and excretion of nitrogenous compounds by marine fish. Rev Fish Biol Fish **3**(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**(1):87-96

Kaushik SJ (1980) Influence of nutritional status on the daily patterns of nitrogen excretion in carp (*Cyprinus carpio* L.) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). Reprod Nutr Dev **20**(6):1751-1765

Kaushik SJ, Cowey CB (1991) Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish. In: Cowey CB, Cho CY (eds) Nutritional strategies & aquaculture waste. University of Guelph, Canada, pp 37-50

Leung KMY, Chu JCW, Wu RSS (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**(3-4):215-227

Leung KMY, Chu JCW, Wu RSS (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**(10):793-798

Lied E, Braaten B (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**(1):49-52

Lyytikäinen T, Jobling M (1998) The effect of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. J Fish Biol **52**(6):1186-1198

Meade JW (1985) Allowable ammonia for fish culture. Prog Fish-Cult **47**(3):135-145

Ming FW (1985) Ammonia excretion rate as an index for comparing efficiency of dietary protein utilization among rainbow trout (*Salmo gairdneri*) of different strains. Aquaculture **46**(1):27-35

Perera WMK, Carter CG, Houlihan DF (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**(4):591-603

Porter CB, Krom MD, Robbins MG, Brickell L, Davidson A (1987) Ammonia excretion and total N budget for gilthead seabream (*Sparus aurata*) and its effect on water quality conditions. Aquaculture **66**(3-4):287-297

Ruyet JPL, Mahé K, Le Bayon N, Le Delliou H (2004) Effects of temperature on growth and metabolism in a Mediterranean population of European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. Aquaculture **237**(1-4):269-280

Rychly J, Marina AB (1977) Ammonia excretion of trout during a 24-hour period. Aquaculture **11**(2):173-178

Speece RE (1973) Trout metabolism characteristics and rational design of nitrification facilities for water reuse in hatcheries. Trans Am Fish Soc **102**(2):323-328

Strickland JD, Parsons TR (1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Bull Fish Res Bd Can **167**:310

Tanaka Y, Kadowaki S (1995) Kinetics of nitrogen excretion by cultured flounder *Paralichthys olivaceus*. J World Aquacult Soc **26**(2):188-193

Thomas SL, Piedrahita RH (1998) Apparent ammonia-nitrogen production rates of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) in commercial aquaculture system. Aquacult Eng **17**(1):45-55

Trussell RP (1972) The percent un-ionized ammonia in aqueous ammonia solutions at different pH levels and temperature. J Fish Res Bd Can **29**(10):1505-1507

Wu RSS (1995) The environmental impact of marine fish culture: towards a sustainable future. Mar Poll Bull **31**(4-12):159-166

Received Apr. 28, 2009
Revised Jun. 29, 2009
Accepted Jul. 14, 2009