

순환여과식 내 수온에 따른 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 치어의 절식 및 식후 암모니아 배설

오승용* · 최희정

한국해양과학기술원 해양생물자원연구단

Fasting and Postprandial Ammonia Nitrogen Excretion of Juvenile *Oplegnathus fasciatus* at Various Temperatures in a Recirculating System

Sung-Yong Oh* and Hee-Jung Choi

Marine Bio-Resources Research Unit, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

This study investigated diurnal fasting and postprandial total ammonia nitrogen (TAN) excretion rates in juvenile *Oplegnathus fasciatus* (rock bream; mean body weight 45.8 ± 1.1 g) at three temperatures (15, 20, and 25°C) in a recirculating system (three replicates). The fish were hand-fed twice daily (09:00 and 17:00 h) with commercial food (46.7% protein) until satiation. The results showed that the fasting and postprandial TAN excretion rates were temperature-dependent. The mean hourly rates were 7.7 (15°C), 10.2 (20°C), and 11.9 (25°C) mg kg fish⁻¹ h⁻¹ for fasting and 34.0 (15°C), 47.8 (20°C), and 60.2 (25°C) mg kg fish⁻¹ h⁻¹ for postprandial. At each temperature, two postprandial TAN excretion peaks were observed 2-4 h after feeding; the second peak was always higher. The TAN loss to nitrogen consumption ratio was 41.1-46.8 % and increased significantly with increasing temperature. Temperature affected fasting and postprandial TAN excretion in juvenile rock bream, providing insight for culture management.

Keywords: *Oplegnathus fasciatus*, Nitrogenous excretion, Temperature, Marine fish

서론

용존산소, 암모니아 및 수온은 집약적 사육시설 특히, 순환여과식과 같은 폐쇄 시스템 내 양식생물 사육에 중요한 영향을 미치는 수질인자로 간주된다(Cai and Summerfelt, 1992; Forsberg and Summerfelt, 1992; Merino et al., 2007; Fernandez and Tanner, 2008; Nerici et al., 2012; Yin et al., 2013). 사육 시스템 내 적정 용존산소 농도를 유지할 경우 암모니아 농도는 양식 생산성을 제한하는 인자로 작용하며(Forsberg and Summerfelt, 1992; Randall and Tsui, 2002; Nerici et al., 2012), 사육밀도, 환수량, 생물여과조의 크기 및 운전조건 등 다양한 시스템 운전인자를 결정하는 중요한 근거가 된다(Forsberg and Summerfelt, 1992; Oh and Choi, 2009). 또한 암모니아 배설량은 인공배합사료 섭취에 따른 양식어류의 단백질 이용효율 등 다양한 환경변화 및 영양학적 영향에 대한 질소대사 정보

를 제공할 수 있어(Perera et al., 1995; Oh et al., 2004; Sun and Chen, 2009), 배설되는 암모니아의 정량화는 시스템 내 안정적인 수질관리, 생물여과조의 최적 운전 및 설계인자 도출 그리고 생산성 향상 및 환경변화에 따른 생물반응의 정량화를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 해산 경골어류의 대부분은 사료 섭취 후 체내 단백질 대사의 최종 부산물로 암모니아를 총 배설 질소의 약 70-90% 비율로 배설하며(Randall and Tsui, 2002; Merino et al., 2007; Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Nerici et al., 2012; Engin et al., 2013), 그 정도는 수온, 섭취 질소 함량 및 어종 등에 따라 달라진다(Lied and Braaten, 1984; Ramnarine et al., 1987). 이 중 수온은 변온동물인 어류의 단백질 대사 및 질소 배설에 직접적인 영향을 미치는 가장 중요한 환경인자 중의 하나로서(Kikuchi et al., 1995; Person-Le Ruyet et al., 2004), 이전 많은 연구에서 수온 상승은 어류의 총암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배설률을 증가시키는 것으로 보

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 664. 3310 Fax: +82. 51. 955. 3981

E-mail address: syoh@kiost.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0918>

Korean J Fish Aquat Sci 53(6), 918-924, December 2020

Received 17 November 2020; Revised 1 December 2020; Accepted 2 December 2020

저자 직위: 오승용(연구원), 최희정(기술원)

고된 바 있다(Leung et al., 1999; Person-Le Ruyet et al., 2004; Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Oh et al., 2010; Nerici et al., 2012; Frisk et al., 2013; Yin et al., 2013).

돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)은 대표적 해산 양식어종으로 연안 가두리 및 육상양식장에서 사육이 이루어지지만, 동절기 낮은 성장률과 생존율로 인해 수온 관리가 가능한 순환여과식 시스템 내 사육에 적합한 어종이다(Oh et al., 2006; Park et al., 2014). 돌돔의 순환여과식 사육을 위한 연구로서 수온과 광주기에 따른 대사율 변화(Oh et al., 2006)와 암모니아 농도에 따른 성장 연구(Park et al., 2014)가 있지만, 사육과정 중 발생하는 대사 노폐물인 암모니아 배설에 관한 연구는 이루어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 돌돔의 저수온기 성장 저해 현상을 방지하고 연중 생산이 가능한 순환여과식 시스템 등을 활용한 친환경적 생산 시스템 구축을 위해 돌돔 치어를 대상으로 수온 변화에 따른 절식(fasting) 및 사료 섭취(postprandial)에 따른 TAN 배설 경향 및 배설량을 조사하였다.

재료 및 방법

실험어 및 순치

실험어는 통영지역 해상 가두리에서 사육 중인 돌돔 치어를 실내 순환여과식 수조로 옮겨 10주 동안 순치시킨 후 사용하였다. 실내 수조에서 순치하는 동안 실험어는 해산어 상품사료(Purina Co., Seongnam, Korea; 단백질 함량 46.7%)를 일간 어체중의 1-3%를 하루에 2회(09:00, 17:00 h) 공급하였으며, 수온, 염분 그리고 광주기는 각각 20.0±0.1°C, 33.1±0.9 psu 그리고 12L (light):12D (dark) 조건을 유지하였다.

실험 장치

수온에 따른 돌돔 치어의 TAN 배설률은 공급탱크(용적 519 L), 저수탱크(1.0×3.0×1.0 m), 질산화여과조(총표면적 48.28 m²) 및 어류 사육조(0.23×0.39×0.26 m)로 이루어진 Oh and Jo (2005)의 소형 시스템을 수정하여 사용하였다. 실험 기간 동안 수량은 18.9±0.5 L, 유량은 36.0±0.7 L h⁻¹를 유지하였다. 어류 사육조는 경사(약 15°)를 주어 사료 공급 등으로 인한 고형 노폐물(분과 유기물)의 배출을 용이하게 하였다(Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Oh et al., 2010).

실험 방법

각 실험 수온에 대한 순치 및 실험 절차는 이전 연구 보고에서 사용된 시스템 및 방법을 이용하였다(Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Oh et al., 2010). 즉, 사육수조 2개(용적 200 L)와 침지식 질산화여과조로 이루어진 독립된 3 set의 순환여과식 시스템 내에 실험어 순치 수온 중 하나인 20°C로 조절 후 각 set별 사육수조마다 10마리씩, 총 6개의 사육수조에 임의로 분산 수용하였다. 실험어 수용 후 실험 수온인 15, 20 그리고 25°C로 조

절하기 위해 20°C 실험구 1 set를 제외하고 나머지 2 set의 시스템의 수온을 3일에 걸쳐 15°C 또는 25°C로 조절하였다. 수온 조절 후 실험어는 15일 이상 실험 수온에 순치시켰으며, 이 기간 동안 하루에 2회(09:00, 17:00 h) 어체중의 2-3% 비율로 사료를 공급하였고 광주기 역시 12L:12D를 유지하였다. 각 실험 수온에 순치된 돌돔 치어는 핸들링에 의한 스트레스를 방지하기 위해 2-phenoxyethanol (150 mg/L)로 마취 후 체중을 측정한다음 각 실험 수온으로 조절된 실험 장치 내 어류 사육조에 5마리씩, 3반복 수용하였다. 실험어 수용 후 순치기간 동안 섭취한 사료, 즉 사료 내 단백질의 영향을 배제한 내인성(endogenous) TAN 배설량을 알아보기 위해 72 h 절식한 후 24 h 동안 TAN 배설률을 측정하였다(Leung et al., 1999). 절식 시 TAN 배설률을 측정 후 사료 섭취에 따른 식후(postprandial) TAN 배설률을 측정하기 위해 다시 실험어의 무게를 측정 후 실험 장치 내에서 하루에 2회(09:00, 17:00 h) 7일간 반복 사료 공급을 하며 일반적인 배설 패턴을 확보하였다(Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Oh et al., 2010). 사료 공급 8일째에 동일하게 하루에 2회 반복 사료 공급하며 식후 TAN 배설률을 24 h 동안 조사하였으며, 실험에 사용한 돌돔 치어의 체중은 45.8±1.1 g (평균 ±SD, 습중량)이었다.

4. 암모니아 측정 및 자료 분석

돌돔 치어의 수온에 따른 절식 및 사료공급에 따른 식후 TAN 배설률은 이전의 연구 보고의 방법을 사용하였다(Oh and Choi, 2009; Oh et al., 2009; Oh et al., 2010). 즉, 각 수온별 절식 및 식후 TAN 배설률은 실험 장치 내 어류를 수용하지 않은 대조구와 실험구 유입수와 배출수를 09:00 h (식후 TAN 배설률의 경우 사료공급 직전)부터 다음 날 09:00 h까지 24 h 동안 2 h 간격으로 채수하여 TAN 농도를 측정하고 아래의 식을 이용하여 구하였다(Leung et al., 1999).

$$\text{TAN 배설률}(\text{mg TAN kg fish}^{-1} \text{h}^{-1}) \\ = [(C_o - C_i) Q_1 - (C_c - C_i) Q_2] / W$$

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)

Q₁, 실험구를 지나가는 시간당 유량(L/h)

Q₂, 대조구를 지나가는 시간당 유량(L/h)

W, 어체중(kg)

일간 TAN 배설률(mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹)은 위 식을 통해 계산된 절식 및 식후 TAN 배설률(mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)을 시간에 대한 TAN 배설률로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 구하였다(Leung et al., 1999).

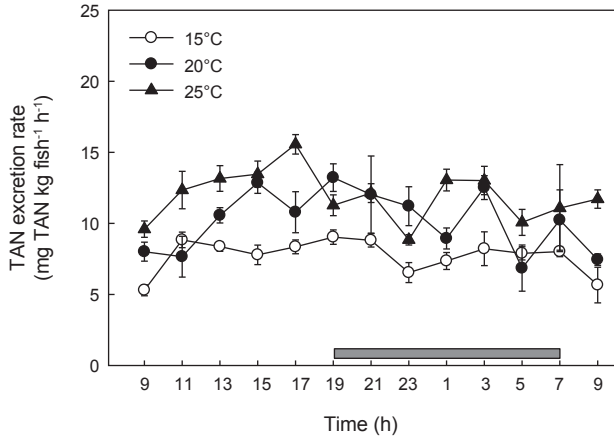


Fig. 1. Daily patterns of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* after 3 days fasting at three different temperatures. The dashed bar indicates the night period. Values represent mean±SE (n=3).

절식에 따른 일간 TAN 배설률의 경우 수온 변화의 영향을 알아보기 위해 아래의 식을 이용하여 Q_{10} 값을 구하였다.

$$Q_{10} = (R_2/R_1)^{10/(T_2-T_1)}$$

여기서, R_1 와 R_2 는 수온 T_1 과 T_2 일 때의 평균 TAN 배설률

돌돔 치어의 수온에 따른 TAN 배설률은 SPSS 11.5(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)를 실시하였다. 분산분석 이전 자료의 동질성과 정규성을 조사하고, 위배될 경우 Krusk-Wallis test를 실시하였다. 분산분석 결과 차이가 있을 경우 Tukey's multiple range test로 평균간 유의성을 95% 신뢰수준에서 검정하였다.

결 과

절식 TAN 배설 및 Q_{10} 값

돌돔 치어의 수온 변화에 따른 절식 시 시간당 TAN 배설률의 일간 패턴과 평균 배설률을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 절식 시 평균 시간당 TAN 배설률은 수온 15, 20 그리고 25°C

Table 1. Results of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* after 3 days fasting at three different temperatures

	Water temperature (°C)		
	15	20	25
TAN excretion rate* (mg TAN kg fish ⁻¹ h ⁻¹)	7.7±0.2 ^a	10.2±0.5 ^b	11.9±0.4 ^c

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

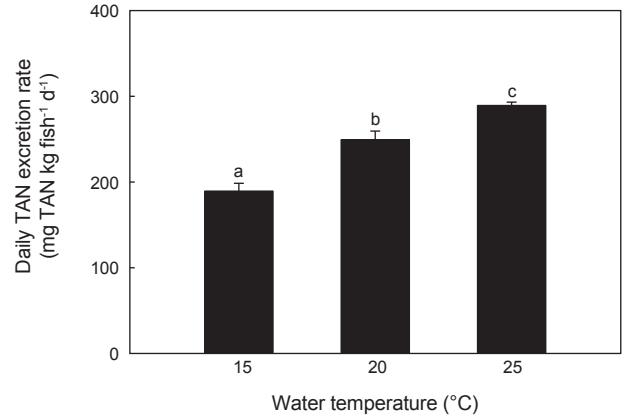


Fig. 2. Mean daily total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate for 3 days fasted juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* at three different temperatures. Values (mean±SE, n=3) with different letter are significantly different (P<0.05).

에서 각각 3.4-10.0 (7.7±0.2, mean±standard error), 5.0-15.7 (10.2±0.5) 그리고 5.6-16.6 (11.9±0.4) mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다(P<0.05). 절식에 따른 돌돔 치어의 일간 배설률(Fig. 2)은 각각 189.3±9.1, 249.1±10.2 그리고 289.2±3.8 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나, 15°C에 비해 20°C와 25°C가 각각 약 1.32배와 1.53배 증가하였고, 20°C에 비해 25°C는 약 1.16배 증가하였다. 수온 변화에 따른 돌돔 치어의 Q_{10} 값은 Table 2에 나타내었다. Q_{10} 값은 수온 15-20°C, 20-25°C 그리고 15-25°C 범위에서 각각 1.73, 1.35 그리고 1.53로 나타나 15-20°C 범위에서 가장 높았다. 이상의 결과에서 돌돔 치어의 절식 시 시간당 및 일간 평균 TAN 배설률은 수온 상승에 따라 모두 유의하게 증가하였다(P<0.05).

식후 TAN 배설

수온 변화에 따른 돌돔 치어의 식후 시간당 TAN 배설률의 일간 패턴과 평균 배설률을 각각 Fig. 3과 Table 3에 나타내었다. 수온 15, 20 그리고 25°C의 식후 시간당 TAN 배설률은 각각 19.3-63.6 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ (평균 34.0±1.8 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹), 20.3-76.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ (47.8±2.0 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹) 그리고 32.2-112.1 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹ (60.2±3.4 mg TAN kg fish⁻¹ h⁻¹)로 나타나, 수온 상승에 따라 식후 TAN

Table 2. Q_{10} value of fasted juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* for different temperature ranges

	Temperature intervals (°C)		
	15-20	20-25	15-25
Q_{10} *	1.73	1.35	1.53

* Q_{10} , $(R_2/R_1)^{10/(T_2-T_1)}$; where, R_1 and R_2 are the average TAN excretion rates at temperatures T_1 and T_2 .

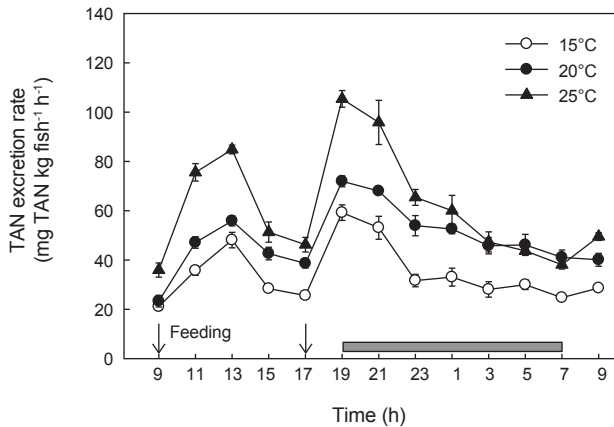


Fig. 3. Daily patterns of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate of juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* fed to satiation level with two times (09:00 and 17:00 h) a day at three different temperatures. The dashed bar indicates night period. Values represent mean±SE (n=3).

배설률은 유의하게 증가하였다(P<0.05). 식후 TAN 배설률의 일간 패턴은 모든 수온 조건에서 최초 사료 공급(즉, 09:00 h)이 이루어진 후 TAN 배설률이 증가하기 시작해 사료 공급 4 h(즉, 13:00 h) 후에 첫 번째 peak 값을 나타낸 다음 감소한 후 두 번째(즉, 17:00 h) 사료 공급이 이루어진 2 h(즉, 19:00 h) 후에 두 번째 peak 값을 보였으며, 두 번째 peak 값을 보인 후 식후 TAN 값은 감소하기 시작해 두 번째 사료 공급 14-16 h 후에는 처음의 배설률로 낮아지는 경향을 보였다. 식후 TAN 배설률의 peak 값은 각 수온 조건에서 두 번째가 첫 번째 보다 높게 나타났다.

식후 일간 평균 TAN 배설률은 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 834.8±24.8, 1178.5±38.3 그리고 1480.8±68.5 mg TAN kg fish⁻¹ d⁻¹로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다(P<0.05). 사료 내 섭취 질소 중 TAN으로 손실되는 질소의 비율은 수온 15, 20 그리고 25°C에서 각각 41.1±0.3, 43.6±0.5 그리고 46.8±0.3%로 나타나 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였다(P<0.05). 이상의 결과에서 수온에 상관없이 식후 TAN 배설률은 사료 공급 후 즉각적으로 증가하였고 2-4 h 후 peak TAN 배설률을 보인 후 감소하는 경향을 보였으며, 두 번째

peak 값이 항상 높게 나타났다. 식후 TAN 배설률은 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였으며, 섭취 질소에 대한 질소 손실 비율은 15°C에 비해 20°C와 25°C가 약 2.5-5.7% 높게 나타났다.

고 찰

수온은 수서생물의 성장, 생존, 먹이섭취, 호흡, 번식뿐만 아니라 양식생물의 생산성에 영향을 미치는 질소의 체내이용 및 배설 등 다양한 생리학적 과정에 근본적으로 관여하는 중요한 외부 환경요인 중 하나로서(Saucedo et al., 2004; Katsanevakis et al., 2005; Yin et al., 2013), 본 연구 결과에서도 수온은 돌돔 치어의 절식과 식후 암모니아 배설에 직접적인 영향을 미쳤으며 이전의 많은 다른 종의 연구 결과와 일치하였다(Zheng et al., 2008; Nerici et al., 2012; Frisk et al., 2013). 내인성(endogenous) 배설 즉, 절식 시 암모니아 배설은 어류 체내 단백질의 자체 대사작용(즉, catabolism과 turnover)에 의한 것으로서(Jobling, 1981), 다양한 수온 조건에서 절식과 같은 제한된 사료 공급이 이루어질 경우 수온이 높아질수록 체내 대사 에너지의 많은 비율이 성장보다는 유지관리에 사용된다(Elliott, 1976; Brett and Groves, 1979). 즉, 체내 내인성 단백질 합성은 감소하고 단백질 대사회전(turnover)이 증가함에 따라 질소 배설이 증가하게 된다(Rawles et al., 2012). 본 실험에서도 수온 상승에 따라 절식 시 TAN 배설률은 15°C비해 20-25°C로 상승할 경우 약 1.32-1.53배 유의하게 증가하였으며, 이전의 동일 수온 조건에서 실험이 이루어진 볼락(*Sebastes inermis*) (Oh and Choi, 2009)의 경우 1.11-1.14배, 강도다리(*Platichthys stellatus*) (Oh et al., 2009)의 경우 10°C에 비해 15-20°C는 1.03-1.12배, 그리고 대구(*Gadus macrocephalus*) (Oh et al., 2010) 치어의 경우 9°C에 비해 11-13°C 조건에서 1.18-1.27배 증가하는 것으로 나타나 유사한 결과를 보였다. 이와 같은 절식 시 TAN 배설 자료는 운반, 선별 또는 계측을 위한 절식 전후의 사육관리를 위한 중요 정보로 활용할 수 있다(Nerici et al., 2012).

Q₁₀ 값은 온도 상승에 적응하기 위한 수서동물의 체내 효소 및 생리적 반응에 연관된 에너지 요구량을 반영하는 값으로서(Kita et al., 1996; Spanopoulos-Hernández et al., 2005), 본 실험 결과 수온 상승에 따른 절식 시 TAN 배설률의 Q₁₀ 값은 1.73 (15-20°C), 1.35 (20-25°C) 그리고 1.53 (15-25°C)로서 15-20°C

Table 3. Results of total ammonia nitrogen (TAN) loss ratio of juvenile rock bream *Oplegnathus fasciatus* fed to satiation level with two times a day at three different 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) (%)
15	2032.7±48.0 ^a	34.0±1.8 ^a	834.8±24.8 ^a	41.1±0.3 ^a
20	2701.8±96.2 ^b	47.8±2.0 ^b	1178.5±38.3 ^b	43.6±0.5 ^b
25	3166.8±159.0 ^b	60.2±3.4 ^c	1480.8±68.5 ^c	46.8±0.3 ^c

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

구간에서 가장 높게 나타났다. Oh et al. (2006)은 21.5 g의 돌돔을 대상으로 12L:12D 조건에서 15, 20 그리고 25°C의 산소 소비율에 대한 Q_{10} 값은 2.50 (15-20°C), 2.07 (20-25°C) 그리고 2.27 (15-25°C)로 나타나 본 실험과 마찬가지로 15-20°C 구간이 가장 높은 유사한 결과를 보였다. Oh et al. (2006)에 따른 산소 소비율의 Q_{10} 값과 본 실험의 Q_{10} 값으로 볼 때 봄에서 초여름 기간에 높은 대사를 증가뿐만 아니라 높은 체내 단백질 동화작용이 예상되며, 이에 따른 용존산소 및 사료 공급 등의 사육관리가 수반되어야 할 것으로 생각된다.

어류는 일반적으로 사료 섭취 후 대사를 증가와 함께 즉각적으로 TAN 배설률이 증가하며(Seginer, 2008), 그 정도와 경향은 질소 섭취량, 수온 및 어종에 따라 달라진다(Ramnarine et al., 1987; Engin and Carter, 2001). 본 실험의 결과 사료 공급 후 식후 시간당 TAN 배설률은 수온 상승에 따라 유의하게 증가하였으며, 이전의 볼락(Oh and Choi, 2009), 강도다리(Oh et al., 2009), 대구(Oh et al., 2010), Palm fish *Seriola lalandi* (Nerici et al., 2012), European sea bass *Dicentrarchus labrax* (Engin et al., 2013) 그리고 pikeperch *Sander lucioperca* (Frisk et al., 2013)에서도 동일한 결과를 보였다. 즉, 수온 상승은 섭취한 사료 내 아미노산의 아미노기전이(transamination)와 탈아미노화(deamination)의 대사반응을 증가시켜 배설률을 높이게 된다(Forsberg and Summerfelt, 1992; Nerici et al., 2012).

본 실험의 식후 TAN 배설률의 일간 패턴은 모든 실험 수온 조건에서 유사하였다. 사료 공급 2-4 h 후 peak 값이 나타났지만 수온이 높을수록 peak 값이 증가하는 결과를 보여 이전의 볼락(Oh and Choi, 2009), 강도다리(Oh et al., 2009), 대구(Oh et al., 2010) 그리고 palm fish (Nerici et al., 2012)의 결과와 유사하였다. 이와 같은 식후 TAN 배설률의 peak 값은 어종, 사료 공급 시기 및 사료 공급 횟수 등에 따라 달라지며 특히, 사료 공급 횟수에 따라 unimodal 또는 polymodal 형태를 보인다(Kaushik, 1980; Ramnarine et al., 1987; Nerici et al., 2012; Engin et al., 2013). 본 실험의 경우 모든 수온 실험구에서 09:00 시와 17:00 h에 이루어진 사료 공급 후 각각 4 h 및 2 h 후 TAN 배설 peak를 보였으며, 두 번째 peak 값이 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 두 번의 사료 공급 후 식후 TAN 배설률을 조사한 볼락(Oh and Choi, 2009), 강도다리(Oh et al., 2009), 대구(Oh et al., 2010) 그리고 palm fish (Nerici et al., 2012)에서도 동일한 결과를 보였지만, 식후 peak 값에 도달하는 시간은 사료 공급 2-6 h 후로 다양하게 나타나 어종에 따라 상이하였다. 이와 아울러 돌돔 치어의 산소 소비율의 보고(Oh et al., 2006)에서 나타난 바와 같이 암조건에서 낮은 대사율을 보인 결과로 볼 때, 본 실험에서 나타난 두 번째 peak 값이 첫 번째 peak 값(즉, 사료 공급 4 h 후)보다 빠르게 도달(즉, 사료 공급 2 h 후)한 후 TAN 배설률이 감소하는 현상은 두 번째 사료 공급 후 이루어진 암조건의 영향에 의한 것인지 향후 추가실험이 필요하다. 이와 같은 식후 TAN 배설률에 대한 자료는 향후 순환여과식 사육 시스템

내 환수시기 및 생물여과조 설계뿐만 아니라 계절별 사육관리를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다.

본 실험 결과 돌돔 치어는 수온에 따라 사료 내 질소의 41.1-46.8%를 TAN으로 배설하였으며, 수온 상승에 따라 유의적으로 증가하였다. 수온 상승에 따라 돌돔 치어는 어체중의 2.7-4.2%의 사료를 섭취하였고, 이로 인한 섭취 질소량이 유의하게 증가함으로써 수온 상승과 더불어 TAN 배설 비율 증가 원인으로 작용하였다. 이전 강도다리(Oh et al., 2009)에서도 수온 10-20°C 범위에서 어체중의 2.2-3.2% 사료를 공급한 결과 섭취 질소의 43.0-48.7%를 TAN으로 배설하며 수온 상승에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 대구 치어(Oh et al., 2010) 역시 9-13°C 범위에서 수온 상승과 함께 섭취 질소는 증가하였고 43.9-48.4% TAN으로 배설하는 것으로 나타나 본 실험과 유사한 결과를 보였다. 수온 15-25°C 조건에서 어체중의 1.8%로 동일하게 사료를 공급한 볼락 치어(Oh and Choi, 2009)의 경우 섭취 질소의 36.2-41.7%를 TAN으로 배설하는 것으로 나타나 수온 상승이 식후 TAN 배설률을 증가시킨다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과에서 수온은 돌돔 치어의 절식 및 식후 TAN 배설에 유의한 영향을 미쳤으며, 그 정도와 배설 패턴은 수온에 따라 달라졌다. 이와 같은 결과는 현재 돌돔 사육이 이루어지고 있는 해상가두리 내 계절별 사육관리뿐만 아니라 육상 유수식 및 순환여과식 내 적절한 수질관리를 위한 정보로 활용할 수 있다. 향후 연안 및 육상 수조식 양식장에서 나타날 수 있는 다양한 환경 변화 이슈(즉, 염분, pH, 부유물질 및 소음 등)에 따른 질소수지 영향 파악을 통해 돌돔 양식 생산성 향상이 필요하다.

사 사

본 연구는 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 “해상풍력 단지 해양공간 환경 영향 분석 및 데이터베이스 구축”(과제번호 20203030020080, 한국해양과학기술원 과제번호 PN68720) 과제의 일부 지원으로 이루어졌으며, 실험 진행 및 자료 분석을 도와주신 부경대학교 양식공학실 부원들에게 감사드립니다.

References

- Brett JR and Groves TDD. 1979. Physiological energetics. In: Hoar WS, Randall DJ and Brett JR (Eds.), *Fish Physiology*, vol. III. Academic Press, New York, NY, U.S.A., 279-352.
- Cai Y and Summerfelt RC. 1992. Effects of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture* 104, 127-138. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90143-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90143-9).
- Elliott JM. 1976. The energetics of feeding, metabolism and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) in relation to body weight, water temperature, and ration size. *J Ani Ecol* 45, 923-948. <https://doi.org/10.2307/3590>.

- Engin K and 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, 123-136. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00506-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00506-8).
- Engin K, Eroldoğan OT, Özşahinoğlu I, Yılmaz HA and Mumoğullarında P. 2013. Diurnal ammonia and urea excretion rates in European bass, *Dicentrarchus labrax* fed diets containing mixtures of canola and cotton seed oil at two different ambient temperature. *J Ther Biol* 38, 588-596. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2013.10.004>.
- Fernandez M and Tanner J 2008. Modelling of nitrogen loads from the farming of yellowtail kingfish *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833). *Aquac Res* 39, 1328-1338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02001.x>.
- Forsberg JA and Summerfelt RC. 1992. Effect of temperature on diel ammonia excretion of fingerling walleye. *Aquaculture* 102, 115-126. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90294-U](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90294-U).
- Frisk M, Steffensen JF and Skov PV. 2013. The effects of temperature on specific dynamic action and ammonia excretion in pikeperch *Sander lucioperca*. *Aquaculture* 404-405, 65-70.
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1981.tb03763.x>.
- 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. <https://doi.org/10.1051/rnd:19801002>.
- Katsanevakis S, Stephanopoulou S, Miliou H, Moraitou-Apostolopoulou M and Verriopoulos G. 2005. Oxygen consumption and ammonia excretion of *Octopus vulgaris* (Cephalopoda) in relation to body mass and temperature. *Mar Biol* 146, 725-732. <https://doi.org/10.1007/s00227-004-1473-9>.
- Kita J, Tsuchida S and Setoguma T. 1996. Temperature preference and tolerance and oxygen consumption of the marbled rockfish, *Sebastes marmoratus*. *Mar Biol* 125, 467-471. <https://doi.org/10.1007/BF00353259>.
- Kikuchi K, Sato T, Iwata N, Sakaguchi I, Deguchi Y. 1995. Effects of temperature on nitrogenous excretion of Japanese flounder. *Fish Sci* 61, 604-607. <https://doi.org/10.2331/fishsci.61.604>.
- Leung KMY, Chu JCW and Wu RSS. 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. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00404-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00404-9).
- Lied E and Braatan 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, 49-52. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(84\)90090-2](https://doi.org/10.1016/0300-9629(84)90090-2).
- Merino GE, Piedrahita RH and Conklin DE. 2007. Ammonia and urea excretion rates of California halibut (*Paralichthys californicus*, Ayres) under farm-like conditions. *Aquaculture* 271, 227-243. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.027>.
- Nerici C, Silva A and Merino G. 2012. Effect of two temperatures on ammonia excretion rates of *Serirolella violacea* (Palm fish) juveniles under rearing conditions. *Aquacul Eng* 46, 47-52. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.11.003>.
- Oh SY and Choi SJ. 2009. Effect of water temperature on ammonia excretion of juvenile dark-banded rockfish *Sebastes inermis*. *Ocean Polar Res* 31, 231-238. <https://doi.org/10.4217/OPR.2009.31.3.231>.
- Oh SY, Jang YS, Noh Ch, Choi HJ, Myoung JG and Kim CK. 2009. Effect of water temperature on ammonia excretion of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Korean J Ichthy* 21, 1-6.
- Oh SY and Jo JY. 2005. Effects of body weight and dietary protein level on ammonia excretion by the Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *J Aquaculture* 18, 122-129.
- Oh SY, Noh Ch, Hong KP and Kim JM. 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. <https://doi.org/10.4217/OPR.2004.26.3.415>.
- Oh SY, Noh CH, Kang RS and Myoung JG. 2006. Effects of water temperature and photoperiod on the oxygen consumption rate of fasted juvenile parrot fish, *Oplegnathus fasciatus*. *Ocean Polar Res* 28, 407-413. <https://doi.org/10.4217/OPR.2006.28.4.407>.
- Oh SY, Park HS and Noh CH. 2010. Effect of water temperature on ammonia excretion of juvenile Pacific cod *Gadus macrocephalus*. *Korean J Ichthy* 22, 147-153.
- Park S, Kim PK and Jeon JK. 2014. Effect of ammonia concentration in rearing water on growth and blood components of the parrotfish *Oplegnathus fasciatus*. *Korean J Fish Aquat Sci* 47, 840-846. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2014.0840>.
- Perera WMK, Carter CG and Houlihan DF. 1995. Feed consumption, growth and growth efficiency of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) fed on diets containing bacterial single cell protein. *Brit J Nutr* 73, 591-603. <https://doi.org/10.1079/BJN19950061>.
- Person-Le Ruyet J, Mahe 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, 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.04.021>.

- Randall D and Tsui T. 2002. Ammonia toxicity in fish. *Mar Pollut Bull* 45, 17-23. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8).
- Ramnarine IW, Pirie JM, Johnstone ADF and Smith GW. 1987. The influence of ration size and feeding frequency on ammonia excretion by juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* L. *J Fish Biol* 31, 545-559. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1987.tb05257.x>.
- Rawles SD, Green BW, Gaylord TG, Barrows FT, McEntire ME and Freeman DW. 2012. Response of sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) to digestible protein/dietary lipid density and ration size at summer culture temperatures in the Southern United States. *Aquaculture* 356-357, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.05.033>.
- Saucedo PE, Ocampo LA, Monteforte M and Bervera H. 2004. Effect of temperature on oxygen consumption and ammonia excretion in the Calafia mother-of-pearl oyster, *Pinctada mazatlanica* (Hanley, 1856). *Aquaculture* 229, 377-387. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00327-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00327-2).
- Seginer I. 2008. A dynamic fish digestion-assimilation model: oxygen consumption and ammonia excretion in response to feeding. *Aquacult Int* 16, 123-142. <https://doi.org/10.1007/s10499-007-9131-0>.
- Sun L and Chen H. 2009. Effects of ration and temperature on growth, fecal production, nitrogenous and energy budget of juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture* 292, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.041>.
- Spanopoulos-Hernández M, Martínez-Palacios CA, Vanegas-Pérez RC, Rosas C and Ross LG. 2005. The combined effects of salinity and temperature on the oxygen consumption of juvenile shrimps *Litopenaeus stylirostris* (Stimpson, 1874). *Aquaculture* 244, 341-348. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.023>.
- Yin F, Sun P, Peng S, Tang B, Zhang D, Wang C, Mu C and Shi Z. 2013. The respiration, excretion and biochemical response of the juvenile common Chinese cuttlefish, *Sepiella maindroni* at different temperatures. *Aquaculture* 402-403, 127-132. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.03.018>.
- Zheng Z, Jin C, Li M, Bai P and Dong S. 2008. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miiuy croaker, *Miichthys miiuy* (Basilewsky). *Aquacult Int* 16, 581-589. <https://doi.org/10.1007/s10499-008-9169-7>.