

Article

한국산 선발 계통, 일본산 양식 계통 그리고 이들 두 계통간
잡종 계통 참돔 치어의 총 암모니아성 질소 배설률 및
분 배설률을 통한 사료 내 단백질 이용 효율 비교

오승용* · 노충환 · 홍경표 · 김종만

한국해양연구원 해양생물자원연구본부
(425-600) 경기도 안산시 안산우체국 사서함 29호

**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***

Sung-Yong Oh*, Choong Hwan Noh, Kyung Pyo Hong, and Jong Man Kim

Marine Living Resources Research Division, KORDI
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

Abstract : An experiment was conducted to investigate the differences of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rates and feces production rates among the offsprings from cultured Japanese strain (JJ, mean BW; 17.1 ± 0.1 g), intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain (JK, mean BW; 17.1 ± 0.1 g) and selected Korean strain (KK, mean BW; 21.5 ± 0.1 g) of red sea bream in order to compare their dietary protein utilization efficiency. Fish were hand-fed with a commercial diet containing 46.7% crude protein for 2 weeks, three times daily 09:00, 13:00 and 17:00. After daily feeding, the TAN excretion rates reached peaks of 49.03, 58.75 and 36.26 mg/kg fish/hr for the JJ, JK and KK strain, respectively, during the daytime. The value of the KK strain was significantly lower than that of the JJ and JK strain ($P < 0.05$), however daily TAN excretion rates of the JJ, JK and KK strain were not different ($P > 0.05$). When fish were fed at satiation after 4 days of starvation, TAN excretion rates reached the maximum values 4 hours after the feeding for the KK (31.23 mg/kg fish/hr) and 6 hours after the feeding for the JJ (44.19 mg/kg fish/hr) and JK strain (41.70 mg/kg fish/hr). After 3 days of starvation, the daily endogenous TAN excretion rates (ETE) for the JJ, JK and KK strain were 286.91, 215.66 and 179.29 mg/kg fish/day, respectively. The value of the KK strain was lower than that of the JJ and JK strain ($P < 0.05$). The total feces production rates of the JJ, JK and KK strain were not significantly different, however the proportions of feces production rates by time for the JJ, JK and KK strain were different ($P < 0.05$). As overall results, efficiency of dietary protein utilization of JJ, JK and KK seems to be different and KK strain could offer a desirable option for aquaculture purpose.

Key words : 참돔 (red sea bream, *Pagrus major*), 총 암모니아성 질소 배설 (total ammonia nitrogen excretion), 분 배설 (feces production), 선발 (selection), 단백질 이용 효율 (protein utilization efficiency)

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

1. 서 론

양식 생산성 관련 형질 중 성장과 사료 이용 효율은 영양학적 및 경제적인 면에서 아주 중요한 요인이다. 돼지 및 가금류의 경우 성장률과 사료 이용 효율 사이에 높은 유전적 상관관계가 있는 것으로 보고된 바 있어(Crawford 1990; Vangen 1984), 어류의 선발 육종을 통한 성장률 향상 역시 개선된 사료 이용 효율에 의한 것으로 예측할 수 있다(Thodesen *et al.* 1999). 어류의 선발 육종을 통한 성장률 향상과 사료 이용 효율의 상호 관계에 대한 정보는 극히 적으며(Grisdale-Helland and Helland 1998; Li *et al.* 1998), 소화, 흡수 및 배설 등에 관한 영양학적 측면의 정보 또한 부족한 실정이다.

어류는 항온 동물보다 더욱 효율적으로 단백질을 이용할 수 있지만(Lovell 1989), 대부분의 에너지원으로 단백질을 사용하며 그 결과 상당한 양의 질소 대사물을 배설한다. 경골어류에 있어 단백질 대사의 마지막 부산물은 암모니아로서 총 질소 배설의 80%에 해당한다(Elliott 1976). 어류의 암모니아 배설은 섭취한 단백질 양에 비례하며, 사료내 단백질의 효율적 이용성(dietary protein utilization efficiency)을 비교하는 지표로 제시되고 있다(Ming 1985; Yang *et al.* 2002). 분 배출 역시 사료내 미사용 에너지 부분을 나타낸다(Cui and Wootton 1988). 어류의 암모니아 배설과 분 배출은 또한 어종, 체중, 수온, 먹이 공급량, 먹이 공급 횟수 및 사료내 단백질 함량, 소화율 등에 따라 달라지지만(Handy and Poxton 1993; Yager and Summerfelt 1993) 같은 종내에서 계통간 이들의 배설 차이에 대한 연구는 전무한 실정이다.

일본에서 참돔은 대표적인 해산 양식 어종으로서 1960년대 중반부터 성장률 향상을 위한 유전육종학적 연구의 일환으로 선발 육종 프로그램이 적용되고 있으며, 실제 그 성과는 성공적인 것으로 보고되어 있다(Murata *et al.* 1996). 우리나라에서 참돔 양식은 1980년대 중반부터 어체 크기를 기준으로 매 세대에서 성장이 빠른 상위 5-30%를 선발하는 방법으로 현재 4세대 선발 계통 친어군을 생산하였으며, 이들로부터 생산된 자손은 비선발 계통의 자손에 비해 체중 성장이 약 40% 빠른 것으로 나타났다(Noh *et al.* 2002). 그리고 2002년부터 양식 생산성을 향상시키기 위한 목적으로 한국산 선발 계통과 일본산 양식 계통을 이용하여 계통간 잡종 기법을 적용시키고 있다.

따라서 본 연구는 한국산 선발 계통, 일본산 양식 계통 그리고 이들간 교배로부터 생산된 잡종 계통을 대상으로 양식 생산성 관련 형질 중 하나인 사료 이용 효율의 차이를 추정하기 위하여 수행되었다. 이를 위해 각 계통의 하루 중 사료 공급 및 절식 그리고 1회 반복 사료 공급에 따른 총 암모니아성 질소(total ammonia nitrogen, TAN) 배

설률과 배설 경향, 내인성 TAN 배설률(endogenous TAN excretion)을 구하였고, 하루 중 사료 공급에 따른 분 배출률 및 배출 경향을 비교 조사하였다.

2. 재료 및 방법

실험어

실험어는 2002년에 생산되어 해상 가두리에서 혼합 사육 중인 세 교배구의 자손을 대상으로 실시하였다. 세 교배구는 일본산 양식 계통 친어 암수간(JJ 계통, JPN♀×JPN♂), 일본산 양식 계통 친어 암컷과 한국산 선발 계통 친어 수컷간(JK 계통, JPN♀×KORDI F4♂) 그리고 한국산 선발 계통 친어 암수간(KK 계통, KORDI F4♀×KORDI F4♂) 대량 교배로부터 생산된 자손이었다.

실험어는 실험에 사용하기 2주 전 무작위로 선택하여 실험 수조(용량 20.0리터)에 수용한 뒤 해산어용 시판 사료(E-hwa Feed Co., Korea)로 예비 사육하며 순치시켰다. 실험 시작시 실험어의 평균 체중은 JJ 계통이 17.1±0.1 g, JK 계통이 17.1±0.1 g 그리고 KK 계통이 21.5±0.1 g이었다. 실험구마다 치어를 15마리씩 수용하였으며, 세 반복구를 두었다. 실험 기간 동안 사육수의 pH는 8.3±0.1, 염분도는 32.0±0.2‰, 용존산소는 6.3±0.2 mg/l 그리고 수온은 23.0±0.5°C로 유지하였다.

실험 사료

실험 사료는 해산어용 시판 사료(E-hwa Feed Co., Korea)를 사용하였으며, 일반 성분은 다음과 같다. 수분함량은 10.0%였고, 조단백질, 조지방, 조회분 그리고 조섬유 함량은 각각 46.7%, 6.4%, 13.1% 그리고 1.3%였으며, 총에너지는 4,786.8 cal/g이었다.

분석 방법

실험 사료의 수분은 상온 가열 건조법(105°C, 4시간)으로, 회분은 직접 회화법, 조지방은 Soxhlet 추출법의 방법으로 측정하였고, 조단백질은 Kjeldahl법에 의한 질소 정량법(N X 6.25)으로 측정하였다(AOAC 1990). 총 에너지 측정은 시료 1g을 취한 후 calorimeter(PARR 1261, USA)를 이용하여 측정하였다. 어류 사육조 유입수와 분 수집 장치인 TUF(Tokyo University of Fisheries) column(passing effluent water through a special test tube) 배출수의 TAN은 채수 직후 바로 측정하였다. 사육수 내 용존산소와 수온 측정은 DO meter(KDO-5151, KRK, Co.)를 이용하였고, pH와 염분도는 각각 pH meter(815 PDC, ISTEK, Co.), salino-meter(YSI 30)를 이용하여 측정하였다. TAN 분석은 Strickland and Parsons(1972)의 방법에 따라 측정하였다.

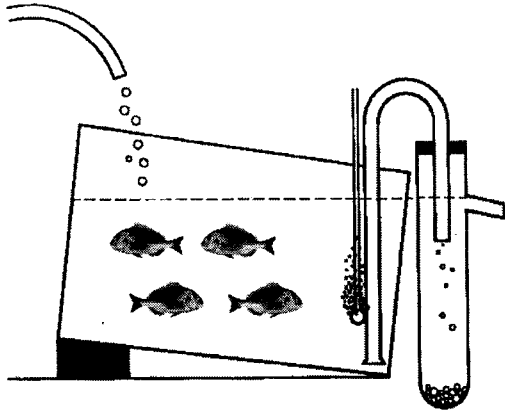


Fig. 1. The "TUF Column System" for feces collection.

실험 장치

실험 장치는 소규모 유수식 시스템을 사용하였다. 지름이 33 cm이고 높이가 34 cm인 둥근 투명 플라스틱 수조에 실험어를 수용하였으며, 실험 기간 동안 평균 수량은 17.2±0.2리터를 유지하였으며, 유량은 시간당 42.7±0.9 리터였다. 암모니아성 질소 배설물 측정을 위해 어류가 들어 있지 않은 대조구를 따로 두었다.

분 수집 장치는 Ogino *et al.*(1973)이 개발한 것을 Watanabe *et al.*(1988)이 개조한 분 수집기인 TUF column system을 이용하였다. 사용된 column은 직경이 4.8 cm이고 높이가 30 cm였으며, 어류 사육조에서 column으로의 순환수와 분 유입을 위한 유입관은 직경이 2 cm이고 높이가 34 cm인 유리관을 사용하였다. TUF column에 분이 잘 모이도록 하기 위해 어류 사육조를 약 15°의 경사를 주어 설치하였으며, 유입 부분에 에어레이션을 하여 물의 흐름을 유도하였다(Fig. 1).

어류 분 배출률 추정과 다른 유기물에 의한 암모니아성 질소 생성의 영향을 배제하기 위해 실험 수조로 물을 유입시키기 전 50 µm의 모래 여과기를 통과하도록 하였다.

TAN 배설과 분 배출

하루 중 사료 공급에 따른 TAN 배설

실험 시작 14일째에 각 교배구 자손들을 대상으로 사료 공급에 따른 24시간 동안의 TAN 배설률을 조사하였다. 사료는 실험 시작 전 관찰 결과와 Ogata *et al.*(2002a)의 결과를 참고하여 어체중의 3%(습중량 기준)에 해당하는 양을 하루 3번(09:00, 13:00, 17:00)에 나누어 균등하게 공급하였다. 사료 공급시 유실 없이 전량이 섭취되도록 충분한 주의를 기울였다.

1회 반복 사료 공급에 따른 TAN 배설

내인성 TAN 배설률을 측정할 후 09시에 반복으로 사료

를 공급한 다음 이에 따른 TAN 배설 경향을 알아보았다.

절식에 따른 내인성 TAN 배설

하루 중 사료 공급에 따른 24시간 동안의 TAN 배설률을 측정할 후 3일간 절식시킨 다음 내인성 TAN 배설률을 조사하였다.

모든 TAN 배설은 24시간 동안 2시간 간격으로 어류 사육조의 유입수와 TUF column system의 배출수를 채수하여 구하였다. 각 계통의 TAN 배설률(Leung *et al.* 1999)은 어류를 수용하지 않은 대조구와 연계하여 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{TAN 배설률(mg/kg fish/hr)} \\ = \{(C_0 - C_1)Q_1 - (C_c - C_1)Q_2\}/W \end{aligned}$$

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 = 실험 수조를 지나가는 시간당 유량(l/hr)

Q₂ = 대조구를 지나가는 시간당 유량(l/hr)

W = 어체중(kg)

위 식을 통해 계산된 TAN 배설률(mg/kg fish/hr)을 시간에 대한 TAN 배설률로 도식화하여 곡선 아래 면적의 적분을 통해 하루 중 TAN 배설률(mg/kg fish/day)을 추정하였다.

분 배출

실험 14일째 TAN 배설률 조사와 함께 분 수집을 시작하여 절식 기간 동안 24시간 간격으로 5일 동안 시간 경과에 따른 분 배출률과 어체중 및 사료 공급량에 따른 총 분 배출률을 조사하였다. 분 샘플은 column에 모인 분을 수집한 뒤 여과지(GF/F)로 걸러 건조 중량을 측정하였다.

통계 처리

시간당 및 하루 중의 TAN 배설률과 분 배출률은 STATISTIX 4.0(Analytical Software, USA) 통계 프로그램으로 ANOVA를 실시하여 차이를 검정하였다(P<0.05).

3. 결 과

하루 중 사료 공급에 따른 TAN 배설

세 계통의 하루 중 사료 공급에 따른 TAN 배설률 조사 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

세 계통의 TAN 최고 농도는 JJ 계통이 0.39±0.06 mg/l, JK 계통이 0.47±0.07 mg/l 그리고 KK 계통이 0.37±0.02 mg/l였으며, 최고 농도에 도달하는 시간은 JJ와 JK 계통이

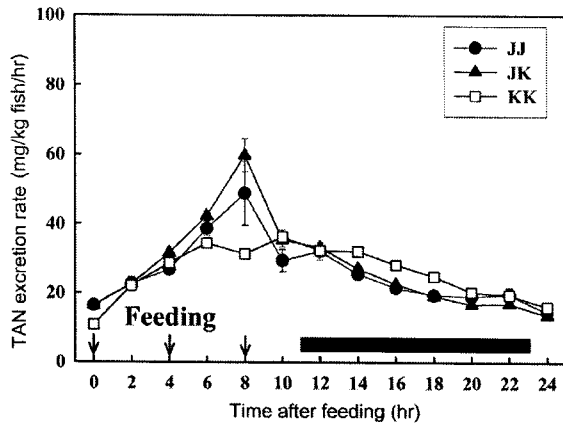


Fig. 2. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate in offspring of three different strains of red sea bream, JJ (cultured Japanese strain), JK (intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain) and KK (selected Korean strain) fed 3 times a day. The dashed bar represents the night period. Values are means \pm standard deviations ($n=3$).

첫 사료 공급 후 8시간이 경과한 시점(17:00) 그리고 KK 계통은 첫 사료 공급 후 10시간이 경과한 시점(19:00)이었다. 이후 세 계통 모두 TAN 농도가 감소하기 시작하여 마지막 사료 공급 후 10시간 정도 경과한 시점에 처음 농도로 낮아졌다.

시간당 TAN 배설률은 사료 공급이 이루어진 낮 동안 지속적으로 상승하였다. 세 계통의 시간당 TAN 배설률은 JJ 계통이 평균 16.17~49.03 mg/kg fish/hr, JK 계통이 평균 15.77~58.75 mg/kg fish/hr 그리고 KK 계통이 평균 10.82~36.26 mg/kg fish/hr 범위로서 시간당 최대 TAN 배설률은 KK 계통이 다른 두 계통에 비해 유의하게 낮았다 ($P<0.05$).

그러나 Fig. 2에 나타난 시간당 TAN 배설률을 적분하여 구한 하루 중 TAN 배설률은 JJ 계통이 637.3 ± 34.07 mg/kg fish/day, JK 계통이 684.53 ± 26.94 mg/kg fish/day 그리고 KK 계통이 646.68 ± 14.45 mg/kg fish/day로서 계통간 유의적인 차이는 보이지 않았다($P>0.05$).

1회 반복 사료 공급에 따른 TAN 배설

1회 반복 사료를 공급한 후 측정된 TAN 배설률을 Fig. 3에 나타내었다. 반복 공급 후 세 계통 모두 TAN 배설률이 급격히 증가하였다. JJ와 JK 계통의 가장 높은 시간당 TAN 배설률은 각각 44.19 ± 2.90 mg/kg fish/hr, 41.70 ± 1.40 mg/kg fish/hr였으며, 이들 두 계통은 1회 반복 공급 6시간 후에 가장 높은 값을 보였다. 이에 비해 KK 계통의 가장 높은 시간당 TAN 배설률은 31.23 ± 1.39 mg/kg fish/hr

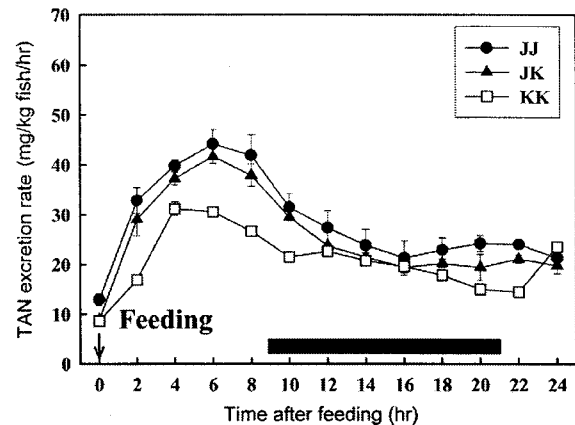


Fig. 3. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate in offspring of three different strains of red sea bream, JJ (cultured Japanese strain), JK (intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain) and KK (selected Korean strain) when the fish were fed to satiation level once after 4-day starvation period. The dashed bar represents the night period. Values are means \pm standard deviations ($n=3$).

hr였으며, 반복 공급 4시간 후에 가장 높은 값을 보였다.

Fig. 3에 나타난 시간당 TAN 배설률을 적분한 결과, JJ, JK 그리고 KK 계통의 하루 중 TAN 배설률은 각각 702.38 ± 56.45 mg/kg fish/day, 630.51 ± 25.39 mg/kg fish/day 그리고 506.24 ± 2.90 mg/kg fish/day로 나타나 JJ, JK, 그리고 KK 계통순의 배설률을 보였고, KK 계통의 하루 중 TAN 배설률이 다른 두 계통에 비해 유의적으로 낮은 결과를 보였다($P<0.05$).

절식에 따른 내인성 TAN 배설

세 계통의 절식에 따른 내인성 TAN 배설률을 Fig. 4에 나타내었다. JJ, JK 그리고 KK 계통의 시간당 내인성 TAN 배설률은 각각 8.08~14.15 mg/kg fish/hr, 6.50~12.20 mg/kg fish/hr 그리고 6.67~8.60 mg/kg fish/hr의 범위를 보였다. 조사를 시작한 후 12시간 경과 시점(21:00)부터 TAN 배설률은 낮 동안에 비해 낮아졌으며, 이 시점에서 JJ와 JK 계통은 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그러나 KK 계통은 하루 중 큰 변화 없이 거의 일정한 TAN 배설률을 보였다. 세 계통의 내인성 TAN 배설률은 하루 중 사료 공급에 따른 TAN 배설에서 나타난 것과 JJ와 JK 계통은 낮과 야간 사이에 변동 폭이 컸으며, KK 계통은 완만하거나 거의 일정한 변화를 보였다.

Fig. 4에 나타난 시간당 TAN 배설률을 적분한 결과, JJ, JK 그리고 KK 계통의 일간 TAN 배설률은 각각 286.91 ± 28.34 mg/kg fish/day, 215.66 ± 5.53 mg/kg fish/day 그리

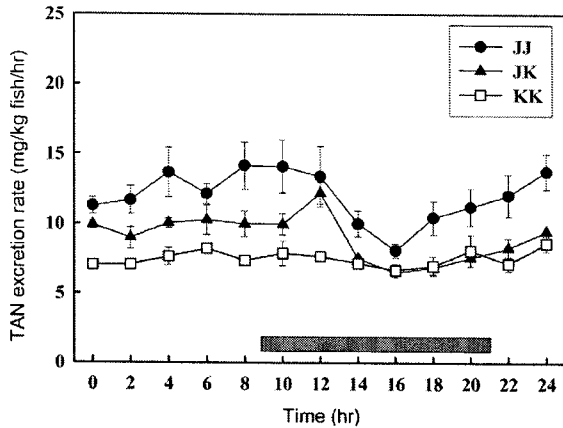


Fig. 4. Changes of total ammonia nitrogen (TAN) excretion rate in offspring of three different strains of red sea bream, JJ (cultured Japanese strain), JK (intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain) and KK (selected Korean strain) after 3-day starvation period. The dashed bar represents the night period. Values are means \pm standard deviations (n=3).

고 179.29 ± 7.74 mg/kg fish/day였다. 하루 중 내인성 TAN 배설률은 하루 중 사료 공급시에 조사된 결과에서 JJ와 JK 계통간 유의적인 차이가 없었던 것과는 달리 JJ 계통이 JK에 비해 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 그리고 세 계통 중 KK 계통의 TAN 배설률이 다른 두 계통에 비해 유의하게 낮은 값을 보였다($P < 0.05$).

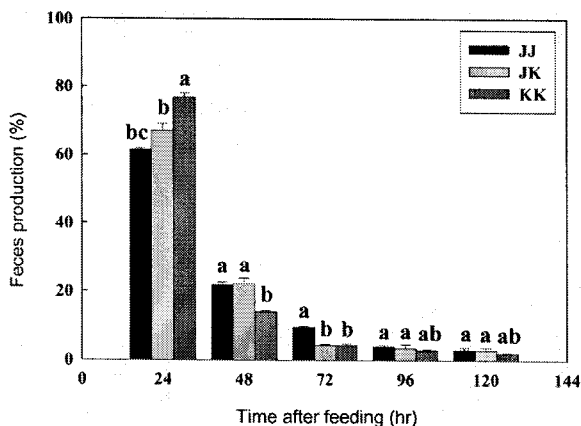


Fig. 5. Postprandial pattern of feces production in offspring of three different strains of red sea bream, JJ (cultured Japanese strain), JK (intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain) and KK (selected Korean strain) fed 3 times a day. Values are means \pm standard deviations (n=3). Different letters on the bars are significantly different ($P < 0.05$).

분 배출

시간 경과에 따른 분 배출 비율을 Fig. 5에 나타내었다. JJ와 JK 계통은 사료 공급 24시간 후 각각 $61.5 \pm 1.9\%$ 및 $67.0 \pm 1.3\%$ 를 배출한 것에 비해 KK 계통은 사료 공급 24시간 후 총 분의 $77.0 \pm 2.6\%$ 를 배출하여 다른 두 계통에 비해 유의적으로 높았다($P < 0.05$).

어체중 및 사료 공급량에 따른 총 분 배출률은 JJ 계통에서 2.44 ± 0.06 g/kg fish 및 102.47 ± 2.50 g/kg feed, JK 계통에서 2.43 ± 0.14 g/kg fish 및 102.06 ± 4.21 g/kg feed 그리고 KK 계통에서 2.50 ± 0.17 g/kg fish 및 108.14 ± 7.35 g/kg feed로서 이들 세 계통간 유의적인 차이는 보이지 않았다($P > 0.05$).

4. 고 찰

본 실험에서 하루 중 사료 공급에 따른 참돔 세 계통 치어의 TAN 배설은 사료 공급 직후부터 사료 공급이 이루어지는 낮 동안 지속적으로 상승하였으며, JJ와 JK 계통은 첫 사료 공급 후 8시간이 경과한 오후 5시(17:00) 그리고 KK 계통은 10시간이 경과한 오후 7시(19:00)에 최고 농도에 도달한 것으로 나타났다. Dosdat *et al.*(1996)은 sea bass(*Dicentrarchus labrax*, 평균 체중 11.4 g), sea bream(*Sparus auratus*, 평균 체중 12.6 g) 그리고 터봇(*Scophthalmus maximus*, 평균 체중 13.9 g)을 대상으로 20.0°C에서 어체중의 1.5%를 하루 두 번(10:00, 16:30) 공급하였을 때 조사 기간 동안 첫 사료 공급 후 2시간 및 8시간 경과시에 두 번의 TAN 배설 peak를 보였다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구에서 첫 사료가 공급된 후 8시간 또는 10시간 경과 후까지 지속적으로 TAN 배설량이 상승하여 한 번의 peak를 보인 것은 Dosdat *et al.*(1996)의 연구 결과와 일치하지 않았지만, Dosdat *et al.*(1996)의 결과에서도 두 번째 TAN 배설 peak가 첫 번째 peak보다 높았다. Oh(2001)는 틸라피아 치어(평균 체중 8.2 g)를 대상으로 28.0°C에서 어체중의 6.0%를 2시간 간격으로 6회에 걸쳐 사료를 공급하였을 때 TAN 배설량은 첫 사료 공급 후부터 4시간 경과시까지 급격히 증가하였으며, 이후에도 사료 공급이 이루어지는 낮동안 지속적으로 상승하여 첫 사료 공급 후 10시간 경과시 최대 peak에 도달하는 것으로 보고하였다. 이와 같은 peak 도달 시간 및 peak 수의 차이는 어종, 어체중, 수온, 사료량, 사료공급 횟수 등의 차이에 의한 것으로 생각된다. 어류의 암모니아 배설은 어체내 질소 균형에 대한 정보를 제공하며, 사료 이용 효율을 알 수 있는 단백질 대사의 중요한 지표가 된다(Jobling 1981; Ming 1985; Yang *et al.* 2002). 어류의 TAN 배설은 사료에 의한 외인성 아미노산의 빠른 산화 작용에 의한 것(Brett and Zala 1975)으로, 그 양의 정도와 시간은 어종,

어체중, 먹이량 그리고 수온 등에 따라 달라진다(Kaushik 1980).

본 연구에서 세 계통의 TAN 배설 경향은 JJ와 JK 계통이 서로 유사하였으나, KK 계통은 JJ와 JK 계통에 비해 완만한 배설 형태를 보였다(Fig. 2). 배설 역시 차이를 보였다. 하루 중 사료 공급에 따른 JJ, JK 그리고 KK 계통의 시간당 최대 배설률은 KK 계통이 가장 낮게 나타났으며($P < 0.05$), 초기 배설률에 비해 각각 약 3.0배, 3.7배 그리고 3.4배 정도 상승하는 결과를 보였다. Ballestrazzi et al.(1994)은 sea bass를 대상으로 실험한 결과, 사료 공급 후 최대 TAN 배설률이 초기 배설률에 비해 3.0~4.5배 정도 상승하는 결과를 보여 본 실험 결과와 유사하였다. 본 연구에서 TAN 배설률은 세 계통 모두 어두워지면서 급격히 감소하는 결과를 보여 명암에 의한 영향이 있는 것으로 생각된다. 이와 같은 경향은 sea bass, sea bream의 일간 TAN 배설 조사에서도 나타났으며(Dosdat et al. 1996), Porter et al.(1987)은 gilthead seabream(*Sparus aurata*, 평균 체중 3 g)을 대상으로 24.0°C에서 조사한 연구에서 명암이 TAN 배설에 영향을 줄 수 있다고 주장한 바 있다. 실험 기간 동안 관찰한 결과 야간에는 세 계통 잠들 모두 수조 바닥에 모여 거의 움직임이 없는 것으로 보아 이 기간 동안 대사 활동이 현저히 감소한 것으로 생각된다. 최초 사료 공급 후 약 20~21시간 경과 후 TAN 배설률은 초기 농도로 회복되었으며, 이는 터봇(평균 체중 35~50 g)을 대상으로 20.0°C에서 조사한 결과와 일치하였다(Burel et al. 1996).

만복 사료 공급 후 TAN 배설률은 JJ와 JK 계통이 사료 공급 후 6시간 경과 시점에서 각각 44.19±2.90 mg/kg fish/hr 및 41.70±1.40 mg/kg fish/hr 그리고 KK 계통은 4시간 경과 시점에서 31.23±1.39 mg/kg fish/hr로 최대값을 보였다. Porter et al.(1987)은 3~90 g의 Gilthead seabream (*Sparus aurata*)을 대상으로 24.0°C의 조건에서 어체중의 1.4~5.0%의 사료를 공급한 연구에서 사료 공급 4.5시간 후 어체중에 따라 25.2~70.0 mg/kg fish/hr 범위의 최대 배설률을 보였고, Lyytikäinen and Jobling(1998)은 Arctic charr(*Salvelinus alpinus*)를 대상으로 11.0~17.7°C의 조건에서 사료 공급 2~3시간 후 약 11~18 mg/kg fish/hr의 최대 배설률을 보인 것으로 보고한 바 있다. 따라서 사료 공급 후 TAN 최대 배설률과 이에 다다른 소요 시간은 어종, 수온, 어체중 그리고 사료 공급량 등에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났다. 만복 사료 공급 후 나타난 최대 TAN 배설률 역시 KK 계통이 가장 낮게 나타났다. Ming (1985)은 무지개송어 세 계통을 대상으로 NH₃-N 배설률을 측정하였을 때 계통간 최대 배설률의 차이가 관찰되었으며, 가장 높은 NH₃-N 배설률을 보이는 계통은 단백질 효율이 가장 나쁜 것으로 고찰하였다. 또한 최대 NH₃-N 배설률은 사료내 단백질 이용 효율의 좋은 지표로서 성장이 빠른 집단의 선발 기준으로 적용할 수 있는 간단한 기법으로 고찰하고 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 KK 계통과 다른 두 계통간에 보인 최대 TAN 배설률의 차이는 이들 사이에 단백질 이용 효율의 차이가 있음을 나타낸다.

Table 1에 나타난 하루 중 사료 공급 및 1회 만복 공급

Table 1. Daily ammonia excretion rate (mg/kg fish/day) in marine fish species.

Fish	Temp. (°C)	Mean body weight (g)	Daily ammonia excretion rate (mg/kg fish/day)	Source
Plaice (<i>Pleuronectes platessa</i>)	20.0	3.0	720.0	Jobling (1981)
	20.0	40.0	102.0	
	20.0	90.0	64.0	
Gilthead seabream (<i>Sparus aurata</i>)	24.2	3.0	1032.0	Porter et al. (1987)
	24.2	40.0	365.0	
	24.2	90.0	353.0	
	21.0	45.0	264.0	
Turbot (<i>Scophthalmus maximus</i>)	8.0	71.9	81.4	Burel et al. (1996)
	11.0	86.9	88.0	
	14.0	102.3	103.4	
	17.0	111.0	103.0	
	20.0	108.4	117.2	
Red sea bream (<i>Pagrus major</i>)	23.0	17.1 (JJ*)	637.0~702.4	Oh et al. (This study)
	23.0	17.1 (JK*)	630.5~684.5	
	23.0	21.5 (KK*)	506.2~646.7	

*JJ, cultured Japanese strain; JK, intraspecific hybrid strain between cultured Japanese and selected Korean strain; KK, selected Korean strain.

에 따른 세 계통의 하루 중 TAN 배설률 역시 다른 연구자들의 결과와 다소 차이를 보였으며, 이는 실험에 이용된 어종, 수온, 어체중, 먹이량 등의 차이에 의한 것으로 생각된다.

본 실험에 사용한 KK 계통이 다른 두 계통에 비해 어체중이 다소 무거웠으며, 이러한 차이가 총암모니아성 질소 배설률과 분 배출 결과에 미치는 영향을 전혀 배제할 수는 없다. 그러나 총암모니아성 질소 배설률과 분 배출을 결정하는 주된 인자는 섭취하는 사료내 단백질량으로(Oh 2001), 본 실험의 경우 동일한 어체중의 비율로 사료를 공급하였으므로 각 실험어가 섭취한 질소량은 유의적으로 차이가 없었다. 그리고 Dosdat *et al.*(1996, 1997)은 경골어류 다섯 종을 대상으로 동일한 사료로 조사한 연구에서 실험어의 어체중을 10 g과 100 g으로 달리하였을 때 총암모니아성 질소 배설률의 차이는 극히 미미한 것으로 보고한 바 있다. 따라서 계통간 약간의 어체중 차이가 본 실험의 결과에 미치는 영향은 미미할 것으로 생각된다.

내인성 TAN 배설은 체단백질의 이화 작용에 의한 배설을 반영한다(Kaushik and Cowey 1991). 내인성 TAN 배설률은 KK 계통이 JJ와 JK 계통에 비해 낮은 것으로 나타나, 체단백질의 이화 작용이 가장 느렸던 것으로 생각된다. 본 연구에서 세 계통의 시간당 내인성 TAN 배설률은 6.7~14.2 mg/kg fish/hr로서, gilthead seabream을 대상으로 평균 체중을 3 g, 40 g 그리고 90 g으로 달리하였을 때 조사된 10~16 mg/kg fish/hr과 유사하였다(Porter *et al.* 1987). 본 연구에서 세 계통의 하루 중 내인성 TAN 배설률은 JJ 계통이 286.91±28.34 mg/kg fish/day, JK 계통이 215.66±5.53 mg/kg fish/day 그리고 KK 계통이 179.29±7.74 mg/kg fish/day였다. Ballestrazzi *et al.*(1994)은 6일간 절식 후 sea bass의 하루 중 내인성 TAN 배설률은 160 mg NH₃/kg fish/day이었다고 보고한 바 있다. 그리고 Kaushik and Cowey(1991)는 경골어류 몇 종의 하루 중 내인성 TAN 배설률을 100~200 mg/kg fish/day이며, 어종간 차이는 실험 조건에 의해 달라질 수 있다고 보고한 바 있다. 따라서 각 연구에서 나타난 어종간 내인성 TAN 배설률의 차이는 실험에 이용된 어종, 어체중, 수온, 그리고 절식 기간 등이 달랐기 때문으로 생각된다.

섭취된 사료의 미소화 부분을 나타내는 총 분 배출률은 세 계통 참돔 치어에서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 그러나 시간 경과에 따른 분 배출 비율 경향은 KK 계통이 JJ와 JK 계통에 비해 초기 배설 비율이 높은 것으로 나타나 세 계통 사이에 사료 섭취에 따른 소화, 흡수 및 배설에 차이가 있을 것으로 생각되었다.

같은 종이라도 유전적 배경이 서로 다른 집단간에는 성장, 사료 이용 효율 등 양식 관련 형질의 차이가 나타나며, 유전적으로 성장이 향상된 집단은 그렇지 않은 집단에

비해 사료 이용 효율이 개선되는 경향을 보인다(Gjedrem 1997). Thodesen *et al.*(1999)은 대서양연어를 대상으로 14주간 실시한 연구에서 5세대를 걸쳐 선발한 집단은 자연 집단에 비해 증체율이 높으며(79% vs. 37%), 동시에 하루에 먹는 사료량이 많고(어체중의 0.67% vs. 0.48%) 사료 전환 효율이 높다고(1.16 vs. 0.93 = 증체량/사료 공급량) 보고한 바 있다. 그리고 위 저자들은 유전적으로 성장이 향상된 집단의 단백질 이용 효율은 그렇지 못한 집단 보다 높다고 논의하였다. 이러한 경향은 또 다른 연구자들이 실시한 대서양연어(Grisdale-Helland and Helland 1998), 무지개송어(Valente *et al.* 2001) 그리고 넙치(Ogata *et al.* 2002b)에서도 보고된 바 있다. 본 연구에서 사료 이용 효율을 조사한 14일간 KK 계통은 증체율이 33.50±0.73%로서 다른 두 계통(JJ 계통; 33.14±1.82%, JK 계통; 33.29±1.00%)에 비해 비교적 빠른 체중 성장을 보였으며(P>0.05), 동시에 사료계수와 단백질 전환 효율이 각각 1.15±0.03 및 1.86±0.04로서 다른 두 계통(JJ 계통; 1.34±0.07 및 1.60±0.08, JK 계통; 1.35±0.04 및 1.61±0.05)에 비해 더 좋은 양상을 보였다(P<0.05, 데이터 제시하지 않았음). 본 저자들이 이들 세 계통을 대상으로 실시한 다른 연구에서 14개월간의 성장과 6주간의 사료계수 조사에서도 KK 계통의 성장이 가장 빠르고, 사료계수가 가장 낮은 것으로 나타났다(not published).

이상의 연구에서, 유전적인 배경이 다른 세 계통의 총 암모니아성 질소 배설량과 경향은 서로 차이를 보였으며, 이러한 차이는 양식 생산성에 관련된 중요한 형질 중 하나인 사료 내 단백질 이용 효율의 차이를 반영한 것으로 간주할 수 있으며, 비록 짧은 기간인 14일 동안의 실험이었지만 KK의 증체율이 가장 높았던 원인으로 작용한 것으로 생각된다.

5. 결 론

일본산 양식 계통(JJ, 17.1±0.1 g), 일본산 양식계통과 한국산 선발계통 사이의 잡종 계통(JK, 17.1±0.1 g) 그리고 한국산 선발 계통(KK, 21.5±0.1 g) 참돔 치어를 대상으로 사료 공급과 절식에 따른 사료 이용 효율을 추정하기 위하여 총 암모니아성 질소 배설률과 분 배출률을 분석하였다.

어체중의 3%에 해당하는 사료를 하루 3번, 4시간 간격(9:00, 13:00, 17:00)으로 2주간 공급한 후 하루 중 사료 공급에 따른 시간당 TAN 배설률을 조사하였다. 하루 중 사료 공급 후 TAN 배설률은 세 계통 모두 낮 동안 지속적으로 증가하였으며, 최대 TAN 배설률은 KK 계통이 36.26 mg/kg fish/day으로서 다른 두 계통(JJ 계통; 49.03 mg/kg fish/day, JK 계통; 58.75 mg/kg fish/day)에 비해

낮았다($P < 0.05$). 그러나 KK, JJ 그리고 JK의 일간 TAN 배설률은 유의적 차이를 보이지 않았다($P > 0.05$). 4일간 절식 후 1회 반복 사료 공급에 따른 TAN 배설률은 KK 계통의 경우 사료 공급 4시간 후에 그리고 JJ와 JK 계통은 6시간 후에 최대 배설량을 보였으며, 최대 배설률은 KK 계통이 31.23 mg/kg fish/hr로서 다른 두 계통(JJ 계통; 44.19 mg/kg fish/hr, JK 계통; 41.70 mg/kg fish/hr)에 비해 낮았다($P < 0.05$). 3일간 절식한 후 측정된 내인성 TAN 배설률 조사에서 KK 계통은 179.29 mg/kg fish/day로서 다른 두 계통(JJ 계통; 286.91 mg/kg fish/day, JK 계통; 215.66 mg/kg fish/day)에 비해 낮은 값을 보였다($P < 0.05$). 절식 기간 중 총 분 배설률은 세 계통간 유의적인 차이는 없었으나, 시간 경과에 따른 세 계통의 분 배출 비율은 유의적인 차이를 보였다($P < 0.05$). 이상의 결과에서 사료 내 단백질 이용 효율은 세 계통간 차이를 보이고, KK 계통이 다른 두 계통에 비해 뛰어난 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 경상남도 생명공학 과제인 '돔류의 양식 생산성 향상을 위한 유전능력 개량 연구'와 해양수산부의 연구 용역 과제인 '통영해역의 바다목장화 개발 연구'의 일부 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1298 p.
- 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.
- 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. Board Can.*, 32, 2479-2486.
- Burel, C., J. Person-Le Ruyet, F. Gaumet, A. Le Roux, A. Sévère, and G. Boeuf. 1996. Effects of temperature on growth and metabolism in juvenile turbot. *J. Fish Biol.*, 49, 678-692.
- Crawford, R.D. 1990. Poultry breeding and genetics. Elsevier, Amsterdam.
- Cui, T. 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.
- Dosdat, A., F. Sevais, R. Metailler, C. Huelvan, and E. Desbruyeres. 1996. Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141, 107-127.
- Dosdat, A., R. Metailler, E. Desbruyeres, and C. Huelvan. 1997. Comparison of brown trout reared in fresh water and sea water to fresh water rainbow trout: I. Growth and nitrogen balance. *Aquat. Living Resour.*, 10, 157-167.
- Elliott, J.M. 1976. The 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, 923-948.
- Gjedrem, T. 1997. Selective breeding to improve aquaculture production. *World Aquacult.*, 22, 33-45.
- Grisdale-Helland, B. and S.J. Helland. 1998. Macronutrient utilization by offspring from wild and selected Atlantic salmon. p. 221-224. In: *Energy Metabolism of Farm Animals*. eds. by K.J. McCracken, E.F. Unsworth, A.R.G. Wylie. CAB International, Oxon, UK.
- 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.
- 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 carp (*Cyprinus carpio L.*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Reprod. Nutr. Dev.*, 20, 1751-1765.
- Kaushik, S.J. and C.B. Cowey. 1991. Dietary factors affecting nitrogen excretion by fish. p. 37-50. In: *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. eds. by C.B. Cowey and C.Y. Cho. Univ. Guelph. Canada
- Li, M.H., E.H. Robinson, and W.R. Wolters. 1998. Evaluation of three strains of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed diets containing three concentrations of protein and digestibility. *J. World Aquacult. Soc.*, 29, 155-160.
- 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 p.
- Lyytikäinen, T. and M. Jobling. 1998. The effects of temperature fluctuations on oxygen consumption and ammonia excretion of underyearling Lake Inari Arctic charr. *J.*

- Fish Biol.*, 52, 1186-1198.
- Ming, F.W. 1985. Ammonia excretion rate as an index for comparing efficiency of dietary protein utilization among rainbow trout (*Salmo gairdneri*) of different strains. *Aquaculture*, 46, 27-35.
- Murata, O., S. Miyashita, K. Izumi, S. Maeda, K. Kata, and H. Kumai. 1996. Selective breeding for growth in red sea bream. *Fish Sci.*, 62, 845-849.
- Noh, C.H., K.P. Hong, S.Y. Oh, H.J. Choi, Y.J. Park, J.G. Myoung, and J.M. Kim. 2002. Selection and intraspecific hybrid for growth in the red sea bream (Abstract). p. 41-42. In: *Proc. 2002 Korea-Japan Joint Symp. Aquaculture*, Kunsan, Korea. October 10-13. Korean Aquacult. Soc.
- Ogata, H.Y., H. Oku, and T. Murai. 2002a. Growth performance and macronutrient retention of offspring from wild and selected red sea bream (*Pagrus major*). *Aquaculture*, 206, 279-287.
- Ogata, H.Y., H. Oku, and T. Murai. 2002b. Growth, feed efficiency and feed intake of offspring from selected and wild Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 211, 183-193.
- Ogino, C., J. Kakino, and M.S. Chen. 1973. Protein nutrition in fish - II. Determination of metabolic fecal nitrogen and endogenous nitrogen excretion of carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 39, 519-523.
- Oh, S.Y. 2001. Nitrogen loading rate of Nile tilapia and nitrification rate of rotating biological contactor. Korea. Ph.D. Thesis, Pukyong National University. 155 p.
- 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.G and T.R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Board. Canada. 167, 310 p.
- Thodesen, J., B. Grisdale-Helland, S.J. Helland, and B. Gjerde. 1999. Feed intake, growth and feed utilization of offspring from wild and selected Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 180, 237-246.
- Valente, L.M.P., B. Fauconneau, E.F.S. Gomes, and T. Boujard. 2001. Feed intake and growth of fast and slow growing strains of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed by automatic feeders or by self-feeders. *Aquaculture*, 195, 121-131.
- Vangen, O. 1984. Framtidig avlsopplegg på svin i en KS-situasjon (Future breeding in pigs in a situation with artificial insemination). Aktuelt fra Statens fagteneste for landbruket 1, 300-306. (In Norwegian)
- Watanabe, T., T. Takeuchi, and S. Satoh. 1988. Studies on evaluation methods for dietary energy in fish. p. 1-100. In: *Research report of grant-in-aid for scientific research*. The Ministry of Education, Science and Culture of Japan.
- Yager, T.K. and R.C. Summerfelt. 1993. Effects of fish size and feeding frequency on metabolism of juvenile walleye. *Aquacult. Eng.*, 12, 19-36.
- Yang, S.D., C.H. Liou, and F.G. Liu. 2002. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture*, 213, 363-372.

Received Dec. 17, 2003

Revised May 31, 2004

Accepted Aug. 30, 2004