

습사료와 부상사료에 대한 강도다리(*Platichthys stellatus*)의 성장과 소화 특성

김병기*

강원도립대학 해양생명과학과

Growth Performance and Digestive Characteristics of Starry Flounder *Platichthys stellatus* on the Moist and Extruded Pellets

Pyong Kih Kim*

Department of Marine Bio-Science, Gangwon Provincial College, Gangneung 210-804, South Korea

A study was carried out to observe the effects of feed types on the growth, feed preference, and enteric feed transition rate of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus* for 45 days. Fifty fish (avg. 135 g) were stocked each in replication, and fed a commercial extruded pellet diet (EP, 45% protein) and a moist pellet diet (MP, 65% raw mackerel+35% feed powder in wet basis), respectively. The MP presented the higher performance than that of the EP on the feed efficiency ($68.3\pm 0.9\%$ for EP and $92.3\pm 4.3\%$ for MP) and the specific growth rate (1.07 ± 0.07 for the EP and $1.20\pm 0.05\%$ for the MP). In contrast, the EP showed the higher feed preference in terms of the daily feed intake ($1.57\pm 0.08\%$ for the EP and 1.30 ± 0.01 for the MP) and the *ad libitum* feeding rate after a fast of 72 hours (1.73% for the EP and 1.35% for the MP). The feed transition rate through intestinal canals decreased exponentially in both the EP and the MP, showing the faster transition rate with the EP. In the result, starry flounder appeared to have the better feed preference to the EP, but have the higher feed efficiency and growth performance to the MP.

Key words: Starry flounder, Feeding, Digestive patterns, Moist pellet, Extruded pellet

서 론

국내의 넙치(*Paralichthys olivaceus*) 양식생산량은 2010년 약 4만톤(KAF, 2011) 수준으로 어류양식생산량의 약 50%를 차지하는 매우 비중 있는 어종이지만 소비촉진을 위하여 새로운 양식대상종의 개발이 절실한 실정이다.

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 공식이 없고, 내병성이 강하며, 광염성으로 삼투압조절 능력이 우수하여 급격한 염분변화에서도 생존이 가능하며(Kim et al., 2009), 저수온(10°C 이하)에서도 성장이 가능하여 양식종 다양화 측면에서 넙치를 대체할 수 있는 어종으로 검토되고 있다. 나아가 강도다리는 넙치에 비해 고도불포화지방산(EPA) 함량이 1.6배나 높고, 식감을 결정하는 육질의 Texture도 약 1.7배 높아 우리나라 사람들의 기호에 잘 맞아 새로운 양식 대상 어종으로 부각되고 있다(NFRDI, 2008).

나아가 강도다리는 광온성 어류여서 동해중부 해역이나 서해안의 겨울철 저수온 환경에 잘 적응할 수 있는 것으로 나타나, 남해안에 비하여 상대적으로 양식산업 발전이 부진한 한해성 해역의 대안 품종으로 고려되고 있다. NFRDI (2008)에 따르면 넙치를 비롯한 대부분의 국내 양식대상 어류는 겨울철 혹은 한기의 저수온에 약해 폐사가 많지만, 강도다리는 혹한기 수온 0.2°C 에서도 먹이를 섭취하고 성장이 가능하고, 상기한 해역은 15°C 이하 기간이 5-6개월 이상인 것을 감안하면 한해성 해역에 매우 유리한 양식품종이다.

어류 양식에 있어서 양식 경영비의 절반 이상을 차지하는 사료비는 생산원가를 좌우하는 중요한 요인이지만, 각 사료에 대한 영양적 가치나 장·단점을 고려하지 않은 채 경험적으로 생사료(FRF : frozen raw fish)와 MP사료(moist pellet)의 사용을 선호하고 있다. 그러나 강도다리는 넙치와 같이 육상 우수식 탱크 사육을 피할 수 없고, 수질관리와 양식 경영 원가를 낮추

Article history;

Received 19 September 2012; Revised 26 September 2012; Accepted 29 September 2012

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 660. 8221 Fax: +82. 33. 660. 8225

E-mail address: pkkim@gw.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 45(6) 679-685, December 2012

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0679>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

Table 1. Proximate analysis of experimental diets

Diets	Moisture (%)	Dry Matter Basis				Estimated energy ² (kcal/g)
		Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Crude ash (%)	NFE ¹ (%)	
EP	13.4±0.1	43.5±0.6	11.8±0.1	10.6±0.1	34.1	4.17
MP	42.5±1.4	45.5±1.6	23.5±0.7	9.1±0.8	22.0	4.81

¹Nitrogen free extract.

²Base on 4 kcal/g protein, 9 kcal/g lipid and 4 kcal/g carbohydrate (Cho et al., 1982).

기 위해서는 EP 사료의 도입이 필수적이다(Hwang and Kim, 2009).

강도다리에 대한 연구로는 필수지방산에 대한 성장효과(Lee et al., 2003), 성성숙과 성숙주기(Lim et al., 2007), 산소소비에 미치는 수온의 영향(Jeong et al., 2009; Oh et al., 2009a), 암모니아 배설에 미치는 수온의 영향(Oh et al., 2009b) 등에 대한 연구는 수행된 바 있으나 사료의 소화생리학적 연구는 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 사료종류에 따른 강도다리의 성장효과, 사료 기호성, 소화속도 등의 소화 생리학적 연구를 통하여 새로운 양식어종에 대한 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

사육 시스템 및 수질

실험에 사용한 순환여과시스템은 Kim (2011)의 것과 동일하였으며, 사육조와 침전조에서 배출된 사육수는 순환펌프에 의해 포말분리기를 거쳐 생물학적 여과조로, 그리고 생물학적 여과조를 통과한 물은 중력에 의해 사육 수조로 다시 재유입되는 구조였다. 침전조에 집적된 침전 고형물은 1일 2회 제거하였다.

수질은 다항목수질측정기(YSI 556MPS, USA)를 이용하여 사료 공급 30분 후 매일 2회 측정하였으며, 총암모니아, 아질산, 질산은 분광광도계(HACH DR 4000U, USA)를 이용하여 측정하였다. 실험기간 동안의 수온은 15.0±1.2℃, pH는 7.7±0.3, 용존산소는 8.5±4.6 mg/L, 염분도는 34.3±3.5 psu, 총암모니아성 질소(Total ammonia nitrogen)은 0.03±0.02 mg/L, 아질산성 질소(Nitrite nitrogen)은 0.04±0.02 mg/L, 질산성 질소(Nitrate nitrogen)은 18.06±0.39 mg/L 수준을 각각 유지하였다.

실험 어류 및 사료

실험에 이용한 어류는 강원도 고성 소재 양식업체에서 생산된 130 g 내외의 강도다리를 구입하여 실험에 이용하였다. 실험구는 EP사료(Extruded pellet) 공급구와 MP사료(Moist pellet) 공급구로 나누어 각각 2개 수조로 나누고, 수조별 각 50마리씩 2반복으로 방양하였다. EP사료는 시판용 해산어류 사료(우성사료)를 이용하였으며, MP사료는 냉동 고등어를 잘게 마

쇄한 후 MP제조용 분말(우성사료)을 혼합(고등어 65%, 분말사료 35%, 습중량 기준)하여 초과기를 이용 제조하였다. 실험용 사료들은 -20℃에 냉동 보관하면서 일간 2회 반복 공급하였다.

실험용 사료의 일반성분 분석을 위해 수분은 상압가열건조법(110℃, 2시간), 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지질은 Buchi extraction system (B-811, Switzerland)을 사용하여 Soxhlet 추출법으로 분석하였다. 분석된 사료의 일반성분은 Table 1과 같다.

성장과 사료 기호성 조사

사료 종류에 따른 성장과 기호성을 알아보기 위하여 45일간 1일 2회 반복 공급하고, 성장지표로 사료효율과 일간성장율을 구하였고, 사료의 기호성을 판단하는 지표로 일간사료섭취율을 산출하고, 실험종료시 72시간 절식 후 1회 반복상태로 사료를 공급하고 사료 종류별 섭취율을 조사하였다.

위내용물의 소화속도 측정

45일간 실시한 사료 종류별 성장 실험이 끝나고, 연이어 72시간 굶겨서 위 속에 소화물이 남지 않도록 한 후, 1회에 걸쳐 실험사료를 반복(*ad libitum*) 공급하였고, 공급한 후 시간경과에 따른 위 소화물의 감소 경향을 조사하였다. 사료 공급 후 시간경과에 따른 위 내용물의 소화속도(통과속도)를 구하고자 사료공급 전(0시간), 사료공급 후 1, 4, 8, 16, 24, 48시간(총 7회)에 위내용물(소화물)의 양적인 변화(위내용물 건조 중량×100/어체중), 소화물의 수분함량의 변화, 담낭 중량비의 변화(Gallbladder-somatic index, 담낭 무게×100/어체중)를 경시적으로 조사하였다. 나아가 사료내 탄수화물의 이용성을 평가하기 위하여 45일간의 실험 종료 후 간장중량지수(Hepatosomatic index, 간 무게×100/어체중)를 구하여 사료간 비교하였다.

위내용물의 소화도 측정

사료 공급 후 시간경과에 따른 위 내용물의 소화도를 구하고자 EP 및 MP사료공급 후 1, 4, 16시간(총 3회)에 강도다리의 위 내용물(소화물)을 대상으로 수용성과 불용성으로 질소를 분획하였다. 위 소화물 1 g에 삼염화초산(Trichloroacetic acid,

Table 2. Growth performance of starry flounder *Platichthys stellatus* fed moist and extruded commercial pellets for 45 days

	Exp. Diet		Significance
	EP	MP	
Initial mean weight (g)	136.0±1.6	130.4±1.3	
Final mean weight (g)	220.2±4.3	224.7±5.9	
Survival (%)	100	99.0±1.4	
Mean weight gain (g/fish)	84.2±5.9	93.0±6.6	
Feed efficiency (%) ¹	68.3±0.9	92.3±4.3	<i>P</i> <0.05
Specific growth rate (%/day) ²	1.07±0.07	1.20±0.05	
Daily feed intake (%/day) ³	1.57±0.08	1.30±0.01	<i>P</i> <0.05

¹Fish wet weight gain×100/feed intake (dry matter).

²(Ln final weight - Ln initial weight) ×100/days.

³Feed intake (day matter)×100/[(initial fish weight+final fish weight+dead fish weight)×days fed/2].

TCA) 10mℓ를 가하여 마쇄한 후 10,000 rpm에서 10분간 원심 분리하여 상등액과 침전잔사로 나누어 각각 수용성과 불용성 질소로 하여 Kjeldahl 법으로 질소를 정량하여 비교하였다

담낭중량비와 담즙색소의 변화 측정

사료 공급 후 시간경과에 따른 강도다리의 담낭중량비(gall-bladder-somatic index)를 경시적으로 조사하였다. 사료공급 전(0시간), 사료공급 후 1, 4, 8, 16, 24, 48시간(총 7회)에 걸쳐 담낭을 적출한 후 무게를 측정하고 담즙색소의 색도를 조사하고 비교하였다. 담즙색소의 색도는 육안적 관찰을(Table 6 참조) 통해 투명, 연두색, 옅은 녹색, 진한 녹색 4단계로 구분하였다.

통계처리

본 실험에 대한 결과는 mean±SD로 나타내었고, SPSS ver. 10.0 프로그램을 사용하여 ANOVA로 검증한 후, *P*<0.05 수준에서 Duncan's multiple range test로 유의성 비교를 하였다.

결과 및 고찰

성장과 사료 기호성

강도다리의 사료에 따른 사육실험의 결과는 Table 2와 같다. 실험초기 약 130 g 정도의 크기가 45일 후 약 220 g 수준으로 성장하였고, 생존율은 두 실험구 모두 100%에 가깝게 높았다. 사료효율은 EP 사료와 MP 사료가 각각 68.3±0.9%와 92.3±4.3%로 나타나 MP사료가 더 우수하였고(*P*<0.05), 나아가 성장속도를 나타내는 일간성장률도 각각 1.07±0.07%, 1.20±0.05%로 나타나MP사료가 EP사료에 비해 적게 먹고(건중량 기준) 성장도는 우수한 것으로 나타났다.

한편, 사료의 기호성을 판단하는 일간사료섭취량은 각각 1.57±0.08%, 1.30±0.01%로 나타나 EP 사료가 MP 보다 기호성이 더 좋았다. 45일간의 성장 실험 종료 후 실험어류를 72시간 절식한 후 실험사료를 1회 반복 공급한 경우도 각각

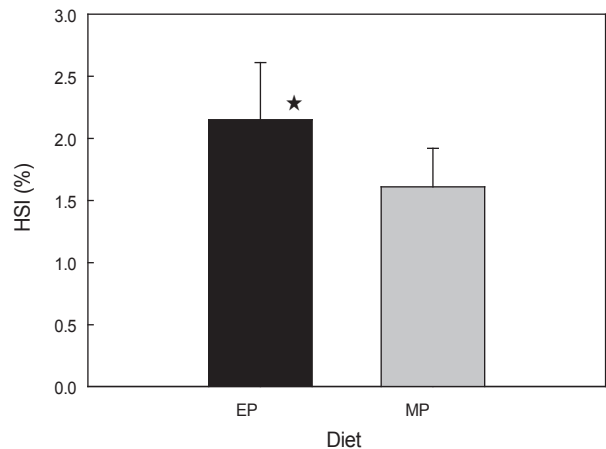


Fig. 1. Hepato-somatic index (HSI) of starry flounder *Platichthys stellatus* fed diets with moist and extruded pellets for 45 days (★: *P*<0.05).

1.73%와 1.35% 를 섭취(건중량 기준)하여 EP사료의 기호성 더 높았다.

본 실험의EP사료는 탄수화물원과 회분 비율이 생사료보다 상대적으로 높고 팽화시켜 탄수화물의 젤라틴화 수준이 높았을 것으로 기대되며, 반면 MP사료는 단백질의 변성이 덜 해 소화흡수가 용이하며, 지질 함량과 칼로리가 각각 약 12%와 0.64 kcal/g 정도 높아 비교적 수온이 낮은 15℃에서 에너지원으로 잘 활용됐을 것으로 사료된다(Table 1 참조). 그러나 본 실험은 비교적 저수온인 15℃에서 사육한 결과 대체적으로 EP 사료를 먹인 실험구는 건중량 기준으로 사료의 기호성에 문제가 없었으나 사료효율과 일간성장률이 각각 약 26%와 10% 정도가 감소하는 등 저수온으로 소화와 흡수에 큰 장애가 있었을 것으로 사료된다.

그러나 탄수화물원의 소화 및 흡수 기작을 비교할 수 있는 지표로 간장중량지수(HSI)가 잘 이용된다(Peres and Oliveira-Teles, 2002; Moreira et al., 2008). EP사료와 MP사료를 먹인 강도다리의 HSI를 조사한 결과는 Fig. 1에 나타내었다. EP사

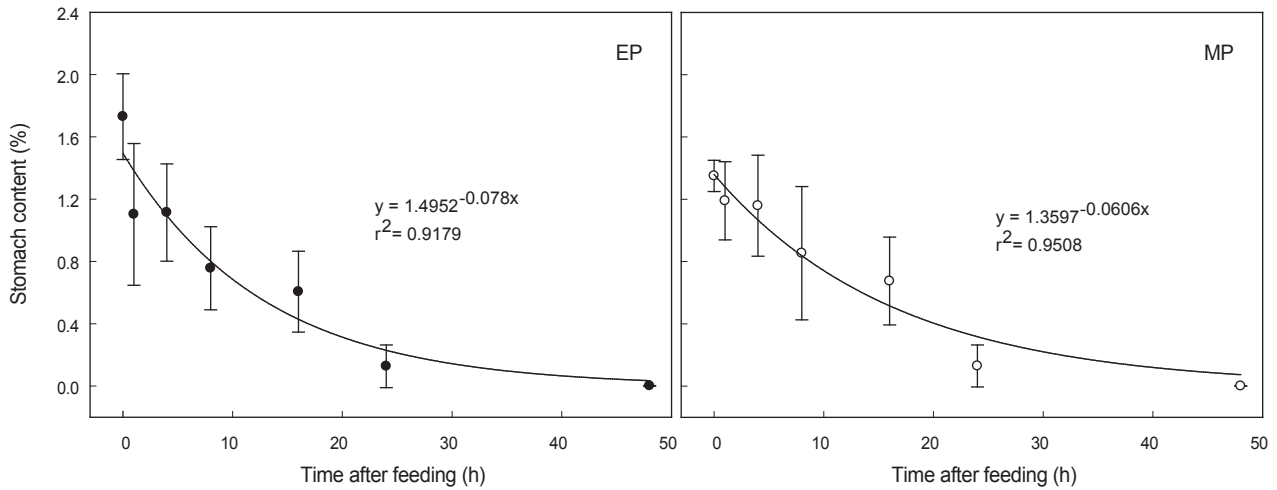


Fig. 2. Post prandial changes of stomach content in starry flounder *Platichthys stellatus*.

료를 먹인 어류의 HSI는 2.15%로 MP사료의 1.61% 보다 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 즉, EP 사료를 먹인 강도다리는 간장의 크기가 현저하게 비대화되었고, 선홍색에서 회색으로 변화된 병적인 증상이 관찰되었다. 이것은 EP 사료에 포함된 상당량의 탄수화물원이 가공과정에서 호화(젤라틴화)된 결과이며, 본 연구에서 15°C 정도의 저수온에서 강도다리를 사육하여도 탄수화물의 소화에는 큰 지장이 없는 것으로 판단되었으며, 간의 비대화는 잉어 당 성분이 glycogen 상태로 간에 상당량이 저장된 결과로 이러한 병리적인 현상은 강도다리의 성장에도 나쁘게 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

NFRDI (2008)에 의하면 10-15cm 크기의 강도다리는 15°C 이하에서는 사료효율이 높고, 그 이상의 수온에서는 오히려 사료효율이 더 나빠진다는 보고와 같이 강도다리의 적수온 범위는 15°C 이하인 것을 알 수 있으며, 또 6.8 g의 강도다리를 자연해수로 1년간 사육시 일간성장률이 1.06% 수준인 것으로 보고하고 있어 본 실험에서 EP사료를 먹인 강도다리의 성장율과 유사한 것으로 나타났다.

한편, Kim et al. (2006)는 평균 15°C 정도 수온에서 약 300 g 크기의 넙치에게 EP와 MP사료로 8개월간 사육한 결과 사료효율이 각각 64-85%와 47%로 EP사료가 우수하다고 보고하고 있어 강도다리를 이용한 본 실험과 다른 경향을 보였다. 또 Lee et al. (2005)도 43.5 g 내외의 넙치를 대상으로 19-21°C 에서 8주간 사육한 결과 EP사료는 사료섭취율은 낮지만 사료효율은 MP 사료보다 우수한 것으로 보고하고 있다. 이와 같은 결과는 상업용 규모의 대형 탱크를 이용한 현장 사육의 결과로서 MP 사료의 허실이 컸던 것이 큰 원인일 것으로 사료되며, 본 실험에서는 소규모 실험으로 MP사료가 잘 관리되어 유실이 거의 없었던 것도 한 원인 일 것으로 사료된다.

Table 3. Stomach transition rate of digesta in starry flounder *Platichthys stellatus* after one time feeding with moist and extruded pellets (unit : h)

Transition rate* (%)	Exp. Diets	
	EP	MP
25	1.5	4.8
50	6.7	11.5
75	15.6	23.0

*Stomach transition rate.

위내용물의 소화속도

위 내용물에 관한 feeding history는 특정해역에 서식하는 종의 생산력을 추정하는 생태학적 연구에 많이 활용되나, 양식 생물에서는 사료의 공급량과 공급 횟수를 결정하고 사료의 질을 평가하는 수단으로 많이 이용된다(Jobling, 1986; Bromley, 1987). 이처럼 사료의 종류와 질에 따라 위(胃)에서 일어나는 물리적 또는 화학적 변동은 서로 다르기 때문에(Jobling, 1986), 본 연구에서는 사료 공급 후 위(胃) 내용물의 양적 변동, 수분 함량 변화, 위 내용물의 가소화(可消化) 정도를 경시적으로 파악함으로써 실험 사료의 질을 평가하고, 아울러 사료종류별 생물학적 이용성 및 소화 패턴을 평가하였다.

위 소화물의 소화 경향은 배합사료(EP)와 습사료(MP) 모두 지수적인 감소를 보였다(Fig. 2). 나아가 사료섭취 후 위 소화물의 소화속도(사료섭취비율기준 위 통과시간)를 Fig. 2의 지수함수를 이용하여 산출한 결과는 Table 3과 같이 배합사료(EP)가 습사료(MP) 보다 소화속도가 빨랐다. 즉, 감소경향은 사료별로 유사한 패턴을 보이나 실험구별로 72시간 절식 후 1회 반복 공급하였고, EP사료 및 MP사료 실험구는 각각 1.73%

Table 4. Post prandial changes of the stomach digesta nitrogen fraction by the soluble and insoluble

	Time (h)	Stomach content (%)	CP (%)	mg N/g digesta	Soluble N (%)	Insoluble N (%)
EP	1	1.62±0.31	45.3±1.4	72.5±2.2	14.9±0.4 ^b	85.1±0.4 ^a
	4	1.32±0.14	44.6±0.7 ^b	71.4±1.2 ^a	11.5±1.2 ^b	88.5±1.2 ^a
	16	0.75±0.12	41.9±0.9	67.1±1.4	8.1±2.4 ^b	91.9±2.4 ^a
MP	1	1.29±0.02	46.6±0.9	74.5±1.4	19.0±2.5 ^a	81.0±2.5 ^b
	4	1.30±0.29	46.9±0.2 ^a	75.0±0.3 ^b	18.7±0.3 ^a	81.3±0.2 ^b
	16	0.81±0.0	42.4±2.7	67.9±4.3	20.9±1.8 ^a	79.1±1.8 ^b

*Different superscripts express *P* value (*P*<0.05).

와 1.35%를 섭취(건중량 기준)하였지만 오히려 MP 사료의 소화물이 더 오랫동안 위(胃) 속에 머물면서 소화가 되는 것으로 나타났다. 즉, EP사료와MP사료를 먹인 강도다리는 위 소화물의 50%가 통과하는데 걸리는 시간은 각각 6.7시간과 11.5시간이며, 75%가 통과하는데 각각 15.6시간과 23시간이 소요되는 것으로 나타났다(Table 3). 이러한 결과는 앞의 성장 결과와 같이 MP 사료 실험구에서 적은 사료를 먹고(건중량 기준) 소화물이 오랫동안 위에 머물며 충분히 소화되고 흡수되어 성장이 더 우수하게 나타난 것으로 사료된다.

위내용물의 소화도

섭취한 사료를 강도다리가 어느 정도 소화하는지 알아보기 위하여 EP사료와 MP 사료 공급구에서 사료 공급 후 시간별로 위 내용물 중 수용성 질소와 불용성 질소의 양을 조사하여 Table 4에 나타내었다. 수용성질소와 불용성질소의 비율은 EP사료의 경우 8.1-14.9% vs 85.1-91.9%로, MP사료의 경우 18.7-20.9% vs 79.1-81.3%로 사료 종류에 따라 수용성 및 불용성 질소의 구성비는 유의적으로 차이를 보였으며(*P*<0.05), MP 사료를 먹인 어류의 위소화물일수록 수용성 질소의 구성비가 높고, EP사료를 먹인 실험구에서는 MP사료 실험구와는 달리 시간 경과에 따라 수용성질소의 비가 감소하는 경향이 뚜렷하였다. 이와 같이 EP사료를 먹인 강도다리는 위 소화물 중 수용성질소의 비율이 MP사료실험구보다 유의적으로 낮았던 것은 단백질의 소화 및 흡수에 문제가 있는 것으로 사료되며, 이러한 결과가 결국 EP 사료 실험구의 일간성장율을 낮추는 결과를 초래한 것으로 판단된다.

한편 위 내용물 1 g 당 질소의 총량은 EP사료 실험구의 경우 67.1-72.5 mg 이었고, MP사료 실험구는 67.9-75.0 mg 수준인 것으로 나타났으며, 그리고 시간 경과에 따라 다소의 증감은 있었으나 전체적으로 각 공급구의 총 질소량은 거의 일정하였다. 이와 같이 질소 즉, 단백질 함량이 시간경과와 상관없이 일정한 것은 위에서 단백질을 비롯한 특정 영양소만을 선택적으로 腸으로 보내지 않는다고 여겨진다.

위 내용물의 수분 함량은 사료 공급 1시간 후 EP사료와 MP 사료에서 각각 60%와 63%로 유의적인 차이가 없는 것으로 나타났으며(Table 5), 이 후 계속 증가하여 사료섭취 후 48시간에

Table 5. Post prandial changes of moist content in the stomach digesta (unit : %)

Time	Exp. Diet		Significance
	EP	MP	
1	60.1±4.3	63.2±3.2	<i>P</i> >0.05
4	65.9±2.9	66.2±2.4	<i>P</i> >0.05
8	72.3±5.0	71.4±7.1	<i>P</i> >0.05
16	76.1±5.3	76.7±10.5	<i>P</i> >0.05
24	84.9±8.5	82.5±8.4	<i>P</i> >0.05
48	98.3±2.1	98.0±2.8	<i>P</i> >0.05

는 98% 내외의 수준까지 증가하는 경향을 보였다. 위 소화물의 수분함량은 먹이 자체가 가지고 있는 수분과 위(胃)에서 분비된 소화물(HCl, Pepsinogen etc)로 구성된다는 점에서 EP 사료 실험구는 빠른 속도로 소화물의 수분량이 증가하고 소화물도 상대적으로 MP실험구보다 빨리 장(腸)으로 빠져나가는 것으로 나타났다.

어류의 위 내용물의 통과 속도를 결정하는 요인은 잘 알려져 있지 않다(Bromley, 1987). 그러나 일반적으로 위 내용물의 통과 속도는 생물의 크기, 사료의 수분 함량 등 사료의 질과 양, 사육 수온 등에 따라 달라지는데(Jobling, 1980; Hilton et al., 1981), 보통 지수적(exponential), 평방근(square-root) 그리고 직선적(linear)인 감소를 보인다(Jobling, 1987). 또한, 수온이 높을수록(Brett and Higgs, 1970), 그리고 큰 개체일수록(Garber, 1983) 통과 속도도 빠른 것으로 보고되고 있다. 한편, α화 전분은 생전분보다 소화 속도가 늦는(Kaushik and Oliva Teles, 1985) 등 영양가가 높은 사료가 통과 속도가 늦고, 고히형 사료는 액체 상태의 사료보다 늦으며(Moore et al., 1984), 그리고, 사료 섭취량이 증가할수록 통과 속도는 늦어지는(Moore et al., 1984) 등 대체적으로 난 분해성이거나 고히형 사료가 통과 속도가 늦어지는 것으로 보고하고 있다. 그러나 본 실험결과는 이러한 일반적인 경향과는 다소 차이가 있었다. 즉, 감소경향은 지수적이지만EP 사료는 MP사료보다 난분해성이면서 고히형 사료임에도 통과속도가 빠른 것으로 조사되었다. 이러한 차이는 사육수온과 종 특이성에서 나타나는 현상일 수 있으나 EP

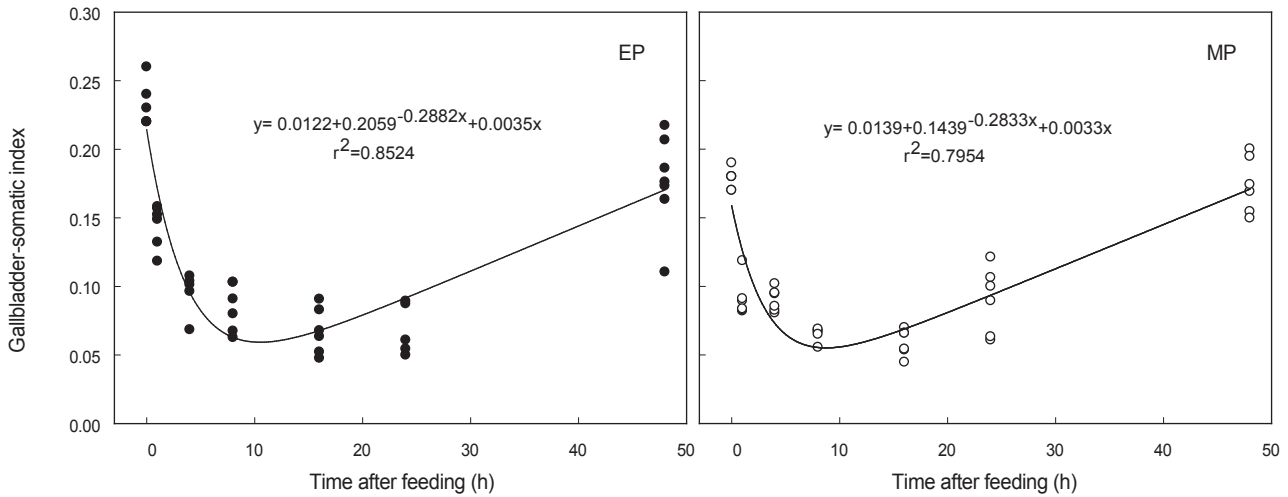


Fig. 3. Post prandial changes of gallbladder-somatic index(gallbladder wt. × 100/body wt.).

Table 6. Post prandial changes of bile pigment colors in starry flounder *Platichthys stellatus* fed moist and extruded commercial pellets for 45 days

Time	EP (n=70)	MP (n=70)	Color rating	Examples for rating
0	3.4±0.5	3.5±0.5		
1	3.8±0.7	2.7±0.7		
4	3.3±0.7	3.0±0.8	1 : transparency	
8	2.5±0.8	1.8±1.0	2 : yellowish green	
16	1.5±0.5	1.2±0.4	3 : light green	
24	1.5±0.7	1.6±1.0	4 : dark green	
48	2.4±0.8	2.8±0.9		

사료는 MP사료에 비하여 사료가 견고하고 부피가 작은 반면 수분이 적어 에너지 밀도가 높았으며, 너무 장시간 절식에 이른 점 등이 소화속도를 높인 것으로 사료된다. 이러한 결과는 EP사료의 사료효율이나 성장율이 MP사료보다 낮았고, 위 소화물의 수용성질소 비율도 상대적으로 낮았던 점 등으로 잘 증명되고 있다.

담낭중량비와 담낭색소의 변화

담낭(Gallbladder)의 구성 성분으로는 담즙산, sodium, potassium, bilirubin, biliverdin 등으로 담즙산은 지방의 유화작용(표면장력 약화)이 있어 소화를 촉진하고, 췌장에서 분비되는 lipase를 활성화 시키며, 지방산이나, 콜레스테롤, 비타민 A, D와 카로틴의 흡수를 돕는 기능을 하는데, 분비된 담즙산(bile acid)의 약 95%는 장관에서 다시 흡수되어 재이용된다(Kim, 1995).

본 실험에서도 사료섭취 후 처음 담즙산의 양이 0.20-0.25% 수준을 유지하였으나, 그 이후 급속하게 감소하다가 약 8시간 경과 후 다시 증가되는 것으로 나타났고, 이 시간 이후 다음의

사료 즉, 소화물을 위한 저장과 준비가 시작되는 것으로 판단되고(Fig. 3), 최초의 수준으로 회복하는데 약 48시간 정도 소요되는 것으로 나타났다.

그리고 담낭 색소(bilirubin)는 절식 시간에 따라 다양한 색깔을 내기 때문에 양식 어류나 자연에 존재하는 어류의 feeding history나 gut content를 파악하는데 중요한 지표로도 이용된다(Talbot and Higgins, 1982). 이러한 경향은 담즙산에 포함된 담즙색소의 색도지수(초록색이 진한 정도) 변화에서도 나타났다. 붉은 상태는 담즙색소가 진초록이며, 사료를 섭취하면 담즙이 분비되면서 색이 연한 황색이나 투명하게 변하는데, 사료 섭취량에 따라 그 변화 정도가 크다. 본 연구에서도 사료섭취 후 1시간부터 진초록에서 서서히 열어지기 시작하여 16시간 이후에 가장 연하게 되었다가 다시 처음의 색으로 변하기 시작하고, 사료섭취 후 48시간 후에는 최초의 70-80% 수준으로 회복하는 것으로 나타났다(Table 6).

이러한 결과는 Kim (1995)이 대두박을 무지개송어에게 장기 간 먹인 후 측정된 담낭중량비 약0.30% 수준보다 다소 낮았으나, 사료섭취 후 9-12시간 후 최저값으로 낮아졌다가 그 이후

다시 증가하는 경향을 보고하고 있어 본 연구 결과한 유사한 패턴을 보였다. 또한, 대서양연어에서 사료 섭취 후 담낭의 무게가 사료 공급 1 시간 후에 급감하고, 6 시간 후에 최하값을 보이며, 24 시간 후에 최초의 값에 도달한다고 보고한 Talbot and Higgins (1982)의 결과와도 유사하였다.

참고문헌

- Brett JR and Higgs DA. 1970. Effect of temperature on the rate of gastric digestion in fingerling sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. J Fish Res Bd Can 27, 1767-1779.
- Bromley PJ. 1987. The effects of food type, meal size and body weight on digestion and gastric evacuation in turbot, *Scophthalmus maximus* L. J Fish Biol 30, 501-512.
- Cho CY, Slinger SJ and Bayley HS. 1982. Bioenergetics of salmonid fishes: energy intake, expenditure and productivity. Comp Biochem Physiol 73B, 25-41.
- Garber KJ. 1983. Effect of fish size, meal size and dietary moisture on gastric evacuation of pelleted diets by yellow perch, *Perca flavescens*. Aquacult 34, 41-49.
- Hilton JW, Cho CY and Slinger SJ. 1981. Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). Aquacult 25, 185-194.
- Hwang JW and Kim DH. 2009. An economic feasibility comparison of the extruded pellets and moist pellet on the oliver flounder culture farms. J Fish Business Administration 40, 198-205.
- Jeong MH, Byun SG, Lim HK, Min BH, Kim YS and Chang YJ. 2009. Effects of water temperature on oxygen consumption in starry flounder *Platichthys stellatus* reared in seawater and freshwater. Korea J Environ Biol 27, 285-291.
- Jobling M. 1980. Gastric evacuation in plaice, *Pleuronectes platessa* L.: effects of dietary energy level and food composition. J Fish Biol 17, 187-196.
- Jobling M. 1986. Gastrointestinal overload-a problem with formulated feeds? Aquacult 51, 257-263.
- Jobling M. 1987. Influences of food particle size and dietary energy content on patterns of gastric evacuation in fish : test of a physiological model of gastric emptying. J Fish Biol 30, 299-314.
- KAF (Korea Fisheries Association). 2011. Korean Fisheries Yearbook. 354
- Kaushik SJ and de Oliva Teles A. 1985. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout. Aquacult 50, 89-101.
- Kim KD, Kang YJ, Lee HY, Kim KW, Kim KM and Lee SM. 2006. Evaluation of extruded pellets as a growing diet for adult flounder *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 19(3), 173-177.
- Kim PK. 1995. Effects of dietary soybean meal on the growth and physio-chemical changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Ph.D. Thesis. National Fisheries University of Pusan, Pusan, Korea.
- Kim PK. 2011. Effects of stocking density and dissolved oxygen concentration on the growth and hematology of the parrotfish *Oplegnathus fasciatus* in a recirculating aquaculture system (RAS). Kor J Fish Aquat Sci 44, 747-752.
- Kim YS, Do YH, Min BH, Lim HK, Lee BK and Chang YJ. 2009. Physiological responses of starry flounder *Platichthys stellatus* during freshwater acclimation with different speeds in salinity change. J Aquacult 22, 28-33.
- Lee SM, Lee JH and Kim KD. 2003. Effect of dietary essential fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). Aquacult 225, 269-281.
- Lee SM, Seo JY, Lee YW, Kim KD, Lee JH and Jang HS. 2005. Evaluation of experimental extruded pellet, commercial pellet and raw fish-based moist pellet for growing flounder, *Paralichthys olivaceus*. J Aquacult 18, 287-292.
- Lim HK, Byun SG, Lee JH, Park SU, Kim YC, Han KH, Min BH and Lee BY. 2007. Sexual maturity and reproductive cycle of starry flounder *Platichthys stellatus* cultured indoor tank. J Aquacult 20, 212-218.
- Moore JG, Christian PE, Brown JA, Brophy C, Datz F, Taylor A and Alazaraki N. 1984. Influence of meal weight and caloric content on gastric emptying of meals in man. Digestive Dis Sci 29, 513-519.
- Moreira IS, Peres H, Couto A, Enes P, Oliva-Teles A. 2008. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilization of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquacult 274, 153-160.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2008. Manual of starry flounder culture. East Sea Fish Res Inst, Uljin, Korea, 131.
- Oh SY, Jang YS, Noh CH, Choi HJ, Myoung JG and Kim CK. 2009a. Effect of water temperature on ammonia excretion of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Kor J Ichthyol 21, 1-6.
- Oh SY, Jang YS, Noh CH, Choi HJ, Myoung JG and Kim CK. 2009b. Effect of water temperature and body weight on oxygen consumption rate of starry flounder *Platichthys stellatus*. Kor J Ichthyol 21, 7-14.
- Peres H and Oliva-Teles A. 2002. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. Aquacult 205, 287-299.
- Talbot C and Higgins PJ. 1982. Observations on the gallbladder of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in relation to feeding. J Fish Biol 21, 663-670.