

타피오카 전분을 이용한 넙치(*Paralichthys olivaceus*)용 고효율 배합사료 개발

김강웅 · 이진혁 · 배기민 · 김경덕 · 이봉주 · 한현섭 · 이경준¹ · 김성삼*

국립수산과학원 사료연구센터, ¹제주대학교 해양생명과학과

Development of High Efficiency Extruded Pellets with Tapioca Starch in Olive Flounder *Paralichthys olivaceus*

Kang-Woong Kim, Jin-Hyuck Lee, Ki-Min Bae, Kyoung-Duck Kim, Bong-Joo Lee, Hyon-Sob Han, Kyeong-Jun Lee¹ and Sung-Sam Kim*

Aquafeed Research Center, National Fisheries Research and Development Institute, Pohang 791-923, Korea

¹Department of Marine Life Science, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

This study compared the effects of feeding diets consisting of an experimental extruded pellet with tapioca starch (EEP), commercial extruded pellet (CEP), and raw-fish-based pellet (MP) on the growth, flesh quality, and apparent digestibility coefficient of the olive flounder *Paralichthys olivaceus*. Two replicated groups of 4,000 fish each (initial mean weight: 81.8±3.5 g) were fed one of the experimental diets for 5 months. After the feeding trial, the final mean weight, weight gain, specific growth rate, and feed efficiency of fish fed the EEP was significantly higher than those of fish fed the CEP and MP. Moisture content in the whole-body of fish fed MP was significantly higher than those of fish fed other diets. However, the highest crude protein in the whole-body was found in fish groups fed the EEP. Significantly higher contents of 24:1n-9, 20:5n-3, 22:6n-3 and lower 18:1n-7 was observed in fish fed the EEP compared with fish fed the MP. The amino acid contents in the whole-body showed significant differences in the composition depending on the feed, but the distribution of free amino acids showed similar patterns. Among amino acids, glutamic acid showed the highest content in all the experimental groups, and the threonine, cysteine, and lysine contents were significantly higher in the groups fed with EEP and CEP than in the group fed with MP. Digestibility of nutrients of the EEP was significantly higher than that of fish fed the CEP. This suggests that extruded pellets can be used to feed olive flounder without compromising growth and flesh quality in comparison to raw-fish-based moist pellets. Formulation of the EEP could be used as a practical feed for olive flounder.

Key words: Extruded pellet, Moist pellet, Olive flounder, Growth, Flesh quality, Digestibility

서론

양어용 배합사료는 부상사료, 반부상사료, 침강사료 등 가공물성 및 형태에 따라 다양한 사료가 존재하며, 탄력성과 점착성 등 가공물성 및 형태 유지를 위해 소맥분을 대부분 사용하고 있다. 하지만 대부분의 해산어들은 탄수화물원료의 주성분인 당을 잘 이용하지 못하기 때문에 소맥분을 적정함량 이상 사용할 경우 양식어류의 성장을 저하시킬 수 있다(NRC, 2011). 양어

사료에 사용되는 탄수화물원료는 주로 소맥분이며, 뱀장어 사료는 반죽사료 형태로 공급되기 때문에 탄력성 및 점착성과 같은 물성을 위해 소맥분을 사용하지 않고 전분(starch)을 사용하고 있다. 전분의 종류에는 감자, 고구마와 같은 서류 전분이 있으며, 이보다 입자 크기가 작은 쌀, 옥수수 등의 곡류 전분이 있다. 이 외에도 밀, 완두, 칩, 타피오카 등의 다양한 전분이 존재한다. 생전분을 β전분이라 하며, β전분이 α전분으로 변하는 것을 α화(호화)라 하고, 전분의 α화는 효소들의 작용이 쉬워 사료의

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0818>



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.

Kor J Fish Aquat Sci 47(6) 818-823, December 2014

Received 10 November 2014; Revised 11 December 2014; Accepted 29 December 2014

*Corresponding author: Tel: +82. 54. 230. 3631 Fax: +82. 54. 232. 3697

E-mail address: sungsamkim@korea.kr

소화율을 높일 수 있다. 전분의 호화에 영향을 미치는 인자들로 는 수분, 온도, pH 및 염류 등이 있다. 양어사료는 제조과정에서 압출가공(extruding) 및 스팀(steaming)을 통해 생산되기 때문에 β전분을 α전분으로 소화되기 쉽게 변화시켜 전분의 호화에 영향을 미친다. 또한 식품산업에서 밀가루를 다른 원료로 대체 하면서 제품의 탄력성과 점착성을 높이기 위해 전분을 사용하고 있다(Lee et al., 2013). 따라서 전분은 소맥분 보다 적은 양을 사용하여도 배합사료의 탄력성과 점착성을 향상시켜 가공물성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다(Yoon, 2011).

타피오카전분은 카사바(*Manihot esculenta* Crantz)의 뿌리로 부터 추출한 것으로, 동남아시아, 아프리카, 브라질 등 열대지방에서 주식에 가까운 주요한 자원이다. 타피오카 전분은 대부분이 전분으로 amylose와 amylopectin으로 구성되어 있으며 (Chee, 1986), 다른 전분에 비해 탄수화물함량이 높고 단백질함량이 낮다. 또한 강수량이 적거나 척박한 토양에서도 생산성이 높아 수요가 증가하는 추세이다(Kim et al., 2007; Mishra and Rai 2006). 타피오카전분은 점성이 높고 무색투명하고 쫄깃한 식감을 가지며, 소화 및 흡수가 잘되는 전분으로 식품산업에 널리 쓰이고 있다(Song and Park 2000; Ahn, 2005).

본 연구는 넙치용 배합사료 개발을 위해 이전 상업용 배합사료(commercial extruded pellet, CEP)의 사료조성을 바탕으로 소맥분 대신 타피오카 전분을 사용하여 총 탄수화물 원료의 함량을 줄이고 어분의 함량을 최대화 하면서 단백질과 지질함량을 증가시키고 가공물성을 유지하도록 설계 및 제조하였다. 이렇게 생산된 넙치용 실험배합사료(Experimental extruded pellet, EEP)를 상업용 배합사료(CEP) 및 습사료(moist pellet, MP)와 비교하여 성장, 사료효율, 체조성 및 소화율에 미치는 영향을 조사하고자 수행되었다.

재료 및 방법

실험사료

본 실험에 사용된 실험용 배합사료(Experimental extruded pellet, EEP), 상업용 배합사료(commercial extruded pellet, CEP) 및 습사료(moist pellet, MP)의 실험사료 조성은 Table 1에 제시된 바와 같다. 단백질원으로는 어분, 탈피대두박, 대두농축단백질, 밀글루텐, 콘글루텐밀, 크릴분 및 오징어분을 사용하였고, 지질원으로는 어유, 탄수화물원으로는 소맥분 및 타피오카 전분을 사용하였다. 이외에 사료첨가제로서 비타민 및 미네랄 혼합제, 비타민 C, 일인산칼슘, 유화제, 타우린 및 베타글루칸 등을 사용하였다. 실험용 배합사료(EEP)는 원료를 혼합한 후 익스트루더(Bühler, Swiss)를 이용하여 압출-성형하였으며, 사료크기는 직경 3-15 mm로 사료회사에서 제조하였다. 대조사료로 사용된 상업용 배합사료는 수협사료를 사용했으며, 습사료(MP)는 냉동된 메가리, 곤쟁이 및 잡어 등을 혼합 또는 단독으로 잡어와 분말사료를 9:1의 비율로 혼합하여 제조하였다.

Table 1. Formulation and proximate compositions of the experimental diets¹

Ingredients	Diets		
	EEP ²	CEP ³	MP ⁴
Fish meal (Anchovy meal, Peru) ⁵	74.0	67.0	
Dehulled soybean meal ⁵	2.0	2.0	
Soy protein concentrates ⁵	1.0	1.0	
Wheat gluten meal ⁵	1.0	1.0	
Corn gluten meal ⁵	1.0	1.0	
Krill meal ⁵	1.0	1.0	
Squid meal ⁵	1.0	1.0	
Tapioca starch ⁶	11.0	-	
Wheat flour ⁵	-	19.0	
Fish oil	5.0	4.0	
Vitamin and mineral premix. ⁷	0.3	0.3	
Vitamin C (Stay-C)	0.1	0.1	
Lechithin	1.0	1.0	
MCP (monocalcium phosphate)	0.5	0.5	
Choline chloride	0.2	0.2	
Taurine	0.3	0.3	
Methionine	0.3	0.3	
β-glucan	0.3	0.3	
Raw-fish			90
Powder feed			10
Proximate composition(% DM)			
Moisture	6.2	7.8	72.1
Crude protein	55.9	52.1	56.8
Crude lipid	12.4	10.5	13.8
Ash	12.1	10.6	11.9
Fiber	1.7	2.1	-

¹Feed stuffs not mentioned here are the same feed stuffs as the domestic aquaculture feed companies are using currently. ²EEP = Experimental extruded pellet, ³CEP=Commercial extruded pellet, ⁴MP = Moist pellet. ⁵Provided by Suhyup Feed Co., Kyong-Nam, Korea. ⁶ Provided by Daebong Live Feed Co., Jeju Special Self-Governing Province, Korea. ⁷ Vitamin and mineral premix (mg/kg) : KI 250, MnSO₄·H₂O 2800, ZnSO₄·H₂O 2350, vitamin K 225, biotin (2%) 3500, niacin 4850, calcium pantothenate 11000, folic acid 2000, vitamin B₁ 1500, vitamin B₂ 2000, vitamin B₆ 2000 and vitamin C 50000.

실험어 및 사육관리

사양실험에 사용된 실험어류는 전남 완도에 위치한 육상수조 양식장에서 구입하여 경북 포항에 위치한 청양수산으로 운송되었으며, 실험환경에 적응할 수 있도록 콘크리트 수조에 순치시킨 후 사료공급실험에 사용되었다. 예비사육 후 실험어류(초기 평균무게: 81.8±3.5 g)는 총 6개의 12×12 m 콘크리트 수조에

각 수조 당 4,000 마리씩 무작위로 선택하여 배치되었다. 사료 공급실험은 실험구당 2 반복구를 두었으며, 사육수의 유수량은 1일 24 회전으로 조절되었고, 모든 실험수조에 용존산소 유지와 원활한 사육수 순환을 위하여 에어스톤을 설치하였다. 사육기간 동안의 평균 수온은 $21.4 \pm 2.1^\circ\text{C}$ 범위로 자연수온에 의존되었다. 사료공급은 1일 1회 또는 2회 여체중의 0.1-2.5%를 반복으로 공급하였고, 사육기간은 5개월(2013년 6월-2013년 11월) 동안 수행되었다.

샘플수집

사료공급 실험 후, 어류의 최종 평균무게를 측정하여 증체율(weight gain), 사료효율(feed efficiency), 일간성장률(specific growth rate), 단백질이용효율(protein efficiency ratio) 및 생존율(survival)을 계산하였다. 최종 무게측정 후, 분석을 위해 각 수조마다 30마리씩 무작위로 선별하여 마취용액(MS-222, 100 mg/L)으로 마취시킨 후 -70°C 냉동고에 보관 후 분석되었다.

일반성분 및 에너지 분석

실험사료, 전어체 및 등근육의 일반성분 분석은 AOAC (2000) 방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125°C , 3 h), 조회분은 직접회화법(550°C , 12 h)으로 측정하였고, 단백질은 자동조단백분석기(Bunchi B-324/435/124, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)로 분석되었으며, 지방은 Folch et al. (1959)의 방법에 따라 Soxhlet 추출장치(Soxhlet heater system C-SH6, Korea)를 이용하여 분석되었다. 에너지 함량은 열량분석기(Parr-6200, Moline, IL, USA)를 사용하여 분석하였다.

지방산 분석

지방산 분석은 각 실험구별 전어체 및 등근육을 동결건조하고 분쇄한 시료 3 g에 대하여 4배량의 chloroform : methanol 혼합용매(2 : 1, v/v)를 가하여 homogenizer로 2분간 교반한 후, 여과하여 얻은 여액을 플라스크에 넣고 evaporator로 용매를 제거하여 지질을 추출하였다. 추출한 지질은 14% BF_3 -methanol (Sigma Chemical Co., USA) 2 mL를 가하고 30분간 85°C 에서 가열시킨 다음, 석유 ether로 추출하여 지방산 분석용 시료로 사용하였다. GC 분석조건은 HP-INNOWax capillary column (30 m \times 0.32 mm i.d., film thickness 0.5 μm , Hewlett-Packard, USA)이 정착된 gas chromatography (HP6890, USA)로 carrier gas는 helium을 사용하였다. Injector와 detector (FID) 온도는 각각 250°C , 270°C 로 설정하였고, oven 온도는 170°C 에서 225°C 까지 $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 증가시켰다. 각 지방산은 동일조건에서 표준지방산 methyl ester mixture (Sigma Chemical Co., USA)와 retention time을 비교하여 동정하였으며 함량은 각 peak의 면적을 상대 백분율로 나타내었다.

구성아미노산 분석

구성아미노산 분석은 각 실험구별 전어체와 등근육 부위를 동

결건조하고 분쇄한 시료 0.5 g을 정밀히 취하여 시험관에 넣고 6 N-HCl 15mL를 가하여 감압밀봉한 후 110°C 의 dry oven에서 24시간 이상 동안 산가수분해시켰다. Glass filter로 분해액을 여과하고 얻은 여액을 55°C 에서 감압농축하여 염산과 물을 완전히 증발시킨 다음, 농축된 시료를 sodium citrate buffer (pH 2.20)로 25mL 정용플라스크에 정용하여 0.45 μm membrane filter로 여과 한 시료액을 아미노산 자동 분석기(Biochrom 30, Biochrom Ltd., England)를 사용하여 다음과 같은 조건으로 분석하였다. Cation separation column (oxidised feedstuff column, 4.6 mm \times 200 mm)을 사용하였고 0.2 M sodium citrate buffer (pH 3.20, 4.25)와 1.2 M sodium citrate buffer (pH 6.45) 및 0.4 M sodium hydroxide solution을 이동상으로 사용하였다. 이동상의 유속은 0.42 mL/min, ninhydrin 용액의 유속은 0.33 mL/min, column 온도는 $48-95^\circ\text{C}$, 반응온도는 135°C 로 하였고 분석하였다.

소화율 평가

실험사료는 생사료를 제외한 실험용 배합사료(EEP)와 상품 배합사료(CEP) 조성에 타피오카 전분과 소맥분을 각각 0.5%씩 낮추고 산화크롬(Cr_2O_3)을 0.5%씩 첨가한 후에 실험사료를 제조하였다. 실험에 사용된 넙치는 청양수산에서 국립수산과 학원 사료연구센터로 이송하여 소화율 실험에 사용하였다. 넙치(평균무게 : 570 ± 2.8 g)는 400 L 분 수집 장치 수조에 각 수조 당 30마리씩 무작위로 선택하여 배치하였다. 사육수는 1차적으로 모래 여과된 해수를 1L/min의 유수량이 되도록 조절하였다. 사육기간 동안 사육수온은 평균 20.5°C 범위로 자연수온에 의존하였다. 분 수집을 위해 실험사료(실험용 배합사료, 상업용 배합사료)는 분 수집 19시간 전에 반복공급 후, 수조에 남은 사료 및 이물질을 깨끗이 청소하고 새로 환수시켰다. 그 후, 각 수조에 분 수집관을 설치하여 익일(10:00 h) 분을 수집하는 방식으로 총 10일간 분을 수집하였다. 수집된 분 샘플은 여과지를 이용하여 저온에서 수분을 제거한 후 -40°C 초저온 냉동고에 보관하였다. 모든 분 수집이 끝난 후 동결냉동건조기(freezer dryer)를 이용하여 분을 동결건조 시킨 후 분석에 사용되었다. 실험사료와 분에서 지시제로 사용된 chromium oxide 함량은 Divakaran et al. (2002)의 방법을 토대로 분석되었다. 샘플을 회화로(550°C)에서 3 h 동안 회화시킨 후 얻어진 시료를 분석에 사용하였다. 먼저 chromium oxide를 mono-chromate 형태로 산화시키기 위해 샘플 5-10 mg을 측정하여 glass test tube에 옮긴다. 시료가 담긴 glass test tube에 perchloric reagent 4 mL를 첨가한다. Perchloric reagent는 100 mL의 증류수에 200 mL의 질산을 혼합한 후, 냉각시킨 다음 70% perchloric acid 200 mL을 혼합하여 만든다. 시료와 perchloric reagent가 첨가된 glass test tube를 가열판에 넣고 300°C 에서 20분간 가열한 후 실온에서 방냉시킨다. 전처리가 끝난 샘플은 50 mL 유리플라스크에 옮긴 후 3차 증류수로 25 mL가 되도록 정량한다. 그 후 원자흡

광분광광도계(Analyticjena, Germany)를 이용하여 350 nm에서 흡광도를 측정하였다. 측정된 흡광도는 시료분석과 같이 전처리된 Standard 용액으로 만들어진 standard 방정식을 이용하여 시료의 Chromium oxide 함량을 계산하였다.

각 영양소의 소화율 측정은 간접방법으로 지표물질인 산화크롬(Cr₂O₃)을 이용하여 사료와 분의 단백질을 측정된 후 사료와 분내의 크롬 양을 측정하여 다음 식에 의하여 각 사료의 단백질 소화율을 측정하였다.

- 건물 소화율(%)=100×(사료 중의 Cr₂O₃%/분 중의 Cr₂O₃%)

- 영양소 소화율(%)=100×(사료 중의 Cr₂O₃%/분 중의 Cr₂O₃%)×(분 중의 영양소, % / 사료 중의 영양소, %)

통계학적 분석

실험사료군의 배치는 완전확률계획법(Completely randomized design)에 따라 실시하였고, 성장 및 분석결과는 SPSS (Version 12.0) 프로그램을 이용하여 One-way ANOVA로 통계 분석되었다. 실험의 데이터 값의 유의차는 Duncan's multiple test (P<0.05)로 비교되었다. 데이터는 평균값±표준편차(mean±SD)로 나타내었다. 백분율 데이터는 arcsine 변형 값으로 계산하여 통계 분석되었다.

결과 및 고찰

넙치용 배합사료 개발을 위해 타피오카 전분을 이용한 실험용 배합사료 조성물(Experimental extruded pellet, EEP)과 상업용 배합사료(commercial extruded pellet, CEP) 및 습사료(moist pellet, MP)의 양식현장 사육실험 결과는 Table 2에 나타내었다. 생존율은 모든 실험구에서 98% 이상으로 높았다. 최종 평균체중, 증체량, 일간성장률 및 사료효율은 EEP 실험구가 CEP 및 MP 실험구 보다 유의적으로 높은 값을 보였으나 (P<0.05), CEP 및 MP 실험구 간에는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 사료섭취율에서는 MP 실험구가 EEP 실험구 보다 유의적으로 높은 값을 나타내었으며, CEP 실험구와는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 비만도는 EEP 실험구와 MP 실험구 간에 유의적으로 차이가 없었으며, CEP 실험구에서 유의적으로 낮은 값을 보였다.

본 실험결과와 유사한 사료조성표(CEP)로 실험용 배합사료를 제조하여 MP 사료와 비교한 결과 성장률이 대등한 결과는 이미 많은 연구를 통해 보고하였다(Cho et al., 2005; Cho et al., 2009; Kim et al., 2006). 본 연구에서는 소맥분을 타피오카 전분으로 대체한 EEP 실험구가 CEP 실험구 및 MP 실험구 보다 유의적으로 높은 성장을 보였다. 이것은 실험사료의 조성표 및 일반성분 분석 결과에서 알 수 있듯이 소맥분을 타피오카 전분으로 대체하여 그 함량을 최소화 하면서 어분 및 어유의 함량을 최대화 하여 사료의 단백질, 지질 및 에너지 함량 증가 뿐만 아니라 영양소의 소화율이 향상되었기 때문으로 판단된다

Table 2. Growth performance of olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets¹

	EEP ²	CEP ³	MP ⁴
Initial mean body weight (g/fish)	81.6±2.1	81.8±1.9	82.8±1.3
Final mean body weight (g/fish)	587.2±5.8 ^b	563.3±3.5 ^a	560.3±4.7 ^a
Weight gain (%) ⁵	619.3±9.1 ^b	589.1±5.3 ^a	577.1±6.6 ^a
Specific growth rate (%) ⁶	1.36±0.01 ^b	1.33±0.01 ^a	1.32±0.01 ^a
Feed efficiency (%) ⁷	95.2±2.56 ^b	88.8±2.84 ^a	84.9±3.12 ^a
Feed intake (%)	1.39±0.03 ^a	1.47±0.02 ^{ab}	1.53±0.02 ^b
Survival (%)	98.7±0.54	98.3±0.45	98.4±0.27
Condition factor ⁸	1.18±0.01 ^b	1.14±0.02 ^a	1.17±0.01 ^b

¹Values are means from two replicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different (P<0.05). ²EEP = Experimental extruded pellet, ³CEP = Moist pellet, ⁴MP = Commercial extruded pellet. ⁵Weight gain (%) = (final weight - initial weight) × 100 / initial weight. ⁶Specific growth rate (%) = (log_e final wt. - log_e initial wt.) / days. ⁷Feed efficiency (%) = wet weight gain (g) × 100 / dry feed intake (g). ⁸Condition factor = {(fish wt. (g) / total length (cm))³} × 100.

(Table 1, 6).

전어체의 일반성분 분석 결과는 Table 3에 나타내었다. 조단백질은 EEP 실험구가 CEP 및 MP 실험구보다 유의적으로 높은 함량을 나타내었으며, CEP 및 MP 실험구는 유의적인 차이가 없었다. 수분함량에 있어서는 MP 실험구가 EEP 및 CEP 실험구 보다 유의적으로 높은 값을 보였다. 이것은 실험사료 조성표 및 일반성분 분석 결과에서 알 수 있듯이 소맥분을 타피오카 전분으로 대체하면서 어분 및 어유의 함량을 최대화 하여 사료의 영양소 및 영양소 소화율이 향상되었기 때문으로 판단된다. MP 실험구의 경우 EEP 실험구 보다 실험사료의 단백질함량은 높지만 전어체의 단백질함량이 유의적으로 낮은 값을 보인 것은, 사료 내 수분함량이 높고 이에 따라 사료의 유실량이 많아

Table 3. Proximate composition (%) of whole-body for olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets¹

Diets	Moisture (%)	Crude protein (%)	Crude lipid (%)	Ash (%)
EEP ²	71.1±0.58 ^a	22.1±0.21 ^b	3.2±0.05	3.6±0.12
CEP ³	71.5±0.58 ^a	21.6±0.27 ^a	3.1±0.15	3.8±0.36
MP ⁴	72.1±0.72 ^b	21.4±0.23 ^a	3.3±0.09	3.2±0.23

¹Values are means from three replicate groups of fish where the values in each column with different superscripts are significantly different (P<0.05). ²EEP=Experimental extruded pellet. ³CEP=Commercial extruded pellet. ⁴MP = Moist pellet.

Table 4. Fatty acid composition (%) of the whole-body for olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets¹

Fatty acid	Diets			Pooled SEM ⁵
	EEP ²	CEP ³	MP ⁴	
14:0	2.85	2.90	3.12	0.12
16:0	15.34	15.55	16.26	1.08
18:0	2.38 ^a	2.58 ^{ab}	2.85 ^b	0.06
SFA ⁶	20.57	21.03	22.23	
16:1n-7	5.60	5.55	6.36	1.10
18:1n-7	13.88 ^a	13.75 ^a	16.50 ^b	0.68
20:1n-9	2.88	2.88	3.58	0.20
24:1n-9	0.23 ^b	0.21 ^{ab}	0.16 ^a	0.03
MUFA ⁷	22.59	22.39	26.60	
18:2n-6	6.29	6.19	5.82	0.68
18:3n-6	0.43	0.45	0.46	0.09
18:3n-3	0.88 ^b	0.79 ^a	0.89 ^b	0.02
20:4n-6	1.32	1.32	1.30	0.03
20:5n-3	8.91 ^b	8.12 ^a	8.79 ^b	0.05
22:4n-6	0.37	0.39	0.35	0.03
22:5n-3	3.49	3.78	3.23	0.16
22:6n-3	27.13 ^b	25.23 ^{ab}	22.30 ^a	1.32
PUFA ⁸	48.82	46.27	43.14	

¹Values are means from two replicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²EEP=Experimental extruded pellet. ³CEP=Commercial extruded pellet. ⁴MP=Moist pellet. ⁵Pooled standard error of means: SD/\sqrt{n} . ⁶SFA=saturated fatty acid. ⁷MUFA=monounsaturated fatty acid.

⁸PUFA=polyunsaturated fatty acid.

실제 섭취 단백질 및 사료섭취량이 EEP 및 CEP 실험구 보다 낮기 때문에 판단된다. 조지질 및 조회분은 모든 실험구에서 유의적인차이를 보이지 않았다.

전어체의 지방산 조성은 Table 4에 나타내었다. EEP, CEP 및 MP 사료를 공급한 넙치 전어체의 포화지방산(saturated fatty acid, SFA)으로는 공통적으로 palmitic acid (16:0)의 함량이 가장 많았고, 불포화지방산(unsaturated fatty acid)으로는 vacceinic acid (18:1n-7)와 docosahexaenoic acid (22:6n-3)가 가장 많이 함유되어 있었다. 습사료를 공급한 실험구는 포화지방산의 stearic acid (18:0) 함량이 EEP 실험구 보다 유의적으로 높게 나타났으나 CEP 실험구와는 차이가 없었으며, 단일불포화지방산의 vacceinic acid (18:1n-7) 함량은 EEP 및 CEP 실험구 보다 유의적으로 높았다. 반면에 EEP 실험구는 CEP 실험구 보

다 ω 3 계열 지방산인 linolenic acid (18:3n-3), EPA (20:5n-3) 및 DHA (22:6n-3) 함량이 높게 나타났다. 이는 EEP 실험구가 CEP 실험구 보다 지방 함량을 2% 정도 높임으로서 전체적으로 필수 지방산 함량이 높아져 요구량을 충족함으로써 성장 및 사료효율에 연관관계가 있을 것으로 사료된다.

전어체의 구성아미노산 성분결과는 Table 5에 나타내었다. 모든 실험구는 공통적으로 넙치 전어체의 필수아미노산 중에서 lysine의 함량이 가장 높았으며, 구성아미노산의 대부분을 차지하고 있는 것은 glutamic acid, aspartic acid, lysine, leucine 순이었다. EEP 및 CEP 실험구에서는 threonine, cysteine 및 lysine 함량이 MP 실험구 보다 유의적으로 높았고, MP 실험구에서는 proline 및 glycine 함량이 EEP와 CEP 실험구 보다 유의적으로 높았다. 전체적으로 EEP 실험구가 CEP 및 MP 실험구 보다 아미노산 함량이 다소 높게 나타난 것은 전어체의 높은 단백질 함량이 어체 내 아미노산 축적과 상관관계가 있을 것으로 사료된다.

Table 6은 EEP 및 CEP 사료의 소화율 평가 결과를 보여주

Table 5. Amino acid contents of the whole-body for olive flounder *Paralichthys olivaceus* fed the experimental diets (% to total amino acid)¹

Amino acid	Diets			Pooled SEM ⁵
	EEP ²	CEP ³	MP ⁴	
Aspartic acid	10.24	10.03	9.50	0.35
Threonine	4.66 ^b	4.62 ^b	4.40 ^a	0.06
Serine	4.27	4.39	4.32	0.02
Glutamic acid	15.39	15.19	14.85	0.65
Proline	1.18 ^a	1.18 ^a	2.60 ^b	0.22
Glycine	6.96 ^a	6.90 ^a	8.20 ^b	0.06
Alanine	6.69	6.53	6.60	0.12
Cystine	0.78 ^b	0.79 ^b	0.52 ^a	0.01
Valine	5.35	5.14	5.20	0.06
Methionine	2.79	2.74	2.70	0.08
Isoleucine	4.66	4.51	4.15	0.04
Leucine	7.89	7.84	7.40	0.14
Tyrosine	3.41	3.22	3.15	0.03
Phenylalanine	4.18 ^b	4.12 ^{ab}	3.95 ^a	0.02
Histidine	2.49	2.35	2.44	0.02
Lysine	9.49 ^b	9.37 ^b	8.89 ^a	0.06
Arginine	6.48	6.36	6.41	0.04

¹Values are means from four replicate groups of fish where the values in each row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²EEP=Experimental extruded pellet. ³CEP=Commercial extruded pellet. ⁴MP=Moist pellet. ⁵Pooled standard error of means: SD/\sqrt{n} .

Table 6. Apparent digestibility coefficient (% ADC) of dry matter, crude protein, nitrogen-free and energy in the experimental diets determined by fecal collection method (Guelph system) for olive flounder *Paralichthys olivaceus*¹

Nutrients	EEP ²	CEP ³
Dry matter (%)	78.0±3.12	72.5±0.61
Protein (%)	90.6±1.24 ^b	84.9±0.97 ^a
Lipid (%)	88.9±1.31 ^b	85.1±2.11 ^a
NFE (%)	84.8±1.52 ^b	66.7±0.70 ^a
Energy (%)	87.0±2.25 ^b	79.7±0.18 ^a

¹Mean values of triplicate groups, values are presented as mean ± SD. Values in the same row having different superscript letters are significantly different ($P < 0.05$).

²EEP = Experimental extruded pellet. ³CEP = Commercial extruded pellet.

고 있다. EEP 사료의 건물, 단백질, 지질, 에너지 및 탄수화물(NFE)의 외견상 영양소 소화율 값은 각각 78.0%, 90.6%, 88.9%, 84.8% 및 87.0%로 나타났다. EEP 사료가 CEP 사료 보다 소화율이 유의적으로 높은 것을 알 수 있었다. 특히 탄수화물(NFE) 소화율은 EEP 실험구(84.8%)가 CEP 실험구(66.7%)보다 18.1% 높게 나타났다. 이것은 탄수화물의 전체적인 함량 차이 및 전분의 소화도 등이 영향을 미친 것으로 판단된다. 탄수화물 원료로 타피오카 전분을 첨가한 EEP 사료가 소맥분을 첨가한 CEP 사료 보다 탄수화물 소화율이 높은 것을 볼 때, 낫치는 소맥분 보다 타피오카 전분을 보다 더 잘 이용하는 것으로 판단된다.

본 연구결과를 종합해 보면, 사료 내 탄수화물원료인 소맥분을 타피오카 전분으로 대체한 결과 가공물성(부상) 및 형태 유지에 전혀 문제가 되지 않았으며, 적은량(11%)으로 소맥분(19%)을 대체할 수 있어 어분과 지질함량을 최대화 하여 단백질과 지질함량을 높일 수 있었다. 또한 탄수화물 원료의 함량이 최소화 되면서 단백질, 지질, 탄수화물 및 에너지 소화율이 모두 향상되는 것을 알 수 있었으며, 상업용 배합사료 및 습사료 보다 성장률이 뛰어난 배합사료의 조성(formulation)을 설계할 수 있었다.

사 사

이 연구는 국립수산물학원(친환경 실용배합사료 개발 및 품질 관리연구, RP-2014-AQ-129)의 지원에 의해 운영되었습니다.

References

Ahn GJ. 2005. Quality characteristics of the chol-pyon added tapioca powder. *Korean J Culinary Res* 11, 179-189.
AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official Methods of Analysis of the Association of Official An-

alytical Chemists, 17th Edition. Cunniff P, ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc, Arlington, VA, U.S.A.
Chee KM. 1986. Nutritive values of tapioca. *Korean J Animal Nut Feedstuffs* 10, 18-35.
Cho MJ, Oh YK, Park SH, Lee HY, Kang YJ and Park MA. 2009. Effects of extruded pellet and moist pellet feed on health conditions of olive flounder *Paralichthys olivaceus*. *J Fish Pathol* 22, 283-291.
Cho SH, Lee SM and Lee JH. 2005. Effects of the extruded pellets and raw fish-based moist pellet on growth and body composition of flounder, *Paralichthys olivaceus* L. for 10 months. *Kor J Fish Aquat Sci* 18, 60-65.
Divakaran S, Leonard GO, and Ian PF. 2002. Note on the methods for determination of chromic oxide in shrimp feeds. *J Agric Food Chem* 50, 464-467. <http://dx.doi.org/10.1021/jf011112s>.
Folch J, Lee M and Sloane-Stanley GH. 1959. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
Kim KW, Kang YJ, Lee HY, Kim KD, Choi SM, Bai SC and Park HS. 2006. Commercial scale evaluation of practical extruded pellet feed for the olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Kor J Fish Aquat Sci* 39, 100-105. <http://dx.doi.org/10.5657/kfas.2006.39.2.100>.
Kim IS, Joo DS, Kim DS and Kim JD. 2007. Food and health. Shinkwang munhwasa, Seoul, Korea, 144-145.
Lee JK, Oh SH and Lim JK. 2013. Effects of tapioca starches on quality characteristics of rice cookies. *Korean J Food Cookery Sci* 29, 469-478. <http://dx.doi.org/10.9724/kfcs.2013.29.5.469>.
Lee SM, Seo JY, Lee YH, 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*. *Kor J Fish Aquat Sci* 18, 287-292.
Mishra S and Rai T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20, 557-566.
NRC (Nutrient Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC, U.S.A.
Song JC and Park HJ. 2000. Food rheology. Ulsan University Press Center, Ulsan. pp 151, 166, 202.
Yoon YK. 2011. Effects of corn starch, potato starch and tapioca starch on the quality of gluten-free rice bread. MS Thesis. Dankook University, Gyeonggi, Korea.