

동·식물성 혼합물의 사료 내 어분대체가 강도다리(*Platichthys stellatus*)의 성장 및 혈액성상에 미치는 영향

신승준 · 이태규 · 이동훈¹ · 임성률¹ · 양일창 · 김성삼² · 최정우 · 김진수 · 김정대*

강원대학교 동물생명과학대학, ¹경기도해양수산자원연구소, ²CJ 제일제당

Effect of Dietary Fish Meal Replacement by a Blend of Plant and Animal Ingredients on the Growth and Blood Chemistry of Starry Flounder *Platichthys stellatus*

Seung-Jun Shin, Tae-Kyu Lee, Dong-Hoon Lee¹, Seong-Ryul Lim¹, Il-Chang Yang, Sung-Sam Kim², Jung-Woo Choi, Jin-Soo Kim and Jeong-Dae Kim*

College of Animal Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

¹Gyeonoggi Province Maritime and Fisheries Research Institute, Yangpyeong 12513, Korea

²CJ Cheiljedang, Feed & Livestock R&D, Suwon 16495, Korea

A feeding trial was conducted to investigate the effects of dietary fish meal replacement by a blend of lysine cell mass, corn protein concentrate and poultry by-product meal on the growth and blood chemistry of the starry flounder *Platichthys stellatus*. The fish meal replacer (FMR) was prepared to have the same level of protein as fish meal (FM). With a commercial diet as a positive control, five experimental diets (basal, FM42, FM32, FM22 and FM12) were formulated to contain 52% protein and 10% lipid. The dietary FM levels decreased from 52% (basal) to 42, 32, 22 and 12% with concomitant increase in the FMR to 10, 20, 30, 40 and 50%, respectively. Juvenile starry flounder with an average body weight of 177.3 g were randomly distributed in each (30 fish/tank) of 18 plastic tanks (139×99×54 cm). After a 45-day feeding trial, the survival rate ranged from 95.6% (FM22) to 100% (control and FM42), while the weight gain of the fish groups varied from 49.7 to 58.4 g. The results clearly revealed that starry flounder can grow well on a diet containing low FM (12%) with a high level of FMR (50%) without any adverse effects.

Key words: *Platichthys stellatus*, Fish meal, Fish meal replacer (FMR), Survival rate, Weight gain

서 론

강도다리(*Platichthys stellatus*)는 염분 변화에 따른 적응이 빠르며, 겨울철 저수온기에서도 먹이 섭취활동이 왕성하여 육성기부터 성어기까지 지속적인 소비가 가능하기 때문에 국내에서 넉치 대체품종으로 각광받는 어종이다. 특히, 우리나라 연안 해수 수온이 15℃ 이하의 저수온 기간이 길고 담수유입이 잦은 환경임을 고려 할 때 염분 내성과 질병 저항성이 강한 강도다리는 국내 양식 대상종으로 고려되는 품종이다.

양어사료 내 단백질 사료원은 가장 값비싼 원료로 사료비의

약 60% 이상을 차지하며 동·식물성 원료와 부산물 및 단세포 단백질로부터 얻을 수 있다(Gatlin et al., 2007; Tacon et al., 2011). 또 어분은 어류와 갑각류의 성장에 필요한 필수아미노산과 지방산이 풍부하며, 소화율이 높고 기호성이 우수할 뿐만 아니라 광물질과 식물성 원료에는 존재하지 않는 타우린 함량이 높아 양어사료에 가장 널리 이용되고 있다. 하지만 어분의 수요 증가로 인해 어류자원의 고갈현상이 심각하게 대두되고 있다(Olsen and Hasan, 2012). 따라서 양어사료 내 어분을 대체하기 위하여 많은 연구자들이 식물성 단백질원 및 식물성 농축 단백질의 이용가능성을 조사하였다(Lim et al., 2008). 콩에서 기

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 250. 8634 Fax: +82. 33. 259. 5572

E-mail address: menzang@gmail.com



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.2019.0134>

Korean J Fish Aquat Sci 52(2), 134-140, April 2019

Received 4 January 2019; Revised 12 February 2019; Accepted 19 March 2019

저자 직위: 신승준(연구원), 이태규(연구원), 이동훈(연구사), 임성률(연구사), 양일창(연구원), 김성삼(연구원), 최정우(교수), 김진수(교수), 김정대(교수)

를 짜고 난 찌꺼기인 대두박 등 식물성 박류는 상대적으로 조단백질 함량이 낮고 조섬유 함량이 높으며, 항영양인자나 비전분성 탄수화물의 존재로 인해 연어나 송어 같은 육식성 어류에서 이용률이 떨어진다(Lim et al., 2008; Krogdahl et al., 2010; NRC, 2011). 그러나 식물성 농축 단백질의 경우 조단백질의 함량이 높고 영양소 소화율이나 성장 저해 인자의 함량이 낮아 양어사료 내 어분대체원으로 사용이 증가하고 있다(Thiesses et al., 2003; Barrows et al., 2007; Burr et al., 2012). 연어에 있어 식물성 농축 단백질의 단백질 소화율은 어분과 유사하거나 더 높은 것으로 보고되고 있다(Storebakken et al., 2000; Refstie et al., 2006). 그러나 아미노산의 조성과 균형이 어분에 비해 떨어지기 때문에 식물성 농축 단백질의 사료 내 함유량이 증가할 경우 적정성장을 유지하기 위해 추가로 사료에 아미노산을 첨가해 주어야 한다(Lim et al., 2008; Gaylord and Barrows, 2009). 따라서 상업사료 제조에서 어분의 함유량을 줄이고 아미노산의 균형을 유지하기 위해 단일 공급원을 이용하기보다는 여러 가지 단백질 사료원을 함께 이용하는 것이 바람직하다(Burr et al., 2012).

강도다리는 식물성 단백질원의 이용성이 우수한 어종으로 넓치 대체어종으로서의 중요성을 고려하면 경제성 있는 강도다리 전용 저어분 압출성형(EP, extrude pellet) 사료의 개발이 시급함에도 불구하고 사료개발의 부재로 고어분 넓치사료로 대부분 사육되고 있다. 또한 강도다리 어종에 대해 단백질 요구량(Lee et al., 2006), 지방산 요구량(Lee et al., 2003), 사료 내 적정 단백질과 지질 수준(Lee et al., 2004) 및 공급 사료 종류에 따른 성장과 혈액성상 변화(Park et al., 2016)와 같은 일부 영양학적 연구가 수행되어 왔고 어분대체에 관한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 강도다리를 위한 저어분 사료 개발을 위해 가금부산물, 옥수수농축단백질 및 라이신 부산물(lysine cell mass)로 이루어진 어분대체제의 사료 내 어분대체 효과를 규명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

실험어 및 사육 조건

실험어는 일반 양어장에서 생산한 강도다리 치어 약 2,000마리를 사육수조에 실험 환경에 적응할 수 있도록 1주간 예비 사육하였다. 예비사육 후, 실험어는 각각 평균무게 177.3±4.7 g (mean±SD)인 치어기 강도다리를 550 L 플라스틱 수조 (139×99×54 cm) 18개에 각 수조당 30마리씩 3반복으로 배치하였다. 실험수조는 유수식으로 에어스톤을 이용하여 충분히 산소를 공급하여 사육기간 동안 용존산소는 7.7±0.2 mg/L, 평균수온은 11.6±1.1℃로 유지시켜 주었다. 일일 사료 공급율은 어체중의 1%로 1일 1회(오후 4시) 제한 공급하였다. 어체의 중량 측정은 2주 1회 실시하였고, 주 사육 실험은 45일간 실시하였다.

실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 사료의 일반성분 조성은 Table 1에 나타내었고 아미노산 조성은 Table 2에 나타내었다. 실험사료의 동물성 단백질원으로 칠레산 정어리 어분(fish meal), 식물성 단백질원은 대두박(soybean meal)을 이용하였다. 지질원으로는 고도 불포화지방산이 풍부하게 함유되어 있는 어유(fish oil)를 이용하였고 탄수화물원으로는 소맥분(wheat flour)을 이용하였다. 어분단백질을 동·식물성 단백질원으로 대체함에 따라 어분에 부족한 인을 보충해 주기 위해 1-2인산칼슘[mono-dicalcium phosphate, Ca(H₂PO₄)₂·H₂O+CaHPO₄·2H₂O]을 각각 첨가하여 주었다.

실험사료는 기초사료와 어분단백질을 어분대체제(라이신 부

Table 1. Ingredient and chemical composition of the experimental diets

Ingredient	Basal	FM42	FM32	FM22	FM12	Control
Fish meal, sardine	52.00	42.00	32.00	22.00	12.00	Closed
FMR ¹	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	-
Soybean meal	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	-
SPC ²	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	-
Wheat flour	14.65	13.30	12.25	11.05	10.00	-
Lecithin	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	-
Fish oil	3.50	3.90	4.00	4.20	4.50	-
Amino acids ³	1.40	2.05	2.70	3.40	4.05	-
MDCP ⁴	0.40	0.60	0.80	1.00	1.00	-
Mineral mixture	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	-
Vitamin. E	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-
Choline	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-
Vitamin. C	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	-
Vitamin mixture	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	-
Mold inhibitor	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	-
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Proximate composition (g/100g, as-fed)						
Moisture	9.15	9.24	9.38	9.35	9.38	9.22
Crude protein	51.60	51.94	52.08	52.06	52.15	51.53
Crude fat	9.35	9.77	9.91	9.89	10.09	10.56
Crude fiber	1.16	1.25	1.51	1.54	1.57	0.86
Crude ash	8.62	8.36	8.06	7.65	5.24	9.60
Pepsin Digestibility	89.11	86.58	91.77	91.68	88.13	89.29

¹Fish meal replacer, a blend of lysine cell-mass (Bioprotam[®], Dae-sang Corporation, Korea), corn protein concentrate (Empyrean 75, Cargill, Inc., USA) and poultry-by product meal (Harim Corp., Korea), which were mixed at the ratio of 1:1.5:2.5 to contain the same level of protein as fish meal. ²Soy Protein Concentrate, Selecta, Brazil. ³Contain lysine, methionine, tryptophan, betaine and taurine. ⁴Mono-, di-calcium phosphate. FM, Fish meal.

산물, 옥수수농축단백질 및 가금부산물의 혼합물)로 대체한 4 가지 사료 및 일반 상업사료로 총 6가지의 사료를 실험에 이용하였다.

어체측정

실험 종료 후, 어체측정 전일 24시간 절식시킨 후 마취제(AQUI-S, New Zealand Ltd., Lower Hutt, NZ)로 마취하여 각 수조당 전체무게 및 마리수를 측정하여 증체율(weight gain, %), 생존율(survival rate, %), 일간성장률(specific growth rate, %)을 조사하였고, 일간사료섭취율(daily feed intake, %/average weight/d), 사료계수(feed conversion rate) 및 단백질효율(protein efficiency ratio)을 계산하였다.

일반성분 및 아미노산 분석

일반성분은 실험사료와 각 수조별로 5마리씩을 무작위로 추출하여 분쇄한 전어체를 분석하였으며, AOAC (1995)방법에 따라 수분은 상압가열건조법(125℃, 3시간), 조단백질은 kjeldahl 질소정량법(N×6.25), 조회분은 직접회화법으로 분석하였다. 조지방은 샘플을 12시간 동결건조한 후 soxtec system 1046 (Tacator AB, Sweden)을 사용하여 soxhlet 추출법으로 분석하였다. 전어체 및 등근육의 아미노산 분석은 6 N HCl로 산 가수분해한 후 측정 가능한 범위로 희석하여 ninhydrin 방법

으로 amino acid Analyzer S433 (SYKAM, German)을 이용하여 분석하였다.

혈액성분 분석

채혈한 전혈은 hematocrit (PCV, %)와 hemoglobin (Hb, g/dL) 분석에 사용하였고, 이 후 4℃, 12,000 rpm, 10분간의 조건이 설정된 원심분리기(Centrifuge 5415R, Eppendorf Ltd., Germany)를 이용하여 혈장(plasma) 분리 후, 혈장 내 aspartate aminotransferase (AST, U/L), alanine aminotransferase (ALT, U/L), albumin (ALB, g/dL), glucose (GLU, mg/dL), total cholesterol (TCHO, mg/dL), triglyceride (TG, mg/dL) 및 total protein (TP, g/dL)을 분석하였다. PCV는 HAEMATOKRIT210 (Hettich Ltd., Germany)을 이용하여 분석하였으며, Hb 등 다른 혈액 요소는 시판되는 임상진단키트(Fuji DRI-CHEM slide, Fuji photo film co. Ltd., Japan)와 함께 혈액분석기(DRI-CHEM 3500 I, Fujifilm Ltd., Japan)를 이용하여 분석하였다. 전혈 및 혈장분석은 사육현장에서 경기도해양자원연구소의 지원을 받아 수행하였다.

통계처리

성장실험에서 제시되는 모든 지표(개시어체중, 종료어체중, 일간사료섭취율, 증체율, 사료계수, 일간성장률, 단백질효율, 생존율), 등근육 및 혈액성상학적 자료의 모든 변수는 SPSS Version 10 (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) 프로그램의 일원분산분석(one-way ANOVA)을 이용하여 분석하였다. 분석에 앞서 모든 자료의 변량의 동질성(homogeneity of variance)은 Cochran's test (Sokal and Rohlf, 1995)를 이용하여 확인하였다. 실험구별 각 변수에 대한 유의한 차이가 발견되었을 시, 사후검정은 Duncan's multiple range test 분석을 이용하였다(Duncan, 1955).

결 과

45일간 성장실험 결과는 Table 3에 나타내었다. 증체율(WG, weight gain, %)에 있어서 모든 실험구 간에 유의한 차이가 나타나지 않았으나(P>0.05) 어분대체제의 대체수준이 증가함에 따라 증체율이 증가하는 경향을 보였고 대조사료는 상대적으로 낮은 값(27.80%)을 보였다. 평균어체중 증가는 49.7 g (대조구)에서 58.4 g (FM42, FM32)의 범위를 보였으며, 생존율은 95.6% (FM22)에서 100% (대조구, FM42)로 모든 실험구에서 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 일간사료섭취율(DFI, daily feed intake)은 1.03-1.05%를 나타내었으며 일간성장률(SGR, specific growth rate, %)은 대조구가 1.06%로 가장 낮은 값을 보였고 FM32 구가 1.24%로 가장 높았으나 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 사료계수(FCR, feed conversion ratio)는 FM42 구와 FM12 구가 각각 1.50, 대조구가 1.76으로 나타났으나 처리구간 유의한 차이가 없었다(P>0.05). 단

Table 2. Amino acid profile of the experimental diets

Amino acid	Basal	FM42	FM32	FM22	FM12	Control
Aspartic acid	4.61	4.46	4.48	4.27	4.26	4.38
Threonine	2.15	2.08	2.10	2.01	2.01	2.09
Serine	2.18	2.12	2.15	2.06	2.07	2.31
Glutamic acid	7.29	7.13	7.23	6.97	7.08	7.01
Proline	2.72	2.70	2.75	2.61	2.68	2.58
Glycine	3.66	3.58	3.53	3.23	3.18	3.08
Alanine	3.13	3.08	3.21	3.07	3.19	2.83
Valine	2.44	2.35	2.39	2.30	2.35	2.44
Isoleucine	2.09	2.02	2.04	1.95	1.97	2.06
Leucine	3.71	3.64	3.65	3.56	3.65	3.65
Tyrosine	1.54	1.45	1.42	1.28	1.43	1.48
Phenylalanine	2.08	1.99	1.99	1.93	2.01	2.06
Histidine	1.13	1.07	1.09	1.02	1.01	1.12
Lysine	3.66	3.51	3.56	3.40	3.40	3.82
Arginine	3.17	3.10	3.13	2.98	2.98	2.98
Tryptophan	0.55	0.54	0.52	0.51	0.50	0.61
Taurine	0.30	0.33	0.36	0.40	0.43	0.26
Cystine	0.56	0.55	0.55	0.52	0.53	0.65
Methionine	1.16	1.11	1.11	1.05	1.07	1.12
Total	47.28	45.94	46.38	44.21	44.87	45.66

FM, Fish meal.

백질효율(PER, protein efficiency ratio)은 실험구간 유의한 차이가 없이 1.00-1.17의 범위로 나타났(P>0.05).

혈액분석 결과는 Table 4, 5에 나타내었다. 헤마토크리트(PCV, %)에 있어서 FM42구는 FM32구, FM22구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났고(P<0.05) 기초사료구(basal) 및 FM12구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 또한, 기초사료구는 FM32구 및 FM22구보다 유의하게 높은 값을 보였고(P<0.05) FM32, FM22 및 대조사료구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 헤모글로빈(Hb, g/dL) 함량에 있어서는 모든 구간에 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 그리고, 혈장 내 aspartate aminotransferase (AST)

수치는 25.8-31.2 U/L 범위로, 기초사료구는 FM32구, FM22구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났으며(P<0.05), FM42구 및 FM12구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 또한, FM42구는 FM22구보다 유의하게 높게 나타났고(P<0.05), FM32구, FM22구 및 대조구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 혈장 내 alanine aminotransferase (ALT) 수치는 80.2-106.0 U/L 범위로 기초사료구는 FM32구, FM22구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났고(P<0.05), FM42구 및 FM12구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다(P>0.05). 그리고, FM42구는 FM22구보다 유의하게 높게 나타났으나(P<0.05), FM32구, FM22구 및 대조구간에는 유의한 차이가

Table 3. Growth performance of starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 45 days¹

Diet	In.wt (g/f) ²	Fin.wt (g/f) ³	WG		Survival ⁶	DFI ⁷	SGR ⁸	FCR ⁹	PER ¹⁰
			% ⁴	g/fish ⁵					
Basal	176.89±3.13 ^{ns}	231.17±5.01 ^{ns}	30.68±1.34 ^{ns}	54.28±2.70 ^{ns}	96.67±3.33 ^{ns}	1.05±0.01 ^{ns}	1.16±0.05 ^{ns}	1.62±0.08 ^{ns}	1.09±0.95 ^{ns}
FM42	178.44±3.49	236.89±6.73	32.73±2.15	58.44±4.27	100.00±0.00	1.03±0.01	1.23±0.08	1.50±0.09	1.17±0.13
FM32	177.78±3.32	236.17±4.38	32.91±2.86	58.39±4.43	96.67±1.93	1.04±0.01	1.24±0.09	1.52±0.12	1.15±0.16
FM22	177.11±2.19	235.19±4.48	32.77±0.98	58.08±2.39	95.56±2.94	1.05±0.02	1.23±0.04	1.51±0.06	1.15±0.07
FM12	175.11±3.20	231.93±5.53	32.42±0.79	56.82±2.37	98.89±1.11	1.03±0.00	1.22±0.03	1.50±0.04	1.15±0.05
Control	178.22±3.93	227.89±7.95	27.80±1.61	49.67±4.02	100.00±0.00	1.05±0.00	1.06±0.06	1.76±0.08	1.00±0.08

¹Values (means±SE of the triplicate replications) in the same column with the same superscript are not significantly different (P>0.05); ns, nonsignificant. ²Initial weight, g/fish. ³Final weight, g/fish. ⁴Weight gain (%)=(final weight-initial weight)/final weight×100. ⁵Weight gain (g/fish)=final weight-initial weight. ⁶Survival rate (%)=final fish number/initial fish number×100. ⁷Daily Feed intake (%/av. bw/d)=feed intake (as-is)/[(initial body weight+final body weight)/2]/45×100. ⁸Specific growth rate (%/d)=[ln(final wt)-ln(initial weight)]/experimental days×100. ⁹Feed conversion ratio=dry feed intake/wet weight gain. ¹⁰Protein efficiency ratio=weight gain/protein intake. FM, Fish meal.

Table 4. Haematological characteristics of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 45 days¹

Parameters	Basal	FM42	FM32	FM22	FM12	Control
PCV (%) ²	27.2±1.7 ^{ab}	29.0±2.4 ^a	20.7±1.3 ^d	22.5±0.5 ^{cd}	25.7±1.0 ^{abc}	24.0±1.3 ^{bcd}
Hb (g/dL) ³	5.6±0.3	5.7±0.4	4.9±0.1	5.0±0.1	5.2±0.1	5.2±0.1 ^{ns}

¹Values (means±SE of the triplicate replications) in the same row with the same superscript are not significantly different (P>0.05). ²Hematocrit. ³Hemoglobin. FM, Fish meal.

Table 5. Blood plasma parameters of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 45 days¹

Parameters	Basal	FM42	FM32	FM22	FM12	Control
AST ²	31.2±0.7 ^a	29.7±1.0 ^{ab}	27.0±0.7 ^{bc}	25.8±1.2 ^c	30.3±0.7 ^a	27.3±1.3 ^{bc}
ALT ³	106.0±3.5 ^a	99.2±3.8 ^{ab}	94.3±2.9 ^{bc}	80.2±3.7 ^d	98.7±4.0 ^{ab}	85.0±3.7 ^{cd}
ALB ⁴	0.9±0.1 ^a	0.8±0.1 ^{ab}	0.7±0.1 ^b	0.7±0.1 ^b	0.8±0.1 ^{ab}	0.8±0.1 ^{ab}
GLU ⁵	85.3±2.5 ^a	79.0±2.8 ^{ab}	60.5±3.6 ^c	60.2±3.9 ^c	66.8±4.1 ^c	69.2±4.4 ^{bc}
TCHO ⁶	232.0±8.7 ^a	203.7±4.2 ^b	182.8±5.7 ^b	189.2±6.6 ^b	200.5±4.6 ^b	202.3±2.5 ^b
TG ⁷	130.3±4.9 ^a	115.0±4.8 ^b	107.8±2.7 ^c	111.8±4.0 ^{ab}	111.3±2.1 ^b	108.5±1.2 ^b
TP ⁸	4.2±0.1 ^a	3.8±0.1 ^{bc}	3.6±0.1 ^c	3.7±0.1 ^c	4.1±0.1 ^{ab}	3.8±0.1 ^{bc}

¹Values (means±SE of the triplicate replications) in the same row with the same superscript are not significantly different (P>0.05); ns, non-significant. ²Aspartate aminotransferase, U/L. ³Alanine aminotransferase, U/L. ⁴Albumin, g/dL. ⁵Glucose, mg/dL. ⁶Total cholesterol, mg/dL. ⁷Triglyceride, mg/dL. ⁸Total protein, g/dL. FM, Fish meal.

나타나지 않았다($P>0.05$). 혈장 내 알부민(ALB, albumin) 수치는 0.7-0.9 g/dL 범위로 기초사료구는 FM32구, FM22구보다 유의하게 높게 나타났고($P<0.05$), FM42구, FM12구 및 대조구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 또한, 기초사료구를 제외한 다른 모든 시험구들간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 혈장 내 글루코스(GLU, glucose) 수치는 60.2-85.3 mg/dL 범위로 기초사료구는 FM32구, FM22구, FM12구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났고($P<0.05$), FM42구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 그리고, FM42구는 FM32구, FM22구 및 FM12구 보다 유의하게 높게 나타났고($P<0.05$), FM32구, FM22구, FM12구 및 대조구간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 혈장 내 총콜레스테롤(TCHO, total cholesterol) 수치는 182.8-232.0 mg/dL의 범위로 기초사료구는 다른 모든 구들보다 유의하게 높게 나타났고($P<0.05$), 기초사료구를 제외한 다른 모든 구들간에는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 혈장 내 중성지방(TG, triglyceride) 수치는 107.8-130.3 mg/dL 범위로 기초사료구는 FM42구, FM32구, FM12구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났으며($P<0.05$), FM22구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 혈장 내 총단백질(TP, total protein) 수치는 3.6-4.2 g/dL 범위로 기초사료구는 FM42구, FM32구, FM22구 및 대조구보다 유의하게 높게 나타났으나($P<0.05$), FM12구와는 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$). 등근육의 일반성분 분석 결과는 Table 6에 제시하였으며, 등근육 일반성분 분석결과 모든 구에서 유의한 차이가 나타나지 않았다($P>0.05$).

고 찰

일반적으로 어분은 양어사료 내 40-60%의 높은 비율로 사용되지만, 오래 기간 연구자들은 어분을 대체할 수 있는 사료원료를 찾는 데 주력해 오고 있다(Karapanagiotidis, 2014). 옥수수 농축단백질(CPC, corn protein concentrate)은 wet-milling 과정을 통한 효소적 가공화 처리로 옥수수 내 대부분의 비단백질 부분을 제거한 후 내배유(endosperm)로부터 유래한 단백질을 건조시킨 물질이며, LCM (lysine cell mass)은 미생물 *Corynebacterium*을 이용하여 라이신을 추출하는 과정에서 생산되는 부산물이고, 가금부산물건조분(PBPM, poultry by-product

meal)은 가금 도체 처리 부산물 중 머리, 발 및 내장 등을 건조 및 분쇄한 것을 말한다.

Burr et al. (2012)은 대서양 연어(어체중 31.5 g) 사료 내 어분을 감소시키고자 CPC 27.3%를 혼합한 사료로 공급한 결과, 어분 38.6%가 포함된 대조구 사료에 비해 성장률, 사료효율 및 생존율에 큰 차이를 보이지 않았음을 보고하였다. Yu et al. (2013)은 흰다리새우(*Litopenaeus vannamei*) 사료 내 어분 수준을 감소시키면서 12%의 CPC를 함유한 사료를 공급한 결과 성장률, 사료효율, 생존율 및 생산량에 부정적 영향이 없음을 밝혔다. Khalifa et al. (2018)은 사료 내 어분 함량이 20%인 대조구 사료의 어분 수준을 14.5%, 9.3% 및 0%로 낮추고 CPC를 5%, 10% 및 19%로 대체한 사료를 틸라피아 치어에 8주간 공급하여 성장효과를 평가하였는데, 개시 어체중 1.5 g의 치어는 평균 13.1 g (대조구), 12.5 g (CPC 5%구) 및 12.4 g (CPC 10%구)으로 성장하여 유의한 차이를 나타내지 않았으며, 무어분 CPC 19%의 사료구는 10.1 g으로 다른 실험구에 비해 유의하게 감소한 성장률을 나타내었다고 보고하였다.

LCM은 라이신과 메치오닌이 풍부하며 단백질 함량이 높아 수산사료 내 어분대체용의 신 소재원으로 중요성이 부각되고 있으나, 제조사마다 라이신과 단백질 함량이 다른 것이 단점이다. 본 연구에 사용된 LCM은 건조 후 황산암모늄(ammonium sulfate)으로 숙성 처리된 것으로, 조단백질(crude protein) 68.6%, 라이신 10.4%의 함량을 나타내어 기존 LCM 사료원료에 비해 높은 수치를 보였다. Wang et al. (2004)은 조피볼락(*Sebastes schlegelii*)을 대상으로 실시한 사료 내 LCM (BASF Ltd.)의 어분대체 효과 실험에서 10%의 어분 대체 가능성을 제시하였으며, 대상실험의 사료에 사용된 LCM은 조단백질 70%와 0.07%의 라이신을 함유하였다.

단세포단백질(SCP, single cell protein)은 효모(yeast), 조류(algae) 및 미생물 기원의 단백질을 일컫는 것으로, 산업적으로 생산된 SCP의 수산사료 내 어분대체 효과에 관한 연구는 1970년대 말부터 연구되기 시작했다. 조류(algae)는 대량생산 비용이 비싸고 단백질 함량이 낮아 단일 어분 대체원으로 잠재가능성이 낮으며, 효모(yeast)는 생균으로 또는 알코올발효 부산물로서 사료에 사용될 수 있으나 조류와 마찬가지로 단백질 함량이 낮고 가공손실 등을 고려할 때 단일 어분 대체원으로 사용하기에는 여러 단점이 있다. SCP중 미생물 단백질은 대량생산이

Table 6. Muscle composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* fed the experimental diets for 45 days¹

Composition	Diet					
	Basal	FM42	FM32	FM22	FM12	Control
Moisture	76.26±0.15	76.58±0.65	76.41±0.24	76.21±0.21	75.56±0.17	76.59±0.07 ^{ns}
Crude fat	3.11±0.41	3.00±0.61	2.87±0.08	2.80±0.32	3.05±0.47	2.70±0.25 ^{ns}
Crude protein	19.59±0.37	19.81±0.51	19.93±0.15	20.09±0.07	20.37±0.26	19.83±0.22 ^{ns}

¹Values (means±SE of the triplicate replications) in the same row with the same superscript are not significantly different ($P>0.05$); ns, nonsignificant. FM, Fish meal.

가능하고 가격 경쟁력이 있으며 단백질 함량이 높고 아미노산 조성 또한 우수하며 식물성 기원의 단백질원에 존재하는 항영양 인자도 없기 때문에(Francis et al., 2001; Refstie et al., 2005) 단일 어분 대체원으로 잠재성이 가장 높다고 볼 수 있다. 또한, 많은 미생물 단백질 사료원이 향후 생산될 예정이지만 현재까지 가격경쟁력 및 단백질 함량이 높고 아미노산 조성이 우수한 것은 본 연구에서 사용된 LCM이다.

본 연구에 사용된 가금부산물건조분(PBPM)은 조단백질 64.8%, 라이신 2.99%의 함량으로, 사료원료로 사용함에 적절한 것으로 사료되나, 메치오닌, 트립토판 및 발린 함량은 각각 0.93, 0.40 및 0.24%로 낮게 평가되어 PBPM의 단일 어분대체 사료원료 사용은 부적절한 것으로 사료된다.

강도다리의 어분대체에 관한 연구는 아직 많은 연구가 진행되지 않았으나, 치어기(약 5.66 g) 강도다리 어분대체에 관한 이전의 연구에서 대두 단백질 가수분해물로 어분단백질을 70%까지 대체할 수 있다는 보고가 있다(Song et al., 2014). 본 연구에서 사료 내 어분은 LCM, CPC 및 PBPM으로 구성된 어분대체제(FMR)와 동량 수준으로 대체되었는데(Table 1), 기초사료(basal)구는 어분 52%와 FMR 10%, FM12구는 어분 12%와 FMR 50%로 사료배합이 설계되어, 기초사료구의 어분 40%를 FMR 40%로 대체한 것이다. Table 3과 Table 6의 결과에서 사료 내 FMR의 수준이 10% (basal)에서 50% (FM12)로 증가하여도 강도다리의 성장능력은 처리구간 유의한 차이를 보이지 않은 점, 기존 낚치 상업용 사료(control group)와 성장효과 비교에서도 차이점을 나타내지 않은 점, 또한 가식부인 등근육 분석에서도 조단백질과 조지방에 차이를 보이지 않는 것은 강도다리 사료 내 FMR의 첨가는 사료 내 높은 어분함량을 줄여 경제적인 강도다리 전용 사료제조가 가능함을 제시하고 있다. 물론 이러한 긍정적 효과는 어분의 감소에 따라 부족해질 수 있는 여러 영양소(아미노산, 광물질, 비타민)의 적절한 첨가효과와 함께 이뤄질 수 있었을 것이다.

본 연구의 강도다리 혈액성상 결과는 여러 연구자의 보고와 상이한 점이 나타났는데, Ding et al. (2010)의 연구에서 단백질 45%, 지방 10%를 함유한 사료를 공급한 결과 강도다리의 혈액 내 TP, TG 및 TCHO 수치는 본 연구의 결과보다 약 2배 정도 높았고, Park et al. (2016)은 강도다리의 혈액 내 AST와 ALT의 경우 각각 20.5 및 3.5 U/L 수치를 보인다고 보고하여 본 연구의 결과와 다소 다른 수치를 나타내었으며, 특히 ALT의 경우 현저한 차이를 보였다(Table 5). 또한 Lee et al. (2003)은 1.9 g의 강도다리 치어를 사료 내 지방산의 종류와 고도불포화지방산의 수준에 따라 10주간 섭취했을 때 AST의 경우 37-87 U/L, ALT의 경우 19-97 U/L의 큰 변이를 보고하였다. 이러한 차이가 사료의 영양성분 차이에 의한 것인지 혈액채취 조건 또는 사육조건에 따른 것인지는 아직까지 건강한 강도다리의 표준 혈액 성상에 관한 자료가 없어 향후 많은 연구가 수반되어야 할 것이다.

강도다리는 현재 낚치 대체 어종으로 각광받는 경제성 있는

중요 품종으로, 저어분 EP사료의 개발이 시급함에도 불구하고 사료개발의 부재로 고어분 낚치사료로 대부분 사육되고 있다. 본 연구는 강도다리를 저어분 사료 개발을 위해 사료 내 FMR의 효과에 대해 조사하였으며, 향후 FMR은 강도다리 사료의 좋은 단백질원이 될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 “2017년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비(과제번호: 520170239)”, 대상주식회사(과제번호: 120160883) 및 (주)비알디(과제번호: 120160744)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis. 16th ed. Arlington, VA, U.S.A.
- Barrows FT, Gaylord TG, Stone DAJ and Smith CE. 2007. Effect of protein source and nutrient density on growth efficiency, histology, and plasma amino acid concentration of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquac Res 38, 1747-1758. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01854.x>.
- Burr GS, Wolters WR, Barrows FT and Hardy RW. 2012. Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Aquaculture 334-337, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.12.044>.
- Ding L, Zhang L, Wang J, Ma J, Meng X, Duan P, Sun L and Sun Y. 2010. Effect of dietary lipid level on the growth performance, feed utilization, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). Aquac Res 41, 1470-1478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02440.x>.
- Duncan DB. 1955. Multiple range and multiple 'F' tests. Biometrics 11, 1-42.
- Francis G, Makkar HP and Becker K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture 199, 197-227. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00526-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00526-9).
- Gatlin DM, Barrows FT, Brown P, Dabrowski K, Gaylord TG, Hardy RW, Herman E, Hu G, Kroghdahl Å, Nelson R, Overturn K, Rust M, Sealey W, Skonberg D, Souza EJ, Stone D, Wilson R and Wurztel E. 2007. Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. Aquac Res 38, 551-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01704.x>.
- Gaylord TG and Barrows FT. 2009. Multiple amino acid supplementation to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, feeds. Aquaculture 287, 180-184. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.10.037>.

- Karapanagiotidis IT. 2014. The re-authorization of non-ruminant processed animal proteins in European aqua feeds. *Fish Aquac J* 5, e111. <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000e111>.
- Khalifa NSA, Belal IEH, El-Tarabily KA, Tariq S and Kassab AA. 2018. Evaluation of replacing fish meal with corn protein concentrate in Nile tilapia *Oreochromis niloticus* fingerlings commercial diets. *Aquaculture Nutr* 24, 143-152. <https://doi.org/10.1111/anu.12542>.
- Krogdahl A, Penn MH, Thorsen J, Refstie S and Bakke AM. 2010. Important antinutrients in plant feedstuffs for aquaculture: An update on recent findings regarding responses in salmonids. *Aquac Res* 41, 333-344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02426.x>.
- Lee JH, Cho SH, Lim HK, Kim KD and Lee SM. 2004. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of adult starry flounder (*Platichthys stellatus*). *J Fish Sci Tech* 7, 184-191. <https://doi.org/10.5657/fas.2004.7.4.184>.
- Lee SM, Lee JH and Kim KD. 2003. Effect of dietary fatty acids on growth, body composition and blood chemistry of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 225, 269-281. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00295-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00295-3).
- Lee SM, Lee JH, Kim KD and Cho SH. 2006. Optimum dietary protein for growth of juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *J World Aquacult Soc* 37, 200-203.
- Lim C, Webster CD and Lee CS. 2008. Alternative protein sources in aquaculture diets. The Haworth Press, New York, NY, U.S.A.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academy Press, Washington DC, U.S.A.
- Olsen RL and Hasan MR. 2012. A limited supply of fishmeal: impact on future increases in global aquaculture production. *Trends Food Sci Technol* 27, 120-128. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>.
- Park S, Kim JW, Kim PK and Jeon JK. 2016. Growth performance and blood chemistry of starry flounder *Platichthys stellatus* fed extruded and moist pellet. *K J Environ Biol* 34, 133-140. <https://doi.org/10.11626/KJEB.2016.34.3.133>.
- Refstie S, Bakke-McKellep AM, Penn MH, Sundby A, Shearer KD and Krogdahl A. 2006. Capacity for digestive hydrolysis and amino acid absorption in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with soybean meal or inulin with or without addition of antibiotics. *Aquaculture* 261, 392-406. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.005>.
- Refstie S, Sahlström S, Bråthen E, Baevefjord G and Krogedal P. 2005. Lactic acid fermentation eliminates indigestible carbohydrates and antinutritional factors in soybean meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 246, 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.01.001>.
- Sokal RR and Rohlf FJ. 1995. Biometry: Nested analysis of variance. In: Biometry. Freeman WH. 3rd ed. New York, NY, U.S.A., 272-342.
- Song Z, Li H, Wang J, Li P, Sun Y and Zhang L. 2014. Effects of fishmeal replacement with soy protein hydrolysates on growth performance, blood biochemistry, gastrointestinal digestion and muscle composition of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*). *Aquaculture* 427, 96-104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.01.002>.
- Storebakken T, Shearer KD, Baevefjord G, Nielsen BG, Åsgård T, Scott T and De Laporte A. 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture* 184, 115-132. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00316-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00316-6).
- Tacon AGJ, Hassan MR and Metian M. 2011. Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans. Trends and prospects. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Papers 564. FAO, Rome, Italy.
- Thiesses DL, Campbell GL and Adelizi PD. 2003. Digestibility and growth performance of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with pea and canola products. *Aquac Nut* 9, 67-75. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2003.00203.x>.
- Wang X, Kim KW, Choi SM, Lee HS and Bai SC. 2004. Evaluation of lysine cell mass as a dietary fishmeal replacer for juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegelii*. *J Aquaculture* 17, 122-127.
- Yu D, Fang X, Zhou Y, Rhodes M and Davis DA. 2013. Use of corn protein concentrates in practical diets for the Pacific white shrimp. XII Simposio Internacional de Nutrición Acuícola/XII International Symposium on Aquaculture Nutrition. División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco Villahermosa Tabasco, Mexico. Del 20 al 22 de Noviembre de 2013, 106-121.