

돌돔(*Oplegnathus fasciatus*) 사료의 어분대체원으로서 DHA가 다량 함유된 발효대두박의 효과

정우철 · 金鋒 · 한종철¹ · 최병대² · 강석중*

경상대학교 해양생명과학과, ¹국립수산과학원 남동해수산연구소, ²경상대학교 해양식품공학과

Effects of DHA-rich Fermented Soybean Meal as a Dietary Protein Replacement for Fish Meal in the Parrot Fish *Oplegnathus fasciatus*

U-Cheol Jeong, Feng Jin, Jong-Cheol Han¹, Byeong-Dae Choi² and Seok-Joong Kang*

Department of Marine Biology and Aquaculture, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

¹Southeast Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research and Development Institute, Tongyeong 650-943, Korea

²Department of Seafood Science and Technology, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

This study determined the level of fermented soybean meal (FSM) that could be substituted for fish meal in the diet for parrot fish *Oplegnathus fasciatus*. Fish meal (FM) was used the sole protein source in the control diet. FSM was substituted for 20, 40, 60, 80, and 100% of the fish meal in the experimental diets. The FSM resulted in increased crude protein, crude fat, and crude ash, but decreased crude fiber. The methionine and tryptophan contents in the FSM increased, while lysine and threonine decreased. The 18:2n-6 fatty acid content decreased from 55.30% to 28.67%. Fermentation increased 20:5n-3 (EPA) and 22:6n-3 (DHA) by 2.03% and 15.54%, respectively, although the differences were not significant. Based on growth performance, we concluded that FSM could replace up to 60% of FM for the maximum growth of juvenile parrot fish.

Key words: Fermented soybean meal, Fish meal, Protein sources, DHA, *Oplegnathus fasciatus*

서론

오늘날 양어사료는 어류 생산 경비의 50-70%를 차지하고 있기 때문에 양식산업의 생산성 및 경제성 향상에 중요한 열쇠가 되고 있다(Bai, 1996). 양어사료의 단백질원으로는 어분, 혈분, 우모분, 육분, 육골분, 피혁분 등의 동물성 단백질원과 대두박, 콘글루텐, 면실박, 채종박 등의 식물성 단백질원이 이용된다(NRC, 1993). 지금까지 해산어용 배합사료의 단백질원으로는 어분을 주로 사용하고 있으며, 양식의 발달과 함께 그 수요도 증가하고 있으나, 어분 생산량은 점차 감소함에 따라, 가격이 급격히 상승하고 물량도 부족한 추세이다(McCoy, 1990; Rodriguez-Serna et al., 1996). 이러한 문제를 해결하기 위하여 어분 대체품의 개발이나 어분 대체원으로서 동물성 및 식물성 단백질원들의 효과에 대한 연구가 어종별로 활발히 수행되

고 있다(Shimeno et al., 1993; Lee et al., 1996; Bai et al., 1997; Choi et al., 2004; Lim et al., 2004; Yoo et al., 2006). 어중에 따라 차이는 있지만, 양어사료에 사용되는 어분의 30-50%를 식물성 단백질로 대체가 가능하다고 알려져 있다(Francis et al., 2001). 그리고 많은 연구자들에 의해 어분의 대체 단백질원으로서 대두박이 가장 적합한 단백질원으로 보고되고 있다(Olli and Krogdahl, 1995; Boonyaratpalin et al., 1998; Arndt et al., 1999; Choi et al., 2004; Lim et al., 2004). 대두박은 높은 단백질가, 일정한 구성성분, 낮은 가격과 공급의 안정성에서는 적절한 단백질원이다. 하지만 어분에 비해 필수아미노산인 methionine 함량이 낮고, 소화가 잘되지 않는 탄수화물이 약 30%를 차지하고 있으며, phytic acid가 많이 포함되어 있어 필수미네랄 이용성의 저하 및 단백질 흡수 저하와 같은 비영양적 작용을 하는 것으로 보고되고 있다(Olli et al., 1994; Storebakken et

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0376>



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(4) 376-382, August 2014

Received 24 April 2013; Revised 6 February 2014; Accepted 28 May 2014

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9154 Fax: +82. 55. 772. 9154

E-mail address: sjkang@gnu.ac.kr

al., 2000). 또한 대두박은 필수지방산인 omega-3 계열의 고도 불포화지방산(highly unsaturated fatty acid, n-3 HUFA)을 전혀 함유하고 있지 않기 때문에 추가로 공급이 되어져야만 하는 문제점을 가지고 있다. 사료 중의 지질은 필수지방산의 공급원으로뿐만 아니라 에너지원으로서도 중요한 영양소이다. 일반적으로 해산어류의 필수지방산은 n-3 HUFA이고, 어류의 정상적인 성장을 위해서는 그 어종이 요구하는 종류와 양이 사료에 첨가되어야 한다(Castell et al., 1972; Watanabe et al., 1974; Kanazawa et al., 1982; Takeuchi et al., 1983; Lee et al., 1993a, b, c, d). n-3 HUFA가 다량 함유된 어분, 어유, 간유 등은 저장중이나 사료 제조 후 산화되기 쉬우므로 어류의 건강에 나쁜 영향을 줄 수도 있다. 또한 어유나 간유는 다른 동물성 및 식물성 지질보다 가격이 비싸므로 n-3 HUFA를 함유하는 대체유를 개발하는 것 또한 시급한 문제로 대두되고 있다.

이러한 점을 착안하여 이번 연구에서는 육상양식장 고품질오물을 해삼사료자원화를 위한 발효과정중의 해양미생물을 이용하여 탈지대두박을 발효시켜 양어사료의 어분대체원으로서 사용하였을때 발효대두박의 단백질, 아미노산 그리고 지방산 조성을 살펴보고, 또한 기초사육실험을 통해 대체 가능성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

DHA가 함유된 발효대두박 개발

발효 균주 및 재료

사료제조용 원료인 탈지대두박에 당밀(brix 45%) 5%를 첨가하여 DHA를 다량 함유하는 *Schizochytrium* sp. (KCTC12487BP) 균주를 접종하여 72시간 동안 발효를 하였다.

발효대두박 일반 성분 분석

실험에 사용된 발효대두박 일반성분 분석에서 수분은 상압 가열 건조법, 조단백질은 Kjeldahl법(AOAC, 1995), 조지방은 chloroform과 methanol을 2:1 비율로 혼합한 용액을 용매로 한 Bligh and Dyer 추출법(1959), 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator)를 이용하였고, 조회분은 직접 회화법으로 분석하였으며(AOAC, 1995), 가용성 무질소물은 100에서 위 성분의 합계를 뺀 값으로 계산하였다(AOAC, 1995).

발효대두박 아미노산 분석

총 아미노산의 분석을 위한 시료는 고품질의 경우 시료 2.0 g에 6 N HCl 5 mL를 넣고, 액상의 경우는 시료 5 mL에 HCl 5

Table 1. Ingredients composition of the experimental diets (% of dry matter basis)

Ingredients(%)	Experimental diets ¹					
	Control	FSM20	FSM40	FSM60	FSM80	FSM100
Fish meal	65.0	52.0	39.0	26.0	13.0	0.0
Fermented soybean meal	0.0	16.7	33.5	50.2	66.9	83.6
α -potato starch	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Alpha cellulose	16.4	13.6	10.7	8.0	5.2	2.4
Soybean oil	7.1	6.2	5.3	4.3	3.4	2.5
Mineral mixture ²	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Vitamin mixture ³	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Choline chloride	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Composition (%)						
Crude protein	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5	41.5
Crude lipid	10.8	9.8	8.7	7.6	6.5	5.5
Ash	19.9	19.2	18.4	17.6	16.9	16.1
Carbohydrate ⁴	10.3	14.8	19.2	23.7	28.1	32.6
Available energy ⁵ (kcal/100 g)	440	440	440	440	440	440

¹Control; FM (Fish Meal) 100%+ FSM (Fermented Soybean meal) 0%, FSM20; FM 80%+ FSM 20%, FSM40; FM 60%+ FSM 40%, FSM60; FM 40%+ FSM 60%, FSM80; FM 20%+ FSM 80%, FSM100; FM 0%+ FSM 100%.

² Mineral mixture (as g/kg in diets): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20; Ca-lactate, 365.5; CuCl₂, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

³Vitamin mixture (as g/kg in diets): ascorbic acid, 92.7; *a*-tocopheryl acetate, 14.5; thiamin, 2.1; riboflavin, 7.0; pyridoxine, 1.4; nicin, 27.8; Ca-D-pantothenate, 9.7; myo-inositol, 139.1; D-biotin, 4.2; folic acid, 0.5; *p*-amino benzoic acid, 13.9; K₃, 1.3; A, 0.6; D3, 0.002; choline chloride, 278.3; cyanocobalamin, 0.003.

⁴Calculated by nitrogen-free extract = 100 - (protein + lipid + ash + fiber).

⁵Digestible energy: based on 4.5 kcal/g protein, 9 kcal/g lipid, 3 kcal/g nitrogen-free extract (from Lee and Lee 1996).

mL 넣어, 밀봉한 다음 heating block (HF-21, Yamato Scientific Co., Ltd. Japan)에서 가수분해 (110°C, 24시간) 한 후, glass filter로 여과, 감압 농축 및 sodium citrate buffer (pH 2.2)로 정용하여 제조하였다. 아미노산의 분석은 전처리 시료의 일정량을 아미노산 자동분석계(Pharmacia Biotech Biochrom 30, England)로 실시하였다.

발효대두박 지방산 분석

총 지질 추출은 Bligh and Dyer (1959) 방법에 준하였다. 즉, 시료를 비커에 취하여 homogenizer (Nihonseiki Kaisha Ltd. Japan)에 15,000 rpm으로 5분간 잘게 부순 다음, chloroform과 methanol을 2:1로 혼합한 용액을 이용하여 총 지질을 추출하였다. 추출된 시료를 일정량 취하고, 0.5 N NaOH-methanol 용액을 이용하여 검화하였으며 BF₃-methanol을 사용하여 methyl 화하였다. 그런 다음, Iso-octane을 이용하여 추출된 시료를 지방산 methyl ester 시료로 사용하였다. 지방산 분석에 사용하는 Cas Chromatography는 Omegawax™-320 (bonded polyglycol phase) capillary column (30 m × 0.32 mm × 0.25 μm, I.D., SUPELCO, Supelco Park, PA, USA)를 장착한 Glarus 600 (Perkin Elmer, USA)를 이용하였다.

발효대두박을 이용한 기초사육실험

실험 사료

실험 사료의 조성표는 Table 1에 나타난 바와 같이 단백질원으로 어분(fish meal)만을 사용한 구를 대조구로 하고, 대체 단백질원으로 발효대두박을 이용하여 어분의 20, 40, 60, 80 그리고 100%를 대체하는 사료를 제작하여 실험을 하였다. 모든 실험구의 사료는 단백질 함량 41.5%로 제조하였으며, 지질원으로는 Soybean oil을 사용하여 가용에너지가 440 kcal/100 g이 되도록 조절하였다. 이 때 가용에너지는 사료의 단백질, 지질 및 가용성 무질소물을 각각 4.5, 9.0 및 3.0 kcal/g으로 계산하였다 (Lee and Lee, 1996).

실험어 및 사육관리

실험어는 국립경상대학교 해양과학대학 해양생물 사료공학

Table 2. Chemical composition of the dietary protein sources (unit: %)

Composition	Protein sources		
	FM ¹	SM ²	FSM ³
Crude Protein	63.80±0.18	47.07±0.20	49.58±0.26
Crude Fat	5.70±0.03	1.86±0.07	3.76±0.08
Crude Ash	18.37±0.05	7.37±0.08	9.26±0.11
Crude Fiber	1.60±0.08	4.19±0.06	2.69±0.04
Moisture	7.65±0.01	8.27±0.13	7.87±0.08

¹FM : Fish meal. ²SM : Soybean meal. ³FSM : Fermented Soybean meal

연구실에서 사육중인 돌돔을 사용하였다. 실험 시작 전 1주일 동안 실험수조에 예비 사육을 실시한 후, 실험 시작 시 평균 체중 4.0 g 되는 돌돔 치어를 80 L 수조에 각각 3반복으로 25 마리씩 수용하여 8주간 사육실험을 하였다. 사료 공급은 1일 3회 공급하였다. 성장은 2주마다 측정하였으며 측정하기 전 24시간 동안 절식시킨 후, Aquis-10 (100 ppm)으로 마취시켜 전어체 무게를 측정하여 증중율(Weight gain, %), 사료효율(Feed efficiency, %), 일일사료급여율(Daily feed intake, %), 성장률(Specific growth rate, %/day), 그리고 생존율(Survival rate, %)을 조사하였다.

사육장치

실험에 사용한 사육 장치는 유수식을 겸한 순환여과식 사육 장치로서 순환수의 첨가에 의해서 배설물이 즉시 사육 수조 밖으로 배출될 수 있도록 사이펀 장치를 부착하였으며, 사육수조의 크기는 60×45×30 cm의 사각아크릴 수조에 수량은 80 L, 주수량의 보충에 의한 순환률은 20 회전/일 시켰다. 이 때 주수량은 3.0 L/min 였다. 사육 기간 중 전 사육수조에는 에어스톤을 설치하여 용존산소량은 5 mL/L를 유지하였으며, 사육수온은 24.3 ± 0.8°C였으며, 염분농도는 33 ± 0.5 psu 를 유지하였다.

Table 3. Total amino acid (TAA) composition (% in protein) of the dietary protein sources (% of dry matter)¹

Amino acid	Protein sources		
	FM ²	SM ³	FSM ⁴
Aspartic acid	9.29	17.57	17.00
Threonine	5.45	4.96	4.74
Serine	6.60	7.08	7.21
Glutamic acid	11.92	14.20	15.12
Proline	4.59	5.23	4.78
Glycine	10.84	7.12	8.02
Alanine	7.93	5.87	6.76
Cystine	1.00	1.23	1.20
Valine	5.39	5.44	5.38
Methionine	2.38	1.27	1.64
Isoleucine	3.48	3.37	3.27
Leucine	7.74	9.08	9.04
Tyrosine	2.80	2.06	2.06
Phenylalanine	3.94	2.24	1.99
Histidine	2.29	1.53	1.48
Lysine	7.30	6.79	6.38
Tryptophan	0.96	0.57	0.66
Arginine	6.11	4.39	3.29

¹Values are means of triplicate groups. ²FM: Fish Meal. ³SM: Soybean Meal. ⁴FSM: Fermented Soybean Meal. The values are mean±S.D. (n=3).

통계처리

모든 자료는 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 평균 간의 유의성 ($P<0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

발효대두박의 일반성분

해양미생물을 이용하여 발효과정을 거친 발효대두박의 일반 성분 분석 결과는 Table 2에서 나타낸 바와 같이 조단백질은 47.07%에서 49.58%로, 조지방은 1.86%에서 3.76%로 증가되었으며, 조회분은 7.37%에서 9.26%로 증가되었다. 조섬유의 경우는 발효과정을 통해 4.19%에서 2.69%로 낮아졌다. 대두박은 다른 식물성 박류에 비하여 단백질과 에너지 수준은 높고, 조섬유와 조회분 함량은 낮아서 특히, 단위동물 사료원료로서 적합하다. 대두단백질은 식물성 단백질 공급원 가운데 아미노산 조성이 가장 우수한 것 중 하나에 속한다. 일반적으로 대두유 가공시 부산물인 탈지대두박은 원료 대두에서 지방을 제거하고, 단백질 약 50%, 탄수화물 25-30%로 대부분의 영양소가 소실되지 않아, 식품 및 영양학적 관점에서 중요한 소재로서 사용되어지고 있다.

발효대두박의 아미노산 조성

탈지대두박과 발효대두박의 아미노산 분석결과는 Table 3에 나타낸와 같이 발효과정을 통해 발효된 대두박의 lysine 함량은 6.79%에서 6.38%로 낮아졌으며, methionine 함량은 1.27%에서 1.64%로 높아지는 것으로 나타났다. Tryptophan은 0.57%에서 0.66%로 높아지는 것으로 나타났으며, threonine은 4.96%에서 4.74%로 낮아지는 것으로 나타났다. Isoleucin 함량은 3.37%에서 3.27%로 나타났으며, valine은 5.44%에서 5.38%로 나타났다. 대두박은 다른 박류에 비하여 아미노산 함량이 높고, 아미노산 조성이 우수한 편이지만 비율면에서 필수아미노산 중 lysine 함량이 높은 반면, methionine과 cystine 함량이 낮은 편이다. 그러나 발효과정을 통해 필수아미노산인 methionine과 tryptophan등이 높아짐으로서 발효대두박의 단백질 가치가 대두박에 비해 높다는 것을 의미한다.

단백질은 양어사료 배합에 있어 사료가격뿐 아니라 어류의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 영양소이다. 그러나 단백질 그 자체로서의 중요성보다는 필수아미노산의 공급측면이 더 중요한 것이기 때문에 단백질원의 선택시 필수아미노산의 균형이 잘 이루어져 있는가를 고려하여야 한다. 지난 40여 년간의 연구에도 불구하고 필수아미노산의 양적 요구량이 성장실험을 통하여 완전히 밝혀진 어종은 단지 9종에 불과하다. 그러나 이들 요구량 조차도 성장이 빠른 초기단계에 국한되어 있으며, 사료섭취량이 증가하는 육성 및 성어단계의 요구량은 여전히 경험적인 추정치에 의거하여 사료배합에 임하고 있는 실정이다. 아미노산

요구량 설정시 많은 시간과 경비가 소요되기 때문에 상대적으로 간편한 체조직내 아미노산의 증가량에 의한 방법이나 이상적인 단백질 균형법에 의거하여 요구량을 설정하고 있지만, 이렇게 설정된 요구량을 관행의 사료배합에 응용하는데는 신중을 기할 필요가 있다. 양질의 어분 생산량은 수요에 미치지 못하고 있기 때문에, 어분 대체원을 이용한 사료 배합시 설정된 아미노산 요구량 수치의 이용에는 더욱 주의를 기울여야 할 것이다. 특히, 설정된 라이신 요구량과 체조직 Assimilation/Energy 비율을

Table 4. Total Fatty acid composition of the dietary protein sources (% of total fatty acids)¹

Fatty acid	Protein sources		
	FM ²	SM ³	FSM ⁴
14:0	4.35±0.21	0.00±0.00	1.12±0.14
15:0	0.56±0.03	0.00±0.00	0.58±0.26
16:0	23.10±0.61	17.34±0.68	21.36±0.55
16:1n-9	0.00±0.00	0.00±0.00	0.25±0.03
16:1n-7	5.38±0.11	0.00±0.00	0.16±0.02
17:0	0.51±0.04	0.00±0.00	0.40±0.03
18:0	6.59±0.09	4.36±0.44	5.93±0.31
18:1n-9	21.51±0.37	14.83±1.44	14.33±0.38
18:1n-7	3.86±0.20	1.45±0.14	2.23±0.17
18:2n-6	1.75±0.03	55.30±1.30	28.67±0.71
18:3n-3	1.63±0.05	6.73±0.44	2.63±0.16
18:4n-3	0.82±0.02	0.00±0.00	0.00±0.00
20:0	0.00±0.00	0.00±0.00	1.52±0.12
20:1n-11	1.81±0.03	0.00±0.00	0.00±0.00
20:1n-9	2.93±0.01	0.00±0.00	0.86±0.05
20:4n-6	1.14±0.01	0.00±0.00	0.00±0.00
20:5n-3 (EPA)	6.42±0.23	0.00±0.00	2.03±0.08
22:1n-9	2.77±0.10	0.00±0.00	0.00±0.00
22:5n-6	0.00±0.00	0.00±0.00	2.39±0.20
22:5n-3	2.15±0.08	0.00±0.00	0.00±0.00
22:6n-3 (DHA)	12.72±0.61	0.00±0.00	15.54±0.28
∑ Saturates	35.11	21.70	30.91
∑ Monoenes	38.26	16.28	17.83
∑ Polyenes	26.63	62.03	51.26
∑ n-3 PUFA ⁵	23.74	6.73	20.20
∑ n-6 PUFA	2.89	55.30	31.06
∑ n-3 HUFA ⁶	21.29	ND	17.57
∑ n-6 HUFA	1.14	ND	2.39

¹Values are means of triplicate groups and values in the same row with different superscripts are significantly different($P<0.05$).

²FM: Fish Meal. ³SM: Soybean Meal. ⁴FSM: Fermented Soybean Meal. ⁵PUFA: Poly unsaturated fatty acid. ⁶HUFA: Highly unsaturated fatty acid.

고려한 요구량의 추정치는 사료 내 아미노산 불균형의 문제를 야기할 수도 있기 때문에 신중을 기해야 할 것이다.

발효대두박의 지방산 조성

탈지대두박과 발효대두박의 지방산조성은 Table 4에서 나타낸바와 같이 탈지대두박은 특징적으로 많이 함유하고 있는 18:2n-6 지방산이 55.30%였고, 20:5n-3 (EPA)와 22:6n-3 (DHA)가 전혀 없었지만, 발효과정을 통해 18:2n-6는 28.67%로 감소하였고, EPA와 DHA는 각각 2.03%와 15.54%로 증가되었다. n-3 PUFA는 6.73%에서 20.20%로 증가되었으며, n-6 PUFA는 55.30%에서 31.06%로 감소되었다. 또한 발효대두박을 어분과 비교하였을 때 n-3 HUFA의 경우 비슷한 함량을 나타내었으며, 해산어류의 필수지방산인 DHA는 어분보다 더 높은 함량을 나타내었다. 육상 동물의 정상적인 성장을 위해 필수적으로 요구되는 지방산은 리놀레산(linoleic acid: 18:2n-6)인 반면 어류는 리놀레산(18:2n-6), 리놀렌산(18:3n-3), 아라키돈산(20:4n-6), EPA (20:5n-3) 및 DHA (22:6n-3)와 같은 다양한 종류의 필수지방산을 필요로 한다. 어분의 경우 EPA 6.42%와 DHA 12.72%를 포함하고 있지만, 대두박의 경우 전혀 포함하고 있지 않아 단순 대두박을 대체할 경우 필수지방산으로 인한 성장 저해요인이 될 수도 있다.

어류에 있어 필수지방산은 성장과 생존현상 유지뿐 아니라 번식생리에도 상당한 영향을 미친다는 것은 널리 알려진 사실이다. 타 동물과 마찬가지로 어류 또한 그들의 체내 세포의 기능 유지를 위해 필연적으로 어떤 지방산을 요구하게 되는데, 이러한 지방산은 체내에서 자체적으로 합성될 수 없어 사료로서 공급해 주지 않으면 정상적인 성장과 생존을 이룰 수 없게 된다.

육상가축에 있어 필수지방산은 n-3계열의 리놀렌산(18:3n-3)과 n-6계열의 리놀레산(18:2n-6) 및 아라키도닉산(20:4n-6)이나, 18:3n-3와 20:4n-6 두 지방산은 18:2n-6 지방산으로부터 육상가축의 체내 전변이 이루어질 수 있다는 것이 밝혀진 이래, 리놀레산(18:2n-6)만이 필수지방산으로 분류되고 있다. 그러나 먹이연쇄에서 유래한 진화과정의 결과로 어류는 그들 환경 내 염분의 유무에 따라 필수지방산의 질적 요구량이 달라진다. 또한 어류의 필수지방산은 어종에 따라 특이성을 나타내는데, n-3계열의 지방산 또는 n-6계열의 지방산만을 요구하는 어종이 있는 반면 이들 두 계열의 지방산을 동시에 요구하는 어종도 존재한다.

발효대두박을 이용한 기초사육실험

발효대두박 대체 비율에 따른 실험 결과는 Table 5에 나타낸 바와 같이 증체율은 FSM20구와 FSM40구에서 각각 273.8%와 272.0%로 대조구의 271.0%와 유의적인 차이는 없었으며 ($P<0.05$), FSM60구에서 268.0%로 FSM20구와 FSM40구와는 차이를 보였으나 대조구와는 유의적인 차이가 없었다 ($P<0.05$). FSM80 그리고 FSM100 구에서는 각각 244.5%와 218.5%로, FSM80 이상의 구에서는 증체율이 낮아지는 것으로 나타났다($P<0.05$). 사료효율의 경우는 대조구에서 78.6%였으며 FSM20구와 FSM40구에서는 각각 78.2%와 76.6%로 대조구와 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났으며($P<0.05$), FSM60, FSM80 그리고 FSM100 구에서는 각각 74.4%, 66.1% 그리고 57.5%로 FSM60 이상의 구에서는 사료 효율은 낮아지는 것으로 나타났다($P<0.05$). 일일성장율의 경우는 대조구에서는 2.161%였으며 FSM20구와 FSM40구에서는

Table 5. The results of parrot fish (*Oplegnathus fasciatus*) fed experimental diets for 8 weeks¹

Ingredients	Experimental diets ²					
	Control	FSM20	FSM40	FSM60	FSM80	FSM100
Initial total weight (g)	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0	102.0
Final total weight (g)	373.0 ^{ab}	375.8 ^a	374.0 ^a	370.0 ^b	346.5 ^c	320.5 ^d
Weight gain (%) ³	271.0 ^{ab}	273.8 ^a	272.0 ^a	268.0 ^b	244.5 ^c	218.5 ^d
Feed efficiency (%) ⁴	78.6 ^a	78.2 ^a	76.6 ^a	74.4 ^b	66.1 ^c	57.5 ^d
Daily feed intake (%) ⁵	4.24 ^a	4.26 ^a	4.35 ^a	4.48 ^b	5.04	5.80 ^d
SGR (%) ⁶	2.161 ^{ab}	2.173 ^a	2.165 ^{ab}	2.148 ^b	2.038 ^c	1.908 ^d
Survival rate (%) ⁷	100	100	100	100	100	100

¹Values are means of triplicate groups and values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²Control; FM 100%+ FSM 0%, FSM20; FM 80%+ FSM 20%, FSM40; FM 60%+ FSM 40%, FSM60; FM 40%+ FSM 60%, FSM80; FM 20%+ FSM 80%, FSM100; FM 0%+ FSM 100%.

³Weight gain (%) : [(final fish weight-initial fish weight)/initial fish weight]×100.

⁴Feed efficiency (%) : (wet weight gain/dry feed intake)×100.

⁵Daily feed intake (%) : feed intake×100/[(final fish weight+dead fish weight)-initial fish weight] × days fed/2.

⁶Specific growth rate (%/day)=[(loge final fish weight-loge initial fish weight)/days]×100. Values in the same row with same superscript are not significantly different ($P<0.05$).

⁷Survival rate (%) : (final fish / initial fish)×100.

각각 2.173% 그리고 2.165%로 대조구와 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났으며($P<0.05$), FSM60구에서는 2.148%로서 FSM20구와 FSM40구와는 차이를 보였으나 대조구와는 유의적인 차이가 없었다($P<0.05$). FSM80 그리고 FSM100 구에서는 각각 2.038% 그리고 1.908%로 낮아지는 것으로 나타났다($P<0.05$). 이러한 결과를 볼 때, DHA-발효대두박을 어분대체 단백질원으로서 60%까지 대체하여도 성장에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며($P<0.05$), 60%이상 대체할 경우 성장과 사료효율이 떨어지는 것으로 나타났다($P<0.05$). 이러한 결과는 DHA-발효대두박을 어분대체단백질원으로서 활용할 수 있는 가능성이 높다고 하겠다. 대부분의 해산어류는 담수어류와 달리 육식성이 강하고, 단백질 요구량이 높아 사료원료 중 단백질 원료의 비중이 높다. 특히, 육식성 어류는 잡식성이나 초식성 어류처럼 식물성 단백질의 이용성이 높지 않기 때문에 배합사료에 항상 어분이 주 단백질 원료로 사용되고 있어 해산어류에 사용되는 사료의 어분 첨가비율은 매우 중요한 고려요인이다. 어분은 단백질함량이 높고, 필수아미노산 및 필수지방산이 고루 갖춰져 있을 뿐만 아니라 어류에 대한 기호도가 높은 양질의 원료이나, 가격이 비싸고, 어획량 변동이 심해 공급이 불안정한 실정이다(McCoy, 1990; Rodriguez-Sema et al., 1996). 양식생산량이 급격히 늘어나는 추세에서 양어사료에 사용되는 어분 또한 수요가 급격히 증가하고 있다. 따라서 경제적인 사료의 안정적 공급을 위해서는 사료 중의 어분 첨가비율을 줄이는 것이 중요하며, 이를 위해서는 어분을 대신할 수 있는 값싸고 공급이 안정적인 단백질 원료를 개발하는 것이 시급하다. 어분 대체 단백질 원료로 가장 많이 사용되고 있는 것이 대두박이다(Lovell, 1988). 대두박을 사료원료로 사용하는데 고려하여야 할 것 중의 하나는 필수아미노산 조성이다. 이전의 실험에서 사료의 대두박 첨가수준이 높을수록 성장이 낮은 것은 어분과 비교한 필수아미노산 조성 중 식물성 단백질원료인 대두박에는 methionine, cystine 등과 같은 필수아미노산이 부족했기 때문으로 추정된다. 대두박 첨가에 따라 대두박에 부족한 아미노산을 보충하여 성장을 개선하였다는 보고(Murai et al., 1982)가 발표된 바 있지만, 대두박에 부족한 필수아미노산 보충이 조피볼락의 성장을 개선시키지 못한 연구결과(Lee and Lee, 1996)도 보고되어 있다. Murai et al. (1982)은 담수어이자 잡식성 어류인 잉어에 대해 사료에 대두박을 첨가함으로써 필수아미노산 중에서도 특히, methionine의 첨가가 잉어 성장을 개선시킬 수 있다는 결론을 얻었으며, Lee and Lee (1996)은 해수어류인 조피볼락 사료에 methionine을 보충한 대두박을 첨가한 결과는 성장, 사료효율, 단백질 축적율 등에 유의적인 차이가 없어 아미노산 보충효과가 전혀 없었다고 하였다. Lee and Lee (1996)의 실험결과는 Lee et al. (1991)의 방어를 대상으로 대두박 첨가사료에 제한아미노산 첨가가 성장을 개선시키지 못했다는 결과와 일치하는 것이다. 따라서 대두박의 이용성을 개선시키기 위해 필수아미노산과 같은 대두박에 부족한 영양소를 보충하

는 실험은 Lee and Lee (1996)의 연구에서 나타난 바와 같이 사료 제조 시 보충되는 아미노산의 형태, 실험어의 크기, 사료 단백질 함량, 먹이 섭취량과 필수지방산 등 복합적인 요인에 의해 차이가 나타날 수 있다고 판단된다. 따라서 대두박의 단독 대체효과보다는 *schizochytrium* sp. (KCTC1248BP) 균주로 대두박을 발효시킨 DHA-발효대두박을 첨가함으로써 효과적으로 대체 할 수 있을 것으로 생각된다. 즉, 대두박에는 필수아미노산인 methionine과 cystein 함량이 상대적으로 낮을 뿐 아니라 필수지방산인 DHA는 전혀 나타나지 않았지만 대두박을 발효시킴으로서 어분에 비해 상대적으로는 적었지만 필수아미노산인 methionine과 cystein 함량 증가되는 것으로 나타났으며, 필수지방산인 DHA는 어분보다 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과를 볼 때 단순 대두박 대체보다는 DHA가 다량 함유하는 발효대두박을 이용할 경우 어분 대체원으로 훨씬 유리할 것으로 판단된다.

사 사

이 논문은 2014년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(수산실용화기술개발사업의 육상순환양식시스템에서 배출된 고품오물의 해삼사료자원화).

References

- Arndt RE, Hardy RW, Sugiura SH and Dong FM. 1999. Effects of heat treatment and substitution level on palatability and nutritional value of soy defatted flour in feeds for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *Aquaculture* 180, 129-145.
- AOAC. 1995. Official method of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington DC., U.S.A., 1-43.
- Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37, 911-917.
- Bai SC. 1996. Utilization of low quality protein sources in fish feed production. Proceedings of the International symposium on aquaculture, 121-127, Ocean University of Qingdao, Qingdao, China, November.
- Bai SC, Jang HK and Kim KH. 1997. Evaluation of leather meal and meat and bone meal as the fish meal replacer in Israeli-carp diets. *J Aquaculture* 10, 153-161.
- Boonyaratpalin M, Suraneiranat P and Tumpibal T. 1998. Replacement of fish meal with various types of soybean products in diets for Asian seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 161, 67-78.
- Castell JD, Sinnhuber RO, Wales JH and Lee DJ. 1972. Essential fatty acids in the diet of rainbow trout (*Salmo gairdneri*): growth, feed conversion and some gross deficiency symptoms. *J Nutr* 102, 77-86.
- Choi SM, Lim SR, Kim KW, Wang XJ, Bai SC and Shin IS.

2004. Effects of dietary dehulled soybean meal as a fish meal replacer in fingerling and growing olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture research* 35, 410-418.
- Francis G, Makkar HPS and Becker K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199, 197-227.
- Kanazawa A, Teshima SI and Sakamoto M. 1982. Requirements of essential fatty acids for larval ayu. *Bull Jpn Soc Sci Fish* 48, 587-590.
- Lovell RT. 1988. Use of soybean meal products in diets for aquaculture species. *J Aquat products* 2, 27-52.
- Lee SM, Kang YJ and Lee JY. 1991. The effect of soybean meal as a partial replacement for white fish meal in diet for yellowtail (*Seriola quinqueradiata*). *Bull Nat Fish Res Dev Agency* 45, 247-257.
- Lee JY, Kang YJ, Lee SM and Kim IB. 1993a. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *J Aquaculture* 6, 13-27.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ, Yoon HD and Hur SB. 1993b. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull Korean Fish Soc* 26, 477-492.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ and Hur SB. 1993c. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. *J Aquaculture* 6, 89-105.
- Lee SM, Lee JY, Kang YJ and Hur SB. 1993d. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* II. *J Aquaculture* 6, 107-123.
- Lee JK and Lee SM. 1996. Effects of the dietary protein and energy levels on growth in fat cod (*Hexagrammos otakii*). *J Korean Fish Soc* 29, 464-473.
- Lee SM, Yoo JH and Lee JY. 1996. The use of soybean meal, corn gluten meal, meat meal, meat and bone meal, or blood meal as a dietary protein source replacing fish meal in Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Kor J Anim Nutr Feed* 20, 21-30.
- Lim SR, Choi SM, Wang XJ, Kim KW, Shin IS, Min TS and Bai SC. 2004. Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture* 231, 457-468. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.008>.
- McCoy HD. 1990. Fishmeal. The critical ingredient in aquaculture feeds. *Aquaculture Magazine* 16, 43-50.
- Murai T, Ogata H and Nose T. 1982. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Bull Jap Soc Sci Fish* 48, 85-88.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad Press, Washington DC, U.S.A., 114.
- Olli JJ, Hjelmeland K and Krogdahl A. 1994. Soybean trypsin inhibitors in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L): effects on nutrient digestibilities and trypsin in pyloric caeca homogenate and intestinal content. *Comp Biochem Physiol* 109A, 923-928.
- Olli J and Krogdahl A. 1995. Alcohol soluble components of soybean seem to reduce lipid digestibility in fish-meal-based diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture Research* 26, 831-835.
- Rodriguez-Serna M, Olvera-Novoa MA and Carmona O. 1996. Nutritional value of animal by product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L) fry. *Aquaculture Research* 27, 67-73.
- Shimeno S, Mima T, Imanaga T and Tomaru K. 1993. Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal and corn gluten meal to yellowtail diet. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 1889-1895.
- Storebakken T, Refstie S and Ruyter B. 2000. Soy products as fat and protein sources in fish feeds for intensive aquaculture. *Soy in Animal Nutrition Fed Anim Sci Soc Savoy IL.*, 127-170.
- Takeuchi T, Satoh S and Watanabe T. 1983. Requirement of *Tilapia nilotica* for essential fatty acids. *Bull Jap Soc Sci Fish* 49, 1127-1134.
- Yoo GY, Choi SM, Kim KW and Bai SC. 2006. Apparent protein and phosphorus digestibilities of nine different dietary protein sources and their effects on growth of juvenile olive flounder, *Paralichthys olivaceus*. *J Aquaculture* 19, 254-260.
- Watanabe T, Ogino C, Koshishi Y and Matsunaga T. 1974. Requirement of rainbow trout for essential fatty acids. *Bull Jap Soc Sci Fish* 40, 493-499.