

조피볼락 육성용 사료의 어분 대체원으로서 식물성 및 동물성 단백질 혼합 첨가 효과

이상민 · 전임기 · 이종윤 · 박승렬 · 강용진 · 정관식*
국립수산진흥원, *여수수산대학교

Substitution of Plant and Animal Proteins for Fish Meal in the Growing Korean Rockfish (*Sebastes schlegelii*) Feeds

Sang-Min LEE, Im-Gi JEON, Jong-Yun LEE, Sung-Real PARK,
Yong-Jin KANG and Kwan-Sik JEONG*

National Fisheries Research and Development Agency, Pusan 619-900, Korea

*Yosu National Fisheries University, Yosu 550-749, Korea

A 15-week growth trial was conducted in flow-through aquarium system to develop practical feeds for growing Korean rockfish. Two replicate groups of the fish averaging 114 g were fed one of nine diets containing 45~50% crude protein from various practical ingredients such as fish meal, meat meal, feather meal, blood meal, soybean meal, corn gluten meal, and wheat flour with or without supplemental essential amino acids (EAA) or enzyme mixture. The dietary EAA were adjusted by considering EAA composition of each dietary protein source, A/E ratio (each essential amino acid×1000 / total essential amino acid including Cys and Tyr) calculated using AA composition of the Korean rockfish whole body and the EAA requirement of other fish.

Results indicate that animal and plant protein sources could substitute for fish meal up to 50% in the diets, and the supplementation of amino acids and enzyme mixture have no beneficial effects on fish performance. Fish growth, body composition, nutrient utilization, and cost of fish production are discussed in relation to nutritional values of the protein sources used in diets.

Key words : rockfish, practical feeds, protein sources, amino acids, feed cost

서 론

1980년대 중반 이후부터 우리 나라의 해산어 양식은 넙치와 함께 조피볼락, 돛류, 농어 등 양식 대상 어종이 다양화되었으며, 그 생산량이 점차 증대되었다 (Kim, 1994). 이 중, 조피볼락은 저온에 강하고, 딱딱한 건조 pellet도 잘 받아 먹어 (Lee and Jeon, 1996 b), 양식 대상종으로 개발 가치가 매우 높은 것으로 생각된다. 하지만 조피볼락을 양식하고 있는 대부분의 양어가들은 냉동 전갱이, 까나리와 같은 생사료를 먹

이로 공급하거나, 생사료 위주의 moist pellet을 사용하고 있어 영양성 질병, 사료유실로 인한 수질오염, 원료원가 상승 등 많은 불이익이 초래되고 있다. 그래서 조피볼락용 배합사료 개발에 필요한 기초자료를 축적하기 위해, 조피볼락의 영양요구에 관한 연구 (Lee et al., 1993a, b, c, d, e, f, g, 1994, 1995a; Lee, 1994, 1996; Lee and Lee, 1994a, b; Lee and Hur, 1993)와 함께 조피볼락의 성장 패턴 및 대조사료의 효과 (Lee et al., 1995b,c)에 대하여 연구되어 왔다. 또한, Lee et al. (1996a)은 조피볼락 사료의 주 단백질원

본 연구는 해양수산부 수산특정연구개발사업의 연구비로 수행되었음.

으로 여러 종류의 어분에 대한 이용성을 평가하였다. 일반적으로 이러한 어분은 단백질 함량이 60~70%로 높고 필수 아미노산 및 지방산이 고루 갖추어진 양질의 원료이며, 어류에 기호성이 좋기 때문에 양어 사료의 단백질원으로 가장 많이 사용되고 있다. 하지만 어분은 가격이 비싸고, 생산량이 제한되어 있기 때문에 경제적인 사료의 안정적 공급을 위해서는 사료중의 어분 첨가비를 줄이는 것이 중요하다. 이를 위해서는 어분을 대신할 수 있는 값싸고 공급이 안정적인 단백질을 개발하는 것이다. 최근, 조피볼락 사료의 원가를 절감시키기 위해 Lee et al. (1996b), Lee and Jeon (1996a)과 Lee and Yoo (1996)가 조피볼락에 대해서 대두박, 콘글루텐 밀, 채종박, 면실박, 육분, 육골분, 혈분의 이용성을 평가하여 사료단가를 낮출 수 있을 것으로 보고하였다. 또한, Lee et al. (1996b)과 Lee and Jeon (1996a)은 그들의 실험에서 대체단백원을 단독으로 첨가하는 것보다는 여러 가지의 원료를 혼합하여 첨가하는 것이 더 효과적으로 어분을 대체할 수 있다고 하였고, 이는 단독으로 대체 단백원을 사료에 첨가하는 것보다 여러 가지 이용가능한 원료를 혼합하여 첨가함으로써 필수아미노산같은 부족한 영양소를 서로 보완할 수 있어 성장이 개선될 수 있다고 지적하였다.

사료의 단백질은 대상어종이 요구하는 필수아미노산량이 충족되어 균형을 이루고 있는가에 따라 그 품질이 평가될 수 있다. 하지만 그 어종의 필수아미노산 요구량이 결정되어 있지 않을 때에는 전란(全卵) 단백질이나 대상어종의 전어체 또는 근육의 아미노산 조성과의 유사한 수준으로 사료를 설계하기도 한다 (Arai, 1981; DeLong et al., 1958; Gatlin III, 1987; Ketola, 1982; Klein and Halver, 1970; Ogata et al., 1983; Willson et al., 1977). 이와 같은 측면에서 부족한 필수아미노산을 첨가하여 사료를 설계할 때, Arai (1981)와 Ogata et al. (1983)은 필수아미노산 비(A/E ratio), 즉 전체 필수아미노산에 대한 각 필수아미노산비를 고려하는 것이 중요하다고 보고하였고, Wilson and Poe (1985)도 이러한 방법의 효과를 인정하고 있다. 그래서 위의 결과들과 Lee et al. (1996b)과 Lee and Jeon (1996a)의 실험에서 대체단백질원 단독 첨가보다는 혼합 첨가가 더 효과적으로 어분을 대체할 수 있다는 결과들에 따라, 본 실험에서는 육성용 조

피볼락의 경제적인 배합사료를 개발하기 위해 복양어분, 육분, 우모분, 혈분, 대두박, 콘글루텐 밀 등의 아미노산 조성을 고려하여 이 원료들을 여러 가지 비율로 혼합하여 그 효과를 검토하였다.

재료 및 방법

단백질원

본 실험에서 사용한 단백질원인 복양어분 (간접식 건조: steam dry, 고려원양 개척호), 대두박 (탈지, 탈피), 콘글루텐 밀, 육분, 육골분, 혈분, 우모분, 소맥분 및 효모는 사료회사에서 사용하고 있는 상품화된 것을 구입하였다. 이들의 일반 성분 및 아미노산 조성을 분석하여 각각 Table 1에 나타내었다.

실험사료

복양어분을 주 단백질원으로 첨가한 사료를 대조구 (사료 1)로 하고 사료 원료의 아미노산 조성을 고려하면서 이미 연구된 결과들 (Lee et al., 1996b; Lee and Jeon, 1996a)을 참고로 하여 대두박, 콘글루텐 밀, 육분, 혈분, 우모분, 소맥분을 서로 다른 비율로 첨가한 9종류의 실험사료를 설계하여 제조하였다 (Table 2). 사료 2에서 5까지는 조피볼락 전어체의 아미노산 조성 (Table 3)과 타 어종을 대상으로 연구된 아미노산 요구량 (NRC, 1983, 1993) 등을 참고로 아미노산 균형을 고려하여 부족한 아미노산을 각각 첨가하여 설계하였다. 사료 6은 복합 효소제의 효과를 알아보기 위하여 사료 5의 조성에서 복합 효소제를 첨가하지 않았고, 사료 7은 합성 아미노산 첨가 효과를 검토하기 위해 사료 5의 조성에서 필수 아미노산인 Met과 Lys을 첨가하지 않았다. 그리고 사료 8과 9는 열처리한 대두박과 옥수수를 첨가하여 그 효과를 비교하였다. 모든 사료의 단백질 함량은 45% 전후가 되도록 조정하였고, 그 외는 Lee and Lee (1994a)의 연구 결과에 따라 조피볼락의 필수 영양소 요구량을 충족시켜 주었다. 사료원료 중 대두박과 콘글루텐 밀은 각각 0.25 mm와 0.5 mm screen이 부착된 분쇄기 (RETSCH GMBH 5657, Germany)로 분쇄한 후 사료에 첨가하였다.

사료비의 산정은 1994년도의 원료가격을 기준으로

Table 1. Proximate analysis and essential amino acids in dietary protein sources

	WFM ¹	MM ²	BM ³	FM ⁴	SM ⁵	CGM ⁶	WF ⁷	Yeast
Proximate analysis (% in dry matter)								
Crude protein	72.5	84.3	91.8	95.8	53.5	75.3	14.6	49.3
Crude lipid	5.5	7.4	2.7	0.0	1.3	2.9	0.0	0.0
Crude fibre	0.6	3.0	0.4	0.9	4.7	0.6	0.2	0.1
Crude ash	19.4	5.6	2.8	2.0	6.6	3.2	0.5	6.2
Amino acids (% in protein)								
Arg	7.1	8.3	4.3	6.7	7.8	2.9	3.9	5.1
His	1.7	1.2	3.3	1.3	1.9	1.3	1.9	1.9
Ile	3.7	2.2	0.3	3.9	3.7	2.7	2.9	3.9
Leu	8.1	6.1	14.5	8.2	8.1	16.1	7.0	7.7
Lys	4.9	3.2	6.1	1.6	4.1	1.1	1.7	4.0
Met	3.2	1.5	0.6	0.5	1.2	2.2	1.0	1.5
Cys	1.1	1.0	0.6	3.8	1.4	1.5	1.8	1.7
Phe	4.4	3.7	8.8	5.1	5.5	6.0	5.0	5.1
Tyr	3.5	2.1	2.7	2.2	3.3	4.9	1.9	3.6
Thr	4.9	3.3	5.1	5.0	4.4	3.2	3.0	5.2
Trp	1.6	0.3	1.0	0.4	0.6	0.3	0.4	0.6
Val	4.1	3.4	6.7	5.2	3.7	3.1	3.4	4.7

¹ White fish meal, produced by steam dry method. ² Meat meal. ³ Blood meal. ⁴ Feather meal.

⁵ Soybean meal. ⁶ Corn gluten meal. ⁷ Wheat flour.

하였고, vitamin과 mineral에 소요되는 가격과 사료제조 비용 및 보관 경비 등은 제외하였다.

실험어 및 사육관리

국립수산진흥원 완도수산종묘배양장에서 한 어미로부터 산출된 치어를 rotifer, artemia와 상품사료(넙치 치어용)로 사육하다가 부산광역시 양산군 기장읍에 위치한 국립수산진흥원으로 수송하여 2 ton FRP 사각 수조에 수용하여 냉동 생사료(전갱이)와 넙치용 상품분말사료를 1:1의 비율로 혼합한 moist pellet으로 예비사육하였다. 예비사육하다가 실험용으로 중간 크기의 건강한 어체를 선별하여 실험수조인 300l 원형수조에 70마리씩 수용하여 1개월간 수조와 실험사료(대조사료)에 순치시킨 후, 114g 전후의 조피블락을 300l 원형수조에 40마리씩 임의 배치하여 각 사료당 2반복으로 15주간 사육실험하였다. 약 5주 간격으로 실험어 전체 무게를 측정하였으며, 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였다. 먹이는 1일 1회

먹을 때까지 급여하였고, 주수량은 실험수조마다 5l/min로 조절하였으며, 사육기간 중의 수온변화는 11.0~19.5°C (14.1±1.12°C)였다. 분석용 어체는 실험 시작시 20마리, 실험 종료시 각수조에서 10마리씩 임의로 추출하여 일반성분 분석용으로 냉동보관(-30°C)하였다.

성분분석

사료 및 어체의 일반성분은 AOAC methods (1984)에 따라 조단백질(N×6.25)은 Automatic analyzer (Vapodest 5/6, Gerhardt)를 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether를 사용하여 추출하였으며, 수분은 105°C의 dry oven에서 4시간 동안 건조 후 함량값을 구해 측정하였다. 또한, 조섬유는 Automatic analyzer (Fibertec, Tecator)를 이용하였고, 조회분은 550°C의 회화로에서 4시간 동안 태운 후 정량하였다. Nitrogen-free extract (NFE)는 100-(조단백질+조지방+조섬유+조회분)의 식으로 계산하였다. 아미노산분석은 시료

Table 2. Composition (%) of the experimental diets

Ingredients	Diets no								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
White fish meal	52.0	33.3	26.0	30.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Soybean meal		5.0		5.0	5.0	5.0	5.0		
Extruded soybean meal								10.0	5.0
Corn gluten meal				7.5	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Meat meal		12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Blood meal			5.0	2.0	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Feather meal		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Extruded corn								20.0	10.0
Wheat flour	29.5	25.0	32.0	19.0	28.8	29.0	29.8	3.8	18.8
Yeast	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Squid liver oil	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
Vitamin premix ¹	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Mineral premix ²	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
Sodium alginate	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
L-Lysine HCl		0.5	0.4		0.4	0.4		0.4	0.4
L-Methionine		0.1	0.6	0.5	0.6	0.6		0.6	0.6
L-Tryptophan		0.1							
Enzyme mix ³	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.2	0.2	0.2
Proximate analysis (% in dry matter)									
Crude protein (%)	44.6	48.3	47.2	53.0	48.7	48.1	46.9	47.8	46.6
Crude lipid (%)	8.6	9.2	8.6	8.8	8.1	8.5	8.4	8.1	8.2
Crude fibre (%)	3.9	3.8	4.4	3.5	4.1	4.2	4.2	2.6	3.6
Crude ash (%)	13.1	11.2	10.0	10.9	9.8	9.8	9.9	10.0	9.8
N-free extract (%)	26.8	24.5	26.9	20.8	26.3	26.5	27.5	28.5	28.9
Cost per kg (won) ⁴	476	424	422	432	414	410	385	445	427

¹ Halver (1957). ² H-440 premix NO.5 (mineral) (NAS,1973).

³ Kemira Industries, Inc., Singapore.

⁴ Cost of ingredients except for prices of vitamin and mineral premixes based on price in 1994.

Table 3. Essential amino acids and A/E ratio* in the Korean rockfish whole body

	Essential amino acids (% in protein)	A/E ratio ¹
Arg	5.6	121
His	2.0	44
Ile	4.0	88
Leu	6.7	147
Lys	9.2	201
Met + Cys	3.2	69
Phe + Tyr	5.9	128
Thr	3.6	77
Trp	1.2	27
Val	4.6	99

* (Each essential amino acid / total essential amino acid including cys and tyr) × 1000.

를 6N HCl로 110°C sand bath 상에서 24시간 가수분해시켰다. 가수분해된 시료는 감압농축하여 pH 2.20 Na-citrate buffer로써 정용하여, HITACHI Resin #26 19 컬럼 (2.6×150 mm)을 쓰는 HITACHI Model 835-50 아미노산 자동분석기로 분석하였다.

통계처리

결과는 SPSS for Window (SPSS Inc., 1993) program으로 ANOVA-test를 실시하여 Duncan's multiple range test (Duncan, 1955)로 처리 평균간의 유의성을 검정하였다.

결과 및 고찰

15주간의 사육실험한 결과, 증체율과 사료효율 (Fig. 1)은 사료 1~7구가 사료 8~9구보다 대체로 높은 경향을 보였다. 증체율은 사료 9가 대조구보다 유의적으로 낮았고, 사료효율에서는 사료 8과 9가 대조구보다 유의하게 낮은 값을 보여 (P<0.05), 열처리한 대두박과 옥수수의 첨가 효과가 낮음을 알 수 있었다. 지질 축적효율 (Fig. 2)은 사료 3이 가장 높았고, 사료 9가 가장 낮았지만, 단백질 축적효율은 통계적으로 사료간에 특별한 차이를 보이지 않았다. 전어체의 단백질 및 회분 함량 (Table 4)은 사료간에 유의차가 없었으나 (P>0.05), 지질 함량은 사료 9가 사료 1, 3, 4, 6, 8보다 낮은 값을 보였다 (P<0.05). 또한, 아미노산 및 복합효소제의 첨가 효과를 조사하기 위해 설계된 사료 6과 7은 성장효과 및 체성분 변화에 있어 사료 5와 유의차없이 (P>0.05) 비슷한 수준을 유지하였다.

위와 같이 조피블락의 평균체중이 100g 이상일 경우에는 사료에 대두박, 콘글루텐 밀, 육분, 혈분, 우모분, 소맥분을 적절히 첨가하면 복합어분을 50% 정도까지 대체 가능할 것으로 나타나 육성용 사료의 단가를 낮출 수 있을 것으로 판단된다. 열처리한 대두박과 옥수수 첨가구의 성장효과가 낮아진 것으로 보아 대두박이나 옥수수를 열처리하는 것은 조피블락용 사료로서의 효과가 없을 것으로 판단되고, 열 처리에 소요되는 경비부담으로 사료단가만 상승시키는 요인이 될 것으로 보인다.

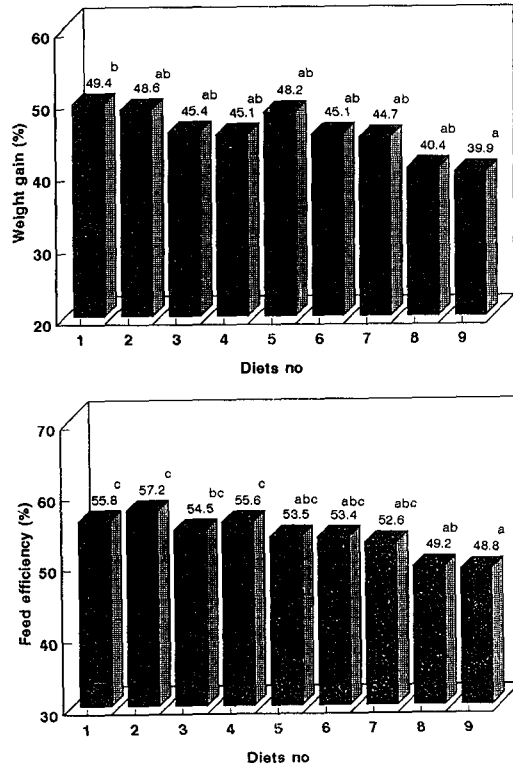


Fig. 1. Weight gain and feed efficiency of fish fed the experimental diets. Values with different superscripts are significantly different (P<0.05).

이미 언급한 것처럼 어분은 어류사료에 가장 많이 첨가되는 양질의 단백질원이지만 가격이 비싸고 공급이 불안정한 문제가 잠재되어 있기 때문에 사료원가를 낮추기 위해서는 어분을 대체할 수 있는 대체 단백원을 개발하는 연구가 우선적으로 수행되어야 한다. 대체 단백질원으로 여러 가지가 있지만, 대상 어종마다 그 이용성이 다르기 때문에 각각의 이용성을 평가하여야 한다. 이 중에서 대두박은 단백질 함량과 아미노산 조성 등 영양성분이 비교적 잘 갖추어져 있을 뿐 아니라 (NRC, 1983, 1993), 가격이 싸고 공급이 안정적이기 때문에 어분 대체 단백질원으로 가장 많이 연구되고 있는데, 대두박 이용성에 관해서는 킬라피아 (Jackson et al., 1982; Viola et al., 1988; Wee and Shu, 1989), 잉어 (Dabrowski and Kozak, 1979; Murai et al., 1986, 1989; Viola et al., 1983), 송어 (Smith, 1988) 및 메기 (Robinson et al, 1985; Wilson and Poe, 1985)

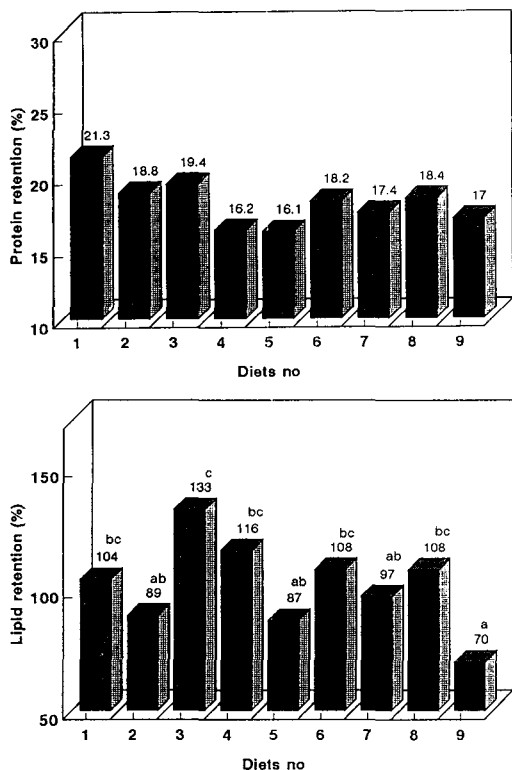


Fig. 2. Protein and lipid retention of the fish fed the experimental diets. Values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

등의 담수어에 대해서 주로 연구되어 있다. 최근에 해산어인 방어에 대해서도 Lee et al. (1991) 및 Shimeno et al. (1993a,b)이 대두박 이용성에 대해서 연구한 결과 30%까지 첨가하여 어분을 약 20%까지 대체 가능한 것으로 보고하였다. 조피볼락 치어의 경우 (Lee et al, 1996b)는 대두박 10% 이상 첨가 실험구에서부터 성장효과가 떨어지고 있어 타 어종과는

달리 조피볼락 치어는 대두박의 이용성이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이는 Met과 같은 대두박에 부족한 필수아미노산이나 영양저해인자, 기호성, 소화율 등이 문제점으로 지적되고 있다. 또한, Lee and Jeon (1996 a)은 조피볼락 (평균체중: 실험 개시시 23 g, 실험 종료시 60 g)의 대두박 이용성을 조사한 결과, 어체의 크기에 따라서도 이용성이 달라져 어체크기가 커짐에 따라 대두박을 20%까지 사료에 첨가 가능한 것으로 보고하였다. 콘글루텐 밀은 조단백질 함량이 70% 정도로 다른 식물성 단백질보다 높지만, 아미노산 조성을 살펴보면, Lys 함량이 낮고, Met과 Cys 함량이 다른 식물성 단백질보다 높아서 다른 원료와 잘 혼합하여 사용하면 좋은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 조피볼락 치어의 경우 (Lee et al., 1996b), 콘글루텐 밀 15% 첨가 실험구에서도 성장효과가 저하되지 않았다. 본 실험에 사용된 육분은 단백질 함량이 80% 정도로 매우 높지만, 어분에 비해 Met+Cys, Lys 및 Trp이 상대적으로 낮은 편이다. 이러한 육분은 육골분에 비해 그 생산량이 매우 적어서, 가축용으로는 주로 육골분이 사용되고 있으며, 조피볼락 사료에 10%까지 단독으로 첨가하여도 문제가 없는 것으로 Lee et al. (1996b)이 발표하였다. 혈분은 단백질 함량이 90% 이상이고, Lys, Leu 및 val의 함량이 높아 다른 원료와 혼합하여 사용하는 것도 좋을 것으로 생각된다. 하지만 Ile, Ca 및 P의 함량이 매우 낮으며, 소화율이 다른 동물성에 비해 낮고 가격이 비싼 편이다. Lee et al. (1996b)은 조피볼락 사료에 혈분을 단독으로 10%까지 무난히 첨가할 수 있을 것으로 판단하였다. 또한, 우모분의 조단백질 함량은 90% 정도로 매우 높은 편이나, Met, Lys 및 Trp의 함량이 낮고, 조피볼락 사료의 단백질원으로 10%까지 첨가하여도 좋을 것으로

Table 4. Chemical composition (%) of whole body¹

	Initial	Diets no									SEM ²
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Moisture	72.3	64.6 ^a	65.8 ^{ab}	66.1 ^{abc}	66.6 ^{abc}	67.0 ^{bc}	65.2 ^{ab}	65.4 ^{ab}	65.2 ^{ab}	68.1 ^c	0.63
Crude protein	16.4	17.2	16.7	16.8	16.5	16.3	17.0	16.7	17.5	16.8	0.44
Crude lipid	6.3	11.4 ^{bc}	10.8 ^{ab}	12.9 ^c	12.0 ^{bc}	10.4 ^{ab}	11.5 ^{bc}	11.1 ^{ab}	11.8 ^{bc}	9.6 ^a	0.48
Crude ash	4.2	4.6	4.6	5.3	4.5	5.1	5.5	4.3	4.7	5.2	0.67

¹ Values in same row having the different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

² Standard error of the mean.

연구 (미 발표)되어 있다.

Lee et al. (1996b)과 Lee and Jeon (1996a)은 이와 같은 단백질들을 각각 단독으로 사료에 첨가하는 것 보다는 혼합 첨가하는 것이 어분을 더 효과적으로 대체할 수 있다고 지적하였다. 이는 각 단백질에 여러 가지의 영양성분, 즉, 필수아미노산, 미네랄, 비타민 등이 부족하거나 영양저해인자가 함유되어 있기도 하고, 반대로 어떤 단백질에는 다른 대체 단백질에 부족한 영양소가 충분히 함유되어 있기 때문에 (NRC, 1983, 1993), 이러한 점들을 고려하여 단백질원을 적절히 혼합 첨가함으로써 상호 보완적인 효과를 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 본 실험에서는 위와 같은 식물성 및 동물성 대체 단백질의 이용성 구명에

이어서, 이들의 결과를 토대로 각종 원료를 혼합하여 성장이 좋고, 가격이 싼 경제적인 조피블락용 배합사료를 개발하기 위해 실험사료를 설계하고 사육실험하였다. 사료에 대체 단백질을 첨가함에 따라 부족한 아미노산으로 인해 어류의 성장이 저해되는데 (Covey et al., 1971; Dabrowski and Kozak, 1979; Jackson et al., 1982), 대두박으로 사료의 어분을 대체할 때 어분의 아미노산 조성에 비해 대두박에 특히 부족한 Met을 보충하는 것이 성장효과를 개선시키는데 아주 중요하다 보고되어 있다 (Murai et al., 1982a, 1986, 1989). 하지만, Lee and Jeon (1996a)은 조피블락을 대상으로 한 실험에서 대두박 첨가사료에 아미노산 보충효과는 없었다고 보고하였으며, 이 외에도 아미

Table 5. Essential amino acids and A/E ratio* in the experimental diets

	Diets no								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Amino acids (% in protein)								
Arg	6.8	7.2	6.7	6.6	6.8	6.8	6.7	5.9	6.2
His	1.7	1.6	1.8	1.6	1.8	1.8	1.8	1.6	1.7
Ile	3.6	3.2	2.8	3.0	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Leu	8.0	7.5	8.2	8.8	8.2	8.2	8.2	10.6	9.6
Lys	4.6	4.6	4.6	3.8	4.5	4.5	4.1	3.8	4.1
Met+Cys	4.1	3.7	3.9	4.0	3.8	3.8	3.2	3.9	3.9
Phe+Tyr	7.8	7.3	7.6	7.9	7.7	7.7	7.7	8.7	8.3
Thr	4.7	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.0	4.1
Trp	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.9
Val	4.0	3.8	4.1	3.8	4.1	4.1	4.1	3.8	3.9
Total	46.7	44.4	44.9	44.8	44.9	44.9	43.9	46.1	45.5
	A/E ratio*								
Arg	144	161	149	147	151	151	154	128	137
His	37	36	40	36	39	39	40	35	37
Ile	77	73	62	68	63	63	65	62	62
Leu	171	169	182	198	183	183	188	229	211
Lys	97	104	102	85	100	100	93	83	90
Met+Cys	89	83	86	89	85	85	73	86	86
Phe+Tyr	167	165	170	177	172	172	176	190	182
Thr	100	96	95	93	94	94	96	87	90
Trp	31	27	23	22	22	22	22	17	19
Val	86	86	92	86	91	91	93	83	86

* (Each essential amino acid / total essential amino acid including Cys and Tyr)+1000.

Table 6. Correlation coefficients between EAA index and performance of Korean rockfish

Dietary EAA index	Performance		
	Weight gain	Feed efficiency	Protein retention
EAAI*	P=0.001, R=0.7	P=0.001, R=0.7	P=0.1, R=0.4
EAA/ 100 g protein	P=0.8, R=-0.07	P=0.4, R=-0.2	P=0.1, R=0.4

* Murai et al. (1986). P: probability, R: correlation coefficient.

노산을 인위로 사료에 부족한 양만큼 보충하여도 성장 개선 효과가 없었다는 연구 결과도 있다 (Andrew and Page, 1974; Lee et al., 1991; Lim and Dominy, 1989).

본 실험에서도 사료 5와 같은 조성에서 아미노산을 보충하지 않은 사료 7의 성장, 사료효율, 단백질축적율 등은 사료 5와 유의차가 없어 아미노산 보충 효과는 전혀 없는 것으로 나타났다.

어종이나 연구자에 따른 아미노산 첨가효과는 여러 측면에서 고려되고 있다. 잉어에 있어 합성된 아미노산은 장에서 단백질을 구성하는 아미노산보다 흡수가 빠르고 (Plakas et al., 1980; Murai et al., 1982b), 흡수된 아미노산의 일부는 뇨 (urine)로 배설된다고 보고되어 있어 (Murai et al., 1984), 과다한 아미노산의 첨가는 경제적인 손실 뿐 아니라, 역효과가 초래될 (Benevenga and Steel, 1984; Murai et al., 1989; Nose, 1974) 것으로 판단된다. 더욱이 조피볼락의 경우는 아미노산 요구량이 구명되어 있지 않기 때문에 이에 대한 연구가 계속 수행되어야 할 것으로 보인다.

앞에서 지적했던 바와 같이 사료 단백질은 사료의 아미노산 함량보다는 A/E ratio (필수아미노산 비)를 지표로하여 평가되기도 하는데, 본 실험에서 사료의 필수아미노산과 A/E ratio를 Table 5에 표시하였고, 성장 결과들과 이러한 지표와의 상관관계를 구해 Table 6에 나타내었다. EAAI (필수아미노산 지표)와 증체율 및 사료효율은 매우 높은 상관도가 있는 것으로 나타난 반면, 단백질축적율은 특별한 상관관계가 없었다. 또한, 증체율, 사료효율 및 단백질축적율은 사료 단백질의 필수아미노산 함량과 특별한 상관 관계가 인정되지 않았다. 따라서 조피볼락도 사료의 아미노산 함량보다는 A/E ratio가 성장이나 사료효율에 영향을 미치는 것으로 보이며, 이미 언급한 여러 학자들의 주장과 일치하고 있다. 하지만 Murai et al.

(1986)은 잉어의 경우, 합성 아미노산을 사료에 첨가하여 EAAI로 사료 단백질을 평가하기에는 다소 부적당한 면이 있다고 하였다.

위의 결과들로부터 조피볼락의 경우, 값싼 식물성 및 동물성 원료를 적절히 혼합 첨가하여 사료의 필수 아미노산 균형이 잘 갖추어지면 북양어분을 약 50% 까지 대체하는 것이 가능 할 것으로 판단된다. 단지, 실용화 단계에서 고려되어야 할 것은 배합사료에 첨가되는 비타민과 미네랄 혼합물의 적정 첨가비와 량이다. Lee and Kim (1996)은 어분 첨가사료에 4종류의 비타민 혼합물을 평가한 연구에서 본 실험의 실험 사료에 첨가된 수준과 비슷한 비타민 혼합물인 pre-mix-1 첨가 사료가 가장 좋은 성장 결과를 보였는데, 이 수준의 비타민 혼합물을 실용 배합사료에 첨가하기에는 경제적인 면에서 아직 많은 연구가 필요한 실정이다.

어체 (습중) 1 kg 생산하는데 소요되는 사료비를 계산하여 본 결과 (Fig. 3), 사료 2와 7이 732~746원으로 가장 낮았고, 사료 8과 9가 875~905원으로 가장 높았다. 대조사료인 1은 853원이었고, 사료 3~6은

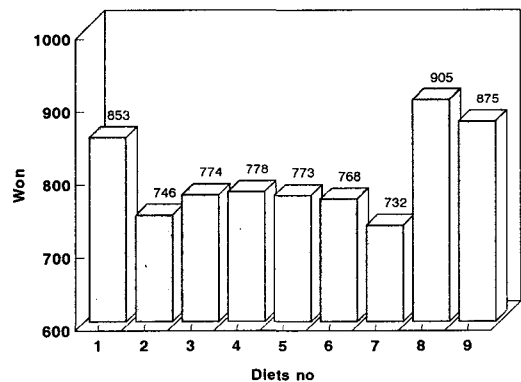


Fig. 3. Feed cost to kg fish gain of Korean rockfish fed the experimental diets.

768~778원 사이로 비슷한 결과를 보였다. 따라서 경제적인 형태로 설계된 배합사료를 공급할 경우, 대조구에 비해 15% 정도의 생산비를 절감할 수 있을 것으로 판단된다. 본 실험에서 생산단가의 계산은 실험사료의 비타민과 미네랄 혼합물에 소요되는 비용과 사료제조 비용을 포함시키지 않았기 때문에 사료원가가 다소 높아질 것으로 예상된다. 또한, 최근에 생사료 자원의 부족으로 생사료의 공급 가격은 급등하고 있기 때문에 양어가들은 효율적인 양식 경영을 위해서 이와 같은 여러 가지 면을 고려하여 사료공급을 체계적이고 합리적으로 실시하여야 하며, 사료업계에서도 항상 일정한 품질의 사료를 공급하는 것이 중요한 것으로 생각된다. 이와 같은 결과들과 개발된 사료의 급여체계 등이 확립되면, 본 실험에서 성적이 좋았던 실험사료들은 상품사료로서 손색이 없을 것으로 생각되며, 연구를 계속하여 개발된 사료의 질을 향상시켜 성장효과를 높이는 한편, 저 오염 사료가 되도록 계속 노력해야 할 것이다.

요 약

여러 종류의 단백질 원료를 혼합하여 성장이 좋고, 가격이 싼 경제적인 조피볼락용 배합사료를 개발하기 위해 실험사료의 효과를 사육실험과 사료 및 어체의 성분 분석을 통해 조사하였다. 북양어분 사료를 대조구(사료 1)로 하고 사료 원료의 아미노산 조성을 고려하면서 대두박, 콘글루텐 밀, 육분, 혈분, 우모분, 소맥분을 서로 다른 비율로 첨가한 9종류의 실험사료를 설계하여 제조하였다. 사료 2에서 5까지는 조피볼락 전어체의 아미노산 조성, 타 어종을 대상으로 연구된 아미노산 요구량 등을 참고로 아미노산 균형을 고려하여 설계하였다. 사료 6은 복합 효소제의 효과를 알아보기 위하여 사료 5의 조성에서 복합 효소제를 첨가하지 않았고, 사료 7은 합성 아미노산 첨가 효과를 검토하기 위해 사료 5의 조성에서 아미노산을 첨가하지 않았다. 그리고 사료 8과 9는 열처리한 대두박과 옥수수를 첨가하여 그 효과를 비교하였다. 114g 전후의 조피볼락을 사료당 2반복으로 15주간 사육실험한 결과, 증체율과 사료효율에서 사료 2~7구가 대조구와 유의차없이 ($P>0.05$) 좋은 것으로 나타났으며, 사료

5의 조성에서 합성 아미노산이나 복합효소제를 첨가하지 않아도 성장차이는 없었다. 어체 1kg 생산하는데 소요되는 사료단가를 계산하여 본 결과, 대조사료는 853원이었고, 사료 2와 7이 732~746원으로 낮았으며, 사료 8과 9가 875~905원으로 높았다. 위의 결과로부터 어체크기가 100g 이상일 경우의 사료에 대두박, 콘글루텐 밀, 육분, 혈분, 우모분, 소맥분을 적절히 첨가하면 북양어분을 50% 정도까지 대체 가능할 것으로 판단되어 육성용 사료의 단가를 낮출 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Andrews, J.W. and J.W. Page. 1974. Growth factors in the fishmeal component of catfish diets. *J. Nutr.*, 104, 1091~1096.
- AOAC. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemicals, 14th edition. Arlington. AV. 1141 pp.
- Arai, S. 1981. A purified test diet for coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, fry. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 47 (4), 547~550.
- Benevenga, N.J. and R.D. Steele. 1984. Adverse effects of excessive consumption of amino acids. *Annu. Rev. Nutr.*, 4, 157~181.
- Cowey, C.B., J.A. Pope, J.W. Adron and A. Blair. 1971. Studies on the nutrition of marine flatfish. Growth of the plaice *Pleuronectes platessa* on diets containing proteins derived from plants and other sources. *Mar. Biol.*, 10, 145~153.
- Dabrowski, K. and B. Kozak. 1979. The use of fish meal and soybean meal as a protein source in the diet of grass carp fry. *Aquaculture*, 18, 107~114.
- Delong, D.C., J.E. Halver and E.T. Mertz. 1958. Nutrition of salmonoid fishes VI. Protein requirements of chinook salmon at two water temperatures. *J. Nutr.*, 65 (4), 589~599.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics*, 11, 1~42.

- Gatlin, D.M. III. 1987. Whole-body amino acid composition and comparative aspects of amino acid nutrition of the goldfish, golden shiner and fathead minnow. *Aquaculture*, 60, 223~229.
- Halver, J. E. 1957. Nutrition of salmonoid fishes III. Water-soluble vitamin requirements of chinook salmon. *J. Nutr.*, 62, 225~243.
- Jackson, A.J., B.S. Capper and A.J. Matty. 1982. Evaluation of some plant proteins in complete diets for the tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture*, 27, 97~109.
- Ketola, H.G. 1982. Amino acid nutrition of fishes: requirements and supplementation of diets. *Comp. Biochem. Physiol. B*, 73, 17~24.
- Kim, I. B. 1994. Present status of fish culture and fish feed supply in Korea. Proceedings of FOID, '94 The Third International Conference on Fisheries and Ocean Industrial Development for Productivity Enhancement of the Coastal Waters. pp. 21~43.
- Klein, R.G. and J.E. Halver. 1970. Nutrition of salmonoid fishes. Arginine and histidine requirements of chinook and coho salmon. *J. Nutr.*, 1105~1109.
- Lee, S.M., Y.J. Kang and J.Y. Lee. 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 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I.B. Kim. 1993a. Protein requirements of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Aquacult.*, 6, 13~27 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y., Y. J. Kang, S. M. Lee and I. B. Kim. 1993b. Optimum digestible energy to protein ratio in diets for the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Korean J. Aquacult.*, 6, 29~46 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. M., J. Y. Lee, Y.J. Kang, H. D. Yoon and S. B. Hur. 1993c. n-3 highly unsaturated fatty acid requirement of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull. Korean Fish. Soc.*, 26, 477~492 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993d. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* I. growth and body composition. *Korean J. Aquacult.*, 6 (2), 89~105 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., J.Y. Lee, Y.J. Kang and S.B. Hur, 1993e. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* II. changes of blood chemistry and properties of liver cells. *Korean J. Aquacult.*, 6 (2), 107~123 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., J.Y. Lee and Y.J. Kang 1993f. Effects of dietary n-3 highly unsaturated fatty acids and water temperatures on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 48, 107~124 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., Y.J. Kang, S.M. Lee and Y.J. Park. 1993g. Evaluation of protein source for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) test diets. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 48, 97~105 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M. and S.B. Hur, 1993. Effects of n-3 highly unsaturated fatty acids on growth and biochemical changes in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* III. changes of body composition with starvation. *Korean J. Aquacult.*, 6 (3), 199~211 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., 1994. Effects of dietary beef tallow, soybean oil and squid liver oil on growth and body composition of the Korean rockfish *Sebastes schlegeli* and biochemical changes with starvation. *Korean J. Aquacult.*, 7, 63~67 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y. and S. M. Lee. 1994a. Nutritional studies and feed development for Korea rockfish (*Sebastes schlegeli*). Proceedings of FOID, '94

- The Third International Conference on Fisheries and Ocean Industrial Development for Productivity Enhancement of the Coastal Waters. pp. 75~92.
- Lee, S. M., and J. Y. Lee 1994b. Effects of dietary α -cellulose levels on the growth, feed efficiency and body compositions of Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Korean J. Aquacult., 7, 97~107 (in Korean with English abstract).
- Lee, S. M., J. Y. Lee and S. B. Hur. 1994. Essentiality of dietary EPA (eicosapentaenoic acid) and DHA (docosahexaenoic acid), and importance of dietary EPA/DHA ratio in the Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. Bull. Korean Fish. Soc., 26, 477~492.
- Lee, S.M., J.Y. Lee and Y.J. Kang 1995a. Influences of dietary soybean oil and squid liver oil on chemical compositions of adult Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency, 49, 81~89 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., J.Y. Lee and I.G. Jeon. 1995b. Growth pattern of Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) from the indoor culture system. Korean J. Aquacult., 8, 221~229 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.Y., S.M. Lee and I.G. Jeon. 1995c. Effects of a practical Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) diet; comparison with raw fish and moist pellet diet. Korean J. Aquacult., 8, 261~269 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., I.G. Jeon and J.Y. Lee. 1996a. Comparison of various fish meals as dietary protein sources for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 29, 135~142 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., J.H. Yoo and J.Y. Lee. 1996b. 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 (1), 21~30.
- Lee, S.M. and J.H. Yoo. 1996. Evaluation of cotton seed meal or rapeseed meal as a partial substitute for fish meal in formulated diets for Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Kor. J. Anim. Nutr. Feed., 20, 128~135 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M. and I.G. Jeon 1996a. Evaluation of soybean meal as a partial substitute for fish meal in formulated diets for Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Korean Fish. Soc., 29, 586~594.
- Lee, S.M. and I.G. Jeon. 1996b. Evaluation of dry pellet on growth of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*) by comparing with moist pellet and raw fish-based moist pellet. Korean J. Aquacult., 9 (3), 247~254.
- Lee, S.M. 1996. Evaluation of the nutrient digestibilities by different fecal collection methods in juvenile and adult Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). J. Korean Fish. Soc., 29, in press.
- Lee, S.M. and S.M Kim. 1996. Evaluation of supplemental vitamin premix in a test diet containing fish meal as protein source for juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegeli*). Korean J. Aquacult., 9, 159~166 (in Korean with English abstract).
- Lim, C. and W. Dominy. 1989. Utilization of plant proteins by warmwater fish. American soybean association, 541 Orchard Road #11~03 Liat Towers, Singapore 0923, 12pp.
- Murai, T., H. Ogata, and T. Nose. 1982a. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 48, 85~88.
- Murai, T., T. Akiyama., H. Ogata., Y. Hirasawa and T. Nose. 1982b. Effect of coating amino acids with casein supplemented to gelatin diet on plasma free amino acids of carp. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 48, 703~710.
- Murai, T., H. Ogata, T. Takeuchi, T. Watanabe and

- T. Nose. 1984. Composition of free amino acids in excretion of carp fed amino acid diets and casein-gelatin diets. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, 50, 1957.
- Murai, T., H. Ogata, P. Kosutarak and S. Arai. 1986. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour by fingerling carp. *Aquaculture*, 56, 197~206.
- Murai, T., Wang Daozun and H. Ogata. 1989. Supplementation of methionine to soy flour diets for fingerling carp, *Cyprinus carpio*. *Aquaculture*, 77, 373~385.
- N.A.S. (National Academy of Sciences). 1973. Nutrient requirements of trout, salmon and catfish. N.A.S., Washington, D.C., p. 50.
- Nose, T. 1974. Effects of amino acids supplemented to petroleum yeast on growth of rainbow trout fingerlings. II. Methionine and cystine. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.*, 24 (2), 101~109.
- NRC (National Research Council). 1983. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes and Shellfishes. National Acad. Press, Washington, D.C. 102 pp.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Acad. Press, Washington, D.C. 114 pp.
- Ogata, H., S. Arai and T. Nose. 1983. Growth responses of cherry salmon (*Oncorhynchus masou*) and amago salmon (*O. rhodurus*) fry fed purified casein diets supplemented with amino acids. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 49, 1381~1385.
- Plakas, S.M., T. Katayama, Y. Tanaka and O. Deshimaru. 1980. Changes in the levels of circulating free amino acids of carp (*Cyprinus carpio*) after feeding a protein and amino acid diet of similar composition. *Aquaculture*, 21, 307~322.
- Robinson, E.H., J.K. Muler and V.M. Vergara. 1985. Evaluation of dry extrusion cooked protein mixes as replacements for soybean meal and fish meal in catfish diets. *Prog. Fish. Cult.*, 47 (2), 102~109.
- Shimeno, S., T. Mima, O. Yamamoto, and Y. Ando. 1993a. Effects of fermented defatted soybean meal in diet on the growth, feed conversion, and body composition of juvenile yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (11), 1883~1888.
- Shimeno, S., T. Mima, T. Imanaga and K. Tomaru. 1993b. Inclusion of combination of defatted soybean meal, meat meal and corn gluten meal to yellowtail diet. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 (11), 1889~1895.
- Smith, R.R. 1988. Soybeans and wheat flour byproducts in trout feeds. American soybean association, 541 Orchard Road #11~03 Liat Towers, Singapore 0923, 8pp.
- SPSS for Window. 1993. Base System User's Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 444N. Michigan Avenue, Chicago, IL, 60611.
- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli. 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 32, 27~28.
- Viola, S., S. Mokady and Y. Arieli. 1988. Animal protein-free feeds for hybrid tilapia (*O. niloticus* × *O. aureus*) in intensive culture. *Aquaculture*, 75, 115~125.
- Wee, K.L. and S.W. Shu. 1989. The nutritive value of boiled full-fat soybean in pelleted feed for Nile tilapia. *Aquaculture*, 81, 303~312.
- Wilson, R.P., D.E. Harding and D.L. Garling. 1977. Effect on dietary pH on amino acid utilization and the lysine requirement of fingerling channel catfish. *J. Nutr.*, 107, 166~170.
- Wilson, R.P. and W.E. Poe. 1985. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture*, 46, 19~25.

1996년 4월 25일 접수

1996년 9월 3일 수리