



치어기 틸라피아에 있어 사료내 어분 대체원으로서 라이신 부산물의 첨가효과

김강웅 · 이진영 · 배승철* · 이희석¹⁾

부경대학교 양식학과/사료영양연구소 · ¹⁾한국바스프 주식회사

Effects of Dietary Supplementation of Lysine Cell Mass as a Fish Meal Replacer in Juvenile Nile Tilapia

K. W. Kim, J. Y. Lee, S. C. Bai* and H. S. Lee¹⁾

Department of Aquaculture/Feeds & Foods Nutrition Research Center, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

¹⁾BASF Company Ltd. 11th Floor, The Korea Chamber of Commerce & Industry Building, 45, 4-ka,
Nandaemun-Ro Chung-Ku, Seoul 100-743, Korea

To replace fish meal (FM) in the diet of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, different levels of lysine cell mass (LCM) were added to diet on protein equivalent base. Fish averaging 3.0 g fed one of nine diets containing isonitrogenous and isocaloric basis of 35% crude protein and 15.3kJ available energy/g diet: LCM₀, 100% FM; LCM₁₀, 90% FM + 10% LCM; LCM₂₀, 80% FM + 20% LCM; LCM₃₀, 70% FM + 30% LCM; LCM₄₀, 60% FM + 40% LCM; LCM_{30l}, 70% FM + 30% LCM + lysine; LCM_{30ln}, 70% FM + 30% LCM + lysine + NaOH; LCM_{40la}, 60% FM + 40% LCM + lysine + arginine; LCM_{40lan}, 60% FM + 40% LCM + lysine + arginine + NaOH. After 8 weeks of feeding trial, there were no significant differences in weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) among fish fed LCM₀ (control diet), LCM₁₀, LCM₃₀, LCM₄₀, LCM_{30l}, LCM_{30ln}, LCM_{40la} and LCM_{40lan} diets (P>0.05), while fishes fed LCM₂₀ diet were significantly higher than those fed LCM₀, LCM₃₀, LCM₄₀, LCM_{40la} and LCM_{40lan} diets (P<0.05). There were no significant differences in feed efficiency (FE) and protein efficiency ratio (PER) among fish fed control diet, LCM₁₀, LCM₂₀, LCM_{30ln}, LCM_{40la} and LCM_{40lan} diets (P>0.05), while fishes fed control diet were significantly higher than those fed LCM₃₀, LCM₄₀ and LCM_{40l} diets (P<0.05). Positive effects were not shown in WG and SGR with supplementation of amino acids (lysine & arginine) and neutralization, while FE and PER from fish fed LCM_{40la} and LCM_{40lan} diets were significantly higher than those fed LCM₃₀, LCM₄₀ and LCM_{30l} diets (P<0.05). Hence, LCM can replace FM up to 40%, and dietary supplementation and neutralization of amino acids showed positive effects, when FE and PER were considered in juvenile tilapia diet.

Key words: Lysine cell mass (LCM), Fish meal replacer, Nile tilapia

서론

최근 전세계적인 수산물 어획량의 정체현상은 세계 인

구의 자연적 증가에 따른 수산식품의 수요 증가를 충족시키기 위하여 양식산업 전반에 걸쳐 급진적 발전을 요구하고 있다. 특히, 양식산업에 있어서 양어사료는 양식생산비

*Corresponding author : scbai@mail.pknu.ac.kr

의 50~70%를 차지하고 있으며, 여러 사료원료들 중 단백질 원은 양어사료에서 가장 중요하기 때문에 생산비용을 절감시키기 위해 많은 연구들이 수행되었다. 전세계적으로 양어용 사료원 중 어분의 수요는 계속해서 늘어날 전망이다 반면에 어분 생산량은 증가율이 둔화되어 어분의 안정적 공급은 물론 가격 상승으로 인한 경제성이 위협을 받을 수 있다(Rumsey, 1994; Bai et al., 1999). 어분은 양어사료의 주단백질원으로 어종별로 상이하나, 국내 양어사료 생산업체에서는 사료원료의 20~30%를 어분이 차지하고 있는 실정이다. 그러므로, 양어사료에서 어분을 다른 단백질원으로 대체하는 시도는 여러 연구자들에 의해 연구되어져 왔으며, 이전의 어분대체 연구에서 어분의 상당 부분을 대체할 수 있는 것으로 보고되었다(Luzier and Summerfelt, 1995; Belal and Assem, 1995; Rodríguez-Serna et al., 1996; Lee and Bai, 1997; Kim et al., 2000).

본 연구에 사용된 라이신 부산물(lysine cell mass)은 라이신을 생산하기 위한 발효공정에 사용되는 균체를 분리·멸균·건조한 단세포 단백질로서 대부분 천연 탄화수소 기질 또는 유기폐기물을 바탕으로 효모나 미생물에 의해 추출된다. 이것은 양어 사료원의 주 단백질원인 어분의 조단백질 함량과 비교하여 큰 차이가 없으므로 어분 대체 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료되며, 몇몇의 어종들에 대해서도 어분의 일부를 대체하는 실험이 여러 연구자들에 의해 이뤄지기도 하였다(Matty and Smith 1978; Mahnken et al. 1980; Kaushik and Luquet, 1980; Davies and Wareham, 1988). 또한, 경제적인 측면에 있어서도 라이신 부산물의 가격은 1kg당 250원 정도이고, 어분의 가격은 1kg당 1,300원에 달하기 때문에(한국단미사료협회, 2001) 라이신 부산물로서 어분대체가 가능하다면 양식산업에 큰 이익을 기대할 수 있을 것이다.

따라서, 이 연구의 목적은 치어기 틸라피아 사료내 어분 대체 단백질원으로서 라이신 부산물을 평가하고 사료내 어분 대체 수준을 결정하는데 있다.

재료 및 방법

1. 실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 실험사료 조성 및 일반성분은 Table 1에 나타내었으며, 라이신 부산물(lysine cell mass, LCM)과 어분(Fish meal, FM)의 일반성분과 필수아미노산 조성은 Table 2에 나타내었다. 주 단백질원으로 어분과 라이신

부산물을 사용하였고, 탄수화물원으로 밀가루(wheat meal)를, 지질원으로 어유(fish oil)를 사용하였다. 또한 소화율을 측정하기 위해 각각의 사료에 0.5% 산화크롬(Cr_2O_3)을 첨가하였다. 라이신 부산물은 어분의 조단백질 함량을 기준으로 어분단백질의 10%, 20%, 30%, 40%수준으로 각각 대체하였으며, 라이신(lysine)과 아르지닌(arginine)의 첨가효과를 알아보기 위해서 어분과 비교하여 부족한 양만큼 첨가시켜 주었고, 라이신 첨가효과에 따르는 사료내 중화효과(pH)를 알아보기 위해 대조구와 동일한 수준으로 조절하여 수산화나트륨(NaOH)을 첨가하였다. 각 사료구는 조단백질 함량을 35%, 가용성 에너지는 15.3 kJ/g으로 동일하게 맞추어 총 9개의 실험사료를 제조하였고, 사료구의 조성을 요약하면 다음과 같다; LCM₀, 100% Fish meal (FM); LCM₁₀, 90% FM+10% lysine cell mass (LCM); LCM₂₀, 80% FM+20% LCM; LCM₃₀, 70% FM + 30% LCM; LCM₄₀, 60% FM+40% LCM; LCM_{30l}, 70% FM+30% LCM+lysine; LCM_{30ln}, 70% FM+30% LCM + lysine + NaOH; LCM_{40la}, 60% FM+40% LCM+lysine + arginine; LCM_{40lan}, 60% FM+40% LCM+lysine + arginine + NaOH.

2. 실험어 및 사육조건

실험어는 평균 $3.0 \pm 0.05g$ (Mean \pm SD)의 틸라피아 (*Oreochromis niloticus*) 치어를 사용하였다. 틸라피아 치어용 상품사료를 1주간 공급하면서 예비사육 하였으며, 총 실험기간은 8주간 실시하였다. 예비사육 후 부경대학교 부속어장의 비닐하우스 사육동내 120 l ($60 \times 47 \times 40cm$) 짜리 콘크리트 수조에 각 사료구당 40마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 실험 기간동안의 용존 산소는 $5.6 \pm 1.41ppm$ 이었고 수온범위는 $25.5 \pm 1.25^\circ C$ 로 자연수온에 의존하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 4~8%(건물량 기준)로 하였고 1일 3~4회 공급하였다.

3. 어체 측정 및 성분 분석

실험종료후, 증체율(Weight gain, WG), 사료효율(Feed efficiency, FE), 일간성장률(Specific growth rate, SGR), 단백질전환효율(Protein efficiency ratio, PER), 간중량지수(Hepatosomatic index, HSI), 비만도(Condition factor, CF), 헤모글로빈(Hemoglobin, Hb), 헤마토크리트(Hematocrit, PCV), 그리고 어체의 일반성분을 조사하였다. 어체 측정은 2주마다 실시하였고, 마지막 8주는 증체율 조

치어기 텔라피아에 있어 사료내 어분 대체원으로서 라이신 부산물의 첨가효과

Table 1. Composition and proximate analysis of the experimental diets (% of dry matter basis)

Ingredients	Diets								
	LCM ₀	LCM ₁₀	LCM ₂₀	LCM ₃₀	LCM ₄₀	LCM _{30l}	LCM _{30ln}	LCM _{40la}	LCM _{40lan}
White fish meal ¹	18.00	16.20	14.40	12.65	10.80	12.65	12.65	10.80	10.80
Lysine Cell Mass ²	0.00	1.92	3.85	5.80	7.70	5.80	5.80	7.70	7.70
Soybean meal ³	26.00	26.10	26.20	26.10	26.20	26.10	26.10	26.20	26.20
Corn gluten meal ³	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.35	5.35	5.20	5.20
Wheat meal ⁴	42.00	41.78	41.65	41.70	41.60	41.70	41.70	41.65	41.65
Fish oil ⁵	2.00	2.00	1.90	1.75	1.70	1.79	1.79	1.70	1.70
Vitamin premix ⁶	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Mineral premix ⁷	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Lysine ²	.	.	.	.	.	0.11	0.11	0.14	0.14
Arginine	.	.	.	.	.	.	.	0.11	0.11
Cr ₂ O ₃	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Proximate analysis									
Moisture	20.2	17.8	19.2	18.3	19.9	20.0	19.5	21.5	19.9
Crude protein	38.3	38.2	37.7	37.5	37.1	37.1	37.4	37.5	37.0
Crude lipid	6.0	5.9	6.5	5.2	5.5	5.5	4.8	4.7	5.0
Crude ash	7.6	7.4	7.3	7.1	6.9	7.2	7.2	7.1	7.1

¹Kum Sung Feed Co., Pusan, Korea. ²BASF Co. Seoul, Korea. ³Suhyup Feed Co. Pusan, Korea.

⁴Young Nam Flour Mills Co., Pusan, Korea. ⁵Ewha Oil Company, Pusan, Korea.

⁶Contains (as g/100g premix): L-ascorbic acid; 3, dl-calcium pantothenate, 0.5; choline bitartrate, 10; Inositol, 0.5; Menadione, 0.02; Niacin, 0.5; pyridoxineHCl, 0.05; riboflavin, 0.1; thiamine mononitrate, 0.05; dL-tocopheryl acetate, 0.2; retinyl acetate, 0.02; biotin, 0.005; folic acid, 0.018; B12, 0.0002; Cholecalciferol, 0.008; alph-cellulose, 85.03.

⁷Mineral premix (g/kg diet): MnSO₄, 0.7; ZnSO₄, 3; FeSO₄, 5; CuSO₄, 0.5; CaCO₃, 211.9; MgSO₄, 17.25; K₂SO₄, 212.24; NaCl, 51.88; K₂HPO₄, 136.09; NaSeO₃, 0.013; KI, 0.15.

Table 2. Proximate analysis and essential amino acid (EAA) composition and of the protein sources used in lysine cell mass and fish meal (% of dry matter basis)¹

	Ingredients	
	Lysine cell mass	Fish meal
Proximate analysis		
Crude protein	69.7	74.7
Crude lipid	5.8	7.50
Crude ash	4.0	16.0
Essential amino acid		
Arginine	0.45	4.20
Histidine	0.77	1.41
Lysine	0.07	4.53
Leucine	9.09	4.50
Isoleucine	1.63	3.10
Methionine	2.73	1.65
Phenylalanine	2.01	2.80
Threonine	1.10	2.60
Valine	1.51	3.25

¹Values are means from duplicate groups of feed stuffs; amino acid contents of the ingredients were analyzed by the Feed & Food Research Center (FFNRC), Pukyong National University, Korea.

사와 함께 혈액 분석을 위해 각 수조당 5마리씩 무작위로 추출하여 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit method에 의해 hematocrit을 측정하고, 동시에 Drabkin's용액을 사용하여 cyan-methemoglobin (Sigma Chemical, St Louis MO; total hemoglobin procedure No.525)방법으로 hemoglobin을 측정하였으며, 간중량지수(HSI)와 비만도(CF)를 위해 각 수조별로 2마리씩 어체 무게와 길이 그리고 간중량을 측정하였다. 어체의 일반성분 분석을 위한 샘플은 주사육 실험후, 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 -80℃에 냉동 보관하였다. 실험사료 및 전어체의 일반성분분석은 AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 1995)방법으로 분석하였는데, 수분은 상압가열건조법으로, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법(N×6.25)으로, 조지방은 Soxtec system 1046 (Tecator A B, Sweden)으로 그리고 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다.

4. 통계처리

모든 자료는 Computer Program Statistics 3.1 (Analy-

tical Software, St. Paul, MN, USA)로 분산분석(ANOVA)을 실시하여 최소유의차검정(LSD: Least Significant Difference)으로 평균간의 유의성($P < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

8주간의 사육실험 결과는 Table 3에 나타내었다. 증체율과 일간성장률에 있어서 사료구 LCM₀(대조구)는 사료구 LCM₂₀과 비교하여 유의적으로 낮게 나타난 반면에 사료구 LCM₁₀, LCM₃₀, LCM₄₀, LCM_{30l}, LCM_{30ln}, LCM_{40la} 및 LCM_{40lan}와 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다($P < 0.05$). 따라서, 성장률에 대한 라이신 부산물은 사료내 어분 단백질 기준으로 40% 수준까지 대체가 가능하리라 생각되며, 차후 40% 이상에서 실험을 실시한다면 어분 대체 수준이 현재 밝혀진 40%를 상회할 수 있을 것으로 판단된다. Davies and Wareham (1988)은 56일간 치어기 틸라피아(*Oreochromis mossambicus*)에 있어서 시판용 단세포 단백질(Eurolysine Fodder Protein)을 이용하여 어분 단백질 기준으로 40%까지 대체한 결과와 유사하였으며, 이전의 몇몇 연구들에 있어서 양어 사료내 효모나 박테리아의 단세포 단백질의 첨가 효과는 어분 단백질 기준으로 25%~50%까지 대체하는데 성공하였다(Andruetto et al., 1973; Beck et al., 1979; Mahnken et al., 1980). 또한, Kaushik and Luquet (1980)은 무지개 송어(*Salmo gairdneri*)에 있어서 다양한 단세포 단백질원을 이용하여 어분 단백질 기준으로 80~100%까지 대체가 가능하였으며, 이와 같이 유사한 경향은 연어과 어류에서 다른 연구자들에 의해 보고되었다(Matty and Smith, 1978; Bergstrom, 1979; Beck et al., 1979). 사료내 어분을 라이신 부산물로 20%까지 대체한 사료구가 대조구에 비해 성장이 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 이것은 치어기 틸라피아에 있어서 라이신 부산물에 대한 먹이 불임과 새로운 사료원을 이용하기 위한 생체내 소화효소 활성화 및 대사 작용에 영향을 미쳤을 뿐만 아니라 영양학적 상승작용을 하는 것으로 판단된다(Gomes et al., 1995; 송 등, 1995). 아미노산 첨가효과(lysine & arginine)에 있어서 LCM₃₀은 LCM_{30l}과 LCM_{40la}와 비교하여 유의적인 차이가 없었으며($P > 0.05$), 아미노산 첨가에 따른 중화효과에 있어서도 LCM_{30l}, LCM_{30ln}, LCM_{40la} 및 LCM_{40lan} 사이에 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 이와 유사한 결과는 무지개 송어(rainbow trout)와 틸라피아(*Sarotherodon mossambicus*)에서도 보고되었으며(Kausik and Luquet, 1980; Jackson and Capper, 1982; Davies and Wareham, 1988), 이것은 아미노산의 첨가구에서 점차적으로 성장이 감소하거나 대조구에 비해 성장이 차이를 보이지 않는 이유를 free methionine의 역효과로 결론지었다. 다른 육상동물에서도 이와 같은 보고(Matthews, 1972)가 있었는데, 그 이유를 중성 아미노산

rdneri)에 있어서 다양한 단세포 단백질원을 이용하여 어분 단백질 기준으로 80~100%까지 대체가 가능하였으며, 이와 같이 유사한 경향은 연어과 어류에서 다른 연구자들에 의해 보고되었다(Matty and Smith, 1978; Bergstrom, 1979; Beck et al., 1979). 사료내 어분을 라이신 부산물로 20%까지 대체한 사료구가 대조구에 비해 성장이 유의적으로 높게 나타났다($P < 0.05$). 이것은 치어기 틸라피아에 있어서 라이신 부산물에 대한 먹이 불임과 새로운 사료원을 이용하기 위한 생체내 소화효소 활성화 및 대사 작용에 영향을 미쳤을 뿐만 아니라 영양학적 상승작용을 하는 것으로 판단된다(Gomes et al., 1995; 송 등, 1995). 아미노산 첨가효과(lysine & arginine)에 있어서 LCM₃₀은 LCM_{30l}과 LCM_{40la}와 비교하여 유의적인 차이가 없었으며($P > 0.05$), 아미노산 첨가에 따른 중화효과에 있어서도 LCM_{30l}, LCM_{30ln}, LCM_{40la} 및 LCM_{40lan} 사이에 유의적인 차이가 없었다($P > 0.05$). 이와 유사한 결과는 무지개 송어(rainbow trout)와 틸라피아(*Sarotherodon mossambicus*)에서도 보고되었으며(Kausik and Luquet, 1980; Jackson and Capper, 1982; Davies and Wareham, 1988), 이것은 아미노산의 첨가구에서 점차적으로 성장이 감소하거나 대조구에 비해 성장이 차이를 보이지 않는 이유를 free methionine의 역효과로 결론지었다. 다른 육상동물에서도 이와 같은 보고(Matthews, 1972)가 있었는데, 그 이유를 중성 아미노산

Table 3. Performance of Nile tilapia fed the experimental diets for 8 weeks¹

	Diets ²									Pooled SEM ³
	LCM ₀	LCM ₁₀	LCM ₂₀	LCM ₃₀	LCM ₄₀	LCM _{30l}	LCM _{30ln}	LCM _{40la}	LCM _{40lan}	
WG(%) ⁴	306.7 ^b	325.0 ^{ab}	367.9 ^a	298.3 ^b	298.0 ^b	298.8 ^b	331.6 ^{ab}	309.5 ^b	307.4 ^b	5.90
FE(%) ⁵	58.9 ^a	56.7 ^{ab}	60.4 ^a	53.8 ^b	52.3 ^b	52.7 ^b	57.0 ^{ab}	61.2 ^a	61.4 ^a	0.81
SGR(%) ⁶	2.5 ^b	2.6 ^{ab}	2.8 ^a	2.5 ^b	2.5 ^b	2.5 ^b	2.6 ^{ab}	2.5 ^b	2.5 ^b	0.03
PER ⁷	1.4 ^a	1.3 ^{ab}	1.3 ^{ab}	1.2 ^b	1.2 ^b	1.2 ^b	1.3 ^{ab}	1.4 ^a	1.4 ^a	0.04
CF ⁸	1.7	1.8	1.7	1.8	1.7	1.7	1.8	1.7	1.8	0.01
HSI(%) ⁹	2.8 ^c	3.1 ^{bc}	3.7 ^{ab}	4.0 ^a	4.3 ^a	3.1 ^{bc}	3.2 ^{bc}	2.7 ^c	3.9 ^{ab}	0.09
PCV(%)	40.2 ^{ab}	38.5 ^{ab}	42.7 ^a	37.8 ^b	38.5 ^{ab}	37.2 ^b	40.8 ^{ab}	40.7 ^{ab}	40.0 ^{ab}	0.52
Hb(g/dl)	8.3	8.3	8.7	8.1	8.3	8.1	8.2	8.4	8.7	0.12

¹Means of triplicate groups; Values in the same row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

²See Table 1.

³Pooled standard error of mean : SD/\sqrt{n} .

⁴Weight gain : $[(\text{final wt.} - \text{initial wt.}) / \text{initial wt.}] \times 100$.

⁵Feed efficiency : $(\text{wet weight gain} / \text{dry feed intake}) \times 100$.

⁶Specific growth rate : $[(\log_e \text{ final wt.} - \log_e \text{ initial wt.}) / \text{days}] \times 100$.

⁷Protein efficiency ratio : $\text{wet wt. gain} / \text{protein intake}$.

⁸Condition factor : $(\text{wet wt.} / \text{body length}^3) \times 100$.

⁹Hepatosomatic index : $(\text{liver wt.} / \text{body wt.}) \times 100$.

의 높은 지질친화성 때문이라고 하였다. 반면에, Pongmaeerat et al. (1993)은 잉어에서 결정체 아미노산들이 어분 사료내 존재하고 있는 아미노산보다 그 이용성이 떨어진다고 보고하였다. 이것의 생화학적 메카니즘은 결정체 아미노산을 이용한 실험사료 공급시, 아가미를 통한 아미노산의 배설이 증가하므로 이용성이 떨어질 가능성으로 유의적인 양의 아미노산이 사육수내로 용해되어 손실될 가능성이 있으며, 아울러 결정체 아미노산은 사료내 아미노산보다도 장내에 빨리 흡수되기 때문에 아미노산 흡수율이 불균형을 이루어 이용률을 저하시킨 것으로 이미 여러 연구자들에 의해 보고되었다(Plakas and Katayama, 1981; Murai et al., 1984). 중화효과(pH 조절)에 있어서 모든 사료구는 유의적인 차이를 보이지 않았지만 중화시킨 사료구에서 다소 높은 경향을 나타내고 있다. 이와 같은 결과는 어종에 따라 차이는 있지만, 사료내 아미노산 첨가시 아미노산의 화학적 안정성을 고려하여 아미노산(L-Lysine, L-Arginine, L-Cysteine 및 L-Tyrosine) 제조방법에 따라 아미노산 분자에 hydrochloride(HCl)를 추가함으로써 pH로 인한 문제점을 야기시킬 수 있기 때문에 사료내 이용성과 기호성을 높일 수 있도록 NaOH로 중화시킬 필요가 있다는 것을 보여준 결과로 사료된다.

사료효율과 단백질 전환효율에 있어서 사료구 LCM₀는 사료구 LCM₁₀, LCM₂₀, LCM_{30ln}, LCM_{40la} 및 LCM_{40lan}과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않은 반면에(P>0.05), 사료구 LCM₃₀, LCM₄₀ 및 LCM_{30l}보다 유의적으로 높았다(P <0.05). 사료구 LCM₃₀과 LCM_{30l}에 있어서 라이신 첨가효과는 나타나지 않은 반면에 라이신 첨가한 사료구에 중화시킨 사료구 LCM_{30ln}에서는 다소 높은 경향을 나타내었다. 아울러, 아미노산 첨가 및 중화 효과에 대한 사료구 LCM_{40la} 및 LCM_{40lan}은 LCM₄₀과 비교하여 유의적으로 높게 나타난 것으로 보아 높은 라이신 부산물의 대체율에

있어서 아미노산 첨가효과와 아미노산 첨가에 따른 중화 효과에 영향을 미친 것으로 사료된다. 이와 같이 양어 사료내 단세포 단백질원에 있어서 아미노산 첨가효과는 잉어(Nose, 1974)와 송어(Beck et al., 1979)에 있어서 높은 증체율에 따라 점차적으로 사료효율이 증가됨을 나타내었다. 반면에 라이신 부산물의 높은 대체율에 있어서 낮은 사료효율과 단백질전환효율은 사료내 아미노산의 불균형 및 높은 핵산 함량(nucleic acid content)으로 인해 사료섭취를 감소시킨다고 보고되었다(Tacon and Cooke, 1980; Davies and Wareham, 1988).

비만도(CF)는 전 사료구간에서 유의적인 차이가 없었으며, 간중량지수(HSI)에 있어서 대조구는 LCM₂₀, LCM₃₀, LCM₄₀ 및 LCM_{40lan}보다 유의적으로 높은 값을 보였다(P<0.05). 혈액분석 결과, 헤마토크리트 값이 37.2~42.7%로 나타났으며, 이것은 치어기 틸라피아(김, 1998)에 있어서 38~42%, Alexis et al. (1985)의 무지개송어에 있어서 32~42% 측정값과 유사한 경향을 보였다. 헤모글로빈량은 8.1~8.7g/dl로 나타났으며, 치어기 틸라피아(김, 1998)에 있어서 7~8g/dl와 유사하게 나타났고, 나일 틸라피아를 대상으로 한 Lee and Bai (1997)의 실험에서는 9~10g/dl보다 조금 낮게 나타났다.

전어체 일반성분은 Table 4에 나타내었다. 조단백질에 있어서 대조구(LCM₀)는 사료구 LCM_{30l}과 비교하여 유의적으로 낮게 나타난(P<0.05) 것을 제외한 사료구간에 유의적인 차이가 없었다(P>0.05). 조지방에 있어서 대조구는 전 사료구간에 유의적인 차이는 없는 반면에(P>0.05), 사료구 LCM_{30ln}은 사료구 LCM₁₀ 및 LCM₃₀과 비교하여 다 유의적으로 높게 나타났(P>0.05). 조회분에 있어서 대조구는 LCM₁₀과 비교하여 유의적으로 차이를 보이지 않은 반면에(P>0.05) 나머지 사료구와 비교하여 유의적으로 낮게 나타났으며, 사료내 라이신 부산물이 점차 증가

Table 4. Proximate analysis of whole-body composition (% of dry matter basis)¹

	Diets									Pooled SEM ³
	LCM ₀	LCM ₁₀	LCM ₂₀	LCM ₃₀	LCM ₄₀	LCM _{30l}	LCM _{30ln}	LCM _{40la}	LCM _{40lan}	
Moisture	72.1	70.2	71.4	69.8	69.2	71.4	70.5	70.9	70.3	0.00
Crude protein	56.1 ^a	53.9 ^{ab}	53.8 ^{ab}	55.4 ^a	56.0 ^a	50.1 ^b	52.9 ^{ab}	54.9 ^a	55.2 ^a	0.55
Crude lipid	27.5 ^{abcd}	25.6 ^d	27.8 ^{ab}	25.7 ^{cd}	26.5 ^{abcd}	27.4 ^{abcd}	27.9 ^a	25.8 ^{bcd}	27.8 ^{abc}	0.21
Crude ash	12.6 ^c	12.4 ^c	13.3 ^b	13.9 ^{ab}	14.1 ^{ab}	13.5 ^b	13.6 ^b	13.9 ^{ab}	14.6 ^a	0.21

¹Means of triplicate groups; Values in the same row with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

²See Table 1.

³Pooled standard error of mean : SD/√n.

할수록 회분함량이 증가하는 경향을 나타내었다. 이와 유사한 결과는 몇몇의 다른 연구자들에 의해 보고되었다 (Tacon and Cooke, 1980; Davies and Wareham, 1988). 어체의 일반성분에 있어서 Zeitler et al. (1984)과 Nandeesha et al. (1995)은 동일한 중간 계통차이, 수온, 증체량, 사료공급 및 사료배합 등에 영향을 받는다고 하였고, Murai et al. (1985)은 성장함에 따라 조지방의 함량은 증가하는 반면에 조단백질과 조회분의 함량 변화는 적은 것으로 보고하였다.

따라서, 치어기 틸라피아에 있어서 성장을 기준으로 라이신 부산물은 어분 단백질을 40%까지 대체가 가능하였으며, 아울러 높은 라이신 부산물의 대체 수준에 있어서 사료효율과 단백질 전환효율을 고려한다면 아미노산 첨가(라이신과 아르지닌)와 중화효과에 영향을 미칠 것으로 사료된다. 또한, 앞으로 틸라피아에 있어서 라이신 부산물은 사료효율과 단백질 전환효율의 결과를 미루어 보아 아미노산 첨가와 중화효과를 고려하여 실험을 디자인한다면 현재 밝혀진 대체 수준을 상회할 수 있을 것으로 추정된다.

요 약

이 연구는 치어기 틸라피아에 있어서 어분(fish meal, FM) 대체 단백질원으로서 라이신 부산물(lysine cell mass, LCM)이 사료내 이용 가능성과 대체 수준을 결정하기 위해 수행하였다. 실험사료는 조단백질 35%, 가용성 에너지 15.3 kJ/kg으로 설계되었고, 주 단백질원으로 어분, 대두박, 콘글루텐밀 및 라이신 부산물을 사용하였다. 주 동물성 단백질원인 어분 단백질을 라이신 부산물에 의한 대체 수준에 따라 사료 조성을 요약하면 다음과 같다; LCM₀, 100% FM; LCM₁₀, 90% FM+10% LCM; LCM₂₀, 80% FM+20% LCM; LCM₃₀, 70% FM+30% LCM; LCM₄₀, 60% FM+40% LCM; LCM_{30l}, 70% FM+30% LCM+lysine; LCM_{30ln}, 70% FM+30% LCM+lysine+NaOH; LCM_{40la}, 60% FM+40% LCM+lysine+arginine; LCM_{40lan}, 60% FM+40% LCM+lysine+arginine+NaOH.

8주간의 실험 결과, 증체율과 일간성장률에 있어서는 사료구 LCM₀와 비교하여 모든 사료구에서는 유의적인 차이가 없었으며, 아울러 아미노산 첨가 및 중화효과는 모든 사료구에서 나타나지 않았다(P>0.05). 사료효율과 단백질 전환효율에 있어서 사료구 LCM₀는 사료구 LCM₁₀, LCM₂₀, LCM_{30ln}, LCM_{40la} 및 LCM_{40lan}과 비교하여 유의

적인 차이를 보이지 않은 반면에(P>0.05), 사료구 LCM₃₀, LCM₄₀ 및 LCM_{30l}보다 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05). 아미노산 첨가와 중화효과에 있어서 사료구 LCM₃₀, LCM_{30l} 및 LCM_{30ln}은 유의적인 차이가 나타나지 않은 반면에 사료구 LCM_{40la} 및 LCM_{40lan}은 LCM₄₀과 비교하여 유의적으로 높게 나타났다(P<0.05).

따라서, 치어기 틸라피아에 있어서 성장을 기준으로 라이신 부산물은 어분 단백질을 40%까지 대체가 가능하였으며, 아울러 높은 라이신 부산물의 대체 수준에 있어서 사료효율과 단백질 전환효율을 고려한다면 아미노산 첨가(라이신과 아르지닌)와 중화 효과에 좋은 결과가 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국바스프 (주)와 부경대학교 사료영양연구소(FFNRC)의 지원에 의하여 수행된 결과로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Alexis, M. N., E. Papaparaskeva-Papoutsoglou and V. Theochari, 1985. Formulation of practical diets for rainbow trout (*Salmo gairdneri*) made by partial or complete substitution of fish meal by poultry by-products and certain plant by-products. *Aquaculture*, 50 : 61-73.
- Andruetto, S., E. Vigliani and P. Ghittino, 1973. Possibile uso nei pellets per trota di proteine da lieviti coltivati su idrocarburi ('Proteine B.P.'). *Riv. Ital. Piscic. Ittiopatol.*, A8(4) : 97-100.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Bai, S. C., X. J. Wang and K. W. Kim, 1999. Present status and future prospects of the world aquaculture : Korean perspective. *Proceedings of International Conference on Impacts of Population and Markets on Sustainability of the Ocean and Coastal Resources : The Perspective of Developing and Transition Ecomioes of the North Pacific*, Seattle, June 3-4, 1999.
- Beck, H., J. Gropp, H. Koops and K. Tiews, 1979. Single cell proteins in trout diets. pp. 269-280. (in) *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. 2. (Eds.) J. E. Halver and K. Tiews. Heenemann, Belin.
- Belal, I. E. H. and H. Assem, 1995. Substitution of

- soybean meal and oil for fish meal in practical diets fed to channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque): effects on body composition. *Aquacult. Res.*, 26 : 141-145.
- Bergstrom, E., 1979. Experiments on the use of single cell proteins in Atlantic salmon diets. pp. 105-116. (in) *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. 2. (Eds.) J. E. Halver and K. Tiews. Heenemann, Belin.
- Davies, S. J. and H. Wareham, 1988. A preliminary evaluation of an industrial single cell protein in practical diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus* Peters). *Aquaculture*, 73 : 189-199.
- Gomes, E. F., P. Rema and S. J. Kaushik, 1995. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): digestibility and growth performance. *Aquaculture*, 130 : 177-186
- Jackson, A. J. and B. S. Capper, 1982. Investigation into the requirements of the tilapia *Sarotherodon mossambicus* for dietary methionine, lysine and arginine in semi-synthetic diets. *Aquaculture*, 32 : 289-297.
- Kaushik, S. J. and P. Luquet, 1980. Influence of bacterial protein in corporation and of sulphur amino acid supplementation to such diets on growth of rainbow trout. *Aquaculture*, 19 : 163-175.
- Kim, K. W., J. Y. Choi and S. C. Bai, 2000. Evaluation of a newly developed fish meal analogue (BAIFA-M) in immature Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*, reared in cage culture system. *Journal of Aquaculture*, 13 : 259-265.
- Lee, K. J. and S. C. Bai, 1997. Hemoglobin powder as a dietary animal protein source for juvenile Nile tilapia. *Prog. Fish-Cult.*, 59 : 266-271.
- Luzier, J. M. and R. C. Summerfelt, 1995. Partial replacement of fish meal with spray-dried blood powder to reduce phosphorus concentrations in diets for juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquacult. Res.*, 26 : 577-587.
- Mahnken, C. V. W., J. Rosebrough and F. W. Waknitz, 1980. Evaluation of an alkane yeast (*Candida* sp.) as a substitute for fish meal in Oregon moist pellet: feeding trials with coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 20 : 41-56.
- Matthews, D. M., 1972. Intestinal absorption of amino acids and peptides. *Proc. Nutr. Soc.*, 31 : 171-177.
- Matty, A. J. and P. Smith, 1978. Evaluation of a yeast a bacterium and an alga as a protein source for rainbow trout. I. Effects of protein level on growth, gross conversion efficiency and protein conversion efficiency. *Aquaculture*, 14 : 235-246.
- Murai, T., H. Ogata, T. Takeuchi, T. Watanabe and T. Nose, 1984. Composition of free amino acid in excretion of carp fed amino acid diets and casein-gelatin diets. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50 : 49-57.
- Murai, T., T. Akiyama, T. Takeuchi, T. Watanabe and T. Nose, 1985. Effects of dietary protein and lipid levels on performance and carcass composition of fingerling carp. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 54 : 605-608.
- Nandeesh, M. C., S. S. De Silva and D. S. Murthy, 1995. Use of mixed feeding schedules in fish culture: performance of common carp, *Cyprinus carpio* L., on plant and animal protein based diets. *Aquacult. Res.*, 26 : 161-166.
- Nose, T., 1974. Effect of amino acids supplemented to tetroleum yeast on growth of rainbow trout fingerlings. I. Preliminary experiment. *Bull. Freshwater Fish. Res. Lab.*, 24 : 57-63.
- Plakas, S. M. and T. Katayama, 1981. Apparent digestibilities of amino acids from three regions of the gastrointestinal tract of carp (*Cyprinus carpio*) after injection of a protein and a corresponding free amino acid diet. *Aquaculture*, 24 : 309-314.
- Pongmaneerat, J., T. Watanabe, T. Takeushi, and S. Satoh. 1993. Use of different protein meals as partial or total substitution for fish meal in carp diets. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59 : 1249-1257.
- Rodríguez-Serna, M., M. A. Olvera-Novoa and C. Carmona-Osalde, 1996. Nutritional value of animal by-product meal in practical diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fry. *Aquacult. Res.*, 27 : 67-73.
- Rumsey, G., 1994. What is the future of meal use? *Feed International*, pp. 10-17.
- Tacon, A. G. J. and D. J. Cooke, 1980. Nutritional value of dietary nucleic acids to trout. *Nutr. Rep. Int.*, 22 : 631-640.
- Zeitler, M. H., M. Kirchgessner and F. J. Schwarz, 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 36 : 37-48.
- 김경희, 1998. 틸라피아와 잉어 사료에 있어서 피혁분, 육골분 또는 어분 대체품의 이용성. 부경대학교 대학원 석사학위논문. pp. 53.
- 송민현 · 이경준 · 배승철, 1995. 성장기 잉어 *Cyprinus carpio* 사료에 있어서 단백질원으로서의 혈분 첨가효과. *한국양식학회지*, 8 : 343-354.
- 한국단미사료협회, 2001. 단미회보. pp. 6.

(접수 : 2001년 8월 17일, 수리 : 2001년 9월 20일)