

치어기 잉어에 있어 사료내 Lysine 부산물의 첨가효과

김강웅 · 왕소길 · 배승철⁺
 부경대학교 양식학과/사료영양연구소

Effects of Dietary Supplementation of Lysine Cell Mass (LCM) in Juvenile Israeli Carp, *Cyprinus carpio*

Kang-Woong KIM, Xiaojie WANG and Sungchul C. BAI⁺
 Department of Aquaculture/Feeds & Foods Nutrition Research Center,
 Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

This experiment was conducted to evaluate the lysine cell mass (LCM) as a dietary fish meal (FM) protein replacer in juvenile Israeli carp, *Cyprinus carpio*. Fishmeal, a major animal protein source in the control diet, was replaced by LCM on the protein equivalent base. Fish averaging 1.7 ± 0.1 g (Mean \pm SD) fed one of nine diets containing isonitrogenous and isocaloric basis of 38% crude protein and 15.2 kJ available energy/g diet: control, 100% FM; LCM₂₀, 80% FM+20% LCM; LCM₄₀, 60% FM+40% LCM; LCM₆₀, 40% FM+60% LCM; LCM₁₀₀, 100% LCM; LCM₂₀ l, 80% FM+20% LCM+0.07% Lysine; LCM₄₀ l, 60% FM+40% LCM+0.14% Lysine; LCM₆₀ l, 40% FM+60% LCM+0.22% Lysine; LCM₁₀₀ l, 100% LCM+0.35% Lysine. After 6 weeks of feeding trial, there was no significant difference in weight gain (WG), feed efficiency (FE), protein efficiency ratio (PER) and specific growth rate (SGR) among fish fed control and LCM₂₀ ($P > 0.05$), while fish fed LCM₄₀, LCM₆₀, LCM₁₀₀, LCM₄₀ l, LCM₆₀ l and LCM₁₀₀ l diets had a significantly lower WG, FE, PER and SGR than did fish fed control diet ($P < 0.05$). There was no significant difference in WG, PER and SGR among fish fed control and LCM₂₀ l diets ($P > 0.05$), while fish fed LCM₂₀ l had a significantly lower FE than did fish fed control diet ($P < 0.05$). No significant difference was observed in hematocrit and condition factor among fish fed nine diets ($P > 0.05$). Therefore, these results indicated that LCM could replace FM up to 20% and dietary synthetic lysine supplementation did not show any positive growth effects in juvenile Israeli carp.

Key words: Lysine cell mass (LCM), Israeli carp, Fishmeal replacer

서 론

잉어과 담수어류는 세계적으로 가장 널리 양식되고 있는 어종으로 1999년 기준으로 세계 총 양식 생산량의 4,277만 톤 중 1,293만 톤으로 30%를 차지하고 있으며 (FAO, 2000), 국내에 있어서는 담수어 양식 생산량의 13,212톤 중 2,900톤으로 22%를 차지하고 있다 (MOMAF, 2001). 이와 더불어, 양어사료는 대략 어류 생산 경비의 50~70%를 차지하고 있으며, 이 중에 어종별 단백질원은 양어사료에서 중요하다. 현재 기호성과 영양학적 가치가 높은 어분이 양어사료에서 주로 이용되고 있으며, 여러 어종에서 어분의 중요성이 부각되고 있다. 사료내 어분의 함량은 어종의 특성에 따라 달라지는데, 뱀장어, 연어, 송어의 경우 메기보다 더 많은 사료내 어분함량을 요구하는 것으로 알려져 있다. 특히, 연어류 배합 사료의 경우 30~70% 어분을 함유하고 있으며, 각 어종들의 초기 사료 내에서는 훨씬 더 많은 어분이 요구되고 있다 (NRC, 1993). 이와 같이, 어분의 수요는 계속적으로 증가하고 있지만, 어분의 공급은 제한적이어서 어분의 공급 불안정과 가격상승으로 인해 양식생산에 드는 비용이 증가할 것으로 예상되어 진다 (Rumsey, 1994). 경제적인 양식산업을 지속적으로 이루기 위해 공급 및 가격이 불안정한 어분을 대체할 수 있는 대체단백질 사료원의 개

발이 필연적으로 이루어져야 된다. 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; Kim et al., 2000; Kim et al., 2001).

이 연구에 사용된 lysine 부산물 (lysine cell mass)은 lysine을 생산하기 위한 발효공정에 사용되는 균체를 분리, 멸균, 건조한 단세포 단백질로 낮은 가격 (250원/kg)과 높은 조단백질 함량이므로 어분대체 효과에 영향을 미쳐 양식산업에 이익을 기대할 수 있을 것이다. 이와 유사한 단세포 단백질원에 대한 연구는 몇몇 연구자들에 의해 수행되었다 (Beck et al., 1979; Kaushik and Luquet, 1980). 시판용 단세포 단백질원인 eurolysine fodder protein은 치어기 틸라피아 사료내 어분 단백질 기준으로 40%까지 대체가 가능하였으며 (Davies and Wareham, 1988), 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, 연어과 어류에 있어서는 다양한 단세포 단백질원을 이용하여 어분 단백질 기준으로 80~100%까지 대체가 가능하였다 (Matty and Smith, 1978; Bergstrom, 1979).

따라서, 본 연구의 목적은 치어기 잉어 사료에 있어서 어분 대체 단백질원으로 lysine 부산물을 평가하고 사료내 어분 대체 수준을 결정하는데 있다.

⁺Corresponding author: scbai@pknu.ac.kr

재료 및 방법

1. 실험사료 및 실험설계

실험에 사용된 실험사료 조성 및 일반성분은 Table 1에 나타내었으며, 사료내 필수아미노산 조성은 Table 2에 나타내었다. 그리고, lysine 부산물 (lysine cell mass, LCM)과 어분 (Fish meal, FM)의 일반성분 및 필수아미노산 조성은 Table 3에 나타내었다.

실험사료의 단백질원으로 어분 (fish meal, FM), lysine 부산물 (lysine cell mass, LCM), 대두박 (soybean meal) 및 콘글루텐밀 (corn gluten meal)을, 지질원으로 어유 (fish oil)를, 그리고 탄수화물원으로 소맥분 (wheat meal)을 사용하였으며, 소화율 측정을 측정하기 위해 각각의 사료에 0.5% 산화크롬 (Cr₂O₃)을 첨가하였다. 실험 사료내 lysine 부산물의 대체수준은 어분의 조단백질 함량을 기준으로 하여 20%, 40%, 60%, 100% 수준으로 각각 대체하였으며, lysine 부산물에서 부족한 lysine 아미노산의 첨가효과를 알아보기 위해서 어분과 비교하여 부족한 양만큼 합성 lysine을 첨가시켜 주었다. 실험사료의 조단백질 함량은 38%, 가용에너지는 15.2 kJ/g (protein, carbohydrate and lipid: 16.7, 16.7 and 37.7 kJ/g)으로 동일하게 맞추어 실험사료를 제조하였다. 사료의 조성을 요약하면

다음과 같다: LCM₀, 100% FM; LCM₂₀, 80% FM+20% LCM; LCM₄₀, 60% FM+40% LCM; LCM₆₀, 40% FM+60% LCM; LCM₁₀₀, 100% LCM; LCM_{20 ℓ}, 80% FM+20% LCM+0.07% Lysine; LCM_{40 ℓ}, 60% FM+40% LCM+0.14% Lysine; LCM_{60 ℓ}, 40% FM+60% LCM+0.22% Lysine; LCM_{100 ℓ}, 100% LCM+0.35% Lysine. 실험사료는 원료를 혼합한 후 모이스트 펠렛 제조기로 압출·성형한 후 밀봉하여 -20℃에 냉동 보관하면서 사용하였다.

2. 실험어 및 사육조건

실험어는 평균 1.7±0.1 g의 이스라엘 잉어 (*Cyprinus carpio*) 치어를 사용하였으며, 잉어 치어용 상업사료 (무지개사료, 한국)를 1주간 공급하면서 예비사육 하였으며, 총 실험기간은 6주간 실시하였다. 예비사육 후 부경대학교 부속어장의 비닐하우스 사육동내 120 L (60×47×40 cm³)짜리 콘크리트 수조에 각 사료구당 30마리씩 3반복으로 무작위 배치하였다. 사육수는 순환여과 되는 양어장 사육수를 사용하였으며, 실험기간내 1 L/min로 stand pipe를 통하여 넘치는 물을 양어장의 주여과조로 순화되도록 하였고, 수조 바닥의 중앙에 배수구를 설치하여 고행오물을 1일 1회 배출하였다.

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

Ingredients	Diets								
	LCM ₀	LCM ₂₀	LCM ₄₀	LCM ₆₀	LCM ₁₀₀	LCM _{20 ℓ}	LCM _{40 ℓ}	LCM _{60 ℓ}	LCM _{100 ℓ}
White fish meal ²	20.00	16.00	12.00	8.00	0.00	16.00	12.00	8.00	0.00
LCM ³	0.00	4.28	8.57	12.85	21.41	4.28	8.57	12.85	21.41
Soybean meal ⁴	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Corn gluten meal ⁴	9.50	9.60	9.70	9.80	9.90	9.60	9.60	9.60	9.60
Wheat meal ⁵	39.00	38.40	37.70	37.00	36.32	38.30	37.60	36.95	35.55
Yeast ⁶	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Feed oil ⁷	4.00	4.00	4.00	4.00	3.70	4.00	4.00	4.00	4.00
Vitamin premix ⁸	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Mineral premix ⁹	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Lysine ³	0.07	0.14	0.22	0.35
Cellulose ¹⁰	0.00	0.22	0.53	0.85	1.17	0.25	0.59	0.88	1.59
Cr ₂ O ₃	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
<i>Proximate analysis</i>									
Moisture	20.64	20.29	20.75	20.82	20.31	22.13	21.64	21.27	20.58
Crude protein	40.24	39.39	39.52	39.44	39.14	39.38	39.44	39.92	39.60
Crude lipid	6.22	7.06	5.99	5.95	6.19	6.24	6.62	6.50	6.43
Crude ash	7.11	6.87	6.49	6.08	6.51	6.93	6.09	6.26	6.25

¹ Feed stuffs not mentioned here are the same feed stuffs as the domestic aquaculture feed companies are using currently.

² Kum Sung Feed Co., Busan, Korea.

³ BASF Co. Seoul, Korea.

⁴ Suhyup Feed Co. Busan, Korea.

⁵ Young Nam Flour Mills Co., Busan, Korea.

⁶ Dae Han Feed Co., Busan, Korea.

⁷ Ewha Oil Company, Busan, Korea.

⁸ Contains (as g/100 g 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.

⁹ Mineral premix (g/Kg feed): 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.

¹⁰ United States Biochemical, Cleveland, Ohio 44122N.

Table 2. Indispensable amino acid (IAA) composition of the experimental diets (% of dry matter basis)¹

Amino acid	Diets ²									
	LCM ₀	LCM ₂₀	LCM ₄₀	LCM ₆₀	LCM ₁₀₀	LCM ₂₀ ℓ	LCM ₄₀ ℓ	LCM ₆₀ ℓ	LCM ₁₀₀ ℓ	
Arginine	2.18	2.02	1.86	1.71	1.41	1.84	1.86	1.71	1.40	
Histidine	0.82	0.77	0.71	0.66	0.55	0.69	0.71	0.65	0.54	
Lysine	1.92	1.74	1.56	1.37	1.01	2.18	2.19	2.19	2.19	
Leucine	3.05	3.07	3.09	3.11	3.15	2.87	3.08	3.09	3.11	
Isoleucine	1.57	1.51	1.46	1.40	1.29	1.39	1.46	1.40	1.28	
Methionine	0.07	0.75	0.80	0.85	0.95	0.72	0.80	0.85	0.95	
Phenylalanine	1.69	1.66	1.64	1.61	1.56	1.55	1.63	1.60	1.54	
Threonine	1.33	1.27	1.21	1.15	1.03	1.17	1.21	1.15	1.02	
Valine	1.77	1.70	1.64	1.57	1.44	1.56	1.63	1.56	1.42	

¹Values are means from duplicate groups of feed stuff.

²See Table 1.

Table 3. 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
<i>Proximate analysis</i>		
Crude protein	69.7	74.7
Crude lipid	5.8	7.50
Crude ash	4.0	16.0
<i>Essential amino acid</i>		
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.

실험 기간동안의 용존 산소는 5.4 ± 1.3 ppm 이었으며, 수온은 $26 \pm 2.0^\circ\text{C}$ 로 자연수온에 의존하였다. 일일 사료공급량은 어체중의 6~8% (건물량 기준)로 하였고 1일 4회 공급하였다.

3. 어체 측정 및 성분 분석

실험종료 후, 증체율 (weight gain, WG), 사료효율 (feed efficiency, FE), 일간성장률 (specific growth rate, SGR), 단백질 전환 효율 (protein efficiency ratio, PER), 간중량지수 (hepatosomatic index, HSI), 비만도 (condition factor, CF), 헤모글로빈 (hemoglobin, Hb), 헤마토크리트 (hematocrit, PCV), 건물소화율 그리고 어체의 일반성분을 조사하였다. 어체 측정은 2주마다 성장률을 측정하기 위해 각 수조별로 전체 무게를 측정하였다. 마지막 6주는 증체율 조사와 함께 혈액 분석을 위해 각 수조당 5마리씩 무작위로 추출하여 미부정맥에서 혈액을 채혈한 후, micro-hematocrit method (Brown, 1980)에 의해 hematocrit을 측정하고, 동시에 Drabkin's 용액을 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 어체무게와 길이 그리고 간중량을 측정하였다. 어체의 일반성분 분석을 위한 샘플은 주사육 실험 후 수조별로 5마리씩 무작위로 추출하여 -80°C 에 냉동 보관하였다.

실험사료 및 전어체의 일반성분분석은 AOAC (1995) 방법으로 분석하였으며, 수분은 상압 가열 건조법으로, 조단백질은 Kjeldahl 질소정량법 ($N \times 6.25$)으로, 조지방은 ether extraction 방법 (Tecator A B, Sweden)으로, 그리고 조회분은 직접회화법으로 각각 분석하였다.

소화율 측정은 주사육 실험이 종료된 이후에 실시하였으며, 일일 사료공급량은 어체중의 5% (건물량)로 하였고 1일 3회 공급하였다. 분 수집은 Siphon tube로 수거하였으며, 사료와 분내 분석은 산화크롬 (Cr_2O_3) 방법 (Hanley, 1987)을 사용하여 Cho and Slinger (1979)와 Sugiura et al. (1998)의 방법에 의해 계산하였다.

$$\text{건물 소화율} = 100 - 100 \times \left(\frac{\text{사료 중의 } \text{Cr}_2\text{O}_3 (\%)}{\text{분 중의 } \text{Cr}_2\text{O}_3 (\%)} \right)$$

$$\text{단백질 소화율} = 100 - 100 \times \left(\frac{\text{사료 중의 } \text{Cr}_2\text{O}_3 (\%)}{\text{분 중의 } \text{Cr}_2\text{O}_3 (\%)} \times \frac{\text{분 중의 영양소 (\%)}}{\text{사료 중의 영양소 (\%)}} \right)$$

4. 통계처리

모든 자료는 Computer Program Statistix 3.1 (Analytical 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

6주 동안의 실험 결과는 Table 4에 나타내었다. 증체율, 사료효율, 일간성장률, 간중량지수 및 단백질 전환효율에 있어서 LCM₀와

Table 4. Performance of Israeli carp fed the experimental diets for 6 weeks¹

	Diets2									Pooled SEM ³
	LCM ₀	LCM ₂₀	LCM ₄₀	LCM ₆₀	LCM ₁₀₀	LCM ₂₀ ℓ	LCM ₄₀ ℓ	LCM ₆₀ ℓ	LCM ₁₀₀ ℓ	
WG (%) ⁴	671.0 ^a	639.8 ^a	458.0 ^b	352.4 ^c	330.8 ^c	608.1 ^a	476.6 ^b	161.2 ^d	156.5 ^d	36.04
FE (%) ⁵	125.5 ^a	125.5 ^a	97.3 ^c	83.4 ^d	80.0 ^d	114.8 ^b	98.1 ^c	46.0 ^e	46.8 ^e	5.62
SGR (%) ⁶	4.8 ^a	4.5 ^{ab}	3.9 ^{cd}	3.5 ^{de}	3.3 ^e	4.6 ^{ab}	4.2 ^{bc}	2.3 ^f	2.2 ^f	0.18
PER ⁷	3.2 ^a	3.1 ^a	2.5 ^c	2.1 ^{cd}	2.0 ^d	2.9 ^{ab}	2.5 ^{bc}	1.2 ^e	1.2 ^e	0.14
CF8	1.7	1.5	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	0.03
HSI (%) ⁹	4.6 ^a	3.4 ^{ab}	2.9 ^b	2.7 ^b	3.0 ^b	3.1 ^b	2.6 ^b	2.3 ^b	2.5 ^b	0.01
PCV (%)	42.3	41.8	40.7	36.1	36.5	37.8	39.0	35.3	34.2	0.82
Hb (g/dL)	6.8 ^{ab}	6.2 ^{ab}	7.0 ^a	6.5 ^{ab}	6.9 ^{ab}	6.2 ^{ab}	5.8 ^b	6.8 ^{ab}	6.4 ^{ab}	0.07

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.

⁴Weight gain: [(final wt.-initial wt.) / initial wt.]×100.

⁵Feed efficiency: (wet weight gain / dry feed intake)×100.

⁶Specific growth rate: [(log_e final wt.-log_e initial wt.) / days]×100.

⁷Protein efficiency ratio: wet wt. gain / protein intake.

⁸Condition factor: (wet wt. / body length³)×100.

⁹Hepatosomatic index: (liver wt. / body wt.)×100.

비교하여 LCM₂₀ 및 LCM₄₀ ℓ은 유의적인 차이가 나지 않았지만 (P>0.05), LCM₄₀, LCM₆₀, LCM₁₀₀, LCM₄₀ ℓ, LCM₆₀ ℓ 및 LCM₁₀₀ ℓ는 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05).

LCM₀와 LCM₂₀ ℓ은 증체율, 일간성장률, 간중량지수 및 단백질 전환효율에 있어서는 유의적인 차이를 보이지 않는 반면에 (P>0.05), 사료효율에 있어서는 LCM₀에 비해 LCM₂₀ ℓ이 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 상기의 성장 결과에 따라 lysine 부산물은 사료내 어분 단백질 기준으로 20% 수준까지 대체가 가능하리라 사료되며, 이와 같은 경향은 연어과 어류에 있어서 양어 사료내 효모나 박테리아에 의해 만들어진 단세포 단백질원의 대체 효과가 어분 단백질 기준으로 25%까지 대체 (Mahnken et al., 1980)되어 본 실험과 비슷한 경향을 보였다. 반면에, 치어기 킬라피아 사료에 있어서 시판용 단세포 단백질원 (Eurolysine Fodder Protein)과 lysine 부산물 (lysine cell mass)은 각각 어분단백질 기준으로 40%까지 대체되었으며 (Davies and Wareham, 1988; Kim et al., 2001), 무지개 송어 (*Salmo gairdneri*) 사료에 있어서 다양한 단세포 단백질원은 어분 단백질 기준으로 80~100%까지 대체가 가능하며 (Matty and Smith, 1978) 높은 대체율이 보고되었다. 이와 같이, lysine 부산물의 대체 수준이 낮은 이유는 잉어에 있어서 lysine 부산물에 대한 먹이 붙임과 새로운 사료원을 이용하기 위한 생체내 소화효소 활성 및 대사 적응이 다른 어종과 비교하여 잘 되지 않은 것으로 사료된다. 또한, 이것은 단세포 단백질원에 있어서 사료내 아미노산의 불균형 및 높은 핵산 함량이 사료섭취를 감소시킴으로써 사료효율과 단백질 전환효율을 떨어뜨려 낮은 대체 수준을 초래한다는 보고와 상관관계가 있을 것으로 생각된다 (Davies and Wareham, 1988).

Lysine 부산물의 어분 대체에 따른 부족한 lysine의 첨가 효과 (LCM₂₀ ℓ, LCM₄₀ ℓ, LCM₆₀ ℓ 및 LCM₁₀₀ ℓ)는 증체율과 사료효율에 있어서 lysine을 첨가하지 않은 사료구들과 비교하여 첨가 효

과가 나타나지 않거나 유의적으로 낮은 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 동일한 어종에서 결정체 아미노산들이 어분 사료내 존재하고 있는 아미노산보다 그 이용성이 떨어진다는 보고와 유사하였다 (Pongmaneerat et al., 1993).

그리고, 결정체 lysine의 첨가 효과가 없었던 이유는, 첫째로 잉어와 같이 위가 없는 어류에서는 영양소의 소화가 중성 또는 약알칼리 상태에서 진행되어 pH 조절을 하지 않을 경우 아미노산의 정상적인 동화가 저해되기 때문이며 (Nose, 1974), 둘째로 결정체 아미노산을 이용한 실험사료 공급 시 아가미를 통한 아미노산의 배설이 증가하므로 그 이용성이 사육수내로 용해되어 손실될 가능성이 있을 수 있으며, 셋째로 결정체 아미노산이 사료내 아미노산보다도 장내에 빨리 흡수되기 때문에 아미노산 흡수율이 불균형을 이루어 이용률이 떨어졌을 것으로 사료된다 (Plakas and Katayama, 1981; Murai et al., 1984).

혈액분석 결과, 헤마토크리트는 34.2~42.3%로서 나타났으며, 이러한 결과는 Kim et al. (2001)의 치어기 킬라피아에서 측정값과 유사하였으며, Bai et al. (1996)의 보고한 측정값보다 낮은 경향을 보였다. 헤모글로빈의 양은 5.8~7.0 g/dL로 나타났는데, Kim et al. (2001)이 보고한 값과 유사한 경향을 보였다.

전어체의 일반성분은 Table 5에 나타내었다. 수분 함량은 LCM₀와 비교하여 LCM₄₀, LCM₆₀, LCM₁₀₀, LCM₂₀ ℓ, LCM₄₀ ℓ은 유의적인 차이가 없었지만 (P>0.05), LCM₂₀, LCM₆₀ ℓ, LCM₁₀₀ ℓ는 유의적으로 낮았다 (P<0.05). 조단백질에서는 LCM₀와 비교하여 LCM₂₀가 유의적으로 낮게 나왔으며 (P<0.05), 나머지 사료구들과는 유의적인 차이가 없었다 (P>0.05). 조지방과 조회분에서는 전 사료구간에 유의적인 차이가 없었다 (P>0.05). Nandeesh (1995)는 어체의 일반성분 조성에 있어서 동일한 종간 계통 차이, 수온, 증체량, 사료공급 및 사료배합에 영향을 받는다고 보고하였고, Murai et al. (1985)은 성장함에 따라 지질 함량이 증가하는 반면에

Table 5. Proximate analysis of whole-body composition of Israeli carp fed the experimental diets for 6 weeks (% of dry matter basis)¹

	Diets ²									Pooled SEM ³
	LCM ₀	LCM ₂₀	LCM ₄₀	LCM ₆₀	LCM ₁₀₀	LCM ₂₀ ℓ	LCM ₄₀ ℓ	LCM ₆₀ ℓ	LCM ₁₀₀ ℓ	
Moisture	77.6 ^{ab}	76.7 ^b	78.2 ^a	77.1 ^{ab}	77.1 ^{ab}	77.4 ^{ab}	77.5 ^{ab}	76.7 ^b	76.6 ^b	0.00
Crude protein	65.8 ^{ab}	62.3 ^b	66.8 ^a	63.6 ^{ab}	64.6 ^{ab}	65.0 ^{ab}	64.0 ^{ab}	63.8 ^{ab}	63.6 ^{ab}	0.30
Crude lipid	18.3	20.5	18.7	21.4	15.9	20.1	17.0	18.8	20.4	0.57
Crude ash	15.9	11.1	13.1	11.0	11.3	13.2	11.6	12.9	12.1	0.57

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.

Table 6. Apparent digestibility of dry matter (AD) and protein (ADP) in diets (% of dry matter basis)¹

	Diets ²									Pooled SEM ³
	LCM ₀	LCM ₂₀	LCM ₄₀	LCM ₆₀	LCM ₁₀₀	LCM ₂₀ ℓ	LCM ₄₀ ℓ	LCM ₆₀ ℓ	LCM ₁₀₀ ℓ	
AD (%)	85.0 ^a	81.8 ^{ab}	76.0 ^{bc}	76.2 ^{bc}	75.3 ^{bc}	81.6 ^{ab}	75.5 ^{bc}	69.1 ^{cd}	65.1 ^d	1.54
ADP (%)	91.6 ^a	89.3 ^{ab}	85.9 ^{bc}	85.0 ^{bcd}	81.0 ^{de}	88.3 ^{ab}	82.6 ^{cde}	79.5 ^{ef}	75.7 ^f	1.24

¹Means of duplicate 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.

조단백질과 조회분의 함량 변화는 적은 것으로 보고하였다. 따라서, 상기 결과에서도 어체내 지질 함량이 Song et al. (1995)에 의해 보고된 값보다 높은 이유는 동일한 종이라도 계통이 다르며, 특히 보통 잉어보다 이스라엘 잉어가 조지방 함량이 높다는 보고와 일치하였다. 몇몇의 연구 결과들에 의하면 어체내 일반성분 중 지질 함량이 가장 많은 영향을 받으며 (Pongmaneerat et al., 1993; Belal and Assem, 1995; Zeitler et al., 1984), 사료내 고도불포화 지방 함량에 따라 어체내 지질 함량 및 지방산 조성이 영향을 받는다고 보고하였다 (Murai et al., 1985).

실험사료의 외견상 건물 소화율 (AP)과 단백질 소화율 (ADP)은 Table 6에 나타내었다. 외견상 건물 소화율은 LCM₀ (85.0%)와 비교하여 LCM₂₀ (81.8%) 및 LCM₂₀ ℓ (81.6%)는 유의적인 차이를 보이지 않았다 (P>0.05). 외견상 단백질 소화율은 LCM₀와 비교하여 LCM₂₀ 및 LCM₂₀ ℓ의 사료구간에는 유의적인 차이가 없었으며 (P>0.05), LCM₄₀, LCM₆₀, LCM₁₀₀, LCM₄₀ ℓ, LCM₆₀ ℓ 및 LCM₁₀₀ ℓ는 유의적으로 낮은 결과를 보였다 (P<0.05). 이와 같이, 외견상 건물 소화율과 단백질 소화율은 유사한 경향을 보였으며, lysine 부산물의 대체 수준이 증가함에 따라 점차적으로 낮은 값을 나타내었다. Bai et al. (2001)의 실험에 있어서 사료내 어분의 단백질 소화율 (87.9%)이 상기 실험의 대조구 (91.6%)보다 낮게 나타났으며, lysine 첨가구에서 외견상 단백질 소화율이 상승효과를 보인 반면에 현 실험에서는 lysine 첨가에 따른 상승효과는 보이지 않았다.

따라서, 위와 같은 결과를 토대로 잉어 치어에 있어서 lysine 부산물은 어분단백질의 20%까지 대체 가능한 것으로 판단되며, lysine 부산물에 결핍된 필수아미노산인 lysine을 첨가한 사료구에서는 첨가 효과가 나타나지 않았음을 보여 주었다.

요 약

본 연구는 치어기 잉어에 있어서 어분 (fish meal, FM) 대체 단백질원으로서 lysine 부산물 (lysine cell mass, LCM)이 사료내 이용 가능성과 대체 수준을 결정하기 위해 수행하였다. 실험사료의 조단백질 함량은 38%, 가용에너지는 15.2 kJ/g (protein, carbohydrate and lipid: 16.7, 16.7 and 37.7 kJ/g)으로 동일하게 맞추어 실험사료를 제조하였으며, 사료의 조성을 요약하면 다음과 같다: LCM₀, 100% FM; LCM₂₀, 80% FM+20% LCM; LCM₄₀, 60% FM+40% LCM; LCM₆₀, 40% FM+60% LCM; LCM₁₀₀, 100% LCM; LCM₂₀ ℓ, 80% FM+20% LCM+0.07% Lysine; LCM₄₀ ℓ, 60% FM+40% LCM+0.14% Lysine; LCM₆₀ ℓ, 40% FM+60% LCM+0.22% Lysine; LCM₁₀₀ ℓ, 100% LCM+0.35% Lysine.

6주 동안의 실험 결과, 증체율, 사료효율, 일간성장률, 간중량지수 및 단백질전환효율에 있어서 LCM₀와 비교하여 LCM₂₀는 유의적인 차이가 없는 반면에 (P>0.05), LCM₄₀, LCM₆₀ 및 LCM₁₀₀, LCM₄₀ ℓ, LCM₆₀ ℓ 및 LCM₁₀₀ ℓ는 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). LCM₀와 LCM₂₀ ℓ은 증체율, 일간성장률, 간중량지수 및 단백질 전환효율에 있어서는 유의적인 차이를 보이지 않는 반면에 (P>0.05), 사료효율에 있어서는 LCM₀에 비해 LCM₂₀ ℓ이 유의적으로 낮게 나타났다 (P<0.05). 헤마토그리트와 비만도는 모든 사료구에서 유의적인 차이가 없었다 (P>0.05).

따라서, 치어기 잉어에 있어서 lysine 부산물은 어분단백질의 20%까지 대체 가능하며, lysine 부산물에 결핍된 필수아미노산인 lysine을 첨가한 사료구에서는 첨가 효과가 나타나지 않았다.

감사의 글

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

참고 문헌

- 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, 97~100.
- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA.
- Bai, S.C., K.J. Lee and H.K. Jang. 1996. Development of an experimental model for vitamin C requirement study in Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. J. Aquaculture, 9, 169~178.
- Bai, S.C., S.M. Choi, K.W. Kim and X.J. Wang. 2001. Apparent protein and phosphorus digestibilities of five different dietary protein sources in Korean rockfish *Sebastes schlegeli* (Hillgendorf). Aquaculture Research, 32, 99~105.
- Beck, H., J. Gropp, H. Koops and K. Tiews. 1979. Single cell proteins in trout diets. In *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. 2, J.E. Halver and K. Tiews, eds. Heenemann, Belin, pp. 269~280.
- 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. Aquaculture Research, 26, 141~145.
- Bergstrom, E. 1979. Experiments on the use of single cell proteins in Atlantic salmon diets. In *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. 2, J.E. Halver and K. Tiews, eds. Heenemann, Belin, pp. 105~116.
- Brown, B.A. 1980. Routine hematology procedures. In *Hematology: Principles and Procedures*, Lea and Febiger, ed. Philadelphia, pp. 71~112.
- Cho, C.Y. and S.J. Slinger. 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*, Vol. II, J.H. Halver and K. Tiews, eds. Heenemann, Berlin, pp. 239~247.
- 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.
- FAO. FISHSTAT Plus statistic database, 2000.
- Hanley, F. 1987. The digestibility of foodstuffs and the effects of feeding selectively on digestibility determinations in Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). Aquaculture, 66, 163~179.
- 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 (in Korean).
- Kim, K.W., J.Y. Lee, S.C. Bai and H.S. Lee. 2001. Effects of dietary supplementation of lysine cell mass as a fish meal replacer in juvenile Nile tilapia. J. Aquaculture, 14, 197~203 (in Korean).
- Lee, K.J. and S.C. Bai. 1997. Hemoglobin powder as a dietary animal protein source for juvenile Nile tilapia. The 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). Aquaculture Research, 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.
- 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.
- MOMAF. 2001. Statistics of Ministry of Maritime Affairs and Fisheries, Seoul, Korea.
- 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. Aquaculture Research, 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.
- NRC. 1993. Nutrient Requirements of Fish, National Academy Press, Washington, DC, 114p.
- 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. Takeuchi, 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.
- Rumsey, G. 1994. What is the future of meal use? Feed International, pp. 10~17.
- Song, M.H., K.J. Lee and S.C. Bai. 1995. Effects of dietary blood meal as a protein source in growing common carp (*Cyprinus carpio*), J. Aquaculture, 8, 343~354.
- Sugiura, S.H., F.M. Dong, C.K. Rathbone and R.W. Hardy. 1998. Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. Aquaculture, 159, 177~202.
- 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.

2002년 4월 15일 접수

2002년 6월 25일 수리