

배합사료의 단백질 및 지질 함량이 종어(*Leiocassis longirostris* Gunther) 치어의 성장과 체성분에 미치는 효과

임상구 · 한형균 · 방인철¹ · 최진² · 이상민^{2*}

국립수산과학원 내수면양식연구센터, ¹순천향대학교 생명시스템학과, ²강릉원주대학교 해양생물공학과

Effect of Dietary Protein and Lipid Levels on the Growth and Body Composition of Juvenile Long Snout Bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther

Sang Gu Lim, Hyoung Kyun Han, In Chul Bang¹, Jin Choi² and Sang-Min Lee^{2*}

Inland Aquaculture Research Center, National Fisheries Research & Development Institute, Changwon 645-806, Korea

¹Department of Life Science and Biotechnology, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

²Department of Marine Bioscience and Technology, Gangneung-Wonju National University, Gangneung 210-702, Korea

We ran a feeding trial to determine optimal dietary protein and lipid levels for growth of juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther. Eight experimental diets (P20L7, P20L14, P30L7, P30L14, P40L7, P40L14, P50L7 and P50L14) were formulated to contain 20%, 30%, 40% or 50% protein combined with either 7% or 14% lipid. Three replicate groups of fish (mean mass: 3.9 g/fish) were fed one of the experimental diets *ad libitum* for 8 weeks. Survival of fish fed the P20L14 diet was lower than that of fish fed the P40L14, P50L7 and P50L14 diets. Growth of fish fed diets containing 7% lipid increased with increasing protein level (up to 50% protein); growth of fish fed diets containing 14% lipid increased with increasing protein level (up to 30% protein). The feed efficiency of fish fed a diet with 50% protein and 7% lipid was higher than that of other groups. Whole body moisture and lipid contents were affected by dietary lipid level but not by dietary protein level. The crude lipid contents of fish fed 14% lipid diets were higher than those fed 7% lipid diets across all protein levels (other than the 50% level). Thus, under our experimental conditions, an increase in dietary protein level improved growth and feed efficiency of fish; a diet containing 50% protein with 7% lipid was optimal for growth and effective feed utilization in juvenile long snout bullhead.

Key words: Dietary protein and lipid, *Leiocassis longirostris* Gunther, Growth

서론

어류가 활동하고 성장하기 위해서는 수십 가지의 필수 영양소와 에너지가 필요한데, 이 중에서도 단백질은 어류의 성장에 가장 큰 영향을 미치는 필수 영양소이다. 또한, 사료의 영양 성분 중 단백질 함량이 차지하는 비율이 매우 높고, 사료에 배합되는 단백질원의 가격이 비싸기 때문에, 양식 대상어종의 적정 사료 단백질 함량을 구명하는 것은 경제적인 배합사료 개발에 필수적이다. 단백질뿐 아니라 비단백질 유래의 에너지 함량도 양어 사료 설계시 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 즉, 사료의 에

너지 함량이 낮으면 어체 내에서 단백질을 분해하여 에너지원으로 사용하기 때문에 단백질효율이 낮아지고, 사료 중에 단백질원이 차지하는 단가가 높기 때문에 그 만큼 양식 생산비용이 높아지게 된다. 반대로 사료의 에너지가 높으면, 사료 섭취량이 줄어들어 최적 성장에 필요한 필수영양소의 섭취가 상대적으로 줄어들어 성장이 저해되고 어체에 지방 축적이 높아져 품질이 저하된다(NRC, 2011). 이와 같이 사료의 단백질에 대한 에너지의 함량이나 비율이 맞지 않으면, 양식어류 생산에 소요되는 사료 단가가 상승할 뿐 아니라 사료유래의 수질오염원이 증가될 수 있기 때문에 사료의 적정 단백질과 에너지 함량에 관한

Article history;

Received 24 April 2013; Revised 15 July 2013; Accepted 22 July 2013

*Corresponding author: Tel: +82. 33. 640. 2414 Fax: +82. 33. 640. 2955

E-mail address: smlee@gwnu.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 46(4) 377-383, August 2013

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2013.0377>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

연구는 매우 중요하다(Hillestad et al., 2001). 사료의 에너지 함량은 지질이나 탄수화물 함량을 달리 첨가하여 조절하는데, 어류의 식성, 사료 성형 등을 고려하여 배합사료의 원료들을 선정하여 조성한다. 사료 단백질을 절약할 수 있는 방안은 섭취된 사료의 단백질이 어류의 성장에 효율적으로 사용될 수 있도록 사료의 비 단백질 유래의 에너지 함량을 적절히 사료에 배합하는 것이다(NRC, 2011). 즉, 어류가 섭취한 사료의 비 단백질 에너

지원으로 지질이나 탄수화물을 최대한 이용할 수 있도록 하는 사료 영양소 조성표를 제시하는 것이다. 이러한 비 단백질 에너지 지원의 이용은 어류의 식성 등에 따라서 달라지는데, 일반적으로 육식성이나 잡식성 어류들이 초식성 어류들보다 지질 이용성 높고, 초식성이 강한 어류는 육식성이나 잡식성 어류보다 탄수화물 이용성이 높은 것으로 알려져 있다.

종어(*Leiocassis longirostris* Gunther)는 메기목 동자개과 중

Table 1. Ingredient and proximate composition of experimental diets

	Diets							
	P20L7	P20L14	P30L7	P30L14	P40L7	P40L14	P50L7	P50L14
Ingredients (air-dried %)								
Pollack fish meal	14.0	14.0	32.0	32.0	50.0	50.0	68.0	68.0
Wheat flour	55.0	40.0	45.0	30.0	35.0	20.0	25.0	10.0
Corn gluten meal	4.0	7.0	3.0	6.0	2.0	5.0	1.0	4.0
α -Potato starch	1.0	6.0	1.0	6.0	1.0	6.0	1.0	6.0
Squid liver oil	3.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0		
Soybean oil	1.0	4.5	1.0	4.5	1.0	4.5	1.0	4.5
Linseed oil	1.0	4.5	1.0	4.5	1.0	4.5	1.0	4.5
α -Cellulose	18.0	18.0	12.0	12.0	6.0	6.0		
Vitamin premix ¹	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mineral premix ²	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin C (50%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Choline salt (50%)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Taurine	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Nutrient content (dry matter basis)								
Crude protein (%)	20.9	20.2	31.5	31.0	41.1	41.6	51.5	51.6
Crude lipid (%)	6.7	14.6	6.7	13.9	6.6	13.2	6.6	13.4
Crude fiber (%) ³	18.6	18.6	12.6	12.6	6.6	6.6	0.6	0.6
Ash (%)	5.0	4.6	8.7	8.8	13.3	12.7	16.6	16.4
Carbohydrate (%) ⁴	48.8	42.0	40.5	33.7	32.4	25.9	24.7	18.0
Energy (MJ/kg diet) ⁵	15.9	17.7	17.0	18.5	17.8	19.4	18.9	20.4
P:E ratio (g/MJ)	13.1	11.4	18.6	16.8	23.1	21.5	27.3	25.3
Non-protein E/protein ratio (MJ/mg)	52.7	64.1	30.5	36.3	19.9	23.1	13.3	16.2
Essential amino acid composition (% in protein)								
Arg	5.1	4.9	5.7	5.9	6.3	6.1	6.5	6.4
His	2.4	2.3	2.6	2.4	2.3	2.6	2.4	2.2
Ile	3.4	3.4	2.7	2.7	3.7	3.5	3.5	3.7
Leu	8.4	8.8	8.0	8.6	8.2	8.5	8.0	8.5
Lys	5.2	5.6	6.6	6.4	6.9	7.2	7.4	7.1
Met+Cys	3.6	3.6	3.6	2.8	4.0	3.8	3.9	3.7
Phe+Tyr	7.0	7.6	6.7	7.0	7.2	7.0	6.8	7.3
Thr	4.1	3.9	4.5	4.6	4.5	4.8	4.8	4.7
Val	4.1	4.1	3.5	3.4	4.3	4.3	4.2	4.2

¹ Vitamin premix contained the following amount which were diluted in cellulose (g/kg mix): DL- α -tocopheryl acetate, 18.8; thiamin hydrochloride, 2.7; riboflavin, 9.1; pyridoxine hydrochloride, 1.8; niacin, 36.4; Ca-D-pantothenate, 12.7; myo-inositol, 181.8; D-biotin, 0.27; folic acid (98%), 0.68; p-aminobenzoic acid, 18.2; menadione, 1.8; retinyl acetate, 0.73; cholecalciferol, 0.003; cyanocobalamin, 0.003.

² Mineral premix contained the following ingredients (g/kg mix): MgSO₄·7H₂O, 80.0; NaH₂PO₄·2H₂O, 370.0; KCl, 130.0; Ferric citrate, 40.0; ZnSO₄·7H₂O, 20.0; Ca-lactate, 356.5; CuCl, 0.2; AlCl₃·6H₂O, 0.15; KI, 0.15; Na₂Se₂O₃, 0.01; MnSO₄·H₂O, 2.0; CoCl₂·6H₂O, 1.0.

³ Calculated based on the crude fiber content of ingredients.

⁴ Calculated, 100 - (crude protein + crude lipid + crude fiber + ash).

⁵ Calculated based on 23.4 MJ/kg protein, 39.2 MJ/kg lipid and 17.2 MJ/kg carbohydrate.

어속에 속하는 담수어류로서 최근에 중국을 비롯하여 한국에서도 고급 양식 대상종으로 잠재력이 높은 종이다(Pei et al., 2004). 종어는 육식성으로 소형 어류나 저서 갑각류를 섭취하는 것으로 보고되어 있다(Xie et al., 1998). 이미 중국의 학자들이 종어 사료의 탄수화물과 지질 이용성에 대해 연구를 수행하였으나(Pei et al., 2004; Tan et al., 2007;), 그 연구가 매우 제한적이다. 육식성인 종어의 단백질 요구는 높을 것으로 추정되지만, 단백질 요구량과 관련된 연구는 미비한 실정이다. 또한, 육식성 어류는 탄수화물보다 지질의 이용성이 높기 때문에 단백질과 지질의 상호적인 영향을 조사하는 것이 필요하다고 판단되어 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험사료

실험사료의 원료조성과 영양소 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 4×2 factorial 디자인으로 4종류의 단백질 함량(20%, 30%, 40% 및 50%)과 2종류의 지질 함량(7% 및 14%)을 함유하고 있는 총 8종류의 실험사료를 제조하였다. 실험사료의 단백질원으로 어분을 사용하였고, 지질원으로 어유, 대두유 및 아마인유를 각각 사용하였다. 탄수화물원으로 소맥분을 사용하였고, 사료의 단백질과 지질 함량은 이 원료들의 첨가 비로 조절하였다. 이와 같이 설계된 원료들을 잘 혼합한 후 원료 100 g당 물 30 g을 첨가하여 moist pellet 제조기로 압출 성형한 후, 실온에서 건조시켜 -30℃에 냉동 보관하면서 사용하였다. 실험사료의 지방산 조성은 Table 2에 나타내었다.

실험어 및 사육관리

실험어는 국립수산물과학원 내수면양식연구소에서 종묘 생산된 종어 치어를 사용하였다. 실험어는 2주간 실험수조에 순치시킨 후, 외형적으로 건강한 평균체중 3.9±0.20 g의 종어 치

어를 선별하여 총 24개의 400 L 수조에 각각 20마리씩 3반복으로 수용하여 8주간 사육 실험하였다. 사육수는 지하수를 사용하였으며, 사육기간 동안 수온은 24.1±0.82℃였고, 각 수조마다 약하게 폭기시켜 산소를 공급하였다. 실험사료는 1일 2회(9:00, 17:00) 실험어가 먹을 때까지 손으로 만복 공급하였다. 사육기간 중 죽은 개체는 매일 제거하였으며, 하루에 한번(13:00) 수조 청소를 실시하고, 일일 사료 섭취량과 폐사어 등은 매일 기록하였다.

어체측정 및 성분분석

어체 측정은 사육실험 시작시와 종료시에 측정 전일 절식시킨 후 tricaine methanesulfonate (MS 222, Sigma, St. Louis, MO, USA) 100 ppm 수용액에 마취시켜 수조에 수용된 실험어의 무게를 측정하였다. 사육 종료시에 혈액성분의 변화를 조사하기 위해 헤파린이 처리된 1 mL 주사기를 사용하여 실험어의 미부 혈관에서 채혈하였으며, 채혈한 혈액은 7,500×g에서 10분간 원심 분리하여 얻은 혈청을 동결보존(-70℃)하였다. 혈액 분석은 임상용 kit (Asan pharmaceutical Co., Seoul, Korea)를 사용하여 total protein은 burette법으로 glucose는 효소법으로, cholesterol은 COD-POD법을 사용하여 각각 분석하였다. 실험사료 및 어체의 일반성분은 AOAC (1995) 방법에 따라, 조단백질(N×6.25)은 Auto Kjeldahl system (Buchi B-324/435/412, Switzerland; Metrohm 8-719/806, Switzerland)을 사용하여 분석하였고, 조지방은 ether로 추출하여 측정하였으며, 수분은 105℃ dry oven에서 6시간 동안 건조 후 측정하였고, 회분은 600℃ 회화로에서 4시간 동안 태운 후 측정하였다. 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 총 지질을 추출하여 14% BF₃-methanol (Sigma, USA) 용액으로 지방산을 methylation 시킨 후, capillary column (SPTM-2560, 100 m × 0.25 mm i. d., film thickness 0.20 μm, USA)이 장착된 gas chromatography (Perkin Elmer, Clarus 600, USA)로 지방산을 분석하였다. Carrier gas는 헬륨을 사용하였으며, oven 온도는 최초 140℃에서 240℃까지 4℃/min 증가시켰다. 이때, injector 온도는 240℃, detector (FID) 온도는 240℃로 각각 설정하였으며, 표준 지방산으로 37개 지방산 혼합물(PUFA 37 Component FAME Mix, USA)을 사용하였다. 아미노산은 시료를 6 N HCl로 110℃ sand bath 상에서 24시간 가수분해한 후, 감압 농축하고, Automatic amino acid analyzer (L-8800, Hitachi, Column : Ion exchange, Injection Pump : Pressure 0-19.6Mpa, Flow Rate 0.05-0.99 mL/min, Column Oven : Electrothermal cooling (30-70℃), Reaction Unit : Reaction Column (135℃, 50℃), Photometer : Wavelength 570 nm, 440 nm)를 사용하여 분석하였다.

통계처리

결과의 통계처리는 SPSS Version 20.0 (SPSS Inc., Chicago,

Table 2. Major fatty acid composition (% of the total fatty acids) of the experimental diets

Fatty acids	Diets							
	P20 L7	P20 L14	P30 L7	P30 L14	P40 L7	P40 L14	P50 L7	P50 L14
C14:0	1.9	1.3	2.0	1.2	1.8	1.3	1.8	1.2
C16:0	17.2	13.9	17.2	13.9	17.3	14.9	17.2	14.2
C16:1n	2.5	1.7	2.7	1.7	2.8	1.9	3.1	1.9
C18:0	2.8	3.7	3.4	3.7	3.7	4.2	3.9	4.2
C18:1n-9	19.9	21.7	19.6	22.1	19.3	21.0	20.1	21.2
C18:2n-6	33.5	32.3	26.5	28.3	20.9	26.0	15.7	20.6
C18:3n-3	7.8	16.9	8.0	13.9	6.7	12.9	6.2	13.9
C20:0	0.5	1.3	0.6	1.2	0.5	1.1	0.5	1.2
C20:5n-3	4.5	2.3	5.1	2.5	6.7	4.9	7.3	5.3
C22:5n-3	0.4	0.2	0.7	0.5	0.9	0.6	1.0	0.7
C22:6n-3	4.0	1.9	5.3	4.1	8.1	6.0	9.4	6.9

Table 3. Growth performance and feed utilization of juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther (initial body weight, 3.9±0.18 g/fish) fed the experimental diets containing different protein (CP) and lipid (CL) levels for 8 weeks¹

Diets	Survival (%)	SGR (%) ²	Feed efficiency (%) ³	Daily feed intake (%) ⁴	PER ⁵
P20L7	75±5.0 ^{ab}	0.29±0.02 ^a	13.6±1.80 ^a	1.4±0.13 ^{ab}	0.65±0.08 ^a
P20L14	60±8.3 ^a	0.34±0.11 ^a	21.9±2.51 ^{ab}	1.4±0.09 ^{ab}	1.09±0.13 ^{ab}
P30L7	83±3.3 ^{ab}	0.52±0.10 ^{ab}	30.4±4.16 ^{bc}	1.5±0.06 ^{ab}	0.97±0.13 ^a
P30L14	78±7.6 ^{ab}	0.55±0.09 ^{ab}	35.2±6.26 ^{bcd}	1.3±0.04 ^a	1.14±0.20 ^{ab}
P40L7	71±14.7 ^{ab}	0.72±0.06 ^b	46.0±6.67 ^{cd}	1.3±0.11 ^a	1.12±0.16 ^{ab}
P40L14	89±9.0 ^b	0.73±0.03 ^b	36.2±3.94 ^{bcd}	1.8±0.24 ^b	0.87±0.10 ^a
P50L7	97±3.3 ^b	1.07±0.09 ^c	75.5±7.99 ^e	1.4±0.12 ^a	1.47±0.15 ^b
P50L14	94±5.7 ^b	0.76±0.13 ^b	54.2±9.65 ^d	1.4±0.05 ^a	1.05±0.19 ^{ab}
Two-way ANOVA					
CP level	P<0.02	P<0.001	P<0.001	P<0.6	P<0.2
CL level	P<0.8	P<0.4	P<0.5	P<0.3	P<0.9
CP × CL	P<0.2	P<0.2	P<0.04	P<0.1	P<0.04

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² Specific growth rate (%/day) = $[\ln(\text{final fish wt.}) - \ln(\text{initial fish wt.})] \times 100 / \text{days of feeding}$.

³ Wet weight gain $\times 100 / \text{feed intake}$.

⁴ Feed intake $\times 100 / [(\text{initial fish wt.} + \text{final fish wt.} + \text{dead fish wt.}) \times \text{days reared}/2]$.

⁵ Protein efficiency ratio = wet weight gain / protein intake.

IL, USA) program을 사용하여 One-way ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test (Duncan, 1995) 로 평균 간의 유의성을 검정하였으며, Two-way ANOVA-test를 통해 실험 사료내 단백질과 지질 함량의 상호관계를 조사하였다.

결 과

8주간의 사육실험 종료 후, 종어의 성장 및 사료이용효율 결과를 Table 3에 나타내었다. 사육기간 동안에 종어의 생존율은 사료내 단백질 함량에 영향을 받았으며($P<0.02$), P20L14실험구가 P40L14, P50L7 및 P50L14실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 종어의 일간성장율은 사료내 단백질 함량에 영향을 받았으며($P<0.001$), P50L7실험구가 가장 높은 값을 나타내었다. 종어의 성장은 사료 지질 7% 실험구에서 사료 단백질 함량이 증가함에 따라 높아졌고, 사료 지질 14% 실험구에서는 사료 단백질 30% 이상에서 유의한 차이가 없었다. 사료효율은 사료내 단백질 함량에 영향을 받았으며($P<0.001$), P50L7실험구가 가장 높은 값을 나타내었다($P<0.05$). 일일사료섭취율은 사료내 단백질 및 지질 함량에 영향을 받지 않았으며($P>0.05$), P30L14, P40L7, P50L7 및 P50L14실험구가 P40L14실험구보다 유의하게 낮았다($P<0.05$). 단백질효율은 사료내 단백질과 지질 함량에 영향을 받지 않았으며, P50L7실험구가 P20L7, P30L7 및 P40L14실험구보다 유의하게 높았다($P<0.05$).

전어체의 일반성분 분석 결과를 Table 4에 나타내었다. 전어체의 수분 및 지질 함량은 사료내 지질 함량에 영향을 받았지만($P<0.01$), 사료내 단백질 함량에는 영향을 받지 않았다. 수분 함량은 사료 단백질 함량 40% 및 50% 실험구에서 차이가 없었으나, 단백질 함량 20% 및 30% 실험구들에서는 지질 함량이 증

가함에 따라 낮아지는 경향이 나타났다. 전어체의 지질 함량은 사료 단백질 50% 실험구에서는 차이가 없었으나, 단백질 함량 20%, 30% 및 40% 실험구에서는 사료 지질 함량이 높을수록 유의하게 높아지는 경향을 보였다($P<0.05$). 전어체의 단백질 함량은 사료내 지질 함량에 영향을 받지 않았지만, 사료내 단백질 함량이 높을수록 높아지는 경향을 보였다. P30L14, P40L7, P40L14, P50L7 및 P50L14사료를 섭취한 실험어의 전어체 단백질 함량은 P20L7, P20L14 및 P30L7사료를 섭취한 실험어보다 유의하게 높았다($P<0.05$). 전어체의 회분 함량은 사료내 단

Table 4. Proximate composition (%) of the whole body in juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther fed the diets containing different protein (CP) and lipid (CL) levels for 8 weeks¹

Diets	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash
Initial	79.2	12.9	2.4	3.1
P20L7	77.3±0.58 ^b	12.0±0.07 ^a	4.0±0.35 ^a	3.3±0.15 ^{ns}
P20L14	74.7±0.90 ^a	12.4±0.13 ^a	5.7±0.59 ^b	3.6±0.29
P30L7	77.6±0.70 ^b	12.4±0.38 ^a	4.0±0.17 ^a	3.3±0.07
P30L14	74.6±0.26 ^a	13.6±0.21 ^b	5.7±0.64 ^b	3.2±0.12
P40L7	75.9±0.24 ^{ab}	14.0±0.15 ^b	4.8±0.09 ^a	3.2±0.15
P40L14	76.2±0.87 ^{ab}	13.2±0.48 ^b	6.1±0.52 ^b	3.0±0.03
P50L7	75.6±0.38 ^{ab}	13.8±0.06 ^b	5.8±0.35 ^b	3.1±0.12
P50L14	75.8±0.12 ^{ab}	13.8±0.12 ^b	5.6±0.15 ^b	3.5±0.12
Two-way ANOVA				
CP level	P<0.9	P<0.001	P<0.3	P<0.3
CL level	P<0.01	P<0.3	P<0.001	P<0.4
CP × CL	P<0.02	P<0.01	P<0.02	P<0.1

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). ns: Not significant ($P>0.05$).

Table 5. Essential amino acids (% in protein) of the whole body in juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther fed the diets containing different protein (CP) and lipid (CL) levels for 8 weeks¹

Diets	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Val
P20L7	6.5±0.09 ^{ns}	2.3±0.01 ^{ab}	3.1±0.28 ^{ns}	7.8±0.07 ^{ns}	8.4±0.06 ^a	3.4±0.03 ^{ns}	6.8±0.24 ^a	4.7±0.07 ^{ns}	3.5±0.25 ^{ns}
P20L14	6.7±0.15	2.2±0.06 ^a	3.0±0.32	7.7±0.10	8.3±0.01 ^a	3.1±0.10	6.8±0.07 ^a	4.9±0.34	3.3±0.35
P30L7	6.6±0.12	2.3±0.03 ^{ab}	3.0±0.32	7.8±0.15	8.4±0.15 ^a	3.2±0.12	7.0±0.09 ^{ab}	4.7±0.09	3.3±0.29
P30L14	6.7±0.15	2.3±0.01 ^{ab}	2.9±0.30	7.8±0.20	8.4±0.15 ^a	3.3±0.03	7.0±0.06 ^{ab}	4.8±0.07	3.3±0.26
P40L7	6.6±0.09	2.4±0.01 ^b	3.1±0.24	7.9±0.09	8.6±0.09 ^b	3.3±0.15	7.2±0.12 ^b	5.0±0.22	3.4±0.23
P40L14	6.5±0.12	2.4±0.06 ^b	3.0±0.36	8.1±0.12	8.8±0.12 ^b	3.4±0.09	7.3±0.09 ^b	5.6±0.79	3.4±0.36
P50L7	6.3±0.12	2.5±0.06 ^b	3.5±0.21	8.2±0.10	8.7±0.09 ^b	3.5±0.07	7.3±0.13 ^b	4.9±0.03	3.8±0.20
P50L14	6.3±0.06	2.4±0.03 ^b	3.5±0.22	8.0±0.03	8.7±0.01 ^b	3.4±0.06	7.2±0.03 ^b	4.8±0.03	3.8±0.18

Two-way ANOVA

	CP level	CL level	CP × CL
Arg	P<0.05	P<0.001	P<0.001
His	P<0.3	P<0.1	P<0.6
Ile	P<0.04	P<0.8	P<1.0
Leu	P<0.002	P<0.7	P<0.6
Lys	P<0.1	P<0.6	P<0.4
Met + Cys	P<0.002	P<0.4	P<0.3
Phe + Tyr	P<0.002	P<0.8	P<0.8
Thr	P<0.3	P<0.3	P<0.7
Val	P<0.3	P<0.7	P<1.0

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

ns: Not significant ($P>0.05$).

백질 및 지질 함량에 영향을 받지 않았다($P>0.05$).

전어체의 필수아미노산 분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 전어체 단백질의 histidine, leucine, lysine 및 phenylalanine + tyrosine 함량은 사료내 단백질 함량에 영향을 받았으며, 사료 단백질 함량이 증가할수록 이들 아미노산의 함량은 증가하는 경향을 보였고, 다른 아미노산 함량은 사료내 단백질 함량에 영향을 받지 않았다. 또한, 전어체의 모든 필수아미노산은 사료내 지질 함량에는 영향을 받지 않았다. 전어체 지질의 지

방산 조성을 Table 6에 나타내었다. 어체 지질 중의 주요 지방산인 C16:0, C18:1n-9, C18:2n-6, C18:3n-3, EPA 및 DHA의 함량은 사료 지질의 지방산 조성과의 유사한 경향을 보였다. 어체의 미부동맥에서 채혈한 혈액성상을 Table 7에 나타내었다. Total protein 및 glucose는 사료내 단백질 및 지질 함량에 영향을 받지 않아 실험구간 유의차가 없었다($P>0.05$). Cholesterol은 사료내 단백질 함량에 영향을 받았으며($P<0.001$), 사료내 단백질 함량이 증가함에 따라 높아지는 경향을 보였다.

Table 6. Major fatty acid composition (% of the total fatty acids) of whole body in juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther fed the diets containing different protein and lipid levels for 10 weeks¹

Fatty acid	Diets							
	P20L7	P20L14	P30L7	P30L14	P40L7	P40L14	P50L7	P50L14
C14:0	1.5±0.64 ^{ns}	1.8±0.10	2.0±0.09	1.3±0.15	1.8±0.09	1.4±0.07	1.6±0.03	1.2±0.06
C16:0	16.8±0.6 ^{cd}	15.3±0.15 ^b	17.4±0.15 ^{de}	13.9±0.55 ^a	18.2±0.20 ^e	15.4±0.37 ^b	18.6±0.23 ^e	15.6±0.48 ^{bc}
C16:1n	4.3±0.67 ^{bc}	3.6±0.05 ^{ab}	4.9±0.12 ^c	2.9±0.09 ^a	4.9±0.09 ^c	3.2±0.10 ^a	5.2±0.09 ^c	3.3±0.12 ^a
C18:0	4.9±0.03 ^a	5.0±0.01 ^{ab}	5.2±0.12 ^{abc}	5.0±0.12 ^{ab}	5.3±0.07 ^{bc}	5.4±0.13 ^c	6.0±0.03 ^d	5.9±0.12 ^d
C18:1n-9	34.6±0.86 ^{bc}	32.0±0.80 ^a	35.5±0.87 ^c	32.6±0.55 ^a	39.4±0.41 ^d	32.9±0.18 ^{ab}	42.2±0.35 ^e	35.7±0.63 ^c
C18:2n-6	20.6±1.59 ^{de}	22.3±1.20 ^e	16.9±0.46 ^c	22.0±0.36 ^e	13.1±0.20 ^b	20.3±0.70 ^{de}	10.4±0.27 ^a	18.4±1.06 ^{cd}
C18:3n-3	4.3±0.67 ^a	9.7±0.35 ^b	4.9±0.17 ^a	10.9±1.30 ^b	4.5±0.12 ^a	9.8±0.63 ^b	4.2±0.03 ^a	9.1±1.09 ^b
C20:0	0.7±0.01 ^a	1.4±0.01 ^c	0.7±0.03 ^a	1.4±0.07 ^c	0.6±0.03 ^a	1.3±0.03 ^{bc}	0.6±0.01 ^a	1.3±0.07 ^b
C20:1n-9	1.2±0.07 ^c	0.9±0.05 ^b	1.0±0.06 ^{bc}	1.0±0.12 ^{bc}	0.8±0.06 ^b	0.9±0.03 ^b	0.6±0.01 ^a	0.8±0.03 ^b
C20:3n-6	1.0±0.25 ^c	0.6±0.01 ^{ab}	0.5±0.01 ^{ab}	0.7±0.03 ^b	0.4±0.01 ^{ab}	0.6±0.03 ^{ab}	0.3±0.01 ^a	0.5±0.03 ^{ab}
C20:3n-3	1.5±0.19 ^{bc}	1.2±0.10 ^{ab}	1.8±0.12 ^d	1.0±0.10 ^a	1.6±0.03 ^{cd}	1.1±0.03 ^a	1.7±0.07 ^{cd}	1.2±0.06 ^{ab}
C20:4n-6	0.6±0.03 ^{bc}	0.5±0.20 ^{ab}	0.5±0.03 ^{ab}	0.8±0.06 ^d	0.5±0.03 ^{ab}	0.7±0.03 ^{cd}	0.4±0.03 ^a	0.6±0.01 ^{bc}
C20:5n-3	1.7±0.12 ^{bc}	1.2±0.55 ^a	1.9±0.12 ^c	1.3±0.12 ^{ab}	1.8±0.09 ^{bc}	1.3±0.03 ^{ab}	1.8±0.10 ^{bc}	1.1±0.07 ^a
C22:1n-9	0.4±0.06 ^a	0.6±0.05 ^b	0.5±0.06 ^{ab}	0.9±0.03 ^c	0.5±0.03 ^{ab}	0.8±0.03 ^c	0.4±0.01 ^a	0.9±0.01 ^c
C22:5n-3	1.0±0.06 ^{bc}	0.7±0.30 ^a	1.1±0.03 ^c	0.7±0.09 ^a	1.1±0.03 ^c	0.8±0.03 ^{ab}	1.1±0.06 ^c	0.7±0.03 ^a
C22:6n-3	4.3±0.27 ^{bc}	3.0±0.95 ^a	4.5±0.20 ^c	3.0±0.47 ^a	4.9±0.23 ^c	3.3±0.15 ^{ab}	4.7±0.22 ^c	3.0±0.29 ^a
n-3HUFA ²	8.8±0.22 ^b	6.3±2.02 ^a	9.6±0.44 ^b	6.3±0.76 ^a	9.6±0.41 ^b	6.9±0.21 ^a	9.3±0.30 ^b	6.3±0.39 ^a

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$).

² High unsaturated fatty acid ($C \geq 20$).

ns: Not significant ($P>0.05$).

Table 7. Hematological change of the plasma in juvenile long snout bullhead *Leiocassis longirostris* Gunther fed the experimental diets containing different protein (CP) and lipid (CL) levels for 8 weeks¹

Diets	Total protein (g/dl)	Glucose (mg/dl)	Cholesterol (mg/dl)
P20L7	2.9±0.10 ^{ns}	16.0±2.52 ^{ns}	185±3.9 ^a
P20L14	2.8±0.22	13.0±2.52	185±11.5 ^a
P30L7	3.1±0.28	18.7±1.67	261±10.8 ^{cd}
P30L14	3.1±0.20	10.0±2.08	305±35.3 ^d
P40L7	3.2±0.16	16.7±4.26	195±15.2 ^{ab}
P40L14	3.2±0.22	20.3±5.04	205±29.6 ^{abc}
P50L7	3.2±0.14	24.0±8.54	254±9.0 ^{bcd}
L50L14	3.5±0.02	22.7±2.33	278±22.2 ^d
Two-way ANOVA			
CP level	P<0.05	P<0.2	P<0.001
CL level	P<0.8	P<0.5	P<0.2
CP × CL	P<0.8	P<0.5	P<0.7

¹ Values (mean±SE of three replications) in the same column not sharing a common superscript are significantly different ($P<0.05$). ns: Not significant ($P>0.05$).

고 찰

본 연구의 사료 지질 7% 실험구에서, 일간성장을 및 사료효율이 사료 단백질 함량 50%까지 증가한 반면에, 사료 지질 14% 실험구에서는 사료 단백질 함량 30% 이상의 실험구에서 차이가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 사료의 지질 함량에 따라 사료 단백질 함량에 반응하는 어류의 성장과 사료이용효율 차이는 사료 단백질에 대한 비단백질 유래의 에너지 함량에 의한 것으로 판단된다(Company et al., 1999; McGoogan and Gatlin, 1999; Lee et al., 2002). 또한, 단백질 함량 40% 이하인 사료에서는 종어의 성장이나 사료이용효율이 사료의 지질 함량에 영향을 받지 않은 것으로 나타났는데, 이는 종어가 요구하는 사료의 단백질 함량의 충족 여부에 의한 것으로 판단된다. 이러한 결과들로부터, 단백질 함량이 50%인 종어 배합사료에는 지질 함량을 7% 함유시키는 것이 바람직한 것으로 보인다. 이처럼 종어의 단백질 요구량이 50%로 높게 나타나는 것은 종어의 식성이 육식성임을 암시하고 있다. 종어의 단백질 요구량은 담수산인 메기(Khan et al., 1993; Wilson and Moreau, 1996; Ng et al., 2001)보다 높지만, 대부분의 육식성 어류의 단백질 요구량인 45-55% 범위(NRC, 2011)에 속한다.

대부분의 육식성 어류의 경우 사료 지질을 증가시켜 사료의 단백질 함량을 절감할 수 있는 데(De Silva et al., 1991; Vergara et al., 1996; Harpaz et al., 1999; Lee et al., 2002), 본 연구에서는 사료 지질 함량 증가에 따른 사료 단백질 절감 효과가 나타나지 않았다. 이러한 현상은 종어의 경우 사료 지질 이용성이 타 육식성 어류에 비해 낮거나, 사료에 첨가된 지질의 종류가 이 어종의 기호성에 맞지 않았을 수도 있다고 판단된다. 육식성 어류들도 그들의 서식 환경에 따라 지질 이용성이 다른 육식성 어

류보다 낮은 경우가 있는데, 예를 들어 넙치나 turbot의 지질 이용성도 타 육식성 어류보다 낮다고 보고되고 있다(Berge and Storebakken 1991; Regost et al. 2001; Lee and Kim, 2005). 또한, 사료의 지질 함량 변화가 어류의 성장에 영향을 미치지 않는다는 보고도 있는데(Nanton et al., 2001), 이는 사료의 단백질, 지질 및 탄수화물 함량에 대한 상호 작용의 차이로 해석된다. 본 연구에서 종어의 최대 성장에 해당하는 사료의 단백질에 대한 에너지 비인 27 g/MJ의 값은 대부분 어류의 적정성장에 필요한 사료의 단백질에 대한 에너지 비(19-27 g/MJ) 범위 내에 있다(NRC, 1993).

사료 단백질 절감의 목적으로 사료내 에너지 함량을 증가시킬 경우, 반드시 고려되어야 할 요소들이 있는데, 예를 들어 사료의 지질 함량이 어체 품질에 미치는 영향에 대한 것들이다. 사료내 에너지 함량이 높아지면, 여분의 에너지가 체내 지질로 축적되어 어체 품질이 저하되기도 하고, 사료섭취량이 줄어들어 성장이 둔화되기도 한다(Lee and Kim, 2005). 본 연구에서도 어체의 지질 함량은 사료의 에너지 함량에 영향을 받았는데, 사료의 지질 함량이 높은 사료를 섭취한 어류는 지질 함량이 증가하는 경향을 보였다.

어체 지질 중의 지방산 조성도 사료의 지방산 조성에 직접적으로 영향을 받았는데, 사료 지질 함량이 높은 실험구의 어체 EPA와 DHA는 사료 지질 함량이 낮은 실험구보다 낮게 조성되어 있는 반면에 C18:2n-6 및 C18:3n-3 함량은 지질 함량이 높은 사료를 섭취한 어류에서 높았다. 이는 사료에 배합된 지질의 지방산 조성에 영향을 받은 것으로 판단되며, 다른 어종에서도 유사한 경향을 보이고 있다(Bowden et al., 2004; Piedecausa et al., 2007).

본 연구의 결과로 부터, 종어의 경우 사료의 지질 함량 증가는 사료내 단백질 절감 효과를 나타내지 않았으며, 단백질 50%와 지질 7% 함유 사료가 최대 성장과 사료이용효율에 적합할 것으로 전망된다.

사 사

본 연구는 국립수산물연구원 경성과제(RP-2013-AQ-102)와 한국연구재단 지역대학 우수과학자지원사업(NRF-2012R1A1A4A01010504)의 지원에 의해 수행 되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis, 16th edition. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, USA.
- Berge GM and Storebakken T. 1991. Effect of dietary fat level on weight gain, digestibility and fillet composition of Atlantic halibut. *Aquaculture* 99, 331-338.
- Bowden LA, Weitzel B, Ashton IP, Secombes CJ, Restall CJ,

- Walton TJ, Bell JG, Henderson RJ, Tocher DR and Sargent JR. 2004. Replacement of dietary fish oil with increasing levels of linseed oil: modification of flesh fatty acid compositions in Atlantic salmon *Salmo salar* using a fish oil finishing diet. *Lipids* 39, 223-232.
- Company R, Calduch-Giner JA, Kaushik S and Perez-Sanchez J. 1999. Growth performance and adiposity in gilthead sea bream *Sparus aurata*: risks and benefits of high energy diets. *Aquaculture* 171, 279-292.
- De Silva SS, Gunasekera RM and Shim KF. 1991. Interactions of varying dietary protein and lipid levels in young red tilapia: evidence of protein sparing. *Aquaculture* 95, 305-318.
- Duncan DB. 1955. Multiple-range and multiple F tests. *Biometrics* 11, 1-42.
- Folch J, Lees M and Sloane-Stanley GH. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J Biol Chem* 226, 497-509.
- Harpaz S, Sklan S, Karplus I, Barki A and Noy Y. 1999. Evaluation of juvenile silver perch *Bidyanus bidyanus* Mitchell nutritional needs using high- and low-protein diets at two feeding levels. *Aquacult Res* 30, 603-610.
- Hillestad M, Johnsen F and Åsgård T. 2001. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Aquacult Res* 32, 517-529.
- Khan MS, Ang KJ, Ambak MA and Saad CR. 1993. Optimum dietary protein requirement of a Malaysian fresh water catfish, *Mystus nemurus*. *Aquaculture* 112, 227-235.
- Lee SM and Kim KD. 2005. Effect of various levels of lipid exchanged with dextrin at different protein level in diet on growth and body composition of juvenile flounder *Paralichthys olivaceus*. *Aquacult Nutr* 11, 435-442.
- Lee SM, Jeon IG and Lee JY. 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture* 211, 227-239.
- McGoogan BB and Gatlin DM. 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. I. Effects of dietary protein and energy levels. *Aquaculture* 178, 333-348.
- Nanton DA, Lall SP and McNiven MA. 2001. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. *Aquacult Res* 32, 225-234.
- NRC (National Research Council). 1993. Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- NRC (National Research Council). 2011. Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academy Press, Washington, DC, USA.
- Ng WK, Soon SC and Hashim R. 2001. The dietary protein requirement of a bagrid catfish, *Mystus nemurus* (Cuvier & Valenciennes), determined using semipurified diets of varying protein level. *Aquacult Nutr* 7, 45-51.
- Pei Z, Xie S, Lei W, Zhu X and Yang Y. 2004. Comparative study on the effect of dietary lipid level on growth and feed utilization for gibel carp and Chinese long snout catfish *Leiocassis longirostris* Günther. *Aquacult Nutr* 10, 209-216.
- Piedecausa MA, Mazón MJ, García BG and Hernández MD. 2007. Effects of total replacement of fish oil by vegetable oils in the diets of sharpnose seabream *Diplodus puntazzo*. *Aquaculture* 263, 211-219.
- Regost C, Arzel J, Cardinal M, Robin J, Laroche M & Kaushik SJ. 2001. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot *Psetta maxima*. *Aquaculture* 193, 291-309.
- Tan Q, Xie S, Zhu X, Lei W and Yang Y. 2007. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (Günther). *J Appl Ichthyol* 23, 605-610.
- Vergara JM, Fernandez-Palacios H, Robaina L, Jauncey K, De La Higuera M and Izquierdo M. 1996. The effects of varying dietary protein level on the growth, feed efficiency, protein utilization and body composition of gilthead sea bream. *Fish Sci* 62, 620-623.
- Wilson RP and Moreau Y. 1996. Nutrient requirements of catfishes *Siluroidei*. *Aqua Liv Res* 9, 103-111.
- Xie S, He X and Yang Y. 1998. Effects on growth and feed utilization of Chinese longsnout catfish *Leiocassis longirostris* Günther of replacement of dietary fishmeal by soybean cake. *Aquacult Nutr* 4, 187-192.