

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.16017

不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼生长和肌肉氨基酸含量的影响

徐革锋^{1,2}, 刘洋¹, 郝其睿¹, 王玉裕³, 牟振波⁴

1. 中国水产科学研究院 黑龙江水产研究所, 黑龙江 哈尔滨 150070;

2. 东北农业大学 动物科技学院水产系, 黑龙江 哈尔滨 150030;

3. 中国海洋大学 教育部海水养殖重点实验室, 农业部水产动物营养与饲料重点实验室, 山东 青岛 266003;

4. 西藏自治区农牧科学院 水产科学研究所, 西藏 拉萨 850032

摘要: 本研究旨在探讨不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)幼鱼生长、体成分以及肌肉氨基酸含量的影响。采用蛋白质水平为 40%、45%、50%和 55%, 脂肪水平为 8%和 16%, 共 8 组实验饲料。在水温为(16±0.2)℃的循环流水水族箱系统内进行为期 10 周的养殖试验。采用常规生化分析方法对该鱼肌肉营养学组成及含量进行测定分析。研究表明, 不同蛋白和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼增重率、特定增长率、肥满度和肝体比等均有显著影响($P<0.05$)。随着蛋白水平增加, 增重率、特定增长率、肥满度和肝体比率先升高后降低, 其肌肉粗蛋白含量也随之显著升高($P<0.05$), 而对粗脂肪和粗灰分不存在显著影响; 随着脂肪水平增加, 其肌肉粗脂肪含量也随之显著提高($P<0.05$), 而对水分、粗蛋白和灰分含量不存在显著影响。肌肉中共测定出 17 种氨基酸(除色氨酸), 不同蛋白和脂肪水平对氨基酸总量(W_{TAA})和必需氨基酸的构成比例(W_{EAA}/W_{TAA})不存在显著影响。综合生长性能与氨基酸模式的实验结果, 本研究认为细鳞鲑幼鱼最适蛋白质和脂肪水平分别为 50%和 8%, 适宜蛋能比为 29.36 g/MJ。

关键词: 细鳞鲑; 蛋白质; 脂肪; 生长; 体成分; 氨基酸

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)06-1311-09

在鱼类养殖生产中, 饲料是关乎鱼类生长发育的关键要素, 尤其在其苗种培育阶段。而蛋白质和脂肪配比通常是饲料配方的核心组成, 且这两种必需营养素在鱼类生长中扮演着重要角色, 因此, 不同种类和生长阶段的鱼类对饲料中蛋白质和脂肪需要量也不同^[1]。对于特定种类而言, 在饲料中蛋白和脂肪存在最适添加量, 并且存在最佳配比, 不但能降低饲料成本, 还能保证鱼类快速生长, 避免由于添加量和添加比例失调导致的蛋白浪费、代谢障碍以及抑制生长的情况发生^[2-3]。饲料企业控制成本的主要做法是, 控制蛋白与脂肪的经济配比, 而最终目的是降低蛋白含量。而在鱼类生长过程中, 蛋白的需求量存在弹性空间, 在低含量区通过能量物质添加, 不但降低鱼体氮

氮排放量, 还能提高蛋白利用率^[4]。目前在鱼类饲料配方组成方面, 蛋能比已成为饲料行业的主要关注焦点, 而且在研究领域也被深入探索^[5-10]。因此, 在开发养殖新品种的同时, 还要研发与之配套的商业化专用饲料, 为养殖新品种向产业化发展奠定基础。

细鳞鲑(*Brachymystax lenok*), 隶属鲑科(Salmonidae), 细鳞鲑属, 是中国名贵的冷水性鱼类, 该鱼主要分布于中国的黑龙江流域。由于环境恶化和酷鱼滥捕等原因, 细鳞鲑分布区域日益缩小, 种群数量逐渐减少。但随着近年来国家不断加大对生态环境的保护力度, 对珍稀物种的资源养护工作也不断得到了加强。在繁育增殖方面已开展了有关细鳞鲑的人工繁育^[11]、生物学^[12-13]和肌肉

收稿日期: 2016-02-03; 修订日期: 2016-03-23.

基金项目: “十二五”国家科技计划项目(2012BAD25B10).

作者简介: 徐革锋, 副研究员, 在读博士. E-mail: xgffish@hotmail.com

通信作者: 牟振波, 研究员. E-mail: mouzhenbo@163.com

营养成分分析^[14]等研究,但未见细鳞鲑幼鱼对饲料不同蛋白质和脂肪需求量,以及鱼体肌肉氨基酸含量的研究报道。因此,本研究采用 4×2 双因子试验设计,探讨细鳞鲑幼鱼饲料不同蛋能比对其生长和肌肉氨基酸含量的影响,为其饲料配方研发提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验用鱼

细鳞鲑(*Brachymystax lenok*)幼鱼来自于中国水产科学研究院黑龙江水产研究所丹东养殖基地,初始体重(11.85±0.32) g,体长(11.58±51) cm。

1.2 试验饲料与试验设计

以鱼粉和酪蛋白为主要蛋白源,鱼油和大豆磷脂(1:1)为脂肪源,配制成 4 个蛋白质水平(40%、45%、50%和 55%)和 2 个脂肪水平(8%和 16%)的 8 组试验饲料,按照蛋白质和脂肪含量水平将 8 组饲料分别命名为 40P/8L、40P/16L、45P/8L、45P/16L、50P/8L、55P/16L、55P/8L、55P/16L (P 表示蛋白质, L 表示脂肪)。饲料组成及营养水平见表 1。将各原料粉碎,过 60 目筛后,按比例混合搅拌均匀后机械挤压切割成直径 1.5~2 mm、长度 2~3 mm 的颗粒,45℃烘干后置于-20℃冰箱中备用。每个实验组分为 3 个平行,每个平行组 30 尾试验鱼。

表 1 试验饲料配方及营养成分含量
Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets

原料 ingredient	组别 group							
	40P/8L	40P/16L	45P/8L	45P/16L	50P/8L	50P/16L	55P/8L	55P/16L
鱼粉 fish meal	18	18	30	30	40	40	52	52
豆粕 soybean meal	10	10	9	9	8	8	7	7
酪蛋白 casein	12	12	11	11	10	10	9	9
玉米蛋白粉 corn meal	10	13	10	12	10	13	10	11
啤酒酵母 beer yeast	5	5	5	5	5	5	5	5
小麦粉 wheat meal	31.73	20.73	23.65	13.65	17.47	6.47	9.30	0.30
鱼油 fish oil	5.5	13.5	4.9	12.9	4.4	12.4	3.9	11.9
大豆磷脂 soy phospholipid	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
矿物质预混料 ¹⁾ mineral premix ¹⁾	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
氯化胆碱 choline	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
维生素预混料 ²⁾ vitamin premix ²⁾	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CMC	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	3.97	3.97	2.65	2.65	1.33	1.33	0.00	0.00
营养成分含量 proximate composition								
干物质 dry matter	98.3	97.1	96.9	96.7	97.1	97.2	96.7	97.8
粗蛋白 crude protein	39.6	40.6	44.5	43	48.6	49.2	54.3	53.7
粗脂肪 crude lipid	8.8	17.1	9.7	17.5	9.8	17.8	10.1	18.5
粗灰分 ash	10.9	9.9	10.7	9.7	10.2	10.2	10.8	11
可消化能(kJ·kg ⁻¹) available energy	16.52	18.34	16.34	18.14	16.18	17.99	16.02	17.81
蛋能比 P/E ratio (g protein·MJ ⁻¹)	24.09	22.40	27.11	23.68	29.36	26.97	33.02	29.25

注: 40P、45P、50P、55P 分别表示 40%、45%、50%和 55% 4 个蛋白质水平, 8 L、16 L 分别表示 8%和 16% 2 个脂肪水平。1) 矿物质预混料包含矿物质(g/kg 饲料): K₂SO₄, 446; MgSO₄·7H₂O, 1041; CoCl₂·6H₂O, 8.4; FeSO₄·6H₂O, 298.5; ZnSO₄·7H₂O, 132.1; CuSO₄·5H₂O, 11.8; MnSO₄·H₂O, 40; KI, 1.45; Na₂SeO₃, 0.658。2) 维生素预混料包含(IU 或 mg/kg 饲料): VA, 2575 IU; VD, 2520 IU; VE, 51 mg; VK, 84 mg; VB₁, 10.7 mg; VB₂, 21 mg; VB₆, 10.6 mg; VB₁₂, 0.02 mg; VB₅, 154.5 mg; D-Ca 泛酸, 40.8 mg; 肌醇, 420 mg; VH, 1.03 mg; 叶酸, 5.5 mg; VC, 108 mg。

Note: 40P, 45P, 50P and 55P represent protein levels at 40%, 45%, 50% and 55%, respectively; 8 L and 16 L represent lipid levels at 8% and 16%, respectively. 1) The premix supplies the following minerals (g/kg of diet): K₂SO₄, 446; MgSO₄·7H₂O, 1041; CoCl₂·6H₂O, 8.4; FeSO₄·6H₂O, 298.5; ZnSO₄·7H₂O, 132.1; CuSO₄·5H₂O, 11.8; MnSO₄·H₂O, 40; KI, 1.45; Na₂SeO₃, 0.658. 2) The premix supplies the following vitamins (IU or mg/kg of diet): VA, 2575 IU; VD, 2520 IU; VE, 51 mg; VK, 84 mg; VB₁, 10.7 mg; VB₂, 21 mg; VB₆, 10.6 mg; VB₁₂, 0.02 mg; VB₅, 154.5 mg; D-Ca pantothenate, 40.8 mg; inositol, 420 mg; VH, 1.03 mg; folic acid, 5.5 mg; VC, 108 mg.

1.3 试验环境与饲养管理

试验在中国水产科学研究院黑龙江水产研究所的精确控温水族箱中进行, 水温为 $(16\pm 0.2)^{\circ}\text{C}$, 底层过滤、臭氧消毒循环水, 溶解氧 8.0 mg/L 以上, pH $7.0\sim 7.3$ 。水族箱养殖单元格为长方体($50\text{ cm}\times 50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$), 水深为 40 cm , 水流量为 $2.5\sim 3.0\text{ L/min}$ 。每天定时投饵 2 次(8:00 和 16:00), 每次投喂持续 30 min , 饱和投喂, 记录存活率, 养殖时间为 10 周。

1.4 取样和实验方法

每个实验组随机选取 45 尾鱼(3 个平行组 $\times$ 15 尾)用苯氧乙醇(5 mL/L)麻醉, 测量体重、体长, 并计算肥满度; 其中每个平行组各取 5 尾在冰盘上解剖, 分离出肝称重, 以计算肝体比率, 各平行组余下的 10 尾鱼取背部肌肉, 去皮, 剪成 $2\sim 3\text{ cm}$ 肉条, 混合后用绞肉机捣碎, 称取适量在 105°C 烘干至恒重, 保存在 -20°C 冰箱中, 用于测定氨基酸。

实验方法: 首先采用索氏乙醚抽提法将样品脱脂, 烘干, 粉碎, 之后放入水解管, 加入 10 mL 浓度为 6.0 mol/L 盐酸, 充氮气封口, 110°C 水解 22 h , 之后冷却、摇匀和过滤, 再用双蒸馏水定容至 50 mL , 吸取 1 mL 冻干 $4\sim 6\text{ h}$, 再加入 1 mL 浓度为 0.02 mol/L 盐酸, 摇匀, 高速离心, 取上清液, 过滤, 上机分析。上机样品采用 HITACHI L-8800 (日本)氨基酸自动分析仪测定氨基酸。样品测定重复测定 6 次, 若相对偏差大于 2% , 则增加重复检测次数。

1.5 生长和形体指标评价

生长性能指标依据增重率(weight gain, WG)和特定生长率(specific growth rate, SGR)指标评价; 形体指标依据肝体比率(hepatosomatic index, HSI)和肥满度(condition factor, CF)指标评价。计算公式如下:

$$\text{WG}(\%)=100\times(W_t-W_0)/W_0;$$

$$\text{SGR}(\%/d)=100\times[\ln(W_t)-\ln(W_0)]/T;$$

$$\text{HSI}(\%)=100\times W_h/W_t;$$

$$\text{CF}(\%)=100\times W_t/L^3。$$

式中, W_0 为试验鱼初始体重(g), W_t 为试验末鱼体重(g); W_h 为试验末肝重(g); W_v 为试验末内脏重(g); L 为每尾鱼试验末体长(cm), T 为饲养天数(d)。

1.6 数据处理

试验获得的原始数据经过 Excel 2010 整理后,

采用 SPSS17.0 的双因素方差(Two-Way ANOVA)统计方法进行深入分析, 并利用多重比较功能(Duncan)分析组间的差异显著性, 显著水平定为 $P<0.05$, 分析结果用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm\text{SD}$)表示。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼生长及形体指标的影响

由表 2 可知, 不同蛋白和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼增重率、特定生长率、肥满度和肝体比等均有显著影响($P<0.05$)。增重率、特定生长率、肥满度和肝体比率随着蛋白水平提高, 先升高后降低; 在低蛋白水平($40\%\sim 50\%$), 高脂肪较低脂肪组的指标高, 但在高蛋白水平下($50\%\sim 55\%$), 低脂肪组高于高脂肪组的指标。在低蛋白水平, 细鳞鲑幼鱼的存活率最低, 但在最高蛋白和脂肪水平, 细鳞鲑幼鱼的成活率并不高。

此外, 由表 2 可知, 对细鳞鲑幼鱼生长性能和形体指标而言, 饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P>0.05$)。

2.2 不同蛋白和脂肪水平对肌肉一般营养成分的影响

不同蛋白和脂肪水平对肌肉蛋白质、脂肪和水分存在显著影响($P<0.05$), 而对肌肉灰分不存在显著影响($P>0.05$)(表 3)。其中, 随着蛋白水平提高, 肌肉粗蛋白也随之显著升高($P<0.05$), 而对粗脂肪和粗灰分不存在显著影响($P>0.05$); 随着脂肪水平提高, 粗脂肪含量也随之显著提高($P<0.05$), 而对水分、粗蛋白和灰分含量不存在显著影响($P>0.05$)。高蛋白和高脂肪水平显著提高了肌肉粗蛋白和粗脂肪含量, 在相同饲料蛋白条件下, 高脂肪组的肌肉粗脂肪含量均高于低脂肪组, 55P/8L 和 55P/16L 组的肌肉粗蛋白含量显著高于其他各组。

此外, 由表 3 可知, 对细鳞鲑幼鱼体组成而言, 饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P>0.05$)。

2.3 不同蛋白和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼肌肉氨基酸组成的影响

在本研究中, 共测定出 17 种氨基酸(表 4), 其

表 2 不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼生长性能和形体指标的影响
Tab. 2 Growth performance and condition factors of juvenile *Brachymystax lenok* fed diets containing various protein and lipid levels

n=45; $\bar{x} \pm SD$								
组别 group	初始体重 IBW/g	终末体重 FBW/g	终末体长 L/cm	存活率 SR/%	增重率 WG/%	特定生长率 SGR/(%·d ⁻¹)	肥满度 CF/%	肝体比 HIS/%
40P/8L	11.92±0.03	22.26±0.71 ^h	14.16±0.25 ^c	63.3 ^d	86.88±3.84 ^h	0.99±0.06 ^e	0.88±0.05 ^d	1.38±0.04 ^b
40P/16L	11.85±0.17	37.62±8.34 ^g	15.95±0.55 ^d	80.0 ^c	211.83±14.60 ^g	1.61±0.02 ^f	0.92±0.03 ^c	1.41±0.11 ^a
45P/8L	11.70±0.13	47.67±3.26 ^e	16.87±0.51 ^c	96.7 ^a	305.40±2.30 ^e	2.01±0.02 ^d	1.02±0.02 ^b	1.44±0.03 ^a
45P/16L	11.82±0.31	62.39±3.35 ^b	18.08±0.50 ^a	96.0 ^a	405.69±21.10 ^b	2.28±0.06 ^b	1.03±0.01 ^a	1.45±0.31 ^a
50P/8L	11.79±0.12	65.45±11.76 ^a	18.46±0.71 ^a	97.0 ^a	455.65±8.51 ^a	2.40±0.12 ^a	1.05±0.01 ^a	1.47±0.25 ^a
50P/16L	11.58±0.22	52.49±5.88 ^d	17.33±0.28 ^b	98.0 ^a	351.64±4.62 ^d	2.14±0.03 ^c	1.02±0.02 ^b	1.46±0.08 ^a
55P/8L	11.71±0.15	56.08±3.20 ^c	17.65±0.90 ^b	96.7 ^a	376.82±18.31 ^c	2.19±0.09 ^c	1.03±0.001 ^a	1.37±0.05 ^b
55P/16L	11.90±0.14	43.29±5.31 ^b	16.36±0.47 ^c	87.0 ^b	270.97±14.89 ^f	1.84±0.04 ^c	1.01±0.01 ^b	1.32±0.46 ^b
蛋白质水平/% protein level								
40	—	29.94±9.12 ^b	15.05±1.21 ^b	71.0±8.8 ^b	149.36±55.70 ^c	1.30±0.31 ^c	0.90±0.02 ^b	1.39±0.03 ^b
45	—	55.03±15.12 ^a	17.47±0.93 ^a	96.0±0.7 ^a	355.55±57.86 ^b	2.15±0.14 ^b	1.03±0.01 ^a	1.45±0.01 ^a
50	—	58.97±4.59 ^a	17.89±1.37 ^a	97.0±1.0 ^a	403.64±54.36 ^a	2.27±0.13 ^a	1.04±0.01 ^a	1.46±0.01 ^a
55	—	49.685±7.43 ^a	17.01±1.31 ^a	91.0±5.4 ^a	323.89±54.87 ^b	2.02±0.17 ^b	1.02±0.01 ^a	1.34±0.03 ^b
脂肪水平/% lipid level								
8		47.86±20.85	16.79±1.45	88.0±22.4 ^b	306.19±198.70	1.89±0.91	1.00±0.12	1.42±0.04
16		48.95±13.53	16.93±0.97	90.0±9.7 ^a	310.03±90.55	1.97±0.35	1.00±0.79	1.41±0.09
Two-Way ANOVA								
蛋白 protein		*	*	*	*	*	ns	ns
脂肪 lipid		ns	ns	*	ns	ns	ns	ns
交互 interaction		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注: 40P、45P、50P、55P 分别表示 40%、45%、50%和 55% 4 个蛋白质水平, 8L、16L 分别表示 8%和 16% 2 个脂肪水平. 同列数据上标不同字母表示差异显著(P<0.05). “*”表示差异显著(P<0.05); “ns”表示无显著差异.
Note: 40P, 45P, 50P and 55P represent protein levels at 40%, 45%, 50% and 55%, respectively; 8L and 16L represent lipid levels at 8% and 16%, respectively. Values with different letter superscripts in the same column mean significant difference (P<0.05). “*” means significant difference (P<0.05); “ns” means no significant difference.

中包括 7 种必需的氨基酸(EAA): 苯丙氨酸(Phe)、亮氨酸(Leu)、蛋氨酸(Met)、苏氨酸(Thr)、缬氨酸(Val)、赖氨酸(Lys)、异亮氨酸(Ile); 2 种半必需氨基酸(HEAA): 组氨酸(His)和精氨酸(Arg); 8 种非必需氨基酸(NEAA): 丙氨酸(Ala)、天冬氨酸(Asp)、谷氨酸(Glu)、脯氨酸(Pro)、酪氨酸(Tyr)、丝氨酸(Ser)、胱氨酸(Cys)、谷氨酸(Glu)。色氨酸因为在酸解时被破坏而未测出。各实验组的必需氨基酸总量(W_{EAA})、非必需氨基酸(W_{NEAA}), 半必需氨基酸(W_{HEAA})和氨基酸总量(W_{TAA})存在不同程度显著性差异(P<0.05)(表 4), 但氨基酸总量在各实验组中主要是 50P/16L 和 55P/8L 与其他各组存在显著差异(P<0.05)。W_{EAA}/W_{TAA}和 W_{EAA}/W_{NEAA}指数的差异情况见表 4。

3 讨论

3.1 不同蛋白和脂肪水平饲料对细鳞鲑幼鱼生长及形体指标影响

通常蛋白质、脂肪和糖类物质是动物饲料中最主要的三大营养素, 但由于鱼类对蛋白和脂肪的利用率远高于糖类物质, 因此, 蛋白质和脂肪在饲料构成和成本方面占比最大^[15-16]。有针对性的研发商品鱼专用饲料已成为水产养殖行业节能减排主要途径, 而衡量一个好的商品化专用饲料的指标就是蛋能比指数, 合理的饲料蛋能比不但能保证商品鱼生长, 还能通过鱼类对脂肪的高效利用来节约蛋白, 从而实现脂肪在一定程度上对蛋白质的替代^[17]。有研究表明, 虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[18]和南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[19]

表 3 不同蛋白质和脂肪水平对细鳞鲑幼鱼肌肉组成的影响

Tab. 3 Proximate composition of muscle in juvenile *Brachymystax lenok* fed diets containing different protein and lipid levels

$n=15; \bar{x} \pm SD; \% \text{ 湿重 wet weight}$

处理组 group (P/L)	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	粗灰分 ash
40P/8L	77.48±0.37 ^a	16.36±0.14 ^c	3.26±0.29 ^s	2.06±0.081
40P/16L	74.94±0.61 ^c	17.23±0.11 ^{bc}	5.22±0.10 ^b	1.88±0.026
45P/8L	75.95±0.342 ^b	17.29±0.78 ^{bc}	3.91±0.036 ^f	2.06±0.19
45P/16L	73.92±0.30 ^d	17.46±0.19 ^b	5.67±0.066 ^a	2.07±0.22
50P/8L	74.89±0.66 ^c	17.87±0.025 ^{ab}	4.28±0.15 ^c	1.87±0.081
50P/16L	74.79±0.49 ^c	17.59±0.030 ^b	4.94±0.044 ^c	2.17±0.23
55P/8L	74.95±0.26 ^c	18.09±0.079 ^a	4.27±0.026 ^c	1.93±0.23
55P/16L	74.60±0.51 ^c	17.99±0.18 ^a	4.76±0.17 ^d	2.01±0.29
蛋白质水平 protein level/%				
40	76.21±1.46 ^a	16.79±0.49 ^c	4.24±1.08	1.98±0.11
45	74.94±1.15 ^b	17.38±0.16 ^b	4.79±0.97	2.07±0.18
50	74.84±0.52 ^b	17.73±0.16 ^a	4.61±0.37	2.02±0.22
55	74.78±0.41 ^b	18.04±0.13 ^a	4.52±0.29	1.97±0.24
脂肪水平 lipid level/%				
8	75.82±1.16	17.40±0.70	3.92±0.44 ^b	1.98±0.16
16	74.56±0.58	17.57±0.31	5.15±0.37 ^a	2.03±0.21
Two-Way ANOVA				
蛋白 protein	*	**	ns	ns
脂肪 lipid	ns	**	ns	ns
交互 interaction	ns	ns	ns	ns

注: 40P、45P、50P、55P 分别表示 40%、45%、50%和 55% 4 个蛋白质水平, 8 L、16 L 分别表示 8%和 16% 2 个脂肪水平. 同列数据上标不同字母表示差异显著($P<0.05$). “*”表示差异显著($P<0.05$); “**”表示差异极显著($P<0.01$); “ns”表示无显著差异. Note: 40P, 45P, 50P and 55P represent protein levels at 40%, 45%, 50% and 55%, respectively; 8 L and 16 L represent lipid levels at 8% and 16%, respectively. Values with different letter superscripts in the same column mean significant difference ($P<0.05$). “*” means significant difference ($P<0.05$); “**” $P<0.01$; “ns” means no significant difference.

等肉食性鱼类代谢脂肪的能力非常强, 其饲料脂肪添加量分别高达 20%和 15%, 从而有效节约了蛋白添加量。由本试验结果可知, 饲料蛋白质水平显著影响细鳞鲑幼鱼的增重率和特定生长率, 随着蛋白质水平从 40%增加到 50%。这两个生长指标都呈现升高趋势, 随后下降。本研究与许氏平鲷(*Sebastes schlegelii*)^[20]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[21]和尖吻鲈(*Lates calcarifer*)^[22]中报道的特定生长率和增重率与饲料蛋白水平成正比关系不同, 但 Grisdle-Helland 等^[23]认为, 这种

结果可能与饲料中蛋白水平偏低有关, 而且他的研究还表明, 49%的蛋白水平已经足够满足鱼类生长, 这与本研究结果一致。根据生长性能指标做出初步判断, 细鳞鲑幼鱼饲料中蛋白的适宜添加量应该在 45%~50%。有报道指出, 在蛋白水平继续提高后, 将增加大多数鱼类的代谢负担, 特定生长率和增重率将进入平台期或下降期^[24]。尽管鱼类利用脂肪的能力比较强, 但饲料中过多或不足均不利于生长发育。本研究发现, 将脂肪添加量从 8%提高到 16%, 蛋白质添加量从 40%增加到 50%, 特定生长率和增重率显著提高; 但继续提高蛋白含量, 反而导致特定生长率和增重率显著降低。这说明在低蛋白水平时, 高脂肪不但对饲料蛋白起到了节约作用, 而且还有效促进了细鳞鲑幼鱼生长; 但随着蛋白含量增加, 高脂肪饲料的蛋白节约作用明显降低, 导致蛋白被分解代谢而排出体外, 类似结果在海鲷(*Dentex dentex* L.)^[25]、锤形石首鱼(*Atractoscion nobilis*)^[26]和红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[27]等鱼类中也有报道。有研究表明, 超出鱼体代谢范围的脂肪会沉积在内脏系统, 长此以往将导致肝脂肪化, 进而造成代谢失衡^[28]。

饲料中不同蛋白和脂肪水平同样影响鱼类肥满度和肝体比率指标, 这些指标除了能很好地显示出鱼体健康状况和品质优良性, 还能反映出鱼类生长性能的好坏。当饲料蛋白质水平过低时, 鱼类生长性能降低; 蛋白质水平过高时, 部分蛋白质可能会作为能源被消耗掉, 产生不必要的浪费^[29]。同样, 饲料中过低的脂肪含量会导致蛋白进入氧化供能途径, 产生不必要的浪费以及肥满度和肝体比率降低; 反之会导致肝脂肪化, 从而影响鱼类健康, 并抑制生长^[30]。本研究也证实了上述观点, 蛋白质和脂肪在适宜水平, 形体指数均较好; 饲料中过高和过低蛋白或脂肪水平将导致鱼的肝体比显著降低。说明, 只有在合理的蛋白和脂肪水平, 鱼类才能保持健康的生长状态。

3.2 不同蛋白和脂肪水平饲料对细鳞鲑幼鱼体组成的影响

粗蛋白、粗脂肪和粗灰分是鱼类肌肉基本

表 4 不同实验组细鳞鲑肌肉的氨基酸组成和含量
Tab. 4 Amino acids composition and contents in muscle of *Brachymystax lenok*

n=15; $\bar{x} \pm SD$; %, 干重 dry matter

氨基酸 amino acids	组别 group							
	40P/8L	40P/16L	45P/8L	45P/16L	50P/8L	50P/16L	55P/8L	55P/16L
必需氨基酸 essential amino acids (EAA)								
异亮氨酸 Ile	0.63±0.02 ^b	0.62±0.10 ^b	0.63±0.05 ^b	0.74±0.05 ^a	0.70±0.02 ^a	0.75±0.04 ^a	0.67±0.09 ^a	0.70±0.01 ^{ab}
亮氨酸 Leu	1.28±0.06 ^b	1.32±0.19 ^b	1.56±0.09 ^a	1.26±0.05 ^b	1.34±0.03 ^b	1.52±0.13 ^a	1.60±0.06 ^a	1.3±0.03 ^b
赖氨酸 Lys	1.40±0.01 ^c	1.46±0.14 ^{bc}	1.60±0.23 ^{ab}	1.26±0.02 ^c	1.40±0.07 ^c	1.30±0.03 ^c	1.70±0.05 ^a	1.42±0.03 ^{bc}
蛋氨酸 Met	0.49±0.03 ^d	0.54±0.05 ^{cd}	0.51±0.02 ^d	0.61±0.02 ^{bc}	0.57±0.008 ^c	0.68±0.02 ^a	0.62±0.04 ^b	0.71±0.02 ^a
苯丙氨酸 Phe	0.55±0.01 ^d	0.66±0.04 ^{ab}	0.62±0.02 ^{bc}	0.67±0.02 ^{ab}	0.61±0.05 ^c	0.69±0.02 ^a	0.63±0.01 ^{ab}	0.62±0.03 ^{bc}
苏氨酸 Thr	0.59±0.01 ^b	0.39±0.01 ^c	0.41±0.01 ^c	0.42±0.02 ^c	0.52±0.06 ^{bc}	0.68±0.16 ^{ab}	0.69±0.04 ^a	0.70±0.01 ^a
缬氨酸 Val	0.64±0.07 ^a	0.49±0.11 ^{bc}	0.44±0.30 ^c	0.59±0.04 ^{ab}	0.61±0.02 ^a	0.54±0.04 ^b	0.54±0.07 ^b	0.49±0.01 ^c
半必需氨基酸 half-essential amino acids (HEAA)								
组氨酸 His	0.36±0.01 ^c	0.52±0.05 ^{ab}	0.48±0.06 ^b	0.49±0.01 ^{ab}	0.48±0.03 ^b	0.54±0.01 ^a	0.50±0.01 ^{ab}	0.37±0.03 ^c
非必需氨基酸 non-essential amino acids (NEAA)								
天冬氨酸 Asp*	1.59±0.04 ^a	1.52±0.22 ^b	1.55±0.08 ^a	1.60±0.03 ^a	1.70±0.02 ^a	1.66±0.02 ^a	1.72±0.19 ^a	1.67±0.09 ^a
甘氨酸 Gly*	0.85±0.03 ^a	0.69±0.08 ^b	0.61±0.09 ^b	0.57±0.05 ^c	0.57±0.02 ^c	0.58±0.04 ^c	0.77±0.03 ^{ab}	0.68±0.03 ^b
谷氨酸 Glu*	1.75±0.09 ^a	1.55±0.04 ^{bc}	1.65±0.08 ^{ab}	1.60±0.07 ^b	1.63±0.08 ^b	1.63±0.02 ^b	1.50±0.08 ^c	1.50±0.05 ^c
丙氨酸 Ala*	0.75±0.07 ^a	0.59±0.10 ^b	0.30±0.06 ^c	0.24±0.005 ^d	0.27±0.19 ^{cd}	0.32±0.09 ^c	0.53±0.06 ^b	0.49±0.01 ^b
丝氨酸 Ser	0.55±0.06 ^a	0.55±0.04 ^a	0.51±0.01 ^a	0.53±0.02 ^a	0.51±0.01 ^a	0.27±0.03 ^c	0.44±0.03 ^b	0.50±0.01 ^a
脯氨酸 Pro	0.54±0.02 ^{ab}	0.47±0.01 ^{bc}	0.58±0.03 ^a	0.44±0.03 ^c	0.56±0.01 ^{ab}	0.54±0.02 ^{ab}	0.51±0.07 ^b	0.46±0.02 ^{bc}
胱氨酸 Cys	0.21±0.01 ^d	0.23±0.04 ^d	0.42±0.04 ^a	0.37±0.03 ^b	0.36±0.01 ^b	0.39±0.02 ^{ab}	0.29±0.05 ^c	0.24±0.04 ^c
酪氨酸 Tyr	0.44±0.01 ^b	0.56±0.01 ^a	0.49±0.06 ^b	0.58±0.02 ^a	0.49±0.02 ^b	0.60±0.01 ^a	0.58±0.03 ^a	0.46±0.03 ^b
精氨酸 Arg	0.88±0.03 ^b	0.97±0.08 ^b	1.10±0.05 ^{ab}	1.27±0.18 ^{ab}	1.10±0.15 ^b	1.32±0.29 ^a	1.12±0.06 ^{ab}	1.25±0.03 ^{ab}
W _{EAA}	5.58±0.11 ^{cd}	5.38±0.25 ^d	5.36±0.39 ^d	5.77±0.27 ^c	5.76±0.09 ^b	6.04±0.19 ^b	7.53±0.95 ^a	5.97±0.08 ^b
W _{NEAA}	6.69±0.11 ^a	6.17±0.25 ^{bc}	6.12±0.04 ^{bc}	5.93±0.05 ^c	6.21±0.27 ^{bc}	5.98±0.17 ^c	6.36±0.07 ^b	6.02±0.14 ^c
W _{TAA}	13.51±0.25 ^b	13.02±0.05 ^b	13.45±0.34 ^b	13.05±0.55 ^b	13.51±0.38 ^b	13.99±0.57 ^a	14.42±0.28 ^a	13.61±0.17 ^b
W _{HEAA}	1.25±0.03 ^c	1.48±0.05 ^b	1.56±0.12 ^b	1.77±0.19 ^a	1.54±0.17 ^b	1.89±0.26 ^a	1.61±0.06 ^b	1.62±0.01 ^b
W _{EAA} /W _{TAA}	0.41±0.001 ^b	0.41±0.02 ^b	0.43±0.01 ^b	0.41±0.02 ^b	0.43±0.02 ^b	0.43±0.02 ^b	0.52±0.07 ^a	0.44±0.01 ^b
W _{EAA} /W _{NEAA}	0.83±0.002 ^c	0.88±0.08 ^c	0.94±0.05 ^{bc}	0.90±0.06 ^{bc}	0.93±0.05 ^{bc}	1.01±0.04 ^b	1.19±0.16 ^a	0.99±0.03 ^{bc}

注: 40P、45P、50P、55P 分别表示 40%、45%、50%和 55% 4 个蛋白质水平, 8 L、16 L 分别表示 8%和 16% 2 个脂肪水平。同列数据上标不同字母表示差异显著($P<0.05$)。W_{EAA}为必需氨基酸总量, W_{NEAA}为非必需氨基酸总量, W_{HEAA}为半必需氨基酸总量, W_{TAA}为氨基酸总量。

Note: 40P, 45P, 50P and 55P represent protein levels at 40%, 45%, 50% and 55%, respectively; 8 L and 16 L represent lipid levels at 8% and 16%, respectively. Values with different letter superscripts in the same column mean significant difference ($P<0.05$). W_{EAA}, essential amino acid; W_{NEAA}, non-essential amino acid; W_{HEAA}, semi-essential amino acid; W_{TAA}, total essential amino acid.

营养组成成分, 不同蛋能比饲料对鱼体成分的影响已有相应报道^[24, 31-33], 但由于受试鱼类的食性、种类的差异, 饲料中蛋白质和脂肪需求量也存在较大差异。在本研究中, 细鳞鲑幼鱼的灰分和水含量相对稳定, 饲料中不同蛋白和脂肪水平对灰分不存在显著影响($P>0.05$)、对水分含量的影响也有限, 这与涂永芹等^[24]和蒋阳阳等^[33]的研究结果相近。随着饲料中蛋能比的增加, 细鳞鲑幼鱼的粗蛋白和粗脂肪含量也随之增加。同等蛋

白水平条件下, 8%与 16%脂肪组的肌肉粗蛋白含量不存在显著性差异($P>0.05$); 在 8%脂肪水平, 高蛋白饲料能显著提高肌肉粗脂肪含量, 但在 16%脂肪水平, 高蛋白饲料没能有效增加肌肉粗脂肪含量。这与在尖吻鲈^[22]和瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[34]中的研究不同, 这两种鱼的肌肉蛋白含量不受饲料蛋白水平影响, 且低脂肪组较高脂肪组的肌肉蛋白含量显著增加。尽管细鳞鲑幼鱼肌肉脂肪含量没能随着饲料蛋白水平的提

高而增加,但在同等脂肪水平下,其肌肉粗脂肪含量确实随着蛋白水平的提高而显著增加,尤其在低蛋白水平($P<0.05$),这说明在通常条件下脂肪被用于氧化供能的量在减少,原因可能在于细鳞鲑幼鱼利用蛋白质供能的能力强于脂肪,从而导致过多的蛋白质被转化为脂肪沉积在鱼体内。

3.3 不同蛋白和脂肪水平饲料对肌肉氨基酸组成的影响

生物体内普遍存在的必需氨基酸组成比例通常被称之为必需氨基酸比例模式,该模式对于鱼类人工配合饲料配方设计具有非常重要的意义。不同蛋白饲料对细鳞鲑幼鱼肌肉的总必需氨基酸含量存在显著影响($P<0.05$),各组必需氨基酸总量占总氨基酸含量的范围在 41%~52%,其组成必需氨基酸占总氨基酸(W_{EAA}/W_{NEAA})为 40%左右,必需氨基酸比非必需氨基酸(W_{EAA}/W_{NEAA})超过 60%。在不同蛋白和脂肪水平处理组中,细鳞鲑幼鱼的肌肉氨基酸中, W_{EAA}/W_{NEAA} 与 W_{EAA}/W_{NEAA} 分别在 41%和 83%以上,而且远高于奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[35]、团头鲂^[36]和养殖大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)^[37]等成鱼的这两项指标,因此,说明本研究在饲料中添加的蛋白比例接近实际需要量的适宜比例,且高效的蛋白饲料对于鱼类机体优质蛋白体系的构建起到了重要作用,尤其在 55P/8L 组表现的最为突出,说明饲料中添加 55%水平的蛋白对于提高鱼体蛋白含量和优化氨基酸比例模式有显著作用。在必需氨基酸中,各处理组的细鳞鲑幼鱼肌肉赖氨酸含量均最高,而赖氨酸对于提高钙的吸收和在体内的积累具有积极作用,还可以增进食欲,促进幼鱼生长与发育^[38]。因此,结合生长性能指标和氨基酸比例模式的研究结果可以发现,8%脂肪水平的蛋白添加组对于赖氨酸的积累效果最佳,50%蛋白水平组的生长性能最为突出。因此本研究认为,细鳞鲑幼鱼阶段最适的蛋白和脂肪需求量分别为 50%和 8%。

参考文献:

- [1] Li A J. Nutrition and Feed of Aquatic Animals[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 220. [李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 220.]
- [2] Zhao Q E, Zhu B K, Shen F, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, body composition and blood biochemical indices of juvenile yellowcheek carp (*Elopichthys bambusa*)[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2012, 31(3): 357–363. [赵巧娥, 朱邦科, 沈凡, 等. 饲料脂肪水平对鳊幼鱼生长、体成分及血清生化指标的影响[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(3): 357–363.]
- [3] Mqanta K N, Mohanty S N, Jena J K, et al. Optimal dietary lipid level of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings in relation to growth, nutrient retention and digestibility, muscle nucleic acid content and digestive enzyme activity[J]. Aqu Nutr, 2008, 14(4): 350–359.
- [4] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. World Rev Nutr Diet, 1990, 61: 132–172.
- [5] Garling D L Jr, Wilson R P. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus*[J]. J Nutr, 1976, 106: 1368–1375.
- [6] Webster C D, Tiul G, Tidwell J H, et al. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) reared in cages[J]. Aquaculture, 1995, 131: 291–301.
- [7] Gaylord T G, Gatlin III D M. Dietary protein and energy modification to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Aquaculture, 2001, 194: 337–348.
- [8] Skalli A, Hidalgo M C, Abell N E, et al. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth stages[J]. Aquaculture, 2004, 235: 1–11.
- [9] Bicudo A J A, Sado R Y, Cyrino J E P. Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio[J]. Aqu Res, 2009, 40: 486–495.
- [10] Yuan Y C, Gong S Y, Luo Z, et al. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus*[J]. Aqu Nutr, 2010, 16: 205–212.
- [11] Xu G F, Xia D M, Yao D X, et al. Comparison effects of different diets on physeal of *Brachymystax lenok* larvae[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2007, 20(2): 7–11. [徐革锋, 夏大明, 姚德鑫, 等. 不同饵料对细鳞鲑仔鱼开口驯化的比较[J]. 水产学杂志, 2007, 20(2): 7–11.]
- [12] Ma B, Yin J S, Li J P. Comparative studies on morphology and taxonomic position of two species of lenok[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2005, 30(2): 257–260. [马波, 尹家胜, 李景鹏. 黑龙江流域两种细鳞鲑的形态学比较及其分类地位初探[J]. 动物分类学报, 2005, 30(2): 257–260.]
- [13] Wang D, Xu G F, Liu Y, et al. Assessing genetic diversity of *Brachymystax lenok* and *Brachymystax tumernsis* popula-

- tions in the Ussure River[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(1): 19–23. [王荻, 徐革锋, 刘洋, 等. 乌苏里江流域尖吻细鳞鲈及钝吻细鳞鲈群体遗传多样性分析[J]. 上海水产大学学报, 2010, 19(1): 19–23.]
- [14] Liu Y, Xu G F, Mou Z B, et al. Evaluation of nutritive quality and nutritional components of the muscle of *Brachymystax lenok*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2010, 32(1): 99–100. [刘洋, 徐革锋, 牟振波, 等. 黑龙江水系细鳞鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 营养学报, 2010, 32(1): 99–100.]
- [15] Lovell R T. Nutrition and Feeding of Fish[M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989: 260.
- [16] Chou B S, Shiau S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*[J]. Aquaculture, 1996, 143(2): 185–195.
- [17] Song L F, Qi X, Hu P P, et al. Effects of dietary protein to energy ratio on growth performance and digestive enzyme activities of juvenile top mouth culter, *Culter alburnus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(7): 1480–1487. [宋林樊, 启学, 胡培培, 等. 饲料蛋白能比对翘嘴鲈幼鱼生长性能、肠道和肝胰脏消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(7): 1480–1487.]
- [18] Cho C Y, Kaushik S J. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. World Rev Nutr Diet A, 1990, 61: 132–172.
- [19] Fu S J, Xie X J, Zhang W B, et al. The nutrition of silurus meridionalis: III protein-sparing effect of dietary lipid[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001, 25(1): 70–75. [付世建, 谢小军, 张文兵, 等. 南方鲇的营养性研究: III 饲料脂肪对蛋白质的节约效应[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 70–75.]
- [20] Lee S M, Jeon I G, Lee J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegelii*)[J]. Aquaculture, 2002, 211(1–4): 227–239.
- [21] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings[J]. Aquaculture, 2010, 303(1–4): 65–70.
- [22] Williams K C, Barlow C G, Rodgers L, et al. Asian seabass *Lates calcarifer* perform well when fed pelleted diets high in protein and lipid[J]. Aquaculture, 2003, 225(1–4): 191–206.
- [23] Grisdale-Helland B, Shearer K D, Gatlin III D M, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, protein digestibility, feed utilization and body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua*)[J]. Aquaculture, 2008, 283(1–4): 156–162.
- [24] Tu Y Q, Han D, Zhu X M, et al. Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and body composition of *Cyprinus longipectoralis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(1): 843–850. [涂永芹, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同蛋白、脂肪水平对春鲤生长、饲料利用和体成分的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(1): 843–850.]
- [25] Skalli A, Hidalgo M C, Abellán E, et al. Effects of the dietary protein/lipid ratio on growth and nutrient utilization in common dentex (*Dentex dentex* L.) at different growth stages[J]. Aquaculture, 2004, 235(1–4): 1–11.
- [26] López L M, Torres A L, Durazo E, et al. Effects of lipid on growth and feed utilization of white seabass (*Atractoscion nobilis*) fingerlings[J]. Aquaculture, 2006, 253(1–4): 557–563.
- [27] Kikuchi K, Furuta T, Iwata N, et al. Effect of dietary lipid levels on the growth, feed utilization, body composition and blood characteristics of tiger puffer *Takifugu rubripes* [J]. Aquaculture, 2009, 298(1–2): 111–117.
- [28] Luo Z, Liu Y, Mai K, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating net cages[J]. Aqu Intern, 2005, 13(3): 257–269.
- [29] Khan M S, Ang K J, Ambak M A, et al. Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish, *Mystus nemurus*[J]. Aquaculture, 1993, 112(23): 227–235.
- [30] National Research Council. Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington DC: National Academy Press, 1993: 124.
- [31] Biswas B K, Ji S C, Biswas A K, et al. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific blue fin tuna *Thunnus orientalis* juvenile[J]. Aquaculture, 2009, 288(1–2): 114–119.
- [32] Jiang G Z, Liu W B, Wang Y H, et al. Effects of dietary protein to lipid ratio on growth, digestive enzyme activities and muscle composition of juvenile channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 145–152. [蒋广震, 刘文斌, 王煜衡, 等. 饲料中蛋白脂肪比对斑点叉尾幼鱼生长、消化酶活性及肌肉成分的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(7): 145–152.]
- [33] Jiang Y Y, Li X F, Liu W B, et al. Effects of different protein and lipid levels on the growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) yearlings[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(5): 826–835. [蒋阳阳, 李向飞, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和脂肪水平对 1 龄团头鲂生长性能和体组成的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 826–835.]
- [34] Zheng K K, Zhu X M, Han D, et al. Effects of dietary lipid level on growth and lipoprotein lipase gene expression in *Pelteobagrus vachelli*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2010, 34(4): 815–821. [郑珂珂, 朱晓鸣, 韩冬, 等. 饲料脂肪水平对瓦氏黄颡鱼生长及脂蛋白脂肪酶基因表达的影响[J]. 水生生物学报, 2010, 34(4): 815–821.]
- [35] Yue Y R, Xiao W, Zou Z Y, et al. Analysis and evaluation of nutritional components in meat of tilapia (*Oreochromis*

- niloticus*×*O. aureus*)[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(11): 88–93. [乐贻荣, 肖炜, 邹芝英, 等. 奥尼罗非鱼肌肉营养成分分析和营养价值评定[J]. 中国农学通报, 2015, 31(11): 88–93.]
- [36] He L, Jiang M, Dai X L, et al. Analysis of nutritional components in muscle of *Megalobrama amblycephala* during different growth phases[J]. Food Science, 2014, 35(3): 221–225. [何琳, 江敏, 戴习林, 等. 团头鲂不同生长阶段肌肉营养成分分析及评价[J]. 食品科学, 2014, 35(3): 221–225.]
- [37] Wu J N, Xu Y A, Liu Z Y. Analysis and evaluation of nutritional components in meat of bred *Pseudosciaena crocea*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2013, 35(6): 610–612. [吴靖娜, 许永安, 刘智禹. 养殖大黄鱼鱼肉营养成分的分析及评价[J]. 营养学报, 2013, 35(6): 610–612.]
- [38] Bing X W. Comparative nutrition in muscles of *Spinibarbus sinensis* and *S. hollandi*[J]. Journal of Dalian fisheries University, 2005, 20(3): 233–237. [邢旭文. 中华倒刺鲃和光倒刺鲃肌肉营养品质的比较[J]. 大连水产学院学报, 2005, 20(3): 233–237.]

Effects of dietary protein and lipid levels on growth and amino acids in muscle of juvenile lenok, *Brachymystax lenok* (Pallas)

XU Gefeng^{1,2}, LIU Yang¹, HAO Qirui¹, WANG Yuyu³, MOU Zhenbo⁴

1. Heilongjiang River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin 150070, China;
2. College of Animal Science and Technology, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;
3. The Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture; The Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education; Ocean University of China, Qingdao 266003, China;
4. Institute of Fishery Sciences, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China

Abstract: The lenok *Brachymystax lenok* (Pallas) is one of the most important salmonid fish in northeast China. To date, no information on the optimal dietary protein and lipid levels of this species has been reported. A 10-week feeding trial with four dietary protein levels (40%, 45%, 50% and 55% crude protein) and two dietary lipid levels (8% and 16% crude lipid) was conducted to assess the dietary protein and lipid levels for the growth and of amino acids of juvenile lenok. The results showed that weight gain (WG), specific growth rate (SGR), condition factor (CF) and hepatosomatic index (HSI) were significantly affected by dietary protein and lipid levels ($P<0.05$), and there were also significant interactions between these two factors ($P<0.05$). WG, SGR, CF and HSI rose with increasing dietary protein levels at each lipid level, and decreased after that. The growth of fish fed the high-lipid level diet was significantly higher ($P<0.05$) than that of fish fed the low-lipid level diet at 40% and 45% protein diet, whereas these values showed an opposite trend at 50% and 55% protein diet. Fish fed diets with low protein levels had the lowest survival levels of all groups. The lipid content of muscle increased significantly with increasing lipid levels ($P<0.05$), while moisture, crude protein and ash content were not affected by dietary lipid level. The protein content of muscle increased significantly with increasing protein levels ($P<0.05$), while lipid and ash content were not affected by dietary protein level. The lipid content of fish fed high-lipid level diets was significantly higher than that of fish fed lower-lipid level diets at each protein level. The protein content of fish fed diets 55P/8L and 55P/16L was significantly higher than that of fish fed in other groups. Seventeen amino acids were found in the muscle of fish. The percentages of total amino acids and the ratios of essential amino acids: total amino acids showed no significant difference among the treatments ($P>0.05$). The content of the different amino acids was stable and the constitutional rate of the EAAs met Food and Agriculture Organization and World Health Organization standards. The results indicated that the optimum protein and lipid levels for the lenok were 50% and 8%, respectively; and the optimum protein: energy ratio for this species was 29.36 g/MJ.

Key words: *Brachymystax lenok* (Pallas); protein; lipid; growth; body composition; amino acids

Corresponding author: MOU Zhenbo. E-mail: mouzhenbo@163.com