

饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼生长性能、体组成、 消化酶活性以及血液生化指标的影响

张磊^{1,2}, 危起伟², 张书环², 颉江^{1,2}, 褚志鹏³, 魏开建¹, 文华², 蒋明²

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223;

3. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏无锡 214182)

摘要: 为了解达氏鲟(*Acipenser dabryanus*) 幼鱼适宜的饲料蛋白质水平, 试验选取平均初始体重为(400.68 ± 8.55) g的健康达氏鲟幼鱼为试验对象, 在室内流水系统中进行为期8周的摄食生长实验。试验鱼随机分为5组, 每组3个重复, 每个重复30尾鱼, 分别饲喂蛋白质水平为30%、35%、40%、45%、50%的5种等脂等能饲料。试验期间, 水流量为6 L/min, 水温(24.0 ± 1.0) °C, 溶氧大于6.0 mg/L, 氨氮小于0.02 mg/L。结果显示: 增重率随饲料蛋白水平的增加呈现先升高后降低的趋势, 饲料系数呈现相反的趋势。蛋白质效率随饲料蛋白水平的增加呈先平缓后下降的趋势。各试验组间肥满度无显著差异。肝体比和脏体比随饲料蛋白水平的增加而下降。各试验组间甘油三酯和总胆固醇含量无显著差异, 饲料蛋白水平为50%的试验组的谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活力显著高于其他试验组。本试验中胃蛋白酶活力与饲料蛋白水平呈正相关关系, 淀粉酶活力呈负相关关系, 脂肪酶在各试验组无显著差异。鱼体蛋白和脂肪含量均随饲料蛋白水平的增加而增加。分别对增重率、饲料系数这二者与饲料蛋白水平之间的关系进行二次回归分析, 得出达氏鲟幼鱼饲料中适宜的蛋白水平为41.5%~42.97%。

关键词: 达氏鲟(*Acipenser dabryanus*); 蛋白质需要量; 生长; 消化酶

中图分类号: S963.71

文献标识码: A

文章编号: 1000-6907-(2016)06-0079-07

DOI:10.13721/j.cnki.dsyy.2016.06.013

Effects of dietary protein level on growth performance , body composition , digestive enzyme activities and blood biochemical parameters of juvenile *Acipenser dabryanus*

ZHANG Lei^{1,2}, WEI Qi-wei², ZHANG Shu-huan², XIE Jiang^{1,2}, CHU Zhi-peng³,
WEI Kai-jian¹, WEN Hua², JIANG Ming²

(1. Fisheries College of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy Of Fishery Science, Wuhan 430223, China

3. Wuxi Fisheries College of Nanjing Agricultural University, Wuxi 214182, Jiangsu, China)

Abstract: An 8-week growth trial was conducted to estimate the optimal dietary protein level for juvenile *Acipenser dabryanus* (average initial weight was (400.68 ± 8.55) g). Five isoenergetic diets were formulated to contain five levels of crude protein (30%, 35%, 40%, 45%, 50%) and each diet was fed to triplicate groups of thirty fish in fifteen concrete tanks. The flow rate was 6 L/min. The water temperature was 24.0 ± 1.0 °C, dissolved oxygen concentration was over 6.0 mg/L, ammonia-nitrogen concentration was less than 0.02 mg/L during the trial. The results showed that weight gain rate increased firstly and then decreased with the increasing of dietary protein level. Feed conversion rate decreased firstly

收稿日期: 2016-04-11; 修订日期: 2016-05-19

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)(2015CB150702)

第一作者简介: 张磊(1988-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养与饲料。E-mail: 451534196@qq.com

通讯作者: 危起伟。E-mail: weiqw@yfi.ac.cn

and then increased with the increasing of dietary protein level. Protein efficiency ratio showed a tendency of indifference firstly then decreasing with increasing of dietary protein level. Condition factor showed no significant difference. Viscerosomatic index and hepatosomatic index decreased significantly with the increasing of dietary protein level. The content of plasma triglyceride and total cholesterol showed no significant difference. The activities of ALT and AST which fed 50% dietary protein level showed significantly higher value than other group. The experiment showed that the dietary protein level has a positive correlation with pepsase activities and a negative correlation with amylase activities, while there is no significant difference with lipase activities. The content of crude protein and lipid in the whole body and dorsal muscle increased with the increasing of dietary protein level. Comprehensive regression analysis of weight gain rate and feed conversion rate showed that the appropriate dietary protein requirement of juvenile *A. dabryanus* is on a scale of 41.5% to 42.97%.

Key words: *Acipenser dabryanus*; protein requirement; growth performance; digestive enzyme

蛋白质是生命的物质基础,对维持生命体生命活动具有重要意义。蛋白质有多种结构性和功能性作用。机体组织在不断的形成和分解,处在生长期的动物,体内蛋白质合成大于分解,结果导致蛋白质沉积。蛋白质沉积是鱼体增重的决定性因素^[1-3]。同时饲料蛋白是饲料成分中成本最高的组分,因此研究鱼类适宜的饲料蛋白添加量,不仅能够使鱼类更好生长,提高蛋白质效率,也能优化饲料配方,降低饲养成本。

达氏鲟(*Acipenser dabryanus*)隶属于鲟形目(*Acipenseriformes*) 鲟科(*Acipenseridae*) 鲟属(*Acipenser* Linnaeus),俗称长江鲟、沙腊子,是我国特有的纯淡水定居性珍稀鱼类,主要分布于长江上游干支流及长江中游,是国家一级保护动物^[4-5]。目前,针对达氏鲟的研究大多着眼于其早期发育、行为学、遗传学等方面^[6-8],在其营养需求方面鲜有报道。关于蛋白质需要量,其他鲟已经开展了一些研究,如肖慧等^[9]通过梯度法得出中华鲟(*A. sinensis*)蛋白需要量为39.68%~44.64%;Mohseni等^[10]研究了波斯鲟(*A. persicus*)的需要量为40%;Moore等^[11]得出高首鲟(*A. transmontanus*)的蛋白需要量为40%。

本研究通过综合评估饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼生长性能、体组成、消化酶活性以及血液生化指标的影响,获得达氏鲟幼鱼对饲料中蛋白质的需要量,为配制达氏鲟人工配合饲料提供理论参考,从而在人工养殖条件下更好的保护达氏鲟。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验饲料以鱼粉为蛋白源,鱼油为脂肪源,配置粗蛋白含量分别为30%、35%、40%、45%、50%,粗脂肪含量为10%的五种等脂等能饲料,饲料组成及营养成分含量见表1。先将各种饲料原

料进行粉碎,使之能全部通过0.45 mm的分析筛,然后将各原料按比例加入逐级混合,待充分混合均匀后再加入鱼油和水,然后用绞肉机制成直径4 mm的颗粒,风干,然后置于-20℃冰箱备用。

表1 试验饲料组成及营养水平
Tab. 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets

项 目		饲料蛋白水平 /%				
		30	35	40	45	50
成 分	鱼粉 /g	51	58	66	74	81
	鱼油 /g	8.6	8	7.4	6.3	5.7
	α-淀粉 /g	25	19	14	9	4
	氯化胆碱 /g	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	复合维生素 ¹ /g	1	1	1	1	1
	复合矿物质盐 ² /g	5	5	5	5	5
	羧甲基纤维素钠 /g	2	2	2	2	2
	微晶纤维素 /g	7.15	6.75	4.35	2.45	1.05
饲料 营养 成分	干物质 /%	90.81	90.92	91.16	91.29	89.55
	粗蛋白 /%	30.83	34.31	39.54	45.58	50.76
	粗脂肪 /%	9.11	9.25	9.46	9.89	10.07
	灰分 /%	10.79	11.63	12.74	14.34	15.03
总能 / (kJ/g)		17.67	17.02	17.08	17.78	17.62
氮能比 / (mg/kJ)		1.74	2.02	2.28	2.62	2.98

注: 1. 复合维生素(mg/kg diet or IU/kg diet): 维生素E, 100; 维生素K₃, 40; 维生素A, 5 000 IU; 维生素D, 2 000 IU; 维生素B₁, 50; 维生素B₂, 200; 维生素B₆, 50; 维生素B₁₂, 0.5; 维生素C, 325; 烟酸, 175; 叶酸, 5; 肌醇, 1 000; 生物素, 2.5; 泛酸钙, 50
2. 复合矿物质盐(mg/kg diet): NaCl, 5 000; Ca(H₂PO₄)₂, 15 000; FeSO₄·7H₂O, 1 000; ZnSO₄·7H₂O, 350; MnSO₄·4H₂O, 40; CuSO₄·5H₂O, 12; CoCl₂·6H₂O, 80; KIO₃, 5

1.2 试验用鱼与饲养管理

达氏鲟幼鱼由长江水产研究所中华鲟增值、保育与放流基地提供,平均初始体重为(400.68±8.55)g。试验开始前对试验用鱼驯养两周,使其适

应试验条件。

驯养结束后, 将鱼随机分配到 15 个圆形水泥养殖池中(直径 3 m, 高 0.9 m), 每池 30 尾, 每 3 个养殖池为一组, 饲喂一种试验饲料。养殖用水为地下水, 流量为 6 L/min, 水温(24.0 ± 1.0) °C, 溶氧大于 6.0 mg/L, 氨氮小于 0.02 mg/L。投喂量为鱼体重的 2% ~ 3%, 每天投喂三次(8:00, 14:30, 21:00)。每次投喂 45 min 后将未被摄入的饲料捞出, 烘干, 称重, 以便计算摄食量。投喂后 2 ~ 5 h, 收集粪便, 烘干。每两周称量一次鱼体重并清洁养鱼池。试验期间观察并记录死鱼情况。

1.3 样品的采集与分析

1.3.1 样品的采集

养殖试验持续 8 周, 待试验结束时, 对鱼饥饿 24 h, 然后进行称重并记录。计算饲料系数、增重率和蛋白质效率。每池随机取 3 尾鱼称重, 尾静脉取血, 3 000 r/min, 离心 10 min, 取血浆, 置于 -80 °C 冰箱备测血浆生化指标。然后取内脏并称重, 计算脏体比, 分离出肝脏并称重, 计算肝体比。分离胃、肠、肝脏置于 -80 °C 冰箱, 备测酶活。取背肌置于 -20 °C 冰箱, 备测肌肉常规营养成分。另每池取 2 尾鱼置于 -20 °C 冰箱, 备测全鱼常规营养成分。

1.3.2 样品的测定

105 °C 常压干燥法测定水分; 凯氏定氮法测定粗蛋白; 以石油醚为溶剂, 索氏抽提法测定粗脂肪; 箱式电阻炉 550 °C 灼烧法测定粗灰分, 能量用氧氮式热量计进行测定。

各项血液指标均采用希森美康生产的全自动生化分析仪 CHEMIX-800 测定。

组织酶活采用南京建成生物工程研究所相应的试剂盒进行测定。

根据测定的指标, 计算存活率(SR)、增重率(WGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、肥满度(CF)、脏体比(VSI)、肝体比(HSI)。

$$\begin{aligned} SR &= 100\% \times L_t / L_0; \\ WGR &= 100\% \times (W_t - W_0) / W_0; \\ FCR &= F / (W_t - W_0); \\ PER &= (W_t - W_0) / F_p; \\ CF &= 100\% \times W_t / L^3; \\ VSI &= 100\% \times W_v / W_t; \\ HSI &= 100\% \times W_h / W_t \end{aligned}$$

式中: L_t 为终末尾数; L_0 为初始尾数; W_t 为终末体重; W_0 为初始体重; F 为摄食饲料总重量; F_p 为蛋白质摄入量; L 为体长; W_v 为内脏重; W_h 为肝重

1.4 数据统计分析

结果均以平均值 ± 标准误表示。试验数据采用 One-Way ANOVA 和 Duncan 多重比较分析, $P < 0.05$ 即认为有显著性差异。所有统计分析均采用 SPSS 22.0 软件。

2 结果

2.1 不同饲料蛋白水平对达氏鳊幼鱼生长的影响

如表 2, 试验期间未发现死鱼, 各试验组存活率皆为 100%。增重率随饲料蛋白水平的升高而呈现先上升后下降的趋势, 且在饲料蛋白水平为 40% 时达到最大值, 并显著高于 30%、35% 和 50% 的试验组, 与 45% 试验组无显著差异。饲料系数的趋势正好相反, 呈现先下降后上升的趋势, 且在 40% 时值最小, 并显著低于 30% 和 50% 的试验组, 与 35% 和 45% 的试验组差异不显著。蛋白质效率随饲料蛋白水平的升高总体呈现先平缓后下降的趋势。各试验组间肥满度无显著差异。各试验

表 2 不同蛋白水平对达氏鳊幼鱼生长和饲料利用率的影响
Tab. 2 Effect of dietary protein level on growth performance and feed utilization of juvenile *A. dabryanus*

指标	饲料蛋白水平/%				
	30	35	40	45	50
初始体重/g	402.34 ± 13.82	400.58 ± 9.11	400.69 ± 8.68	400.79 ± 4.90	403.62 ± 6.25
终末体重/g	568.23 ± 10.85 ^a	749.51 ± 19.34 ^b	815.21 ± 7.13 ^d	813.31 ± 4.01 ^{cd}	779.85 ± 3.46 ^{bc}
存活率/%	100	100	100	100	100
增重率/%	0.41 ± 0.01 ^a	0.87 ± 0.03 ^b	1.04 ± 0.01 ^d	1.03 ± 0.01 ^d	0.93 ± 0.01 ^c
蛋白质效率	1.64 ± 0.07 ^c	1.69 ± 0.06 ^c	1.66 ± 0.02 ^c	1.36 ± 0.01 ^b	1.12 ± 0.01 ^a
肥满度/%	0.69 ± 0.02	0.70 ± 0.02	0.70 ± 0.02	0.69 ± 0.02	0.66 ± 0.02
肝体比/%	8.92 ± 0.78 ^c	8.37 ± 0.26 ^{bc}	7.34 ± 0.33 ^{ab}	6.71 ± 0.32 ^a	6.47 ± 0.19 ^a
脏体比/%	3.26 ± 0.39 ^b	2.80 ± 0.17 ^{ab}	2.76 ± 0.18 ^{ab}	2.49 ± 0.12 ^a	2.17 ± 0.06 ^a

注: 数据表示为平均差 ± 标准误(n=3), 同行上标字母不同代表显著差异($P < 0.05$)。表 3, 表 4, 表 5。

组间脏体比和肝体比均随饲料蛋白水平的升高呈现下降的趋势。

根据数据统计分析, 增重率(y)和饲料蛋白水平(x)的二次曲线回归方程为 $y = -0.0037x^2 + 0.318x - 5.798$ ($R^2 = 0.9845$), 当蛋白水平为

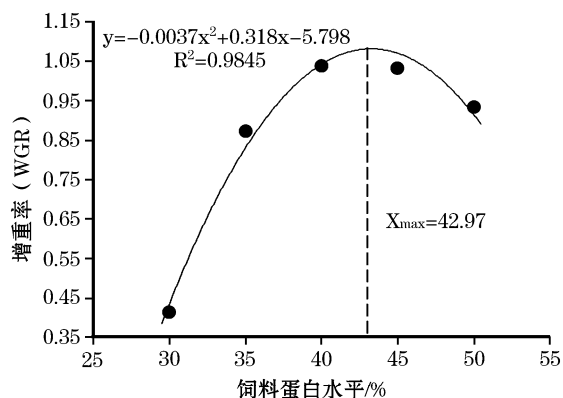


图1 饲料蛋白水平与增重率的二次回归分析

Fig. 1 Second-order regression analysis between WGR and dietary crude protein level

42.97%时, 增重率最高(如图1)。饲料系数(y)和饲料蛋白水平(x)的二次回归方程为 $y = 0.0038x^2 - 0.3154x + 8.068$ ($R^2 = 0.9716$), 当饲料蛋白水平为41.5%时, 饲料系数最低(如图2)。

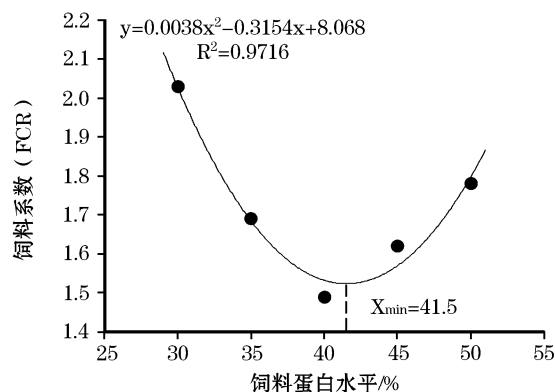


图2 饲料蛋白水平与饲料系数的二次回归分析

Fig. 2 Second-order regression analysis between FCR and dietary crude protein level

2.2 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼血浆基础生化指标的影响

如表3, 血浆甘油三酯(TG)和总胆固醇(T-CHO)含量在各试验组间无显著差异。谷丙转氨酶(ALT)活力随饲料蛋白含量的增加而呈现上升的趋

势。谷草转氨酶活力(AST)并未随饲料蛋白水平的升高呈现规律性变化。但饲料蛋白水平为50%的试验组谷丙转氨酶和谷草转氨酶含量显著高于其他试验组。

表3 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼血浆基础生化指标的影响
Tab. 3 Effect of dietary protein level on plasma chemistry of juvenile *A. dabryanus*

指标	饲料蛋白水平 / %				
	30	35	40	45	50
ALT/(U/L)	42.60 ± 1.68 ^a	45.72 ± 1.11 ^a	55.00 ± 2.24 ^b	59.32 ± 2.23 ^b	67.67 ± 1.63 ^c
AST/(U/L)	138.79 ± 14.08 ^{ab}	151.64 ± 11.99 ^{bc}	107.00 ± 5.05 ^a	123.41 ± 3.20 ^{ab}	180.27 ± 8.35 ^c
TG/(mmol/L)	3.10 ± 0.09	2.31 ± 0.31	4.31 ± 1.09	3.44 ± 1.24	4.62 ± 1.00
T-CHO/(mmol/L)	2.12 ± 0.92	2.55 ± 0.17	3.55 ± 0.32	2.85 ± 0.49	4.63 ± 1.28

2.3 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼组织消化酶活力的影响

如表4, 胃蛋白酶活力随饲料蛋白水平的升高而显著升高, 且在饲料蛋白水平为50%时最大并显著高于其他试验组。淀粉酶活力正好相反, 随饲料蛋白水平的升高呈显著性下降的趋势。脂肪酶活力在各试验组无显著差异。

2.4 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼体成分的影响

如表5, 全鱼和肌肉的水分随饲料蛋白水平的升高而呈下降的趋势。各试验组间全鱼的粗蛋白含量无显著差异。肌肉粗蛋白含量随饲料蛋白水平的升高显著升高。各试验组全鱼和肌肉灰分含量随饲料蛋白水平的上升无显著差异。各试验组间全鱼和肌肉粗脂肪含量随饲料蛋白水平的升高呈现显著性上升的趋势。

表 4 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼消化酶活力的影响
Tab. 4 Effect of dietary protein level on digestive enzyme activities of juvenile *A. dabryanus*

指标	饲料蛋白水平 / %				
	30	35	40	45	50
胃蛋白酶 / (U/mg)	6. 51 ± 0. 21 ^a	6. 45 ± 0. 07 ^a	8. 76 ± 0. 04 ^b	8. 87 ± 0. 20 ^b	9. 36 ± 0. 06 ^c
脂肪酶 / (U/g)	4. 03 ± 2. 44	4. 40 ± 0. 50	3. 68 ± 0. 50	4. 22 ± 1. 00	3. 73 ± 1. 00
淀粉酶 / (U/mg)	58. 43 ± 5. 93 ^b	44. 44 ± 12. 30 ^{ab}	33. 51 ± 4. 48 ^a	36. 33 ± 1. 00 ^{ab}	26. 12 ± 2. 25 ^a

表 5 不同饲料蛋白水平对达氏鲟幼鱼体成分的影响
Tab. 5 Effect of dietary protein level on whole body and dorsal muscle composition of juvenile *A. dabryanus*

饲料蛋白水平		水分 / %	粗蛋白 / %	粗脂肪 / %	灰分 / %
全 鱼 成 分	初始	76. 46 ± 0. 53	12. 18 ± 0. 14	4. 05 ± 0. 03	2. 56 ± 0. 04
	30	78. 07 ± 0. 69 ^c	12. 78 ± 1. 02	4. 35 ± 0. 03 ^a	2. 69 ± 0. 44
	35	74. 89 ± 0. 83 ^{ab}	13. 71 ± 0. 17	7. 95 ± 0. 10 ^b	2. 62 ± 0. 10
	40	75. 28 ± 0. 39 ^b	12. 68 ± 1. 38	8. 28 ± 0. 02 ^c	2. 37 ± 0. 21
	45	75. 04 ± 0. 50 ^{ab}	13. 68 ± 0. 38	8. 88 ± 0. 01 ^d	2. 46 ± 0. 01
	50	72. 95 ± 0. 50 ^a	15. 73 ± 4. 04	9. 84 ± 0. 05 ^e	2. 42 ± 0. 10
肌 肉 成 分	30	77. 76 ± 0. 99 ^b	15. 99 ± 0. 35 ^a	2. 05 ± 0. 41 ^a	1. 24 ± 0. 22
	35	76. 90 ± 0. 68 ^{ab}	17. 97 ± 0. 19 ^b	2. 51 ± 0. 07 ^{ab}	1. 29 ± 0. 04
	40	77. 26 ± 0. 29 ^{ab}	19. 92 ± 0. 02 ^c	2. 80 ± 0. 07 ^{ab}	1. 42 ± 0. 01
	45	75. 33 ± 0. 32 ^a	20. 01 ± 0. 04 ^c	3. 25 ± 0. 08 ^{bc}	1. 37 ± 0. 02
	50	75. 48 ± 0. 10 ^a	23. 81 ± 0. 44 ^d	3. 68 ± 0. 36 ^c	1. 41 ± 0. 13

3 讨论

3.1 不同饲料蛋白质水平对达氏鲟幼鱼生长的影响

本试验通过对增重率、饲料系数与饲料蛋白水平的二次回归分析得出, 达氏鲟幼鱼的蛋白质需要量为 41. 5 % ~ 42. 97 %。此结果与其他鲟鱼基本相同。如中华鲟蛋白质需求量为 39. 68 % ~ 44. 64 %^[9], 高首鲟为 40 %^[10], 波斯鲟为 40 %^[9], 俄罗斯鲟(*Acipenser gueldenstaedtii*) 为 42 %^[12], 杂交鲟(西伯利亚鲟♀ × 俄罗斯鲟♂) 为 34 % ~ 37 %^[13]。略微的差异可能是由于蛋白源、饲料配方、试验条件、鱼种类和规格的不同所引起的。许多研究表明, 当饲料蛋白水平升高到某一水平时, 鱼类生长是随饲料蛋白的增长而加快的, 但当高于这一水平时, 鱼类生长速度趋于平缓甚至呈现降低的趋势。造成这种现象的原因可能为过高的饲料蛋白会使鱼体将更多的蛋白用于分解供能, 加重鱼体的代谢负担^[14]。有研究显示, 蛋白质效率会随着饲料蛋白水平的升高而降低, 本试验中, 饲料蛋白水平在 30 % ~ 40 % 时, 蛋白质效率并无显著差异, 但当饲料蛋白水平从 40 % 增加到 50 % 时, 蛋白质效率显著下降, 此与上述结果类似。

3.2 不同饲料蛋白质水平对达氏鲟幼鱼血液指标

的影响

鱼体利用蛋白质主要通过转氨基和脱氨基作用, 转氨酶在此过程中扮演重要角色, 而其中最主要的转氨酶是谷丙转氨酶和谷草转氨酶。此前有研究报道中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*) 肌肉和肝胰脏中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活力随饲料蛋白水平的增加而显著升高^[15]。在本试验中, 饲料蛋白水平在 50 % 时, 这两种酶活力都显著高于其他处理组, 与上述情况有所接近, 但这种活力的变化并未与饲料蛋白水平变化呈现趋势性, 所以对于饲料蛋白水平对转氨酶的影响还有待进一步研究。许多研究表明, 血脂的水平与鱼体的新陈代谢和生理状况密切相关。胆固醇和甘油三酯是血脂的重要组成部分, 且其主要合成部位均在肝脏, 因此血浆胆固醇和甘油三酯含量的变化在一定程度上反映了肝脏对脂肪的代谢状况^[16]。本试验中各试验组间血浆甘油三酯和总胆固醇的含量无显著差异, Mohseni^[17]对欧洲鳊(*Husohuso*) 的研究也出现了类似结果, 其原因可能是各试验组饲料脂肪水平相近造成的。

3.3 不同饲料蛋白质水平对达氏鲟幼鱼组织消化酶活力的影响

已有研究表明, 饲料蛋白水平对鱼类蛋白酶活性有一定的影响, 在一定的范围内, 蛋白酶活性随饲料蛋白含量的增加而增加。例如, 当饲料蛋白水

平由 25 % 增加到 43 % 时, 花鲮 (*Hemibarbus maculatus*) 肠道蛋白酶活性随之增加^[18]; 当饲料蛋白水平为 32 % ~ 40 % 时, 草鱼 (*Ctenopharyngodon*) 蛋白酶活性随饲料蛋白含量的增加而增加^[19]; 匙吻鲟 (*Polyodon spathula*) 蛋白酶活性也随饲料蛋白含量的增加而增加^[20]。本试验也出现类似结果, 胃蛋白酶活力与饲料蛋白水平呈正相关关系, 且饲料蛋白水平为 50 % 的试验组胃蛋白酶活力显著高于其他试验组。这说明达氏鲟可以通过提高体内消化酶的活性促进对高蛋白饲料的消化吸收, 以提高对饲料蛋白的消化吸收。本试验中各试验组间脂肪酶活力无显著差异, 受饲料蛋白水平的影响不大, 这与匙吻鲟^[20]、宝石鲈 (*Scortum barcoo*)^[21]、瓦氏黄颡鱼 (*Pelteobagrus vachelli*)^[22]、黄姑鱼 (*Nibea albiflora*)^[23]、印度野鲮 (*Labeo rohita*)^[24] 以及翘嘴红鲮 (*Erythroculter ilishaeformis*)^[25] 等的研究类似。有研究指出, 脂肪酶的活性与其所摄食的饲料种类尤其是饲料脂肪有关, 本试验各处理组脂肪含量差别不大, 这可能是造成各处理组间脂肪酶活性差异不显著的原因。关于饲料蛋白水平对鱼类淀粉酶的影响, 不同的鱼结果不尽相同。有研究表明, 鱼类淀粉酶活力随饲料蛋白水平的升高呈现规律性变化, 如虹鳉^[26] (*Oncorhynchus mykiss*), 其淀粉酶活力随饲料蛋白水平的升高而升高; 刺鲃^[27] (*Spinibarbus caldwelli*)、瓦氏黄颡鱼^[21] 以及大鳞鲃^[28] (*Barbus capito*) 则随饲料蛋白水平的升高而降低; 黑鲮 (*Sparus macrocephalus*)、蒙古鲃 (*Culter mongolicus*) 随饲料蛋白水平的升高而呈现先升高后降低的趋势^[29-30]。但也有研究认为, 淀粉酶活力与饲料中淀粉的含量有关^[31-32]。本试验中随着饲料蛋白水平的升高, 但同时饲料中淀粉含量下降, 肠道淀粉酶活力呈现下降的趋势, 因此, 不能确定达氏鲟淀粉酶活力与饲料蛋白水平之间的关系。

2.4 不同饲料蛋白质水平对达氏鲟幼鱼体成分的影响

本试验结果显示, 鱼体及肌肉水分与饲料蛋白水平成负相关关系, 在欧洲鳊和波斯鲟的研究中也出现类似结果^[10, 17]。但 Guo 等^[13] 对杂交鲟 (西伯利亚鲟 ♀ × 俄罗斯鲟 ♂) 的研究显示鱼体水分随饲料蛋白水平的增加而增加, 故饲料蛋白水平对鱼体水分的影响因鱼而异。本试验中, 鱼体脂肪含量与饲料蛋白水平呈正相关关系, 此结果与杂交鲟研究类似, 但许多研究显示鱼体脂肪含量与饲料蛋白水平呈负相关关系, 如史氏鲟 (*Acipenser schrenck-*

ki)^[33]、蒙古鲃^[32]、紫红笛鲷 (*Lutjanus argentimaculatus*)^[34]、刺鲃^[28] 等, 有学者认为随着饲料蛋白含量的增加, 过多的蛋白质会转变成脂肪沉积在鱼体内; 但也有学者认为低蛋白饲料中的碳水化合物含量较高, 造成体内脂肪合成量增加。一般情况下, 当饲料蛋白含量升高时, 意味着有更多的蛋白质被摄食并消化吸收, 构成鱼体的结构蛋白。对匙吻鲟^[20]、银鲈 (*Zacco barbata*)^[35] 和光倒刺鲃 (*Spinibar bushollandi*)^[36] 的研究也发现, 当饲喂蛋白质水平较高的饲料时, 鱼体蛋白含量也随之升高, 本试验结果与之类似。但安瑞永等^[32] 在对史氏鲟的研究中发现, 鱼体蛋白不受饲料蛋白水平的影响, 同样的结果也出现在亚洲鲈 (*Lates calcarifer*)^[37] 和尼罗罗非鱼 (*Tilapia nilotica*)^[38] 的研究中。Mohseni 等^[39] 对波斯鲟的研究则显示对饲料蛋白水平的升高, 其鱼体蛋白呈下降的趋势, 所以, 饲料蛋白水平对鲟鱼鱼体蛋白的影响因鱼种类而异。本试验中各试验组间全鱼和肌肉灰分无显著差异, 此与波斯鲟^[10]、欧洲鳊^[17]、杂交鲟 (西伯利亚鲟 ♀ × 俄罗斯鲟 ♂)^[13] 等的研究结果类似。试验中, 为了减少能量对试验的影响, 通常会选择糖类来平衡能量, 这就造成低蛋白组糖类含量较高蛋白组要高, 而过量的糖会在脏体进行转化沉积, 这也许就是低蛋白组的肝体比和脏体比显著高于高蛋白组的原因^[40]。

参考文献:

- [1] National Research Council (NRC): Nutrient Requirements of Fish [M]. Washington DC, National Academy Press: 1993.
- [2] Dumas A, de Lange C F M, France J, et al. Quantitative description of body composition and rates of nutrient deposition in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 2007, 273 (1): 165-181.
- [3] Millward D J. International symposium on feeding and nutrition in Fish. The nutritional regulation of muscle growth and protein turnover [J]. Aquaculture, 1989, 79 (1): 1-28.
- [4] 四川省长江水产资源调查组. 长江鲟鱼类生物学及人工繁殖 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1988: 284.
- [5] 乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书 (鱼类) [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 170-171.
- [6] 史玲玲. 达氏鲟感觉器官的早期发育研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [7] Du H, Wei Q W, Xie X, et al. Improving swimming capacity of juvenile Dabry's sturgeon (*Acipenser dabryanus* Dumeril, 1869) in current-enriched culture tanks [J]. J App Ichthyol, 2014, 30 (6): 1445-1450.
- [8] 骆 慧. 达氏鲟微卫星分离及其亲子鉴定研究 [D]. 武汉:

- 华中农业大学, 2013.
- [9] 肖 慧, 王京树, 文志豪, 等. 中华鲟幼鱼饲料营养素适宜含量的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(4): 33-38.
- [10] Mohseni M, Sajjadi M, Pourkazemi M. Growth performance and body composition of sub-yearling Persian sturgeon, (*Acipenser persicus*, Borodin, 1897), fed different dietary protein and lipid levels[J]. J App Ichthyol, 2007, 23(3): 204-208.
- [11] Moore B J, Hung S S O, Medrano J F. Protein requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) [J]. Aquaculture, 1988, 71(3): 235-245.
- [12] 邢西谋. 饲料蛋白质水平对俄罗斯鲟幼鱼生长的影响[J]. 淡水渔业, 2003, 33(4): 14-16.
- [13] Guo Z, Zhu X, Liu J, et al. Effects of dietary protein level on growth performance, nitrogen and energy budget of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser baeri* ♀ × *A. gueldenstaedtii* ♂ [J]. Aquaculture, 2012, 338-341: 89-95.
- [14] Kim S S, Lee K J. Dietary protein requirement of juvenile tiger puffer (*Takifugu rubripes*) [J]. Aquaculture, 2009, 287(1-2): 219-222.
- [15] 林仕梅, 罗 莉, 叶元士, 等. 饲料蛋白能量比、非植酸磷水平对中华绒螯蟹氮、磷排泄和转氨酶活力的影响[J]. 中国水产科学, 2001, 8(4): 62-66.
- [16] 程汉良, 夏德全, 吴婷婷. 鱼类脂类代谢调控与脂肪肝[J]. 动物营养学报, 2006, 18(4): 294-298.
- [17] Mohseni M, Pourali H R, Kazemi R, et al. Evaluation of the optimum dietary protein level for the maximum growth of juvenile beluga (*Huso huso* L. 1758) [J]. Aquacul Res, 2014, 45(11): 1832-841.
- [18] 王吉桥, 程爱香, 闫有利, 等. 饲料中蛋白质含量对花鲢生长和消化的影响[J]. 大连水产学院学报, 2008, 23(2): 116-122.
- [19] 黄耀桐, 刘永坚. 草鱼肠道肝胰脏蛋白酶活性初步研究[J]. 水生生物学报, 1988, 12(4): 328-334.
- [20] 孙海涛, 吉 红. 饲料蛋白水平对匙吻鲟幼鱼肌肉营养成分及消化酶活力的影响[J]. 水产科学, 2011, 30(12): 721-725.
- [21] 王兰明, 宋理平, 朱永安, 等. 饲料蛋白水平对宝石鲈增重和体成分的影响[J]. 淡水渔业, 2008, 38(4): 76-79.
- [22] 孙翰昌, 徐敬明, 庞 敏. 饲料蛋白水平对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 3(2): 84-88.
- [23] 鲁 琼, 王立改, 楼 宝, 等. 饲料蛋白质水平对黄姑鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2015, 20(12): 3763-3771.
- [24] Debnath D, Pal A, Sahu N, et al. Digestive enzymes and metabolic profile of *Labeo rohita* fingerlings fed diets with different crude protein levels[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology, 2007, 146(1): 107-14.
- [25] 钱 曦, 王桂芹, 周洪琪, 等. 饲料蛋白水平及豆粕替代鱼粉比例对翘嘴红鲌消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2007, 19(2): 182-187.
- [26] Kawai S I, Ikeda S. Studies on digestive enzymes of fishes. III. Development of digestive enzymes of rainbow-trout after hatching and effect of dietary change on activities of digestive enzymes in juvenile stage[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1973, 39(7): 819-823.
- [27] 吕耀平, 陈建明, 叶金云, 等. 饲料蛋白质水平对刺鲃幼鱼的生长、胴体营养组成及消化酶活性的影响[J]. 农业生物技术学报, 2009, 17(2): 276-281.
- [28] 王常安, 徐奇友, 徐 伟, 等. 饲料蛋白质水平对大鳞鲃幼鱼消化酶活性的影响[J]. 天津农学院学报, 2012, 19(3): 26-31.
- [29] 卓立应. 饲料蛋白能量比对黑鲟幼鱼生长和体组成的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [30] 方桂萍. 蛋白质水平对蒙古鲈生长、体成分及消化酶活性的影响[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
- [31] 李金秋, 林建斌, 朱庆国, 等. 不同能量蛋白比饲料对牙鲆体内消化酶活性的影响[J]. 集美大学学报(自然科学版), 2005, 10(4): 296-299.
- [32] 林建斌, 李金秋, 王剑锋, 等. 不同能量蛋白质比饲料对点带石斑鱼幼鱼体内消化酶活性的影响[J]. 中国饲料, 2008, 14: 33-35.
- [33] 安瑞永, 李同庆, 邢浩春, 等. 饲料蛋白水平对史氏鲟幼鱼鱼体生化组成的影响 [A]. //中国动物学会北方七省市动物学会学术研讨会论文集 [C]. 中国动物学会, 山西省动物学会, 山西大学生命科学与技术学院, 2005: 6.
- [34] Abbas G, Siddiqui P J. The effects of varying dietary protein level on growth, feed conversion, body composition and apparent digestibility coefficient of juvenile mangrove red snapper, *Lutjanus argentimaculatus* (Forsskal 1775) [J]. Aquacult Res, 2013, 44(5): 807-18.
- [35] Shyong W J, Huang C H, Chen H C. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata* [J]. Aquaculture, 1998, 167(1): 35-42.
- [36] Yang S D, Lin T S, Liou C H, et al. Influence of dietary protein levels on growth performance, carcass composition and liver lipid classes of juvenile *Spinibarbus hollandi* [J]. Aquacult Res, 2003, 34(8): 661-666.
- [37] 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): 191-206.
- [38] 杨 弘, 徐起群, 乐贻荣, 等. 饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体组成、血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(12): 2384-2392.
- [39] Mohseni M, Pourkazemi M, Hosseini M R, et al. Effects of the dietary protein levels and the protein to energy ratio in sub-yearling Persian sturgeon, *Acipenser persicus* (Borodin) [J]. Aquacult Res 2013, 44(3): 378-387.
- [40] 杨 磊. 蛋白质水平对鲢幼鱼生长、消化和蛋白质代谢的影响[D]. 华中农业大学, 2011.

(责任编辑: 邓 薇)