

网络出版时间:2019-01-14 09:36

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2019.07.004

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190114.0935.008.html>

蛋氨酸水平对洛氏鲮生长及消化酶和蛋白质代谢酶活力的影响

段 晶¹, 吴莉芳¹, 王婧瑶¹, 张东鸣¹, 祖岫杰², 刘艳辉², 金昌洙³

(1 吉林农业大学 动物科学技术学院 动物生产及产品质量安全教育部重点实验室, 吉林省动物营养与饲料科学重点实验室, 吉林 长春 130118; 2 吉林省水产科学研究院, 吉林 长春 130033;

3 吉林市昌邑区金源水产良种场, 吉林 吉林 132001)

【摘 要】【目的】研究饲料中不同蛋氨酸水平对洛氏鲮(*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)生长、消化酶和蛋白质代谢酶活力的影响。【方法】以初始体质量为(13.63±0.01) g/尾的洛氏鲮幼鱼为研究对象,以鱼粉、豆粕和玉米蛋白粉为蛋白源,玉米油和鱼油为脂肪源,面粉和糊精为糖源,配制成 6 种等氮、等能的配合饲料,其中添加蛋氨酸使饲料中蛋氨酸水平为 0.74%(对照组),1.03%,1.33%,1.62%,1.92%和 2.21%,进行为期 8 周的饲养试验。饲养试验结束后,测定洛氏鲮肌肉的主要营养成分及蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、谷草转氨酶以及谷丙转氨酶活力。【结果】随着蛋氨酸水平的增加,洛氏鲮体质量增加率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率呈先升高后降低趋势;饲料中蛋氨酸水平为 1.62%时,洛氏鲮的体质量增加率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率显著高于对照组($P<0.05$);而各组肥满度、脏体比与肝体比差异不显著($P>0.05$)。根据特定生长率与饲料中蛋氨酸水平的折线模型拟合,当特定生长率达到最大时,洛氏鲮饲料中蛋氨酸需求量为 1.43%。饲料中蛋氨酸水平为 1.33%和 1.62%时,洛氏鲮肌肉中粗蛋白质含量显著高于对照组($P<0.05$);各组粗脂肪和粗灰分含量差异不显著($P>0.05$)。洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠、后肠的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活力均呈先升高后降低的趋势,当饲料中蛋氨酸水平为 2.21%时,后肠蛋白酶活力显著低于对照组($P<0.05$),肝胰脏、前肠、中肠蛋白酶活力与对照组差异不显著($P>0.05$);饲料中蛋氨酸水平对洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠和后肠淀粉酶与脂肪酶活力均无显著影响($P>0.05$);洛氏鲮肝胰脏中谷草转氨酶、谷丙转氨酶活力呈先升高后降低趋势,当蛋氨酸水平为 1.62%时,谷草转氨酶活力显著高于对照组($P<0.05$);当蛋氨酸水平为 1.62%和 1.92%时,谷丙转氨酶活力显著高于对照组($P<0.05$)。【结论】从生长性能及消化代谢角度来看,洛氏鲮配合饲料中蛋氨酸适宜水平为 1.33%~1.62%。

【关键词】洛氏鲮;蛋氨酸;消化酶;蛋白质代谢酶;生长性能

【中图分类号】Q964

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2019)07-0023-09

Effects of methionine level on growth performance and activities of digestive enzymes and protein metabolism enzymes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

DUAN Jing¹, WU Lifang¹, WANG Jingyao¹, ZHANG Dongming¹,
ZU Xiujie², LIU Yanhui², JIN Changzhu³

(1 Key Laboratory of Animal Production, Product Quality and Security, Jilin Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China; 2 Fisheries Science Research Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin 130033, China;

【收稿日期】2018-05-17

【基金项目】吉林省科技厅重点科技攻关项目(20160204019NY)

【作者简介】段 晶(1994—),女,黑龙江牡丹江人,在读硕士,主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail:964857900@qq.com

【通信作者】吴莉芳(1970—),女,吉林农安人,博士,教授,硕士生导师,主要从事水产动物营养与饲料研究。

E-mail:wulifang2915@126.com

3 Jinyuan Aquatic Products Field of Changyi District Jilin City, Jilin, Jilin 132001, China)

Abstract: 【Objective】 Effect of different methionine levels in feed on growth performance and activities of digestive enzymes and protein metabolic enzymes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski were investigated. 【Method】 Six methionine levels of 0.74% (CK), 1.03%, 1.33%, 1.62%, 1.92%, 2.21% were configured in six isonitrogenous and isocaloric diets, using fish meal, soybean meal and corn gluten as protein sources, corn oil and fish oil as fat sources, and flour and dextrin as carbohydrate sources. Each diet was fed to *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski with initial body weight of (13.63 ± 0.01) g. After 8 weeks, the main nutrient components of muscles and activities of amylase, lipase, glutamic-pyruvic transaminase and glutamic oxalacetic transaminase and protease were determined. 【Result】 With the increase of methionine level, weight gain rate, specific growth rate, feed efficiency, and protein efficiency of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski increased first before decreasing, getting to significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$) when the level of methionine was 1.62%. There was no significant difference in condition factor, hepatosomatic index and viscera somatic index ($P > 0.05$). According to the polyline model of the specific growth rate and methionine level in feed, the methionine requirement level in diet was 1.43% when the specific growth rate reached peak. When the methionine levels were 1.33% and 1.62%, the crude protein content in muscles was significantly higher than that in the control group ($P < 0.05$). There was no significant difference between crude fat and crude ash content among groups ($P > 0.05$). The protease, amylase and lipase activities of hepatopancreas, fore intestine, middle intestine, and hind intestine increased before decreasing. When the level of methionine was 2.21%, the activity of hind intestine protease was significantly lower compared with the control group ($P < 0.05$), while protease activities of hepatopancreas, fore intestine and middle intestine had no significant difference with the control group ($P > 0.05$). The feed methionine level had no significant effect on activities of amylase and lipase in hepatopancreas, fore intestine, middle intestine and hind intestine ($P > 0.05$). The activities of glutamic-pyruvic transaminase and glutamic oxalacetic transaminase decreased after initial increase. When the level of methionine was 1.62%, the activity of glutamic-pyruvic transaminase was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$), and the activity of glutamic oxalacetic transaminase was significantly higher than that of the control group ($P < 0.05$) when the levels of methionine were 1.62% and 1.92%. 【Conclusion】 From the growth performance, digestion and metabolism, the suitable methionine level in feed of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski was 1.33%–1.62%.

Key words: *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski; methionine; digestive enzyme; protein metabolism enzyme; growth performance

在动物体内,蛋氨酸参与蛋白质的合成、机体硫代谢以及转甲基反应^[1]。蛋氨酸是鱼类生长的必需氨基酸之一,鱼类对蛋白质的需求,实际上就是对必需氨基酸的需求,当饲料中的蛋氨酸不足或过量时,不仅会导致鱼体生长和饲料转化率下降,还会降低其存活率^[2]。所以,研究蛋氨酸水平对鱼类的影响,具有重要的现实意义。国内外研究者就不同蛋氨酸水平对鱼类的影响做了相关研究,涉及的鱼类主要有印度鲢(*Cirrhinus mrigala*)^[3]、胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)^[4]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[5]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[6]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *Oreochro-*

mis mossambicus)^[7]、日本鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*)^[8]、南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[9]、眼斑拟石首鱼(*Sciaenops ocellatus*)^[10]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[11]、斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)^[12]、半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)^[13]、幼建鲤(*Cyprinus carpio* var. *Jian*)^[14]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[15]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[16]、黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[17]等。研究内容主要集中在饲料中添加蛋氨酸对鱼类生长性能、消化酶活力、抗氧化及非特异性免疫指标影响等方面。

洛氏鲮(*Rhynchocypris lagowskii* Dybowski)

又称拉氏大吻鲮,俗称柳根池,隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)雅罗鱼亚科(Leuciscinae)鲮属(*Phoxinus*),是我国名贵的杂食性小型经济鱼类,具有广阔的养殖发展前景。关于洛氏鲮的生物学^[18-20]、生态环境学^[21]、人工繁殖与苗种培育技术^[22-23]、肌肉蛋白营养价值评价^[24]及胚胎发育^[25]等方面已有报道,而关于洛氏鲮对蛋氨酸营养需求的研究尚未见报道。因此,本试验通过在饲料中添加不同水平蛋氨酸,探讨其对洛氏鲮生长、消化酶及蛋白质代谢酶活力的影响,以确定洛氏鲮幼鱼饲料中蛋氨酸的适宜添加量,为逐步完善洛氏鲮营养需求参数数据库及研制优质高效配合饲料提供基础数

据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以鱼粉、豆粕和玉米蛋白粉为蛋白源,玉米油和鱼油为脂肪源,面粉和糊精为糖源,配制 6 种等氮、等能的配合饲料,其中各组饲料中蛋氨酸水平分别为 0.74% (对照组),1.03%,1.33%,1.62%,1.92%和2.21%。预混料由沈阳市克达饲料有限公司提供。试验饲料原料经粉碎过 0.246 mm 筛,根据表 1~3 的配方配制后称质量,混合均匀,挤压成 1.5 mm 颗粒,晒干后置于-4℃冰箱中保存备用。

表 1 洛氏鲮饲养试验的饲料配方(风干基础)

Table 1 Formulation of experimental diets for <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski (air-dry basis)											g/kg	
蛋氨酸水平/% Methionine level	鱼粉 Fish meal	豆粕 Regular soybean meal	糊精 Dextrin	玉米蛋白粉 Corn protein powder	面粉 Flour	纤维素 Microcrystalline	谷氨酸 Glutamate	玉米油 Corn oil	鱼油 Fish oil	预混料 Premix	蛋氨酸 Methionine	氯化胆碱 Choline chloride
0.74	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	15.0	12.1	12.1	10.0	7.4	5.0
1.03	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	12.0	12.1	12.1	10.0	10.3	5.0
1.33	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	9.0	12.1	12.1	10.0	13.3	5.0
1.62	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	6.0	12.1	12.1	10.0	16.2	5.0
1.92	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	3.0	12.1	12.1	10.0	19.2	5.0
2.21	250.0	261.0	191.6	120.0	100.0	23.2	0.0	12.1	12.1	10.0	22.1	5.0

表 2 洛氏鲮配方饲料的营养水平

Table 2 Nutritional composition of experimental diets of <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski					g/kg	
蛋氨酸水平/% Methionine level	粗蛋白质 Crude protein		粗脂肪 Crude lipid		粗纤维 Crude fiber	蛋氨酸 Methionine
0.74	360.0		60.2		40.0	7.4
1.03	360.0		60.2		40.0	10.3
1.33	360.0		60.2		40.0	13.3
1.62	360.0		60.2		40.0	16.2
1.92	360.0		60.2		40.0	19.2
2.21	360.0		60.2		40.0	22.1

表 3 洛氏鲮配方饲料中氨基酸组成(风干基础)

Table 3 Amino acid composition of experimental diets of <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski (air-dry basis)									g/kg	
蛋氨酸水平/% Methionine levels	蛋氨酸 Met	苏氨酸 Thr	组氨酸 His	赖氨酸 Lys	精氨酸 Arg	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸 Phe		
0.74	7.4	13.5	9.1	20.7	18.1	13.2	20.7	16.2		
1.03	10.3	13.6	9.2	20.8	18.3	13.2	20.8	16.2		
1.33	13.3	13.8	9.3	20.8	17.9	13.0	20.9	16.3		
1.62	16.2	13.4	9.1	20.7	17.8	13.2	20.8	16.5		
1.92	19.2	13.2	9.2	20.8	17.8	13.0	20.8	15.7		
2.21	22.1	13.5	9.3	20.9	18.0	12.8	20.6	16.1		
蛋氨酸水平/% Methionine levels	丙氨酸 Ala	丝氨酸 Ser	谷氨酸 Glu	脯氨酸 Pro	甘氨酸 Gly	酪氨酸 Tyr	天冬氨酸 Asp	缬氨酸 Val		
0.74	18.7	13.5	53.7	17.5	18.9	10.2	28.7	16.5		
1.03	18.8	13.6	53.7	17.5	18.7	9.2	28.9	16.3		
1.33	18.9	13.4	53.0	16.7	18.9	9.3	28.5	15.8		
1.62	18.6	13.2	49.1	16.7	18.8	9.7	28.4	14.9		
1.92	18.7	13.1	47.8	15.3	18.7	9.9	28.3	14.5		
2.21	18.5	13.2	47.0	15.5	18.9	9.5	28.3	14.7		

1.2 试验鱼及饲养管理

试验在吉林农业大学动物科技学院水产养殖室的控温养殖系统中进行,洛氏鲮来自吉林省敦化市名优水产良种场。试验设 6 个处理组,每处理组 3 桶,每桶放养洛氏鲮 25 尾。鱼种放养前预饲 15 d,然后挑选无病无伤,体质健壮,规格整齐,初始体质量为 (13.84 ± 0.01) g/尾的洛氏鲮幼鱼,进行为期 8 周的饲养试验。每天 07:00,12:00 和 17:00 人工手撒投饵,日投饵率为鱼体质量的 2%~4%,记录各桶摄食饲料质量。试验过程中连续充气,每 2 d 换水 1 次,每次换水 1/3~1/4,保持水温 $(21\pm1)^{\circ}\text{C}$,pH 7.5~8.5,溶解氧含量 5.0 mg/L 以上,氨氮质量浓度低于 0.3 mg/L,亚硝酸盐质量浓度小于 0.08 mg/L。

1.3 样品收集与指标测定

1.3.1 生长指标 饲养试验结束后,饥饿 24 h,称鱼体质量,每桶活体解剖 10 尾洛氏鲮,分别称其体质量、肝胰脏质量、内脏质量。按下面公式分别计算体质量增加率、特定生长率、饲料效率、蛋白质效率、肥满度、脏体比和肝体比。

$$\text{体质量增加率(WG)}=(m_t-m_0)/m_0\times100\%;$$
$$\text{特定生长率(SGR)}=(\ln m_t-\ln m_0)/t\times100\%;$$
$$\text{饲料效率(FER)}=(m_t-m_0)/m_I\times100\%;$$
$$\text{蛋白质效率(PER)}=(m_t-m_0)/(m_I\times m_p)\times100\%;$$
$$\text{肥满度(CF)}=m_t/L^3\times100;$$
$$\text{脏体比(HI)}=m_v/m_t\times100\%;$$
$$\text{肝体比(VI)}=m_H/m_t\times100\%。$$

表 4 蛋氨酸水平对洛氏鲮生长、饲料利用的影响

Table 4 Effects of methionine level on growth and feed utilization of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

蛋氨酸水平/% Methionine level	初始体质量/g Initial mean body weight	终末体质量/g Final mean body weight	体质量增加率/% Weight gain	特定生长率/% Specific growth rate	饲料效率/% Feed efficiency ratio
0.74	13.83±0.01	19.94±0.76 a	44.19±5.58 a	0.68±0.07 a	50.79±5.20 a
1.03	13.85±0.01	20.02±0.37 a	44.52±2.64 a	0.69±0.03 a	51.47±3.20 a
1.33	13.85±0.04	20.71±0.57 a	49.47±3.71 ab	0.76±0.05 ab	57.55±4.23 ab
1.62	13.85±0.04	21.93±0.38 a	58.26±2.42 b	0.87±0.03 b	69.02±3.57 b
1.92	13.83±0.04	21.42±0.64 a	54.92±2.42 ab	0.83±0.06 ab	64.64±6.37 ab
2.21	13.85±0.01	20.90±0.21 a	50.84±1.46 ab	0.78±0.02 ab	61.60±1.98 ab
蛋氨酸水平/% Methionine level	蛋白质效率/% Protein efficiency ratio	肥满度/(g·cm ⁻³) Condition factor	脏体比/% Viscerasomatic index	肝体比/% Hepatosomatic index	
0.74	1.41±0.14 a	1.05±0.03 a	11.05±0.92 a	1.18±0.17 a	
1.03	1.43±0.15 a	1.15±0.19 a	12.51±1.11 a	1.23±0.15 a	
1.33	1.60±0.20 ab	1.18±0.02 a	11.46±1.09 a	1.15±0.01 a	
1.62	1.92±0.01 b	1.28±0.02 a	11.26±0.51 a	1.01±0.09 a	
1.92	1.80±0.18 ab	1.04±0.05 a	12.61±0.60 a	1.07±0.51 a	
2.21	1.71±0.05 ab	1.13±0.10 a	12.75±0.36 a	1.06±0.08 a	

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters in column indicate significant difference ($P<0.05$). The same below.

表 4 表明,随着蛋氨酸水平的升高,洛氏鲮体质量增加率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率均呈

式中: m_0 、 m_t 分别表示鱼初始和终末体质量,g; t 表示试验时间,d; m_I 表示摄入干饲料质量,g; m_p 表示饲料粗蛋白质含量,%; L 表示体长,cm; m_v 表示内脏质量,g; m_H 表示肝胰脏质量,g;
1.3.2 肌肉营养成分 饲养试验结束后,每桶随机取洛氏鲮 10 尾,取侧线以上背鳍以下肌肉,采用马福炉灼烧法测定粗灰分含量,采用凯氏定氮法测定粗蛋白含量,采用索氏抽提法测定粗脂肪含量,采用 105℃ 恒温干失重法测定水分含量。
1.3.3 消化酶及蛋白质代谢酶活力 饲养试验结束后,每桶随机取洛氏鲮 5 尾,在冰盘上进行活体解剖,迅速取其肠道(前肠、中肠和后肠)及肝胰脏,放入-80℃ 冰箱中保存备用。

淀粉酶、脂肪酶、谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力采用试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定;蛋白酶活力参照杨娅等^[26]的试验方法测定。

1.4 数据处理与分析

试验数据采用“平均数±标准误”表示,采用 SPSS 20.0 软件进行方差分析,如果方差分析显著,进一步进行 Duncan’s 多重比较,分析组间差异显著性,显著性水平设置为 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 蛋氨酸水平对洛氏鲮生长及饲料利用的影响
蛋氨酸水平对洛氏鲮生长、饲料利用的影响见表 4。

先升高后降低的趋势,其中饲料蛋氨酸水平为 1.62%时,洛氏鲮体质量增加率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率均显著高于对照组(0.74%蛋氨酸水平组)($P<0.05$),蛋氨酸水平为 1.03%,1.33%,1.92%和 2.21%组的洛氏鲮体质量增加率、特定生长率、饲料效率及蛋白质效率均与对照组差异不显著($P>0.05$);不同蛋氨酸水平组洛氏鲮终末体质量、肥满度、脏体比与肝体比差异不显著($P>0.05$)。

对饲料中不同蛋氨酸水平与洛氏鲮特定生长率进行折线模型拟合回归分析发现,当洛氏鲮特定生长率达到最大时,饲料中蛋氨酸水平为 1.43%(图 1)。

2.2 蛋氨酸水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

表 5 表明,各组水分含量均显著低于对照组($P<0.05$);当饲料中蛋氨酸水平为 1.33%和 1.62%时,洛氏鲮肌肉中粗蛋白质含量显著高于对

照组($P<0.05$),而蛋氨酸水平为 1.03%,1.92%及 2.21%组与对照组差异不显著($P>0.05$);各组粗脂肪和粗灰分含量之间差异不显著($P>0.05$)。

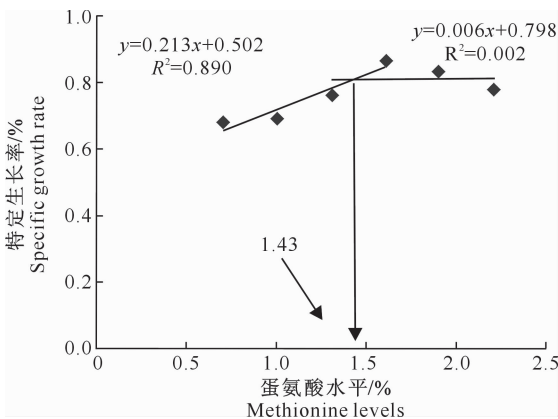


图 1 蛋氨酸水平对洛氏鲮特定生长率的影响

Fig.1 Effect of methionine level on specific growth rate of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

表 5 蛋氨酸水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

Table 5 Effects of methionine level on nutrient composition of <i>Rhynchocypris lagowskii</i> Dybowski					%
蛋氨酸水平/% Methionine level	水分 Moisture	粗蛋白质 Protein	粗脂肪 Lipid	粗灰分 Ash	
0.74	78.90±0.04 c	17.46±0.03 a	1.41±0.05 a	1.29±0.06 a	
1.03	78.67±0.05 b	17.55±0.04 a	1.39±0.05 a	1.28±0.03 a	
1.33	78.66±0.08 b	18.23±0.06 b	1.44±0.03 a	1.32±0.09 a	
1.62	78.63±0.06 b	18.39±0.08 b	1.37±0.03 a	1.28±0.20 a	
1.92	78.57±0.04 ab	17.74±0.03 ab	1.42±0.06 a	1.33±0.03 a	
2.21	78.49±0.08 a	17.49±0.03 a	1.38±0.04 a	1.26±0.04 a	

2.3 蛋氨酸水平对洛氏鲮消化酶及蛋白质代谢酶活力的影响

2.3.1 对蛋白酶及蛋白质代谢酶活力的影响 从表 6 可以看出,随着饲料中蛋氨酸水平的升高,洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠和后肠蛋白酶活力均呈先上升后下降的趋势;当蛋氨酸水平为 2.21%时,后肠蛋白酶活力显著低于对照组($P<0.05$)。肝胰脏中谷

草转氨酶、谷丙转氨酶活力也随饲料中蛋氨酸水平的升高呈现先升高后降低的趋势;当蛋氨酸水平为 1.62%时,谷草转氨酶活力显著高于对照组($P<0.05$),其他组与对照组差异不显著($P>0.05$)。当蛋氨酸水平为 1.62%和 1.92%时,谷丙转氨酶活力显著高于对照组($P<0.05$),其他组与对照组差异不显著($P>0.05$)。

表 6 蛋氨酸水平对洛氏鲮蛋白酶及蛋白质代谢酶活力的影响

Table 6 Effects of methionine level on activities of protease enzymes and protein metabolism of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski

蛋氨酸水平/% Methionine level	蛋白酶活力 Activities of protease enzyme				蛋白质代谢酶活力 Activity of protein metabolism	
	肝胰脏 Hepatosomatic	前肠 Fore intestine	中肠 Middle intestine	后肠 Hind intestine	谷草转氨酶 Glutamic-pyruvic transaminase	谷丙转氨酶 Glutamic oxalacetic transaminase
0.74	53.55±1.73 a	43.58±1.12 a	41.36±0.59 a	37.10±0.94 a	145.40±1.24 ab	34.27±1.21 ab
1.03	53.70±0.63 a	44.13±0.60 a	43.28±0.52 a	38.13±0.76 a	148.45±1.24 bc	37.28±1.69 abc
1.33	55.17±1.71 a	46.45±1.17 a	44.37±1.84 a	38.88±0.88 a	149.24±2.85 bc	40.24±2.88 bc
1.62	56.08±0.52 a	47.33±1.73 a	44.50±3.24 a	38.77±1.80 a	153.05±2.13 c	43.27±1.23 c
1.92	54.85±2.29 a	46.55±1.33 a	44.09±1.20 a	37.52±1.71 a	151.02±2.99 bc	42.38±1.85 c
2.21	48.27±2.77 a	44.32±2.06 a	42.42±1.25 a	31.94±0.97 b	139.47±2.37 a	33.28±1.98 a

2.3.2 对淀粉酶活力的影响 蛋氨酸水平对洛氏鲮淀粉酶活力的影响结果见表 7。从表 7 可以看

出,饲料中蛋氨酸水平对洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠和后肠的淀粉酶活力均无显著影响($P>0.05$)。

表 7 蛋氨酸水平对洛氏鲮淀粉酶活力的影响

Table 7 Effects of methionine level on activities of amylase enzymes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski U/mg

蛋氨酸水平/% Methionine level	肝胰脏 Hepatopancrea	前肠 Fore intestine	中肠 Middle intestine	后肠 Hind intestine
0.74	21.52±1.20 a	13.29±1.47 a	8.29±0.62 a	4.24±0.61 a
1.03	22.89±1.22 a	13.77±1.05 a	8.85±0.05 a	4.53±0.72 a
1.33	22.98±1.00 a	14.43±0.65 a	9.00±0.03 a	4.81±0.17 a
1.62	23.65±1.66 a	15.73±0.65 a	9.38±0.10 a	5.53±0.46 a
1.92	22.38±1.25 a	15.44±0.57 a	9.07±0.02 a	5.27±0.04 a
2.21	20.51±0.98 a	14.39±0.68 a	8.72±0.52 a	4.78±0.11 a

2.3.3 对脂肪酶活力的影响 蛋氨酸水平对洛氏鲮脂肪酶活力的影响结果见表 8。从表 8 可以看出,饲料中蛋氨酸水平对洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠和后肠的脂肪酶活力均无显著影响($P>0.05$)。

表 8 蛋氨酸水平对洛氏鲮脂肪酶活力的影响

Table 8 Effects of methionine level on activities of lipase enzymes of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski U/g

蛋氨酸水平/% Methionine level	肝胰脏 Hepatopancrea	前肠 Fore intestine	中肠 Middle intestine	后肠 Hind intestine
0.74	3.92±0.27 a	6.31±0.03 a	5.41±0.01 a	5.11±0.06 a
1.03	4.12±0.12 a	6.43±0.08 a	5.56±0.04 a	5.24±0.14 a
1.33	4.15±0.18 a	6.60±0.10 a	5.63±0.08 a	5.36±0.03 a
1.62	4.51±0.25 a	6.64±0.11 a	5.79±0.02 a	5.45±0.10 a
1.92	4.47±0.14 a	6.30±0.01 a	5.48±0.25 a	5.37±0.07 a
2.21	4.31±0.11 a	6.25±0.18 a	5.37±0.53 a	5.16±0.16 a

3 讨 论

3.1 蛋氨酸水平对洛氏鲮生长及饲料利用的影响

本试验表明,蛋氨酸水平对洛氏鲮生长性能产生一定的影响,主要原因是鱼体对不同水平蛋氨酸的利用存在差异,适当水平的蛋氨酸会促进鱼体蛋白质合成,从而促进鱼体生长;蛋氨酸过量或缺失则会抑制其生长发育。本试验结果表明,随着饲料中蛋氨酸水平的升高,洛氏鲮特定生长率、蛋白质效率均呈先升高后降低的趋势,其中蛋氨酸水平为 1.62%时,洛氏鲮特定生长率和蛋白质效率达到最大值。Zhou 等^[2]在对军曹鱼幼鱼的研究中发现,随饲料中蛋氨酸添加水平的增大,军曹鱼幼鱼的体质量增加率、特定生长率和蛋白质效率均呈先上升后降低的趋势,蛋氨酸水平为 1.05% 达最高值。Ahmed 等^[3]在对印度鲮的研究中发现,随着蛋氨酸水平的增加,印度鲮特定生长率和体质量增加率呈先上升后降低的趋势,蛋氨酸水平为 1%时达到最高值。迟淑艳等^[12]在对斜带石斑鱼的研究中发现,随着饲料中蛋氨酸水平的增加,斜带石斑鱼特定生长率和体质量增加率呈先上升后降低的趋势,当蛋氨酸含量为 1.26%时达最大值。林仕梅等^[27]在对罗非鱼的研究中发现,罗非鱼特定生长率随着蛋氨酸水平的增加呈先升高后降低的趋势。这说明在饲料中添加适宜水平的蛋氨酸,对鱼类蛋白质合成有一定促进作用,有利鱼类生长代谢,这与本试验结果

相似。

3.2 蛋氨酸水平对洛氏鲮肌肉营养成分的影响

鱼体肌肉营养成分是反映鱼类营养水平和生理状态的主要指标,易受鱼体种类、大小、饲养环境及饲料成分等因素的影响。本试验结果表明,随着蛋氨酸水平的逐渐升高,洛氏鲮肌肉中粗蛋白质含量呈先上升后下降的趋势,当饲料中蛋氨酸水平为 1.33%和 1.62%时,洛氏鲮肌肉中粗蛋白质含量显著高于对照组。这说明饲料中添加适宜蛋氨酸会提高鲮肌肉中粗蛋白质含量,当蛋氨酸缺乏时,蛋白质沉积效率下降,严重时可在一定程度上危及鱼类健康。Ahmed 等^[3]研究发现,随着蛋氨酸水平的增加,印度鲮肌肉中粗蛋白质含量呈先上升后下降的趋势,蛋氨酸水平为 1%时可达最高值。迟淑艳等^[12]研究发现,随着饲料中蛋氨酸水平的增加,斜带石斑鱼肌肉中粗蛋白质含量呈先上升后降低的趋势,蛋氨酸含量为 1.57%时达最大值。霍雅文等^[28]研究表明,凡纳滨对虾肌肉中粗蛋白质含量随蛋氨酸水平的升高呈现先升高后降低的趋势。这与本试验结果相似。

3.3 蛋氨酸水平对洛氏鲮消化酶及蛋白质代谢酶活力的影响

3.3.1 对蛋白酶及蛋白质代谢酶活力的影响 鱼类消化酶主要是由消化腺和消化系统分泌的,消化酶活力是反映鱼类消化机能的一项重要指标。消化器官内的蛋白酶主要存在于鱼类肝胰脏和肠道中,

其主要作用是消化蛋白质,蛋白酶活力高低可以反映蛋白质的利用程度。蛋白酶活力升高说明肝胰脏和肠道消化功能较强,当蛋氨酸含量不足或过量时,会导致鱼类消化能力减弱,进而影响机体代谢,延缓生长发育。在本试验条件下,随着蛋氨酸水平的升高,洛氏鲮肝胰脏、前肠、中肠和后肠蛋白酶活力均呈先上升后下降的趋势,蛋氨酸水平为 2.21% 时,后肠蛋白酶活力显著低于对照组。彭艳等^[29]在幼建鲤的研究中发现,蛋氨酸对幼建鲤胰脏蛋白酶活力呈先升高后降低的趋势,这与本试验结果相类似。

肝胰脏谷丙转氨酶和谷草转氨酶是蛋白质合成代谢中的主要转氨酶,其活力大小直接反映了蛋白质合成代谢的效率。本试验结果表明,随着饲料中蛋氨酸水平的升高,谷草转氨酶及谷丙转氨酶活力均呈先升高后降低的趋势;当蛋氨酸水平为 1.62% 时,谷丙转氨酶和谷草转氨酶活力显著高于对照组。这表明适宜水平的蛋氨酸可促进鱼类蛋白质合成,使机体的氨基酸水平达到平衡状态,有利于鱼类生长发育;蛋氨酸含量不足时,谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力较低,说明缺乏蛋氨酸可影响蛋白质的合成和氨基酸代谢。王香丽等^[17]研究发现,黄颡鱼幼鱼谷丙转移酶活力随着蛋氨酸水平的增加呈现先升高后降低的趋势,在蛋氨酸含量为 1.33% 和 1.70% 时谷丙转氨酶活力显著高于对照组,这与本试验结果相似。

3.3.2 对淀粉酶活力的影响 淀粉酶是一种简单蛋白质,其作用是催化水解淀粉。鱼类的消化器官存在淀粉酶,而淀粉酶活力与鱼种类、消化器官及食物组成有一定的相关性,这是鱼类对生态环境的一种适应。本试验结果表明,随着饲料中蛋氨酸水平的增加,淀粉酶活力呈先上升后降低的趋势,但均与对照组差异不显著。这可能是由于适宜水平的蛋氨酸对洛氏鲮淀粉酶活力起到一定促进作用。马静^[13]研究发现,蛋氨酸水平对半滑舌淀粉酶活力无显著影响。肖伟伟^[14]研究发现,随着饲料中蛋氨酸羟基类似物的增多,幼建鲤淀粉酶活力呈先上升后下降的趋势,这与本试验结果相类似。

3.3.3 对脂肪酶活力的影响 脂肪是维持鱼类正常生长、发育和繁殖的必需营养物质,也是鱼类重要的能量来源,在鱼类生命活动中发挥着重要的作用。脂肪在脂肪酶的作用下,可被分解成甘油酯和自由脂肪酸的混合物而供鱼类吸收。由本试验结果可知,随着饲料中蛋氨酸水平的增加,洛氏鲮脂肪酶活力呈先升高后降低趋势,这可能是由于适宜水平的

蛋氨酸对鱼类消化有一定的促进作用。肖伟伟^[14]在幼建鲤的研究中发现,随着饲料中蛋氨酸羟基类似物的增多,脂肪酶活力呈先上升后下降的趋势。彭艳等^[29]和帅柯^[30]在研究中均发现,随饲料中蛋氨酸水平的升高,幼建鲤脂肪酶活力呈现先上升后降低的趋势,这与本试验结果相类似。

[参考文献]

- [1] Coutinho F, Simões R, Monge-Ortiz R, et al. Effects of dietary methionine and taurine supplementation to low-fish meal diets on growth performance and oxidative status of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2017, 479(1): 447-454.
- [2] Zhou Q C, Wu Z H, Tan B P, et al. Optimal dietary methionine requirement for juvenile Cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Aquaculture*, 2006, 258(1): 551-557.
- [3] Ahmed I, Khan M A, Jafri A K. Dietary methionine requirement of fingerling Indian Major carp, *Cirrhinus mrigala*, (Hamilton) [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 11(5): 449-462.
- [4] Yuan Y C, Gong S Y, Yang H J, et al. Effects of supplementation of crystalline or coated lysine and/or methionine on growth performance and feed utilization of the Chinese sucker, *Myxocyprinus asiaticus* [J]. *Aquaculture*, 2011, 316(1): 31-36.
- [5] 贾 鹏, 薛 敏, 朱 选, 等. 饲料蛋氨酸水平对异育银鲫幼鱼生长性能影响的研究 [J]. *水生生物学报*, 2013, 37(2): 217-226.
Jia P, Xue M, Zhu X, et al. Effects of dietary methionine levels on the growth performance of juvenile Gibel Carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(2): 217-226.
- [6] 迟淑艳, 谭北平, 董晓慧, 等. 微胶囊蛋氨酸或晶体蛋氨酸对军曹鱼幼鱼相关酶活性的影响 [J]. *中国水产科学*, 2011, 18(1): 110-118.
Chi S Y, Tan B P, Dong X H, et al. Effect of supplementation microcapsule or crystalline methionine in diets on related enzyme activity of cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(1): 110-118.
- [7] Figueiredo-Silva C, Lemme A, Sangsue D, et al. Effect of DL-methionine supplementation on the success of almost total replacement of fish meal with soybean meal in diets for hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis mossambicus*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2015, 21(2): 234-241.
- [8] Zhang Y Q, Ji W X, Wu Y B, et al. Replacement of dietary fish meal by soybean meal supplemented with crystalline methionine for Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(1): 243-252.
- [9] Ai Q H, Xie X J. Effects of replacement of fish meal by soybean meal and supplementation of methionine in fish meal/soybean meal-based diets on growth performance of the southern catfish *Silurus meridionalis* [J]. *Journal of the World Aquaculture*

- Society, 2010, 36(4): 498-507.
- [10] Goff J B, Dmíi G. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet for red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine [J]. Aquaculture, 2004, 241(1): 465-477.
- [11] 魏玉婷. 大菱鲆 (*Scophthalmus maximus*) 幼鱼对饲料中蛋氨酸、精氨酸、维生素 A 及维生素 E 需求量的研究 [D]. 山东青岛: 中国海洋大学, 2010.
- Wei Y T. Studies on requirements of dietary methionine, arginine, vitamin A, vitamin E for turbot (*Scophthalmus maximus*) juveniles [D]. Qingdao, Shandong: Ocean University of China, 2010.
- [12] 迟淑艳, 王学武, 谭北平, 等. 饲料蛋氨酸对斜带石斑鱼生长性能、抗氧化及糖异生相关酶活性的影响 [J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 645-652.
- Chi S Y, Wang X W, Tan B P, et al. Effects of dietary methionine on the growth performance, anti oxidation and activities of gluconeogenesis related enzyme in juvenile groupers, *Epinephelus coioides* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2015, 39(4): 645-652.
- [13] 马 静. 赖氨酸和蛋氨酸强化卤虫对半滑舌鲷稚鱼生长、消化酶及相关激素水平的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012.
- Ma J. Effects of lysine and methionine enriched *Artemia nauplii* on growth, digestive enzyme and associated hormones in the tongue sole postlarvae (*Cynoglossus semilaevis*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2012.
- [14] 肖伟伟. 蛋氨酸羧基类似物对幼建鲤消化吸收能力、抗氧化能力和免疫功能的影响 [D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2010.
- Xiao W W. Effects of dietary methionine hydroxy analogue on digestive ability, antioxidative ability and immune function of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [D]. Ya'an, Sichuan: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [15] 马 俊, 魏泽宏, 邢淑娟, 等. 饲料中添加蛋氨酸寡肽对大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 生长、饲料利用和蛋白质代谢反应的影响 [J]. 渔业科学进展, 2016, 37(3): 126-133.
- Ma J, Wei Z H, Xing S J, et al. Effects of dietary oligo methionine on the growth performance, feed utilization and protein metabolism responses of juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(3): 126-133.
- [16] 谭芳芳, 叶元土, 肖顺应, 等. 补充微囊赖氨酸和蛋氨酸对草鱼生长性能的影响 [J]. 动物营养学报, 2010, 22(3): 804-810.
- Tan F F, Ye Y T, Xiao S Y, et al. Effects of microcapsule lysine and methionine supplementation on growth performance of Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(3): 804-810.
- [17] 王香丽, 麦康森, 徐 玮, 等. 蛋氨酸对瓦氏黄颡鱼幼鱼肝脏及血浆中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力的影响 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 46(9): 49-53.
- Wang X L, Mai K S, Xu W, et al. Influence of dietary methionine on the activity of liver and plasma glutamic pyruvic and glutamic oxalacetic transaminases of Juvenile Darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*) [J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science Edition), 2015, 46(9): 49-53.
- [18] 张永泉, 白庆利, 徐 伟, 等. 黑龙江流域绥芬河水系洛氏鲮个体繁殖力的研究 [J]. 水产学杂志, 2015, 28(1): 29-33.
- Zhang Y Q, Bai Q L, Xu W, et al. Individual fecundity of minnow *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski collected in Suifen river in Heilongjiang river valley [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2015, 28(1): 29-33.
- [19] 王茂林, 李保民, 姜玉声, 等. 本溪太子河流域洛氏鲮个体繁殖力研究 [J]. 长江大学学报(自然科学版), 2013, 10(29): 28-32.
- Wang M L, Li B M, Jiang Y S, et al. Study on individual fertility of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski in Taizi river in Benxi [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2013, 10(29): 28-32.
- [20] 张永泉, 徐 伟, 席庆凯, 等. 洛氏鲮的人工繁殖 [J]. 安徽大学学报(自然科学版), 2015, 42(4): 1-6.
- Zhang Y Q, Xu W, Xi Q K, et al. The artificial propagation of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. Journal of Anhui University (Natural Science Edition), 2015, 42(4): 1-6.
- [21] 康 鑫, 张 远, 张 楠, 等. 太子河洛氏鲮幼鱼栖息地适宜度评估 [J]. 生态毒理学报, 2011, 6(3): 310-320.
- Kang X, Zhang Y, Zhang N, et al. Assessment of habitat suitability of juvenile *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski in Taizi river [J]. Asian Journal of Ecotoxicology, 2011, 6(3): 310-320.
- [22] 祖岫杰, 刘艳辉, 刘铁钢, 等. 拉氏鲮人工繁殖与苗种培育技术研究 [J]. 水产养殖, 2015, 36(6): 9-12.
- Zu X J, Liu Y H, Liu T G, et al. Study on artificial propagation and seedling cultivation techniques of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. Journal of Aquaculture, 2015, 36(6): 9-12.
- [23] 骆小年, 李 军, 金广海, 等. 拉氏鲮人工繁殖试验 [J]. 水产科学, 2013, 32(11): 673-675.
- Luo X N, Li J, Jin G H, et al. Artificial breeding test of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. Aquatic Science, 2013, 32(11): 673-675.
- [24] 张永泉, 尹家胜, 杜 佳, 等. 洛氏鲮肌肉某些营养成分分析和肉质蛋白质营养价值评价 [J]. 营养学报, 2013, 35(4): 406-410.
- Zhang Y Q, Yin J S, Du J, et al. Analysis of some nutritional components and evaluation of muscle protein of *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski [J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 35(4): 406-410.
- [25] 郭文学, 张永泉, 佟广香, 等. 黑龙江流域绥芬河水系野生洛氏鲮胚胎发育 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2530-2536.
- Guo W X, Zhang Y Q, Tong G X, et al. Embryonic development of wild *Rhynchocypris lagowskii* Dybowski collected from Suifen river in Heilong river Valley [J]. Journal of Ecology, 2015, 34(9): 2530-2536.
- [26] 杨 娜, 邢秀苹, 黄 权, 等. 温度和 pH 对黄金鲈消化酶活性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42

(10):1-6.

Yang H,Xing X P,Huang Q,et al. Effect of temperature and pH on activities of digestive enzymes in *Perca flavescens* [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition),2014,42(10):1-6.

[27] 林仕梅,麦康森,谭北平. 实用饲料中添加结晶蛋氨酸对罗非鱼生长、体组成的影响 [J]. 水生生物学报,2008,32(5):741-749.

Lin S M,Mai K S,Tan B P,et al. Influence of practical diet supplementation with free D-methionine on growth and body composition in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Acta Hydrobiologica Sinica,2008,32(5):741-749.

[28] 霍雅文,曾雯婷,金 敏,等. 凡纳滨对虾幼虾的蛋氨酸需要量 [J]. 动物营养学报,2014,26(12):3707-3716.

Huo Y W,Zeng W P,Jin M,et al. Methionine requirement of juvenile pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) [J]. Journal of Animal Nutrition,2014,26(12):3707-3716.

[29] 彭 艳,唐 凌,帅 柯,等. 蛋氨酸对幼建鲤生长及消化吸收功能的影响 [J]. 中国畜牧杂志,2009,45(13):33-38.

Peng Y,Tang L,Shuai K,et al. Effect of methionine on digestion and absorption of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2009,45(13):33-38.

[30] 帅 柯. 蛋氨酸对幼建鲤消化功能和免疫功能的影响 [D]. 四川雅安:四川农业大学,2006.

Shuai K. Effect of methionine on digestion and immune function of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian) [D]. Ya'an,Sichuan:Sichuan Agricultural University,2006.

(上接第 22 页)

[22] 任丹丹,贺胜男,曹程鸣,等. 加味四君子汤对仔猪消化吸收功能及小肠 EGF 表达的影响 [J]. 中国兽医科学,2016,46(8):1065-1072.

Ren D D,He S N,Cao C M,et al. Effect of supplementary Si-junzi decoction on digestive and absorptive functions and EGF expression of small intestine in piglets [J]. Chinese Veterinary Science,2016,46(8):1065-1072.

[23] 吴丽萍,张 琨,谢志军. 基于“脾失运化”探讨肠道菌群紊乱与肥胖的关系 [J]. 浙江中医杂志,2017,52(11):790-791.

Wu L P,Zhang K,Xie Z J. Study on the relationship between intestinal flora disorder and obesity based on spleen inactivation [J]. Zhejiang Journal of Traditional Chinese Medicine,2017,52(11):790-791.