



陈秀梅, 申 斌, 李 萌,等. 饲料必需氨基酸平衡关联度对框镜鲤生长、蛋白质消化和代谢的影响[J]. 华南农业大学学报,2015,36(4):36-42.

饲料必需氨基酸平衡关联度对框镜鲤生长、蛋白质消化和代谢的影响

陈秀梅¹, 申 斌¹, 李 萌¹, 于桂玲², 王桂芹¹, 芦洪梅³

(1 吉林农业大学 动物科学技术学院, 吉林 长春 130118;

2 九台市水产技术推广站, 吉林 九台 130599; 3 长春通威饲料公司, 吉林 长春 130404)

摘要:【目的】探讨饲料必需氨基酸(EAA)平衡关联度对框镜鲤 *Cyprinus carpio* 生长、蛋白质消化和代谢的影响。【方法】在植物蛋白源饲料中按比例添加赖氨酸和蛋氨酸,配成6种等氮等能(蛋白质质量分数31%、能量17 MJ·kg⁻¹)的不同EAA平衡关联度的试验组饲料,同时以鱼粉为主要蛋白源配制对照组饲料(蛋白质质量分数33%,能量17 MJ·kg⁻¹),共7种不同EAA平衡关联度[0.764 9(对照组)、0.704 8(1组)、0.722 0(2组)、0.737 0(3组)、0.759 1(4组)、0.778 0(5组)和0.800 8(6组)]的饲料饲喂初始体质量(53.29±1.64)g的框镜鲤8周。【结果和结论】当饲料EAA平衡关联度增加到0.778 0(5组)时,其框镜鲤增质量率和特定生长率显著高于饲料EAA平衡关联度为0.704 8、0.722 0和0.737 0的1、2和3组($P<0.05$),且与对照组无显著性差异($P>0.05$),饲料效率呈现相同趋势。当饲料EAA平衡关联度增加到0.759 1(4组)时,较1、2和3组蛋白质效率显著增加($P<0.05$),且与对照组无显著性差异($P>0.05$)。当EAA平衡关联度增加到0.759 1(4组)时,框镜鲤的肝胰脏蛋白酶比活力和谷丙转氨酶活性与对照组无显著性差异($P>0.05$),且肝胰脏蛋白酶比活力显著高于1~3组($P<0.05$)。当EAA平衡关联度增加到0.759 1(4组)时,框镜鲤的肝胰脏谷草转氨酶活性与对照组无显著性差异($P>0.05$)。当饲料EAA平衡关联度增加到0.759 1(4组)时,血清总蛋白与对照组差异不显著($P>0.05$),但血清白蛋白在饲料EAA平衡关联度增加到0.737 0(3组)时与对照组差异不显著($P>0.05$)。表明在本试验条件下,在植物蛋白源饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸,调控饲料EAA平衡关联度为0.759 1时,可促进框镜鲤生长、蛋白质消化和代谢,可适当降低饲料的蛋白含量,降低饲料成本。

关键词:框镜鲤;必需氨基酸平衡;关联度;生长;蛋白质消化;蛋白质代谢

中图分类号:S816.4

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2015)04-0036-07

Effects of dietary essential amino acid balance relativity on growth, digestion and metabolism of protein of *Cyprinus carpio*

CHEN Xiumei¹, SHEN Bin¹, LI Meng¹, YU Guiling², WANG Guiqin¹, LU Hongmei³

(1 College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China; 2 Jiutai Fisheries Technology Extension Station, Jiutai 130599, China; 3 Tongwei Changchun Feed Company Limited, Changchun 130404, China)

Abstract:【Objective】Effects of dietary essential amino acid (EAA) balance relativity on growth, digestion and metabolism of protein of *Cyprinus carpio* were investigated. 【Method】Contral diet (33% mass fraction of protein) was formulated with fish meal as protein source. Six isoenergetic (17 MJ·kg⁻¹) and iso-nitrogen (31% mass fraction of protein) diets were formulated with plant protein source at different levels of EAA balance relativity by adding different levels of methionine and lysine. *Cyprinus carpio* with the initial body mass(53.29±1.64)g was fed with seven diets at different levels of EAA balance relativity[0.764 9

收稿日期:2014-05-19 优先出版时间:2015-06-10

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20150610.1540.002.html>

作者简介:陈秀梅(1989—),女,硕士研究生,E-mail: chenxiumei523@126.com;通信作者:王桂芹(1968—),女,教授,博士,
E-mail: wgjlau@aliyun.com

基金项目:国家自然科学基金(31372540);世行贷款项目(2011-YS11)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

(control group), 0.704 8(group 1), 0.722 0(group 2), 0.737 0(group 3), 0.759 1(group 4), 0.778 0(group 5) and 0.800 8(group 6)]for 8 weeks. 【Result and conclusion】The mass gain rate and specific growth rate increased with the increasing EAA balance relativity, thus reaching the 0.778 0 (group 5), which was significantly higher than those of group 1, group 2 and group 3($P<0.05$). There was no significant difference between group 5 and the control group($P>0.05$), and the feed efficiency showed a similar trend. The protein efficiency increased with the increasing EAA balance relativity, thus reaching 0.759 1(group 4), which was significantly higher than those of group 1, group 2 and group 3 ($P<0.05$), and no significant difference was observed between group 4 and the control group ($P>0.05$). Compared with the control group, the hepatopancreas protease specific activity and the activity of alanine aminotransferase had no significant difference ($P>0.05$) when the EAA balance relativity was 0.759 1(group 4), and the hepatopancreas protease specific activity was significantly higher than those of group 1, group 2 and group 3($P<0.05$). When the EAA balance relativity was 0.759 1(group 4), the activity of aspartate aminotransferase had no significant difference compared with the control group ($P>0.05$). When the EAA balance relativity was improved to 0.759 1(group 4), the total serum protein showed no significant difference between group 4 and the control group($P>0.05$), but the serum albumin had no significant difference between group 3 and the control group($P>0.05$). Under the current condition, the plant protein source feed is supplemented with the methionine and lysine to regulate the EAA balance relativity, reaching 0.759 1, which can promote the growth, digestion and metabolism of protein of *C. carp*, thus decreasing the content of dietary protein and the cost of feed.

Key words: *Cyprinus carp*; essential amino acid balance; relativity; growth; protein digestion; protein metabolism

鱼类对蛋白质的代谢和利用过程包括消化、吸收、运输、分解、合成和排泄等复杂环节,受到酶、激素和基因的调控. 饲料品质影响蛋白质的消化酶和肝胰脏转氨酶的活性及血液蛋白代谢产物. 随着饲料蛋白水平的上升,宝石鲈 *Scortum bacoo* 胃蛋白酶和肠蛋白酶的活性增加^[1]. 刘勇等^[2]在对幼建鲤 *Cyprinus carpio* var. *jian*试验得知,随饲料蛋白水平的提高试验鱼肝胰脏谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活力升高. 唐玲等^[3]对镜鲤 *C. carpio*、黄金凤等^[4]对松浦镜鲤 *C. carpio* Songpu、刘伟等^[5]对奥尼罗非鱼 *Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂ 的研究表明,随着饲料蛋白水平的升高,试验鱼血清中总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)和球蛋白(GLB)随之而升高. 本试验选取框镜鲤 *C. carp* (Mirror carp)为研究对象,在其饲料以植物蛋白为主要蛋白源时,添加赖氨酸和蛋氨酸2个主要的限制性氨基酸,探讨饲料必需氨基酸(EAA)平衡关联度对框镜鲤生长、消化和血清蛋白代谢指标的影响,为生产上降低框镜鲤饲料蛋白水平和饲料成本提供科学的依据.

1 材料与方法

1.1 试验饲料

本试验采用鱼粉为主要蛋白源,以鱼油、大豆

油、糊精和面粉为能源、纤维素为填充物配制的半精制日粮为对照组饲料(蛋白质质量分数33%,能量17 MJ·kg⁻¹),其EAA平衡关联度为0.764 9. 各试验组以混合植物蛋白为蛋白源,分别添加不同水平的微囊蛋氨酸和微囊赖氨酸(均来自北京市星火元科技有限公司,质量分数各为50%),配成等氮等能(蛋白质质量分数31%,能量17 MJ·kg⁻¹)的不同EAA平衡关联度(0.704 8、0.722 0、0.737 0、0.759 1、0.778 0和0.800 8)的6组饲料. 采用灰色关联分析法计算EAA(苏氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸+胱氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸、赖氨酸、组氨酸、色氨酸和精氨酸)的平衡关联度,即饲料中10种EAA的模式与鱼体所需的10种EAA模式的接近程度,其中框镜鲤对10种EAA需要量以实测的框镜鲤肌肉EAA组成为依据,饲料原料的10种EAA的组成亦为实测数据^[6-7].

饲料EAA平衡关联度设计原则及计算: 饲料EAA为参评样本,鱼类白肌EAA为参考样本,所有参评样本组成一个灰色系统,第1步计算每种饲料和白肌的EAA分别占其总EAA的百分比(X_i 和 X);第2步计算各组饲料中 X_i 和白肌的 X 的绝对差(Y_i),找出 Y_i 的最大值(Y_{max})和最小值(Y_{min});第3

步在整个灰色系统中,计算每组饲料中每种 EAA 的平衡系数,即为 $(Y_{\min} + 0.5Y_{\max}) / (Y_i + 0.5Y_{\max})$;第 4 步计算每组饲料中 10 种 EAA 的平衡系数的平均数,并作为该组饲料 EAA 平衡关联度.

饲料原料经粉碎过 60 目筛,按配方称质量、均匀混合,挤压成直径为 1.5 mm 颗粒,晒干后置于 -4 ℃冰柜中保存、备用. 采用 105 ℃恒温烘干失水法

(GB/T6435—1994)测定水分,采用微量凯氏定氮法(GB/T6432—1994)测定粗蛋白质,采用 550 ℃灼烧法(GB/T6438—1992)测定粗灰分,采用索氏抽提法(GB/T6433—1994)测定粗脂肪,弹式热量计测定能量,氨基酸自动分析仪测定氨基酸的含量. 饲料配方及营养组成见表 1,饲料和肌肉中 EAA 含量的测定值见表 2.

表 1 试验饲料配方及其营养组成(干质量)
Tab.1 Formulation and nutritional composition of experimental diets (dry mass)

组别	饲料原料及质量分数/%												维生素预混料 ¹⁾	无机盐预混料 ²⁾	磷酸二氢钙	微晶纤维素
	鱼粉	豆粕	棉籽粕	菜籽粕	花生粕	次粉	微囊赖氨酸	微囊蛋氨酸	鱼油	玉米油	氯化胆碱	糊精				
对照	45	0	0	0	0	25	0	0	1.00	1.00	0.5	19	1	2	0.5	5.00
1	0	30	16	10	8	25	0	0	1.83	1.83	0.5	2	1	2	0.5	1.34
2	0	30	16	10	7	25	0.2	0.06	1.83	1.83	0.5	2	1	2	0.5	2.08
3	0	30	16	10	7	25	0.4	0.13	1.83	1.83	0.5	2	1	2	0.5	1.81
4	0	30	16	10	7	25	0.6	0.19	1.83	1.83	0.5	2	1	2	0.5	1.55
5	0	30	16	10	6	25	0.8	0.25	1.80	1.80	0.5	2	1	2	0.5	2.35
6	0	30	16	10	6	25	1.0	0.31	1.80	1.80	0.5	2	1	2	0.5	2.09

组别	营养成分及质量分数/%				总能量/(MJ·kg ⁻¹)
	粗脂肪	粗蛋白质	粗灰分	水分	
对照	6.25	33.33	10.75	9.25	17.52
1	6.12	31.46	8.88	10.24	17.29
2	6.37	31.24	8.77	9.64	17.29
3	6.56	31.51	8.66	9.74	17.31
4	6.47	31.77	8.47	10.23	17.33
5	6.25	31.55	8.33	9.65	17.36
6	6.24	31.81	8.20	9.78	17.37

1) 维生素预混料为每千克饲料提供:维生素 A 2 500 IU,维生素 D₃ 2 000 IU,维生素 E 50 IU,维生素 K 1 mg,维生素 B₁ 1 mg,维生素 B₂ 6 mg,维生素 B₆ 5 mg,维生素 B₁₂ 0.02 mg,*D*-泛酸钙 20 mg,胆碱 1 000 mg,烟碱酸 10 mg,生物素 0.14 mg,叶酸 1 mg,维生素 C 50 mg;2) 无机盐预混料为每千克饲料提供:氯化钠 1 200 mg,硫酸亚铁 13 mg,硫酸锌 60 mg,硫酸锰 32 mg,硫酸铜 7 mg,碘化钾 8 mg.

表 2 饲料和肌肉必需氨基酸质量分数(干质量)
Tab.2 The mass fraction of each group feed and muscle essential amino acids(dry mass)

组别	Arg	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Try	Thr	Trp	Val
对照	1.97	1.01	1.31	2.94	2.38	1.26	2.32	1.36	0.40	1.58
1	2.10	0.75	1.14	2.07	1.41	0.96	2.25	1.10	0.38	1.35
2	2.08	0.76	1.16	2.06	1.52	0.99	2.27	1.09	0.37	1.34
3	2.07	0.74	1.16	2.07	1.63	1.03	2.23	1.08	0.38	1.36
4	2.11	0.75	1.15	2.08	1.72	1.05	2.24	1.09	0.39	1.34
5	2.09	0.75	1.14	2.06	1.81	1.09	2.25	1.08	0.37	1.35
6	2.08	0.74	1.13	2.05	1.90	1.12	2.25	1.07	0.37	1.34
肌肉	4.15	1.62	3.21	5.99	5.87	3.26	5.57	2.78	0.94	3.49

1.2 试验鱼与饲养管理

在试验前 2 周,挑选规格整齐的框镜鲤鱼种 1 000 尾置于网箱中进行驯养,待全部摄食配合饲料后,试验开始前先停食 24 h,从驯养鱼中随机取鱼放置在室内水族箱中(80 cm×60 cm×50 cm),每种饲料 3 个重复,每个重复放养 30 尾鱼,每天 09:00、
<http://xuebao.scau.edu.cn>

16:00按 2.5%~5.0% 饱食投喂 2 次,根据鱼类的摄食进行适当调整. 记录每个水族箱摄食饲料质量,试验期间水温为 23~26 ℃,溶解氧大于 5.0 mg·L⁻¹,氨氮小于 0.3 mg·L⁻¹,持续饲养 8 周.

1.3 测定指标

1.3.1 生长和饲料利用的指标 在试验开始时测定

试验鱼初始体质量,试验结束前停食 24 h,测定各组试验鱼终末体质量. 根据以下公式计算平均增质量率、特定生长率、饲料摄食率、饲料效率和蛋白质效率.

平均增质量率 = $(m_t - m_0)/m_0 \times 100\%$,

特定生长率 = $[(\ln m_t - \ln m_0) / t] \times 100\%$,

饲料摄食率 = $m_{\text{料}}/[(m_0 + m_t)/2 \times t] \times 100\%$,

饲料效率 = $(m_t - m_0)/m_{\text{料}} \times 100\%$,

蛋白质效率 = $(m_t - m_0)/(m_{\text{料}} \times w_p)$,

式中, m_0 和 m_t 为试验开始和试验结束时鱼体的总质量(g), t 为试验的时间(d), $m_{\text{料}}$ 为摄入饲料的干质量(g), w_p 为饲料蛋白质的质量分数(%).

1.3.2 消化酶和代谢酶的测定 饲养 8 周后,饥饿 24 h,每组随机取 15 尾,生理盐水清洗肠道,取前肠与胰脏,−20 ℃ 条件保存.

粗酶液制备以及蛋白酶活力测定:取前肠或胰脏样品,加 10 倍体积的重蒸水,4 ℃、3 000 r·min^{−1}离心 10 min,取上清液为粗酶液,4 ℃ 条件保存.采用福林−酚法测定蛋白酶活力.1 个蛋白酶的比活力单位(IU 或 U)定义为在 pH 7.0 的情况下,底物酪蛋白质量浓度为 20 mg·mL^{−1},37 ℃ 水浴 10 min,每毫克酶在每分钟所产生 1 μg 酪氨酸的量.考马斯亮兰法测定酶液的蛋白质含量.

1.3.3 血清生化指标 饲养 8 周后,饥饿 24 h,每组取 10 尾鱼,用一次性注射器从尾静脉取血,4 ℃ 条件放置 24 h,6 000 r·min^{−1}4 ℃ 离心 10 min,取血清−20 ℃ 条件保存、待测.

血清 ALT、AST、TP、ALB 测定试剂盒为江苏省南京建成生物研究所产品.采用比色法测定 ALT 和 AST 的比活力,其比活力单位(IU 或 U)定义为 1 mL 血清,反应液总容量 3 mL,波长 340 nm,1 cm 光径,25 ℃,1 min 内所生成的丙酮酸,使 NADH 氧化成 NAD⁺而引起光密度每下降 0.001 为 1 个卡门氏单位,1 卡门氏单位=0.482 IU·L^{−1}.考马斯亮兰法测定酶液的蛋白质含量.

1.4 数据处理

采用 SPSS (18.0) 软件进行单因素方差分析,用 Duncan’s 多重比较分析组间差异显著性程度. 试验数据均以平均值±标准差表示.

2 结果与分析

2.1 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤生长和饲料利用的影响

饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤生长和饲料利用的影响见表 3. 随着饲料中赖氨酸和蛋氨酸的添加,框镜鲤特定生长率有增加的趋势. 即当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.759 1(4 组)时,框镜鲤增质量率显著高于饲料 EAA 平衡关联度为 0.704 8、0.722 0 和 0.737 0 的 1、2 和 3 组($P<0.05$),亦显著低于对照组($P<0.05$),随着饲料 EAA 平衡关联度继续增加到 0.778 0(5 组)和 0.800 8(6 组)时,5 组和 6 组的框镜鲤特定生长率与对照组均差异不显著,但都显著高于其他各试验组($P<0.05$).

随着饲料中赖氨酸和蛋氨酸的添加,饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤的摄食率没有显著影响. 各试验组饲料效率随着饲料 EAA 平衡关联度的增加而增加,当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.778 0(5 组)时,饲料效率显著高于 0.704 8(1 组)、0.722 0(2 组)和 0.737 0(3 组)($P<0.05$),当增加到 0.800 8(6 组)时,5 组和 6 组之间的饲料效率无显著差异,且都与对照组无显著性差异.

各试验组蛋白质效率随饲料 EAA 平衡关联度的增加而增加,当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.759 1(4 组)时,较 1、2 和 3 组蛋白质效率显著增加($P<0.05$),当增加到 0.778 0(5 组)时,与饲料 EAA 平衡关联度 0.759 1(4 组)的蛋白质效率无显著差异,当增加到 0.800 8(6 组)时,与 5 组的蛋白质效率无显著性差异,但显著高于其他组($P<0.05$).

表 3 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤生长和饲料利用的影响¹⁾
Tab.3 The effect of dietary EAA balance relativity on growth and feed utilization of *Cyprinus carpio*

组别	EAA 平衡关联度	终末体质量/g	平均增质量率/%	特定生长率 ²⁾ /%	摄食率 ²⁾ /%	饲料效率/%	蛋白质效率
对照	0.764 9	160.91±9.75c	203.97±17.90c	1.98±0.10c	2.51±2.51a	71.97±6.24c	2.15±0.19b
1	0.704 8	122.23±14.03a	131.10±24.28a	1.48±0.19a	2.61±3.07a	46.24±8.95a	1.47±0.29a
2	0.722 0	125.60±13.25a	135.18±26.33a	1.51±0.21a	2.69±3.00a	48.09±9.01a	1.52±0.29a
3	0.737 0	133.03±13.24a	148.84±26.02a	1.61±0.19a	2.78±2.88a	53.01±8.86a	1.68±0.28a
4	0.759 1	150.07±11.21b	178.11±20.08b	1.82±0.13b	2.63±2.63a	64.06±7.27b	2.05±0.23b
5	0.778 0	158.79±9.44bc	198.71±14.06c	1.95±0.08 bc	2.65±2.53a	70.42±5.65bc	2.24±0.18bc
6	0.800 8	168.20±8.35c	217.05±21.84c	2.05±0.12c	2.68±2.42a	76.70±6.05c	2.43±0.19c

1) 初始体质量为 53.29±1.64 g;同列数据后凡有一个相同小写字母者,示差异不显著($P>0.05$, $n=3$,Duncan’s 法);2) 指每天的值.

2.2 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤蛋白酶和肝胰脏转氨酶的影响

饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤蛋白酶和肝胰脏转氨酶的影响见表 4. 各试验组随 EAA 平衡关联度增加到 0.737 0(3 组)时,框镜鲤的肝胰脏蛋白酶比活力显著高于 1 和 2 组($P<0.05$),当 EAA 平衡关联度增加到 0.759 1(4 组)和 0.778 0(5 组)时,框镜鲤的肝胰脏蛋白酶比活力显著高于 1~3 组($P<0.05$),但与对照组差异不显著. 随着饲料中 EAA 平衡关联度的提高,当增加到 0.800 8(6 组)时,框镜鲤肝胰脏的蛋白酶比活力显著高于 1~4 组和对照组($P<0.05$). 在各试验组中,饲料中 EAA 平

衡关联度对框镜鲤肠道蛋白酶比活力没有显著性影响. 各试验组肝胰脏 ALT 和 AST 酶随着饲料 EAA 平衡关联度的增加而增加,当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.759 1(4 组)时,肝胰脏 ALT 与对照组差异不显著. 当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.778 0(5 组)时,肝胰脏 AST 显著高于 1 和 2 组($P<0.05$),且与对照组差异不显著. 表明在本试验条件下,在植物蛋白源饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸,调控饲料 EAA 平衡关联度为 0.759 1 时,框镜鲤肝胰脏蛋白酶和氨基酸转氨酶比活力达到对照组(鱼粉组)的水平,即该添加水平可促进蛋白质的消化和代谢.

表 4 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤蛋白酶和肝胰脏转氨酶比活力的影响¹⁾

Tab.4 The effect of dietary EAA balance relativity on protease and transaminase in hepatopancreas specific activity of *Cyprinus carpio*

组别	EAA 平衡 关联度	肠道蛋白酶 比活力/(IU·mg ⁻¹)	肝胰脏酶比活力/(IU·mg ⁻¹)		
			蛋白酶	ALT	AST
对照	0.764 9	188.61±12.92a	73.66±2.22c	69.34±2.39b	89.33±2.52c
1	0.704 8	160.26±12.10a	54.75±3.88a	55.69±5.13a	72.21±4.36a
2	0.722 0	165.39±9.28a	55.98±2.77a	56.37±3.78a	75.27±6.08a
3	0.737 0	168.06±6.22a	64.42±2.53b	57.36±9.29a	78.32±5.51ab
4	0.759 1	188.61±13.91a	73.47±3.93c	59.21±8.18ab	81.67±5.35abc
5	0.778 0	190.78±6.82a	78.87±3.92cd	60.32±7.54ab	88.36±7.54bc
6	0.800 8	190.65±32.47a	80.11±2.55d	66.58±1.52ab	87.42±5.26bc

1) 同列数据后凡有一个相同小写字母者,示差异不显著($P>0.05$, $n=3$,Duncan's 法).

2.3 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤血清蛋白代谢生化指标的影响

饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤血清蛋白代谢相关生化指标的影响见表 5. 随着饲料中赖氨酸和蛋氨酸的添加,当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.759 1(4 组)时,血清 TP 与对照组差异不显著. 当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.778 0(5 组)时,血清 TP 显著高于 1~3 组($P<0.05$),4 组、5 组和 6 组的血清 TP 无显著差异,且与对照组亦差异不显著. 当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.737 0(3 组)时,血清

ALB 与对照组差异不显著,当饲料 EAA 平衡关联度增加到 0.800 8(6 组)时,血清 ALB 显著高于 1 和 2 组($P<0.05$). 随着饲料中赖氨酸和蛋氨酸的添加,饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤的血清 ALT 和 AST 没有显著影响. 表明在本试验条件下,在植物蛋白源饲料中添加赖氨酸和蛋氨酸,调控饲料 EAA 平衡关联度为 0.737 0~0.759 1 时,框镜鲤血清蛋白代谢水平达到对照组(鱼粉组)的水平,即该添加水平可促进蛋白质的代谢.

表 5 饲料氨基酸平衡关联度对框镜鲤血清生化指标的影响

Tab.5 The effect of dietary EAA balance relativity on biochemical indicators of serum of *Cyprinus carpio*

组别	EAA 平衡关联度	ρ (TP)/	ρ (ALB)/	ALT 比活力/	AST 比活力/
		(g·L ⁻¹)	(g·L ⁻¹)	(IU·L ⁻¹)	(IU·L ⁻¹)
对照	0.764 9	26.23±0.40c	12.43±0.63b	21.33±1.52a	121.00±4.35a
1	0.704 8	21.97±0.45a	9.76±1.07a	20.00±2.64a	113.00±6.08a
2	0.722 0	22.00±0.85a	9.93±0.60a	17.66±1.52a	122.33±8.73a
3	0.737 0	22.60±1.49ab	10.53±0.45ab	19.66±3.21a	126.33±30.13a
4	0.759 1	24.36±2.66abc	11.50±0.62ab	17.33±3.51a	102.33±18.92a
5	0.778 0	25.63±1.09c	11.83±2.17ab	20.33±2.08a	107.00±21.92a
6	0.800 8	24.66±3.02abc	12.70±1.76b	17.33±3.51a	105.66±24.66a

1) 同列数据后凡有一个相同小写字母者,示差异不显著($P>0.05$, $n=3$,Duncan's 法).

3 讨论

3.1 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤生长和饲料利用的影响

与鱼粉相比,植物蛋白源不仅 EAA 含量较低,还常缺乏某种或某几种 EAA,蛋氨酸和赖氨酸则是其中最主要的 2 种限制性氨基酸^[8]. 已有很多研究表明,饲料氨基酸的组成和平衡关联度对鱼类的生长和饲料利用有很大影响. 在替代鱼粉的植物蛋白源饲料中补充添加蛋氨酸或赖氨酸对水产动物的生长和饲料利用有明显促进作用. 如周长海等^[9]研究表明添加合成蛋氨酸可以补充豆粕替代 5% 鱼粉饲料中缺乏的蛋氨酸,显著提高幼鲤的质量增加率和蛋白质效率. 刘永坚等^[10]在实用饲料中添加包膜赖氨酸、罗运仙等^[11]在低豆粕饲料中补充微囊赖氨酸均显著改善了草鱼的生长. 众所周知,鱼类对蛋白质的需求实质就是对 EAA 的需求,合理调整饲料中蛋氨酸和赖氨酸这 2 种限制性氨基酸的配比,可大大改善饲料氨基酸平衡关联度,提高蛋白源利用率. Alam 等^[12]研究表明在日本对虾 *Marsupenaeus japonicus* 饲料中按氨基酸最适比例同时补充包膜赖氨酸和蛋氨酸,其促生长效果优于单独补充晶体赖氨酸或蛋氨酸. 于海瑞等^[13]研究表明在罗非鱼 *Oreochromis mossambicus* 饲料中补充 0.5% 微囊赖氨酸和 0.1% 微囊蛋氨酸,使得罗非鱼的蛋白质效率及饲料蛋白的表观消化率显著提高. 谭芳芳等^[14]在草鱼饲料中补充微囊赖氨酸和蛋氨酸,使饲料 EAA 平衡关联度增加,蛋白质沉积率得到提高. 调控氨基酸的组成和平衡关联度不仅仅体现在这 2 种限制性氨基酸上,如林香信等^[15]研究表明用多种外源氨基酸调节无鱼粉饲料配方氨基酸的平衡性,能够提高罗非鱼的生长性能、饲料转化率及蛋白质效率. 本试验考虑到饲料中 2 个限制性氨基酸的含量和比例,向饲料中按比例添加蛋氨酸和赖氨酸,通过灰度关联分析,使得饲料达到不同的平衡关联度,当 EAA 平衡关联度为 0.759 1 时,框镜鲤的生长和饲料利用情况与对照组无显著差异. 表明饲料中按比例添加 2 种主要的限制性氨基酸调控饲料 EAA 达到适当的平衡关联度,可提高框镜鲤生长和对饲料的利用率,进而达到降低饲料蛋白质的水平,降低饲料成本的目的.

3.2 饲料 EAA 平衡关联度对框镜鲤蛋白质代谢的影响

水生动物在对蛋白质的消化过程中,蛋白酶起了重要的作用,同样其血液蛋白代谢产物和氨基酸代谢酶亦反应蛋白质代谢状况和饲料对其的影响.

王吉桥等^[16]研究表明在适宜范围内随饲料中包膜赖氨酸添加量的增加,仿刺参 *Apostichopus japonicus* 幼参消化道中蛋白酶活力随之增加. 冯琳等^[17]、帅柯等^[18]在对幼建鲤添加不同梯度水平蛋氨酸的试验中,得出与之相似的结论. 本试验随赖氨酸与蛋氨酸在饲料中添加量的提高,EAA 平衡关联度的不断提高,框镜鲤肠道蛋白酶比活力虽有增加的趋势,但差异不显著,差异的原因可能是因为添加氨基酸的种类和数量等综合因素造成的.

正常情况下,血清中转氨酶活性值较小,当肝细胞受到损伤时,细胞膜的通透性加大,大量 ALT 和 AST 渗入血液,肝的 ALT 和 AST 活性明显下降,而血液中 ALT 和 AST 活性明显升高,所以血清 ALT 和 AST 水平被认为是指示肝脏损伤的敏感指标^[19]. 有研究认为,饲料的 EAA 平衡关联度影响鱼类血清和肝脏的 ALT 和 AST 活性. 如叶元土等^[20]试验发现,饲料中大量使用菜籽后,草鱼血清中转氨酶活性大幅升高,对其肝脏造成损伤. 严全根等^[21]研究发现许氏平鲈 *Sebastes schlegelii* 幼鱼肝脏 AST、ALT 活性随着饲料中赖氨酸水平的增加先下降,然后上升,表明当赖氨酸含量不足或过量时,氨基酸模式不平衡,部分氨基酸可能分解并以能量的形式消耗,而供应机体合成蛋白和其他生理需要的氨基酸量不足,因而导致生长和饲料利用下降. 汪益峰等^[22]研究发现,氨基酸平衡日粮组的异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* 肝胰脏转氨酶浓度高于不平衡日粮组,说明氨基酸平衡提高了蛋白质的合成,从而促进异育银鲫的生长. 本试验各试验组框镜鲤血清 ALT 和 AST 差异不显著,与对照组亦无显著性差异,表明饲料蛋白质量的差异和 EAA 平衡关联度没有影响肝胰脏的功能. 而各试验组肝胰脏 ALT 和 AST 随饲料 EAA 平衡关联度的增加而增加,表明随着饲料蛋白质的提高促进氨基酸的代谢,从而提高蛋白质的利用率,促进蛋白质合成.

血清中 TP、ALB 与 GLB 含量可直观体现机体对蛋白质吸收和代谢情况. 唐玲等^[3]在对镜鲤、黄金凤等^[4]在对松浦镜鲤试验得知,随着饲料蛋白含量的升高,血清中 TP、ALB 和 GLB 的浓度也升高. 同样,刘伟等^[5]用不同蛋白水平的饲料饲喂奥尼罗非鱼,结果随饲料蛋白水平的增加,血清 ALB、GLB 和 TP 亦随之升高,加强了蛋白质的合成与运转,从而在血清蛋白中出现了较多的蛋白质组分. 本试验随饲料 EAA 平衡关联度的增大,血清 ALB 显著增加,血清 TP 含量明显提高,说明随 EAA 平衡关联度的提高,蛋白质的合成也随之提高.

在本试验条件下,在饲料中按比例添加赖氨酸和蛋氨酸调节 EAA 的平衡关联度,当 EAA 平衡关联度为 0.759 1 时,可促进框镜鲤的生长和饲料利用,促进蛋白质的消化和代谢,因此可适当降低饲料的蛋白含量,降低饲料成本。

参考文献:

- [1] 邵庆均,苏小凤,许梓荣. 饲料蛋白水平对宝石鲈增重和胃肠道消化酶活性影响[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2004,30(5): 553-556.
- [2] 刘勇,周小秋,刘扬,等. 蛋白质对幼建鲤生长性能、消化功能和蛋白质代谢的影响[C]//刘建新. 中国畜牧兽医学动物营养学分会第十次学术研讨会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2008:171.
- [3] 唐玲,徐奇友,王常安,等. 不同水温 and 饲料蛋白质水平对镜鲤血清生化指标的影响[J]. 大连海洋大学学报,2011,26(1):41-46.
- [4] 黄金凤,徐奇友,王常安,等. 温度和饲料蛋白质水平对松浦镜鲤幼鱼血清生化指标的影响[J]. 大连海洋大学学报,2013,2(2):184-192.
- [5] 刘伟,文华,蒋明,等. 2 种蛋白水平的饲料循环投喂对奥尼罗非鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响[J]. 华南农业大学学报,2013,34(3):405-412.
- [6] 杨元昊,荆西谋. 鱼用饲料中必需氨基酸平衡效果的微机分析方法研究[J]. 淡水渔业,1999,29(6):6-12.
- [7] 江龙建,姜勋半,周光宏. 应用灰色关联分析评价饲料蛋白质氨基酸平衡性[J]. 四川动物和兽医科学,2001,28(2):120-124.
- [8] MURTHY H S, VARGHESE T J. Total sulphur amino acid requirement of the Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton) [J]. Aquacult Nutri, 1998, 4(1): 61-65.
- [9] 周长海,贾友刚,齐淑艳,等. 低鱼粉日粮添加蛋氨酸对幼鲤生长的影响[J]. 水产科学,2011,30(4):206-209.
- [10] 刘永坚,田丽霞,刘栋辉,等. 实用饲料补充结晶或包膜赖氨酸对草鱼生长、血清游离氨基酸和肌肉蛋白质合成率的影响[J]. 水产学报,2002,26(3):253-259.
- [11] 罗运仙,谢骏,吕利群,等. 饲料中补充晶体或微囊赖氨酸对草鱼生长和血浆总游离氨基酸的影响[J]. 水产学报,2010,34(3):467-473.
- [12] ALAM M S, TESHIMA S, KOSHIO S, et al. Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. Aquaculture, 2005, 248(1/2/3/4):13-19.
- [13] 于海瑞,张琴,姜燕,等. 饲料中补充赖氨酸和蛋氨酸对罗非鱼生长和消化率的影响[J]. 渔业科学进展,2012,33(4):114-120.
- [14] 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.
- [15] 林香信,陆鹏,颜孙安,等. 无鱼粉蛋白饲料氨基酸平衡对罗非鱼生长的影响[J]. 农学学报,2012,2(5):62-66.
- [16] 王吉桥,蒋湘辉,姜玉声,等. 在饲料中添加包膜赖氨酸对仿刺参幼参生长、消化和体成分的影响[J]. 水产科学,2009,28(5):241-245.
- [17] 冯琳,周小秋,王光花,等. 蛋氨酸对幼建鲤肠道生长和肠道酶活的影响[C]//刘建新. 中国畜牧兽医学动物营养学分会第十次学术研讨会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2008:426.
- [18] 帅柯,周小秋. 蛋氨酸对幼建鲤消化功能及免疫功能的影响[C]//冯定远. 动物营养与饲料研究:第五届全国饲料营养学术研讨会论文集. 北京:中国农业科学技术出版社,2006:169.
- [19] 惠天朝,施明华,朱荫媚,等. 硒对罗非鱼慢性镉中毒肝抗氧化酶及转氨酶的影响[J]. 中国兽医学报,2000,20(3):264-266.
- [20] 叶元土. 饲料必需氨基酸的平衡效果对草鱼生长的影响[J]. 饲料工业,1999,20(3):39-41.
- [21] 严全根,解绶启,雷武,等. 许氏平幼鱼的赖氨酸需求量[J]. 水生生物学报,2006,30(4):459-465.
- [22] 汪益峰,周维仁,章世元,等. 氨基酸平衡和外源酶对异育银鲫的生长、氮代谢及血液生化指标的影响[J]. 江苏农业学报,2010,26(1):130-135.

【责任编辑 柴 焰】