

文章编号:1673-1689(2009)04-0466-08

饲料中添加赖氨酸及蛋氨酸对罗非鱼生长的影响

朱选, 曹俊明, 许丰孟, 陈水春, 赵红霞, 蓝汉斌

(广东省农业科学院 畜牧研究所, 广东 广州 510640)

摘要:以平均初始体质量 5 g 的罗非鱼为试验对象,在赖氨酸(Lys)及蛋氨酸(Met)均呈缺乏状态的基础饲料中,分别补充结合态 Lys(PBL),晶体 Lys(UCL)和包膜 Lys(CL)等 3 种形式的 Lys,晶体 Met(UCM)、包膜 Met(CM)和羟基蛋氨酸钙(MHA-Ca)等 3 种形式的 Met,共配制 8 组等氮等能饲料,每个组设 3 个重复,每个重复 30 尾,实验水温 24~30 ℃,持续 56 d。结果表明,对照组增质量率 317.99%,单独补充质量分数 0.15% PBL、0.15% UCL、0.15% CL 3 种形式外源 Lys 的增质量率分别是 326.93%、337.02%、329.42%,对罗非鱼的生长无显著影响,但同时补充质量分数 0.15% CL 及 0.1% CM,罗非鱼增质量率为 353.22%,显著提高了罗非鱼的生长水平;而同时补充质量分数 0.15% UCL 及 0.1% UCM、0.15% PBL 及 0.1% UCM、0.15% PBL 及 0.1% MHA-Ca 的增质量率分别为 304.15%、308.78%、337.19%,对罗非鱼的生长无显著影响。补充外源氨基酸对罗非鱼肝脏水分有降低趋势,对其它常规组成及肌肉氨基酸组成无明显影响。结果提示,包膜赖氨酸及包膜蛋氨酸在适宜的补充方式下,对罗非鱼的促生长效果要优于其它形式的赖氨酸及蛋氨酸,可有效平衡罗非鱼饲料配方的赖氨酸及蛋氨酸水平的不足。

关键词:罗非鱼;包膜赖氨酸;包膜蛋氨酸

中图分类号:S 965.125; S 963.731

文献标识码:A

Effect of Lysine/Methionine on Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Growth

ZHU Xuan, CAO Jun-ming, XUE Feng-meng, CHEN Shui-chun,
ZHAO Hong-xia, LAN Han-bin

(Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: An 8-week experiment was conducted to investigate the effects of lysine and methionine in different forms and combination (coated lysine CL, uncoated lysine UCL, protein-bound lysine PBL, coated methionine CM, uncoated methionine UCM, methionine hydroxy analog-Ca MHA-Ca) on the growth, body composition, and muscle amino acid content of *Oreochromis niloticus* with eight isonitrogenous and isoenergetic (30% crude protein, 16kJ/g gross energy) diet. At the end of the growth trial, the fish fed the PBL diet, UCL diet, CL diet and PBL/MHA-ca diet intended to higher weight gain compared with that of the control ($P>0.05$), while the fish fed the CL/CM diet showed significantly higher growth rate than those fed the other diets ($P<0.05$) except PBL/MHA diet, the weight gain was similar between the fish fed the UCL/UCM diet and PBL/UM diet, and it was lower compared to the other groups. The

收稿日期:2008-09-04

基金项目:广东省科技攻关项目(2007A020100005-5);广州市科技攻关项目(2007Z2-E0241)。

作者简介:朱选(1968-),男,江苏扬州人,工学博士,研究员,主要从事水产动物营养与饲料加工研究。

Email: zzw333@sohu.com

composition of whole body and muscle (dry matter, protein, lipid, ash) and protein content of liver do not affected by the dietary treatment ($P>0.05$), while water content of the liver was significantly lower in fish fed the test diets than the control diet ($P<0.05$). the overall AA pattern of the muscle protein was not significantly affected by the dietary treatment ($P>0.05$). Results of this study indicate that the combination of coated methionine and lysine was an effective form in balancing amino acid pattern of diet which is deficient in methionine and lysine for *Oreochromis niloticus*.

Key words: *Oreochromis niloticus*, coated methionine, coated lysine

实际生产中,罗非鱼饲料一般以豆粕等植物蛋白作为其主要蛋白质原料。但近年来,豆粕等优质植物蛋白原料价格高企,饲料厂成本压力陡增,使得杂粕在配方中的用量越来越大,赖氨酸和蛋氨酸等限制性氨基酸非常容易缺乏。限制性氨基酸的缺失降低了饲料蛋白质效率,提高了饲料系数,直接影响养殖效益,同时也加剧了池塘的养殖污染。

平衡氨基酸水平、提高蛋白质沉积效率是解决问题的关键举措,直接在配方中补充赖氨酸或蛋氨酸是最经济最方便的选择。但遗憾的是,到目前为止针对罗非鱼的研究报道非常少。在相关研究方面,Robinson在以花生粕^[1]或棉籽粕^[2]为主要蛋白源的饲料中补充晶体赖氨酸,有效促进了斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)的生长;Cheng^[3]在饲料中补充晶体赖氨酸和蛋氨酸,显著促进了虹鳟(*Salmo gairdneri*)的生长水平;但Teshima^[4]发现在日本对虾(*Penaeus japonicus*)饲料中补充的晶体精氨酸仅13%左右能用于合成体蛋白,Murai^[5]在鲤(*Cyprinus carpio*)为对象的试验中发现,晶体赖氨酸的利用效率要低于蛋白质结合态赖氨酸;Zhou^[6]在建鲤(*Cyprinus carpio* Var. Jian)试验中发现包膜赖氨酸促生长效果明显优于晶体赖氨酸;Alam^[7]在以大豆浓缩蛋白为蛋白源的日本对虾(*Marsupenaeus japonicus*)饲料中同时补充包膜赖氨酸及蛋氨酸,以模仿日本对虾所需要的最适氨基酸比例,生长效果要优于同时补充晶体赖氨酸和蛋氨酸以及单独补充晶体赖氨酸或蛋氨酸的情况。

上述工作表明,水产动物饲料中补充外源氨基酸时,在补充的对象、方式以及方法上的不同,导致的结果也不一致。罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)能否利用外源氨基酸,以及氨基酸添加方式对添加效果的影响,这些都有待研究。本研究的主要目的在于探讨罗非鱼幼鱼饲料中补充外源赖氨酸和蛋氨酸的方式方法,优化配方的氨基酸结构,最终达到提高蛋白质利用率、提高饲料转化效率、降低饲

料配方成本的目的,为实际生产提供相关的指导。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕、菜籽粕、棉籽粕为主要蛋白源,次粉为糖源,豆油为脂肪源,配制8种实用饲料,配方和营养组成如表1所示。No.2以喷雾干燥血粉替代No.1中的羽毛粉,补充质量分数0.15%结合态赖氨酸(protein bound lysine, PBL),以提高配方中赖氨酸水平, No.3、No.4则是在No.1的基础上分别添加质量分数0.15%晶体赖氨酸(uncoated lysine, UCL)或0.15%包膜赖氨酸(coated lysine, CL),使赖氨酸水平和No.2一致; No.5、No.6分别以No.3和No.4为基础,分别补充质量分数0.1%晶体蛋氨酸(uncoated methionine, UCM)和0.1%包膜蛋氨酸(coated methionine, CM), No.7、No.8以No.2为基础,分别补充质量分数0.1% UCM和0.1%羟基蛋氨酸钙(methionine hydroxy analog Ca, MHA-Ca),以使配方中赖氨酸质量:(蛋氨酸+胱氨酸)质量 $\approx 100:63$,所有不用羽毛粉的试验组均按比例补充晶体胱氨酸。包膜赖氨酸及蛋氨酸按国家发明专利方法^[9]制备,由广州飞禧特水产科技有限公司提供,质量分数分别为32%及38%,全通60目筛。

饲料原料粉碎过40目筛,混合均匀后用SLX-80型挤压机制成直径为2.0 mm的饲料,在45℃烘干冷却后放入密封袋中于-20℃冰箱中保存待用。

1.2 试验鱼和饲养方法

罗非鱼幼鱼由中山大学鱼类研究室所属鱼场提供,饲养试验在本研究所的室内循环水养殖系统中进行。试验鱼先在室外水泥池中驯养2周,然后选用720尾平均体质量约5.0 g的幼鱼随机分箱,在300 L的玻璃水族箱(水体积240 L左右)中进行养殖试验。每组饲料设3个重复,每个重复放鱼

30尾。微流水饲养,水源为经活性炭脱氯并曝气后的自来水,空压泵增氧。试验期间定量投喂,每日分别在8:30、15:30分2次饱食投喂,实验周期为56 d。每天观察鱼的健康状况,记录死亡情况,水温

24~30 ℃,pH 7.5,溶氧量>5 mg/L,氨氮量<0.02 mg/L。试验结束时,停饲24 h后称重,计算存活率、相对增质量率、饲料效率。

表1 饲料配方及营养组成

Tab. 1 Ingredients of the experimental diets

饲料配方组成	% DM							
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
鱼粉	3	3	3	3	3	3	3	3
豆粕	20	20	20	20	20	20	20	20
菜籽粕	16	15	16	16	16	16	15	15
棉籽粕	27	26	27	27	27	27	26	26
次粉	24	26	24	24	24	24	26	26
豆油	2	2	2	2	2	2	2	2
羽毛粉	3	0	3	3	3	3	0	0
血粉	0	3	0	0	0	0	3	3
粘合剂	2	2	2	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙	1	1	1	1	1	1	1	1
其它 ¹⁾	2	2	2	2	2	2	2	2
赖氨酸 ²⁾	—	—	0.15	—	0.15	—	—	—
包膜赖氨酸 ³⁾	—	—	—	0.47	—	0.47	—	—
晶体蛋氨酸 ²⁾	—	—	—	—	0.10	—	0.10	—
包膜蛋氨酸 ⁴⁾	—	—	—	—	0	0.26	—	—
羟基蛋氨酸钙 ⁵⁾	—	—	—	—	—	—	—	0.12
胱氨酸 ²⁾	—	0.05	—	—	—	—	0.05	0.05
主要营养组成:								
粗蛋白	30.08	30.07	30.23	30.23	30.33	30.33	30.17	30.17
赖氨酸	1.24	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39	1.39
蛋氨酸	0.37	0.37	0.37	0.37	0.47	0.47	0.47	0.47
蛋氨酸+胱氨酸	0.77	0.77	0.77	0.77	0.87	0.87	0.87	0.87

注:1)其它主要包括(质量分数):复合维生素0.1%,复合矿0.5%,氯化胆碱0.2%,VC酯0.02%,食盐0.2%;微晶纤维素按要求调整到100%。复合维生素及复合矿均由广州飞禧水产科技有限公司提供。

2) 赖氨酸质量分数≥98%,蛋氨酸质量分数≥98%,上海伯奥生化试剂有限公司提供。

3) 赖氨酸质量分数32%,广州飞禧水产科技有限公司提供。

4) 蛋氨酸质量分数38%,广州飞禧水产科技有限公司提供。

5) 蛋氨酸质量分数82%,诺伟思公司提供。

1.3 样品采集

养殖试验结束后,每次重复随机取10尾鱼,其中4尾用作测定全鱼组成,余下6尾解剖鱼体取肝脏,去鳞取两侧肌肉,约0.2~1.0 g,在预冷的匀浆介质中匀浆,在4 ℃以4 000 g离心15 min,取上清液,分装,保存于-20 ℃备用。

万方数据

1.4 分析测定

粗蛋白采用凯氏定氮法测定,总脂用索氏抽提法测定,水分采用105 ℃烘干法测定,灰分用550 ℃马福炉灼烧法测定。氨基酸分析参照GB/T18246-2000,经6 mol/L浓盐酸水解等处理后,在氨基酸分析仪上测定。

1.5 数据分析

数据采用 SPSS11.0 软件进行分析,所有实验数据先用 ANOVA 进行单因素方差分析,若存在显著差异,则进行 Duncan 氏多重比较法确定组间差异,显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 试验结果

见表 2,和对照组相比,以血粉替代羽毛粉,补充质量分数 0.15% PBL,提高配方中赖氨酸含量后,罗非鱼增质量率由 317.99% 提高到 326.93%,但差异不显著 ($P > 0.05$);同样在对照基础上补充质量分数 0.15% UCL 或 0.15% CL,提高配方中赖氨酸水平,增质量率也有提高趋势,分别从 317.99% 提高到 337.02% 和 329.41%,但同样差异均不显著 ($P > 0.05$);与此相应的是,无论添加 0.15% PBL 还是 0.15% UCL 或 0.15% CL,饲料系数均呈现下降趋势,其中补充 0.15% UCL 组达到显著性水平 ($P < 0.05$)。在对照组基础上,同时补充质量分数 0.15% UCL 和 0.1% UCM 后,增质量率从 317.99% 降低到 304.15%,饲料系数呈现上升趋势,从 1.75 增加到 1.83,但差异均不显著 ($P > 0.05$);而同时补充质量分数 0.15% CL 和 0.1% CM,增质量率则提高到 353.22%,饲料系数则降低到 1.61,均达到显著性水平 ($P < 0.05$);统

计分析还表明,这个组罗非鱼的生长速度也显著高于补充 0.15% PBL 或同时补充 0.15% UCL 和 0.1% UCM 组 ($P < 0.05$),并显著降低饲料系数 ($P < 0.05$)。同时补充 0.15% PBL 和 0.1% UCM 组的罗非鱼和仅补充 0.15% PBL 组或对照组相比,增质量率 (308.78%) 有降低趋势,饲料系数 (1.80) 则有升高趋势 ($P > 0.05$);同时补充质量分数 0.15% PBL 和 0.1% MHA-Ca 组则有提高增质量率水平 (337.19%)、降低饲料系数 (1.68) 的趋势 ($P > 0.05$)。本次实验中,配方组成的调整对肝体比 (2.84~3.22) 没有显著性影响 ($P > 0.05$)。

补充不同形式外源性氨基酸对罗非鱼常规组成的影响如表 3 所示,其中肝脏因样品数量关系,没有测定粗脂肪及粗灰分。补充外源氨基酸对全鱼及肌肉的水分含量无显著影响,但肝脏水分降低了 3%~4% ($P < 0.05$),对全鱼、肌肉及肝脏的粗蛋白含量无显著影响,对全鱼及肌肉的粗灰分也无明显影响,不影响肌肉的粗脂肪含量,但添加血粉并同时补充晶体蛋氨酸组的全鱼粗脂肪含量有一定下降 ($P < 0.05$)。

补充不同形式外源性氨基酸对罗非鱼肌肉氨基酸组成的影响如表 4 所示。结果表明,本试验中外源氨基酸的添加对罗非鱼肌肉氨基酸组成无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 2 补充不同形式赖氨酸和蛋氨酸对罗非鱼生长及饲料系数、肝体比的影响^{*}

Tab. 2 Effect of different source of lysine/methionine on the growth, feed performance and heptosomatic index of *Oreochromis niloticus*

组别 ¹⁾	初体质量/g	末体质量/g	增质量率 ²⁾ /%	饲料系数 ³⁾	肝体比 ⁴⁾ /%
No. 1(对照)	5.07±0.01	21.81±0.54 ^{abc}	317.99±9.95 ^{abc}	1.75±0.05 ^{cd}	2.99±0.44
No. 2(+PBL)	5.11±0.01	21.82±0.23 ^{bcd}	326.93±4.08 ^{bc}	1.73±0.01 ^{bcd}	2.99±0.21
No. 3(+UL)	5.09±0.03	22.28±0.42 ^{cd}	337.02±10.15 ^c	1.62±0.06 ^{ab}	2.99±0.2
No. 4(+CL)	5.13±0.02	22.03±0.31 ^{cd}	329.41±4.67 ^{bc}	1.69±0.03 ^{abc}	2.84±0.23
No. 5(+UL/UCM)	5.09±0.03	20.56±1.24 ^a	304.15±22.89 ^a	1.83±0.13 ^d	3.22±0.42
No. 6(+CL/CM)	5.08±0.05	23.04±0.87 ^d	353.22±13.96 ^d	1.61±0.05 ^a	3.06±0.21
No. 7(+PBL/UM)	5.05±0.01	20.64±0.60 ^{ab}	308.78±11.28 ^{ab}	1.80±0.06 ^d	3.12±0.33
No. 8(+PBL/MHA-Ca)	5.11±0.05	22.32±0.47 ^{cd}	337.19±5.26 ^{cd}	1.68±0.00 ^{abc}	2.84±0.25

注: * 表中同一列内,右上角标有不同英文字母的数据之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

1) No. 1 对照组; No. 2 以质量分数 3% 喷干血粉等量替代羽毛粉,补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸; No. 3 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸; No. 4 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸; No. 5 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 6 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸和 0.1% 包膜蛋氨酸; No. 7 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 8 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 羟基蛋氨酸钙。2) 增质量率 = ((末均体质量 - 初均体质量) / 初均体质量) × 100%。3) 饲料系数 = 饲料摄食量 (g) / 总质量增益 (g)。4) 肝体比 = (试验末鱼体肝脏湿重 / 试验末鱼体质量) × 100%

表3 补充不同形式赖氨酸和蛋氨酸对罗非鱼常规组成的影响^{1),2)}Tab.3 Effect of different source of lysine/methionine on body proximate composition of *Oreochromis niloticus* $\bar{n}=3, X \pm SE, \% DM$

常规组成	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
金鱼:								
水分	77.35±0.23	78.56±0.23	78.70±0.64	78.26±0.58	78.52±0.37	78.39±0.36	78.52±0.47	78.37±0.16
粗蛋白	62.38±0.59	61.49±1.51	61.94±0.80	61.88±0.99	62.56±0.32	60.62±0.80	63.10±0.86	62.38±1.12
粗脂肪	21.90±0.18 ^a	23.16±1.34 ^a	22.55±0.88 ^a	22.57±1.66 ^a	21.77±0.50 ^{ab}	23.45±1.38 ^a	19.94±0.95 ^b	21.79±0.58 ^{ab}
灰分	12.92±0.40	13.16±0.30	13.48±0.25	13.26±0.34	13.24±0.37	12.83±0.59	13.57±0.02	13.15±0.51
肌肉:								
水分	76.74±0.02	77.55±0.24	77.70±0.34	77.26±0.55	77.52±0.27	77.35±0.30	77.42±0.44	77.47±0.06
粗蛋白	89.16±0.53	89.06±1.08	88.67±0.52	88.95±0.38	88.81±0.17	88.70±0.30	89.09±0.44	88.88±0.09
粗脂肪	3.66±0.19	3.62±0.32	3.79±0.32	3.41±0.23	3.33±0.23	3.51±0.34	3.68±0.20	3.45±0.21
灰分	5.43±0.08	5.62±0.26	5.57±0.12	5.60±0.17	5.64±0.02	5.64±0.01	5.45±0.19	5.47±0.12
肝脏:								
水分	74.60±3.31 ^a	70.80±1.53 ^b	70.34±1.42 ^b	70.60±0.99 ^b	68.90±2.04 ^b	69.63±0.70 ^b	71.16±1.08 ^b	71.55±0.65 ^b
粗蛋白	34.48±2.66	35.74±3.57	35.11±1.97	35.43±0.81	34.51±1.29	35.07±1.07	35.39±0.94	37.46±1.55

注:1) No. 1 对照组; No. 2 以质量分数 3% 喷干血粉等量替代羽毛粉, 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸; No. 3 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸; No. 4 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸; No. 5 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 6 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸和 0.1% 包膜蛋氨酸; No. 7 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 8 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 羟基蛋氨酸钙。

2) 表中同一行内, 右上角标有不同英文字母的数据之间具有显著差异 ($P < 0.05$)。

表4 补充不同形式赖氨酸和蛋氨酸对罗非鱼肌肉氨基酸组成的影响¹⁾Tab.4 Effect of different source of lysine/methionine on the amino acid concentrations in muscle of *Oreochromis niloticus* $\bar{n}=3, X \pm SE, \% WB$

氨基酸	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
Asp	2.50 ± 0.07	2.43 ± 0.11	2.39 ± 0.06	2.46 ± 0.11	2.43 ± 0.06	2.42 ± 0.08	2.43 ± 0.02	2.40 ± 0.09
Thr	1.10 ± 0.02	1.07 ± 0.05	1.06 ± 0.03	1.09 ± 0.05	1.07 ± 0.03	1.07 ± 0.03	1.06 ± 0.02	1.06 ± 0.05
Ser	0.99 ± 0.02	0.97 ± 0.03	0.96 ± 0.02	0.98 ± 0.04	0.97 ± 0.04	0.97 ± 0.01	0.96 ± 0.02	0.96 ± 0.05
Glu	3.88 ± 0.07	3.77 ± 0.22	3.74 ± 0.09	3.82 ± 0.17	3.79 ± 0.12	3.77 ± 0.12	3.79 ± 0.04	3.76 ± 0.16
Gly	1.13 ± 0.04	1.11 ± 0.02	1.11 ± 0.04	1.11 ± 0.02	1.11 ± 0.02	1.11 ± 0.04	1.10 ± 0.02	1.10 ± 0.05
Cys	4.13 ± 0.23	4.02 ± 0.09	4.22 ± 0.11	4.08 ± 0.23	4.07 ± 0.36	4.04 ± 0.22	4.02 ± 0.19	3.99 ± 0.21
Ala	0.10 ± 0.03	0.09 ± 0.03	0.12 ± 0.04	0.12 ± 0.02	0.09 ± 0.05	0.10 ± 0.05	0.10 ± 0.04	0.09 ± 0.04
Val	1.16 ± 0.05	1.12 ± 0.03	1.57 ± 0.71	1.18 ± 0.04	1.13 ± 0.11	1.12 ± 0.05	1.11 ± 0.04	1.10 ± 0.07
Met	0.57 ± 0.07	0.57 ± 0.04	0.59 ± 0.07	0.57 ± 0.05	0.61 ± 0.09	0.58 ± 0.04	0.56 ± 0.03	0.57 ± 0.07
Ile	0.98 ± 0.03	0.94 ± 0.05	0.93 ± 0.03	0.97 ± 0.03	0.95 ± 0.03	0.94 ± 0.03	0.95 ± 0.01	0.93 ± 0.03
Leu	1.91 ± 0.04	1.86 ± 0.10	1.83 ± 0.06	1.88 ± 0.08	1.86 ± 0.05	1.85 ± 0.06	1.85 ± 0.03	1.84 ± 0.08
Phe	1.02 ± 0.04	0.99 ± 0.04	0.97 ± 0.02	0.99 ± 0.04	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.03	0.99 ± 0.00	0.97 ± 0.03
Tyr	0.77 ± 0.01	0.75 ± 0.04	0.74 ± 0.04	0.76 ± 0.04	0.75 ± 0.02	0.75 ± 0.02	0.74 ± 0.02	0.74 ± 0.04
Lys	2.23 ± 0.06	2.16 ± 0.11	2.14 ± 0.05	2.18 ± 0.09	2.16 ± 0.06	2.16 ± 0.07	2.18 ± 0.01	2.15 ± 0.08
His	0.76 ± 0.03	0.74 ± 0.04	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.03	0.71 ± 0.02	0.72 ± 0.03	0.74 ± 0.02	0.73 ± 0.02
Arg	1.40 ± 0.01	1.37 ± 0.06	1.36 ± 0.06	1.39 ± 0.05	1.37 ± 0.04	1.37 ± 0.03	1.36 ± 0.03	1.36 ± 0.07

注:1) No. 1 对照组; No. 2 以质量分数 3% 喷干血粉等量替代羽毛粉, 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸; No. 3 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸; No. 4 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸; No. 5 补充质量分数 0.15% 晶体赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 6 补充质量分数 0.15% 包膜赖氨酸和 0.1% 包膜蛋氨酸; No. 7 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 晶体蛋氨酸; No. 8 补充质量分数 0.15% 结合态赖氨酸和 0.1% 羟基蛋氨酸钙。

2.2 讨论

2.2.1 补充赖氨酸对罗非鱼生长的影响 罗非鱼的赖氨酸需要量为1.54%,蛋氨酸和胱氨酸的合计需要量为0.96%(饲料蛋白质质量分数30%)^[11],本试验中对照组赖氨酸质量分数仅为1.24%,蛋氨酸和胱氨酸质量分数合计0.77%,明显低于所报道的需要量。通过质量分数3%的喷雾干燥血粉(替代3%的羽毛粉)补充结合态赖氨酸,提高赖氨酸水平到1.39%,鱼的生长速度没有显著性差异;同样,补充包膜赖氨酸或晶体赖氨酸等游离态赖氨酸至饲料赖氨酸质量分数为1.39%,鱼的生长也没有显著性变化。这和Ehab在虹鳟上的有关研究不相一致。Ehab^[12]在赖氨酸质量分数为1.5%的虹鳟基础饲料中补充晶体赖氨酸或喷雾干燥血粉,将饲料赖氨酸水平提高至1.8%及2.2%(虹鳟赖氨酸最适需要量2.3%~2.7%),均显著提高虹鳟的生长速度,这种差异和可能除了与鱼的品种有关,可能还和饲料中蛋氨酸水平有关。通过计算Ehab^[12]虹鳟试验的配方不难发现,作者所用饲料的蛋氨酸质量分数达到0.82%,已满足了虹鳟0.7%的蛋氨酸需要量要求。而在本研究中,对照组以及补充外源赖氨酸的试验组,蛋氨酸和胱氨酸质量分数合计仅0.77%,明显低于罗非鱼0.96%的需要量。更值得注意的是,按照虞予^[13]推荐的罗非鱼饲料中蛋氨酸和赖氨酸适宜质量比例为0.63的模式,试验组尽管提高了赖氨酸水平,但由于没有同步提高蛋氨酸水平,蛋氨酸和赖氨酸的质量比例却因此从对照组的0.62下降为0.55,这就意味着对照组的赖氨酸水平尽管较低,但蛋氨酸和赖氨酸的质量比例为0.62,更接近0.63理想模式。按照氨基酸需要的“水桶板块”理论,这可能在某种程度上降低了试验组所补充赖氨酸的沉积效率,也因此和对照相比未能取得显著的促生长效果。

2.2.2 同时补充赖氨酸和蛋氨酸对罗非鱼生长的影响

试验组No.5至No.8在补充外源赖氨酸的同时,进一步提高配方中蛋氨酸的量,确保配方中蛋氨酸和赖氨酸的质量比值按罗非鱼的理想蛋白模式保持在0.63,这种情况下再和对照组相比较,可以发现,同时补充包膜赖氨酸及蛋氨酸,显著提高了鱼的生长速度,增质量率提高11%左右;而同时补充晶体赖氨酸和蛋氨酸,或者以质量分数3%血粉补充结合态赖氨酸再补充晶体蛋氨酸,鱼的生长速度和未作补充的对照相比则均无明显变化。这表明:晶体氨基酸在罗非鱼体内的吸收利用效果存

在一定问题,晶体氨基酸经包膜后在相当程度上提高了晶体氨基酸的吸收利用率。

本研究的结果表明,无论是结合态赖氨酸还是包膜赖氨酸,虽然在吸收上存在一定优势,但要取得显著的生物学效价,在添加补充时要兼顾补充其它所缺少的必需氨基酸,才能最大程度提高氨基酸的沉积效率。例如,Alam^[7]也发现在日本对虾饲料中按最适氨基酸比例同时补充包膜赖氨酸及蛋氨酸,促对虾生长效果要优于同时补充晶体赖氨酸和蛋氨酸、或者单独补充晶体赖氨酸或蛋氨酸的情况。

2.2.3 以羟基蛋氨酸钙形式补充蛋氨酸对罗非鱼生长的影响 对于蛋氨酸而言,除了包膜形式外,本研究中还探讨了蛋氨酸的化学衍生物羟基蛋氨酸钙的应用效果,在以质量分数3%血粉补充结合态赖氨酸的基础上,分别以晶体蛋氨酸以及羟基蛋氨酸钙两种形式补充蛋氨酸,和对照组(No.1)相比,前者生长速度基本没有改变,而后者则有较好的提高趋势,两者相比,补充羟基蛋氨酸钙时,鱼的生长速度显著高于同样条件下补充晶体蛋氨酸的生长效果。有关羟基蛋氨酸钙在水产动物上生物学效价的研究不多,沈晓芝^[14]的研究表明,在豆粕为蛋白源的饲料中添加羟基蛋氨酸钙,仅在添加量(质量分数)为0.135%的显著提高了鲤的生长及蛋白质效率,其它添加量(0.045%、0.09%、0.18%)与不添加的对照组无显著差异。值得注意的是,作者所用饲料的赖氨酸水平(质量分数)仅为1.8%,不同羟基蛋氨酸钙添加水平下,含硫氨基酸总量也始终小于或等于0.944%,两者均分别低于鲤鱼的最适需要量(赖氨酸2.2%,含硫氨基酸1.2%),这些条件和本研究中补充羟基蛋氨酸钙时饲料赖氨酸及含硫氨基酸的质量分数情况比较相似。因此,本研究中添加羟基蛋氨酸钙未能取得特显著效果的原因,除了与鱼的品种有关外,也许和所试验的羟基蛋氨酸钙添加的剂量大小不适合有关。本研究的结果提示,羟基蛋氨酸钙在罗非鱼体内的吸收利用上可能比晶体蛋氨酸有一定优势,但其生物学效价还有待进一步试验。

2.2.4 补充氨基酸对罗非鱼体组成的影响

本试验中添加外源氨基酸有降低肝脏水分的趋势,对全鱼及肌肉的粗蛋白、粗脂肪及灰分没有明显影响,也不影响肝脏的粗蛋白含量。Alam^[7]在日本对虾日粮中同时补充赖氨酸及蛋氨酸也没有发现对虾脂肪及蛋白质含量有显著性变化。同样在海鲈^[15]、斑点叉尾^[16]、遮目鱼^[17]的饲料中添加蛋

氨酸也不影响实验鱼的鱼体成分。但在鲤^[14]、拟石首鱼^[18]和草鱼^[19-20]饲料中添加外源蛋氨酸或赖氨酸,能够提高鱼肌肉中粗蛋白质含量,氨基酸对鱼体成分的影响可能因鱼的种类、氨基酸的剂型、饲料加工工艺和饲料原料的氨基酸利用效率而异。

对鱼肌肉中氨基酸组成的分析表明,本试验中补充外源氨基酸的方式对鱼肌肉氨基酸组成(占肌肉湿基质量分数)没有影响,但 Abboudi^[21]在研究大西洋鲑(*Salmo salar*)的赖氨酸需要量时,发现饲料赖氨酸水平显著影响全鱼蛋白中赖氨酸的含量(总氨基酸质量分数),原因有下述3种可能:(1)和氨基酸组成的表示方式有关,Helland^[22]在大西洋比目鱼(*Hippoglossus hippoglossus*)饲料中以谷朊粉替代不同质量比例鱼粉,发现配方氨基酸组成的改变会直接影响全鱼蛋白的某些氨基酸组成比例,但变化的显著性和氨基酸组成的表示方法有很大关系,3种表示形式中(占总氨基酸质量分数、占湿基质量分数、占粗蛋白质量分数),以占总氨基酸质量分数的结果来揭示变化趋势最为灵敏。(2)和饲料氨基酸变化的区间有关,Helland^[22]发现,在配方中以谷朊粉部分替代鱼粉,当赖氨酸质量分数从4.0%降低到3.6%,大西洋比目鱼的全鱼赖氨酸含

量显著降低(占总氨基酸质量分数),但随着谷朊粉用量加大,配方赖氨酸质量分数从3.6%降低到2.6%时,全鱼赖氨酸含量没有显著变化;同样,当配方中蛋氨酸质量分数从1.7%降低至1.3%时,全鱼蛋氨酸含量没有显著变化,但如果进一步降低到1.2%,则会显著降低全鱼蛋氨酸含量(占总氨基酸质量分数)。(3)本试验中试验组和对照组的饲料氨基酸组成差异不够大,例如赖氨酸仅相差0.2%,蛋氨酸仅相差0.1%,而在 Abboudi^[21]的试验中,赖氨酸含量在不同试验组之间的差异不低于0.5%。综合上述分析,作者认为,配方氨基酸组成可能会影响鱼体的氨基酸组成,但要针对具体试验情况分析才能确定。

3 结 语

综合本试验结果,笔者认为罗非鱼饲料中添加外源性氨基酸,一方面要注意添加的形式,例如采用包膜形式,另一方面最好能结合限制性氨基酸间的质量比例关系,这两个方面同时兼顾可能会取得比较理想的补充效果,同时低剂量补充外源氨基酸不会对鱼体组成产生明显影响。

参考文献(References):

- [1] Robinson E H. Improvement of cottonseed meal protein with supplemental lysine in feeds for channel catfish[J]. *J Appl Aquacult*, 1991(1):1-14.
- [2] Robinson E H, Wilson R P. Re-evaluation of the lysine requirement and lysine utilization by fingerling channel catfish [J]. *J Nutr*, 1980, 110: 2313-2316.
- [3] Zongjia J Cheng, Hardy R W, Usry J L. Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion[J]. *Aquaculture*, 2003, 218: 553-565.
- [4] Teshima S, Ishikawa M, Alam M S. Supplement effects and metabolic fate of crystalline arginine in juvenile shrimp *Mar-supenaues japonicus*[J]. *Comp Biochem Physiol*, 2004, 137(B): 207-217.
- [5] Murai T, Ogata H, Nose T. Methionine coated with various materials supplemented to soybean meal diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. *Bull Jan Soc Sci Fish*, 1982, 48: 85-88.
- [6] ZHOU X-Q, ZHAO C-R, LIN Y. Compare the effect of diet supplementation with uncoated or coated lysine on juvenile Jian Carp(*Cyprinus carpio* Var. *Jian*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2007, 13:457-461.
- [7] Md Shah Alam, Shin-ichi Teshima. Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp *Marsupenaues japonicus*[J]. *Aquaculture*, 2005, 248:1-4,13-19.
- [8] Mazid M A, Tanaka Y, Katayama T. Metabolism of amino acid in aquatic animals-III. Indispensable amino acids for *Tilapia* [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1978, 44: 739-742.
- [9] 朱选. 一种水产饲料晶体氨基酸缓释制剂: 中国 ZL01127800[P], 2006-01-01.
- [10] 吴健开, 雍文岳, 游文章, 等. 13种饲料原料蛋白质对尼罗罗非鱼的营养价值[J]. 中国水产科学, 2000, 7(2): 37-42. WU Jan-kai, YONG Wen-yue, YOU Wen-zhang, et al. Nutritional value of proteins in 13 feed ingredients for *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2000, 7(2): 37-42. (in Chinese)

- [11] 雍文岳. 尼罗罗非鱼营养需要量[J]. 淡水渔业, 1994(5):22-24.
YONG Wen-yue. Nutrition requirement of *Oreochromis niloticus*[J]. **Freshwater Fisheries**, 1994(5):22-24. (in Chinese)
- [12] Enab R, El-Haroun, Dominique P Bureau. Comparison of the bioavailability of lysine in blood meals of various origins of that of L-lysine HCL for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. **Aquaculture**, 2007, 262:402-409.
- [13] 虞予. 氨基酸在水产饲料配方中的使用[Z]. [S. I.]; 美国动物蛋白及油脂提炼协会, 2008.
- [14] 沈晓芝, 周洪琪, 华雪铭, 等. 羟基蛋氨酸钙对鲤生长性能和白肌营养组成的影响[J]. 上海水产大学学报, 2007, 16(2): 118-123.
SHENG Xiao-zhi, ZHOU Hong-qi, HUA Xue-ming, et al. Effect of calcium salt of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid(MHA-Ca) on growth performance and white muscle composition of common carp(*Cyprinus carpio*)[J]. **Journal of Shanghai Fisheries University**, 2007, 16(2):118-123. (in Chinese)
- [15] Hidalgo F, Alliot E, Thebault H. Methionine and cystine supplemented diets for juvenile sea bass (*Dicentrarchus labrax*)[J]. **Aquaculture**, 1987, 64: 209-217.
- [16] Meng H L, Robinson E H. Effects of supplemental lysine and methionine in low protein diets on weight gain and body composition of young channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. **Aquaculture**, 1998, 163: 297-307.
- [17] Shiau S Y, Pan B S, Chen S, et al. Successful use of soybean meal with a methionine supplement to replace fish meal in diets fed to milkfish *Chanos chanos* Forskal[J]. **World Aquaculture Soc.** 1988, 19:14-19.
- [18] Goff J B, Gatlin D M. Evaluation of different sulfur amino acid compounds in the diet of red drum, *Sciaenops ocellatus*, and sparing value of cystine for methionine[J]. **Aquaculture**, 2004, 241: 465-477.
- [19] 罗莉, 叶元土, 林仕梅. 饲料必需氨基酸模式对草鱼生长及蛋白质周转的影响[J]. 水生生物学报, 2003, 27(3):278-282.
LUO Li, YI Yuan-tu, LIN Shi-mei. Effect of dietary essential amino acid pattern of the growth and protein turnover of grass carp (*Ctenopharyngodon Idellus*)[J]. **Acta Hydrobiologica Sinica**, 2003, 27(3):278-282. (in Chinese)
- [20] 刘永坚, 田丽霞, 刘栋辉, 等. 实用饲料中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): 252-258.
LIU Yong-jian, TIAN Li-xia, LIU Dong-hui, et al. Influence of practical diet supplementation with free or coated lysine on the growth, plasma free amino acids and protein synthesis rates in the muscle of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. **Journal of Fisheries of China**, 2002, 26(3): 252-258. (in Chinese)
- [21] Tarik Abboudi, Muriel Mambrini, Wilfried Ooghe. Protein and lysine requirements for maintenance and for tissue accretion in Atlantic Salmon(*Salmo salar*) fry[J]. **Aquaculture**, 2006, 261: 369-383.
- [22] Stale J Helland, Barbara Grisdale-Helland. Replacement of fish meal with wheat gluten in diets for Atlantic halibut(*Hippoglossus hippoglossus*): Effect on whole-body amino acid concentrations[J]. **Aquaculture**, 2006, 261: 1363-1370.

(责任编辑:秦和平)