

晶体氨基酸提高混合动物蛋白替代花鲈饲料中鱼粉的潜力

胡亮¹, 薛敏^{1*}, 王彬², 吴秀峰¹, 郑银桦¹, 王嘉¹

(1. 中国农业科学院饲料研究所, 国家水产饲料安全评价基地, 北京 100081;

2. 中国兽医药品监察所, 北京 100081)

摘要: 实验以鸡肉粉:牛肉骨粉:喷雾血球干燥粉:水解羽毛粉 = 40:35:20:5 的比例组成的混合动物蛋白 (animal protein blend, APB) 分别直接替代或在补充赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸后替代花鲈饲料中 50%、75%、100% 的低温干燥鱼粉, 研究其对花鲈生长及生理功能的影响。经过 8 周的饲养后发现, 花鲈的生长性能随替代比例的提高而降低; 摄食含 APB 饲料的花鲈, 其成活率, 摄食率和生长性能均显著低于对照组 ($P < 0.05$)。与 APB 直接替代鱼粉的处理组相比, 添加 3 种必需晶体氨基酸极显著提高了花鲈的生长性能及全鱼蛋白、脂肪、能量含量 ($P < 0.01$), 显著降低了花鲈的全鱼水分、灰分, 肝指数及脏体比 ($P < 0.05$)。晶体氨基酸与 APB 的替代水平对花鲈的生长性能、形体指标及体组成成分存在显著的交互作用 ($P < 0.05$)。实验结果表明, (1) 混合动物蛋白替代初始体重为 13.2 g 的花鲈饲料中白鱼粉的比例应小于 50%; (2) 添加必需晶体氨基酸能显著提高 APB 在花鲈饲料中的应用潜力; (3) 花鲈具备一定的利用晶体氨基酸的能力。

关键词: 花鲈; 晶体氨基酸; 鱼粉; 混合动物蛋白; 生长性能; 体组成

中图分类号: S 963.3

文献标识码: A

花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 属于肉食性高等真骨鱼类, 含高蛋白、低脂肪和丰富的氨基酸, 且包含人体必需的 8 种氨基酸, 并符合 FAO/WHO 的理想模式, 具有很好的消费市场^[1]。受成本、环境及海洋渔业资源等多方面因素的约束, 水产饲料中鱼粉和鱼油的替代已成为现在水产养殖降低危机的必由之路。陆生动物蛋白源 (如肉骨粉、鸡肉粉以及血粉等) 因蛋白质含量高, 氨基酸组成与鱼粉较为接近, 且价格较低, 使其成为鱼粉替代的优良原料^[2]。大量研究表明, 多数畜禽副产品可直接替代鱼粉的 20% ~ 45%, 而不会抑制鱼类生长^[3-6]。在补充限制性氨基酸的情况下, 宠物级鸡肉粉甚至可以成功替代杂交条纹鲈 (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)^[7]、驼背鲈 (*Cromileptes altivelis*)^[8] 饲料中的全部鱼粉。限制畜禽副产品在水产饲料中大量应用的一个重要

原因在于这些单一的动物蛋白源自身氨基酸不平衡。将不同蛋白源进行合理搭配或在饲料中补充限制性晶体氨基酸 (crystalline amino acids, CAA) 能使日粮的氨基酸达到平衡状态, 从而提高廉价蛋白源在水产饲料中的应用潜力。事实上, 当前对于 CAA 在水产饲料中的利用率研究尚不一致。有研究表明: CAA 自身的溶失性及其与饲料中的蛋白态氨基酸在鱼类肠道中吸收速度不同会大大降低其在水产饲料中的应用性^[9-10]。但同样有大量的实验证实: 在水产饲料中补充必需 CAA 能显著提高饲料的利用效率, 且能降低鲤 (*Cyprinus carpio*)^[11]、虹鳟 (*Oncorhynchus mykiss*)^[12-13] 饲料中约 5% 粗蛋白含量而不显著影响生长, 从而使养殖成本大大降低。本实验尝试从可消化水平设计配方, 研究添加 CAA 后能否提高畜禽副产品的混合物在花鲈饲料中的应用比例。

收稿日期: 2010-11-01 修回日期: 2010-12-09

资助项目: 国家自然科学基金项目 (31072220)

通讯作者: 薛敏, E-mail: xuemin@caas.net.cn

1 材料与amp;方法

1.1 试验饲料

混合动物蛋白 (APB) 参照低温干燥鱼粉 (low temperature steam-dried fish meal, LT-FM) 的蛋白含量组成,以鸡肉粉:牛肉骨粉:喷雾血球干燥粉:水解羽毛粉 = 40:35:20:5 的比例组成,APB 与 LT-FM 的可消化蛋白及可消化能相当。4 种动物蛋白原料由美国油脂提炼协会 (National Renderers Association, Inc.) 提供,鸡肉粉,牛肉骨粉,喷雾血球干燥粉,水解羽毛粉中挥发性盐基氮的含量分别为 280,150,170 和 3 280 mg/kg^[14]。

本试验共设 7 组饲料,对照组以 LT-FM 为主要蛋白源,分别以 APB 替代对照组饲料中 50%,75%,100% 的鱼粉,每个替代水平分别设计以直接替代 (replacement, R) 和氨基酸平衡组 (R +

CAA),7 组饲料分别命名为 FM,R50、R75、R100、R50A,R75A 和 R100A。晶体氨基酸分别为赖氨酸 (L-Lysine · H₂SO₄)、蛋氨酸 (D-L-methionine) 及苏氨酸 (L-threonine);各组饲料的可消化蛋白 (Digestible protein, DP),可消化能量 (Digestible energy, DE) 及 DP/DE 一致。花鲈对于各原料营养成分的消化率参考负彪^[15]的研究,晶体氨基酸的消化率按 100% 计算;赖氨酸需求量和最适蛋白质能量比分别为 2.49%^[16] 和 24.20 kg/MJ^[17];蛋氨酸和苏氨酸的需求量参考花鲈全鱼氨基酸组成^[16],分别为 1.22% 和 1.60%。各种饲料原料全部过 120 目筛,称重,混合,挤压成直径为 2.0 mm 的膨化沉性饲料颗粒,晾干,置 -20 °C 冰箱备用。各试验饲料配方和营养组成见表 1,各组饲料的必需氨基酸组成见表 2。

表 1 花鲈试验饲料配方及营养成分表 (风干基础)

Tab.1 Formular and proximate composition of experimental diets air-dry basis, %

项目 items	LT-FM	R			R + CAA		
		R50	R75	R100	R50A	R75A	R100A
美国白鱼粉 LT-FM	40	20	10	—	20	10	—
混合蛋白 APB	—	20	30	40	20	30	40
大豆粕 soybean meal	20	20	20	20	18.5	17.8	17
面粉 wheat flour	22	22	22	22	22	22	22
鱼油 fish oil	5	4.5	4.2	4	4.5	4.2	4
α-微晶纤维素 α-cellulose	1.5	2	2.3	2.5	2.5	3	3.5
预混料 premix ¹	1	1	1	1	1	1	1
赖氨酸 (50%) L-Lysine · H ₂ SO ₄	—	—	—	—	0.59	0.89	1.19
蛋氨酸 (98%) D-L-methionine	—	—	—	—	0.28	0.42	0.55
苏氨酸 (98%) L-threonine	—	—	—	—	0.1	0.15	0.21
其它 the others ²	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
营养成分 (干物质基础) proximate analysis (dry matter basis)							
水分 (%) moisture	13.45	12.65	13.13	12.68	13.38	6.79	7.16
灰分 (%) DM) ash	9.87	9.8	9.84	9.7	9.82	9.75	9.75
粗蛋白 (%) DM) crude protein	40.79	40.64	40.5	41.05	40.83	43.72	43.64
总能 (MJ/kg) gross energy	18.19	18.16	18.08	18.05	17.92	19.22	19.29
粗脂肪 (%) DM) crude lipid	9.94	9.48	8.96	8.9	8.78	8.66	8.97
理想蛋白模型 DIAA profile ³							
可消化蛋白 (%) digestible protein	38.38	38.57	38.67	38.76	38.57	38.69	38.76
可消化能量 (MJ/kg, 湿重) digestible energy	15.21	15.2	15.17	15.19	14.98	14.85	14.75
D-Lys/DP (%)	7.09	6.38	6.03	5.68	7.05	7.03	7.02
D-Met/DP (%)	2.9	2.2	1.86	1.51	2.88	2.87	2.87
D-Thr/DP (%)	3.47	3.24	3.13	3.02	3.45	3.44	3.44
DP/DE (%)	25.24	25.38	25.48	25.52	25.75	26.05	26.28

注:1 和 2. 参考文献 [14];3. 理想蛋白质模式为计算值。

Notes:1 and 2 refer [14];3. Ideal protein profile based on calculated values.

表2 不同处理组饲料必需氨基酸含量(干物质基础)
Tab.2 Essential amino acids compositions of the experimental diets g/100 g dry material

项目 items	LT-FM	R			R + CAA		
		R50	R75	R100	R50A	R75A	R100A
苯丙氨酸 phenylalanine	2.14	2.07	2.13	2.08	2.07	1.93	1.95
组氨酸 histidine	1.06	1.14	1.23	1.31	1.04	1.14	1.22
精氨酸 arginine	2.93	2.78	2.84	2.76	2.89	2.56	2.55
缬氨酸 valine	2.36	2.27	2.49	2.46	2.26	2.08	2.2
异亮氨酸 isoleucine	2.08	1.75	1.67	1.45	1.99	1.43	1.3
亮氨酸 leucine	3.67	3.62	3.76	3.72	3.51	3.3	3.36
赖氨酸 lysine	3.45	2.95	2.89	2.65	3.31	2.97	2.99
蛋氨酸 methionine	1.16	0.88	0.83	0.68	1.09	0.98	1.06
苏氨酸 threonine	1.91	1.71	1.60	1.58	1.88	1.73	1.62
TEAA ¹	20.76	19.18	19.44	18.69	20.03	18.02	18.25
TNEAA ²	22.91	22.51	23.11	22.82	22.86	20.42	20.5
E/(E + N) ³	0.48	0.46	0.46	0.45	0.47	0.47	0.47

注:1. TEAA:总必需氨基酸;2. TNEAA:总非必需氨基酸;3. E/(E + N):总必需氨基酸与氨基酸总和的比率。

Notes:1. total essential amino acids;2. total non-essential amino acids;3. ratio of EAA and total amino acids.

1.2 试验鱼选择及饲养管理

随机选择体重为(13.25 ± 0.05) g(平均值 ± 标准误)健康花鲈630尾,放养于中国农业科学院饲料研究所国家水产饲料安全评价基地室内循环流水养殖系统中(直径0.8 m,容积0.26 m³)。每组饲料3个重复,每桶放养30尾鱼。正式实验前对实验鱼进行2周的驯养,期间投喂商品饲料(中山统一)。驯养结束后,禁食一天。每天分别在9:00和16:00表观饱食投喂两次,饲养时间为56 d。试验期间水温控制在26~28℃,pH值范围为8.30~8.60,溶氧>7.0 mg/L, NH₄⁺ <0.5 mg/L。

1.3 取样及检测

生长试验结束时禁食24 h后取样。每桶随机取5尾鱼,其中3尾进行个体称重,测体长,解剖取得内脏和肝脏并称重。另取2尾鱼绞碎后在75℃烘干用于体成分检测。分别采用105℃常压干燥法、凯氏定氮法、酸水解全脂肪测定法及550℃灼烧法测定饲料和全鱼的水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分。饲料中氨基酸组成分别采用酸水解和氧化水解法测定17种氨基酸,色氨酸未测,氨基酸分析仪型号为Hitachi(L8900)。

1.4 数据整理及统计分析

成活率(survival rate, SR)(%) = 100 × 终末鱼数量/初始鱼数量;

摄食率(feeding rate, FR)(% 体重/d) = 100 × C/[(IBW + FBW + DBW)/2]/t;

相对增重率(weight gain rate, WGR)(%) = 100 × (FBW - IBW)/IBW;

饲料系数(feed conversion rate, FCR) = C/(FBW + DBW - IBW);

能量沉积率(energy productive value, EPV)(%) = 100 × 鱼体能量增加值/摄入能量值

蛋白沉积率(protein productive value, PPV)(%) = 100 × 鱼体蛋白增加值/摄入蛋白值

肥满度(condition factor, CF)(g/cm³) = 平均体重(g)/平均体长(cm)³;

肝体比(hepatosomatic index, HSI)(%) = 肝脏重/全鱼重 × 100;

脏体比(viscerasomatic index, VSI)(%) = 内脏总重/全鱼重 × 100。

式中,IBW(initial body weight)为初均重(g);FBW(final body weight)为末均重(g);DBW(dead fish body weight)为死亡鱼均重(g);t为试验天数(d);C(consumption)为摄食量(g)。

试验结果用“平均数 ± 标准差”表示。应用STATISTICA version 6.0软件包对数据进行(单)双因子方差分析(ANOVA),并结合Duncan氏法进行多重比较,检验处理间的差异显著性(P < 0.05)。

2 结果

2.1 不同实验料对花鲈生长指标的影响

由表 3 可以看出,APB 替代鱼粉后,替代组(R 或 R + CAA)花鲈的 SR、FR、FBW、SGR、FCR、PPV、EPV 及饲料报酬较对照组均显著降低($P < 0.05$)。相对于 APB 直接替代鱼粉,饲料中补充 CAA 极显著地提高了花鲈的 FR、FBW、SGR、PPV 及 EPV($P < 0.01$),极显著地降低了 FCR($P < 0.01$);R + CAA 处理组之间的 FR、FBW、SGR、PPV、EPV 及饲料报酬均无显著差异($P > 0.05$),但均极显著地高于直接替代组($P < 0.01$);饲料中补充 CAA 对花鲈的 SR 及 CF 无显著影响,各替代组(R 或 R + CAA)间的 SR、CF 无显著差异($P > 0.05$)。

除 SR 及 CF 外,晶体氨基酸和替代水平对花鲈的各项生长指标及形体指标有显著的交互作用($P < 0.05$)。

2.2 不同实验饲料对花鲈形体指标的影响

表 3 表明,CF 在各替代组(R 或 R + CAA)之间无显著差异,但均显著低于对照组($P < 0.05$);随替代比例的升高,花鲈的 HSI、VSI 有降低的趋势;其中,R100 处理组的 HSI 显著高于各处理组($P < 0.05$),VSI 显著高于各替代组($P < 0.05$)。

2.3 不同实验饲料对花鲈体组成成分的影响

由表 4 可看出,APB 替代鱼粉后,替代组(R 或 R + CAA)花鲈的全鱼水分、灰分较对照组显著升高($P < 0.05$),全鱼脂肪、能量显著降低($P < 0.05$);而各 R + CAA 处理组花鲈的全鱼蛋白与对照组之间无显著差异($P > 0.05$)。相对于 APB 直接替代鱼粉,饲料中补充 CAA 极显著地提高了花鲈的全鱼蛋白、脂肪及能量($P < 0.01$),极显著地降低了花鲈的全鱼灰分($P < 0.01$)。晶体氨基酸和替代水平对花鲈的体组成成分有显著的交互作用($P < 0.05$)。

表 3 不同实验料对花鲈生长指标的影响

Tab. 3 Effects of experimental diets on growth performances in *L. japonicus*

组别 groups	晶体氨基酸 CAA	替代水平(%) substitution levels	指标 parameters									
			末均重 (g) FBW	成活率 (%) SR	特定生长率 (%/d) SGR	摄食率 (%/d) FR	饲料系数 FCR	蛋白沉积率 (%) PPV	能量沉积率 (%) EPV	肥满度 (g/cm ³) CF	肝体比 (%) HSI	脏体比 (%) VSI
LT-FM			67.44 ± 2.12 ^c	0.97 ± 0.02 ^b	2.96 ± 0.06 ^c	2.72 ± 0.01 ^d	1.12 ± 0.02 ^a	37.08 ± 0.62 ^d	38.48 ± 1.66 ^d	1.26 ± 0.02 ^b	1.74 ± 0.05 ^b	11.08 ± 0.22 ^c
R50A	R + CAA	50	36.38 ± 2.18 ^d	0.68 ± 0.09 ^a	1.83 ± 0.11 ^d	2.21 ± 0.07 ^c	1.54 ± 0.07 ^{ab}	28.02 ± 0.98 ^{cd}	24.53 ± 1.54 ^c	1.19 ± 0.02 ^{ab}	1.63 ± 0.05 ^b	9.50 ± 0.20 ^b
R75A	R + CAA	75	32.68 ± 1.46 ^d	0.68 ± 0.09 ^a	1.64 ± 0.08 ^{dc}	2.11 ± 0.04 ^{bc}	1.75 ± 0.29 ^b	23.67 ± 3.49 ^{bc}	18.23 ± 3.15 ^{bc}	1.12 ± 0.02 ^a	1.32 ± 0.05 ^a	8.05 ± 0.37 ^a
R100A	R + CAA	100	35.43 ± 3.45 ^{cd}	0.58 ± 0.06 ^a	1.77 ± 0.19 ^d	2.33 ± 0.13 ^d	1.70 ± 0.04 ^b	23.01 ± 1.72 ^{bc}	17.88 ± 2.96 ^{bc}	1.18 ± 0.02 ^a	1.32 ± 0.09 ^a	9.53 ± 0.12 ^b
R50	R	50	26.61 ± 2.42 ^{bc}	0.68 ± 0.04 ^a	1.26 ± 0.16 ^{bc}	1.89 ± 0.05 ^b	1.93 ± 0.15 ^b	21.33 ± 1.03 ^{bc}	16.28 ± 0.79 ^{bc}	1.18 ± 0.01 ^{ab}	1.67 ± 0.2 ^b	9.48 ± 0.49 ^b
R75	R	75	21.97 ± 1.9 ^{ab}	0.57 ± 0.06 ^a	0.91 ± 0.16 ^b	1.81 ± 0.15 ^b	2.49 ± 0.16 ^c	14.38 ± 1.28 ^b	6.33 ± 3.05 ^{ab}	1.14 ± 0.02 ^a	1.65 ± 0.16 ^b	9.4 ± 0.12 ^b
R100	R	100	16.12 ± 0.44 ^a	0.62 ± 0.06 ^a	0.36 ± 0.05 ^a	1.15 ± 0.14 ^a	3.81 ± 0.06 ^d	1.09 ± 7.30 ^a	(5.53) ± 8.79 ^a	1.14 ± 0.04 ^a	2.88 ± 0.15 ^c	11.68 ± 0.6 ^c
双因素方差分析 TWO-way ANOVA												
晶体氨基酸 CAA			**	NS	**	**	**	**	**	NS	*	*
替代水平 substitution levels			*	NS	*	NS	*	*	*	NS	*	*
晶体氨基酸 × 替代水平 CAA × substitution levels			*	NS	*	*	*	*	*	NS	*	*

注: * 表示组间存在显著差异($P < 0.05$), ** 表示组间存在显著差异($P < 0.01$), NS 表示差异不显著($P > 0.05$), 同一列数据右上角不同英文上标字母表示存在显著差异($P < 0.05$)。下表同。

Notes: * mean significant difference($P < 0.05$), and ** mean significant difference($P < 0.01$), while NS mean no significant difference($P > 0.05$), values in the same array with different superscript letters are significantly different($P < 0.05$). The same as Tab. 4.

表 4 不同实验料对花鲈体组成成分的影响
Tab. 4 Effects of experimental diets on whole body composition in *L. japonicus*

组别 groups	晶体氨基酸 CAA	替代水平 (%) substitution levels	指标 parameters				
			水分 moisture	灰分 ash	粗蛋白质 crude protein	总能 gross energy	粗脂肪 crude lipid
初样			74.24	3.72	14.88	6.21	6.62
LT-FM			70.70 ± 0.46 ^a	3.73 ± 0.02 ^a	16.47 ± 0.11 ^c	7.48 ± 0.19 ^c	8.20 ± 0.14 ^c
R50A		50	72.65 ± 0.54 ^{ab}	4.17 ± 0.07 ^{ab}	16.26 ± 0.13 ^{bc}	6.47 ± 0.21 ^b	6.76 ± 0.31 ^b
R75A	R + CAA	75	73.54 ± 0.16 ^{bc}	4.27 ± 0.25 ^{bc}	16.01 ± 0.20 ^{bc}	6.03 ± 0.14 ^{ab}	5.73 ± 0.28 ^{ab}
R100A		100	72.66 ± 0.85 ^{bc}	4.61 ± 0.12 ^{bc}	16.32 ± 0.28 ^{bc}	6.04 ± 0.30 ^{ab}	5.91 ± 0.48 ^{ab}
R50		50	73.67 ± 0.69 ^{bc}	4.84 ± 0.06 ^c	15.53 ± 0.25 ^b	5.99 ± 0.22 ^{ab}	6.06 ± 0.57 ^{ab}
R75	R	75	74.10 ± 0.55 ^{bc}	5.54 ± 0.25 ^d	14.75 ± 0.13 ^a	5.30 ± 0.22 ^a	4.74 ± 0.59 ^a
R100		100	75.44 ± 1.09 ^a	5.96 ± 0.21 ^d	14.62 ± 0.22 ^a	5.47 ± 0.19 ^a	4.63 ± 0.12 ^a
双因素方差分析 TWO-way ANOVA							
晶体氨基酸 CAA			*	**	**	**	**
替代水平 substitution levels			*	*	*	*	*
晶体氨基酸 × 替代水平 CAA × substitution levels			*	*	*	*	*

3 讨论

畜禽副产品粉是由动物屠体、内脏、蹄屑、餐余脂肪、骨头等经粉碎、蒸煮、挤压脱脂、分离、再粉碎过筛制得。由于原料搭配、来源、工艺等影响,畜禽副产品粉主要分为普通肉骨粉和宠物级肉骨粉。宠物级肉骨粉由于灰分低(7%~9%)、高脂肪(15%~20%)且氨基酸较平衡,作为单一的鱼粉替代原料,其潜力比普通肉骨粉大^[7-8,18]。由于本研究所用原料均为普通级畜禽副产品粉,这也可能是影响实验结果的一个因素。与单一原料替代鱼粉相比,多种原料混合搭配可在一定程度上弥补原料必需氨基酸的不足或减少某一必需氨基酸过高而造成的浪费。混合动物蛋白之间,混合动物蛋白与植物蛋白之间的合理配比能在降低成本的同时,也能提高单一原料替代欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[19]、黄姑鱼(*Nibea miichthioides*)^[20]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[21]等饲料中鱼粉的比例。

本实验生长性能结果充分表明,花鲈是一种对鱼粉依赖性较强的鱼类。当饲料中的鱼粉使用量从40%减少到20%时,花鲈的生长性能显著下降。APB替代鱼粉后导致的适口性下降,花鲈摄食量显著降低是致使花鲈生长性能下降的重要原因。DAVIS等^[22]及XUE等^[23]通过实验均得出,适口性降低是导致替代蛋白源替代鱼粉后使得鱼类摄食量和生长性能显著降低的主要原因之一。因此,某种程度上,花鲈对鱼粉的依赖根本上是对鱼粉适口性的依赖。花鲈属于凶猛性的肉食性鱼类,具有互相残食现象,由于各替代组饲料适口性

较差,部分试验鱼能较快适应含有APB饲料而生存并获得相对较快的生长率,而另外一部分花鲈始终未能适应试验饲料,表现出瘦背、鱼体发黑、眼眶凹陷,甚至负增长,导致摄食相同饲料的组内个体差异较大,相互残食频繁,存活率较低。

除适口性差外,限制性氨基酸缺乏^[24]是陆生动物蛋白替代鱼粉的另一个重要限制因素。Lys、Met不仅是温水性鱼类两种主要的限制性氨基酸^[25],也是畜禽副产品粉中的所缺乏的两种重要的必需氨基酸^[26]。饲料可消化苏氨酸水平显著影响肠黏膜蛋白和黏液蛋白质的合成,苏氨酸缺乏显著影响肝脏和肌肉蛋白质的合成^[27-28]。随着大量廉价动植蛋白源在饲料中的使用,Lys和Met的补充已不能完全满足动物生长需要,补充苏氨酸能进一步提高动物生产性能^[29]。本实验中,相对于APB直接替代鱼粉,饲料中补充CAA极显著提高了花鲈的生长性能。研究表明,单一氨基酸,如蛋氨酸、精氨酸、亮氨酸等的缺乏,都会导致鱼类摄食量的下降^[30];与其它氨基酸相比,色氨酸缺乏对欧洲鲈自由摄食的抑制最为明显^[31]。AA不平衡可以通过调节整脑中神经递质的合成与代谢来影响摄食量和日粮选择;动物摄食AA不平衡的日粮后,最终会导致肌肉和血浆中游离AA模式变得紊乱,致使动物通过食欲调节系统来减少摄食量^[32]。由表3可知,未平衡氨基酸处理组花鲈的摄食率极显著地低于添加晶体氨基酸处理组,这很可能是食欲下降和饲料适口性差综合作用的结果。氨基酸不平衡导致饲料蛋白质效率以及花鲈的食欲降低是APB直接替代鱼粉的效果显著低于氨基酸平衡组的主要原因。

GAYLORD 等^[13]指出,饲料 AA 不平衡不但影响蛋白沉积,而且会引起肝、胴体和腹腔能量和脂肪的过度沉积。本实验中,R 与 R + CAA 处理组间,花鲈的 CF 无显著差异,但前者的 HSI、VSI 显著高于后者($P < 0.05$),很可能是因为其 AA 不平衡引起内脏脂肪增多或内脏肥大所致。

CAA 自身的溶失性及其与饲料中蛋白态氨基酸的吸收不同步是限制鱼类对 CAA 利用的主要因素^[33]。CAA 的溶失问题对于摄食缓慢的水产动物,如日本囊对虾^[34]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[35]等比较严重;但对于牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[36]、虹鳟^[12-13]等抢食较快的鱼类而言,CAA 溶失则不是影响 CAA 使用效果的主要因素。晶体氨基酸与饲料中蛋白态氨基酸的吸收能否同步与合成氨基酸的性质及饲料中蛋白态 AA 的消化速率有关,饲料蛋白质的消化速率高,合成 AA 蛋白态在消化道的释放速度慢,有利于提高合成 AA 的利用效率^[37-39]。花鲈属于凶猛的肉食性鱼类,在自然界中主要以虾类及浮游动物为食,摄食具有很强的捕获性;花鲈具有功能完整的胃及自身的抢食性是其有效利用晶体氨基酸的有利因素。

4 结论

(1) 该种混合动物蛋白不能使初始体重为 13.2 g 的花鲈饲料中低温干燥鱼粉的量从 40% 降到 20%;(2) 添加必需晶体氨基酸能显著提高 APB 在花鲈饲料中的应用潜力;(3) 花鲈具备一定的利用晶体氨基酸的能力。

参考文献:

- [1] 王远红,吕志华,高天翔,等. 不同海域中国花鲈营养成分的比较研究[J]. 青岛海洋大学学报,2003,33(4):531-536.
- [2] TACON A G J. Feed ingredients for warm water fish, fish meal and other processed feedstuffs [J]. FAO Fisheries Circular,1993,856:64.
- [3] ROBAINA L, MOYANO F J, IZQUIERDO M S, et al. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata*): nutrition and histological implications [J]. Aquaculture,1997,157:347-359.
- [4] BUREAU D P, HARRIS A M, CHO C Y. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,1998,161:27-43.
- [5] WEBSTER C D, THOMPSON K R, MORGAN A M, et al. Use of hempseed meal, poultry by-product meal, and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. Aquaculture,2000,188:299-309.
- [6] BHARADWAJ A S, BRIGNON W R, GOULD N L, et al. Evaluation of meat and bone meal in practical diets fed to juvenile hybrid striped bass *Morone chrysops* × *M. saxatilis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2002,33(4):448-457.
- [7] GAYLORD T G, RAWLES S D. The modification of poultry by-product meal for use in hybrid striped bass diets [J]. Journal of the World Aquaculture Society,2005,36(3):365-376.
- [8] SHAPAWI R, NG W K, MUSTAFA S. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis* [J]. Aquaculture,2007,273:118-126.
- [9] RONNESTAD I, CONCEICAO L E C, ARAGAO C, et al. Free amino acids are absorbed faster and assimilated more efficiently than protein in postlarval Senegal sole (*Solea senegalensis*) [J]. Journal of Nutrition,2000,130:2809-2812.
- [10] 冷向军,王冠,李小勤,等. 饲料中添加晶体或包膜氨基酸对异育银鲫生长和血清游离氨基酸水平的影响[J]. 水产学报,2007,31(6):743-748.
- [11] VIOLA S, LAHAV E. Effects of lysine supplementation in practical carp feeds on total protein sparing and reduction of pollution [J]. Israeli Journal of Aquaculture/Bamidgeh,1991,43:112-118.
- [12] YAMAMOTO T, SUGITA T, FIRUITA H. Essential amino acid supplementation to fish meal-based diets with low protein to energy ratios improves the protein utilization in juvenile rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture,2005,246:379-391.
- [13] GAYLORD T G, BARROWS F T. Multiple amino acid supplementations to reduce dietary protein in plant-based rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* feeds [J]. Aquaculture,2009,287:180-184.
- [14] 胡亮,王兰梅,薛敏,等. 蛋白质水平和混合动物蛋白替代鱼粉水平对花鲈生长性能和体成分的影响 [J]. 动物营养学报,2010,22(4):1113-1121.
- [15] 负彪. 几种蛋白原料的消化率及替代鱼粉在花鲈饲料中的应用 [D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2009:28-33.
- [16] MAI K S, ZHANG L, AI Q H. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese sea bass, *Lateolabrax*

- japonicus*[J]. Aquaculture,2006,258;535-542.
- [17] AI Q H, MAI K S, LI H T, *et al.* Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*[J]. Aquaculture,2004,230;507-516.
- [18] DOZIER W A, DALE III N M, DOVE C R. Nutrient composition of feed-grade and pet food-grade poultry byproduct meal [J]. J Appl Poult Res, 2003, 12: 526-530.
- [19] KAUSHIK S J, COVÈS D, DUTTO G, *et al.* Almost total replacement of fish meal by plant protein sources in the diet of marine teleost, the European seabass, *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 2004, 230: 391-404.
- [20] SAMOCHA T M, DAVIS D A, SAOUDC I P, *et al.* Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture,2004,231;197-203.
- [21] GUO J, WANG Y, BUREAU D P. Inclusion of rendered animal ingredients as fishmeal substitutes in practical diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides* [J]. Aquaculture Nutrition,2007,13;81-87.
- [22] DAVIS D A, JIRSA D, ARNOLD C R, *et al.* Evaluation of soybean proteins as replacements for menhaden fish meal in practical diets for red drum, *Sciaenops ocellus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society,1995,26;48-58.
- [23] XUE M, CUI Y B. Effect of several feeding stimulants on diet preference by juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*), fed diets with or without partial replacement of fish meal by meat and bone meal[J]. Aquaculture,2001,198;281-292.
- [24] PONGMANEERAT J, WATANABE T. Nutritive value of protein of feed ingredients for carp *Cyprinus carpio* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi,1991,57(3);503-510.
- [25] LOVELL T. Nutrition and feeding of fish[M]. New York:Van Nostrand Reinhold,1989;260.
- [26] WATANABE T, PONGMANEERAT J. Quality evaluation of some animal protein sources for rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi,1991,57;495-501.
- [27] SCHAART M W, SCHIERBEEK H, VAN DER SCHOOR S R D, *et al.* Threonine utilization is high in the intestine of piglets[J]. Journal of Nutrition, 2005,135;765-70.
- [28] WANG X, QIAO S Y, YIN Y L, *et al.* A Deficiency or excess of dietary threonine reduces protein synthesis in jejunum and skeletal muscle of young pigs[J]. Journal of Nutrition,2007,137;1442-1446.
- [29] 麦康森,何志刚,艾庆辉. 鱼类苏氨酸营养生理研究进展[J]. 中国海洋大学学报,2008,38(2): 195-200.
- [30] DE LA HIGUERA M. Effects of nutritional factors and feed characteristics on feed intake [C]. Iowa State University Press, State Avenue Ames, IA, USA, 2001;250-268.
- [31] TIBALDI E, KAUSHIK S J. Amino acid requirements of mediterranean fish species [J]. Cahiers Options Mediterraneennes,2005,63;59-65.
- [32] 刁其玉. 动物氨基酸营养与饲料[M]. 北京:化学工业出版社,2007;47-48.
- [33] 邓君明,麦康森. 鱼类对晶体氨基酸利用效率的研究进展[J]. 云南农业大学学报,2008,23(14): 355-655.
- [34] ALAM M S, TESHIMA S, KOSHIO S, *et al.* Effects of supplementation of coated crystalline amino acids on growth performance and body composition of juvenile kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* [J]. Aquaculture Nutrition,2004,10;309-316.
- [35] 王冠. 晶体氨基酸经微胶囊技术处理后对异育银鲫生长影响的研究[D]. 上海:上海水产大学, 2005;34-36.
- [36] ALAM M S, TESHIMA S, YANIHARTO D, *et al.* Influence of different dietary amino acid patterns on growth and body composition of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture, 2002,210;359-369.
- [37] 纪文秀,王岩,唐金玉. 海水养殖花鲈对几种饲料蛋白原料的表观消化率[J]. 水产学报,2010,34(1);101-107.
- [38] ROSAS A, VÁZQUZ-DUHALT R, TINOCO R, *et al.* Comparative intestinal absorption of amino acids in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), totoaba (*Totoaba macdonaldi*) and Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) [J]. Aquaculture Nutrition,2008,14;481-489.
- [39] AMBARDEKAR A A, REIGH R C, WILLIAMS M B. Absorption of amino acids from intact dietary proteins and purified amino acid supplements follows different time-courses in channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture,2009,291;179-187.

Supplementations of crystallized amino acids improve potential of animal protein blend replacing fish meal in diet of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*)

HU Liang¹, XUE Min^{1*}, WANG Bin², WU Xiu-feng¹, ZHENG Ying-hua¹, WU Jia¹

(1. Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

2. China Institute of Veterinary Drug Control, Beijing 100081, China)

Abstract: An 8-week growth trial was conducted to evaluate the effects of an animal protein blend (APB) with poultry by-product meal, meat and bone meal (beef), spray dried blood meal, and hydrolyzed feather meal at the ratio of 40 : 35 : 20 : 5 to replace low temperature steam-dried fish meal with or without supplementations of lysine, methionine and threonine in diet of juvenile Japanese sea bass, *Lateolabrax japonicus*, on growth performance and body composition. Three replacing levels were designed at 50%, 75% and 100%, respectively. Growth performance of fish was reduced with higher APB inclusion levels; Fish fed control diet showed significantly higher survival feeding rate (FR), specific growth rate (SGR) and protein efficiency ratio (PER) than those fed diets containing levels of APB; Supplementation of crystallized amino acids (CAA) enhanced the feeding rate and growth performance and reduced hepatosomatic index and increased whole body crude protein, crude lipid and gross energy. Interactions of CAA supplementation and fishmeal replacing levels on growth performance and body composition were significant. Results demonstrate that 1) no more than 50% of LT-FM can be replaced by APB in diet of juvenile Japanese sea bass; 2) supplementations of CAA could improve potential of APB replacing dietary fish meals; 3) crystallized amino acids can be relatively efficiently utilized by Japanese sea bass.

Key words: Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*); crystallized amino acids; replace fish meal; animal protein blend; growth performance; body composition

Corresponding author: XUE Min. E-mail: xuemin@caas.net.cn