动物营养学报 2013,25(12):2958-2965
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2013.12.024

不同蛋白质水平饲料中添加 α-酮戊二酸对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响

位莹莹[1,2] 徐奇友[2*] 李晋南[2] 王常安[2] 罗 亮[2] 赵志刚[2]

(1.上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306;2.中国水产科学研究院黑龙江水产研究所,动物营养实验室,哈尔滨 150070)

摘 要: 本试验旨在研究不同蛋白质水平饲料中添加 α-酮戊二酸(α-ketoglutarate,AKG)对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响。试验设 4 个蛋白质水平,分别为 28%、31%、34%和 37%;每个蛋白质水平下设 3 个 AKG 浓度,分别为 0(对照)、0.75%和 1.50%。试验选取平均体重为(61.28±3.40) g 的松浦镜鲤 720 尾,随机分成 12 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼,试验期为 8 周。结果表明:各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 均有提高松浦镜鲤增重率、蛋白质效率和降低饲料系数的趋势,除 34%蛋白质水平下松浦镜鲤增重率显著提高($P<0.05$)外,其余差异不显著($P>0.05$)。各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤肝体指数、脏体指数和肥满度均无显著影响($P>0.05$)。28%蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清甘油三酯(TG)含量显著低于对照组($P<0.05$),与 0.75% AKG 组差异不显著($P>0.05$)。31%蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清白蛋白(ALB)含量和谷丙转氨酶(ALT)活性显著高于其他组($P<0.05$);0.75%和 1.50% AKG 组血清尿酸(UA)和 TG 含量显著低于对照组($P<0.05$)。34%蛋白质水平下,0.75% AKG 组血清总蛋白(TP)和 TG 含量显著高于对照组($P<0.05$)。37%蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清 ALT 活性和 UA 含量显著高于其他组($P<0.05$);0.75%和 1.50% AKG 组血清谷草转氨酶(AST)活性显著高于对照组($P<0.05$)。各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对血清球蛋白(GLB)、总胆固醇(TCHO)、肌酐(CREA)含量及碱性磷酸酶(ALP)活性均无显著影响($P>0.05$)。蛋白质水平和 AKG 浓度的交互作用除对鱼体粗灰分、血清 UA 和 TG 含量存在显著影响($P<0.05$)外,对其他体成分指标和血清生化指标均无显著影响($P>0.05$)。由此得出,饲料中添加适量的 AKG 可以在一定程度上提高松浦镜鲤的增重率和蛋白质效率,降低饲料系数,促进鱼体蛋白质和脂肪代谢。

关键词: α-酮戊二酸;松浦镜鲤;生长性能;体成分;血清生化指标

中图分类号: S963 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-267X(2013)12-2958-08

谷氨酰胺是动物体内游离氨基酸池中最为丰富的一种氨基酸,占细胞内游离氨基酸的 60%以上[1]。近年来,谷氨酰胺对机体肠道营养与免疫等方面的作用受到了国内外众多学者的广泛关注,但是谷氨酰胺单体在溶液中不稳定,对温度和酸碱度敏感,溶解度低,易被环化为有毒性的焦谷

收稿日期: 2013-07-01

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-46-16)

作者简介: 位莹莹(1987—),女,山东济南人,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与饲料科学。E-mail: weiyingying0605@126.com

* **通讯作者:** 徐奇友,研究员,硕士生导师,E-mail: xuqiyou@sina.com

氨酸和氨,上述缺点限制了其在动物生产中的应用。而 α－酮戊二酸(α-ketoglutarate,AKG)作为谷氨酰胺的前体物质,在溶液中具有良好的稳定性[2]。AKG 在谷氨酸脱氢酶或转氨酶的作用下生成谷氨酸,并进一步通过谷氨酰胺合成酶形成谷氨酰胺发挥谷氨酰胺的作用,这种转变在动物体内是迅速的,从而可以替代谷氨酰胺应用于生产实践[3]。目前关于 AKG 对仔猪[4-5]、断奶大鼠[6]等生长、肠道发育、免疫等方面的影响已有一些文献报道,而对水产动物的研究仍是一片空白。松浦镜鲤是黑龙江水产研究所在德国镜鲤选育系(F_4)的基础上选育的新品种,具有少鳞、生长速度快、体形好、养殖成活率高等优点。本试验拟以松浦镜鲤为研究对象,研究在不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响,以期为 AKG 替代谷氨酰胺应用于水产饲料提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

AKG:购自 Sigma-Aldrich 公司,白色粉末,纯度≥98.5%。

1.2　试验饲料

根据鲤鱼营养需求配制基础饲料,以蒸汽鱼粉为动物蛋白质源,豆粕为植物蛋白质源,混合油(磷脂:鱼油:豆油 =1.0:2.5:1.5)为脂肪源,以次粉和豆粕的添加比例调节饲料蛋白质水平。试验设 4 个蛋白质水平(28%、31%、34% 和 37%),每个蛋白质水平下设 3 个 AKG 浓度[0(对照)、0.75% 和1.50%],共配制 12 种试验饲料,其组成及营养水平见表 1。各饲料原料粉碎过 80 目筛,逐级混合均匀,再加入一定量的水分充分混合后用小型颗粒机挤压成直径为 2 mm 的颗粒饲料,常温风干后,－20 ℃保存备用。

表 1　试验饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)　%

项目 Items	蛋白质水平/α－酮戊二酸浓度 Protein level/AKG concentration											
	28%/0	28%/0.75%	28%/1.50%	31%/0	31%/0.75%	31%/1.50%	34%/0	34%/0.75%	34%/1.50%	37%/0	37%/0.75%	37%/1.50%
原料 Ingredients												
鱼粉 Fish meal	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00
豆粕 Soybean meal	19.20	19.45	19.70	29.00	29.50	29.90	40.00	40.00	40.00	50.00	50.25	50.50
次粉 Wheat middling	52.00	51.00	50.00	42.40	41.15	40.00	31.70	30.95	30.20	22.00	21.00	20.00
混合油 mixed oil	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
α－酮戊二酸 AKG		0.75	1.50		0.75	1.50		0.75	1.50		0.75	1.50
羧甲基纤维素 CMC	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
赖氨酸 Lys	0.60	0.60	0.60	0.40	0.40	0.40	0.20	0.20	0.20			
蛋氨酸 Met	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10			
预混料 Premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels												
粗蛋白质 CP	28.16	28.16	28.16	31.08	31.08	31.08	34.18	34.18	34.18	37.00	37.00	37.00
粗脂肪 EE	7.44	7.44	7.44	7.38	7.38	7.38	7.38	7.38	7.38	7.33	7.33	7.33

预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets:VA 8 000 IU,VC 500 mg,VD_3 3 000 IU,VE 60 mg,VK_3 5 mg,VB_1 15 mg,VB_2 30 mg,VB_6 15 mg,VB_{12} 0.5 mg,胆碱 choline chloride 5 000 mg,烟酰胺 nicotilamide 175 mg,*D*－生物素 *D*-biotin 2.5 mg,肌醇 inositol 1 000 mg,叶酸 folic acid 5 mg,泛酸 pantothenate acid 50 mg,Zn 60 mg,Cu 3 mg,Fe 25 mg,Mn 15 mg,I 0.6 mg,Mg 0.7 mg。

1.3 试验分组及饲养管理

试验用鱼购自黑龙江水产研究所呼兰试验站,养殖于黑龙江水产研究所养殖车间的可控温水循环系统中,水温 24 ℃左右,溶氧大于 5 mg/L,氨氮小于 0.1 mg/L,自然光照。试验前将松浦镜鲤经 3% 盐水消毒后在暂养池驯养 2 周,挑选体健无伤、规格整齐、平均体重为(61.28 ±3.40) g 的松浦镜鲤 720 尾,随机分成 12 组,每组 3 个重复,每个重复 20 尾鱼。12 组试验鱼分别投喂不同的试验饲料,每天饱食投喂,日投喂 3 次,分别为每天的 08:00、13:00、18:00,同时记录投喂量,投喂 30 min 后,收集残饵,烘干后称重,定期换水、消毒,确保水质良好。养殖周期为 8 周。

1.4 样品采集及指标测定

1.4.1 样品采集与处理

养殖试验结束后各组试验鱼饥饿 24 h 后采样。统计每缸鱼的总数、称总重后,随机取 3 尾鱼 -40 ℃冷冻保存,用于体成分分析;另随机取 3 尾鱼用浓度为 100 mg/L 的 MS-222(化学名称:间氨基苯甲酸乙酯甲磺酸盐)麻醉,称重、量体长后尾静脉取血,全血置于一次性试管中于 4 ℃冰箱中静置 1 ~2 h,3 500 r/min 离心 30 min,取上层血清分装于 1.5 mL 离心管中,暂存于 -20 ℃冰箱用于血清生化指标的测定;取内脏团和肝胰脏称重。计算出各组试验鱼的增重率、蛋白质效率、肝体指数、脏体指数、肥满度、饲料系数,各指标计算公式如下:

$$\text{增重率}(\%) = 100 \times (\text{末均重} - \text{初均重}) / \text{初均重};$$

$$\text{蛋白质效率}(\%) = 100 \times (\text{总末重} + \text{总死鱼重} - \text{总初重}) / (\text{总投饲量} \times \text{饲料蛋白质含量});$$

$$\text{脏体指数}(\%) = 100 \times \text{内脏重} / \text{体重};$$

$$\text{肝体指数}(\%) = 100 \times \text{肝胰脏重} / \text{体重};$$

$$\text{肥满度}(\%) = 100 \times \text{体重} / \text{体长}^3;$$

$$\text{饲料系数} = \text{总投饲量} / (\text{总末重} + \text{总死鱼重} - \text{总初重})。$$

1.4.2 指标测定

水分含量的测定采用 105 ℃烘箱干燥恒重法(GB/T 5009.3—2003);粗蛋白质含量的测定采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5—2003);粗脂肪含量的测定采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2003);粗灰分含量的测定采用 550 ℃高温灼烧法(GB/T 5009.4—2003)。

将制备好的血清样品送至黑龙江省电力医院,采用贝克曼 ProCX4 全自动生化分析仪进行测定。各指标测定方法如下:总蛋白(TP)含量的测定采用双缩脲法;白蛋白(ALB)含量的测定采用溴甲酚绿法;球蛋白(GLB)含量经计算得出,为 TP 与 ALB 含量的差值;谷丙转氨酶(ALT)和谷草转氨酶(AST)活性的测定采用速率法;甘油三酯(TG)和总胆固醇(TCHO)含量的测定采用酶法;碱性磷酸酶(ALP)活性的测定采用比色法;肌酐(CREA)含量的测定采用酶法;尿酸(UA)含量的测定采用磷钨酸还原法。

1.5 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 17.0 软件分析,以蛋白质水平和 AKG 浓度为影响因素,采用双因素方差分析和 Duncan 氏法多重比较进行统计,显著水平设定为 $P<0.05$。试验结果以平均值 ± 标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤生长性能的影响

由表 2 可以看出,各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 均有提高松浦镜鲤增重率、蛋白质效率和降低饲料系数的趋势,除 34% 蛋白质水平下松浦镜鲤增重率显著提高($P<0.05$)外,其余差异不显著($P>0.05$)。28%、31%、34% 和 37% 蛋白质水平下,0.75% 和 1.50% AKG 组增重率分别比对照组(未添加 AKG 组)提高了 10.71% 和 29.95%、5.49% 和 17.37%、42.04% 和 23.71%、2.41% 和 -9.27%,饲料系数降低了 -9.58% 和 5.39%、6.67% 和 9.63%、6.29% 和 5.59%、1.60% 和 4.80%。各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤肝体指数、脏体指数和肥满度均无显著影响($P>0.05$)。就松浦镜鲤的生长性能而言,蛋白质水平和 AKG 浓度之间不存在显著的交互作用($P>0.05$)。

表 2　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤生长性能的影响

Table 2　Effects of AKG supplementation in different protein level diets on growth performance of *Songpu* mirror carp

蛋白质水平 Protein level/%	α－酮戊二酸浓度 AKG concentration/%	增重率 WGR/%	肝体指数 HSI/%	脏体指数 VSI/%	肥满度 CF/%	蛋白质效率 PER/%	饲料系数 FCR
28	0	89.04±11.27^{a}	3.77±0.70^{e}	10.18±0.61^{abc}	3.31±0.56	2.47±0.66^{cde}	1.67±0.16^{cd}
28	0.75	98.58±22.53^{ab}	3.57±0.39^{e}	11.34±1.65^{c}	3.35±0.59	2.91±0.16^{ef}	1.58±0.11^{bcd}
28	1.50	115.71±19.94^{abcd}	3.57±0.27^{e}	10.75±0.43^{bc}	3.34±0.52	3.03±0.34^{f}	1.83±0.49^{d}
31	0	127.62±15.16^{abcd}	3.12±0.22^{d}	10.81±0.62^{bc}	3.24±0.23	2.40±0.12^{cde}	1.35±0.07^{ab}
31	0.75	134.62±22.71^{bcd}	2.80±0.45^{bcd}	9.76±0.82^{ab}	3.37±0.31	2.55±0.11^{cdef}	1.26±0.05^{ab}
31	1.50	149.79±20.48^{cd}	2.83±0.31^{cd}	11.22±1.91^{c}	3.36±0.62	2.66±0.23^{def}	1.22±0.11^{a}
34	0	113.81±25.78^{ab}	2.09±0.22^{a}	9.32±0.44^{a}	3.00±0.26	2.06±0.09^{abc}	1.43±0.06^{abc}
34	0.75	161.66±47.06^{d}	2.13±0.44^{a}	9.40±0.51^{a}	3.28±0.48	2.20±0.14^{bcd}	1.34±0.08^{ab}
34	1.50	140.79±32.59^{bcd}	2.39±0.21^{abc}	9.62±0.92^{ab}	3.41±0.64	2.18±0.09^{bcd}	1.35±0.05^{ab}
37	0	142.59±17.05^{bcd}	2.29±0.23^{a}	9.39±0.62^{a}	3.21±0.42	1.58±0.18^{a}	1.25±0.01^{ab}
37	0.75	146.03±2.36^{cd}	2.31±0.09^{a}	10.11±0.59^{abc}	3.14±0.26	1.71±0.12^{ab}	1.23±0.07^{a}
37	1.50	129.37±17.22^{abcd}	2.36±0.46^{ab}	9.67±1.36^{ab}	3.01±0.24	1.56±0.48^{a}	1.19±0.13^{a}
双因素方差分析(P 值) Two-way ANOVA (P-value)							
蛋白质水平 Protein level		0.005	0.000	0.000	0.541	0.000	0.000
α－酮戊二酸浓度 AKG concentration		0.171	0.524	0.403	0.668	0.135	0.612
交互作用 Interaction		0.400	0.519	0.108	0.087	0.749	0.709

同列数据同一蛋白质水平下肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),无或相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same column and the same protein level, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with no or the same small letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤体成分的影响

由表 3 可以看出,各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤全鱼体成分均无显著影响($P>0.05$)。蛋白质水平和 AKG 浓度的交互作用除对全鱼粗灰分含量有显著影响($P<0.05$)外,对其他体成分指标均无显著影响($P>0.05$)。

2.3　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤血清生化指标的影响

由表 4 可以看出,AKG 显著影响血清 ALT、AST 活性及 UA、TG 含量($P<0.05$)。蛋白质水平和 AKG 浓度的交互作用除对血清 UA 和 TG 含量有显著影响($P<0.05$)外,对其他各指标均无显著影响($P>0.05$)。28% 蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清 TG 含量显著低于对照组($P<0.05$),与 0.75% AKG 组差异不显著($P>0.05$)。31% 蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清 ALB 含量和 ALT 活性显著高于其他组($P<0.05$);0.75% 和 1.50% AKG 组血清 UA 和 TG 含量显著低于对照组($P<0.05$)。34% 蛋白质水平下,0.75% AKG 组血清 TP 和 TG 含量显著高于对照组($P<0.05$)。37% 蛋白质水平下,1.50% AKG 组血清 ALT 活性和 UA 含量显著高于其他组($P<0.05$);0.75% 和 1.50% AKG 组血清 AST 活性显著高于对照组($P<0.05$)。各个蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对血清 GLB、TCHO、CREA 含量及 ALP 活性均无显著影响($P>0.05$)。

3　讨　论

3.1　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤生长性能的影响

目前,AKG 对畜禽生产性能影响的报道较多。胡泉州等[7]研究表明,饲料添加 1% AKG 可以促进仔猪生长并减弱免疫应激对仔猪生长性能的影响。余亲平等[8]研究得出,在肉仔鸡饲粮中添加 0.7% AKG 可显著提高 2 周龄的体重及 1～2 周龄的平均日增重,其促生长效果优于 0.7% 谷氨酰胺。王金泉等[9]研究发现,中草药和 AKG 联合使

用比单独使用对断奶仔猪的促生长效果更明显，饲料回报率更高。此外，研究还表明，饲粮中添加1% AKG能显著缓解脂多糖应激对断奶仔猪生长的抑制作用[10]。

表3 不同蛋白质水平饲料中添加AKG对松浦镜鲤体成分的影响

Table 3 Effects of AKG supplementation in different protein level diets on body composition of *Songpu* mirror carp %

蛋白质水平 Protein level/%	α-酮戊二酸浓度 AKG concentration/%	水分 Moisture	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash
28	0	73.75±0.98^{abc}	13.32±2.60^{a}	7.08±0.37^{d}	3.04±0.09^{abc}
28	0.75	72.48±2.90^{ab}	15.61±2.16^{ab}	7.06±1.02^{d}	2.98±0.02^{ab}
28	1.50	75.34±1.14^{bc}	12.91±1.13^{a}	6.47±0.71^{cd}	3.06±0.26^{abc}
31	0	73.95±0.70^{abc}	14.59±2.97^{ab}	6.02±0.64^{abc}	3.19±0.14^{bc}
31	0.75	73.60±2.76^{abc}	13.54±1.03^{a}	6.36±1.00^{bcd}	2.98±0.03^{ab}
31	1.50	74.57±1.71^{abc}	14.28±3.19^{ab}	6.05±0.86^{abc}	3.24±0.24^{bc}
34	0	71.98±1.15^{a}	16.76±1.37^{b}	6.34±1.39^{bcd}	3.25±0.12^{bc}
34	0.75	74.10±1.76^{abc}	15.55±2.55^{ab}	5.31±0.34^{a}	3.30±0.26^{c}
34	1.50	74.75±0.44^{abc}	14.94±1.06^{ab}	5.39±0.52^{ab}	2.90±0.34^{a}
37	0	75.02±1.69^{abc}	14.62±1.98^{ab}	5.52±0.13^{abc}	3.04±0.07^{abc}
37	0.75	76.18±0.51^{c}	13.94±0.73^{ab}	5.17±0.91^{a}	3.02±0.19^{abc}
37	1.50	74.10±1.45^{abc}	14.59±1.21^{ab}	5.91±0.27^{abc}	3.08±0.09^{abc}
双因素方差分析（*P* 值）Two-way ANOVA（*P*-value）					
蛋白质水平 Protein level		0.248	0.069	0.000	0.198
α-酮戊二酸浓度 AKG concentration		0.322	0.582	0.345	0.509
交互作用 Interaction		0.168	0.380	0.119	0.012

表4 不同蛋白质水平饲料中添加AKG对松浦镜鲤血清生化指标的影响

Table 4 Effects of AKG supplementation in different protein level diets on serum biochemical indices of *Songpu* mirror carp

蛋白质水平 Protein level/%	α-酮戊二酸浓度 AKG concentration/%	总蛋白 TP/(g/L)	白蛋白 ALB/(g/L)	球蛋白 GLB/(g/L)	谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	谷草转氨酶 AST/(U/L)	尿酸 UA/(μmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	总胆固醇 TCHO/(mmol/L)	碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	肌酐 CREA/(μmol/L)
28	0	20.00±1.15^{a}	2.28±0.40^{ab}	17.73±1.27	5.12±1.73^{bc}	180.62±33.32^{bc}	42.66±12.38^{a}	3.19±0.71^{b}	4.20±0.21^{ef}	46.80±12.13	14.94±1.29
28	0.75	21.33±2.94^{ab}	2.05±0.30^{a}	19.38±2.92	4.43±1.57^{ab}	162.14±29.05^{abc}	26.86±6.31^{a}	2.86±0.19^{ab}	4.02±0.73^{def}	22.20±4.85	14.70±1.78
28	1.50	21.22±1.72^{ab}	2.26±0.45^{ab}	18.97±1.52	5.53±1.80^{c}	204.44±49.85^{c}	49.44±13.69^{ab}	2.67±0.24^{a}	4.62±0.96^{f}	56.86±33.94	16.54±1.96
31	0	20.55±2.74^{a}	2.07±0.48^{a}	18.65±2.68	2.43±0.81^{a}	160.00±24.53^{abc}	50.71±8.15^{b}	3.27±0.55^{b}	3.67±0.64^{bcde}	52.00±10.64	14.87±0.88
31	0.75	21.71±2.69^{ab}	1.90±0.29^{a}	19.64±2.28	2.44±1.13^{a}	150.22±20.65^{abc}	25.00±5.21^{a}	2.73±0.60^{a}	3.68±0.85^{abcd}	55.63±23.28	14.49±0.55
31	1.50	21.78±1.79^{ab}	2.36±0.48^{b}	19.42±1.84	4.67±1.06^{bc}	193.77±52.08^{bc}	24.22±4.21^{a}	2.81±0.32^{a}	3.74±0.47^{cde}	58.22±8.99	13.97±0.48
34	0	19.00±1.51^{a}	2.01±0.41^{a}	16.99±1.49	2.63±0.51^{a}	139.00±17.57^{ab}	37.13±7.18^{a}	2.70±0.25^{a}	3.03±0.40^{ab}	56.57±11.76	14.17±0.53

续表 4

蛋白质水平 Protein level/%	α－酮戊二酸浓度 AKG concentration/%	总蛋白 TP/(g/L)	白蛋白 ALB/(g/L)	球蛋白 GLB/(g/L)	谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	谷草转氨酶 AST/(U/L)	尿酸 UA/(μmol/L)	甘油三酯 TG/(mmol/L)	总胆固醇 TCHO/(mmol/L)	碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	肌酐 CREA/(μmol/L)
34	0.75	22.86±5.64^{b}	2.04±0.31^{a}	20.87±5.44	3.50±1.60^{a}	191.13±23.77^{bc}	28.00±2.66^{a}	3.16±0.73^{b}	3.42±0.77^{abc}	51.50±7.84	14.73±0.99
34	1.50	21.89±1.90^{ab}	1.89±0.23^{a}	20.00±1.79	3.11±0.86^{a}	180.78±54.43^{bc}	36.89±6.35^{a}	2.98±0.74^{ab}	3.40±0.37^{abcd}	49.57±8.99	13.50±0.70
37	0	21.11±2.32^{ab}	1.97±0.23^{a}	19.13±2.14	2.56±0.53^{a}	127.50±18.55^{a}	40.00±11.09^{a}	2.86±0.42^{ab}	2.88±0.36^{a}	49.57±16.52	13.59±0.59
37	0.75	20.12±3.27^{a}	2.26±0.36^{ab}	17.86±3.31	3.13±0.36^{a}	192.25±66.02^{bc}	30.59±7.56^{a}	3.00±0.44^{b}	3.17±0.50^{abc}	46.12±10.61	13.99±0.60
37	1.50	22.44±2.29^{b}	2.19±0.39^{ab}	20.26±2.26	5.56±1.35^{c}	194.50±52.86^{bc}	61.75±10.10^{b}	3.35±0.72^{b}	3.29±0.49^{abc}	52.67±8.48	13.40±0.40
双因素方差分析(P 值) Two-way ANOVA (P-value)											
蛋白质水平 Protein level		0.929	0.199	0.864	0.001	0.780	0.613	0.716	0.000	0.415	0.030
α－酮戊二酸浓度 AKG concentration		0.114	0.444	0.127	0.001	0.005	0.037	0.037	0.096	0.280	0.969
交互作用 Interaction		0.149	0.118	0.089	0.078	0.115	0.040	0.023	0.719	0.616	0.358

目前未见 AKG 在水产动物生产中应用的报道。本试验条件下,不同蛋白质水平下,饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤生长性能的影响不尽相同,可能与谷氨酰胺为条件性必需氨基酸有关。28%、31%和34%蛋白质水平下,添加 AKG 的各组松浦镜鲤的增重率与对照组相比均有所提高,其中,34%蛋白质水平下 0.75% AKG 组松浦镜鲤增重率显著高于对照组;37%蛋白质水平下,1.50% AKG 组松浦镜鲤增重率反而低于对照组。这可能是因为 AKG 直接用于氧化供能或直接排出体外而没有用于体增长。目前,未见关于 AKG 对水生动物营养利用率的报道,但在陆生动物上有相关报道。王金泉等[9]研究表明,AKG 可以促进饲粮中营养物质的吸收,对促进断奶仔猪的生长具有协同作用。本试验条件下,在饲料能量和蛋白质水平基本相同的情况下,随 AKG 浓度的增加饲料蛋白质效率有增加趋势,饲料系数有降低趋势,说明饲料中添加 AKG 对饲料利用有积极作用。

3.2　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤体成分的影响

Yao 等[11]研究表明 AKG 可以促进蛋白质的合成,而本试验条件下,鱼体的粗蛋白质含量相对稳定,受饲料 AKG 浓度影响较小,其原因可能为 Yao 等[11]的研究是以体外培养的猪肠道上皮细胞为研究对象,结果显示 AKG 可以促进细胞蛋白质合成,而本试验是以鱼体为研究对象,AKG 促进细胞合成的蛋白质并没有用于鱼体蛋白质的沉积。其具体代谢机制有待于进一步研究。

3.3　不同蛋白质水平饲料中添加 AKG 对松浦镜鲤血清生化指标的影响

血清 TP 包括 ALB 和 GLB,具有运输多种代谢产物,维持血管内正常胶体渗透压和酸碱度等多种生理功能。本试验条件下,31%蛋白质水平下,饲料添加 1.50% AKG 可以显著提高血清中 ALB 含量;34%蛋白质水平下,饲料添加 0.75% AKG 可以显著提高血清中 TP 和 GLB 含量。这表明,一定蛋白质水平下,饲料添加 AKG 可以促进松浦镜鲤蛋白质的合成。这与黄冠庆等[12]在鸡上的研究结果一致。血清中非蛋白质类含氮物主要包括尿素、UA 等,其含量可以反映体内蛋白质分解代谢和肾功能情况,当饲料氨基酸平衡时,血清尿素氮及 UA 含量下降[13]。本试验条件下,饲料添加 AKG 后松浦镜鲤血清中 UA 含量均有不同程度的降低,表明饲料添加 AKG 有利于氨基酸平

衡,有利于蛋白质代谢。ALT 和 AST 是动物体内最主要的 2 个转氨酶,在氨基酸代谢方面发挥重要作用,是反映蛋白质代谢利用率的重要指标[14]。当饲料中蛋白质水平升高时,氨基酸代谢强度增加,从而造成转氨酶活性升高[15]。本试验中,饲料中添加 AKG 可以显著提高血清中 ALT 和 AST 活性,表明饲料中添加 AKG 有利于促进松浦镜鲤肝胰脏氨基酸代谢,提高蛋白质利用率,促进蛋白质合成。以上结果表明,饲料中添加一定量的 AKG 可以促进松浦镜鲤蛋白质代谢。

TG 和 TCHO 的含量反映了动物体内脂肪沉积的情况[16]。低蛋白质水平(28%、31%)下饲料添加 AKG 可以显著降低血清中 TG 含量,而高蛋白质水平(34%、37%)下饲料添加 AKG 虽有升高血清中 TG 含量的趋势,但差异不显著,以上结果表明在低蛋白质水平饲料中添加 AKG 有利于降低松浦镜鲤血脂,利于鱼体健康。CREA 是肌肉组织中储能物质肌酸代谢的终产物,血清 CREA 的含量能反映肾脏的排泄功能。血清中的 ALP 主要来自骨骼,由成骨细胞产生。ALP 经肝胆系统进行排泄。所以当 ALP 产生过多或排泄受阻时,均可使血中 ALP 活性发生变化。本试验条件下,饲料中添加 AKG 未对血清中 CREA 含量、ALP 活性产生显著影响,表明饲料中添加 AKG 未对松浦镜鲤产生负面影响。

4 结 论

饲料中添加适量的 AKG 可以在一定程度上提高松浦镜鲤的增重率和蛋白质效率,降低饲料系数,促进鱼体蛋白质和脂肪代谢。

参考文献:

[1] 谭文军,吴金生. 谷氨酰胺的代谢及在肠外营养液中应用的进展[J]. 肠外与肠内营养,2001,8(1):41-43.

[2] WU G,MEIER S A,KNABE D A. Dietary glutamine supplementation prevents jejunal atrophy in weaned pigs[J]. The Journal of Nutrition,1996,126(10):2578-2584.

[3] KRISTENSEN N B,JUNGVID H,FERNANDEZ J A,et al. Absorption and metabolism of α-ketoglutarate in growing pigs[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2002,86(7/8):239-245.

[4] HOU Y Q,WANG L,DING B Y,et al. Dietary α-ketoglutarate supplementation ameliorates intestinal injury in lipopolysaccharide-challenged piglets[J]. Amino Acids,2010,39(2):555-564.

[5] BUDDINGTON R K,PAJOR A,BUDDINGTON K K,et al. Absorption of α-ketoglutarate by the gastrointestinal tract of pigs[J]. Comparative Biochemistry and Physiology,Part A:Molecular & Integrative Physiology,2004,138(2):215-220.

[6] SEGAUD F,COMBARET L,NEVEUX N,et al. Effects of ornithine α-ketoglutarate on protein metabolism in Yoshida sarcoma-bearing rats[J]. Clinical Nutrition,2007,26(5):624-630.

[7] 胡泉州,侯永清,丁斌鹰,等. α-酮戊二酸对仔猪小肠组织学形态与功能的影响[J]. 动物营养学报,2008,20(6):662-667.

[8] 余亲平,陈雁群,谢金蝉,等. 日粮添加 α-酮戊二酸对肉仔鸡生长性能及组织器官发育的影响[J]. 中国畜牧兽医,2010,37(10):10-14.

[9] 王金泉,项方献,姚刚. 中草药结合 AKG 对断奶仔猪生长及消化吸收功能的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(5):27-31.

[10] 刘坚,侯永清,丁斌鹰,等. α-酮戊二酸对脂多糖应激断奶仔猪生长抑制的缓解作用[J]. 动物营养学报,2009,21(4):519-524.

[11] YAO K,YIN Y L,LI X L,et al. Alpha-ketoglutarate inhibits glutamine degradation and enhances protein synthesis in intestinal porcine epithelial cells[J]. Amino Acids,2012,42(6):2491-2500.

[12] 黄冠庆,余亲平,陈雁群,等. α-酮戊二酸对黄羽肉鸡饲料代谢能和蛋白质代谢的影响[J]. 中国饲料,2012(18):22-24.

[13] 李忠荣,陈婉如,叶鼎承,等. 低蛋白质补充氨基酸饲粮对北京鸭生长性能、血清生化指标及粪氮含量的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(2):319-325.

[14] 唐玲,徐奇友,王常安,等. 不同水温和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.

[15] ABDEL-TAWWAB M,AHMAD M H,KHATTAB Y A,et al. Effect of dietary protein level,initial body weight,and their interaction on the growth,feed utilization,and physiological alterations of Nile tilapia,*Oreochromis niloticus*(L.)[J]. Aquaculture,2010,298(3/4):267-274.

[16] 姜柯君,王际英,张利民,等. 饲料中添加小肽对星斑川鲽幼鱼生长性能、体组成及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报,2013,25(1):222-230.

Effects of α-Ketoglutarate Supplementation in Different Protein Level Diets on Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemical Indices of *Songpu* Mirror Carp

WEI Yingying[1,2]　XU Qiyou[2*]　LI Jinnan[2]　WANG Chang'an[2]　LUO Liang[2]　ZHAO Zhigang[2]

(1. *College o f Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai* 201306, *China*; 2. *Laboratory of Animal Nutrition, Heilongjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Harbin* 150070, *China*)

Abstract: This experiment was aimed to study the effects of α-ketoglutarate (AKG) supplementation in different protein level diets on growth performance, body composition and serum biochemical indices of *Songpu* mirror carp. Four protein levels (28%, 31%, 34% and 37%, respectively) were designed in the experiment, and 3 AKG concentrations [0 (control), 0.75% and 1.50%, respectively] were designed under each protein level. A total of 720 *Songpu* mirror carp with an average body weight of (61.28 ± 3.40) g were divided into 12 groups with 3 replicates per group and 20 fish per replicate. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: under each protein level, AKG supplementation showed a tendency to increase weight gain rate (WGR) and protein efficiency ratio (PER) and decrease feed conversion ratio (FCR) of *Songpu* mirror carp, but the differences were not significant ($P>0.05$) except the WGR under the 34% protein level ($P<0.05$). AKG supplementation had no significant effects on hepatosomatic index (HSI), visceralsomatic index (VSI) and condition factor (CF) under each protein level ($P>0.05$). Under the 28% protein level, the serum triglyceride (TG) content in 1.50% AKG group was significantly lower than that in control group ($P<0.05$), but there was no significant difference between 0.75% and 1.50% AKG groups ($P>0.05$). Under the 31% protein level, the serum albumin (ALB) content and alanine aminotransferase (ALT) activity in 1.50% AKG group were significantly higher than those in other groups ($P>0.05$); the serum uric acid (UA) and TG contents in 0.75% and 1.50% AKG groups were significantly lower than those in control group ($P<0.05$). Under the 34% protein level, the serum total protein (TP) and TG contents in 0.75% AKG group were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). Under the 37% protein level, the serum ALT activity and UA content in 1.50% AKG group were significantly higher than those in other groups ($P<0.05$); the serum aspartate aminotransferase (AST) activity in 0.75% and 1.50% AKG groups was significantly higher than that in control group ($P<0.05$). AKG supplementation had no significant effects on serum globulin (GLB), cholesterol (TCHO) and creatinine (CREA) contents and alkaline phosphatase (ALP) activity under each protein level ($P>0.05$). The interaction of the protein level and AKG concentration had significant effects on whole fish ash and serum UA and TG contents ($P<0.05$), and had no significant effects on other body composition indices and serum biochemical indices ($P>0.05$). It is concluded that suitable supplementation of AKG in diets can improve WGR and PER, reduce FCR, and promote protein and fat metabolism of *Songpu* mirror carp to some extent. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(12):2958-2965**]

Key words: α-ketoglutarate; *Songpu* mirror carp; growth performance; body composition; serum biochemical indices

* Corresponding author, professor, E-mail: xuqiyou@sina.com

(编辑　管景颖)