

袁华根, 安 东, 徐亚亚, 等. 日粮添加  $\alpha$ -酮戊二酸制剂对肉鸡生长性能及消化、代谢的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(16): 174-179.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.16.026

# 日粮添加 $\alpha$ -酮戊二酸制剂对肉鸡生长性能及消化、代谢的影响

袁华根<sup>1,2</sup>, 安 东<sup>2</sup>, 徐亚亚<sup>1</sup>, 高 峰<sup>2</sup>

(1. 江苏农牧科技职业学院, 江苏泰州 225300; 2. 南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

**摘要:**采取单因素试验设计, 选取 192 羽健康 1 日龄 AA 肉仔鸡, 随机分为 4 个处理组: 对照组 (饲喂基础日粮)、0.2% AKG ( $\alpha$ -酮戊二酸) 制剂添加组、0.4% AKG 制剂添加组、0.8% AKG 制剂添加组。每个处理 6 个重复, 每个重复 8 羽鸡, 试验期为 42 d。结果显示, 日粮添加 AKG 制剂显著提高了肉鸡 1~21 d 的平均日增质量 ( $P<0.05$ ), 日粮添加 0.8% AKG 制剂显著降低了 21~42 d 和 1~42 d 的料质量比 ( $P<0.05$ )。日粮添加 AKG 制剂显著提高了 18~20 d 肉鸡的粗蛋白、粗灰分、干物质的表观代谢率 ( $P<0.05$ ), 日粮添加 0.8% AKG 制剂显著提高了 39~41 d 粗脂肪的表观代谢率 ( $P<0.05$ ), 日粮添加 0.4% AKG 制剂显著提高粗灰分、干物质的表观代谢率 ( $P<0.05$ )。日粮添加 0.8% AKG 制剂显著提高了 21 d 肉鸡的空肠相对长度 ( $P<0.05$ ), 日粮添加 AKG 制剂显著提高了 42 d 肉鸡的肌胃、空肠、回肠的相对质量 ( $P<0.05$ )。日粮添加 0.8% AKG 制剂显著提高了 42 d 肉鸡胰腺的胰蛋白酶活性 ( $P<0.05$ )。日粮添加 0.8% AKG 制剂显著提高了肉鸡血清中血糖的含量 ( $P<0.05$ ), 显著降低了 42 d 肉鸡血清中碱性磷酸酶的活性 ( $P<0.05$ )。因此, 日粮添加 AKG 制剂能够提高肉鸡体增质量并降低料质量比, 改善生长性能; 且能够提高肉鸡的表观代谢率和胰蛋白酶活性, 促进器官发育并增强肉鸡的消化和代谢功能。

**关键词:**  $\alpha$ -酮戊二酸; 肉鸡; 生长性能; 消化; 代谢

**中图分类号:** S831.5    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2022)16-0174-06

$\alpha$ -酮戊二酸 (AKG) 是谷氨酸和谷氨酰胺的前体物质。大量研究表明, AKG 在机体与组织的蛋白质合成中起着重要作用, 具有促进动物生长、维持肠道屏障完整及增强机体抗氧化能力与免疫能力等功能, 其机理是谷氨酸可作为编码氨基酸调控蛋白质合成, 促进动物体组织器官的生长发育。同时, L-谷氨酸又可作为谷氨酰胺的前体物质<sup>[1-2]</sup>。谷氨酰胺既能作为构成蛋白质的氨基酸, 又能参与核酸和糖蛋白的合成, 同时具有维持体内酸碱平衡、保持小肠黏膜正常的结构和功能、增强免疫功能等功能<sup>[3]</sup>。目前, 大多数有关 AKG 的研究均采用

化学合成法生产的 AKG 作为添加剂, 而微生物发酵法生产出的 AKG 相比于化学合成的 AKG 具有生产成本低、合成过程安全、环保等优点。本试验以 AA 白羽肉鸡为试验对象, 研究日粮添加生物发酵法生产的 AKG 制剂对肉鸡生长性能及对肉鸡养分表观消化率、组织器官发育、胰腺消化酶活性及血液指标的影响, 为微生物发酵法生产的 AKG 在生产实践中的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2018 年在江苏省南京市康欣禽业有限公司青龙山鸡场进行; 试验动物为爱拔益加 (Arbor Acres, AA) 1 日龄雏鸡, 由南京康欣禽业有限公司提供;  $\alpha$ -酮戊二酸制剂 (AKG, 有效含量 293 g/kg), 由江苏省宜兴协联生物化学有限公司研发中心提供。

### 1.2 试验设计

本试验采取单因素试验设计, 选取 192 羽体质量无显著差异的健康 1 日龄 AA 肉仔鸡, 随机分为 4 个处理, 其中, 对照组饲喂基础日粮, 处理组是在基

收稿日期: 2021-09-24

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设专项 (编号: JATS[2021]459); 江苏部分地区禽源大肠杆菌分子流行病学调查及致病性研究项目 (编号: NSF201906)。

作者简介: 袁华根 (1981—), 男, 江苏泰州人, 硕士, 副教授, 主要从事畜禽营养调控与健康养殖研究, E-mail: 420136709@qq.com; 共同第一作者: 安 东 (1991—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 硕士, 主要从事家禽营养调控研究, E-mail: 569842787@qq.com。

通信作者: 高峰, 教授, 博士生导师, 主要从事动物营养调控研究。E-mail: gaofeng0629@sina.com。

础日粮的基础上分别添加 0.2%、0.4%、0.8% 的 AKG 制剂,基础日粮参照 NRC(1994) 进行配制。每个处理 6 个重复,每重复 8 羽鸡。试验期为 42 d。肉仔鸡的饲养按《AA 肉鸡饲养管理手册》进行,双层笼养,自由采食和饮水,自然光照加白炽灯补光,光照度为 30 lx,1~7 d 每天光照 24 h,8 d 后每天光一暗周期为 23 h—1 h。第 1 周室温控制在 32~34 ℃,然后每周降低 2~3 ℃,21 d 时室温约为 22 ℃。按常规的肉仔鸡免疫程序进行免疫。

### 1.3 样品采集

在饲养试验 21 d 和 42 d,每个重复中随机挑选 2 羽体质量接近于该重复平均体质量的肉鸡,进行屠宰采样。颈静脉放血于 2 支干净 10 mL 离心管中(1 支加入抗凝剂 1 支不加),4 ℃,3 000 r/min 离心 10 min,取上清液分装于 -20 ℃ 冰箱中保存待测。然后将上述处死的肉鸡完整剥离肌胃、腺胃、胸腺、脾脏、肝脏、胰腺、法氏囊,并剔除筋膜和毗邻脂肪组织,再用滤纸吸干血水后称质量并记录;在碎冰上分离收集十二指肠(U 形弯曲段)、空肠和回肠(至回盲连结处)等消化器官,然后剔除筋膜和毗邻脂肪组织并清除内容物,再用滤纸吸干血水后分别称质量并记录。

### 1.4 指标测定与方法

1.4.1 生长性能测定 按重复分别在 21、42 d 早晨饲喂前空腹称质量、结料,并计算平均日增质量(ADG)、平均日采食量(ADFI)和料质量比(F/G)。

1.4.2 养分表观代谢率的测定 18 日龄和 39 日龄时连续收集 3 d 粪便,粪样收集后装入塑料袋中,封口储存于 -20 ℃ 冰箱内。同一重复的粪样解冻后立即混匀,于 65 ℃ 干燥箱内干燥 24 h,放置室温回潮 24 h,粉碎后制成风干样品,用于养分测定。养分表观代谢率测定采用内源指示剂法(酸不溶灰分法,AIA)。测定饲料及粪样的粗脂肪、粗蛋白、粗灰分、干物质的含量。采用乙醚浸提法测定粗脂肪含量,凯氏定氮法测定粗蛋白的含量。计算粗蛋白、粗脂肪、粗灰分、干物质的表观代谢率。

1.4.3 器官的相对质量和相对长度 各个器官的相对质量的计算方法为器官绝对质量(g)与体质量(kg)的比值;肠道各段的相对长度的计算方法为肠道绝对长度(cm)与体质量(kg)的比值。

1.4.4 胰腺消化酶活性测定 采用 M124A 型电子分析天平准确称取胰腺样品 0.3 g 置于 10 mL 离心管中,向离心管中加入 2.7 mL 预冷的 0.75% 生理

盐水,在冰浴的情况下采用 PRO 200 匀浆机 2 500 r/min 进行匀浆。然后采用高速冷冻离心机 3 000 r/min 离心 10 min,取上清液得到 10% 组织匀浆液,分装于 -20 ℃ 冰箱待测。采用南京建成生物工程研究所的试剂盒分别测定胰腺中淀粉酶活力、脂肪酶活力和胰蛋白酶活力,测定方法严格按照试剂盒使用说明书进行。样品蛋白含量使用南京建成生物工程研究所的考马斯亮蓝试剂盒进行测定。

### 1.4.5 血清生化指标以及血浆激素水平的测定

血清中的葡萄糖(GLU)、谷丙转氨酶(ALT)、谷草转氨酶(AST)、总蛋白、白蛋白、尿酸(UA)、碱性磷酸酶(AKP)采用试剂盒测定,测定步骤按照南京建成生物工程研究所试剂盒说明书进行。

血浆中胰岛素(INS)、胰高血糖素(GC)、三碘甲状腺原氨酸(T3)、甲状腺素(T4)采用酶联免疫法测定,试剂盒均购自南京晚晴化玻仪器公司。

### 1.5 数据统计与分析

所有数据先用 Microsoft Excel 软件进行初步整理,然后再用 SPSS 22.0 的 one-way ANOVA 程序对 4 个试验组的均值进行单因子方差分析,均值的多重比较采用 Duncan's 法进行,数据表示为“ $\bar{x} \pm s$ ”。

## 2 结果与分析

### 2.1 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡生长性能的影响

由表 1 可知,1~21 d 中,0.2% AKG、0.4% AKG、0.8% AKG 组平均日增质量均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。21~42 d 中,对照组 F/G 显著高于 0.8% AKG 组( $P < 0.05$ )。1~42 d,对照组 F/G 显著高于 0.8% AKG 组( $P < 0.05$ )。1~21 d 中,ADFI、F/G 结果差异均不显著。21~42 d 和 1~42 d,ADG、ADFI 结果差异均不显著。

### 2.2 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡表观代谢率的影响

由表 2 可知,18~20 d 中,0.2% AKG、0.4% AKG、0.8% AKG 组粗蛋白 CP、粗灰分 ASH、干物质 DM 表观代谢率均显著高于对照组( $P < 0.05$ )。39~41 d 中,0.8% AKG 组粗脂肪 EE 表观代谢率显著高于对照组( $P < 0.05$ );0.4% AKG 组粗灰分 ASH、干物质 DM 表观代谢率显著高于对照组( $P < 0.05$ )。18~20 d 中,粗脂肪 EE 表观代谢率结果差异不显著,39~41 d,粗蛋白 CP 表观代谢率结果差异不显著。

### 2.3 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡器官发育的影响

#### 2.3.1 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡肠道相对长度的

表 1 AKG 制剂对肉鸡生长性能的影响

项目	初质量	42 d 体质量	1~21 d			21~42 d			1~42 d		
			ADG (g)	ADFI (g)	F/G (g/g)	ADG (g)	ADFI (g)	F/G (g/g)	ADG (g)	ADFI (g)	F/G (g/g)
对照组	43.13	1 922.96	31.99b	45.60	1.43	57.58	126.69	2.20a	44.79	86.15	1.92a
0.2% AKG	41.77	1 896.61	33.73a	46.97	1.39	54.59	119.26	2.19a	44.16	83.12	1.88ab
0.4% AKG	42.40	1 875.92	34.26a	48.50	1.42	53.08	113.16	2.13ab	43.67	80.83	1.85ab
0.8% AKG	41.92	1 976.17	34.55a	48.31	1.40	57.56	116.79	2.03b	46.05	82.55	1.80b
标准差	0.21	17.64	0.28	0.57	0.13	0.78	1.86	0.02	0.42	0.93	0.01
P 值	0.179	0.303	0.018	0.483	0.946	0.190	0.218	0.036	0.303	0.522	0.031

注:同列平均值肩标不同小写字母表示各组间差异显著( $P<0.05$ )。下表同。

表 2 AKG 制剂对肉鸡养分表观代谢率的影响

项目	18~20 d 表观代谢率(%)				39~41 d 表观代谢率(%)			
	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	干物质	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	干物质
对照组	60.29b	68.97	16.07b	67.13b	65.61	70.48b	31.41b	71.26b
0.2% AKG	66.73a	72.40	30.05a	74.43a	65.59	74.77ab	30.16b	73.53b
0.4% AKG	67.54a	72.90	30.60a	75.35a	68.39	74.96ab	42.99a	80.62a
0.8% AKG	67.54a	72.68	36.16a	76.13a	66.76	76.50a	36.08ab	74.84b
标准差	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.32	0.01
P 值	0.007	0.312	0.004	0.001	0.352	0.018	0.014	0.002

影响 由表 3 可知,21 d 0.8% AKG 组空肠相对长度显著高于 0.2% AKG 和对照组( $P<0.05$ )。21 d 十二指肠、回肠相对长度结果差异均不显著,42 d 十二指肠、空肠、回肠相对长度结果差异均不显著。

表 3 AKG 制剂对肉鸡肠道相对长度的影响

项目	21 d 时肠道相对长度 (cm/kg)			42 d 时肠道相对长度 (cm/kg)		
	十二指肠	空肠	回肠	十二指肠	空肠	回肠
对照组	35.68	71.61b	73.81	16.74	39.29	36.11
0.2% AKG	35.23	75.55b	70.51	17.87	40.40	37.18
0.4% AKG	33.09	78.15ab	63.16	17.77	35.50	35.23
0.8% AKG	35.35	83.71a	66.00	18.07	36.50	36.74
标准差	0.59	1.42	1.71	0.39	0.84	0.79
P 值	0.253	0.018	0.125	0.637	0.132	0.844

2.3.2 日粮添加 AKG 对肉鸡器官相对质量的影响 由表 4 可知,21 d 时,日粮添加 AKG 制剂对于肉鸡器官相对质量均无显著影响。42 d 时,0.2% AKG、0.4% AKG、0.8% AKG 组肌胃相对质量均显著高于对照组( $P<0.05$ );0.2% AKG 与 0.8% AKG 组空肠相对质量显著高于对照组( $P<0.05$ );0.4%、0.8% AKG 组回肠相对质量显著高于对照组和 0.2% AKG 组( $P<0.05$ ),其他结果差异均不

显著。  
2.4 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡胰腺消化酶活性的影响

由表 5 可知,42 d 时,0.2%、0.4%、0.8% AKG 组胰蛋白酶活性显著高于对照组( $P<0.05$ );其他结果差异均不显著。

2.5 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡血清生化指标以及血液激素水平的影响

由表 6 可知,21 d 时,0.8% AKG 组血清中血糖含量显著高于对照组( $P<0.05$ )。42 d 时,0.2% AKG、0.8% AKG 组血清中血糖含量显著高于对照组( $P<0.05$ );0.4%、0.8% AKG 组血清碱性磷酸酶活性显著低于对照组( $P<0.05$ );其他结果差异均不显著。

由表 7 可知,与对照组相比,21 d 和 42 d 的 0.2%、0.4%、0.8% AKG 组的胰岛素、胰高血糖素、T3 和 T4 等血液激素指标无显著差异。

3 讨论

3.1 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡生长性能的影响 已有研究表明,日粮添加 AKG 可提高畜禽的生长性能,余亲平等研究表明,0.7% AKG 日粮可显著

表 4 AKG 制剂对肉鸡器官相对质量的影响

时间 (d)	项目	相对质量(g/kg)								
		肝脏	脾脏	肌胃	腺胃	胸腺	法氏囊	十二指肠	空肠	回肠
21	对照组	25.00	1.17	23.97	6.04	2.48	2.21	6.76	16.25	12.23
	0.2%	25.12	0.95	23.28	5.68	1.95	2.56	5.06	16.63	11.61
	0.4%	24.19	0.97	24.48	6.06	2.65	2.33	6.70	16.40	11.05
	0.8%	24.90	1.21	24.75	5.71	2.48	2.65	6.90	16.59	11.50
	标准差	0.34	0.37	0.34	0.10	0.12	0.08	0.18	0.30	0.22
	<i>P</i> 值	0.778	0.160	0.455	0.396	0.197	0.218	0.360	0.969	0.187
42	对照组	21.23	1.25	16.28b	4.30	1.56	1.19	5.60	10.84b	8.81b
	0.2%	21.53	1.49	18.52a	4.38	1.46	1.07	5.39	12.59a	7.57b
	0.4%	21.54	1.81	18.45a	3.90	1.62	1.06	5.43	11.37ab	10.35a
	0.8%	22.83	1.50	19.10a	4.44	1.50	1.13	5.48	12.82a	11.10a
	标准差	0.48	0.09	0.31	0.10	0.09	0.07	0.18	0.28	0.29
	<i>P</i> 值	0.663	0.160	0.006	0.209	0.925	0.905	0.979	0.026	0.001

表 5 AKG 制剂对肉鸡胰淀粉酶、脂肪酶和蛋白酶活力的影响

项目	21 d 时活力(U/L)			42 d 时活力(U/L)		
	胰淀粉酶	胰脂肪酶	胰蛋白酶	胰淀粉酶	胰脂肪酶	胰蛋白酶
对照组	408.86	1.56	639.84	438.18	1.29	701.92c
0.2%	409.36	2.06	1033.31	454.40	1.79	935.62b
0.4%	526.23	1.72	807.27	397.34	1.16	907.58b
0.8%	453.84	1.89	938.20	470.54	2.29	1 146.27a
标准差	23.21	0.22	97.85	20.26	0.17	45.96
<i>P</i> 值	0.242	0.887	0.544	0.643	0.056	0.010

表 6 AKG 制剂对肉鸡血清生化指标的影响

时间 (d)	项目	血糖含量 (mmol/L)	谷丙转氨酶 活性(U/L)	谷草转氨酶 活性(U/L)	总蛋白含量 (g/L)	白蛋白含量 (g/L)	球蛋白含量 (g/L)	尿酸含量 (mmol/L)	碱性磷酸酶 活性(U/L)
21	对照组	9.44b	7.07	177.11	38.1	11.98	29.06	0.54	661.16
	0.20%	11.61ab	7.78	202.5	40.85	13.92	30.09	0.54	667.38
	0.40%	12.61ab	6.1	209.62	40.26	14.66	27.79	0.58	715.57
	0.80%	15.03a	8.13	216.42	44.12	13.88	28.56	0.67	718
	SEM <sup>1</sup>	0.66	0.42	13.06	2.28	0.41	2.24	0.04	2.29
	<i>P</i> 值	0.018	0.347	0.756	0.839	0.117	0.988	0.561	0.45
42	对照组	7.95b	4.75	241.69	43.98	12.48	32.56	0.44	373.42a
	0.20%	10.90b	5.89	198.79	40.21	14.04	26.76	0.42	249.114ab
	0.40%	10.09ab	5.5	232.95	43	13.41	32.13	0.53	242.26b
	0.80%	12.02a	6.66	232.24	40.68	13.46	27.71	0.47	185.35b
	SEM <sup>1</sup>	0.49	0.82	15.41	1.28	0.24	1.24	0.04	3.29
	<i>P</i> 值	0.022	0.887	0.794	0.695	0.145	0.233	0.807	0.033

提高肉鸡 1 ~ 2 周龄的平均日增质量,并且 0.7% AKG 添加量促生长效果比添加同等剂量的谷氨酰胺效果更好,但对后期生长性能无明显作用<sup>[4]</sup>;胡泉舟等研究表明,在日粮添加 1% AKG 能够提高仔

表 7 AKG 制剂对肉鸡血液激素指标的影响

项目	21 d				42 d			
	胰岛素含量 (mU/L)	胰高血糖素含量 (pg/mL)	T3 含量 (pmol/L)	T4 含量 (pmol/L)	胰岛素含量 (mU/L)	胰高血糖素含量 (pg/mL)	T3 含量 (pmol/L)	T4 含量 (pmol/L)
对照组	15.31	48.96	266.98	1 025.49	13.11	45.76	368.97	1 150.96
0.2%	15.43	47.68	263.35	1 031.34	14.24	45.03	277.36	1 229.59
0.4%	15.59	47.77	276.73	1 061.46	13.67	44.27	353.11	1 161.83
0.8%	14.61	48.81	271.29	1 096.59	13.19	45.03	360.36	1 120.01
SEM <sup>1</sup>	0.53	0.92	4.50	26.57	0.34	0.67	9.13	33.39
P 值	0.936	0.953	0.785	0.806	0.658	0.913	0.836	0.740

猪日增质量等生长性能<sup>[5]</sup>。本试验中,在 1~21 d,日粮添加 0.2% AKG、0.4% AKG、0.8% AKG 可显著提高肉鸡的平均日增质量,结果与余亲平等的研究<sup>[4]</sup>一致。在 21~42 d,日粮添加 0.8% AKG 可显著降低料质量比,提高饲料利用率。在 1~42 d 中,日粮添加 0.8% AKG 可显著降低料质量比,提高饲料利用率。研究表明,AKG 可参与机体内的三羧酸循环为机体提供能量,也可合成谷氨酸、脯氨酸及谷氨酰胺等,其中,谷氨酰胺可作为生物体内所有细胞的能量来源,尤其是在胃肠道细胞中谷氨酰胺更是重要的能量来源。AKG 还可通过谷氨酸增加脯氨酸残基池促进胶原蛋白合成,约 25% 外源 AKG 在肠上皮细胞中转化为脯氨酸,而脯氨酸是胶原蛋白的主要合成底物,在胶原蛋白代谢中起核心作用<sup>[6]</sup>。此外,有研究报道,AKG 可显著增加血液中胰岛素(Insulin)、生长激素(GH)和胰岛素样生长因子(IGF-1)等激素的水平<sup>[7]</sup>。因此,日粮添加 AKG 提升动物生长性能的主要原因可能是由于在小肠前段被迅速吸收为肠道细胞供能,合成谷氨酸、脯氨酸等必需氨基酸促进机体蛋白合成及早期骨骼生长,提升血液生长激素水平促进肉鸡生长。

3.2 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡表观代谢率的影响

养分表观代谢率是衡量畜禽对于饲料的消化吸收能力的主要指标,畜禽对于养分的消化代谢吸收能力越强就越有利于畜禽的生长。黄冠庆等研究表明,通过饮水方式每天每羽供给 2 g AKG 可提高黄羽肉鸡饲料净蛋白利用率,并提高饲料表观代谢能<sup>[8]</sup>。刘少娟等也报道,对断奶仔猪添加 1% AKG 和 0.5% 大蒜素能显著提高粗蛋白的表观消化率<sup>[9]</sup>。本试验中,在 18~20 d 中,日粮添加 AKG 制剂可以显著提高粗蛋白、粗灰分、干物质、粗纤维的表观代谢率。在 39~41 d 中,日粮添加 0.8% AKG 制剂可显著提升粗脂肪的表观代谢率;添加

0.4% AKG 制剂可显著提升粗灰分、干物质的表观代谢率,原因可能是 AKG 可为肠道黏膜细胞供能促进黏膜生长,增加营养物质与肠道的接触面积,进而增强肠道对于营养物质的吸收功能,从而促进营养物质的代谢吸收。此外有研究表明,AKG 的主要产物谷氨酰胺可作为胰腺的能量底物,可提高小肠蛋白酶、胰蛋白酶、胰淀粉酶及胰脂肪酶的活性,进一步提高对养分的消化能力<sup>[10]</sup>。

3.3 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡器官发育的影响

组织器官的长度指数与质量指数可反映组织器官各部位的宏观发育情况,组织器官是动物体生命活动的基础,组织器官的发育状况直接影响了肉鸡的生长速度及健康情况,而组织器官的长度与质量指数可在一定程度上反映动物的营养状况及生理功能状态<sup>[11]</sup>。本试验中,21 d 时,日粮添加 0.8% AKG 制剂可显著提高空肠相对长度。但对于十二指肠相对长度并无显著影响,这结果与余亲平等的结果<sup>[4]</sup>并不一致,原因可能是 AKG 添加量不足或 AKG 对于小肠的促发育效果更多体现在肉鸡 2 周龄以前。在 42 d 时,日粮添加 AKG 制剂可显著提高肌胃相对质量;日粮添加 0.2% AKG 与 0.8% AKG 制剂可显著提高空肠相对质量。原因可能由于 AKG 的产物谷氨酰胺可调节机体蛋白质沉积,谷氨酰胺在血液中运输氨至内脏器官中,为嘌呤、嘧啶等提供前体物质,是蛋白质含量增加的物质基础,从而促进机体器官的发育<sup>[12]</sup>。

3.4 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡胰腺消化酶活性的影响

肉鸡肠道内的消化酶以胰蛋白酶、胰脂肪酶和胰淀粉酶为主。胰蛋白酶是肠道内的主要蛋白水解酶。而胰腺则是动物体内消化酶的主要合成和分泌部位,胰腺中各消化酶的活性可一定程度上反映肠道对于营养物质的吸收能力。本试验中,日粮

添加 AKG 制剂可显著提升胰蛋白酶活性。

### 3.5 日粮添加 AKG 制剂对肉鸡血清生化指标及血液激素水平的影响

血清生化指标能够在一定程度上反映机体新陈代谢、免疫力及组织细胞通透性等状况变化,是机体组织器官应激和病变的信号,可间接反映动物机体的健康状况<sup>[13]</sup>。白蛋白由肝脏合成,是机体蛋白质的来源之一,可用于修补组织和提供能量;球蛋白则是由 B 细胞转化为浆细胞后分泌而成,可反映机体的免疫力,而总蛋白则是白蛋白与球蛋白之和。这 3 个指标的变化可反映动物体是否发生应激或病变<sup>[14]</sup>。本试验中,血清中白蛋白、球蛋白与总蛋白含量各组间差异不显著。

谷丙转氨酶、谷草转氨酶及碱性磷酸酶是机体代谢过程中的关键酶,正常情况下由于细胞膜的屏障作用不易逸出到血液。当细胞因急性应激或其他因素破损时,细胞膜的通透性会急速升高导致这些酶被释放入血液导致血液酶活性升高<sup>[15]</sup>。血液中谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性升高可反映肝脏和心脏的损伤程度;血液中碱性磷酸酶的活性是诊断胆道系统疾病时常用的指标。本试验中,血清中,谷丙转氨酶、谷草转氨酶的活性各组间差异不显著;在 42 d 时,日粮添加 0.4% AKG、0.8% AKG 制剂显著降低了血清中碱性磷酸酶的活性。原因可能是由于 AKG 与其产物谷氨酰胺可在机体应激时为组织器官细胞紧急补充能源,缓解应激或病变等异常状况带来的代谢异常与器官损伤。

有资料表明,鸡的正常血糖水平在 10.0 ~ 16.9 mmol/L 之间<sup>[16]</sup>。本试验中,日粮添加 0.8% AKG 制剂可显著升高肉鸡血清中血糖的含量,最大值 15.03 mmol/L 属于正常血糖水平范围内。但本试验中胰岛素与胰高血糖素各组间并无显著差异,提示并未启动因血糖升高导致的负反馈调节机制。

## 4 结论

本研究结果表明,日粮添加 AKG 制剂,可提高 1 ~ 21 d 肉鸡体增质量,降低 21 ~ 42 d 和 1 ~ 42 d 料质量比,改善生长性能;同时可提高肉鸡的表观代谢率,促进组织器官发育;提高肉鸡血液中血糖的含量,降低 42 d 肉鸡血清碱性磷酸酶的活性。在本试验条件下,AKG 制剂以 0.8% 添加剂量效果为最佳。

### 参考文献:

[1] Watford M, Reeds P J. Glutamate metabolism in the gut [J]. Forum

of Nutrition, 2003, 56: 81 - 82.

[2] Reeds P J, Burrin D G, Stoll B, et al. Intestinal glutamate metabolism [J]. The Journal of Nutrition, 2000, 130(4): 978S - 982S.

[3] Dugan M E R, Knabe D A, Wu G. Glutamine and glucose metabolism in intraepithelial lymphocytes from pre - and post - weaning pigs [J]. Comparative Biochemistry and Physiology ( Part B: Comparative Biochemistry ), 1994, 109(4): 675 - 681.

[4] 余亲平, 陈雁群, 谢金蝉, 等. 日粮添加  $\alpha$  - 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.

[5] 胡泉舟, 侯永清, 丁斌鹰, 等.  $\alpha$  - 酮戊二酸对断奶仔猪生长性能和肠道功能的影响 [C] // 中国畜牧兽医学会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: 362.

[6] Son E D, Choi G H, Kim H, et al. Alpha - ketoglutarate stimulates procollagen production in cultured human dermal fibroblasts, and decreases UVB - induced wrinkle formation following topical application on the dorsal skin of hairless mice [J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2007, 30(8): 1395 - 1399.

[7] Chin R M, Fu X D, Pai M Y, et al. The metabolite  $\alpha$  - ketoglutarate extends lifespan by inhibiting ATP synthase and TOR [J]. Nature, 2014, 510(7505): 397 - 401.

[8] 黄冠庆, 余亲平, 陈雁群, 等.  $\alpha$  - 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.

[9] 刘少娟, 陈家顺, 康保聚, 等.  $\alpha$  - 酮戊二酸和大蒜素对生长猪生长发育及养分表观消化率的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(9): 3193 - 3201.

[10] Brandhorst H, Duan Y, Iken M, et al. Effect of stable glutamine compounds on porcine islet culture [J]. Transplantation Proceedings, 2005, 37(8): 3519 - 3520.

[11] 刘涛. 谷氨酰胺对早期断奶仔猪肠道营养与免疫功能影响机理的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 39.

[12] Essex - Fraser P A, Steele S L, Bernier N J, et al. Expression of four glutamine synthetase genes in the early stages of development of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in relationship to nitrogen excretion [J]. Journal of Biological Chemistry, 2005, 280(21): 20268 - 20273.

[13] Toghyani M, Toghyani M, Gheisari A, et al. Growth performance, serum biochemistry and blood hematology of broiler chicks fed different levels of black seed (*Nigella sativa*) and peppermint (*Mentha piperita*) [J]. Livestock Science, 2010, 129(1/2/3): 173 - 178.

[14] 刘铀, 林红英, 罗东君, 等. 热应激对肉鸡血液生化指标及内分泌机能的影响 [J]. 湛江海洋大学学报, 1999, 19(1): 61 - 64.

[15] 范石军, 韩友文, 李荣文, 等. 家禽热应激机理及其研究进展 [J]. 饲料博览, 1996(5): 14 - 16.

[16] Brelje T C, Scharp D W, Lacy P E, et al. Effect of homologous placental lactogens, prolactins, and growth hormones on islet B - cell division and insulin secretion in rat, mouse, and human islets: implication for placental lactogen regulation of islet function during pregnancy [J]. Endocrinology, 1993, 132(2): 879 - 887.