

胍基乙酸 节能减蛋专刊（节约蛋白篇）

- 日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、肉品质和能量代谢的影响
- 低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响
- 日粮添加胍基乙酸对1-42 d肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响
- 添加或不添加禽类副产品的玉米型日粮中添加胍基乙酸对肉仔公鸡生长性能、屠宰性能、胸肌疾病和血液参数的影响
- 补充胍基乙酸可改善肉仔公鸡和肉仔母鸡料重比、体增重和胸肉率
- 全植物蛋白日粮添加胍基乙酸对牛蛙生长性能、抗氧化能力和肌肉能量代谢的影响
- 全植物性日粮中添加胍基乙酸改善了生长草鱼的生长性能、肌肉风味和感官指标
- 无动物性蛋白饲料添加胍基乙酸对断奶仔猪生长性能和肠道屏障的影响

节约蛋白篇

目次

日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、肉品质和能量代谢的影响	J. Michiels, L. Maertens, J. Buyse, et al (1)
低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响	El-Faham A , Abdallah A , El-Sanhoury M , et al (11)
日粮添加胍基乙酸对 1-42 d 肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响	Boney J W , Patterson P H , Solis F (17)
添加或不添加禽类副产品的玉米型日粮中添加胍基乙酸对肉仔公鸡生长性能、肉品质、胸肌疾病和血液参数的影响	H.A. Córdoва-Noboa*, E.O. Oviedo-Rondón *, Sarsour A H , et al (22)
补充胍基乙酸可改善肉仔公鸡和肉仔母鸡料重比、体增重和胸肉率	A Lemme, J Ringel, HS Rostagno, et al (34)
全植物蛋白日粮添加胍基乙酸对牛蛙生长性能、抗氧化能力和肌肉能量代谢的影响	Zeng, Qiu-Hui, Rahimnejad S , Wang L , et al (38)
全植物性日粮中添加胍基乙酸改善了生长草鱼的生长性能、肌肉风味和感官指标	Lly A , Pei W , Lin F , et al (43)
无动物性蛋白饲料添加胍基乙酸对断奶仔猪生长性能和肠道屏障的影响	司徒金水, 王 杰, 高 萍等 (49)

日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、肉品质和能量代谢的影响

节选翻译自 *Supplementation of guanidinoacetic acid to broiler diets: Effects on performance, carcass characteristics, meat quality, and energy metabolism*

摘要：肌酸，作为能量代谢的一种关键物质，可以从动物源性蛋白获得，也可以由胍基乙酸合成。特别是在植物性日粮中添加肌酸或者胍基乙酸（GAA）可以通过改善组织对肌酸的可利用性来改善动物生长性能。本试验选用了 769 只 1 日龄罗斯 308 肉仔鸡公雏，随机分为 4 个处理组：负对照，玉米-豆粕型日粮；负对照 + 0.6 g/kg GAA；负对照 + 1.2 g/kg GAA；正对照，（前期、中期和后期分别添加 60、30 和 30 g/kg 鱼粉）。每个处理组 6 个重复，每重复 32 只鸡。中期结束后（第 26 d），每个重复随机选取两只鸡用于代谢指标测定。试验第 39 d，每个重复选取 4 只鸡屠宰，测定屠宰性能和肉品质。结果表明，整个试验期，与负对照相比，日粮添加 GAA 显著提高了增重耗料比（ $P < 0.05$ ）和平均日增重（ $P < 0.05$ ；0.6 g/kg GAA 处理组提高 2.7%，1.2 g/kg GAA 处理组提高 2.2%）。GAA 处理组的胸肌重显著高于负对照组（ $P < 0.05$ ；30.6 vs. 29.4%），与正对照组相当（30.2%）。肉品质方面，与负对照组比，GAA 处理组的最终 pH 值较低，烹饪和压榨损失较高，亮度较高（ $P < 0.05$ ），但这些效应小。然而，GAA 处理组胸肌 GAA 含量低于对照组，肌酸含量高于对照组（ $P < 0.01$ ）。日粮添加 1.2 g/kg GAA 处理组血浆类胰岛素生长因子-I 含量两倍高于其他处理组，其他血浆代谢指标差异不显著。综上所述，纯植物性日粮添加 GAA 改善整个试验期生长性能，增加了胸肌产量。

关键字：胍基乙酸；肌酸；肉仔鸡；代谢；肉

1 引言

胍基乙酸，又称脒基甘氨酸或胍乙酸，是脊椎动物体内肌酸的一种自然前体物。肌酸通过肌酸-磷酸肌酸系统参与能量代谢。肌酸-磷酸肌酸系统并不存在所用细胞中；它局限于高能量需求且能量需求变化多的细胞中，特别是肌细胞。肌酸-磷酸肌酸系统储存和转移能量，当机体短时间需要时，支援 ADP-ATP 循环来起作用。一般而言，每天大约 1.7%的肌酸-磷酸肌酸体系不可避免的转化成肌酐，分泌到尿液中（Wyss 和 Kaddurah-Daouk, 2000）。因此，肌酸必须持续地补充。动物既可以通过日粮添加动物蛋白（如，鱼粉或者肉副产物），也可以通过内源性合成的方式来供给肌酸。内源性肌酸合成需经两步反应（Wyss 和 Kaddurah-Daouk, 2000）。目前研究表明，第一步主要发生在肾脏和胰腺，然而，第二步反应发生在肝脏中。第一步反应，L-精氨酸和甘氨酸由 L-精氨酸：甘氨酸脒基转移酶催化生成 L-鸟氨酸和胍基乙酸（GAA）。然后，GAA 同甲基供体—S-腺苷蛋氨酸（SAM）在 S-腺苷蛋氨酸：胍基乙酸甲基转移酶的催化下生成肌酸。肌酸通过钠离子偶联的肌酸转运载体从肝脏逆浓度差

转运到组织中。

不外源补充肌酸的素食主义者肌酸水平低于参照人群(Delanghe et al, 1989; MacCormick et al, 2004)。日粮少加或不加动物蛋白, 动物可能缺乏肌酸。因此, 鉴于动物源性蛋白的减少, 特别是欧盟。添加肌酸或者前体物 GAA 可能恢复组织肌酸含量。此外, GAA 是肌酸的前体物, 需要甲基供体。Baker (2009) 认为 GAA 可以像肌酸一样节约精氨酸, 精氨酸对家禽而言是必需氨基酸。快速生长的雏鸡由于肌肉生长需要, 肌酸供给需求高, GAA 也可能对其有益 (Brosnan et al, 2009), 同时, 通过肌酸-磷酸肌酸系统重新生成 ATP, 对快速生长的肉仔鸡心脏能量管理至关重要 (Nain et al, 2008)。

肌酸作为一种饲料添加剂有些缺陷, 例如, 不稳定、成本高, 而 GAA, 则更稳定, 且价格便宜 (Baker, 2009)。因此, 胍基乙酸更有可能作为饲料添加剂使用。然而, 一些关于甲基平衡和甲基需求估计的研究显示, GAA 甲基化生成肌酸这一步比其他所有甲基化反应消耗了更多的 SAM (Mudd et al, 1980; Stead et al, 2001)。日粮添加 GAA 相当大地增加了甲基需求 (Stead et al, 2006), 这可能诱导血液同型半胱氨酸的积累 (Ohuchi et al, 2008; Setoue et al, 2008), 或者蛋氨酸的缺乏, 也可能是胆碱、叶酸、VB12 或这些物质的缺乏, 但这种情况取决于这些营养素的供给。

研究表明, 育肥猪日粮添加肌酸影响了他们屠宰时的能量状态和肉品质 (James et al, 2002)。一些研究表明, 日粮添加肌酸延缓了肌肉 pH 的下降, 这有利于提高保水力。相反, Nissen 和 Young (2006) 发现罗斯 308 肉仔鸡饲喂肌酸和葡萄糖 48 h 后, 胸肌 pH 更低, 亮度更高。Stahl et al (2003) 发现肉仔鸡日粮整个试验期添加肌酸后是相似的效果。因此, GAA 对肉品质的影响也应该被研究。

肌酸或者 GAA 对肉仔鸡生长性能的影响研究很少。Halle et al (2006) 发现添加肌酸对生长性能的影响不一致, 并且对屠宰性能无影响, 然而 Stahl et al (2003) 发现添加肌酸后显著地改善了饲料转化率。Ringel et al (2008 a, b) 发现日粮添加 GAA (0.6~1.2 g/kg) 显著地改善了生长性能和提高了胸肌率。Lemme et al (2007) 研究发现结肠瘻管鸡日粮添加 0.6 和 6g/kg 的 GAA, 全肠道消化率分别为 99.4%和 98.9%。计算的可消化的 GAA 利用率达到 77.1%和 46.4%。本试验旨在研究纯植物性日粮添加 GAA 与正对照 (日粮添加鱼粉) 对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、肉品质和能量代谢以及肉仔鸡血浆氧化状态的影响。

2 材料和方法

2.1 试验动物、日粮和样品采集

本试验选用 768 只 1 日龄罗斯肉鸡 308, 分为 4 个处理组, 每个处理 6 个重复, 每重复 32 只鸡。每平方米 14.3 只的密度, 地面平养 (木屑)。

处理组见表 1: 1) 负对照 (NC), 玉米-豆粕型; 2) NC + 0.6 g/kg GAA; 3) NC + 1.2 g/kg GAA; 4) 正对照 (PC), 60.0、30.0 和 30.0 g/kg 鱼粉分别替代前期、中期和后期 (每期 13 天) 豆粕。每个试验期日粮营养水平满足 NRC (1994), 且各处理组间等能量等蛋白。

生长期结束时 (26 天), 每圈选取接近各圈平均体重的两只鸡测定代谢指标和抗氧化指标。鸡安乐死后立即采样。颈静脉采血, 置于 EDTA 抗凝管, 2650 × g 离心 15 min。血浆样品置于 -20°C。试验第 39 天, 每圈选取接近平均体重的 4 只鸡测定屠宰性能和胸肌品质。胸肌样品液氮冷冻, -80°C 储存, 用于分析 GAA、肌酸、肌酐和磷酸肌酸: ATP 比值。

2.2 血浆代谢物和氧化应激指标

爱德士 8008 生化分析仪分析葡萄糖、乳酸、甘油三酯和尿酸。非酯化脂肪酸采样 Wako NEFA-HR (2) ACS-ACOD 方法测定。类胰岛素生长因子-1、甲状腺素-3 和甲状腺素-4 采样放射性免疫法测定。此外, 血浆丙二醛采用硫代巴比妥酸法分析, 亚铁还原能力按照 Benzie and Strain (1996) 所述的方法测定。

2.3 GAA 和能量物质分析

大约 10 g 肌肉组织样品彻底粉碎, 转移到 250 mL 烧杯中, 然后添加 120 mL 去离子水, 用高速分散混合器混合均匀。悬浮液转移到 500 mL 锥形瓶中, 加去离子水至 450 mL。搅拌 90 分钟, 超声波处理 5 分钟, 加去离子水至 500 mL。30 mL 悬浮液 89000 × g 室温离心 10 分钟。然后上清液用 0.45 μm 膜滤器和固相萃取小柱过滤。GAA 和肌酐含量直接测定, 肌酸含量测定需要稀释上清液 10 倍。GAA 和肌酸含量用离子色谱仪分离和 200 nm 下紫外检测。肌酐含量用高效液相色谱测定。饲料中 GAA、肌酸和肌酐含量用同样的方法测定。胸肌 GAA、肌酸和肌酐含量最小检出率分别为 0.4、2 和 3 mg/kg。饲料中 GAA、肌酸和肌酐含量最小检出率分别为 1、10 和 1 mg/kg。胸肌磷酸肌酸: ATP 比值用 P31 核磁共振仪测定。

2.4 屠宰性能和肉品质

每笼选 2 个胴体 2°C 冷冻 24 h 后称重测定屠宰率, 并按照标准程序分割 (Uijttenboogaart 和 Gerrits, 1982) 测定胸肌、大腿、小腿和翅膀。为测定胴体总化学成分, 将每圈两只鸡的所有分割物混合。冷冻后, 将这些样品混均匀。然后大约取 300 g 样品冻干测定干物质、粗蛋白质和粗脂肪。

测定右边胸肌宰后 pH (t=0.5、1、2、3、4 和 24 h)、温度 (°C; t=2、3 和 4 h) 和 24 h 电导率。测定滴水损失 (48 h, 2°C) 和压榨损失 (Grau 和 Hamm, 1953)。-20°C 储存后测定解冻损失 (4°C 过夜) 和烹饪损失 (70°C 水浴 40 分钟, 自来水降温 15 分钟)。测定小圆柱 (直径, 1.27 cm) 剪切力 (N)。测定宰后 1 h 胸肌肉亮度 (L*), 红度 (a*) 和黄度 (b*)。将先前冷冻并解冻后的样品在荧光灯 (1000 lx) 4°C 下放置 9 天, 测定肉色和脂质稳定性。

样品用富氧聚乙烯薄膜包装。肉色稳定性按照 Krzywicki (1979) 的方法, 用光反射值计算的高铁血红蛋白含量的增加值表示。按照 Tarladgis et al (1960) 描述的方法, 通过测定硫代巴比妥酸反应物测定脂质稳定性。

2.5 统计分析

处理效应作为固定效应的线性模型分析生长性能、胴体化学组成 ($n=6$)、屠宰性能、肉品质和代谢指标。 $P < 0.05$ 处理组间差异显著, 进行 Tukey 检验。正交对比分析处理效应。

3 结果

3.1 日粮和生长性能

GAA 处理组日粮的 GAA 含量接近设定的剂量, 然而, 对照组 AGAA 含量 ≤ 1 mg/kg (表 1)。纯植物性日粮 (负对照和 GAA 处理组) 几乎不含肌酸含量 (<10 mg/kg), 相反, 正对照组由于添加鱼粉而含肌酸。正对照组末重和前期平均日增重显著高于负对照和 GAA

表 1 试验日粮组成及营养水平

项目	试验日粮											
	0-13 天				14-26 天				27-39 天			
	NC	NC+0.6	NC+1.2	PC	NC	NC+0.6	NC+1.2	PC	NC	NC+0.6	NC+1.2	PC
成分, g/kg												
玉米	476	476.2	476.2	510.4	559.8	559.4	559	578.1	607.5	607.1	606.7	619.3
豆粕 48	366.4	366.2	366	297.6	285.5	285.3	285.1	250.8	249.7	249.5	249.3	221
鱼粉	-	-	-	60	-	-	-	30	-	-	-	30
全脂大豆	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
动物脂肪	45.1	45.1	45.1	30.4	43.3	43.3	43.2	35.5	34.4	34.4	34.4	27.7
大豆油	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
磷酸氢钙	22.3	22.3	22.3	19	25.2	25.2	25.2	21.5	23.8	23.8	23.8	20.2
石粉	8.2	8.2	8.2	3.3	5.7	5.7	5.7	4.4	5.5	5.5	5.5	4.2
碳酸氢钠	3.1	3.1	3.1	2.7	2.9	2.9	2.9	2.7	2.1	2.1	2.1	1.8
食盐	2.5	2.5	2.5	1.6	2.2	2.2	2.2	1.7	2.2	2.2	2.2	1.8
L-赖氨酸盐酸盐	1.5	1.5	1.5	1.2	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.1
DL-蛋氨酸	3.3	3.3	3.3	2.9	2.7	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.3
L-苏氨酸	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4
植酸酶 5000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
迪克珠利	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2
沙利霉素	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	-	-
微量元素/维生素	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
GAA	-	0.6	1.2	0.6	-	0.6	1.2	-	-	0.6	1.2	-
计算值, g/kg												
粗蛋白质	232.3	232.3	232.3	240.3	200.4	200.4	200.4	204.4	187.1	187.1	187.1	193.1
钙	10	10	10	10	9.5	9.5	9.5	9.5	9	9	9	9
磷	5	5	5	5	4.75	4.75	4.75	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
代谢能, MJ/kg	12.9	12.9	12.9	12.9	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2
分析值												
粗蛋白质, g/kg	234.5	236.3	235.4	240.2	205.3	206.2	207.5	210.4	190.6	192.2	193.6	197.2
赖氨酸, g/kg	14.3	14	14	14.4	11.9	11.9	12.1	12.6	11.1	11	10.9	11.3
蛋氨酸, g/kg	6.6	6.8	6.6	6.8	5.7	5.6	5.6	5.9	5.2	5.3	5.5	5.5
苏氨酸, g/kg	9.6	9.4	9.5	9.7	8.2	8.2	8.2	8.5	7.7	7.7	7.6	7.8
精氨酸, g/kg	16	15.7	15.7	15.7	13.4	13.3	13.3	13.6	12.3	12.3	12.2	12.5
肌酸, mg/kg	<1	<1	<1	100	<1	<1	<1	46	<1	<1	<1	51
肌酐, mg/kg	<10	<10	<10	266	<10	<10	<10	120	<10	<10	<10	135
胍基乙酸, mg/kg	1	658	1240	<1	<1	575	1196	<1	<1	545	1190	<1

组 ($P < 0.01$) (表 2)。正对照组平均日采食量高于其他处理组。0.6 mg/kg GAA 组和 1.2 mg/kg GAA 组结果相似。与负对照组比, 中期 (生长期) 平均日增重和平均日采食量差异不显著。GAA 处理组 26 日龄体重分别高于负对照组 1.5% 和 2.1%, 但仍低于正对照组。负对照组末重显著低于正对照组 ($P < 0.05$)。1.2 mg/kg GAA 组增重耗料比显著高于 0.6 mg/kg GAA 组 ($P < 0.05$)。试验第 39 天, GAA 处理组由于后期 (育肥期) 较高的生长速度, 其末重与正对照组相当。GAA 处理组末重显著高于负对照组 ($P < 0.05$)。全期来看 (0~39 天), GAA 处理组平均日增重分别高于负对照组 1.8 (0.6 mg/kg GAA) 和 1.5 (1.2 mg/kg GAA)

表 2 日粮添加 GAA 对肉仔鸡公雏生产性能的影响

项目	处理组				平均标准误	P 值	
	NC 负对照	GAA 0.6	GAA 1.2	PC 正对照		I	II
0~13 天							
平均日增重, g/d	28.6 ^b	29.0 ^b	29.1 ^b	31.9 ^a	0.38	0.334	<0.001
平均日采食量, g/d	37.6 ^b	39.3 ^{ab}	39.2 ^{ab}	41.1 ^a	0.52	0.019	0.009
增重耗料比	0.76	0.74	0.74	0.78	0.013	0.143	0.012
死亡率, %	0.5	1.6	1.6	1.0	0.65	0.204	0.519
14~26 天							
平均日增重, g/d	66.9	68	68.5	68.6	0.7	0.139	0.706
平均日采食量, g/d	103.6	105.9	103.3	106.3	1.06	0.45	0.209
增重耗料比	0.65 ^{ab}	0.65 ^b	0.66 ^a	0.65 ^{ab}	0.009	0.287	0.249
死亡率, %	0.5	1.1	0	0.5	0.5	0.989	0.989
d 0 to 26							
平均日增重, g/d	47.7 ^b	48.5 ^{ab}	48.8 ^{ab}	50.2 ^a	0.47	0.14	0.013
平均日采食量, g/d	70.5 ^b	72.3 ^{ab}	71.0 ^b	73.5 ^a	0.61	0.147	0.023
增重耗料比	0.68	0.67	0.69	0.68	0.01	0.777	0.434
死亡率, %	1	2.6	1.6	1.6	0.76	0.278	0.582
d 27 to 39							
平均日增重, g/d	104.1	107.9	106.1	104.1	1.45	0.111	0.12
平均日采食量, g/d	191.3	193.4	189.4	190.5	1.17	0.95	0.554
增重耗料比	0.54	0.56	0.56	0.55	0.011	0.027	0.06
死亡率, %	0	0	0	1.7	0.58	—	0.025
d 0 to 39							
末重, g	2,639	2,707	2,696	2,706	21.4	0.026	0.865
平均日增重, g/d	66.4	68.2	67.9	68.2	0.55	0.026	0.865
平均日采食量, g/d	108.9	110.3	108.6	110.5	0.59	0.472	0.145
增重耗料比	0.61	0.62	0.63	0.62	0.009	0.029	0.315
死亡率, %	1.0	2.6	1.6	3.1	0.98	0.393	0.394

注: ¹I=GAA 处理组与负对照正交对比; II=GAA 处理组与正对照正交对比。

($P < 0.05$), 且与正对照组差异不显著 (表 2)。GAA 处理组的增重效率比是最高的, 但仅显著高于负对照组 ($P < 0.05$)。后期 (育肥期), 正对照死亡率高于 GAA 处理组 ($P < 0.05$)。

3.2 血浆代谢物、抗氧化指标、能量代谢指标

处理组间血浆代谢物少数差异显著 (表 3)。1.2 mg/kg GAA 处理组血浆类胰岛素生长因子-I 含量显著高于其他处理组 ($P < 0.01$)。负对照组亚铁还原能力显著高于 GAA 处理组。

($P < 0.05$)。GAA 处理组血浆 GAA 含量低于其他处理组, 血浆肌酸含量显著高于其他处理组 ($P < 0.001$)。1.2 mg/kg GAA 处理组血浆磷酸肌酸: ATP 显著高于负对照组 ($P < 0.05$)。

由表 4 可知, 胸肌 GAA 含量与肌酸含量呈负相关 ($P < 0.01$)。磷酸肌酸: ATP 与肌酸含量呈正相关 ($P < 0.01$)。然而, 胸肌更高的肌酸含量也导致了高的肌酐含量 ($P < 0.01$)。

表 3 日粮添加 GAA 对 26 日龄肉仔鸡公雏能量代谢指标和抗氧化性能的影响

项目	处理组				平均标准误	P 值	
	NC 负对照	GAA 0.6	GAA 1.2	PC 正对照		I	II
血浆							
甲状腺素-3	0.6	0.63	0.6	0.56	0.062	0.84	0.464
甲状腺素-4	6.9	6.86	7.0	9.1	0.89	0.991	0.067
葡萄糖 (mmol/L)	12.3	12.2	12.7	12.0	0.35	0.757	0.271
乳酸 (mmol/L)	4.05	3.51	3.74	4.15	0.242	0.18	0.098
甘油三酯 (mmol/L)	0.53	0.36	0.54	0.38	0.079	0.401	0.526
游离脂肪酸	0.47	0.44	0.38	0.44	0.042	0.324	0.578
尿酸 ($\mu\text{mol/L}$)	214	198	158	183	23.2	0.236	0.864
类胰岛素生长因子-I	27.7 ^b	22.3 ^b	44.6 ^a	25.9 ^b	3.07	0.146	0.061
丙二醛 ($\mu\text{mol/L}$)	22.1	17.1	23.5	22.6	2.0	0.494	0.384
亚铁还原能力 (μmol)	0.84	0.53	0.67	0.63	0.084	0.027	0.785
胸肌 (鲜肉基础)							
胍基乙酸 (mg/kg)	8.16 ^a	2.19 ^b	1.40 ^b	5.92 ^a	0.767	<0.001	<0.001
肌酸 (mg/kg)	4,789 ^b	5,322 ^a	5,541 ^a	4,940 ^b	90.0	<0.001	<0.001
肌酐 (mg/kg)	5.45	5.99	6.07	5.7	0.241	0.056	0.271
磷酸肌酸: ATP	2.36 ^b	2.65 ^{ab}	2.97 ^a	2.60 ^{ab}	0.16	0.027	0.294

表 4 26 日龄肉仔鸡公雏胸肌代谢物之间的皮尔森相关系数

项目	胍基乙酸	肌酸	肌酐	磷酸肌酸: ATP
胍基乙酸	-	-0.740**	-0.198	-0.283
肌酸	-	-	0.408**	0.537**
肌酐	-	-	-	0.17

3.3 屠宰性能和肉品质

与负对照组相比,日粮添加 GAA 显著提高了胸肌率 ($P < 0.05$),且与正对照组相当(表 5)。1.2 mg/kg GAA 处理组胸肌重显著高于负对照组 ($P < 0.05$),然而,小腿重显著高于正对照组 ($P < 0.05$)。各处理组间胴体水分、粗蛋白质和粗脂肪含量差异不显著(表 5)。日粮添加 GAA 对肉品质影响小(表 5)。GAA 处理组 pH 值略低于负对照和正对照 ($P < 0.05$, pH4h; $P < 0.01$, pH4h)。GAA 处理组压榨损失和烹饪损失显著高于负对照组,但与正对照组

表 5 日粮添加 GAA 对肉仔鸡公雏 (39 d) 屠宰性能和肉品质的影响

项目	处理组				平均标准误	P 值	
	NC 负对照	GAA 0.6	GAA 1.2	PC 正对照		I	II
屠宰性能							
全净膛率, %	73.1	72.9	73.7	73.2	0.25	0.489	0.813
胸肌率, %	29.4	30.4	30.7	30.2	0.45	0.033	0.557
大腿率, %	26	25.7	25.8	25.9	0.29	0.384	0.648
小腿率, %	13.3	13	13.2	12.6	0.19	0.498	0.039
鸡翅率, %	10.3	10.4	10.2	10.4	0.12	0.926	0.545
胴体成分							
水分, %	66.1	66.7	66.8	65.9	0.34	0.13	0.065
粗蛋白质, %	18.5	18.6	18.5	18.6	0.11	0.573	0.71
粗脂肪, %	12.8	12.1	12.3	13	0.4	0.195	0.114
胸肌率							
pH, 0.5 h	6.42	6.31	6.39	6.45	0.054	0.301	0.141
pH, 24 h	5.88	5.76	5.74	5.81	0.038	0.009	0.192
温度, 2 h, °C	11.1	10.7	11.1	9.1	0.56	0.771	0.01
温度, 3 h, °C	5.9	6.1	6	4.7	0.45	0.792	0.014
温度, 4 h, °C	2.9 ^a	2.3 ^{ab}	2.5 ^{ab}	1.7 ^b	0.29	0.207	0.054
电导率, μS	7.81	9.49	8.74	8.98	0.586	0.075	0.843
滴水损失, %	0.8	1	1.1	0.9	0.09	0.054	0.188
压榨损失, %	18.3 ^b	20.2 ^{ab}	21.2 ^a	19.3 ^{ab}	0.7	0.007	0.108
解冻损失, %	3.5	4.4	4.4	4.4	0.49	0.143	0.998
烹饪损失, %	13.2	14.6	15.4	14.2	0.61	0.022	0.32
剪切力, N	7.5	8.1	8.6	8.5	0.48	0.15	0.868
肉色							
亮度	51.1	53	53.5	52.5	0.66	0.011	0.401
红度	6.1	6.3	6.9	6.4	0.29	0.178	0.587
黄度	12.4	13.6	14	13.3	0.44	0.012	0.355
高铁肌红蛋白 $\Delta\text{d} 0-9$, %	12	12.1	12.2	12.5	0.5	0.839	0.613
丙二醛, $\mu\text{g/g}$	1.46	1.5	1.38	1.51	0.09	0.92	0.049

差异不显著。GAA 处理组肉色亮度显著高于负对照组 ($P < 0.05$)。各处理组间剪切力、高铁肌红蛋白和脂质稳定性(丙二醛)差异不显著。

4 讨论

4.1 肌酸负荷、生产性能、屠宰性能和肉品质

我们假设全植物性日粮添加 GAA 能恢复肉仔鸡组织中肌酸储备，进而改善动物生长性能。与负对照相比，0.6 和 1.2 g/kg GAA 处理组胸肌肌酸含量分别提高了 11.1%和 15.7%。GAA 能有效地转化成肌酸。全期来看，GAA 处理组的生长性能好于负对照组，主要是由于后期有更高的增重耗料比。与正对照组相比，GAA 处理组肉仔鸡在后期获得一致或更优的生长性能。这表明，GAA 在后期（育肥期）最有效，生长速度最快。然而，这个结果证实了纯植物性日粮添加 GAA 恢复组织肌酸储备，进而提高细胞能量利用效率，改善动物生长性能。总体上看，饲料转化率在 GAA 日粮组表现最佳，这个结论同 Ringel 等（2008 a, b）和欧洲食品安全局观点一致（EFSA, 2009）。正对照组生长性能优于负对照组。肌酸合成代谢的差异几乎不能造成这种结果，因为正对照组日粮肌酸的供给是可以忽略不计的。鱼粉即正对照组肌酸水平都出乎意料地低，肌酐含量超过了肌酸水平。当前试验显示，鱼粉肌酸含量是变化的，在储存和加工过程中可以很大程度的转化为肌酐。有人可能认为，正对照组更高的氨基酸供应（例如：精氨酸）导致了生长性能的提高。表 1 显示，所有日粮必需氨基酸含量都是相似的，但是正对照组在所有饲养阶段总粗蛋白含量始终是最高的。

Ringel 等（2008 a, b）发现，胸肌率随着 GAA 水平的增加线性升高。在本研究中，1.2 mg/kg GAA 组和正对照组的胸肌绝对产量显著高于负对照组。在人类运动营养中，肌酸补充剂已经被广泛用于增加肌肉，特别是男性，并且将这个结果主要归因于增加水分的增加而不是蛋白质增加（Williams 和 Branch, 1998）。我们的结果没有表现相似的效果。GAA 对肉品质的影响同之前添加肌酸或 GAA 的研究结果相似的或略有不同。Ringel 等（2008b）发现 GAA 日粮组肉仔鸡，除了肉的红度（a*）相对低外，对肉品质没有影响。本试验发现，尤其是亮度（L*）和黄度（b*）是较高的。肉仔鸡胸肌主要是快肌纤维（II B 型），其易于快速糖酵解，死后，在这些纤维中积累大量乳酸，导致肌肉 pH 快速下降和保水力的降低，最终降低鲜肉的零售价值。本试验，与负对照组相比，GAA 处理组有略低的 pH 和保水性，略高的滴水损失、压榨损失和烹饪损。因此，肌酸储备和预期相比，有负影响。然而，这些影响很小，而且也不会影响到零售价值。

4.2 中间代谢产物和氧化应激

本试验发现，GAA 处理组胸肌 GAA、肌酐和肌酸含量和磷酸肌酸：ATP 比值呈现剂量效应，与之前试验结果相似（EFSA, 2009）。全植物性日粮中添加 GAA 导致胸肌肌酐浓度剂量相关性增加，并提高了磷酸肌酸：ATP 比值。值得注意的是，在我们的研究中，胸肌肌酸含量代表磷酸化和非磷酸化肌酸。日粮添加 GAA 导致胸肌 GAA 含量显著下降。在表 4 中显示，皮尔森相关系数证实了这些相关性。因为 GAA 转化为肌酸的不可逆的，肌肉组织

中 GAA 来源于血液循环。意外的是，与其他组相比，GAA 处理组胸肌 GAA 含量低很多。这两个解释。首先，一些研究表明，肌酸通过反馈机制抑制肾脏和胰腺 L-精氨酸：甘氨酸的脒基转移酶的表达，这可能导致低 GAA 循环水平。第二，由于日粮 GAA 可利用性的增加，限制 GAA 生物转化，这可能致使通过尿液排出 GAA，最终导致胸肌较低的 GAA 沉积。这些排出的 GAA 是来自于内源合成还是来源饲料，目前还不清楚。处理间的比较不能说明胸肌肌酸含量增加导致高肌酐含量，尽管在这两者之间正的皮尔森相关系数表明相反影响。EFSA (2009) 证实，日粮中 GAA 水平超过 1.5g/kg，胸肌肌酐含量上升。尽管如此，最有趣的特点是，0.6 mg/kg GAA 组和 1.2 mg/kg GAA 组磷酸肌酸：ATP 比值是最高的，分别高负对照组 12.3%和 25.9%。这表明，磷酸肌酸缓冲 ATP 水解的能力增加，支持肌肉肌酸负荷有能力促进生长和运动，有利于骨骼肌发育和供应器官（如心脏）的收缩活动。另一个益处是肌肉磷酸肌酸可以吸引水进入肌肉细胞和增加细胞体积（Hultman et al, 1996）。Häussinger (1996) 发现，超疏水肌可能激发蛋白质合成，最小化蛋白质降解，增加糖原合成。1.2 mg/kg GAA 组明显提高类胰岛素生长因子-I 循环浓度，这也说明 GAA 促进肌肉生长。本试验结果也证实人类补充肌酸也可能通过上调肌细胞类胰岛素生长因子-I 表达进而增强合成代谢（Burke et al, 2008；Deldicque et al, 2005）。本试验显示，1.2mg/kg GAA 组有较高类胰岛素生长因子-I 含量，而 0.6 和 1.2 mg/kg GAA 组胸肌肌酸含量明显升高。本试验其他的代谢指标仅仅有数值上的区别。

5 结论

日粮添加 GAA 显著提高了 26 日龄肉仔鸡胸肌肌酸含量。结果表明，全植物性日粮添加 GAA 提高增重耗料比和胸肌重，进而改善肉仔鸡生长性能和屠宰性能。从本试验设计来看，GAA 在后期（育肥期）效果最显著。与负对照组相比，GAA 处理组胸肌磷酸肌酸：ATP 比值显著增加。这表明，磷酸肌酸缓冲 ATP 水解的能力增加，肌酸负荷的肌肉发育和做功能力增加，这可能对有利于骨骼肌发育和收缩活动，例如心肌。日粮添加 1.2 mg/kg GAA 提高血液类胰岛素生长因子-I 循环浓度，这表明胍基乙酸可能促进合成代谢。

低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响

节选翻译自 EFFECT OF GRADED LEVELS OF GUANIDINE ACETIC ACID IN LOW PROTEIN BROILER DIETS ON PERFORMANCE AND CARCASS PARAMETERS

摘要: 本试验旨在研究不同蛋白水平日粮添加胍基乙酸 (GAA) 对肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响。试验选取 360 只 1 日龄 Hubbard 肉公雏, 采用 2×3 析因设计, 分为 6 个处理, 每处理 6 个重复, 每重复 10 只鸡, 各处理日粮具体如下: T1-不添加饲料添加剂的标准日粮 (SD), T2-SD (T1 日粮) + 0.06% 胍基乙酸 (GAA), T3-SD (T1) + 0.12% (GAA), T4-低蛋白日粮 (-2% CP) 不添加饲料添加剂 (TD), T5-TD (T4 日粮) + 0.06% (GAA), T6-TD (T4 日粮) + 0.12% (GAA)。结果如下: 试验期 (1-35 d), 日粮 GAA 水平和粗蛋白质水平对肉仔鸡体增重、料重比、生长性能指数、生产效益指数、蛋白质转化率和能量转化率均有显著影响; 肉仔鸡采食量不受 GAA 添加水平或日粮粗蛋白质水平影响; 日粮 GAA 添加水平 (0、0.06 和 0.12%) 或粗蛋白质水平对肉仔鸡大部分屠宰参数无显著影响。由此可以得出结论, -2% CP 日粮 (相对标准日粮) + 1200 g/t GAA 或标准日粮 + 600 g/t GAA, 可在不影响肉仔鸡屠宰性能的前提下获得最佳生长性能。

关键词: 肉仔鸡; 低蛋白日粮; 胍基乙酸; 生长性能; 屠宰性能

1 材料和方法

1.1 试验动物和试验设计

试验选取 360 只 1 日龄 Hubbard 肉公雏, 采用 2×3 析因设计, 随机分为 6 个处理 (每处理 60 只鸡), 每处理 6 个重复 (每重复 10 只鸡)。试验期为 1-35 d。各处理组日粮具体如下: T1-不添加饲料添加剂的标准日粮 (SD), T2-SD (T1 日粮) + 0.06% 胍基乙酸 (GAA), T3-SD (T1) + 0.12% (GAA), T4-低蛋白日粮 (-2% CP) 不添加饲料添加剂 (TD), T5-TD (T4 日粮) + 0.06% (GAA), T6-TD (T4 日粮) + 0.12% (GAA)。以玉米、豆粕、玉米蛋白粉为基础日粮, 标准日粮和低蛋白日粮原料组成和营养成分如表 (1) 所示。GAA 含量为 94%, 试验期分为前期 (1-14 d)、中期 (15-28 d) 和后期 (29-35 d)。

1.2 数据收集和取样

1.2.1 生长性能

肉仔鸡生长性能包括试验期间的阶段和全期体重和采食量, 并计算相应的体增重和料重比, 根据 North (1981) 中的方法计算生长性能指数, 根据 Emmert (2000) 中的方法计算生产效益指数, 并计算肉仔鸡 1-35 d 的蛋白质转化率和能量转化率。

1.2.2 屠宰性能

试验结束时 (35 d), 每处理随机选取 4 只鸡进行屠宰, 计算全净膛率、肝脏指数、肌胃指数、心脏指数、内脏指数 (肝脏+肌胃+心脏)、总可食部分 (全净膛+内脏) 用百分比以及腹脂率。

1.2.3 数据统计和分析

采用 SAS 软件对数据进行一般线性模型分析。采用 Duncan's 多重比较进行差异化分析, 以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 生长性能

日粮添加或不添加 GAA 对肉仔鸡生长性能的影响如下:

2.1.1 出栏重和体增重

在 35 d 时, 与标准日粮组相比, 低蛋白日粮组 (-2% CP) 肉仔鸡的出栏重显著降低 (2006.39g vs 2063.33g), 体增重 (BWG) 也有类似趋势 (1996 g vs 2024.33 g)。表 2 可以看出, 在试验期 (0-35 d), 与未添加 GAA 组相比, 日粮添加 GAA (0.06 和 0.12%) 显著提高了肉仔鸡出栏重和 BWG。试验结束时, 日粮添加 GAA 组肉仔鸡出栏重最高, 日粮 3 种 GAA 添加水平 (0.00%, 0.06 和 0.12%) 对应的肉仔鸡末重分别为 1977.08、2070.42 和 2057.08 g, 日粮添加 GAA 显著提高了肉仔鸡出栏重。此外, 相比未添加 GAA 组, 日粮添加 600 g/t 和 1200 g/t GAA 组肉仔鸡 BWG 分别提高了 4.60% 和 3.96%。

2.1.2 采食量和料重比

日粮蛋白水平和 GAA 添加水平对采食量和料重比的影响如表 (2) 所示。结果显示, 在整个试验期 (1-35 d), 各处理组采食量差异不显著。低蛋白日粮组 (-2% CP) 肉仔鸡采食量数值上为标准日粮组的 101.0% (3299.83g vs 3267.56g)。整个试验期 (1-35 d), 日粮添加 GAA (0、0.06 和 0.12%) 对肉仔鸡采食量 (3258.5-3298.5 g) 没有显著影响, 日粮添加 0.06% GAA 组肉仔鸡采食量最大, 日粮添加 0.12% GAA 组采食量最小, 但各处理间差异不显著。

表 (2) 所示结果表明, 在试验全期, 标准日粮组肉仔鸡料重比显著低于 -2% CP 日粮组 (1.62 vs- 1.68)。日粮添加 GAA 组肉仔鸡料重比最低 (0.06% 和 0.12% 均为 1.62), 而未添加 GAA 组料重比最高 (0.0%, GAA, 1.70)。

2.2 蛋白质转化率 (PCR) 和能量转化率 (ECR)

由表 (3) 可知, 在整个试验期间 (0-5 周), 各日粮处理组肉仔鸡蛋白转化率 (PCR) 差异显著 ($P < 0.01$), 与标准日粮组相比, 低蛋白日粮 (-2% CP) 改善了肉仔鸡 PCR (0.34 vs 0.32)。另一方面, 日粮添加 GAA 显著影响肉仔鸡 PCR, 在整个试验期间, 相比未添加 GAA

组，日粮添加 GAA（0.06 或 0.12%）显著改善了肉仔鸡 PCR（0.34 VS 0.32）。

表（3）中的 ECR 值表明，在整个试验期间，不同处理组之间存在显著差异。标准日粮组肉仔鸡 ECR 优于低蛋白日粮组（-2% CP）（5.16 vs 5.35）。此外，日粮添加 GAA（0.06 和 0.12%）对 ECR 有显著影响，日粮添加 0.12%GAA 组肉仔鸡 ECR（5.17）最佳，日粮添加 0.06% GAA 组肉仔鸡 ECR 居中（5.20），未添加 GAA 日粮组肉仔鸡 ECR 最差（5.40）。

2.3 生长性能指数（PI）和生产效益指数（PEF）

表（4）结果显示了不同处理（日粮蛋白水平和 GAA 添加水平）对 PI 或 PEF 的影响。整个试验期间（1-35d），不同处理显著影响了肉仔鸡 PI 和 PEF。降低日粮 CP 水平显著降低了 PI 和 PEF 值。低蛋白（-2% CP）日粮组肉仔鸡 PI 和 PEF 较低（分别为 119.79 和 342.27），相应地，标准日粮组肉仔鸡 PI 和 PEF 较高（分别为 127.85 和 365.30），且差异显著。相似地，与未添加 GAA 组相比（PI, 116.51; PEF, 332.90），日粮添加 GAA（0.06%）组肉仔鸡值最高（PI, 127.54; PEF, 364.41），且各处理组间差异显著。

2.4 屠宰性能

表（5）为不同日粮处理（蛋白质和 GAA 水平）对肉仔鸡（5 周龄）屠宰性能（%）的影响。如表（5）所示，各处理间肉仔鸡全净膛率、内脏指数、总可食用部位百分率和腹脂率均无显著差异。在数值上，标准日粮组肉仔鸡各参数较高（分别为 67.37、5.34、72.72 和 1.02），而低蛋白（-2% CP）日粮组肉仔鸡各参数较低（分别为 67.08、4.37、71.45 和 0.98%）。另一方面，日粮添加不同水平 GAA（0.0、0.06 和 0.12%）对大多屠宰参数无显著影响。各参数变化范围如下：全净膛率为 66.94-67.39，内脏指数为 4.37-5.79，总食用部位百分率为 71.71-72.73，腹脂率为 0.96-1.05。

3 结论

根据本研究可以得出以下结论，对于肉仔鸡来说，-2%粗蛋白质日粮（相对标准日粮）+ 1200 g/t GAA 或标准日粮+ 600 g/tGAA，可获得最佳生长性能。

表 1 试验日粮原料组成及营养水平

项目	标准日粮			低蛋白日粮 (-2% CP)		
	前期	中期	后期	前期	中期	后期
原料组成, %						
玉米	51.55	57.23	62.59	56.91	62.61	67.92
豆粕 (44%)	35	29.79	24.7	30.2	24.96	19.9
玉米蛋白粉 (62%)	5.2	4.9	4.6	4.7	4.4	4.1
豆油	3.5	4	4.25	3	3.5	3.75
石粉	1.35	1.1	1.08	1.35	1.12	1.1
磷酸氢钙	1.9	1.68	1.55	1.95	1.71	1.6
预混料	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
食盐	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
DL-蛋氨酸	0.31	0.24	0.21	0.37	0.3	0.26
L-赖氨酸盐酸盐	0.32	0.25	0.23	0.44	0.38	0.35
L-精氨酸	0.07	0.05	0.04	0.21	0.18	0.19
L-苏氨酸	0.1	0.06	0.05	0.17	0.14	0.13
总计	100	100	100	100	100	100
营养水平						
代谢能 (kcal/kg)	3040	3151	3230	3045	3157	3235
粗蛋白质, %	23.01	21.01	19.04	21	19.03	17.07
能蛋比	132	150	170	145	166	190
钙, %	1.05	0.9	0.85	1.05	0.9	0.85
有效磷, %	0.5	0.45	0.42	0.5	0.45	0.42
蛋氨酸, %	0.69	0.6	0.54	0.73	0.63	0.56
蛋+胱, %	1.08	0.99	0.91	1.08	0.96	0.86
赖氨酸	1.44	1.29	1.16	1.44	1.29	1.16
精氨酸	1.46	1.29	1.14	1.46	1.28	1.15
苏氨酸	0.95	0.84	0.75	0.95	0.84	0.75
色氨酸	0.31	0.27	0.24	0.27	0.24	0.2

表 2 低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能的影响

项目	粗蛋白质 (CP)	GAA, %			全部	显著性			
		0	0.06	0.12		标准 误	CP	GAA	CP*GAA
出栏重 (g)									
	标准日粮	1996.67	2114.17	2079.17	2063.33 ^a				
5 周龄	低蛋白日粮	1957.50	2026.67	2035	2006.39 ^b	62.14	*	**	NS
	全部	1977.08 ^b	2070.42 ^a	2057.08 ^a					
体增重 (g)									
	标准日粮	1957.67	2075.17	2040.17	2024.33 ^a				
0-5 周	低蛋白日粮	1918.50	1987.67	1996	1967.39 ^b	62.14	*	**	NS
	全部	1938.08 ^b	2031.42 ^a	2018.08 ^a					
采食量 (g)									
	标准日粮	3203.17	3326.67	3272.83	3267.56				
0-5 周	低蛋白日粮	3385.00	3270.33	3244.17	3299.83	115.09	NS	NS	*
	全部	3294.08	3298.5	3258.5					
料重比									
	标准日粮	1.64	1.6	1.60	1.62 ^b				
0-5 周	低蛋白日粮	1.77	1.65	1.63	1.68 ^a	0.01	**	**	**
	全部	1.70 ^a	1.62 ^b	1.62 ^b					

表 3 低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡蛋白转化率和能量转化率的影响

项目	粗蛋白质 (CP)	GAA, %			全部	显著性			
		0	0.06	0.12		标准 误	CP	GAA	CP*GAA
蛋白转化率									
	标准日粮	0.34	0.34	0.34	0.34 ^a				
0-5 周	低蛋白日粮	0.33	0.31	0.31	0.32 ^b	0.01	**	**	**
	全部	0.34 ^a	0.32 ^b	0.32 ^b					
能量转化率									
	标准日粮	5.2	5.15	5.13	5.16 ^b				
0-5 周	低蛋白日粮	5.60	5.24	5.21	5.35 ^a	0.09	**	**	**
	全部	5.40 ^a	5.20 ^b	5.17 ^b					

表 4 低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能指数和生产效益指数的影响

项目	粗蛋白质 (CP)	GAA, %			全部	显著性			
		0	0.06	0.12		标准误	CP	GAA	CP*GAA
生长性能指数	标准日粮	122.05	131.9	129.62	127.85 ^a				
	低蛋白日粮	110.98	123.19	125.21	119.79 ^b	3.6	**	**	NS
	全部	116.51 ^b	127.54 ^a	127.42 ^a					
生产效益指数	标准日粮	348.71	376.84	370.35	365.30 ^a				
	低蛋白日粮	317.08	351.98	357.76	342.27 ^b	10.3	**	**	NS
	全部	332.90 ^b	364.41 ^a	364.05 ^a					

表 5 低蛋白日粮添加胍基乙酸对肉仔鸡屠宰性能的影响

项目	粗蛋白质 (CP)	GAA, %			全部	显著性			
		0	0.06	0.12		标准误	CP	GAA	CP*GAA
全净膛率	标准日粮	66.61	66.71	68.78	67.37				
	低蛋白日粮	68.17	67.17	65.89	67.08	2.16	NS	NS	NS
	全部	67.39	66.94	67.34					
肝脏指数	标准日粮	2.19	2.24	2.16	2.2				
	低蛋白日粮	1.99	2.2	2.06	2.08	0.28	NS	NS	NS
	全部	2.09	2.22	2.11					
肌胃指数	标准日粮	1.64	3.78	2	2.47				
	低蛋白日粮	1.97	1.8	1.6	1.79	1.41	NS	NS	NS
	全部	1.8	2.79	1.8					
心脏指数	标准日粮	0.47	1.07	0.48	0.67				
	低蛋白日粮	0.56	0.49	0.44	0.5	0.41	NS	NS	NS
	全部	0.52	0.78	0.46					
内脏指数 (肝脏+肌胃+心脏)	标准日粮	4.3	7.09	4.64	5.34				
	低蛋白日粮	4.52	4.49	4.1	4.37	1.84	NS	NS	NS
	全部	4.41	5.79	4.37					
总可食用 部分百分 率	标准日粮	70.92	73.8	73.43	72.72				
	低蛋白日粮	72.69	71.66	69.99	71.45	2.71	NS	NS	NS
	全部	71.81	72.73	71.71					
腹脂率	标准日粮	1.2	0.96	0.92	1.02				
	低蛋白日粮	0.79	0.96	1.19	0.98	0.43	NS	NS	NS
	全部	1	0.96	1.05					

日粮添加胍基乙酸对 1-42 d 肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响

节选翻译自 The effect of dietary inclusions of guanidinoacetic acid on D1-42 broiler performance and processing yields

摘要: 肌酸是能量代谢的一种核心成分, 特别对能量需求较大的细胞来说, 如肌细胞。动物蛋白原料, 如鱼粉、家禽副产品和肉粉可在日粮中提供一定量的肌酸。胍基乙酸作为肌酸的前体物质, 被应用在动物营养中。本试验旨在研究含动物性蛋白和无动物性蛋白日粮中添加胍基乙酸对肉仔鸡生长性能和屠宰性能的影响。本试验为 2×2 完全随机区组设计, 处理包含日粮组成(动物蛋白组或无动物蛋白组)和胍基乙酸添加水平(0 或 0.06%)。每个处理 12 个重复, 每重复 36 只哈伯德×科宝 500 杂交肉仔鸡。结果表明, 胍基乙酸组肉仔鸡试验全期(1-42 d)料重比显著降低 0.019 ($P=0.0024$), 试验各阶段料重比也显著降低 ($P<0.05$)。胍基乙酸组肉仔鸡胸肌重提高了 45 g ($P=0.0354$)。日粮类型与胍基乙酸水平存在互作效应, 并显著影响了肉仔鸡 42 d 胸肌率 ($P<0.0443$)。无动物蛋白日粮中添加胍基乙酸未显著影响肉仔鸡胸肌率; 然而, 与饲喂添加胍基乙酸的含动物蛋白的日粮组相比, 饲喂不添加胍基乙酸的含动物蛋白的日粮组肉仔鸡胸肌率降低了 1.78%。含动物蛋白日粮中添加胍基乙酸可改善肉仔鸡生长性能和胸肌率。

关键词: 能量代谢, 无动物蛋白, 胸肌率

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验选取 1728 只哈伯德×科宝 500 杂交肉仔鸡, 随机分成 4 个处理组, 每处理 12 个重复, 每重复 36 只鸡, 试验期 42 d。本试验为 2×2 完全随机区组设计, 处理包含日粮组成(动物蛋白日粮组或无动物蛋白日粮组)和胍基乙酸添加水平(0 或 0.06%)。试验日粮见表 1。

1.2 生长性能和屠宰性能

在试验第 1、21、35 和 42 天称量肉仔鸡体重并记录采食量, 同时记录死亡率。计算每个饲养阶段肉仔鸡的体增重、采食量和死亡率以及校正料重比。在第 42 天, 每个处理选取 20 只鸡进行屠宰性能测定, 其中包括 10 只公鸡和 10 只母鸡。其中胸肌包括胸大肌和胸小肌, 胸肌率表示为胸肌占全净膛重的百分比。鸡翅率、腿肌率、琵琶腿率和腹脂率同上表示。

1.3 统计分析

试验为 2×2 完全随机区组设计。主效应为日粮类型和胍基乙酸。数据采用 SAS 软件 GLM 模型分析, $P\leq 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 生长性能

就全期生长性能而言，主效应不存在交互作用 ($P>0.05$)。日粮类型未影响全期料重比 ($P>0.05$)；然而，胍基乙酸改善了全期料重比，降低了 0.019 ($P=0.0024$)。试验全期 (1-42 d) 肉仔鸡采食量和体增重差异不显著 ($P>0.05$)。前期 (1-21 d)，胍基乙酸使肉仔鸡料重比降低了 0.04 ($P=0.0171$) 并使日增重提高了 28 克 ($P=0.0010$)。前期肉仔鸡生长性能不受日粮类型影响 ($P>0.05$)。主效应对中期肉仔鸡料重比和体增重无显著影响 ($P>0.05$)。胍基乙酸使肉仔鸡后期料重比降低了 0.037 ($P=0.0474$)。

2.2 屠宰性能

屠宰性能数据见表 4。就胸肌率而言，日粮类型和胍基乙酸存在互作效应 (见图 1)。含动物蛋白日粮添加胍基乙酸使肉仔鸡胸肌率提高了 1.78%。

表 1 日粮原料组成及营养水平

原料组成, %	前期 (1-21 d)		中期 (22-35 d)		后期 (36-42 d)	
	动物蛋白	无动物蛋白	动物蛋白	无动物蛋白	动物蛋白	无动物蛋白
玉米	59.28	55.89	63.33	59.95	59.33	65.03
大豆粕	24.37	25.19	19.73	21.44	20.27	18.06
DDGS	10	10	10	8.89	10	7.60
家禽副产品	3.75	-	4.87	-	1.25	-
膨化大豆	-	5.53	-	6.65	-	6.72
石粉	0.98	1.38	0.72	1.36	1.05	1.19
食盐	0.28	0.31	0.28	0.32	0.31	0.32
DL-蛋氨酸	0.25	0.27	0.20	0.23	0.18	0.20
赖氨酸硫酸盐	0.33	0.25	0.36	0.23	0.28	0.22
小麦麸	-	-	-	-	4.55	-
大豆油	-	-	-	-	2.4	-
L-苏氨酸	0.055	0.069	0.04	0.06	0.044	0.05
磷酸二氢钙	0.28	0.69	-	0.51	-	0.24
多维多矿	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
胆碱	0.036	0.036	0.031	0.032	0.018	0.029
植酸酶	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
胍基乙酸			添加 0 或者 0.06%			
其他	0.281	0.277	0.331	0.22	0.21	0.233
营养成分计算值, %						
粗蛋白质	21.14	21.06	19.88	19.65	18.34	18.06
代谢能, kcal/kg	3,075	3,075	3,130	3,130	3,186	3,186
有效磷	0.44	0.44	0.4	0.39	0.32	0.32
钙	0.95	0.92	0.87	0.87	0.75	0.75
可消化赖氨酸	1.07	1.07	0.99	0.99	0.90	0.90

可消化蛋+胱	0.84	0.84	0.77	0.77	0.70	0.70
钠	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18
营养成分实测值, %						
粗蛋白质	20.94	21.47	19.75	20.47	18.09	18.03
钙	0.68	0.65	0.76	0.74	0.47	0.42
总磷	0.54	0.52	0.51	0.52	0.4	0.43
植酸	0.87	0.92	0.83	0.87	0.78	0.86
非植酸磷	0.30	0.26	0.28	0.28	0.18	0.19

表 2 日粮类型和胍基乙酸对肉仔鸡全期 (1-42 d) 生长性能的影响

日粮类型	胍基乙酸	体增重 (kg)	采食量 (kg)	料重比
动物蛋白组	0%	2.744	4.665	1.683 ^a
	0.06%	2.756	4.683	1.673 ^{ab}
无动物蛋白组	0%	2.722	4.691	1.686 ^a
	0.06%	2.773	4.7	1.656 ^b
<i>P</i> 值		0.3682	0.9187	0.0068
标准误		0.0203	0.0359	0.006
日粮类型平均值				
动物蛋白组		2.75	4.674	1.678
无动物蛋白组		2.747	4.695	1.671
日粮类型标准误		0.0143	0.0254	0.0042
胍基乙酸平均值				
0%		2.733	4.678	1.684 ^a
0.06%		2.764	4.691	1.665 ^b
胍基乙酸标准误		0.0143	0.0254	0.0042
<i>P</i> 值				
日粮类型		0.9134	0.5642	0.2779
胍基乙酸		0.1327	0.7099	0.0024
互作		0.357	0.8966	0.1232

表 3 日粮类型和胍基乙酸对肉仔鸡前期、中期、后期生长性能的影响

日粮类型	胍基乙酸	前期 (1-21 d)				中期 (1-21 d)				后期 (1-21 d)			
		体增重 (kg)	采食量 (kg)	料重比	体增重 (kg)	采食量 (kg)	料重比	体增重 (kg)	采食量 (kg)	料重比			
动物蛋白组	0%	0.766 ^{bc}	1.127	1.465 ^{ab}	1.049	2.179	2.055	0.897	1.306	1.438			
	0.06%	0.789 ^a	1.16	1.448 ^b	1.026	2.147	2.072	0.898	1.304	1.421			
无动物蛋白组	0%	0.750 ^c	1.144	1.505 ^a	1.031	2.12	2.014	0.874	1.316	1.465			
	0.06%	0.783 ^{ab}	1.146	1.442 ^b	1.021	2.135	2.048	0.908	1.318	1.408			
<i>P</i> 值		0.005	0.244	0.0378	0.7966	0.0922	0.3634	0.4316	0.8733	0.1514			
标准误差		0.007	0.011	0.015	0.0207	0.0165	0.0231	0.0146	0.0137	0.0181			
日粮类型平均值													
动物蛋白组		0.777	1.143	1.457	1.037	2.163 ^a	2.064	0.898	1.305	1.429			
无动物蛋白组		0.767	1.145	1.473	1.026	2.128 ^b	2.031	0.891	1.317	1.436			
日粮类型标准误差		0.005	0.007	0.011	0.014	0.011	0.0164	0.0103	0.0097	0.0128			
胍基乙酸													
0%		0.758 ^b	1.135	1.485 ^a	1.04	2.149	2.06	0.885	1.311	1.451 ^a			
0.06%		0.786 ^a	1.153	1.445 ^b	1.023	2.141	2.035	0.903	1.311	1.414 ^b			
胍基乙酸标准误差		0.005	0.007	0.011	0.014	0.011	0.0164	0.0103	0.0097	0.0128			
<i>P</i> 值													
日粮类型		0.1818	0.8913	0.2939	0.5743	0.0377	0.1681	0.6449	0.4171	0.6953			
胍基乙酸		0.001	0.1303	0.0171	0.4382	0.6321	0.2857	0.2404	0.9999	0.0474			
交互		0.5256	0.1723	0.1654	0.7769	0.1593	0.7172	0.2852	0.8851	0.2708			

表 4 日粮类型和胍基乙酸对 42 d 肉仔鸡屠宰性能的影响

日粮类型	胍基乙酸	全净膛率 (%)	胸肌重 (g)	胸肌率 (%)	鸡翅率 (%)	腿肌率 (%)	琵琶腿率 (%)	腹脂率 (%)
动物蛋白组	0%	79.07	729.86	33.84 ^b	10.17	14.83	12.37	1.38
	0.06%	78.99	795.24	35.62 ^a	10.1	14.83	12.49	1.26
无动物蛋白组	0%	78.11	776.8	35.52 ^a	10.07	14.89	12.88	1.16
	0.06%	78.49	802.08	35.61 ^a	9.84	15.45	12.85	1.38
<i>P</i> 值		0.4706	0.2375	0.0047	0.3018	0.4105	0.1899	0.3352
标准误		0.489	27.083	0.399	0.129	0.302	0.202	0.098
日粮类型平均值								
动物蛋白组		79.03	762.55	34.73 ^b	10.13	14.83	12.43 ^b	1.32
无动物蛋白组		78.3	789.44	35.57 ^a	9.95	15.17	12.87 ^a	1.27
日粮类型标准误		0.35	14.905	0.29	0.092	0.193	0.137	0.065
胍基乙酸								
0%		78.59	753.33 ^b	34.68 ^b	10.12	14.86	12.62	1.27
0.06%		78.74	798.66 ^a	35.61 ^a	9.97	15.14	12.67	1.32
胍基乙酸标准误		0.35	14.905	0.29	0.092	0.193	0.137	0.065
<i>P</i> 值								
日粮类型		0.1448	0.2067	0.0464	0.1717	0.2276	0.0264	0.6211
胍基乙酸		0.7656	0.0354	0.0274	0.2503	0.3113	0.8174	0.6006
交互		0.6404	0.3451	0.0443	0.5327	0.3139	0.7103	0.0713

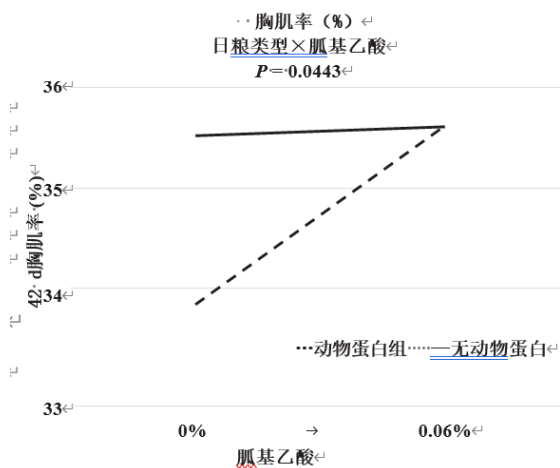


图 1 日粮类型和胍基乙酸对 42 d 肉仔鸡胸肌率的影响

3 结论和应用

3.1 日粮添加 0.06%胍基乙酸改善了肉仔鸡前期、中期、后期生长性能和 42 d 胸肌重。

3.2 含动物性蛋白日粮中添加胍基乙酸提高了胸肌率；然而，无动物蛋白日粮中添加胍基乙酸未显著改善胸肌率。

3.3 肉仔鸡日粮添加胍基乙酸可改善生长性能和胸肌率。

添加或不添加禽类副产品的玉米型日粮中添加胍基乙酸对肉仔公鸡生长性能、肉品质、胸肌疾病和血液参数的影响

节选翻译自Effect of guanidinoacetic acid supplementation on live performance, meat quality, pectoral myopathies and blood parameters of male broilers fed corn-based diets with or without poultry by-products

摘要：肌酸是一种天然存在于动物组织中的含氮化合物，动物可从日粮中（动物蛋白）获得或由胍基乙酸的（GAA）从头合成途径获得。饲喂纯植物性日粮时，这种半必需营养素的供应可能会受到影响。本试验旨在研究在玉米型日粮中添加 GAA（含或不含家禽副产品（PBP））对肉仔鸡生长性能、屠宰性能和分割率、肉品质、胸肌疾病、血细胞计数、血清 GAA 及其代谢物的影响。处理日粮分为含 5% PBP 日粮和不含 PBP 日粮，并添加或不添加 GAA（0 或 0.06%）。试验选取 1280 只 1 日龄的 Ross 708 肉公雏，随机分配于 64 个地面平养栏中，每处理包含 16 个重复。分别于试验第 0、14、35、48 和 55 天记录体重和采食量。在每个试验阶段结束时计算肉仔鸡体增重和料重比（FCR）。记录试验 55 天时肉仔鸡体重，每栏选取 1 只肉仔鸡进行采血。每栏选取 4 只肉仔鸡（含采血鸡）进行屠宰指标测定。以 2×2 因子完全随机区组设计对数据进行分析，主效应为 PBP 和 GAA。试验第 55 天时，日粮添加 GAA 使肉仔鸡 FCR 改善了 0.019 (g:g) ($P < 0.05$)。在不含 PBP 日粮中添加 GAA 提高了肉仔鸡胸肉木质化程度评分中木质化程度较低（评分 2）的概率 ($P < 0.05$)。血清 GAA 浓度存在互作效应 ($P < 0.05$)。添加 GAA 和 PBP 使血清 GAA 浓度更高 ($P < 0.05$)。日粮添加 GAA 对肉品质的各项指标没有影响。总之，无论日粮是否含有 PBP，添加 GAA 改善了肉仔鸡 FCR，在不含 PBP 日粮中添加 GAA，通过提高肉仔鸡胸肉木质化程度评分中木质化程度较低（评分为 2）的概率（详情见图 1）来降低肉仔鸡胸肉木质化程度。

关键词：胍基乙酸，家禽副产品，生长性能，胸肌疾病，肉仔鸡

1 材料与方法

1.1 试验动物和试验设计

本次试验中所用动物和所有试验程序都得到了北卡罗来纳州立大学机构动物护理和使用委员会的批准。试验采用 2×2 因子设计，以 PBP 和 GAA 为主效应。处理日粮分为含 5% PBP 日粮和不含 PBP 日粮，并添加或不添加 GAA（0 或 0.06%）。试验选取 1280 只 1 日龄的 Ross 708 肉公雏，随机分配于 64 个地面平养栏中，每处理包含 16 个重复。

1.2 试验日粮

日粮处理采用 2 种基础日粮，即玉米-豆粕型基础日粮包含或不包含 PBP（0 和 5%），在此基础上分别添加或不添加 GAA（0 和 600 g/t 日粮），不含 GAA 的日粮用 600 g 沙子/t 日粮替代 GAA，日粮组成和营养水平分别见表 1 和表 2，日粮肌酸和 GAA 含量见表 3。

表 1 试验日粮组成

原料组成	前期（0-14 天）		中期（15-35 天）		末期（36-42 天）		休药期（43-56 天）	
	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组
玉米	57.683	52.509	60.303	55.03	64.264	58.992	69.093	63.821
大豆粕, 46%	25.899	33.973	23.114	31.316	19.219	27.421	15.047	23.249
家禽副产品	5	—	5	—	5	—	5	—
玉米酒精糟及可 溶物	5	5	5	5.048	5	5	5	5
禽类脂肪	2.724	4.302	3.451	5	3.79	5.386	3.305	4.902
石灰石粉矿	1.212	1.366	1.013	1.167	0.942	1.096	0.955	1.109
磷酸氢钙, 18.5%	0.776	1.151	0.527	0.901	0.346	0.719	0.053	0.427
盐(NaCl)	0.243	0.303	0.252	0.315	0.188	0.251	0.181	0.244
DL-蛋氨酸, 99%	0.276	0.286	0.251	0.243	0.204	0.196	0.213	0.205
L-赖氨酸盐酸 盐, 78.8%	0.27	0.218	0.236	0.17	0.183	0.118	0.264	0.198
矿物质预混料	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
碳酸氢钠	0.195	0.183	0.184	0.167	0.272	0.255	0.263	0.246
氯化胆碱, 60%	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
维生素预混料	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
L-苏氨酸, 98%	0.088	0.081	0.07	0.045	0.044	0.02	0.077	0.053
沙子或胍基乙酸	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
抗球虫药	0.05	0.05	0.05	0.05	—	—	—	—
L-缬氨酸, 96.5%	0.036	0.031	0.001	0.001	0.001	—	—	—
植酸酶	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
总计	100	100	100	100	100	100	100	100

表 2 试验日粮营养水平

营养成分	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组	家禽副 产品组	无家禽副 产品组
计算值								
代谢能, kcal/kg	3000	3000	3085	3085	3150	3150	3175	3175
粗蛋白, %	22.11	22.11	20.95	20.95	19.31	19.31	17.8	17.8
钙, %	1.02	1.02	0.9	0.9	0.82	0.82	0.76	0.76
总磷, %	0.61	0.61	0.51	0.56	0.46	0.51	0.39	0.45
非植酸磷, %	0.5	0.5	0.45	0.45	0.41	0.41	0.35	0.35
总甘氨酸, %	1.23	0.91	1.19	0.87	1.12	0.8	1.06	0.73
可消化赖氨酸, %	1.22	1.22	1.08	1.08	0.95	0.95	0.92	0.92
可消化蛋氨酸, %	0.6	0.59	0.56	0.53	0.49	0.47	0.49	0.47
可消化总含硫氨基酸, %	0.89	0.89	0.81	0.81	0.73	0.73	0.71	0.71
可消化苏氨酸, %	0.78	0.78	0.7	0.7	0.63	0.63	0.61	0.61
可消化色氨酸, %	0.22	0.23	0.2	0.22	0.18	0.2	0.16	0.18
可消化缬氨酸, %	0.94	0.94	0.83	0.86	0.8	0.83	0.74	0.77
可消化精氨酸, %	1.32	1.35	1.19	1.25	1.08	1.14	0.97	1.03
可消化异亮氨酸, %	0.89	0.93	0.73	0.78	0.67	0.72	0.6	0.65
钠, %	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
钾, %	0.84	0.94	0.77	0.89	0.7	0.82	0.63	0.75
氯, %	0.28	0.28	0.28	0.28	0.24	0.24	0.25	0.25
日粮电解质平衡, mEq/100 g	241	264	222	251	215	244	196	225
分析值								
粗蛋白, %	21.92	21.85	20.52	19.96	18.82	18.63	18.77	18.42
总赖氨酸, %	1.34	1.33	1.23	1.19	1.07	1.04	1.15	1.09
总蛋氨酸, %	0.61	0.57	0.57	0.52	0.5	0.47	0.53	0.48
总含硫氨基酸, %	0.93	0.91	0.88	0.84	0.78	0.77	0.83	0.78
总苏氨酸, %	0.88	0.88	0.81	0.81	0.72	0.7	0.77	0.74
总甘氨酸, %	1.08	0.9	1.03	0.84	0.95	0.77	0.96	0.77
总缬氨酸, %	1.04	1.04	0.94	0.94	0.86	0.87	0.86	0.85
总精氨酸, %	1.41	1.43	1.32	1.33	1.17	1.19	1.19	1.18

表 3 试验日粮肌酸和 GAA 水平

营养成分	前期 (0-14 天)				中期 (15-35 天)				末期 (36-42 天)				休药期 (43-56 天)			
	家禽副产品组		无家禽副产品组		家禽副产品组		无家禽副产品组		家禽副产品组		无家禽副产品组		家禽副产品组		无家禽副产品组	
	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸	无	胍基乙酸
计算值																
胍基乙酸, mg/kg	0	600	0	600	0	600	0	600	0	600	0	600	0	600	0	600
分析值																
肌酸, mg/kg	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
胍基乙酸, mg/kg	30	518	<20	523	<20	630	<20	606	<20	563	<20	603	28	571	<20	565
肌之源	28	540	<21	545	<21	656	<21	631	30	586	<21	628	30	595	<21	589

1.3 生长性能和血液样品采集

分别在试验 0、14、35、48 和 55 天时进行称重。并在每个阶段结束时计算肉仔鸡采食量、体重增重和料重比 (FCR)。每天两次监测和记录死亡率。在第 55 天时，在每栏中随机选取 1 只肉仔鸡进行血液采集。

1.4 屠宰性能、肉品质和肌肉疾病评估

56 天时，在禁食 12 小时后对肉仔鸡进行屠宰，计算全净膛率和分割率；取胸大肌测定肉品质 (pH_{6h}、pH_{2h}、蒸煮损失、滴水损失、剪切力、和肉色)；对胸大肌进行视觉评估以确定胸肌肉疾病 (木质肉 (WB) 和白纹肉 (WS)) 的严重程度，此评估由该领域的两位专家 (来自北卡罗来纳州立大学兽医学院) 进行。

2 结果:

2.1 生长性能

各处理对肉仔鸡体重 (BW)、体重增重 (BWG)、采食量 (FI) 和 FCR 均无互作效应 ($P < 0.05$) (表 4)。试验全期，日粮添加 PBP 或添加 GAA 均未影响肉仔鸡采食量 ($P > 0.05$)。在 0-14、0-48 和 0-55 d，PBP 日粮降低了肉仔鸡 BW 和 BWG ($P < 0.05$)。在 0-14 d (数据未显示) 和 0-35 d，日粮添加 PBP 或 GAA 对 FCR 没有影响 ($P > 0.05$)。然而，在 0-48 和 0-55 d，无论日粮是否包含 PBP，添加 GAA 改善了肉仔鸡 FCR ($P < 0.01$)。在此阶段，含 PBP 日粮组肉鸡 FCR 较不添加 PBP 日粮组 FCR 更差 ($P < 0.05$)。

表 4 添加或不添加禽类副产品的玉米型日粮中添加胍基乙酸对肉仔公鸡（0-55 日龄）生长性能的影响

日粮类型	添加剂	体重					体增重					采食量					饲料转化率				
		0 天	14 天	35 天	48 天	55 天	变异系数	0-14 天	0-35 天	0-48 天	0-55 天	0-14 天	0-35 天	0-48 天	0-55 天	0-35 天	0-48 天	0-55 天			
无家禽副产品	胍基乙酸	46.1	509 ^a	2,673 ^a	4,278 ^a	5,058 ^a	5.05 ^a	463 ^a	2,619	4,237 ^a	5,012 ^a	555	3,675	6,625	8,362	1,396	1,552 ^b	1,650 ^b			
		46	502 ^b	2,650 ^b	4,237 ^b	5,014 ^b	5.00 ^b	456 ^b	2,605	4,200 ^b	4,966 ^b	550	3,683	6,662	8,429	1,403	1,565 ^a	1,673 ^a			
		0.1	2	11	20	33	0.03	2	8	16	33	2	16.43	27	52.27	0.003	0.003	0.003			
		46	505	2,665	4,272	5,056	5.05 ^a	459	2,617	4,235 ^a	5,012 ^a	551	3,684	6,634	8,373	1,396	1,551 ^b	1,652 ^b			
		46	506	2,659	4,243	5,016	5.00 ^b	460	2,608	4,200 ^b	4,966 ^b	554	3,674	6,653	8,418	1,403	1,566 ^a	1,671 ^a			
	无	标准误差	0.1	2	11	20	33	0.03	2	8	20	33	2	16.42	27	52.25	0.003	0.003	0.003		
		46.1	506	2,679	4,287	5,076	5.07	460	2,627	4,248	5,031	551	3,686	6,605	8,335	1,394	1,548	1,643			
		46.1	511	2,668	4,270	5,041	5.03	465	2,612	4,227	4,994	559	3,664	6,646	8,389	1,398	1,577	1,658			
		家禽副产品	胍基乙酸	46	504	2,651	4,257	5,036	5.04	458	2,606	4,222	4,993	552	3,683	6,663	8,411	1,398	1,554	1,661	
		无	46	500	2,650	4,217	4,992	4.96	454	2,605	4,173	4,939	549	3,683	6,661	8,447	1,408	1,576	1,685		
变异系数%	标准误差	0.1	3	13	23	36	0.03	3	10	23	35	3	21	35	61	0.005	0.005	0.005			
	0.61	2.42	1.57	1.48	1.66	1.68	2.65	1.37	1.48	1.67	2.19	1.99	1.81	2.03	1.46	1.25	1.29				
	变异来源	P - values																			
	日粮类型	0.152	0.02	0.036	0.012	0.043	0.017	0.0218	0.127	0.009	0.03	0.1745	0.682	0.234	0.127	0.183	0.013	<0.001			
	胍基乙酸	0.772	0.855	0.577	0.081	0.068	0.012	0.8382	0.386	0.021	0.034	0.466	0.57	0.53	0.304	0.18	0.003	<0.001			
日粮类型*胍基乙酸	0.807	0.158	0.62	0.472	0.833	0.378	0.1453	0.464	0.351	0.687	0.0665	0.57	0.488	0.838	0.571	0.203	0.381				

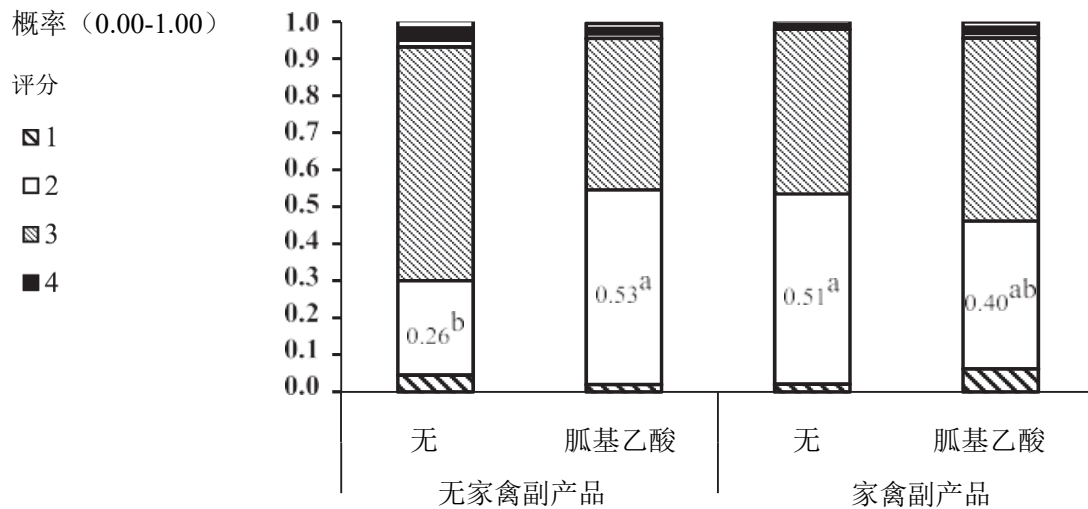
表 5 添加或不添加家禽副产品的玉米型日粮添加胍基乙酸对 56 日龄肉仔公鸡屠宰性能的影响

日粮类型	添加剂	活重	全净膛率	翅	四分腿	胸大肌	胸小肌	鸡胸肉	带皮的骨架
		(g)				(%)			
无家禽副产品		4,975	78.72	9.41	29.83	32.14	6.29	38.39	22.41
家禽副产品		4,948	78.63	9.26	30.21	32.04	6.38	38.39	22.3
标准误		28	0.14	0.05	0.32	0.21	0.06	0.21	0.11
	胍基乙酸	5,006a	78.62	9.34	29.92	32.13	6.36	38.44	22.43
	无	4,917b	78.72	9.33	30.11	32.05	6.32	38.34	22.28
	标准误	28	0.14	0.05	0.32	0.21	0.06	0.21	0.11
无家禽副产品	胍基乙酸	5,016	78.53	9.39	29.92	31.92a,b	6.29	38.20a,b	22.32
	无	4,934	78.72	9.43	29.73	32.36a	6.3	38.59a	22.27
家禽副产品	胍基乙酸	4,995	78.73	9.3	29.92	32.35a	6.43	38.68a	22.55
	无	4,900	78.72	9.22	30.49	31.74b	6.34	38.09b	22.28
	标准误	36	0.18	0.08	0.35	0.26	0.07	0.27	0.18
变异系数%		5.66	5.58	6.42	4.39	5.45	7.21	4.88	6.28
变异来源									
日粮类型		0.394	0.545	0.085	0.069	0.623	0.186	0.968	0.574
胍基乙酸		0.009	0.512	0.888	0.366	0.687	0.55	0.664	0.437
日粮类型*胍基乙酸		0.846	0.553	0.476	0.07	0.013	0.417	0.034	0.602

表 6 添加或不添加家禽副产品的玉米型日粮添加胍基乙酸对 56 日龄肉仔公鸡肉质品质的影响

日粮类型	添加剂	屠宰后 pH		蒸煮损失	滴水损失	剪切力	肉色参数		白纹肉	木质胸肉	
		6h	24h				L 值	a 值			b 值
无家禽副产品	无	6.01	5.99	19.3	1.08	4.4	55.59	6.11	9.27b	1.86	2.6
	胍基乙酸	6.01	5.99	19.3	1.08	4.4	55.59	6.11	9.27b	1.86	2.6
家禽副产品	无	6	6.01	17.82	1.14	4.38	55.37	6.1	10.06a	1.98	2.49
	胍基乙酸	6	6.01	17.82	1.14	4.38	55.37	6.1	10.06a	1.98	2.49
标准误	无	0.02	0.02	0.42	0.19	0.12	0.5	0.43	0.33	0.13	0.07
	胍基乙酸	0.02	0.02	0.42	0.19	0.12	0.5	0.43	0.33	0.13	0.07
无家禽副产品	无	5.99	6	18.36	1.04	4.37	55.38	6.04	9.68	1.9	2.59
	胍基乙酸	5.99	6	18.36	1.04	4.37	55.38	6.04	9.68	1.9	2.59
家禽副产品	无	0.02	0.02	0.42	0.19	0.12	0.5	0.43	0.33	0.13	0.07
	胍基乙酸	0.02	0.02	0.42	0.19	0.12	0.5	0.43	0.33	0.13	0.07
变异系数%	无	6	6	19.95a	1	4.44	55.49	6.02	9.41	1.81	2.72
	胍基乙酸	6	6	19.95a	1	4.44	55.49	6.02	9.41	1.81	2.72
变异来源	无	6.02	6.03	18.87a,b	1.2	4.47	55.46	6.16	10.19	1.97	2.51
	胍基乙酸	6.02	6.03	18.87a,b	1.2	4.47	55.46	6.16	10.19	1.97	2.51
日粮类型	无	5.98	5.99	16.76b	1.08	4.3	55.27	6.05	9.94	1.99	2.47
	胍基乙酸	5.98	5.99	16.76b	1.08	4.3	55.27	6.05	9.94	1.99	2.47
日粮类型*胍基乙酸	无	0.03	0.03	0.62	0.21	0.16	0.6	0.48	0.42	0.15	0.09
	胍基乙酸	0.03	0.03	0.62	0.21	0.16	0.6	0.48	0.42	0.15	0.09
变异来源	无	0.688	0.308	0.027	0.674	0.951	0.628	0.978	0.04	0.24	0.257
	胍基乙酸	0.688	0.308	0.027	0.674	0.951	0.628	0.978	0.04	0.24	0.257
日粮类型*胍基乙酸	无	0.275	0.773	0.54	0.299	0.757	0.68	0.65	0.963	0.694	0.262
	胍基乙酸	0.275	0.773	0.54	0.299	0.757	0.68	0.65	0.963	0.694	0.262
变异来源	无	0.682	0.169	0.012	0.89	0.435	0.979	0.92	0.485	0.598	0.117
	胍基乙酸	0.682	0.169	0.012	0.89	0.435	0.979	0.92	0.485	0.598	0.117

图 1 玉米型日粮添加 PBP 或 GAA 对 56 日龄肉仔鸡雏木质胸肉评分概率分布的交互作用



2.2 屠宰性能

日粮添加 PBP 与 GAA 对肉仔鸡胸大肌率和胸肉率存在交互效应 ($P < 0.05$)。在含 PBP 的日粮中添加 GAA 可提高胸大肌率和胸肉率 (表 5)。同时添加 PBP 和 GAA 日粮组肉仔鸡胸大肌率和胸肉率显著高于未添加 GAA 的 PBP 日粮组 ($P < 0.05$)。

2.3 肉质

大体上, 日粮添加 PBP 或 GAA 对肉质没有影响 ($P > 0.05$), 日粮对蒸煮损失存在交互作用 ($P < 0.05$), 以及日粮包含 PBP 对 b^* (黄度) 值也有影响。日粮中添加 PBP 且未添加 GAA 组肉仔鸡蒸煮损失最低 ($P < 0.05$) (表 6)。PBP 日粮组肉仔鸡比未添加 PBP 日粮组肉仔鸡 b^* 值更高 ($P < 0.05$) (10.06 vs 9.27)。

2.4 胸肌肉疾病

WS 和 WB 的总平均得分不受日粮 PBP 或 GAA 的影响 ($P > 0.05$) (表 6)。然而 WB 评分为 2 (低严重程度) 的概率评分分布上存在交互效应 ($P < 0.05$) (图 1)。在未包含 PBP 日粮中, 添加 GAA 使 WB 评分为 2 的概率增加了 2 倍 (相比未添加 GAA)。添加 PBP 或 GAA 对 WS 的概率分布没有显著影响 ($P > 0.05$)。

表 7 添加或不添加家禽副产品的玉米型日粮添加胍基乙酸对 55 日龄肉仔公鸡血清代谢物的影响

日粮类型	添加剂	胆固醇	葡萄糖	尿酸	白蛋白	蛋白质	矿物质				
							磷	钙	钠	钾	氯
		(mg/dL)	(g/dL)			(mg/dL)			(mmol/L)		
无家禽副 产品		133.15 b	273.09	4.92	1.39	3.1	7.16	11.16	156.86	5.63	111.04
家禽副产 品		140.34 a	263.27	4.83	1.45	3.09	7.04	11.09	155.85	5.87	109.6
标准误		2.33	3.35	0.28	0.04	0.07	0.08	0.14	0.6	0.12	0.7
	胍基乙 酸	136.05	267.78	5.05	1.43	3.13	7.14	11.15	156.01	5.69	110.07
	无	137.44	268.59	4.7	1.41	3.05	7.07	11.1	156.69	5.82	110.57
标准误		2.33	3.35	0.28	0.04	0.07	0.08	0.14	0.6	0.12	0.7
无家禽副 产品	胍基乙 酸	131.67	274.37	4.95	1.4	3.14	7.26	11.22	156.47	5.49	110.64
	无	134.63	271.81	4.9	1.39	3.05	7.07	11.1	157.25	5.78	111.44
家禽副产 品	胍基乙 酸	140.44	261.19	5.16	1.47	3.13	7.01	11.08	155.56	5.89	109.5
	无	140.25	265.36	4.5	1.43	3.04	7.07	11.1	156.13	5.86	109.7
标准误		3.44	4.91	0.39	0.05	0.08	0.12	0.18	0.84	0.17	0.9
变异系 数%		10.41	7.4	29.96	10.36	8.99	6.46	4.9	2.12	11.94	2.86
变异来源											
日粮类型		0.05	0.06	0.795	0.138	0.891	0.323	0.603	0.237	0.185	0.079
胍基乙酸			0.874	0.352	0.571	0.252	0.591	0.729	0.426	0.494	0.535
日粮类型*			0.512	0.423	0.671	0.999	0.298	0.622	0.901	0.37	0.71
胍基乙酸											

2.5 血液指标

日粮对肉仔鸡血清代谢指标的影响见表 7，由表可知，日粮对血清 GAA 水平（表 8）和平均红细胞体积（MCV）（表 9）存在互作效应（ $P < 0.05$ ）。未添加 GAA 的 PBP 日粮组肉仔鸡血清 MCV 水平最低（ $P < 0.05$ ）。添加 GAA 的 PBP 日粮组肉仔鸡血清 GAA 水平是未添加 GAA 的非 PBP 日粮组的 12.4 倍（ $P < 0.05$ ）。非 PBP 日粮添加 GAA 使肉仔鸡血清 GAA 水平提高了 10 倍。这些结果证实了 GAA 的摄取和代谢与日粮是否含有 PBP 无关。日粮 PBP 或 GAA 水平对血细胞计数无显著影响（表 9）（ $P > 0.05$ ）。PBP 日粮组肉仔鸡血清胆固醇水平（140.34 mg/dl）高于非 PBP 日粮组（133.15 mg/dl）（ $P=0.05$ ）（表 7）。另一方面，其他血液参数（表 7、8 和 9）（白蛋白、蛋白、葡萄糖、尿酸、红细胞平均血红蛋白量 MCH，同型半胱氨酸），矿物质水平（P, Ca, Na, K, Cl）和肝脏酶活性（谷丙转氨酶 ALT、谷草转氨酶 AST、谷氨酰转肽酶 GGT、乳酸脱氢酶 LDH、肌酸激酶 CK）都未受

日粮 PBP 或 GAA 水平的影响 ($P > 0.05$)。然而, 表 7、8 和 9 数据表明血清葡萄糖浓度 ($P=0.06$)、氯离子浓度 ($P=0.079$)、红细胞浓度 ($P=0.058$) 和红细胞压积 ($P=0.063$) 与日粮 PBP 水平相关, GGT 水平则与日粮 GAA 水平有相关的趋势 ($P = 0.069$)。相比未添加 GAA 日粮, 日粮添加 GAA 使肉仔鸡血清肌酸浓度升高 ($65.87 \mu\text{M}$ vs $41.46 \mu\text{M}$)。此外, 与不含 PBP 日粮组相比, 日粮添加 PBP 使肉仔鸡血清肌酐浓度 (0.79 vs $0.36 \mu\text{g/ml}$) 显著提高 ($P < 0.01$)。

表 8 添加或不添加家禽副产品的玉米型日粮添加胍基乙酸对 55 日龄肉仔公鸡血清、肝脏和肌酶及代谢物的影响

日粮类型	添加剂	谷丙转	谷草转	谷氨酰	乳酸脱	肌酸激	肌酸酐	同型半	肌酸	胍基
		氨酶	氨酶	转肽酶	氢酶	酶		胱氨酸		
		(IU/L)					(ug/ml)	(uM)		
无家禽副		6.53	651.96	13.57	2,562	64,885	0.36b	15.14	50.12	3.34b
家禽副产		5.88	570.16	14.54	2,263	55,878	0.79a	16.59	57.21	4.53a
标准误		0.49	50.23	0.52	456	10,360	0.05	1.01	5.06	0.33
	胍基	6.43	639.38	13.19	2,432	63,536	0.65	16.65	65.87a	7.09a
	乙酸	5.98	582.73	14.92	2,393	57,227	0.5	15.07	41.46b	0.77b
	无	0.49	50.23	0.52	456	10,360	0.05	1.01	5.06	0.33
	标准									
	误									
无家禽副	胍基	6.92	688.82	12.14	2,599	70,443	0.36	16.14	58.25	6.01b
产品	乙酸	6.14	615.09	15	2,525	59,326	0.37	14.13	41.98	0.66c
家禽副产	胍基	5.94	589.94	14.25	2,265	56,628	0.95	17.17	73.48	8.18a
品	乙酸	5.81	550.38	14.84	2,261	55,127	0.64	16.01	40.94	0.88c
	无	0.57	66.05	0.83	554	11,976	0.08	1.46	6.65	0.45
	标准									
	误									
变异系		25.89	40.13	25.93	72.5	55.62	60.35	37.54	45.05	43.19
数%										
变异来源										
日粮类型		0.115	0.191	0.3	0.505	0.294	<0.001	0.337	0.25	0.007
胍基乙酸		0.275	0.363	0.069	0.931	0.461	0.097	0.297	<0.001	<0.001
日粮类型*		0.428	0.783	0.227	0.938	0.574	0.072	0.779	0.189	0.025
胍基乙酸										

表 9 添加或不添加家禽副产品的玉米型日粮添加胍基乙酸对 55 日龄肉仔公鸡血液指标的影响

日粮类型	添加剂	红细胞 (T/1)	血红蛋白 (g/l)	红细胞 压积 %	红细胞平 均容量 fl	红细胞平均 血红蛋白量 pg	平均血红 蛋白浓度 g/dl	血小 板	异嗜白 细胞	单核 细胞	淋巴 细胞	T-细 胞	B-细 胞
无家禽副产 品		2.38	98.27	0.28	105.67	41.58	35.88	40,861	11,841	949	16,424	14,198	2,193
	家禽副产品	2.5	102.22	0.29	104.84	40.77	35.04	38,988	10,552	724	15,593	13,363	2,215
标准误		0.04	4.71	0.01	0.49	1.43	1.28	6,517	1,799	222	1,672	1,468	304
	胍基乙酸	2.43	100.11	0.28	105.36	41.16	35.5	33,980	10,550	624	15,067	12,928	2,083
	无	2.44	100.37	0.28	105.15	41.19	35.43	45,869	11,843	1,050	16,950	14,633	2,325
无家禽副产 品	标准误	0.04	4.71	0.01	0.48	1.43	1.28	6,242	1,833	231	1,704	1,495	310
	胍基乙酸	2.39	96.65	0.27	104.79 _{ab}	40.56	35.38	36,914	11,321	583	16,455	14,045	2,333
家禽副产品	无	2.36	99.89	0.28	106.54 _a	42.59	36.39	44,807	12,360	1,314	16,394	14,351	2,054
	胍基乙酸	2.47	103.58	0.29	105.92 _{ab}	41.57	35.62	31,047	9,779	664	13,680	11,811	1,834
	无	2.52	100.86	0.29	103.75 _b	39.79	34.47	46,930	11,326	785	17,507	14,914	2,596
标准误	0.06	5.63	0.01	0.82	1.77	1.59	9,099	2,449	307	2,272	1,975	405	
变异系数%													
变异来源													
日粮类型		0.058	0.368	0.063	0.374	0.586	0.531	0.858	0.583	0.438	0.702	0.654	0.954
胍基乙酸		0.894	0.953	0.823	0.82	0.981	0.959	0.264	0.598	0.181	0.409	0.384	0.539
日粮类型*		0.497	0.5	0.969	0.043	0.186	0.428	0.691	0.912	0.332	0.393	0.473	0.192
胍基乙酸													

3 结论

研究结果证明, 不论日粮中是否含有 PBP, 添加 GAA 都可以提高肉鸡的生长性能。PBP 日粮中添加 GAA 能提高肉仔鸡的胸肉产量, 无 PBP 的日粮可通过增加 2 分的发生率来减轻 WB 的严重程度, 这可能与肌肉中 GAA 和肌酸的代谢有关。

补充胍基乙酸可改善肉仔公鸡和肉仔母鸡料重比、体增重和胸肉率

节选翻译自 Supplemental guanidino acetic acid improved feed conversion, weight gain, and breast meat yield in male and female broilers

摘要：在 2001 年禁止肉类和骨粉的使用之后，欧洲家禽生产商的生产成绩出现了一定程度的下降。这可能是由于植物性日粮不包含肌酸这种半必需营养素，导致动物肌酸的缺乏。在植物性日粮（负对照组）中添加肌酸的天然前体物质胍基乙酸（GAA）（0.04、0.06、0.08 和 0.12%），含 6% 肉骨粉日粮为正对照组。将 1056 只肉仔公鸡和 1056 只肉仔母鸡平均分配到 48 个栏中（每个处理 8 个重复），饲喂前期和后期日粮。试验第 42 天，每栏选取 3 只鸡进行屠宰性能测定。负对照组肉仔母鸡体增重低于正对照组肉仔鸡（ $P < 0.05$ ），对于其它生长性能指标而言，这种影响只是数值上的。在植物性日粮中添加 GAA 改善了这一现象。方差分析表明，GAA 最佳添加水平介于 0.06%（ $P < 0.05$ ，以肉仔公鸡胸肉率为指标时）和 0.12%（ $P < 0.05$ ，以肉仔公鸡料重比和肉仔母鸡胸肉率为指标时）之间。在少数情况下，通过回归分析得出 GAA 最佳添加水平为 0.05%（以体增重为指标时）和 0.11%（以料重比为指标时）。

关键词：胍基乙酸，肌酸，生长性能，肉仔鸡，植物性日粮

1 材料与方 法

1.1 试验动物和试验设计

选取 2112 只 1 日龄罗斯 308 肉仔公鸡和肉仔母鸡，随机分配到 96 个栏（6 个处理，2 种性别，公母各 8 个重复），每重复 22 只鸡，肉仔鸡自由采食和饮水。日粮处理包括负对照组、正对照组以及负对照组基础上添加不同水平的 GAA 组，日粮为粉状形式，分为前期（0-21 d）和后期（22-42 d）。负对照组日粮仅含植物源性成分，而正对照组日粮含 6% 的肉骨粉（表 1）。试验全期 GAA 的添加水平均为 0.04、0.06、0.08 和 1.2%（GAA 含量为 96%）。

1.2 数据收集和取样

于试验第 1 d、21 d 和 42 d 记录肉仔鸡采食量和体重，并计算料重比。生长试验结束后，于试验第 42 d，从每栏中选取 3 只中间体重的鸡测定屠宰性能（每组 24 只公鸡和 24 只母鸡）。随后计算胸肉率。

1.3 数据统计和分析

对 6 个处理的所有数据进行方差分析采用 LSD 检验进行差异化分析， $P < 0.05$ 表示差异显著。

表 1 前期（0-21 天）和后期（22-42 天）日粮组成和营养水平

营养成分	前期-植物型 (负对照)	前期-肉骨粉 (正对照)	中期-植物型 (负对照)	中期-肉骨粉 (正对照)
玉米	33.6	38.5	38.7	41.2
高粱	20	20	20	20
大豆粕	38.4	31.4	32.3	27.3
肉骨粉	-	6	-	6
大豆油	3.7	2.3	5.1	4
磷酸氢钙	1.8	-	1.7	-
石灰石粉矿 盐	1 0.5	0.4 0.4	0.9 0.4	0.2 0.3
DL-蛋氨酸	0.36	0.34	0.3	0.3
L-赖氨酸	0.16	0.23	0.21	0.23
L-苏氨酸	0.05	0.09	0.08	0.08
维生素和矿物 质	0.43	0.34	0.31	0.39
计算值				
粗蛋白	22.5	22.5	20.2	20.8
代谢能(MJ/kg)	12.6	12.6	13.2	13.2
粗纤维	3.4	2.3	3.1	2.9
粗脂肪	6	5.3	7.4	7
蛋+胱	1.03	1.03	0.92	0.92
赖氨酸	1.32	1.33	1.21	1.22
苏氨酸	0.92	0.92	0.84	0.85
色氨酸	0.29	0.26	0.25	0.24
精氨酸	1.49	1.49	1.31	1.36
钙	1	1	0.9	0.9
有效磷	0.5	0.5	0.4	0.5

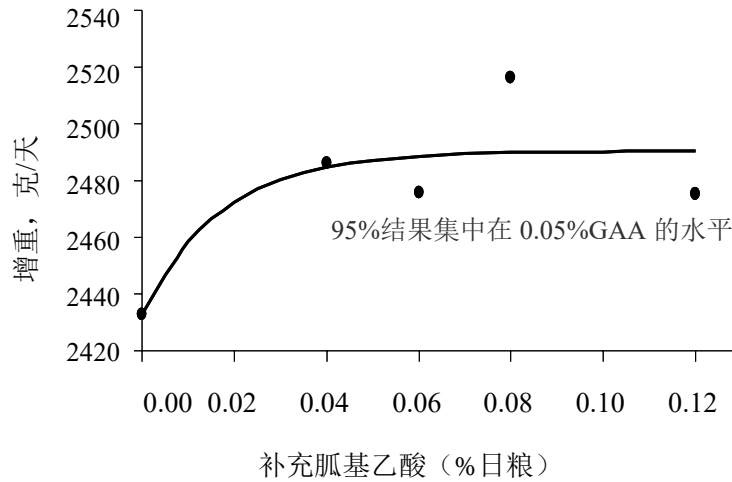
2 结果

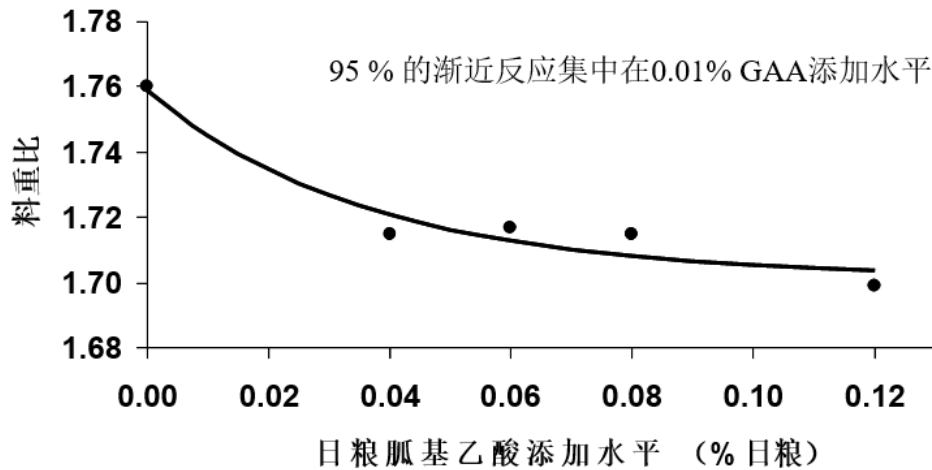
生长性能数据如表 2 所示。公、母肉鸡体增重和料重比均略低于推荐水平（819 g/ 1.29 kg/kg（公鸡）和 778 g/ 1.32 kg/kg（母鸡；Aviagen, 2002））。而 42 天肉仔鸡的最终生长性能追平甚至部分超过了推荐水平（2634g/ 1.68 kg/kg-肉公鸡；2230 克/1.77kg/kg—肉母鸡）。各组死亡率均在合理范围之内，且处理间差异不显著。

表 2 在 1-42 天肉仔鸡植物性日粮（负对照）和 6%肉骨粉日粮中添加肌胍基乙酸对肉仔鸡生长性能和胸肉率的影响

处理	前期（1-21 天）			全期（1-42 天）			
	增重 g	采食量 g	料重比	增重 g	采食量 g	料重比	胸肉率 %
肉公雏							
负对照	675 ^b	941 ^{bc}	1.395 ^a	2695 ^{bc}	4658 ^{ab}	1.728 ^a	26.1 ^{bc}
正对照	673 ^b	922 ^c	1.371 ^{ab}	2681 ^c	4546 ^{bc}	1.696 ^{ab}	26.0 ^c
0.04% GAA	691 ^{ab}	951 ^{abc}	1.376 ^{ab}	2758 ^{ab}	4572 ^{abc}	1.657 ^{bc}	26.8 ^{ab}
0.06% GAA	692 ^{ab}	957 ^{ab}	1.382 ^{ab}	2719 ^{abc}	4573 ^{abc}	1.682 ^{bc}	27.0 ^a
0.08% GAA	704 ^a	980 ^a	1.392 ^a	2770 ^a	4679 ^a	1.690 ^{abc}	26.8 ^{ab}
0.12% GAA	682 ^{ab}	924 ^c	1.356 ^b	2697 ^{bc}	4452 ^c	1.651 ^c	26.8 ^{ab}
肉母雏							
负对照	590 ^b	841 ^b	1.424 ^a	2171 ^d	3891	1.792 ^a	26.2 ^d
正对照	615 ^a	865 ^{ab}	1.409 ^{ab}	2215 ^c	3920	1.769 ^{abc}	26.7 ^{bcd}
0.04% GAA	624 ^a	868 ^{ab}	1.390 ^{ab}	2214 ^c	3924	1.772 ^{ab}	26.4 ^{cd}
0.06% GAA	625 ^a	877 ^{ab}	1.404 ^{ab}	2233 ^{bc}	3910	1.751 ^{bc}	26.8 ^{bc}
0.08% GAA	625 ^a	879 ^a	1.407 ^{ab}	2263 ^a	3938	1.741 ^c	27.2 ^b
0.12% GAA	637 ^a	871 ^{ab}	1.367 ^b	2254 ^{ab}	3936	1.747 ^{bc}	27.7 ^a

表 1 日粮添加不同水平胍基乙酸对 1-42 天肉仔鸡增重（上）和料重比（下）的影响





在 21 d 和 42 d 时，正对照组肉仔母鸡体增重显著高于负对照组，这并没有体现在料重比上，但是正对照组肉仔鸡胸肉率显著高于负对照组。对肉仔公鸡来说则没有显著差别。

与负对照相比，日粮添加 GAA 可改善一些生长性能指标。虽然当前指标并没有显示出一致的日粮 GAA 剂量效应，但添加 0.06%-0.12% 的 GAA 对生长性能的改善最大。因此，无论在前期还是整个试验期，日粮添加 0.08% GAA 可使肉仔公鸡获得最大体增重。在这两个时期，日粮 GAA 添加水平 0.12% 时肉仔鸡料重比最低。在肉仔母鸡中具有类似的结果：21 d 时 GAA 添加水平为 0.12% 的日粮组表现最佳，而 42 d 时 GAA 添加水平为 0.08% 的日粮组表现最佳。肉仔公鸡和肉仔母鸡胸肉率分别在 GAA 含量为 0.06% 和 0.12% 时最大。因此，特别是对于肉仔母鸡来说，GAA 有解决肉仔鸡因由含有动物副产品的日粮改为纯植物性日粮而造成的生长性能下降的潜力。

3 结论

日粮中添加 GAA 可提高肉鸡生长性能；由动物副产品日粮改为纯植物性日粮所造成的生长性能下降可以通过添加 GAA 来解决，这在肉仔母鸡上的表现尤为明显；根据生长性能效应指标，GAA 最佳添加水平为 0.06%-0.12%，综合其他研究结果，可以得出：GAA 最佳添加水平为 0.07%。

全植物蛋白日粮添加胍基乙酸对牛蛙生长性能、抗氧化能力和肌肉能量代谢的影响

节选翻译自 Effects of guanidinoacetic acid supplementation in all-plant protein diets on growth, antioxidant capacity and muscle energy metabolism of bullfrog *Rana (Lithobates) catesbeiana*

摘要: 本试验研究了在全植物蛋白日粮中添加胍基乙酸 (GAA) 对牛蛙生长性能、抗氧化能力和肌肉能量代谢的影响。试验分为 6 种日粮: 基础鱼粉日粮 (FM)、全豆粕日粮 (SM) 和 4 种添加 GAA 的日粮, GAA 添加量分别为 0.2、0.4、0.6 和 0.8 g/kg (GAA2、GAA4、GAA6 和 GAA8 日粮)。每个处理 3 个重复, 牛蛙 (45 ± 0.2 g) 每天饲喂至明显饱腹感时为止, 试验持续 8 周。豆粕替代鱼粉显著 ($P < 0.05$) 降低了牛蛙生长速率和日粮利用率。豆粕日粮添加 0.4 g/kg GAA 显著提高了牛蛙生长性能, 且生长性能与鱼粉日粮组牛蛙相当。SM 和 GAA2 组牛蛙血清总抗氧化能力显著低于 FM、GAA4 和 GAA6 组。SM 和 GAA2 组过氧化氢酶活性显著低于 FM 和 GAA8 组。SM 组和 GAA2 组血清丙二醛浓度显著升高。FM 组和 GAA6 组血清肌酐浓度显著高于其它各组。SM 组牛蛙肌肉肌酸激酶活性和糖原含量显著降低, 而日粮添加 0.4-0.6 g GAA/kg 显著提高了它们的值。GAA4 组丙酮酸激酶活性显著低于 FM 和 GAA6 组。GAA2 和 GAA4 组琥珀酸脱氢酶 (SDH) 活性显著低于其它处理组。这些结果表明, 全豆粕日粮添加 0.4 g/kg GAA 可改善牛蛙生长性能、抗氧化能力和肌肉能量代谢。

关键词: 全植物蛋白日粮; 牛蛙; 鱼粉替代; 生长性能; 胍基乙酸; 肌肉能量代谢

1 材料和方法

1.1 试验日粮

按等氮 (390 g/kg 粗蛋白质)、等脂 (70 g/kg 粗脂肪) 配制 6 种试验日粮 (见表 1)。红鱼粉、豆粕和大豆分离蛋白被用作日粮蛋白质来源, 鱼油和大豆油被用作日粮脂质来源。含 250 g/kg 鱼粉和 320 g/kg 豆粕的基础日粮为鱼粉日粮组。以豆粕 (540 g/kg) 和大豆分离蛋白 (80 g/kg) 完全替代鱼粉配制全植物蛋白日粮 (SM 组), 在 SM 组基础上分别添加 0.2, 0.4、0.6 和 0.8 g/kg GAA 组成 GAA2、GAA4、GAA6 和 GAA8 组。

表 1 试验日粮组成 (g/kg, 干物质基础)

日粮	FM	SM	GAA2	GAA4	GAA6	GAA8
红鱼粉	250	0	0	0	0	0
大豆粕	320	540	540	540	540	540
大豆分离蛋白	0	80	80	80	80	80
胍基乙酸	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8
微晶纤维素	50	0	0	0	0	0
小麦粉	317.7	254.1	253.9	253.7	253.5	253.3
卵磷脂	10	10	10	10	10	10
大豆油	20	20	20	20	20	20
鱼粉	10	30	30	30	30	30
胆碱	5	5	5	5	5	5
L-抗坏血酸-2-磷酸盐	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
维生素预混料	1	1	1	1	1	1
矿物质预混料	5	5	5	5	5	5
防霉剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
抗氧化剂	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
磷酸二氢钙	10	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6
碳酸钙	0	16	16	16	16	16
赖氨酸	0	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
蛋氨酸	0	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
营养水平						
干物质	887	894	898	896	893	892
干物质基础营养水平						
粗蛋白质	392	389	387	389	386	392
粗脂肪	70.7	69.3	70.2	70.6	69.4	69.8
粗灰分	86.4	80	80.8	79.4	79.9	79.1

1.2 试验动物

在试验正式开始之前,为适应试验日粮和试验条件,将牛蛙饲养在室内水箱($\pi \times 802 \times 80$ cm)中(2周),每天饲喂2次SM日粮(08:00和18:00)。在适应期结束时,根据体重相近的原则(初始平均体重, 45 ± 0.42 g)将牛蛙随机分配到18个室内水箱中($\pi \times 302 \times 90$ cm,平均水深4厘米,每个水箱12只牛蛙),每个处理3个重复,每天人工饲喂两次(08:00和18:00)试验日粮至牛蛙明显饱腹感时为止,试验为期8周。如果出现未被食用的日粮,则在饲喂后30分钟将其吸出,晾干,并计算采食量,即从总供给量中减去未被食用日粮的重量。每餐后,都要对每个水箱里的水进行更换。

1.3 数据收集和取样

试验结束时,牛蛙禁食24小时后采样。测定牛蛙的生长性能和成活率,记录肝脏和后

腿重量，计算肝脏指数（HSI）和后腿指数（HLI）。每个水箱选取 3 只牛蛙（每处理 9 只）进行取样，储存在-20°C 以进行体组成分析。每个水箱选取 4 只牛蛙进行心脏采血，以测定抗氧化能力指标（总抗氧化能力（T-AOC）、过氧化氢酶（CAT）和超氧化物歧化酶（SOD）活性、丙二醛浓度）和能量代谢指标（肌酐和葡萄糖）。取大约 5 g 轴上肌测定肌糖原含量及关键能量代谢酶活性，包括丙酮酸激酶（PK）、琥珀酸脱氢酶（SDH）和肌酸激酶（CK）活性。

1.4 数据统计和分析

所有数据均采用 SPSS 进行单因素方差分析。当差异显著时，采用 Duncan 's 进行多重比较。以 P 值 <0.05 表示差异显著，数据以平均值±标准误来表示。

2 结果

2.1 生长性能和体组成

牛蛙生长性能和脏器指数见表 2。SM 完全替代 FM 导致牛蛙生长速率和日粮利用率急剧下降（ $P < 0.05$ ）。SM 日粮中添加 0.4 g GAA/kg 显著提高了牛蛙生长速率和日粮利用率，且与 FM 组相近。然而，GAA 水平的进一步增加导致牛蛙生长性能显著降低。SM 日粮牛蛙肝脏指数显著高于其它处理组，并且 SM 组后腿指数最低，显著低于 GAA6、GAA8 组。在试验期间，所有处理组牛蛙成活率均为 100%。FM 的替代或 GAA 的补充对牛蛙体组成没有显著影响（表 3）。

2.2 抗氧化能力

日粮处理对牛蛙血清抗氧化能力指标有显著影响（表 4）。SM 组和 GAA2 组的 T-AOC 显著低于 FM 组、GAA4 组和 GAA6 组。SM 和 GAA2 组 CAT 活性明显低于 FM 和 GAA8 组。血清 MDA 浓度呈相反趋势，SM 和 GAA2 组 MDA 浓度明显高于其他处理组。各处理组间 SOD 活性差异不显著。

2.3 血清肌酐和葡萄糖浓度

FM 和 GAA6 日粮组牛蛙血清肌酐浓度显著高于其它各处理组（表 5）。GAA4 组的血糖浓度最高，显著高于 GAA2 组。

2.4 肌肉能量代谢关键酶

GAA4 日粮组 PK 活性显著低于 FM 和 GAA6 组（图 1a）。此外，GAA2 和 GAA4 组的 SDH 活性显著低于其它各处理组（图 1b）。SM 组肌肉 CK 活性和糖原含量显著降低，SM 日粮中添加 0.4-0.6 g/kg GAA 显著提高了牛蛙肌肉 CK 活性和糖原含量（图 1c, d）。

3 结论

综上所述, 本研究结果表明, 在全豆粕日粮中添加胍基乙酸对牛蛙具有重要意义。结果表明, 日粮中胍基乙酸的适宜添加水平为 0.4 g/kg。然而, 在植物性蛋白日粮中添加胍基乙酸对肌肉肌酸含量以及参与能量代谢的基因和通路的表达的影响仍有待研究。此外, 本研究还鼓励将来进一步研究, 以评估植物性日粮添加胍基乙酸对商业重要鱼类的作用。

表 2 饲喂 8 周试验日粮的牛蛙 (45 ± 0.2 g) 的生长性能和脏器指数

	FM	SM	GAA2	GAA4	GAA6	GAA8
末重 (g)	121.9 ± 2.64 ^c	111.9 ± 0.87 ^a	113.9 ± 5.53 ^{ab}	120.8 ± 2.25 ^{bc}	110.5 ± 0.51 ^a	109.6 ± 2.00 ^a
增重率 (%)	171.0 ± 5.71 ^c	144.7 ± 1.63 ^a	151.9 ± 13.8 ^{ab}	167.8 ± 5.12 ^{bc}	145.6 ± 2.02 ^a	142.7 ± 4.29 ^a
特定生长率 (%/天)	1.78 ± 0.02 ^c	1.59 ± 0.01 ^a	1.65 ± 0.01 ^{ab}	1.76 ± 0.03 ^{bc}	1.60 ± 0.06 ^a	1.58 ± 0.04 ^a
投饵率 (% , g/天)	1.72 ± 0.03	1.71 ± 0.02	1.61 ± 0.03	1.70 ± 0.05	1.70 ± 0.06	1.64 ± 0.03
日粮利用率	0.96 ± 0.03 ^b	0.87 ± 0.01 ^a	0.95 ± 0.01 ^{ab}	0.96 ± 0.01 ^b	0.89 ± 0.03 ^{ab}	0.90 ± 0.03 ^{ab}
蛋白质功效比值	2.46 ± 0.03 ^c	2.28 ± 0.04 ^a	2.43 ± 0.01 ^{bc}	2.46 ± 0.02 ^c	2.35 ± 0.03 ^{ab}	2.33 ± 0.03 ^a
肝脏指数 (%)	5.78 ± 0.12 ^a	6.80 ± 0.42 ^b	5.43 ± 0.09 ^a	5.60 ± 0.25 ^a	5.80 ± 0.12 ^a	5.73 ± 0.18 ^a
后退指数 (%)	30.73 ± 0.62 ^{ab}	29.33 ± 0.67 ^a	31.20 ± 0.77 ^{ab}	31.30 ± 0.59 ^{ab}	31.98 ± 0.82 ^b	31.87 ± 0.93 ^b
成活率 (%)	100	100	100	100	100	100

注: 同行数据肩标不同字母表示差异显著

表 3 饲喂 8 周试验日粮的牛蛙的体组成 (% , 湿基)

水分	46.26 ± 4.19	51.59 ± 4.68	49.61 ± 2.90	51.22 ± 4.69	48.53 ± 6.26	51.48 ± 3.99
蛋白	32.38 ± 2.51	28.59 ± 2.36	29.73 ± 2.47	28.69 ± 3.11	30.76 ± 3.95	30.05 ± 3.24
脂质	13.35 ± 0.77	11.21 ± 0.69	13.16 ± 0.28	12.50 ± 10.05	12.62 ± 1.40	11.12 ± 0.40
灰分	5.65 ± 0.73	5.04 ± 0.50	5.24 ± 0.47	4.78 ± 0.65	5.54 ± 0.82	5.15 ± 0.61

表 4 饲喂 8 周试验日粮的牛蛙血清抗氧化能力指标

	FM	SM	GAA2	GAA4	GAA6	GAA8
T-AOC (U/ml)	2.14 ± 0.21 ^c	0.49 ± 0.22 ^a	0.37 ± 0.11 ^a	1.60 ± 0.19 ^c	1.79 ± 0.04 ^c	0.76 ± 0.33 ^a
CAT (U/ml)	3.43 ± 0.23 ^b	2.15 ± 0.44 ^a	2.38 ± 0.18 ^a	2.97 ± 0.41 ^{ab}	2.74 ± 0.07 ^{ab}	3.65 ± 0.17 ^b
SOD (U/ml)	192 ± 11.0	225 ± 10.0	232 ± 16.7	220 ± 8.60	233 ± 16.8	235 ± 26.1
MDA (nmol/ml)	1.45 ± 0.03 ^a	2.52 ± 0.19 ^c	2.06 ± 0.16 ^b	1.21 ± 0.12 ^a	1.50 ± 0.13 ^a	1.54 ± 0.11 ^a

注: T-AOC: 总抗氧化能力, CAT: 过氧化氢酶, SOD: 超氧化物歧化酶, MDA: 丙二醛; 同行数据肩标不同字母表示差异显著

表 5 饲喂 8 周试验日粮的牛蛙血清肌酸酐和葡萄糖含量

	FM	SM	GAA2	GAA4	GAA6	GAA8
肌酸酐 (Imol/l)	62.37 ± 2.16 ^b	48.19 ± 2.17 ^a	42.99 ± 1.25 ^a	45.83 ± 1.25 ^a	57.17 ± 1.25 ^b	48.67 ± 2.06 ^a
葡萄糖 (Imol/l)	2.38 ± 0.27 ^{ab}	2.37 ± 0.22 ^{ab}	2.22 ± 0.17 ^a	2.95 ± 0.25 ^b	2.39 ± 0.01 ^{ab}	2.62 ± 0.10 ^{ab}

注: 同行数据肩标不同字母表示差异显著

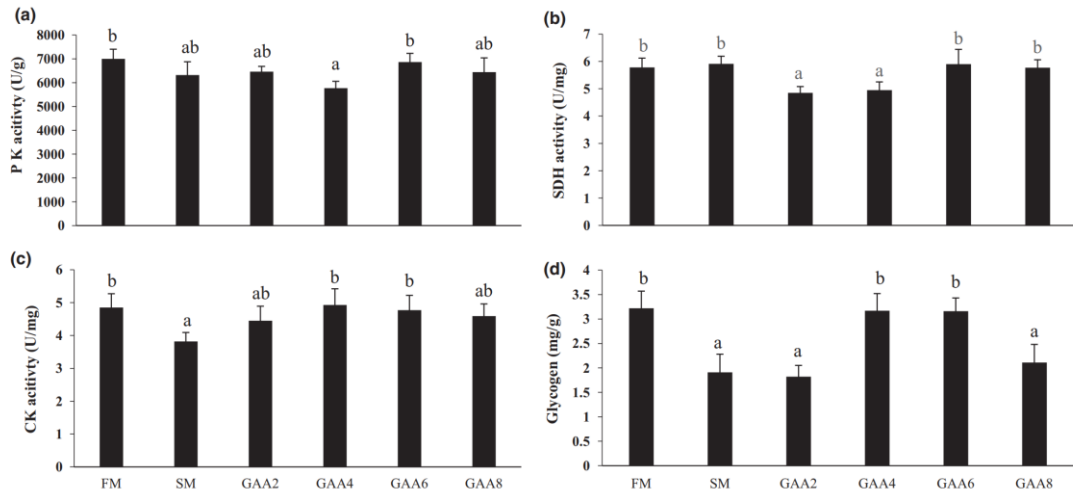


图1 肌肉关键能量代谢酶活性 ((a) 丙酮酸激酶, (b) 琥珀酸脱氢酶, (c) 肌酸激酶), 饲喂8周试验日粮牛蛙糖原含量 (d) 不同字母标注的柱形图表示差异显著 ($P < 0.05$)

全植物性日粮中添加胍基乙酸改善了生长草鱼的生长性能、肌肉风味和感官指标

节选翻译自 Guanidinoacetic acid supplementation totally based on vegetable meal diet improved the growth performance, muscle flavor components and sensory characteristics of on-growing grass carp (*Ctenopharygodon idella*)

摘要：本实验旨在研究在植物性蛋白日粮中添加胍基乙酸对生长期的草鱼的生长性能、肉中风味物质和感官指标的效果。试验分为鱼粉组和 5 个全植物性日粮组，全植物性日粮组分别添加不同水平的胍基乙酸（GAA）（0、150、300、450 和 600 mg/kg 胍基乙酸），试验持续 60 天。通过饲喂不同日粮，我们发现在全植物性日粮中添加适量 GAA 可以（1）提高增重率，采食量和日粮利用率；（2）增加了肌肉中的风味物质肌苷酸含量，及与风味相关的脂肪酸和氨基酸含量；（3）提高了肌肉的宰后 pH 值、系水力、硬度和感官指标，这些指标与宰后糖酵解水平和肌肉中肌纤维和胶原蛋白的密度相关。基于生长性能、肌肉中 DHA 含量、pH 和硬度，在生长草鱼（169.46-600.89 g）日粮中最适 GAA 添加量分别为 335.35、313.75 和 321.72 和 314.61 mg/kg。总之，本实验首次证明了在全植物性日粮中添加胍基乙酸可以改善生长草鱼的生长性能、肉中风味物质和感官指标。

关键词：胍基乙酸；肉品质；全植物性日粮；草鱼

1 试验设计

540 尾草鱼（体重 169.46 ± 0.58 g）随机地平均分到 18 个笼中（长宽高均为 1.4 m）。实验以单个笼子为一个重复（ $n=3$ ）。笼子下部放置一个 100 cm 的圆盘来收集剩料。水质数据为：溶解氧含量 >6.0 mg/L；pH 和水温测定值分别为 7.6 ± 0.3 和 $29.2 \pm 2^\circ\text{C}$ 。饲养在自然光下进行。每天进行人工徒手饲喂 4 次直至鱼出现明显的饱腹，收集剩料后干燥并称重。试验日粮见表 1。

表 1 日粮组成和营养水平

项目	日粮		日粮	
	鱼粉组	植物性日粮组	鱼粉组	植物性日粮组
原料 (%)			营养水平 (%)	
鱼粉	5.00	-	粗蛋白	28.63
大豆浓缩蛋白	-	5.21	粗脂肪	5.41
大米蛋白粉	18.25	18.25	n-3	1.04
棉籽粕	18.00	18.00	n-6	0.96
菜籽粕	15.35	15.35	可利用磷	0.4
豆油	0.80	0.74		
鱼油	2.73	3.07		
α -淀粉	27.00	27.00		
玉米淀粉	6.13	5.48		
碳酸氢钙	1.46	1.54		
维生素预混料	1.00	1.00		
矿物质预混料	2.00	2.00		
胆碱 (50%)	1.00	1.00		
乙氧基喹啉 (30%)	0.05	0.05		
色氨酸 (98%)	0.02	0.02		
赖氨酸 (98.5%)	0.07	0.13		
苏氨酸 (98.5%)	0.14	0.16		
预混料	1.00	1.00		

2 结果

2.1 生长性能

添加 300mg/kg GAA 显著增加了增重百分比, 采食量和饲料效率, 而且超过了鱼粉组的效果。鱼肉中的蛋白和脂质含量在 300mg/kg 组也显著上升, 且高于鱼粉组。

2.2 肌肉感官特性

300 mg/kg 组与鱼粉组相比显著增加了鱼肉的剪切力、pH 24 小时和羟脯氨酸的含量。与鱼粉组相比 300 和 450 mg/kg 组显著抑制了 LDH、HK、PFK 和 PK 酶的活性, 因此显著增加了肌肉中的 ATP 和糖原的含量。

2.3 肌肉脂肪酸组成

与不添加 GAA 的组相比, GAA 添加显著增加了肌肉中 DHA, ALA 和 EPA 的含量, 可能增加了鱼肉的风味。

2.4 肌肉氨基酸组成

用植物蛋白粉替代鱼粉后, 肌肉中的各种游离氨基酸显著降低, 包括甘氨酸、天冬氨酸、甘氨酸、赖氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、丝氨酸、精氨酸、总游离氨基酸

和 5'-次黄嘌呤核苷酸, 因此会降低肌肉的风味。在植物蛋白粉日粮中添加 GAA 后, 显著升高了各种游离氨基酸的含量, 而且 300 mg/kg 组的谷氨酸、丝氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸、组氨酸和总游离氨基酸的含量都显著高于鱼粉组, 表明 GAA 可以通过提高游离氨基酸水平提高鱼肉的风味。

本研究还通过二次回归分析, 根据草鱼的增重百分比、肌肉 DHA 含量、pH 值和硬度来计算出在植物蛋白粉日粮中添加 117.06、108.81、102.42 和 85.14 mg/kg GAA 的饮食补充剂时, 分别与鱼粉日粮组相当。同时, 也运用同样的方法估算了对于上述指标在植物蛋白粉日粮中的最适添加水平分别为 335.35、313.75、321.72 和 314.61 mg/kg。有趣的是, 基于这些指标, GAA 替代鱼粉的添加水平 (85.14-117.06 mg/kg) 低于最适添加水平 (313.75-335.35 mg/kg), 表明在鱼粉日粮中添加更多 GAA, 可能在一定范围内提供额外的好处, 这个假设还需要进一步研究。

3 结论

总的来说, 目前的研究表明饲喂全植物性日粮会减缓草鱼生长和降低草鱼的肉品质。而适当在全植物性日粮中补充胍基乙酸可以逆转这些不利影响, 主要通过一下三个途径来发挥作用: (1) 通过促进生长, 提高了增重率、采食量和日粮利用率; (2) 通过增加肌肉中与风味相关的游离氨基酸、脂肪酸和 5'-IMP 含量来改善肉的风味; (3) 通过提高宰后的 pH、系水力和硬度来改善肉的感官特征, 这可能与宰后糖酵解速率降低, 肌肉中的肌纤维和胶原蛋白增加有关。最后, 基于增重百分比和、DHA 含量, pH 和硬度, 在生长中草鱼 (169.46-600.89 g) 的全植物性日粮中适宜的胍基乙酸添加水平分别估计为 335.35、313.75、321.72 和 314.61 mg/kg。

表 2 胍基乙酸对生长草鱼生长性能和肌肉营养成分的影响

项目	鱼粉组	胍基乙酸添加量 (mg/kg)				
		0	150	300	450	600
生长性能						
初始重 (g/尾)	169.68 ± 0.39	169.46 ± 0.58	169.68 ± 0.20	169.46 ± 0.58	169.34 ± 1.17	169.90 ± 0.69
末均重 (g/尾)	535.78 ± 6.41c	468.89 ± 8.57a	533.11 ± 5.18c	600.89 ± 6.41e	572.89 ± 8.50d	509.56 ± 4.07b
增重率	215.75 ± 3.73c	176.69 ± 4.12a	214.18 ± 2.70c	254.59 ± 2.69e	238.29 ± 3.21d	199.91 ± 1.96b
特定生长率	1.92 ± 0.020c	1.70 ± 0.025a	1.91 ± 0.014c	2.11 ± 0.013e	2.03 ± 0.016d	1.83 ± 0.011b
采食量	594.44 ± 0.13d	532.04 ± 0.14a	593.24 ± 0.15c	651.82 ± 0.15f	624.80 ± 0.16e	573.45 ± 0.13b
日粮利用率	0.62 ± 0.011b	0.56 ± 0.015d	0.61 ± 0.008b	0.66 ± 0.009a	0.65 ± 0.012a	0.59 ± 0.007c
成活率	100	100	100	100	100	100
营养成分						
水分	76.51 ± 0.35b	77.68 ± 0.33c	76.44 ± 1.01b	75.47 ± 0.37a	76.16 ± 0.25ab	76.63 ± 0.8b
蛋白质	17.59 ± 0.7b	16.52 ± 0.64a	17.49 ± 0.7b	18.44 ± 0.51c	17.85 ± 0.42bc	17.36 ± 0.73b
脂肪	3.23 ± 0.11b	2.83 ± 0.06a	3.24 ± 0.04b	3.47 ± 0.13c	3.30 ± 0.07b	3.22 ± 0.06b
粗灰分	1.24 ± 0.04a	1.33 ± 0.05b	1.25 ± 0.04a	1.22 ± 0.07a	1.24 ± 0.05a	1.25 ± 0.06a
钙	.44 ± 0.04a	0.52 ± 0.03b	0.46 ± 0.04a	0.43 ± 0.04a	0.44 ± 0.03a	0.46 ± 0.03a
磷	0.25 ± 0.01a	0.31 ± 0.01b	0.26 ± 0.02a	0.24 ± 0.01a	0.25 ± 0.01a	0.26 ± 0.02a

表 3 胍基乙酸对生长草鱼肌肉感官特性的影响

项目	鱼粉组	胍基乙酸添加量 (mg/kg)				
		0	150	300	450	600
pH _{24h}	6.39 ± 0.08c	6.28 ± 0.07a	6.37 ± 0.08bc	6.54 ± 0.09d	6.48 ± 0.11d	6.30 ± 0.10ab
剪切力 (N)	2.14 ± 0.06b	2.03 ± 0.09a	2.17 ± 0.05bc	2.31 ± 0.08d	2.23 ± 0.06c	2.06 ± 0.07a
蒸煮损失 (%)	17.28 ± 0.46b	19.74 ± 0.49c	17.12 ± 1.34b	15.19 ± 1.42a	15.66 ± 1.03a	18.57 ± 1.18c
组织蛋白酶 B (U/g 蛋白)	3.71 ± 0.24c	4.56 ± 0.30d	3.75 ± 0.15c	2.54 ± 0.13a	2.83 ± 0.08b	3.92 ± 0.26c
组织蛋白酶 L (U/g 蛋白)	2.08 ± 0.11b	2.37 ± 0.13c	2.03 ± 0.13b	1.63 ± 0.14a	1.74 ± 0.13a	2.16 ± 0.15b
乳酸 (mmol/g 蛋白)	2.18 ± 0.09b	2.62 ± 0.11d	2.13 ± 0.12b	1.71 ± 0.09a	1.83 ± 0.07a	2.39 ± 0.12c
羟脯氨酸 (U/g 组织)	0.54 ± 0.03b	0.46 ± 0.01a	0.56 ± 0.04bc	0.66 ± 0.04d	0.58 ± 0.03c	0.48 ± 0.03a
肌酸激酶 (U/mg 蛋白)	1.31 ± 0.07b	1.14 ± 0.08a	1.19 ± 0.08a	1.44 ± 0.05c	1.41 ± 0.06c	1.32 ± 0.09b
乳酸脱氢酶 (U/g 蛋白)	15.31 ± 1.28b	18.56 ± 1.58c	17.28 ± 0.92c	13.35 ± 0.60a	14.26 ± 1.26ab	15.11 ± 0.69b
糖原 (mg/g 蛋白)	3.36 ± 0.13b	2.90 ± 0.20a	3.06 ± 0.22ab	4.22 ± 0.31c	3.97 ± 0.31c	3.17 ± 0.26ab
ATP (μmol/g 蛋白)	3.55 ± 0.32b	2.62 ± 0.13a	3.28 ± 0.24b	4.83 ± 0.42c	4.52 ± 0.37c	3.39 ± 0.22b
己糖激酶 (U/mg 蛋白)	1.08 ± 0.09b	1.33 ± 0.05c	1.02 ± 0.06b	0.86 ± 0.07a	0.92 ± 0.08a	1.10 ± 0.09b
磷酸果糖激酶 (U/mg 蛋白)	0.58 ± 0.04b	0.82 ± 0.05c	0.80 ± 0.03c	0.39 ± 0.04a	0.43 ± 0.03a	0.60 ± 0.01b
丙酮酸激酶 (U/g 蛋白)	62.48 ± 4.80b	84.3 ± 4.48c	64.82 ± 4.52b	48.3 ± 3.23a	52.82 ± 3.25a	65.87 ± 4.02b

表 4 胍基乙酸对生长草鱼肌肉脂肪酸组成的影响 (%总脂肪酸乙酯)

项目	鱼粉组	胍基乙酸添加量 (mg/kg)				
		0	150	300	450	600
C14: 0	2.33 ± 0.08	2.38 ± 0.12	2.27 ± 0.10	2.26 ± 0.09	2.24 ± 0.11	2.34 ± 0.07
C15: 0	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.19 ± 0.00	0.18 ± 0.01
C16: 0	21.19 ± 0.34b	22.49 ± 0.40c	21.37 ± 0.92b	20.02 ± 0.26a	20.27 ± 0.27a	21.25 ± 0.51b
C17: 0	0.17 ± 0.00b	0.21 ± 0.01c	0.18 ± 0.01b	0.15 ± 0.01a	0.17 ± 0.00ab	0.19 ± 0.01b
C18: 0	4.35 ± 0.13	4.42 ± 0.34	4.26 ± 0.22	4.14 ± 0.23	4.29 ± 0.31	4.27 ± 0.09
C20: 0	0.20 ± 0.01b	0.24 ± 0.01c	0.21 ± 0.01b	0.16 ± 0.00a	0.17 ± 0.00a	0.20 ± 0.01b
C21: 0	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.05 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.05 ± 0.00
C22: 0	0.55 ± 0.03	0.57 ± 0.04	0.56 ± 0.04	0.54 ± 0.02	0.55 ± 0.02	0.57 ± 0.01
C23: 0	1.50 ± 0.03b	1.67 ± 0.08c	1.49 ± 0.07b	1.35 ± 0.01a	1.37 ± 0.01a	1.63 ± 0.10c
C14: 1	0.12 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.13 ± 0.01	0.13 ± 0.01
C16: 1	9.29 ± 0.02a	8.95 ± 0.11a	9.26 ± 0.50a	9.94 ± 0.09b	9.97 ± 0.13b	9.32 ± 0.28a
C17: 1	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.20 ± 0.01	0.21 ± 0.00	0.22 ± 0.01
C18:1n9t	0.26 ± 0.01	0.25 ± 0.02	0.24 ± 0.02	0.24 ± 0.00	0.25 ± 0.01	0.25 ± 0.01
C18:1n9c	34.40 ± 0.22	33.55 ± 0.64	34.23 ± 1.13	34.44 ± 0.32	34.36 ± 0.37	34.37 ± 0.67
C20:1n9	1.78 ± 0.03	1.82 ± 0.10	1.83 ± 0.16	1.84 ± 0.02	1.72 ± 0.03	1.78 ± 0.07
C22: 1n-9	0.08 ± 0.00	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.00	0.07 ± 0.00	0.09 ± 0.00
C24: 1n-9	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00	0.04 ± 0.00
C24: 1n-9	1.69 ± 0.03ab	1.62 ± 0.03a	1.77 ± 0.11b	1.70 ± 0.07ab	1.70 ± 0.03ab	1.74 ± 0.08ab
C18: 3n-3 (ALA)	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.00
C20: 3n-3	1.81 ± 0.04ab	1.79 ± 0.03a	1.83 ± 0.04abc	1.92 ± 0.01c	1.90 ± 0.08bc	1.79 ± 0.08a
C20: 5n-3 (EPA)	6.60 ± 0.17ab	6.22 ± 0.21a	6.66 ± 0.17ab	6.94 ± 0.40b	6.74 ± 0.33ab	6.32 ± 0.38a
C22: 6n-3 (DHA)	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
C18:2n6c	11.61 ± 0.35	11.57 ± 0.30	11.62 ± 0.21	11.50 ± 0.29	11.59 ± 0.35	11.68 ± 0.71
C18: 3n-6	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.01	0.18 ± 0.00	0.16 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01
C20: 3n-6	0.53 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.54 ± 0.03	0.53 ± 0.01	0.52 ± 0.00	0.55 ± 0.01
C20: 2	0.53 ± 0.01	0.51 ± 0.02	0.51 ± 0.03	0.52 ± 0.03	0.51 ± 0.01	0.53 ± 0.03
C22: 2	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.20 ± 0.00	0.21 ± 0.01	0.20 ± 0.01
SFA	30.54 ± 0.00b	32.21 ± 0.52c	30.55 ± 1.17b	28.84 ± 0.24a	29.28 ± 0.50a	30.68 ± 0.50b
UFA	69.46 ± 0.28b	67.79 ± 0.52a	69.45 ± 1.17b	70.87 ± 0.36c	70.49 ± 0.50c	69.32 ± 0.50b
MUFA	46.18 ± 0.21ab	45.04 ± 0.71a	46.01 ± 1.52ab	47.04 ± 0.44b	46.86 ± 0.89b	46.20 ± 0.89ab
PUFA	23.28 ± 0.15	22.75 ± 0.30	23.44 ± 0.05	23.60 ± 0.26	23.46 ± 0.83	23.12 ± 0.83
n3 PUFA	10.21 ± 0.20abc	9.74 ± 0.19a	10.36 ± 0.38bc	10.66 ± 0.11c	10.45 ± 0.24bc	9.97 ± 0.24ab
n6 PUFA	12.34 ± 0.35	12.29 ± 0.30	12.36 ± 0.34	12.21 ± 0.36	12.29 ± 0.71	12.42 ± 0.71
n3/n6	0.83 ± 0.04ab	0.79 ± 0.03a	0.84 ± 0.05ab	0.87 ± 0.03b	0.85 ± 0.04ab	0.80 ± 0.04ab

表 5 胍基乙酸对生长草鱼肌肉组织游离氨基酸组成的影响 (mg/100g)

项目	鱼粉	胍基乙酸添加量 (mg/kg)				
		0	150	300	450	600
天冬氨酸	3.58 ± 0.28b	3.23 ± 0.14a	3.62 ± 0.25b	4.38 ± 0.04c	4.14 ± 0.10c	3.39 ± 0.19ab
谷氨酸	9.56 ± 0.11b	8.67 ± 0.39a	9.63 ± 0.17b	10.17 ± 0.24c	9.94 ± 0.44bc	9.41 ± 0.20b
丝氨酸	4.19 ± 0.05a	4.02 ± 0.15a	4.22 ± 0.13ab	4.46 ± 0.14b	4.24 ± 0.18ab	4.14 ± 0.15a
甘氨酸	33.05 ± 1.87b	27.55 ± 1.89a	34.78 ± 1.50b	44.59 ± 0.92c	43.13 ± 0.97c	33.01 ± 1.85b
丙氨酸	17.56 ± 1.03b	15.48 ± 0.76a	17.58 ± 0.65b	22.49 ± 0.68c	21.06 ± 0.75c	17.02 ± 1.42ab
蛋氨酸	1.96 ± 0.07	1.92 ± 0.09	2.02 ± 0.05	1.98 ± 0.05	1.98 ± 0.14	1.94 ± 0.21
赖氨酸	20.86 ± 0.88bc	13.60 ± 1.12a	21.75 ± 1.90c	24.66 ± 0.77d	23.10 ± 1.47cd	19.07 ± 1.34b
缬氨酸	5.96 ± 0.35	5.99 ± 0.28	5.94 ± 0.37	6.05 ± 0.45	6.14 ± 0.42	5.90 ± 0.24
异亮氨酸	3.47 ± 0.25bc	2.73 ± 0.08a	3.58 ± 0.05c	3.64 ± 0.13c	3.21 ± 0.15b	2.85 ± 0.19a
苯丙氨酸	6.26 ± 0.22c	5.08 ± 0.12a	6.33 ± 0.18c	6.82 ± 0.20d	6.54 ± 0.17cd	5.47 ± 0.30b
亮氨酸	5.05 ± 0.40b	4.51 ± 0.37a	5.03 ± 0.20b	5.39 ± 0.15b	5.14 ± 0.26b	5.08 ± 0.28b
苏氨酸	19.79 ± 1.59bc	16.47 ± 0.90a	19.45 ± 1.66bc	21.94 ± 1.33c	20.89 ± 1.64bc	18.30 ± 0.72ab
精氨酸	30.34 ± 1.66b	24.28 ± 1.72a	30.86 ± 2.01b	38.14 ± 3.28c	35.43 ± 3.12c	29.37 ± 2.10b
组氨酸	197.92 ± 10.80bc	173.76 ± 6.43a	198.63 ± 4.81bc	231.06 ± 10.66d	217.19 ± 15.05cd	194.19 ± 15.80b
酪氨酸	4.65 ± 0.40	4.45 ± 1.02	4.87 ± 0.42	4.66 ± 0.39	4.42 ± 0.18	4.77 ± 0.29
脯氨酸	26.22 ± 1.07	29.28 ± 1.30	27.79 ± 1.84	28.98 ± 2.46	29.31 ± 2.62	28.41 ± 2.39
总游离氨基酸	390.25 ± 8.38b	338.73 ± 5.08a	396.08 ± 2.96b	459.62 ± 8.82d	436.01 ± 13.63c	382.06 ± 12.45b
5'-肌苷酸	60.48 ± 3.96bc	52.80 ± 2.66a	57.15 ± 3.08b	64.49 ± 2.56c	63.59 ± 4.09c	58.95 ± 4.74b

无动物性蛋白饲料添加胍基乙酸对断奶仔猪生长性能和肠道屏障的影响

司徒金水¹ 王杰^{1,2*} 高萍¹ 王忠刚² 朱芳²

杨富岭³ 江青艳¹ 朱晓彤¹ 罗旭芳^{1*}

(1.华南农业大学动物科学学院,广州 510642;2.广东华红饲料科技有限公司,肇庆 526060;

3.北京君德同创农牧科技股份有限公司,北京 100089)

摘要: 本试验旨在探讨在断奶仔猪饲料中添加一定量的胍基乙酸与去皮豆粕替代鱼粉,研究其对断奶仔猪生长性能、血清生理生化相关指标以及肠道屏障功能的影响。试验选取42日龄“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪204头,随机分为3组(每组4个重复,每个重复17头),分别为对照组(饲喂含3%秘鲁进口鱼粉的基础饲料)、无动物性蛋白组(用3%去皮豆粕替代对照组饲料中3%的鱼粉)、胍基乙酸组(在无动物性蛋白组饲料中添加600 mg/kg 胍基乙酸),参与试验的各组饲料调整后营养水平和限制性氨基酸含量均相同。试验期为28 d。结果表明:1)与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加600 mg/kg 胍基乙酸显著提高断奶仔猪的末重($P<0.05$),极显著提高断奶仔猪平均日增重($P<0.01$),显著降低料重比($P<0.05$),且断奶仔猪的死淘率无显著差异($P\geq 0.05$);与对照组相比,采用3%的去皮豆粕替代3%的鱼粉,断奶仔猪的死淘率增加了33.33%($P\geq 0.05$),而在此基础上添加适量的胍基乙酸后死淘率降低至与对照组同一水平。2)与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸显著提高断奶仔猪血清中总蛋白和球蛋白的含量($P<0.05$),对血清中脂代谢、糖代谢以及相关激素指标均无显著影响($P\geq 0.05$)。3)与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸除显著降低断奶仔猪空肠绒毛高度外($P<0.05$),对空肠隐窝深度和绒毛高度/隐窝深度(V/C)值以及对十二指肠、回肠的绒毛高度、隐窝深度和V/C值均无显著影响($P\geq 0.05$)。4)与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪十二指肠和回肠封闭蛋白(occludin)的表达量($P<0.01$),显著增加十二指肠闭合蛋白-1(claudin-1)的表达量($P<0.05$),显著降低血清内毒素的含量($P<0.05$),极显著增加空肠和回肠的杯状细胞数量($P<0.01$),显著提高回肠抗炎因子白细胞介素-10(IL-10)的mRNA表达量($P<0.05$);与无动物性蛋白组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪回肠occludin的表达量($P<0.01$),显著增加十二指肠occludin和空肠claudin-1的表达量($P<0.05$),显著降低血清内毒素的含量($P<0.05$)。由此可见,在无动物性蛋白饲料中添加600 mg/kg 胍基乙酸能有效改善断奶仔猪的肠道屏障功能,促进仔猪的生长。

关键词: 胍基乙酸;断奶仔猪;生长性能;肠道屏障

中图分类号:S816.7

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)06-0000-00

胍基乙酸主要是由L-精氨酸和甘氨酸在肾脏

中通过脒基转移酶催化合成,是脊椎动物内源合

成肌酸的唯一前体物,其最重要的生理功能就是在肝脏中通过甲基化的形式合成肌酸;而肌酸作用的磷酸原供能系统可快速为机体供能,在动物生长及能量代谢中发挥重要作用^[1-4]。肌酸主要来源于动物性蛋白饲料原料,而植物性蛋白原料中缺乏肌酸。近年来鱼粉价格的不断上涨限制了其在生产中的大量使用,且如今植物性蛋白原料的过度使用加上动物内源合成肌酸不足的现状更是增加了动物对肌酸的需求,但在生产实践中通过饲料直接添加肌酸的效果并不理想。有研究报道,与直接添加肌酸相比,饲料添加胍基乙酸其稳定性更好、成本更低,且在动物肝脏和肌肉组织中转化效率更高,因此,在植物性蛋白饲料中通过直接添加胍基乙酸来补充肌酸可取得更好的效果^[5-7]。目前对胍基乙酸在养猪生产中的研究主要集中在提高生产性能^[7-13]和抗氧化能力^[10,12]、改善胴体及肉品质^[7-11,13-14]、提高能量转化效率^[10,14-15]等方面,尚未见其对肠道功能影响的研究。

为提高生产效率,早期断奶在集约化养猪模式中普遍推广应用,也给断奶仔猪的生长造成一系列的严重影响。仔猪断奶后饲料的过早摄入导致仔猪肠道的形态和功能发生变化、肠道屏障受损、通透性增加,病原微生物和内毒素增多,从而引起采食量下降、消化不良、腹泻和生长缓慢等一系列“仔猪早期断奶综合征”^[16-17],极大地影响其后期生长。因此,本文通过探究在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸对断奶仔猪生长性能和肠道屏障的影响及其机理,为胍基乙酸作为饲料添加剂进一步在动物生产中的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用胍基乙酸由北京某农牧科技股份有限公司提供,分子式为 $C_3H_7N_3O_2$,有效成分含量>98.5%(以干物质计)。

1.2 试验设计及饲养管理

试验选取42日龄“杜×长×大”三元杂交断奶仔猪204头(28日龄断奶),随机分为3组(每个组4个重复,每个重复17头):第1组为对照组,饲喂不含有胍基乙酸的基础饲料(含有3%秘鲁进口鱼粉的动物性蛋白原料);第2组为无动物性蛋

白组(采用3%的去皮豆粕替代基础饲料中3%的鱼粉,作为参照组,以减少饲料中蛋白源饲料原料变动引起的误差);第3组为胍基乙酸组(采用3%的去皮豆粕+600 mg/kg 胍基乙酸替代基础饲料中3%的鱼粉)。各组饲料调整后营养水平和限制性氨基酸含量均相同。基础饲料采用玉米-豆粕型饲料,参照NRC(2012)6~20 kg猪营养需要量进行配制。基础饲料组成及营养水平见表1。仔猪分组饲养在保育舍中,按照试验场的常规生产管理制度进行管理,采用颗粒料进行饲喂,每日饲喂4次,仔猪自由采食,保证充足饮水。试验期为28 d。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	48.5
46%去皮豆粕 46% dehulled soybean meal	18.0
进口蒸汽鱼粉 Imported steam fish meal	3.0
膨化玉米 Extruded corn	10.0
葡萄糖 Glucose	2.5
膨化大豆 Extruded soybean	8.0
一级豆油 Level 1 soybean oil	1.0
乳清粉 Dried whey	5.0
预混料 Premix ¹⁾	4.0
合计 Total	100.0
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
消化能 DE(MJ/kg)	14.36
粗蛋白质 CP	18.90
粗纤维 CF	1.90
粗脂肪 EE	5.00
钙 Ca	0.68
总磷 TP	0.61
赖氨酸 Lys	1.30
蛋氨酸 Met	0.39
苏氨酸 Thr	0.83
色氨酸 Trp	0.22

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of the diet: VA 8 000 IU, VD₃ 2 200 IU, VE 100 mg, VK₃ 4.8 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 7.2 mg, VB₆ 3.6 mg, VB₁₂ 0.025 mg, 烟酸 nicotinic acid 40 mg, 泛酸 pantothenic acid 25.2 mg, 叶酸 folic acid 4 mg, 生物素 biotin 0.48 mg, 氯化胆碱 choline chloride 5 000 mg, Fe 150 mg, CuSO₄ · 5H₂O 100 mg, KIO₃ 0.25 mg, ZnO 1 500 mg。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 生长性能

试验前分组称重,试验结束后称重,记录其日采食量以及死淘数,用于生长性能和健康状况的评价。计算平均日增重、平均日均采食量、料重比和死淘率。

1.3.2 血清相关指标及内毒素

试验结束称重后,每组屠宰 8 头猪(空腹 12 h),心脏采血、静置,2 500 r/min 离心 15 min,取上清液于-20 ℃冰箱保存。血清总蛋白、白蛋白、尿素氮、甘油三酯、胆固醇、葡萄糖含量采用南京建成生物工程研究所的相应检验试剂盒测定,血清内毒素含量采用酶联免疫吸附试验(ELISA)试剂盒测定,血清游离胰岛素样生长因子-I (free insulin-like growth factor-I, IGF-I)、胰岛素(insulin, INS)、三碘甲状腺原氨酸(T_3)和四碘甲状腺原氨酸(T_4)含量采用放射免疫试剂盒测定。

1.3.3 组织及杯状细胞观察

试验猪屠宰后剖出肠道,结扎,分离出十二指肠、空肠、回肠,分别在各肠断从头向后采集 15 cm 作为样品;从样品中剪取 2~3 cm,放入 4%的多聚甲醛中固定 24 h,石蜡包埋,厚度 4~7 mm 切片,展

片,置于载玻片上烘干,然后过 2 道二甲苯各 15 min,分别进行苏木精-伊红(HE)染色和过碘酸-希夫(PAS)染色,最后擦净载玻片后中性树脂封片晾干,拍照,计算绒毛高度、隐窝深度、绒毛高度/隐窝深度(V/C)值和杯状细胞数量。

1.3.4 Western blot 法检测肠道紧密连接蛋白的表达

取肠道组织匀浆后离心吸取上清液,采用二喹啉甲酸(BCA)法检测蛋白含量,99 ℃变性 10 min进行凝胶电泳,用封闭液封闭 2 h,于 4 ℃孵育抗体过夜,再用 TBST 洗涤后孵二抗 2 h,结束后用 TBST 溶液再洗涤,于发光液放 1 min 后在凝胶成像系统扫描。

1.3.5 实时荧光定量 PCR 法检测炎症因子

根据 Magen 公司组织样品中总 RNA 提取试剂盒上的步骤提取肠道组织 RNA,于-80 ℃保存。用超微量核酸蛋白检测仪检测 RNA 的质量,反转录合成 cDNA,用 Primer 5.0 软件设计并通过上海生工生物工程科技有限公司合成目的基因,引物序列见表 2,内参基因选用 β -肌动蛋白(β -actin)。根据公式 $2^{-\Delta Ct} = 2^{-(Ct_{目的基因} - Ct_{\beta-actin})}$ 计算出目的基因的 mRNA 表达量。

表 2 引物序列

Table 2 Primer sequences

项目 Items	序列 Sequences (5'-3')	退火温度 Annealing temperature/℃	产物长度 Product length/bp
白细胞介素-1 β IL-1 β	F: TGGAAGTGATGGCTAACTACGG R: ATGCCTGGGAGGAGGGATT	59	127
肿瘤坏死因子- α TNF- α	F: CCACGCTCTTCTGCCTACTGC R: CGACGGGCTTATCTGAGGTTTG	61	132
白细胞介素-4 IL-4	F: ACCCAACCCTGGTCTGCTT R: AGGTTTCCTTCTCCGTCGTG	61	183
白细胞介素-10 IL-10	F: TCAAACGAAGGACCAGAT R: GAAGATGTCAAACCTCACCC	61	328
β -肌动蛋白 β -actin	F: CCACGAACTACCTTCAACTC R: TGATCTCCTTCTGCATCCTGT	58	131

1.4 数据统计与分析

本试验数据采用 SPSS 18.0 统计软件进行独立样本 t 检验统计分析,分析结果以“平均值 \pm 标准误(mean \pm SE)”的形式表示,取 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P < 0.01$ 表示差异极显著, $P \geq 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 胍基乙酸对断奶仔猪生长性能的影响

由表 3 可知,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸(即胍基乙酸组)显著提高了断奶仔猪的末重($P < 0.05$),极显著提高了断奶仔

猪平均日增重 ($P < 0.01$), 显著降低料重比 ($P < 0.05$), 且断奶仔猪的死淘率无显著差异 ($P \geq 0.05$)。与对照组相比, 采用 3% 的去皮豆粕替代 3% 的鱼粉

(即无动物性蛋白组), 断奶仔猪的死淘率增加 33.33% ($P \geq 0.05$), 而在此基础上添加适量的胍基乙酸后死淘率降低至与对照组同一水平。

表 3 胍基乙酸对断奶仔猪生长性能的影响

Table 3 Effects of guanidineacetic acid on growth performance of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	无动物性蛋白组 No animal protein group	胍基乙酸组 Guanidineacetic acid group
初重 IG/kg	11.00±0.22	11.08±0.22	10.98±0.22
末重 FG/kg	22.52±0.55	23.93±0.47	24.01±0.44 *
平均日增重 ADG/g	388.42±13.13	428.42±12.25 *	434.17±10.27 **
平均日采食量 ADFI/g	671.70±64.90	701.30±41.12	704.30±42.36
料重比 F/G	1.73±0.02	1.65±0.04	1.62±0.02 *
死淘率 MR/%	8.82	11.76	8.82

* 和 ** 分别表示无动物性蛋白组和胍基乙酸组与对照组相比差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$), # 和 ## 分别表示胍基乙酸组与无动物性蛋白组相比差异显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。下表同。

* and ** mean there was significant ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$) in no animal protein group and guanidineacetic acid group compared with the control group, # and ## mean there was significant ($P < 0.05$) and extremely significant difference ($P < 0.01$) between guanidineacetic acid group compared and no animal protein group, respectively. The same as below.

2.2 胍基乙酸对断奶仔血清中相关生化代谢指标和激素指标的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, 在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸显著提高断奶仔猪血清中总蛋白和球蛋白的含量 ($P < 0.05$), 对血清中白蛋白和尿素氮的含量均无显著影响 ($P \geq 0.05$)。与对照组相比, 在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸

对断奶仔猪血清中甘油三酯、胆固醇和葡萄糖的含量均无显著影响 ($P \geq 0.05$), 且对血清中 fIGF- I、T₃、T₄ 和 INS 的含量均无显著影响 ($P \geq 0.05$)。与无动物性蛋白组相比, 胍基乙酸组断奶仔猪血清中除 T₄ 含量显著降低外 ($P < 0.05$), 其他指标无显著差异 ($P \geq 0.05$)。

表 4 胍基乙酸对断奶仔血清中相关生化代谢指标和激素指标的影响

Table 4 Effects of guanidineacetic acid on serum related biochemical, metabolic and hormone indicators of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	无动物性蛋白组 No animal protein group	胍基乙酸组 Guanidineacetic acid group
总蛋白 TP/(g/L)	50.29±1.63	53.37±2.00	57.05±1.60 *
白蛋白 ALB/(g/L)	24.64±0.67	27.28±1.72	27.86±1.17
球蛋白 GLO/(g/L)	25.71±1.29	26.09±1.32	29.19±0.71 *
尿素氮 BUN/(mmol/L)	2.75±0.43	2.97±0.16	2.91±0.17
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.49±0.02	0.62±0.03 **	0.62±0.06
胆固醇 CHO/(mmol/L)	2.74±0.18	2.69±0.10	2.63±0.13
葡萄糖 GLU/(mg/dL)	81.01±5.25	80.76±7.99	74.49±7.02
游离胰岛素样生长因子- I fIGF- I/(ng/mL)	262.53±17.38	325.67±32.56	319.4±30.87
三碘甲状腺原氨酸 T ₃ /(ng/mL)	0.30±0.03	0.46± 0.11	0.42±0.08
三碘甲状腺原氨酸 T ₄ /(μg/dL)	6.18±0.71	9.27±0.49 *	7.17±0.72 [#]
胰岛素 INS/(μIU/mL)	10.32±4.12	13.57±4.17	10.94±3.27

2.3 胍基乙酸对断奶仔猪肠道发育的影响

由表 5 可知,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸除了显著降低断奶仔猪空肠绒毛高度外($P<0.05$),对空肠隐窝深度和 V/C 值以及对十二指肠、回肠的绒毛高度、隐窝深度和

V/C 值均无显著差异($P\geq 0.05$)。与无动物性蛋白组相比,胍基乙酸组断奶仔猪十二指肠隐窝深度极显著增加($P<0.01$),V/C 值极显著降低($P<0.01$);空肠绒毛高度极显著降低($P<0.01$),其他指标均无显著差异($P\geq 0.05$)。

表 5 胍基乙酸对断奶仔猪肠道发育的影响

Table 5 Effects of guanidineacetic acid intestine development of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	无动物性蛋白组 No animal protein group	胍基乙酸组 Guanidineacetic acid group
十二指肠 Duodenum			
绒毛高度 Villus height/ μm	412.75 \pm 12.69	406.51 \pm 13.60	390.85 \pm 18.28
隐窝深度 Crypt depth/ μm	316.71 \pm 17.11	250.70 \pm 8.59**	308.63 \pm 16.52##
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.36 \pm 0.09	1.59 \pm 0.07*	1.34 \pm 0.03##
空肠 Jejunum			
绒毛高度 Villus height/ μm	360.50 \pm 23.01	338.60 \pm 11.75	290.65 \pm 11.49*##
隐窝深度 Crypt depth/ μm	253.65 \pm 10.66	286.86 \pm 17.53	253.55 \pm 18.51
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.42 \pm 0.06	1.19 \pm 0.10	1.25 \pm 0.12
回肠 Ileum			
绒毛高度 Villus height/ μm	325.37 \pm 11.72	311.61 \pm 12.51	336.59 \pm 18.01
隐窝深度 Crypt depth/ μm	221.60 \pm 16.59	237.54 \pm 32.80	203.69 \pm 7.97
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.61 \pm 0.15	1.66 \pm 0.20	1.65 \pm 0.11

2.4 胍基乙酸对断奶仔猪肠道屏障功能的影响

2.4.1 胍基乙酸对断奶仔猪肠道绒毛杯状细胞数量的影响

由表 6 可知,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪空肠和

回肠的杯状细胞数量($P<0.01$),对十二指肠杯状细胞数量无显著差异($P\geq 0.05$);与无动物性蛋白组相比,胍基乙酸组断奶仔猪各肠段的杯状细胞数量无显著差异($P\geq 0.05$)。

表 6 胍基乙酸对断奶仔猪肠道绒毛杯状细胞数量的影响

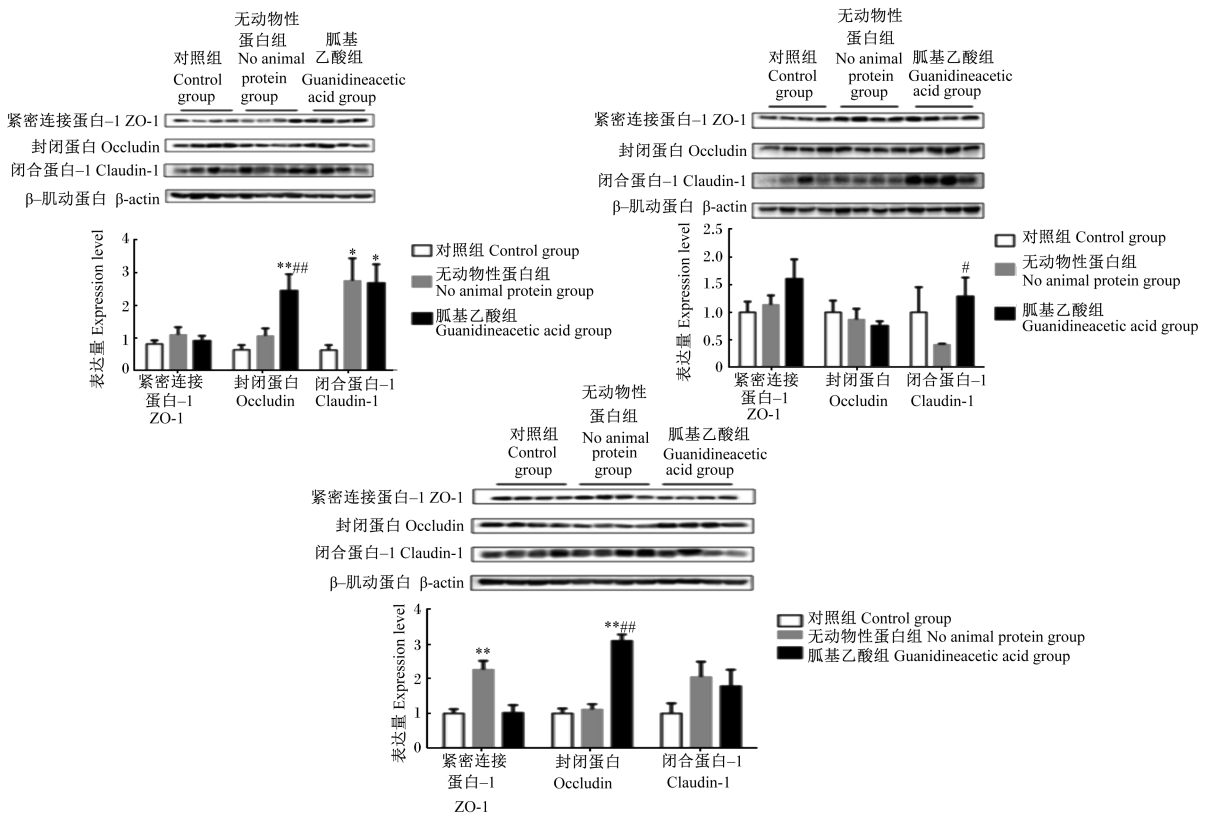
Table 6 Effects of guanidineacetic acid on the number of goblet cells in intestinal villi of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	无动物性蛋白组 No animal protein group	胍基乙酸组 Guanidineacetic acid group
十二指肠 Duodenum	63.56 \pm 3.06	54.33 \pm 3.14	55.00 \pm 4.42
空肠 Jejunum	37.56 \pm 2.68	52.11 \pm 4.14**	56.11 \pm 2.40**
回肠 Ileum	30.38 \pm 2.29	43.88 \pm 1.86**	46.33 \pm 3.13**

2.4.2 胍基乙酸对断奶仔猪肠道紧密连接蛋白表达的影响

如图 1 所示,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪十二指肠和回肠封闭蛋白(occludin)的表达量($P<0.01$),显著增加十二指肠闭合蛋白-1(claudin-1)的表达量($P<0.05$)。与无动物性蛋白组相比,在无动物

性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪回肠 occludin 的表达量($P<0.01$),显著增加十二指肠 occludin 和空肠 claudin-1 的表达量($P<0.05$)。同时,如图 2 所示,与其他 2 组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸显著降低了断奶仔猪血清中内毒素的含量($P<0.05$)。



* 和 ** 分别表示无动物性蛋白组和胍基乙酸组与对照组相比差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$), #和##分别表示胍基乙酸组与无动物性蛋白组相比差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$)。下图同。

* and ** mean there was significant ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$) in no animal protein group and guanidineacetic acid group compared with the control group, # and ## mean there was significant ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$) between guanidineacetic acid group compared and no animal protein group, respectively. The same as below.

图 1 胍基乙酸对断奶仔猪肠道紧密连接蛋白表达的影响

Fig.1 Effects of guanidineacetic acid on intestinal tight junction protein expression of weaned piglets

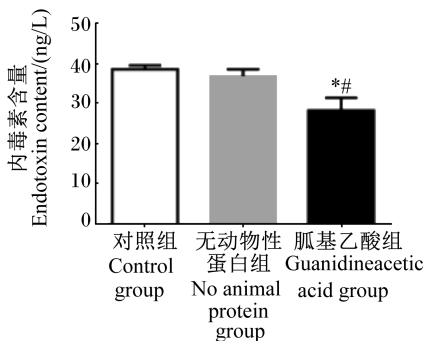


图 2 胍基乙酸对断奶仔猪血清内毒素含量的影响

Fig.2 Effects of guanidineacetic acid on serum endotoxin content of weaned piglets

2.4.3 胍基乙酸对断奶仔猪回肠促炎和抗炎相关因子 mRNA 表达的影响

如图 3 所示,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸对断奶仔猪回肠促炎因子 [肿瘤坏死因子- α ($TNF-\alpha$) 和白细胞介素- 1β ($IL-1\beta$)] 的 mRNA 表达量无显著影响 ($P\geq 0.05$), 但能显著提高抗炎因子白细胞介素- 10 ($IL-10$) 的 mRNA 表达量 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 胍基乙酸对断奶仔猪生长性能和血清相关指标的影响

动物的生长发育与能量密切相关,胍基乙酸是脊椎动物内源合成肌酸的唯一前体物,其合成

的肌酸是能量代谢中的重要物质,在饲料中添加胍基乙酸主要是为了补充肌酸,以提高动物能量代谢,促进生长。Jayaraman 等^[8]的研究发现,添加胍基乙酸可显著增加猪整个生长及育肥期的平均日增重和瘦肉产量,显著降低料重比,且与性别无关。本试验研究发现,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸显著提高断奶仔猪的末重,极显著提高断奶仔猪平均日增重,显著降低料重比。这与李洁蕾^[10]、潘宝海等^[11]、张德福等^[7]、王欢等^[12]的研究结果基本一致。本研究还

发现,与对照组相比,用3%的去皮豆粕替代3%的鱼粉后,断奶仔猪的死淘率增加了33.33%,死淘率的增加导致断奶仔猪猪群中弱仔减少,试验期仔猪的平均日增重显著高于饲喂含有鱼粉组的仔猪,但死淘率的增加也导致仔猪的出栏率下降,生产效益降低;而在此基础上添加适量的胍基乙酸后死淘率降低至与对照组同一水平。上述结果提示,用去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉能有效提高断奶仔猪的生长性能。

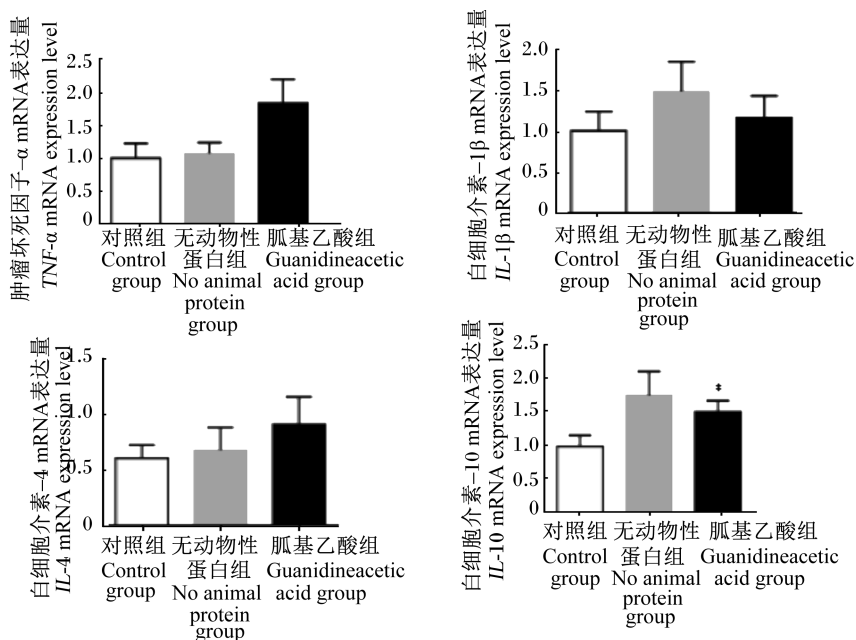


图3 胍基乙酸对断奶仔猪回肠促炎和抗炎因子 mRNA 表达的影响

Fig.3 Effects of guanidineacetic acid on mRNA expression of ileal pro-inflammatory and anti-inflammatory factors of weaned piglets

血清中的球蛋白是反映机体免疫功能的重要指标之一。本研究发现,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸显著提高了断奶仔猪血清中球蛋白的含量,提示去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉能在一定程度上改善断奶仔猪的免疫功能,血清中球蛋白的含量显著提高也是胍基乙酸组血清中总蛋白的含量显著增加的主要原因。此外,对相关内源激素的测定发现,去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉对断奶仔猪血清中与生长和代谢相关激素 $IGF-I$ 、 T_3 、 T_4 和 INS 含量均无显著影响,上述结果与相关报道(促进胰岛素样生长因子- I 、 INS ^[18-20]、生长激素的分泌^[21])存在差异,内在原因有待进一步的研究。

3.2 胍基乙酸对断奶仔猪肠道发育及肠道屏障功能的影响

肠道是动物重要的营养器官,肠道形态结构的完整性是肠道消化吸收营养物质的基础,消化吸收的主要部位是小肠绒毛和隐窝。仔猪断奶后,采食方式由乳汁的摄取转变为玉米、豆粕等固体颗粒饲料的摄入,影响了肠道的发育。固体饲料的过早采食,会导致肠绒毛损伤而变短,隐窝加深,绒毛高度和隐窝深度的比值降低,对营养物质的消化吸收能力下降,影响仔猪的生长性能^[22-23];戴德渊等^[24]的研究也发现,仔猪断奶 11 d 后隐窝深度显著加深,绒毛高度显著降低,提示仔猪消化系统发育尚未完善,易受到断奶应激的影响。本

研究发现,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加 600 mg/kg 胍基乙酸除了显著降低断奶仔猪空肠绒毛高度外,对其他 8 个指标(绒毛高度、隐窝深度和 V/C 值)均无显著差异;上述结果提示,去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉对断奶仔猪肠道绒毛的发育在整体上无显著影响。

近年来的研究发现,肠道除了是营养物质的主要消化吸收场所外,在动物机体的免疫功能中也发挥了重要作用,主要体现在肠道屏障功能方面。紧密连接蛋白与完整的肠道形态结构一起是构成肠道物理屏障的结构基础,可以防御有害物质的侵入。内毒素是反映肠道通透性的重要指标,其大量繁殖或死亡后释放出的有毒物质会损伤肠道上皮细胞^[25-29]。有研究发现,肠道紧密连接蛋白 occludin 能有效阻止肠腔内毒素、炎性介质及细菌等物质的旁细胞转运,维持肠道上皮屏障的完整性^[30]。本试验结果显示,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加断奶仔猪十二指肠和回肠 occludin 的表达量,显著增加十二指肠 claudin-1 的表达量;与无动物性蛋白组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加回肠 occludin 的表达量,显著增加十二指肠 occludin 和空肠 claudin-1 的表达量;且胍基乙酸组断奶仔猪血清内毒素的含量显著低于其他 2 组,提示添加胍基乙酸能改善断奶仔猪肠道的物理屏障功能。由杯状细胞和肠上皮细胞分泌的黏蛋白和抗菌肽组成的黏液层是肠道化学屏障的基础。黏蛋白是黏液的主要成分,可以为微生物及病原菌的黏附提供位点,防止微生物及病原菌黏附于肠道上皮细胞^[17,31-32]。有研究发现,杯状细胞的增加可促进黏蛋白的分泌,增强黏液屏障的作用,抵抗病原细菌、病毒、寄生虫,还能促进机体免疫^[33-34]。本研究发现,与对照组相比,在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸极显著增加了空肠和回肠上皮杯状细胞数量,这提示去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉可有效促进断奶仔猪肠道化学屏障功能。肠道是机体最大的免疫器官,肠道的免疫屏障主要包括相关淋巴组织、分泌型免疫球蛋白 A 及细胞因子构成的肠道免疫防御系统。病原物的侵入会损伤肠道黏膜,引起炎症反应,免疫细胞的介入,相关炎症因子的基因表达会发生改变。在抵御病原菌感染时,促炎因子和抗炎因子发挥重要的作用^[35]。本研究发现,与对照组相比,在无动物

性蛋白饲料中添加胍基乙酸对断奶仔猪回肠促炎因子 *TNF- α* 以及 *IL-1 β* 的 mRNA 表达量无显著影响,但胍基乙酸组断奶仔猪回肠抗炎因子 *IL-10* 的 mRNA 表达量显著增加,这提示在无动物性蛋白饲料中添加胍基乙酸能有效改善断奶仔猪的免疫屏障功能。综上所述,饲料中采用去皮豆粕+胍基乙酸替代鱼粉能多方面改善断奶仔猪肠道的物理、化学、免疫屏障功能,达到鱼粉的效果,甚至更好。

4 结 论

无动物性蛋白饲料中添加 600 mg/kg 胍基乙酸能有效改善断奶仔猪的肠道屏障功能,提高其生长性能。

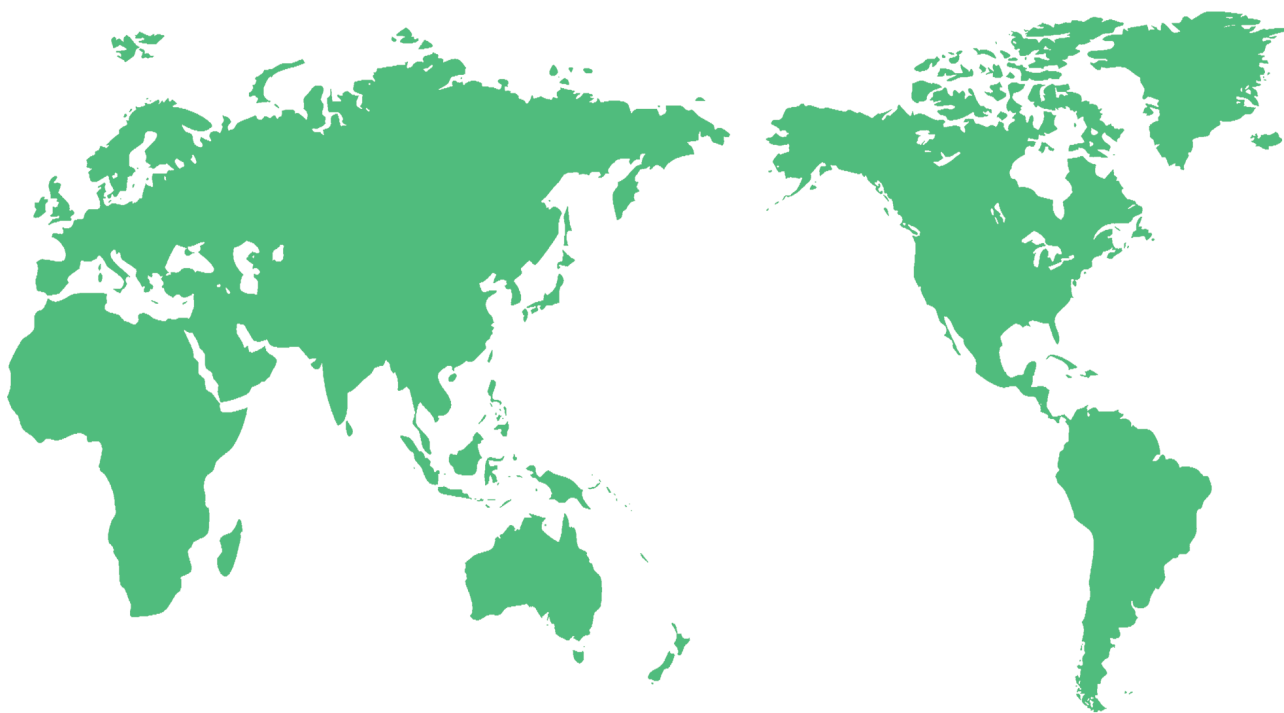
参考文献:

- [1] 王誉杰,张进威,王讯,等.胍基乙酸及代谢产物肌酸的研究进展[J].畜牧兽医学报,2018,49(8):1577-1584.
- [2] SALES J.A meta-analysis of the effects of dietary betaine supplementation on finishing performance and carcass characteristics of pigs[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 165(1/2):68-78.
- [3] OSTOJIC S M, NIESS B, STOJANOVIC M, et al. Creatine metabolism and safety profiles after six-week oral guanidinoacetic acid administration in healthy humans[J]. International Journal of Medical Sciences, 2013, 10(2):141-147.
- [4] 班博,蒋庆友,杨泰,等.胍基乙酸的生理作用和机理及其在肉鸡、猪生产方面的应用[J].动物营养学报,2018,30(12):4799-4805.
- [5] DA SILVA R P, CLOW K, BROSNAN J T, et al. Synthesis of guanidinoacetate and creatine from amino acids by rat pancreas[J]. British Journal of Nutrition, 2014, 111(4):571-577.
- [6] MCBREAIRTY L E, ROBINSON J L, FURLONG K R, et al. Guanidinoacetate is more effective than creatine at enhancing tissue creatine stores while consequently limiting methionine availability in Yucatan miniature pigs [J]. PLoS One, 2015, 10(6):e0131563.
- [7] 张德福,李易明,田耀耀,等.胍基乙酸对猪生长性能和饲养经济效益的影响[J].中国饲料,2016(18):29-31,35.
- [8] JAYARAMAN B, LA K V, LA H, et al. Supplementation of guanidinoacetic acid to pig diets: effects on performance, carcass characteristics, and meat quality[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(6):2332-2341.



微信公众号

动物营养和健康事业因生物技术而伟大



北京君德同创生物技术股份有限公司

地址：北京市海淀区上地三街9号嘉华大厦B座601室

电话：010-82895292

传真：010-82895197

网址：www.gendone.com

固安君德同创生物工程有限公司

地址：河北省固安工业园区南区兴民道

电话：0316-5925100

传真：0316-5925101