溢多利 VTR

葡萄糖氧化酶对肉鸡生长性能、养分代谢率、肠道 pH 及盲肠微生物的影响

郭玉光，陈 思，王 敏，冯新雨，陈书琴，刘凯丽，谢德欢，杜红方*
（广东溢多利生物科技股份有限公司，广东 珠海 519060）

摘 要：本研究旨在探讨在无抗日粮中添加葡萄糖氧化酶对肉鸡生长性能、养分代谢率、肠道 pH 及盲肠微生物的影响。试验选取 1 960 羽健壮、活泼的肉仔鸡，随机分为 4 组，每组 7 个重复，每个重复 70 羽。对照组的日粮为基础日粮；抗生素组的日粮为基础日粮和有计划添加一些物质组成的日粮（1 ～ 21 日龄添加金霉素 500 g/t+ 那西肽 250 g/t，22 ～ 39 日龄添加那西肽 250 g/t，40 ～ 42 日龄不添加任何物质）；试验 1 组的日粮为基础日粮 +100 g/t 葡萄糖氧化酶；试验 2 组日粮为基础日粮 +150 g/t 葡萄糖氧化酶。试验结果：(1)生长性能：1 ～ 21 日龄阶段，试验 1 组和试验 2 组末重、日增重均显著高于对照组（$P < 0.05$），耗料增重比显著低于对照组（$P < 0.05$），与抗生素组无显著差异，其中试验 2 组生长性能最佳；22 ～ 42 日龄阶段，抗生素组、试验 1 组和试验 2 组末重、日增重均显著高于对照组（$P < 0.05$），耗料增重比显著低于对照组（$P < 0.05$），试验 1 组生长性能最佳；1 ～ 42 日龄阶段，抗生素组、试验 1 组和试验 2 组末重、日增重均显著高于对照组（$P < 0.05$），耗料增重比显著低于对照组（$P < 0.05$）；各阶段每日平均采食量及成活率均无显著 差异。(2)养分代谢率：抗生素组、试验 1 组和试验 2 组的粗蛋白消化率（$P < 0.05$）和表观代谢能（$P < 0.05$）均显著高于对照组。(3)肠道 pH：试验 2 组 22 d 空肠 pH 显著低于对照组（$P < 0.05$），试验 1 组和试验 2 组 43 d 空肠 pH 显著低于抗生素组，其他各组间差异不显著；(4)肠道微生物菌群数量：抗生素组、试验 1 组和试验 2 组在 22 d 和 43 d 盲肠大肠杆菌（$P < 0.05$）和沙门氏菌（$P < 0.05$）数量均显著低于对照组，抗生素组和试验 1 组的盲肠乳酸菌数量显著高于对照组（$P < 0.05$）和试验 2 组（$P < 0.05$）。因此，葡萄糖氧化酶能够降低肉鸡肠道 pH，优化肠道菌群，提高营养物质消化利用率，改善肉鸡生长性能；葡萄糖氧化酶前期添加 300 U/kg，后期添加 200 U/kg 是一种优化添加方案。

关键词：葡萄糖氧化酶；养分消化率；肠道 pH；盲肠微生物；生长性能；肉鸡
中图分类号：S816.7 文献标志码：A 文章编号：1001-0769(2019)07-0079-07

抗生素滥用带来的耐药性、药物残留和降低机体免疫力等问题逐渐引起人们的高度关注。绿色健康的抗生素替代品成为当下行业关注热点。葡萄糖氧化酶（Glucose Oxidase，GOD）是一种需氧脱氢酶，能专一地氧化 β-D-葡萄糖生成葡萄糖酸和过氧化氢[1]。据报道，日粮中添加 GOD 能够有效抑制肠道有害菌的增殖[2]，改善仔猪肠道健康水平[3]，提高家禽免疫力[4]，提高动物的生长性能[5,6]，因而广受关注。

GOD 的添加效果多见报道。研究表明，GOD 替代 20 mg/kg 维吉尼亚霉素和 20 mg/kg 的硫酸粘杆菌素的抗生素组合，对肉鸡的生产性能没有显著影响[7]；此外，有报道称 GOD 替代硫

基金项目：国家重点研发计划中兽医药现代化与绿色养殖技术研究（2017YFD0501500）
作者简介：郭玉光（1987-），男，博士，主要从事酶制剂应用研究与微生物营养与健康调控的研究；E-mail：284390994@qq.com
*通信作者：杜红方（1976- ），男，博士，主要从事饲料添加剂研究；E-mail：dhfhbu@sina.com

酸粘杆菌素 20 mg/kg+ 恩拉霉素 6 mg/kg+ 盐霉素钠预混剂 60 mg/kg 的抗生素组合对肉鸡采食量、日增重和耗料增重比均没有显著影响，反而会增加钙 (Calcium，Ca) 的表观代谢率。

关于 GOD 在肉鸡无抗日粮中的添加效果研究较少，并缺乏对生长阶段因素的探究。本试验通过分析日粮中添加不同水平的 GOD 后对肉鸡不同生长阶段的生长性能、养分代谢率、肠道健康及血清生化指标的影响，探讨 GOD 在肉鸡日粮中的实际应用效果和最适添加剂量，以期为 GOD 在实际生产中的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验用 GOD 由广东溢多利生物科技股份有限公司提供，酶活力定义为：在 pH 5.5、温度 37 ℃的条件下，每分钟把 1.0 μmol 的 β-D- 葡萄糖氧化成 D- 葡萄糖酸和 H_2O_2 所需的酶 (μmol/min)。试验用葡萄糖氧化酶酶活为 2 000 U/g。

试验用那西肽为浙江汇能生物股份有限公司生产的 1% 那西肽预混剂，添加量以那西肽计为 2.5 g/t；试验用金霉素为正大集团生产的 15% 金霉素预混剂，添加量以金霉素计为 75 g/t。

试验场地为广东溢多利生物科技股份有限公司乾务试验基地。

1.2 试验设计及试验日粮

试验选用健壮、活泼且个体均匀的 1 日龄罗斯 308 肉仔鸡 1 960 羽，随机分为 4 个处理，每个处理 7 个重复，每个重复 70 羽。对照组的日粮为基础日粮；抗生素组的日粮为基础日粮（表 1）和有计划添加一些物质组成的日粮（1 ～ 21 日龄添加金霉素 500 g/t+ 那西肽 250 g/t，22 ～ 39 日龄添加那西肽 250 g/t，40 ～ 42 日龄（3 d）为禁药期）；试验 1 组的

表 1 基础日粮组成和营养成分(风干基础)

项目	前期 (1～21 日龄)	后期 (22～42 日龄)
玉米/(CP 8%)	58.75	60.69
豆粕/(CP 43%)	29.20	25.40
DDGS/(CP 25%)	2.00	4.00
玉米蛋白粉/(CP 60%)	3.40	3.30
鱼粉/(CP 62%)	1.50	0
豆油	1.60	3.20
食盐	0.25	0.30
磷酸氢钙	1.06	1.10
白石粉	1.40	1.20
80%赖氨酸	0.24	0.26
98%蛋氨酸	0.14	0.11
99%苏氨酸	0.03	0.02
植酸酶	0.01	0.01
50%氯化胆碱	0.10	0.10
预混料 [1]	0.30	0.30
合计	100	100
营养成分 [2]		
代谢能/($MJ\cdot kg^{-1}$)	12.34	12.76
粗蛋白/%	21.00	19.04
钙/%	1.00	0.87
有效磷/%	0.45	0.42
赖氨酸/%	1.20	1.06
苏氨酸/%	0.82	0.73
蛋氨酸/%	0.47	0.41
粗脂肪/%	4.76	6.50
粗灰份/%	5.48	5.02

注：1 预混料(前期日粮)为每千克日粮提供：维生素 A 11 000 IU、维生素 D_3 2 400 IU、维生素 E 30 mg、维生素 K_3 6 mg、维生素 B_{12} 25 μg、核黄素 7 mg、维生素 B_6 5 mg、烟酸 36 mg、叶酸 1.9 mg、维生素 B_1 2.1 mg、生物素 0.2 mg、锰 110 mg、铁 78 mg、锌 120 mg、铜 10 mg、碘 1.2 mg、硒 0.3 mg、钴 0.6 mg
预混料(后期日粮)为每千克日粮提供：维生素 A 10 000 IU、维生素 D_3 2 200 IU、维生素 E 28 mg、维生素 K_3 5 mg、维生素 B_{12} 20 μg、核黄素 7 mg、维生素 B_6 5 mg、烟酸 30 mg、叶酸 1.7 mg、维生素 B_1 2.1 mg、生物素 0.2 mg、锰 110 mg、铁 78 mg、锌 120 mg、铜 10 mg、碘 1.2 mg、硒 0.3 mg、钴 0.6 mg
2 粗蛋白、钙和总磷为实测值，其余为计算值
3 CP 为粗蛋白

日粮为基础日粮 +GOD 100 g/t；试验 2 组的日粮为基础日粮 +GOD 150 g/t。

试验过程分前后两个阶段：小鸡阶段（1～21 日龄）和中大鸡阶段（22～42 日龄）。每个试验阶段开始和结束后均以重复为单位对试验鸡进行空腹称重。

1.3 饲养管理

试验全期采用 3 层笼养，大生产方式管理，自由采食和饮水。进雏前 1 周，鸡舍和舍内养殖设备进行严格清洗和消毒。鸡舍用红外灯控温，进雏后前 3 d 室内温度控制在 34 ℃～36 ℃，第 4 天至第 7 天控制在 31 ℃～33 ℃；第 2 周室内温度为 29.5 ℃，第 3 周开始脱温。鸡舍内相对湿度控制在 60%～65%。光照制度为 23 h 光照和 1 h 黑暗。按常规免疫程序接疫苗：1 日龄注射新城疫灭活疫苗和新支二联苗，口服法氏囊疫苗；14 日龄注射禽流感疫苗。

1.4 检测指标与方法

1.4.1 生长性能

研究人员每日观察试验鸡的健康状况，统计死淘数，计算成活率；并于试验开始、22 日龄和 43 日龄上午 8:00 对提前禁食（禁食 12 h，仅供饮水）的肉鸡以重复为单位空腹称重，并称量剩余料重。

根据记录结果计算各个阶段的平均日增重（Average Daily Gain，ADG）、平均日采食量（Average Daily Feed Intake，ADFI）、饲料转化率（Feed Conversion Ratio，FCR）和死亡率，计算公式如下：

ADG= 增重 /（试验天数 × 试验鸡数量）

ADFI= 耗料量 /（试验天数 × 试验鸡数量）

F/G= 耗料量 / 增重

成活率（%）=（试验鸡总数 - 死淘数）/ 试验鸡总数 ×100%

1.4.2 养分代谢率

在试验第 43 天，研究人员从各处理组的每个重复中选择体重接近平均值的健康肉鸡各 2 羽，随后转入鸡代谢笼中；预试 3 d 后，研究人员在试验第 46 天、第 47 天和第 48 天用 0.25% 三氧化二铬作为外源指示剂，采用全收粪法测定饲料中总能、粗蛋白、干物质的消化率。粪便于每天的 8:00、12:00 和 16:00 收集，随后直接移入 60 ℃～65 ℃烘箱中干燥至恒重，再取出、粉碎并过 40 目筛后待测。饲料和粪样中的粗蛋白用凯氏定氮法测定，能量用全自动氧弹测热仪测定。养分消化率计算公式如下：

某养分消化率（%）=[1-(b×c)/(a×d)]×100

式中：a 为饲料中某养分含量（%）；

b 为粪样中某养分含量（%）；

c 为饲料中铬含量（%）；

d 为粪样中铬含量（%）。

通过上述方法测定粗蛋白、钙和磷等营养物质的消化利用率和表观代谢能。

1.4.3 肠道 pH 和肠道微生物菌落

研究人员在试验第 43 天，从每个重复中随机选取 1 羽肉鸡进行屠宰，并用 pH 计测定屠宰肉鸡十二指肠、空肠及回肠食糜的 pH；取回肠和盲肠，用棉线结扎，放入已灭菌的样品袋，用冰箱保存；肠道菌群检测：取回肠和盲肠肠道中的食糜 1 g 左右，立即转移到灭菌离心管中，加入 9 mL 无菌稀释液，剧烈振摇，充分溶解，逐级稀释至 10^{-6}；每个样品选择 10^{-4}、10^{-5} 和 10^{-6} 三个稀释度，由高稀释度开始，用微量取样器吸取 10 μL 滴入培养基平皿内，用灭菌曲玻棒推匀，每个稀释度作 3 个平板；大肠杆菌接种于麦康凯培养基平皿上，乳酸杆菌接种于乳酸杆菌选择性（Lactobacillus Selective，LBS）培养基平皿上，大肠杆菌在 37 ℃恒温恒湿箱中培养 24 h，乳酸杆菌在 37 ℃恒温恒湿箱中培养 48 h，采用平板菌落计数法，以 50～150 个菌落平板的稀释度作为计数用；细菌数量用肠道食糜中细菌个数的对数［1 g(CFU/g)］表示。

1.5 统计分析

数据采用 IBM SPSS 20.0 统计软件

中的GLM模型以方差分析（Analysis of Variance，ANOVA）方法进行分析，所有指标以每个重复为试验单位。若各个处理间差异显著，则用Duncan's法进行多重比较分析。结果均用“平均值±标准差”表示，$P<0.05$表示差异显著。

2 结果

2.1 葡萄糖氧化酶对不同阶段肉鸡生长性能的影响

由表2可知，1～21日龄阶段，与对照组肉鸡相比，试验1组和试验2组肉鸡的末重分别提高3.51%（$P<0.05$）和4.42%（$P<0.05$），ADG分别提高3.85%（$P<0.05$）和4.62%（$P<0.05$），F/G分别降低3.82%（$P<0.05$）和4.58%（$P<0.05$）。试验1组和试验2组肉鸡的生长性能与抗生素组肉鸡的无显著差异。

由表3可知，22～42日龄阶段，与对照组肉鸡相比，抗生素组、试验1组和试验2组肉鸡的末重和ADG均显著提高（$P<0.05$）、F/G显著下降（$P<0.05$）。其中，抗生素组、试验1组和试验2组肉鸡的末重较对照组肉鸡分别提高3.09%（$P<0.05$）、4.25%（$P<0.05$）和4.26%（$P<0.05$），ADG分别提高3.47%（$P<0.05$）、4.59%（$P<0.05$）和4.22%（$P<0.05$），F/G分别降低3.77%（$P<0.05$）、5.02%（$P<0.05$）和3.14%（$P<0.05$）。试验1组和试验2组肉鸡的生长性能与抗生素组肉鸡的无显著差异。

由表4可知，1～42日龄阶段，与对照组肉鸡相比，抗生素组、试验1组和试验2组肉鸡的末重和ADG均显著提高（$P<0.05$）、F/G显著下降（$P<0.05$）；其中，抗生素组、试验1和试验2组肉鸡的ADG较对照组肉鸡分别提高3.18%（$P<0.05$）、4.35%（$P<0.05$）和4.35%（$P<0.05$），F/G分别降低3.33%（$P<0.05$）、4.67%（$P<0.05$）和4.04%（$P<0.05$）。试验1组和试验2组肉鸡的生长性能与抗生素组肉鸡的无显著差异。

表2 葡萄糖氧化酶对肉鸡前期(1～21日龄)生长性能的影响

试验组	初重/g	末重/g	ADG/g	ADFI/g	F/G	成活率/%
对照组	49.0±0.4	868.1^{b}±7.0	39.0^{b}±0.6	51.4±1.3	1.31^{a}±0.04	100
抗生素组	49.1±0.8	888.7^{ab}±9.4	40.1^{ab}±0.8	50.9±0.6	1.27^{ab}±0.01	99.25±1.50
试验1组	49.0±0.6	898.5^{a}±8.1	40.5^{a}±0.4	51.1±1.2	1.26^{b}±0.04	100
试验2组	49.0±0.5	906.5^{a}±9.5	40.8^{a}±0.7	50.8±1.1	1.25^{b}±0.02	100

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

表3 葡萄糖氧化酶对肉鸡后期(22～42日龄)生长性能的影响

组别	初重/g	末重/g	ADG/g	ADFI/g	F/G	成活率/%
对照组	868.1^{b}±7.0	2 560.5^{b}±69.0	80.6^{b}±2.6	128.4±2.6	1.59^{a}±0.03	99.25±1.50
抗生素组	888.7^{ab}±9.4	2 639.6^{a}±66.4	83.4^{a}±1.8	128.0±1.3	1.53^{b}±0.04	100
试验1组	898.5^{a}±8.1	2 668.7^{a}±74.1	84.3^{a}±2.5	127.0±0.1	1.51^{b}±0.05	99.25±1.50
试验2组	906.5^{a}±9.5	2 669.7^{a}±58.1	84.0^{a}±2.8	129.4±1.6	1.54^{b}±0.05	100

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

2.2 养分代谢利用率

表 5 显示，与对照组肉鸡相比，抗生素组、试验 1 组和试验 2 组肉鸡的粗蛋白、表观代谢能均显著提高 ($P < 0.05$)；其中，试验 1 组和试验 2 组肉鸡的粗蛋白利用率较对照组分别提高 42.5% ($P < 0.05$) 和 49.1% ($P < 0.05$)，试验 1 组肉鸡的表观代谢能较对照组提高 10.84% ($P < 0.05$)，试验 2 组肉鸡的表观代谢能较对照组肉鸡的提高 9.34% ($P < 0.05$)。

各组间干物质、总钙、总磷和表观代谢能消化率没有显著差异。

2.3 肠道 pH

表 6 显示，在 22 日龄，试验 2 组肉鸡空肠食糜的 pH 较对照组肉鸡的降低 1.38%

表 4 葡萄糖氧化酶对肉鸡全期(1～42 日龄)生长性能的影响

组别	初重/g	末重/g	ADG/g	ADFI/g	F/G	成活率/%
对照组	49.1±0.8	2 560.5^{b}±69.0	59.8^{b}±0.9	89.9±2.7	1.50^{a}±0.04	99.25±1.50
抗生素组	49.0±0.4	2 639.6^{a}±66.4	61.7^{a}±1.2	89.5±1.7	1.45^{b}±0.03	99.25±1.50
试验 1 组	49.0±0.6	2 668.7^{a}±74.1	62.4^{a}±0.6	89.1±1.7	1.43^{b}±0.05	99.25±1.50
试验 2 组	49.0±0.5	2 669.7^{a}±58.1	62.4^{a}±1.1	90.1±1.6	1.44^{b}±0.05	100

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

表 5 葡萄糖氧化酶对肉鸡养分利用率和表观代谢能的影响

组别	干物质/%	粗蛋白/%	总钙/%	总磷/%	表观代谢能/(J·g^{-1})
对照组	73.86±3.41	30.56^{b}±4.70	41.84±3.23	75.34±3.61	11.99^{b}±0.32
抗生素组	73.73±2.80	43.00^{a}±3.20	44.11±2.60	76.05±3.30	13.12^{a}±0.52
试验 1 组	73.58±3.29	43.18^{a}±3.82	48.12±3.12	75.09±3.15	13.31^{a}±0.43
试验 2 组	73.87±4.18	45.48^{a}±3.18	50.12±4.15	76.94±3.44	13.28^{a}±0.46

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

表 6 葡萄糖氧化酶对肉鸡肠道食糜 pH 的影响

日龄	组别	十二指肠	空肠	回肠
22 d	对照组	6.50±0.06	6.51^{a}±0.05	6.99±0.17
	抗生素组	6.51±0.08	6.47^{ab}±0.07	6.91±0.31
	试验 1 组	6.48±0.09	6.47^{ab}±0.02	6.81±0.21
	试验 2 组	6.55±0.05	6.42^{b}±0.03	6.66±0.21
43 d	对照组	6.53±0.13	6.67^{ab}±0.38	6.53±0.36
	抗生素组	6.44±0.09	6.88^{a}±0.16	6.44±0.10
	试验 1 组	6.48±0.25	6.46^{b}±0.11	6.40±0.23
	试验 2 组	6.53±0.15	6.45^{b}±0.09	6.51±0.39

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

表 7 肉鸡检测盲肠端肠道微生物

日龄	组别	大肠杆菌/(lgCFU·g^{-1})	沙门氏菌/(lgCFU·g^{-1})	总乳酸菌/(lgCFU·g^{-1})
22 d	对照组	7.17^a±0.35	6.20^a±0.33	8.14^b±0.69
	抗生素组	5.90^b±0.23	5.18^b±0.31	8.77^a±0.84
	试验 1 组	6.30^b±0.11	5.48^b±0.23	8.66^a±0.53
	试验 2 组	6.11^b±0.22	5.40^b±0.13	8.14^b±0.31
43 d	对照组	7.78^a±0.51	8.00^a±0.67	8.56^b±0.14
	抗生素组	6.11^b±0.20	6.00^b±0.36	9.11^a±0.31
	试验 1 组	5.69^b±0.18	6.15^b±0.66	9.30^a±0.23
	试验 2 组	5.50^b±0.19	6.07^b±0.13	8.64^b±0.50

注：同列数据肩标不同表示差异显著(P<0.05)

(P < 0.05)；在 43 日龄，试验 1 组和试验 2 组肉鸡空肠食糜 pH 较对照组和抗生素组肉鸡的有较大的降低，试验 1 组和试验 2 组肉鸡较抗生素组肉鸡分别降低 3.15 %(P < 0.05) 和 3.30% (P < 0.05)，其他各组间差异不显著。

2.4 对盲肠微生物的影响

表 7 显示，在 22 日龄和 43 日龄，对照组肉鸡盲肠食糜中的大肠杆菌和沙门氏菌的数量均显著高于其他试验组肉鸡对应的指标 (P < 0.05)，总乳酸菌数显著低于抗生素组 (P < 0.05) 和试验 1 组 (P < 0.05) 肉鸡的对应值。在 22 日龄和 43 日龄，试验 1 组和试验 2 组肉鸡盲肠食糜中大肠杆菌和沙门氏菌的数量与抗生素组肉鸡的对应值差异不显著 (P > 0.05)，试验 2 组肉鸡盲肠食糜中乳酸菌数量均显著低于抗生素组 (P < 0.05) 和试验 1 组 (P < 0.05) 肉鸡的对应值。

试验 1 组和试验 2 组与对照组相比，在 22 日龄时肉鸡盲肠食糜中大肠杆菌数分别降低 12.13 % (P < 0.05) 和 14.78 % (P < 0.05)、沙门氏菌数分降低 11.61 % (P < 0.05) 和 12.90 % (P < 0.05)，在 43 日龄时肉鸡盲肠食糜中大肠杆菌数分别降低 26.86% (P < 0.05) 和 29.31% (P < 0.05)、沙门氏菌数分别降低 23.13% (P < 0.05) 和 24.12% (P < 0.05)。

3 结论与讨论

3.1 GOD 对肉鸡生长性能和养分利用率的影响

本研究结果表明，日粮中添加 GOD 对肉鸡具有明显的促生长效果，能够有效提高肉鸡末重和 ADG，降低 F/G，促生长效果与那西肽 + 金霉素的抗生素组合无显著差异。同类研究中，汤海鸥等 [7] 的研究结果显示，在基础日粮中单独添加 100 U/kg 和 200 U/kg 的 GOD，肉鸡的 ADG 显著提高，F/G 显著下降，类似的研究获得了大多一致的促生长效果 [8-9]。GOD 的促肉鸡生长效果与改善肠道健康水平和提高营养物质消化率有关 [10]。本研究同样发现，添加 200 U/kg 和 300 U/kg 的 GOD 均能够显著提高肉鸡日粮中粗蛋白消化率和表观代谢能，与生产性能结果相符。

本研究进一步发现，GOD 在肉鸡不同生长阶段的最适添加量存在差异；1 ～ 21 日龄阶段肉鸡日粮添加 300 U/kg GOD 产生的促生长效果优于添加 200 U/kg，显示出 GOD 在肉鸡前期生长阶段的剂量增加效应，与汤海鸥等 [7]

的研究结果一致。然而，在 22 ～ 42 日龄阶段时，200 U/kg GOD 的促生长效果在数值上要高于 300 U/kg 的添加效果，因此在肉鸡后期生长阶段提高 GOD 的添加量并不能进一步改善肉鸡的生长性能，该推断与郑伟萍等 [11] 的研究结果有一定的相似性。郑伟萍等 [11] 对比研究了在日粮中分别添加 150 U/kg、300 U/kg 和 600 U/kg 的 GOD 对肉鸡的促生长效果，结果显示添加低剂量 GOD 的试验组肉鸡的生长性能优于添加高剂量 GOD 的试验组肉鸡的。GOD 的作用底物为葡萄糖，在生长后期，肉鸡采食量提升，摄入的 GOD 和葡萄糖消耗量随之增加，这可能会在一定程度上影响饲料的转化效率。

3.2 葡萄糖氧化酶对肉鸡肠道食糜 pH 和盲肠食糜微生物菌群的影响

本研究表明，在日粮中添加 GOD 能够影响肉鸡小肠内食糜的酸碱度，降低空肠和回肠食糜的 pH，但对十二指肠食糜的 pH 影响不明显，与赵国先等 [12] 的研究结果一致；GOD 对十二指肠食糜 pH 影响较小可能与十二指肠食糜中葡萄糖含量低而导致 GOD 在有限时间内酶解产生的葡萄糖酸较少有关；而在空肠和回肠中，葡萄糖酸积聚，GOD 能够有效降低小肠中后段食糜的 pH。

pH 是动物体内消化环境的重要因素之一，通过降低肠道食糜的 pH，能够促进有益菌增殖，抑制有害菌生长 [13]，同时提高营养物质代谢率 [14]。本研究结果显示，日粮中添加 300 U/kg GOD 能够使肉鸡空肠食糜 pH 降低 0.9 ～ 1.2，保持空肠的酸性内环境，提高养分消化率效果与上述结论相符。

本研究中，日粮中添加 GOD 能够显著降低肉鸡盲肠食糜中大肠杆菌和沙门氏菌数量，并在一定程度上提高乳酸菌数量。肠道微生物在肠道内的生长繁殖具有营养和免疫防御的双重功能。据报道，增加肠道有益细菌（如双歧杆菌和乳酸杆菌）数量，减少致病细菌数量，对维持肠道健康起重要的作用。GOD 在酶解底物葡萄糖生成葡萄糖酸的同时会生成过氧化氢，当过氧化氢达到一定浓度时具有广谱抑菌效果；此外，GOD 在酶解过程中消耗肠道内的氧气营造厌氧环境，有利于乳酸杆菌和双歧杆菌的增殖，并抑制大肠杆菌和沙门氏菌等好氧有害菌的增殖。Zhao 等 [15] 研究表明，在日粮中添加 400 mg/kg 的 GOD 能够显著提高蛋鸡盲肠食糜中的乳酸杆菌数量，降低大肠杆菌数量；赵艳姣等 [16] 报道，在小鼠日粮中添加 300 mg/kg GOD 能够有效缓解因采食霉变饲料导致的动物肠道大肠杆菌数量增加的状况。

本研究进一步发现，日粮添加 300 U/kg GOD 的试验组肉鸡在 22 日龄和 43 日龄时它们盲肠中总乳酸菌数量均显著低于添加 200 U/kg GOD 的试验组肉鸡。这可能与较高剂量的 GOD 酶解葡萄糖生成更高浓度的过氧化氢有关，而浓度增加的过氧化氢会进一步导致肉鸡后肠中大肠杆菌、沙门氏菌和乳酸菌的数量均较低。

4 小结

葡萄糖氧化酶能够有效降低肉鸡小肠中后段食糜的 pH，减少盲肠中大肠杆菌和沙门氏菌数量，提高日粮中粗蛋白消化率和表观代谢能，进而显著改善肉鸡生长性能，提高肉鸡末重和日增重，降低耗料增重比。葡萄糖氧化酶的最适添加剂量因肉鸡生长阶段的不同而有所差异，1 ～ 21 日龄阶段添加 300 U/kg 的促生长效果最佳，22 ～ 42 日龄阶段添加 200 U/kg 的性价比更高。□□

参考文献：（16 篇，略）