

邵云, 胡琴, 王春梅, 等. 合生元对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化能力、生化指标和粪便微生物的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (5): 23-27.

SHAO Y, HU Q, WANG C M, et al. Effects of synbiotic supplementation on growth performance, serum antioxidant capacity, biochemical indices and fecal microbiota in weaned piglets [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (5): 23-27.

## 合生元对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化能力、生化指标和粪便微生物的影响

邵云<sup>1</sup>, 胡琴<sup>2</sup>, 王春梅<sup>2</sup>, 葛蓉<sup>2</sup>, 周岩民<sup>1\*</sup>

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095;

2. 江苏安佑科技饲料有限公司, 江苏 淮安 223200)

**摘要:** 旨在探究合生元对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化能力、生化指标和粪便微生物的影响。将体重相近的 180 头断奶仔猪随机分为 3 组, 每组 6 个重复, 每个重复 10 头仔猪, 分别饲喂基础日粮 (对照), 基础日粮中添加 1 kg/t 合生元 I 或合生元 II, 试验为期 28 d。结果显示: 添加合生元 I 和 II 对断奶仔猪生长性能无显著影响 ( $P>0.05$ ); 与对照组相比, 添加合生元 I 使血清丙二醛 (MDA) 含量显著下降 ( $P<0.05$ ), 合生元 II 组血清白蛋白显著提高 ( $P<0.05$ ), 合生元 I 组和 II 组使血清尿素氮含量显著降低 ( $P<0.05$ ), 合生元 I 组血清高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 水平显著提高 ( $P<0.05$ ), 合生元 II 组血清低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 水平显著下降 ( $P<0.05$ ), 合生元 I 组和 II 组血清四碘甲状腺原氨酸 (T4) 水平显著升高 ( $P<0.05$ ), 合生元 I 组血清三碘甲状腺原氨酸 (T3) 水平显著升高 ( $P<0.05$ ); 合生元 I 组断奶仔猪粪便中乳酸杆菌数量显著提高 ( $P<0.05$ ), 合生元 II 组大肠杆菌数量显著下降 ( $P<0.05$ )。综上, 饲料中添加合生元可调节机体蛋白质及脂质代谢、提高机体抗氧化能力和改善粪便微生物组成, 其中以合生元 I 的效果更好。

**关键词:** 合生元; 断奶仔猪; 生长性能; 血清生化指标; 抗氧化能力; 粪便微生物

**中图分类号:** S828 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-5130(2024)05-0023-05

## Effects of synbiotic supplementation on growth performance, serum antioxidant capacity, biochemical indices and fecal microbiota in weaned piglets

SHAO Yun<sup>1</sup>, HU Qin<sup>2</sup>, WANG Chunmei<sup>2</sup>, GE Rong<sup>2</sup>, ZHOU Yanmin<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Jiangsu Anyou Science and Technology Feed Co., Ltd., Huai'an 223200, China)

**Abstract:** The aim of this was to investigate the effects of dietary synbiotic supplementation on growth performance, serum antioxidant capacity, biochemical indices and fecal microbiota in weaned piglets. A total of one hundred and eighty weaned piglets of similar body weight were selected and randomly allocated into one of three treatments, each consisting of six replicates with ten piglets per replicate. The piglets were fed with a basal diet and a basal diet supplemented with 1 kg/t synbiotic I and synbiotic II, respectively. The experiment lasted for 28 days. The results showed as follows: Synbiotic I and II had no significant effect on the growth performance of the weaned piglets ( $P>0.05$ ). Compared with the control group, synbiotic I significantly reduced serum malondialdehyde content (MDA) ( $P<0.05$ ) in the treated piglets. The serum albumin significantly increased in the synbiotic II group ( $P<0.05$ ). Synbiotic I and synbiotic II lowered their serum urea nitrogen level ( $P<0.05$ ). The serum high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) concentration significantly increased in the synbiotic I group ( $P<0.05$ ). The serum low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) levels significantly reduced in the synbiotic II group ( $P<0.05$ ). Synbiotic I and II increased serum tetraiodothyronine (T4) levels in the treated piglets, respectively ( $P<0.05$ ). Synbiotic I increased serum triiodothyronine (T3) levels in the treated piglets ( $P<0.05$ ). Synbiotic I increased the colony of *Lactobacillus* in the feces of the weaned piglets ( $P<0.05$ ), while synbiotic II decreased the colony of fecal *Escherichia coli* in them. In summary, dietary synbiotic regulated body protein and lipid metabolism in weaned piglets, promoted their body antioxidant capacity, and improved their fecal microbial com-

收稿日期: 2023-08-30; 修回日期: 2024-02-27

基金项目: 江苏省苏北科技专项 (SZ-HA2021002)

第一作者: 邵云, 女, 硕士研究生

\* 通信作者: 周岩民, 教授, 研究方向为饲料加工与资源开发, E-mail: zhouym6308@163.com。

position; and these effects were more pronounced in the synbiotic I group.

**Keywords:** weaned piglets; symbiotic supplementation; growth performance; serum indices; antioxidant capacity; fecal microbes

断奶技术虽提高了生猪生产效率,但也给仔猪生长发育和健康造成了不利影响。断奶仔猪组织和器官仍处于发育中,消化系统和免疫功能尚不健全、抗病力差,易受环境和饲料中各种不利因素干扰,影响采食量并引起应激反应,不利于健康发育,甚至导致仔猪腹泻及死亡<sup>[1]</sup>。抗生素常添加于断奶仔猪饲料中,用于促进生长和预防腹泻等。然而,由于抗生素耐药性和残留等问题,农业农村部于2020年已禁止饲料中添加促生长类药物饲料添加剂。因此,如何在无抗养殖条件下保障断奶仔猪健康生长是当前亟待解决的现实问题<sup>[2-3]</sup>。

合生元,又称合生素,是指益生元与益生菌根据一定的配比复合,使其协同发挥生物学功能的微生态制剂。合生元具有改善肠道菌群、抗炎、抗氧化、调节机体代谢、降血糖、降脂等多种生物学功能。研究表明,饲料中添加合生元可改善动物生产性能和繁殖性能,提高胃肠道消化酶活性和饲料养分吸收利用;平衡动物肠道微生物区系组成,促进有益菌定植进而抑制有害菌增殖;调节机体糖脂代谢,增加肠黏膜屏障功能,降低肠道通透性,改善小肠形态,提高机体抗氧化能力以及畜产品品质<sup>[4-5]</sup>。然而,合生元组成成分来源广、配比复杂,一定程度上影响了合生元在动物生产上的应用效果。有研究表明,饲料中添加合生元对动物生长和健康无显著改善作用,甚至不利于动物健康生长<sup>[6]</sup>。因此,亟需开发和创制应用效果稳定的合生元产品。课题组前期研制了以丁酸梭菌、枯草芽孢杆菌、低聚木糖和低聚壳聚糖等为主要成分的合生元产品,经体内试验证实该合生元作为饲用抗生素替代品添加至饲料中可促进肉鸡生长,提高机体免疫和抗氧化功能以及改善胴体和肌肉品质,并可改善热应激肉鸡生长性能、氧化还原状态、免疫力、肠黏膜屏障功能和肌肉品质<sup>[7-11]</sup>。近年来,合生元的定义更新为“由活的微生物和宿主微生物选择性利用的对宿主有健康益处的底物组成的混合物”<sup>[12]</sup>。随着合生元的定义范围及界定不断扩展更新,微生态制剂包含了多种益生元,同时也可包含植物提取物。植物甾醇以游离态、酯化态和糖苷等形式存在于植物中,其中植物活性成分常作为合生元的组成成分在畜禽生产中发挥效用<sup>[13]</sup>。本试验旨在探究在基础日粮中添加此类合生元对断奶仔猪生长性能、血清抗氧化能力、生化指标和粪便微生物的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物与设计

180头28d断奶仔猪(杜×长×大),体重(7.72±0.36)kg,由江苏盐城东台新曹农场提供,随机分成3组,每组设置6个重复(栏),每个重复10头仔猪。试验所用合生元由实验室自行配制。合生元I主要成分为丁酸梭菌、枯草芽孢杆菌、低聚木糖、低聚壳聚糖;合生元II的主要成分是丁酸梭菌、枯草芽孢杆菌、低聚木糖、低聚壳聚糖和植物甾醇。

试验采用随机区组设计,对照组饲喂基础日粮,合生元I组和II组分别在饲喂基础日粮中添加1kg/t合生元I或合生元II的试验日粮,试验为期28d。试验日粮采用浓缩饲料按推荐配方进行配制,料型为粉料。试验料组分配比及营养水平参考表1。

表1 基础日粮配方及营养水平(计算值)

项目	含量	
原料/%	玉米	58.70
	大豆粕	12.30
	发酵豆粕	5.00
	豆油	1.50
	浓缩饲料 <sup>1)</sup>	22.50
营养水平	消化能/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	13.66
	粗蛋白/%	20.98
	钙/%	0.97
	有效磷/%	0.44
	赖氨酸/%	1.12
	蛋氨酸/%	0.49
	蛋氨酸+胱氨酸/%	0.83

注:<sup>1)</sup>浓缩饲料由江苏安佑科技饲料有限公司提供,产品成分分析保证值:粗蛋白质≥32.0%,赖氨酸≥2.6%,粗纤维≤7.0%,粗灰分≤18.0%,总磷≥0.8%,钙1.2~3.0%,氯化钠0.8~2.0%,水分≤12.0%。

### 1.2 饲养管理

试验前对猪舍进行全面清洗、消毒,采用水泥地板平养。每日定时饲喂饲料,保证仔猪自由采食,及时补料并记录采食量;控制水温,自由饮水。试验期间对试验猪群实施专人饲养管理,关注试验断奶仔猪体况、疾病发生情况,依据试验猪场管理规范进行断奶仔猪保健及免疫程序等进行日常饲养管理。

### 1.3 样品采集与测定

#### 1.3.1 生长性能测定

在试验始、末的上午 9:00, 对试验断奶仔猪进行空腹称重, 用于计算各组断奶仔猪平均初重、平均末重、平均日增重。同时, 记录试验期间饲料消耗量, 用于计算各组断奶仔猪的平均日采食量和料重比。

#### 1.3.2 血清抗氧化能力测定

试验结束当天, 每组抽取 6 头试验断奶仔猪(体重相近, 每重复 1 头), 采用可离心一次性灭菌注射器前腔静脉采集血液 5~8 mL。待血清析出后, 在冷冻高速离心机中以 3 000 r/min 离心 15 min, 采用移液枪慢慢吸取透明上清液(血清), 切勿吸取杂质, 分装到 1 mL 离心管中备用。在 -20 °C 环境下贮藏, 用于血清相关指标测定。

血清中丙二醛(MDA)水平、总超氧化物歧化酶(SOD)活性和总抗氧化能力(T-AOC)测定所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

#### 1.3.3 血清生化指标测定

血清样品制备同 1.3.2 中所述, 血清中高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、白蛋白、尿素氮的含量采用奥林巴斯 AU2700 全自动生化分析仪测定。测定试剂盒分别购自上海荣盛生物技术有限公司和上海复星长征医学科学有限公司。

血清样品制备同 1.3.2 中所述, 采用放射免疫分析技术测定血清三碘甲腺原氨酸(T3)、四碘甲腺原氨酸(T4)、生长激素和胰岛素水平, 测定试剂盒购自北京北方生物技术研究所。

#### 1.3.4 粪便微生物指标测定

试验第 15~20 天时连续收集新鲜断奶仔猪粪便于灭菌冻存管中, 混匀后保存于 4 °C。在超净台中取粪便 0.5 g 置于 7 mL 的无菌培养管中, 用无菌枪头吸取灭菌后的生理盐水 4.5 mL, 置于可调式漩涡混匀仪充分混匀。用无菌生理盐水按 1:9 的比例将上述混匀液在 1 mL 灭菌离心管中依次进行 10 倍稀释, 获取  $10^1 \sim 10^{10}$  倍稀释液。分别吸取 100  $\mu$ L 上述稀释液, 在肉汤和常用乳酸菌培养基上均匀涂布, 放置于 37 °C 培养箱。24 h 后记录大肠杆菌菌落数量, 48 h 后记录乳酸杆菌菌落数量, 以每克粪便中细菌个数的对数(lg CFU/g)表示。

### 1.4 数据统计与分析

通过 Excel 2003 对试验数据进行记录、整理、计算。SPSS 16.0 软件单因素方差分析(One-way ANOVA), Duncan 氏法进行多重比较。结果采用“平均数 $\pm$ 标准误”表示, 差异显著性判断标准为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 合生元对断奶仔猪生长性能的影响

由表 2 可知, 与对照组相比, 添加两种合生元对断奶仔猪生长性能均无显著影响( $P > 0.05$ ), 合生元组间亦无显著差异( $P > 0.05$ )。

表 2 合生元对断奶仔猪生长性能的影响

项目	对照组	合生元 I 组	合生元 II 组
平均初重/kg	8.12 $\pm$ 0.39	8.07 $\pm$ 0.36	8.16 $\pm$ 0.15
平均末重/kg	22.76 $\pm$ 0.84	22.71 $\pm$ 0.85	23.02 $\pm$ 0.47
平均日增重/g	542.3 $\pm$ 18.9	542.4 $\pm$ 21.4	550.5 $\pm$ 13.5
平均日采食量/g	868.8 $\pm$ 24.6	850.9 $\pm$ 24.2	885.6 $\pm$ 11.0
料重比	1.60 $\pm$ 0.01	1.56 $\pm$ 0.03	1.61 $\pm$ 0.03

### 2.2 合生元对断奶仔猪血清抗氧化能力的影响

由表 3 可知, 与对照组相比, 添加合生元 I 显著降低了断奶仔猪血清 MDA 水平( $P < 0.05$ ), 添加合生元 II 则对血清 MDA 水平无显著影响( $P > 0.05$ )。与对照组相比, 添加合生元对断奶仔猪血清 SOD 和 T-AOC 水平均无显著影响( $P > 0.05$ )。

表 3 合生元对断奶仔猪血清抗氧化能力的影响

项目	对照组	合生元 I 组	合生元 II 组
SOD/(U $\cdot$ mL $^{-1}$ )	70.11 $\pm$ 4.68	72.68 $\pm$ 1.67	82.53 $\pm$ 3.70
T-AOC/(U $\cdot$ mL $^{-1}$ )	1.42 $\pm$ 0.18	1.21 $\pm$ 0.21	1.48 $\pm$ 0.21
MDA/(nmol $\cdot$ mL $^{-1}$ )	3.35 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>	1.53 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	2.45 $\pm$ 0.17 <sup>ab</sup>

注: 同行数据肩标不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.3 合生元对断奶仔猪血清生化指标的影响

由表 4 可知, 与对照组相比, 添加合生元 II 使断奶仔猪血清白蛋白含量显著升高( $P < 0.05$ ), 但合生元 I 则对该指标无显著影响, 且合生元组间无显著差异( $P > 0.05$ )。与对照组相比, 添加合生元使断奶仔猪血清尿素氮水平显著降低( $P < 0.05$ )。添加合生元 I 使血清 HDL-C 水平显著升高( $P < 0.05$ ), 合生元 II 使血清 LDL-C 水平显著下降( $P < 0.05$ )。

表 4 合生元对断奶仔猪血清生化指标的影响

项目	对照组	合生元 I 组	合生元 II 组
白蛋白/(g $\cdot$ L $^{-1}$ )	32.48 $\pm$ 1.82 <sup>b</sup>	34.68 $\pm$ 0.89 <sup>ab</sup>	39.35 $\pm$ 2.07 <sup>a</sup>
尿素氮/(mmol $\cdot$ L $^{-1}$ )	6.69 $\pm$ 0.46 <sup>a</sup>	5.13 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>	5.09 $\pm$ 0.21 <sup>b</sup>
HDL-C/(mmol $\cdot$ L $^{-1}$ )	0.86 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	1.09 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.92 $\pm$ 0.06 <sup>ab</sup>
LDL-C/(mmol $\cdot$ L $^{-1}$ )	1.10 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	1.14 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.86 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>

由表 5 可知, 与对照组相比, 添加合生元 I 和 II 使断奶仔猪血清 T4 水平显著升高( $P < 0.05$ ), 添加

合生元 I 使断奶仔猪血清 T3 水平显著升高 ( $P < 0.05$ ), 合生元 II 则使断奶仔猪血清 T3 水平略有升高 ( $P > 0.05$ ), 但该指标在两组合生元组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。与对照组相比, 合生元对断奶仔猪血清生长激素、胰岛素水平均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 5 合生元对断奶仔猪血清激素水平的影响

项目	对照组	合生元 I 组	合生元 II 组
生长激素/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	0.73±0.14	0.72±0.16	0.72±0.08
胰岛素/ ( $\mu\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	11.11±1.67	11.20±0.81	13.84±1.73
T3/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	0.56±0.11 <sup>b</sup>	0.81±0.06 <sup>a</sup>	0.66±0.04 <sup>ab</sup>
T4/ ( $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	33.68±3.87 <sup>b</sup>	46.66±3.83 <sup>a</sup>	45.58±3.95 <sup>a</sup>

## 2.4 合生元对断奶仔猪粪便微生物的影响

由表 6 可知, 与对照组相比, 添加合生元 I 可显著提高断奶仔猪粪便中乳酸杆菌数量 ( $P < 0.05$ ), 而添加合生元 II 则显著降低了粪便中大肠杆菌数量 ( $P < 0.05$ )。

表 6 合生元对断奶仔猪粪便中细菌数量的影响 (lg CFU/g)

项目	对照组	合生元 I 组	合生元 II 组
乳酸杆菌	8.32±0.11 <sup>b</sup>	8.81±0.12 <sup>a</sup>	8.31±0.08 <sup>b</sup>
大肠杆菌	6.29±0.16 <sup>a</sup>	6.25±0.07 <sup>ab</sup>	5.77±0.19 <sup>b</sup>

## 3 讨论

### 3.1 合生元对断奶仔猪生长性能和血清抗氧化能力的影响

Cao 等<sup>[14]</sup>研究表明, 断奶仔猪添加丁酸梭菌、枯草芽胞杆菌和地衣芽胞杆菌等益生菌的饲料, 显著提高了料重比, 提高了第 1 天至第 28 天的平均日增重。本试验结果与其研究结果不一致, 饲料中添加合生元 I 和合生元 II 对断奶仔猪平均末重、平均日增重、平均日采食量和料重比均无显著影响, 说明添加合生元 I 和 II 对断奶仔猪生长性能无影响。可能与不同研究所用合生元组成成分、来源及配比等不同有关。

断奶应激会引起动物氧化还原系统失衡<sup>[15]</sup>。动物的氧化还原系统主要由活性氧、自由基、活性氧生成系统以及抗氧化系统构成, SOD 是主要的抗氧化酶, 能清除超氧阴离子, 生成过氧化氢; MDA 是脂质过氧化的终产物, 反映脂质过氧化水平; 羰基反映蛋白质氧化水平<sup>[16-18]</sup>; T-AOC 反映机体抗氧化能力, 是一个全面性指标<sup>[19]</sup>。本试验发现, 合生元对血清 SOD 活性略有提高, 使血清 MDA 含量下降, 对

血清 T-AOC 没有显著影响。类似地, 裴向阳<sup>[20]</sup>研究发现, 合生元组提高了仔猪血清中 SOD 和 T-AOC 的活性, 并且降低了血清 MDA 的含量。以上结果表明, 合生元能缓解断奶仔猪体内氧化程度, 提高断奶仔猪的抗氧化能力。

### 3.2 合生元对断奶仔猪血清生化指标的影响

血清白蛋白除了作为营养物质的载体外, 还维持血浆渗透压, 可反映机体对蛋白质吸收和代谢情况<sup>[21]</sup>。血清尿素氮是衡量动物体内蛋白质代谢和日粮氨基酸平衡状况较为准确的指标, 其浓度下降可以判定为氨基酸平衡状况良好<sup>[22]</sup>。本试验中, 添加合生元 II 使断奶仔猪血清白蛋白含量显著升高, 而合生元 I 组和 II 组的血清尿素氮含量均显著降低。添加合生元可改善断奶仔猪蛋白质代谢, 从而促进动物机体对饲料蛋白的消化吸收, 增加体内氮沉积, 提高蛋白质合成量<sup>[23]</sup>。合成甲状腺激素的主要成分是碘和甲状腺球蛋白, 主要有 T4 和 T3, 广泛参与调节机体代谢 (糖、脂肪、蛋白质代谢), 维持动物生长和发育<sup>[24-25]</sup>。本试验中, 合生元 I 组和 II 组使甲状腺激素水平提高, 可能是日粮中添加合生元作用于甲状腺细胞, 增加碘的吸收, 提高了甲状腺激素水平, 进而促进蛋白质代谢<sup>[26-27]</sup>。

3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶 A 还原酶 (HMGCoA) 是肝脏合成胆固醇的关键酶<sup>[28]</sup>。血清 HDL-C 和 LDL-C 与体内脂质代谢有关, 血清 LDL-C 是运输胆固醇到肝外组织的主要运载工具, 血清 HDL-C 代表体内胆固醇的清除情况<sup>[29-30]</sup>。本试验中, 添加合生元 II 显著降低了 LDL-C 含量, 可能是添加合生元可抑制 HMGCoA 活性, 从而抑制胆固醇吸收, 降低胆固醇的生物合成, 或者添加合生元可促使胆固醇生成胆汁酸, 从而具有调节血脂和预防心血管疾病的潜力<sup>[31-32]</sup>。

### 3.3 合生元对断奶仔猪粪便微生物的影响

合生元不仅对肠道菌群平衡产生有益作用, 且能通过影响其代谢产物继而影响肠道菌群的定植与生长, 发挥合生元的协同效应<sup>[33-34]</sup>。Wang 等<sup>[5]</sup>研究表明, 日粮添加益生菌或合生元能够降低大肠杆菌丰度。吕存<sup>[35]</sup>研究表明, 饲喂合生元能够改变保育猪粪样菌群组成与结构, 产生多种有益的细菌代谢产物, 从而达到提高保育猪生长性能的目的。本试验结果表明, 添加合生元 I 可显著提高断奶仔猪粪便中乳酸杆菌的数量, 而添加合生元 II 可显著降低大肠杆菌数量, 与以上研究结果一致。合生元可能通过促进断奶仔猪肠道有益微生物在肠道中迅速定植与生长, 形成优势菌群, 且形成厌氧环境抑制有害微生物生长, 继而建立平衡的肠道微生物生态系统<sup>[36]</sup>。

综上所述, 饲料中添加合生元可调节机体代谢、提高机体抗氧化能力和改善粪便微生物组成。本试验条件下, 断奶仔猪饲料中添加合生元 I 的效果优于合生元 II。

## 参考文献:

- [1] TANG X, XIONG K, FANG R, et al. Weaning stress and intestinal health of piglets: a review [J]. *Front Immunol*, 2022, 13: 1042778.
- [2] CHEN J, SUN R, PAN C, et al. Antibiotics and food safety in aquaculture [J]. *J Agric Food Chem*, 2020, 68 (43): 11908–11919.
- [3] 陈红英, 王月颖, 傅思武. 抗生素在养殖业中的应用现状 [J]. *现代畜牧科技*, 2019 (5): 1–3.
- [4] 张仕安, 靳宇田. 合生素在断奶仔猪上的饲喂效果 [J]. *中国饲料*, 2015 (4): 31–34.
- [5] WANG K, ZHU Q, KONG X, et al. Dietary probiotics or synbiotics supplementation during gestation, lactation, and nursery periods modifies colonic microbiota, antioxidant capacity, and immune function in weaned piglets [J]. *Front Vet Sci*, 2020, 7: 597832.
- [6] 李浩, 周波, 夏中生, 等. 果寡糖和益生菌及其组合对 65~124 日龄猪生长性能、养分消化率和直肠微生物的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56 (9): 133–139.
- [7] CHENG Y, CHEN Y, LI X, et al. Effects of synbiotic supplementation on growth performance, carcass characteristics, meat quality and muscular antioxidant capacity and mineral contents in broilers [J]. *J Sci Food Agric*, 2017, 97 (11): 3699–3705.
- [8] CHEN Y, WEN C, ZHOU Y. Dietary synbiotic incorporation as an alternative to antibiotic improves growth performance, intestinal morphology, immunity and antioxidant capacity of broilers [J]. *J Sci Food Agric*, 2018, 98 (9): 3343–3350.
- [9] CHEN Y, CHENG Y, DU M, et al. Protective effects of dietary synbiotic supplementation on meat quality and oxidative status in broilers under heat stress [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2021, 28 (23): 30197–30206.
- [10] DU M, CHENG Y, CHEN Y, et al. Dietary supplementation with synbiotics improves growth performance, antioxidant status, immune function, and intestinal barrier function in broilers subjected to cyclic heat stress [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2023, 30 (7): 18026–18038.
- [11] ZHAO Y, CHEN Y, CHENG Y, et al. Effects of dietary phytosterols on growth performance, antioxidant status, and meat quality in Partridge Shank chickens [J]. *Poult Sci*, 2019, 98 (9): 3715–3721.
- [12] SWANSON K S, GIBSON G R, HUTKINS R, et al. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of synbiotics [J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2020, 17 (11): 687–701.
- [13] 文静, 陈海伟, 袁鸣, 等. 植物甾醇的生物学功能和在动物生产中的应用 [J]. *现代畜牧科技*, 2023 (2): 60–62.
- [14] CAO G, TAO F, HU Y, et al. Positive effects of a *Clostridium butyricum*-based compound probiotic on growth performance, immune responses, intestinal morphology, hypothalamic neurotransmitters, and colonic microbiota in weaned piglets [J]. *Food Funct*, 2019, 10 (5): 2926–2934.
- [15] 项新东. 酸化剂对断奶仔猪生长性能、免疫功能、抗氧化能力和肠道菌群的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2022.
- [16] 孙全贵, 龙子, 张晓迪, 等. 抗氧化系统研究新进展 [J]. *现代生物医学进展*, 2016, 16 (11): 2197–2200.
- [17] 陈跃平. 孵化重和日粮蛋氨酸水平对肉鸡生长、免疫及抗氧化机能的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [18] 宋娟娟, 谢婷, 刘文涵, 等. 丙二醛对豆粕蛋白质氧化的影响及茶多酚的缓解作用 [J]. *南京农业大学学报*, 2023, 46 (2): 324–332.
- [19] 高凯. 红曲合生元、酵母硒锗及其组合替代抗生素对断奶仔猪生长、免疫及肠道菌群影响 [D]. 延吉: 延边大学, 2020.
- [20] 裴向阳. 木醋液-植物乳杆菌合生元的制备及对断奶仔猪生长性能、血液指标和粪中菌群的影响 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [21] 李燕平, 詹海杰, 郑建婷, 等.  $\beta$ -葡聚糖对肉兔生长性能、免疫器官指数、血清生化和免疫指标的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32 (11): 5365–5372.
- [22] 易丹. 合生素对肉鸭生长性能、血液生化指标和肠道生理学指标的影响 [D]. 武汉: 武汉工业学院, 2008.
- [23] 辛清武, 朱志明, 李丽, 等. 低聚壳聚糖对北京鸭生长性能和血清生化指标的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2018, 50 (4): 28–32.
- [24] 赵红梅, 梁明振. 超微中草药添加剂对断奶仔猪血液生化指标和激素水平的影响 [J]. *中国饲料*, 2011 (15): 28–30.
- [25] 杨伟丽, 胡琴, 王春梅, 等. 低聚壳聚糖和合生元对生长育肥猪生产性能、血清指标及肌肉成分的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2016, 37 (4): 27–31.
- [26] 侯伟革. 黄芪多糖和黄芩甙对断奶仔猪生产性能、血液指标和免疫机能影响的研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
- [27] 吴国卿. 蛋氨酸限制日粮改善甲状腺功能激活中老龄鼠代谢的研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2020.
- [28] 丛日华. 品种和母猪日粮蛋白水平对仔猪肝胆胆固醇代谢的影响及其机制 [D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [29] 王龙昌, 周岩民, 罗有文, 等. 合生素对断奶仔猪生产性能及血液生理生化指标的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2008 (4): 26–30.
- [30] 李伟忠. 合生素对肉仔鸡作用的研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2003.
- [31] 韦云路, 刘义, 王瑶, 等. 3 株益生菌体外降胆固醇能力及体内降血脂效果评价 [J]. *食品科学*, 2017, 38 (23): 129–134.
- [32] 杜蕊, 李娜, 赵彩杰, 等. HMG-CoA 还原酶抑制剂联合阿托伐他汀对冠心病大鼠的干预及降血脂作用 [J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43 (1): 128–132.
- [33] 杨运南, 赵祖艳, 刘日亮, 等. 金霉素和乳果糖-凝结芽孢杆菌合生素对断奶仔猪相对生长速率和粪便代谢产物的影响 [J]. *动物营养学报*, 2021, 33 (10): 5534–5544.
- [34] 吕存, 孙玉亭, 胡传炯, 等. 合生元对保育猪生长性能、粪样菌群结构和短链脂肪酸含量的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2019, 42 (4): 721–728.
- [35] 吕存. 保育期饲喂合生元对猪生长性能及粪样菌群的影响与保育后期益生作用的评估 [D]. 南京: 南京农业大学, 2019.
- [36] 郭东清. 合生元对早期断奶仔猪血液指标、肠黏膜免疫及肠道菌群影响的研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.