

饲料添加合生元对环江香猪血浆生化参数和氧化/抗氧化指标的影响

程雅婷^{1,2}, 蔡巧利¹, 黄攀¹, 唐武¹, 孔祥峰^{1,2*}

¹中国科学院亚热带农业生态研究所 动物营养生理与代谢过程湖南省重点实验室, 长沙 410125;

²中国科学院大学, 北京 100049

摘要:选取环江香猪 128 头, 随机分为对照组、德氏乳杆菌 (*Lactobacillus delbrueckii*, LD) 组、低聚木糖 (xylo-oligosaccharides, XOS) 组、合生元 (LD + XOS) 组。采血分离血浆, 测定生化参数和氧化/抗氧化指标的变化。结果表明, 试验第 28 天, LD、XOS 和合生元组甘油三酯和羟自由基水平显著升高, 谷胱甘肽过氧化物酶水平显著降低; 试验第 56 天, 合生元组总蛋白、白蛋白、尿素氮、葡萄糖、甘油三酯、胆固醇、低密度脂蛋白-胆固醇和肝脂酶水平显著升高, XOS 组乳酸脱氢酶和总谷胱甘肽水平、合生元组丙二醛、天冬氨酸转氨酶和乳酸脱氢酶水平显著降低; 试验第 84 天, LD、XOS 和合生元组过氧化氢、天冬氨酸转氨酶和乳酸脱氢酶水平均显著降低, 合生元组总蛋白和谷胱甘肽过氧化物酶水平显著升高。由此可见, 饲料添加 LD 或同时添加 LD 和 XOS 可调节机体营养代谢和氧化-抗氧化平衡。

关键词:环江香猪; 血浆生化参数; 代谢; 合生元; 氧化/抗氧化指标

中图分类号: S828.8 + 9

文献标识码: A

文章编号: 1001-6880(2022) Suppl-0040-08

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2022.S.006

Effects of dietary synbiotics supplementation on plasma biochemical parameters and oxidant/antioxidant indices of Huanjiang mini-pigs

CHENG Ya-ting^{1,2}, CAI Qiao-li¹, HUANG Pan¹, TANG Wu¹, KONG Xiang-feng^{1,2*}

¹Hunan Provincial Key Laboratory of Animal Nutrition Physiology and Metabolism Process, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China; ²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: A total of 128 Huanjiang mini-pigs were selected and randomly divided into four groups, including control, *Lactobacillus delbrueckii* (LD), xylo-oligosaccharides (XOS), and synbiotic (LD + XOS) groups. Blood was collected to determine plasma biochemical parameters and oxidant-antioxidant indices. The results showed that, triglyceride and hydroxy radical levels in the LD, XOS, and synbiotics groups were increased; while glutathione peroxidase level was decreased on day 28 of the trial. On day 56 of the trial, total protein, albumin, urea nitrogen, glucose, triglyceride, cholesterol, low density lipoprotein-cholesterol, and hepatic lipase levels in the synbiotics group were increased; while lactate dehydrogenase and total glutathione levels in the XOS group, and malondialdehyde, aspartate aminotransferase, and lactate dehydrogenase levels in the synbiotics group were decreased. On day 84 of the trial, H₂O₂, aspartate aminotransferase, and lactate dehydrogenase levels in the LD, XOS, and synbiotics groups were decreased; while total protein and glutathione peroxidase levels in the synbiotics group were increased. Collectively, these findings suggested that dietary supplementation with LD and/or XOS could regulate the body's nutritional metabolism and oxidant-antioxidant balance.

Key words: Huanjiang mini-pig; plasma biochemical parameters; metabolism; synbiotics; oxidant-antioxidant indices

随着我国“禁抗”政策的落实, 养殖业遇到了动

物抗病力下降、生产性能降低、发病死亡率升高等问题, 导致畜禽养殖效益低下。为了提高养殖业生产效率, 研发安全、高效、绿色的新型饲用抗生素替代品成为了热点。益生菌、益生元、合生元等益生物质可调节肠道菌群平衡、抑制有害物质产生、增强机体

收稿日期: 2021-12-07 接受日期: 2022-02-23

基金项目: 湖南省科技领军人才项目(2019RS3022); 中科院王宽诚率先进入人才计划“产研人才扶持项目”; 国家万人计划科技创新人才项目

* 通信作者 E-mail: nnkxf@isa.ac.cn

免疫和抗氧化功能,从而提高动物机体健康水平^[1];同时,还可促进肠道对营养物质的消化吸收,促进动物生长^[2],且合生元的添加效果更佳。目前,养殖生产中使用的益生菌和益生元的种类繁多,其中德氏乳杆菌(*Lactobacillus delbrueckii*, LD)和低聚木糖(xylo-oligosaccharides, XOS)在生产中应用广泛。现有研究发现,低聚木糖可选择性地被乳酸杆菌和双歧杆菌等有益菌利用,抑制有害菌生长,从而调节肠道菌群平衡^[3]。LD和XOS单独添加均可调节动物肠道微生态,改善机体代谢状态,进而影响动物生长性能^[4]。但关于由XOS和LD组成的合生元对动物机体的调控作用研究较少。环江香猪是我国珍稀地方小型猪品种,因其肉质优美而闻名,但目前饲养管理粗放、饲料营养不平衡等导致其生长速度慢、抗病力不高^[5]。笔者前期研究发现,饲料添加LD和XOS可显著提高环江香猪的平均日增重、降低料重比^[6],并且改善胴体性状、肉品质和肌肉营养成分,二者同时添加比单独添加效果更好^[7]。但对其具体的影响机制尚不清楚。因此,本文旨在研究饲料添加由XOS和LD组成的合生元对环江香猪血浆生化参数和氧化/抗氧化指标的影响,为解释其饲喂效果提供生理生化基础,对提高香猪生产效率具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲养管理

本动物试验在广西环江毛苗瑶八面养殖示范基地开展。试验选用9.5 kg左右的环江香猪128头,根据体重随机分为4组,每组8个重复,每重复4头,公、母各半。对照组饲喂基础饲料,LD组、XOS组和合生元组分别在基础饲料中添加0.05% LD、0.02% XOS和0.05% LD+0.02% XOS。试验基础饲料为玉米-豆粕型饲料(粉料),参照中国地方猪营养需要(2004)和猪营养需要标准(National Research Council, NRC)(2012)、结合环江香猪生长特点配制,不添加抗生素。预试期3天,正式期84天。试验第1~56天饲喂保育前期料、第57~84天饲喂保育后期料。LD由湖南农业大学动物科学技术学院功能微生物实验室筛选,由山东宝来利来生物工程股份有限公司生产,活菌数 $\geq 2.09 \times 10^{10}$ CFU/g; XOS主要成分为木二糖、木三糖和木四糖等(含量 $\geq 35\%$),由山东龙力生物科技有限公司提供。根据前人报道^[8,9]以及生产厂家建议确定各添加剂的添加量。试验期间,每天8:00和16:00各喂料1

次,自由采食和饮水,其他饲养管理按猪场常规方法进行。基础饲料组成及营养水平见表1。其中预混料为每千克饲料提供:维生素A 4 000 IU,维生素D3 1 200 IU,维生素E 40 IU,维生素K3 0.8 mg,维生素B1 1.6 mg,维生素B2 1.6 mg,维生素B6 1.2 mg,维生素B12 16 μ g,生物素0.08 mg,泛酸6 mg,烟酸14 mg,氯化胆碱300 mg,铜127 mg,铁171.6 mg,锌116 mg,锰43 mg,钾0.34 mg,碘0.26 mg,钴0.14 mg,硒0.16 mg。

表1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis)

指标 Index	保育前期料 Prophase nursery diet	保育后期料 Anaphase nursery diet
饲料组成 Diet composition		
玉米 Corn (%)	55.00	58.00
豆粕 Soybean meal (%)	22.00	17.65
麦麸 Wheat bran (%)	10.63	12.05
米糠 Rice bran (%)	8.37	8.30
预混料 Premix (%)	4.00	4.00
合计 Total (%)	100.00	100.00
营养水平 * Nutrient level *		
消化能 Digestive energy (MJ/kg)	13.48	13.38
粗蛋白质 Crude protein (%)	16.13	14.70
粗纤维 Crude fiber (%)	14.67	14.96
钙 Ca (%)	0.70	0.69
总磷 P (%)	0.38	0.38
赖氨酸 Lysine (%)	0.88	0.78
蛋氨酸 + 半胱氨酸 Methionine + Cysteine (%)	0.50	0.47

注: * 营养水平为计算值。

Note: * Nutrient levels were calculated value.

1.2 血液样品采集与处理

分别于试验第28、56和84天清晨,从每个重复随机选择1头环江香猪,空腹前腔静脉采血10 mL,肝素抗凝,3 500 r/min离心15 min分离血浆,分装于EP管中,-80 °C保存待测。

1.3 血浆生化参数测定

血浆样品于4 °C解冻后,按照相关试剂盒(北京利德曼公司提供)说明书进行操作。用Cobas c311型全自动生化分析仪(罗氏公司产品)测定血浆中天冬氨酸转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、丙氨酸转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, ALP)、淀粉

酶 (amylase, AMS)、乳酸脱氢酶 (lactate dehydrogenase, LDH) 和肝脂酶 (hepaticlipase, HL) 的活性以及总蛋白 (total protein, TP)、白蛋白 (albumin, ALB)、血氨 (NH_3)、尿素氮 (urea nitrogen, UN)、葡萄糖 (glucose, GLU)、甘油三酯 (triglyceride, TG)、胆固醇 (cholesterol, CHO)、高密度脂蛋白-胆固醇 (high density lipoprotein-cholesterol, HDL-C) 和低密度脂蛋白-胆固醇 (low density lipoprotein-cholesterol, LDL-C) 的浓度。

1.4 血浆氧化/抗氧化指标测定

血浆样品于 $4\text{ }^\circ\text{C}$ 解冻后,按照相关试剂盒(南京建成生物工程研究所提供)说明,检测血浆中过氧化氢 (B_2O_2)、羟自由基 (hydroxy radicals, HR)、丙二醛 (malondialdehyde, MDA) 和总谷胱甘肽 (total glutathione, T-GSH) 的浓度以及超氧化物歧化酶

(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 和谷胱甘肽过氧化物酶 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 的活性。

1.5 数据统计与分析

试验数据采用 SAS 9.2 进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 并采用 Duncan 氏法进行组间多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果分析

2.1 饲料添加合生元对环江香猪血浆酶活性的影响

由表 2 可知,与对照组相比,试验第 28 天, XOS 和合生元组 ALP 水平显著升高 ($P < 0.05$); 试验第 56 天, XOS 组 LDH 水平、合生元组 AST 和 LDH 水平均显著降低 ($P < 0.05$); 试验第 84 天, LD、XOS 和合生元组 AST 和 LDH 水平均显著降低 ($P < 0.05$)。

表 2 合生元对环江香猪血浆酶活性的影响 ($n = 8$)

Table 2 Effects of synbiotics on plasma enzyme activities of Huanjiang mini-pigs ($n = 8$)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	P 值 P valve
试验第 28 天 Day 28 of the trial						
ALP (U/L)	120.83 ^b	130.63 ^b	183.25 ^a	191.75 ^a	2.417	0.008
ALT (U/L)	47.14	51.16	52.15	49.79	1.118	0.770
AST (U/L)	67.38	87.88	86.00	66.14	1.709	0.136
LDH (U/mL)	596.38	730.25	756.63	655.25	4.177	0.113
试验第 56 天 Day 56 of the trial						
ALP (U/L)	160.29	176.43	148.00	157.83	1.862	0.249
ALT (U/L)	44.30	44.61	48.75	50.58	1.089	0.477
AST (U/L)	108.13 ^a	113.00 ^a	110.25 ^a	65.43 ^b	1.865	0.005
LDH (U/L)	1.26 ^a	1.12 ^{ab}	0.84 ^{bc}	0.63 ^c	0.006	0.005
试验第 84 天 Day 84 of the trial						
ALP (U/L)	177.4	151.75	145.71	143.75	2.023	0.170
ALT (U/L)	51.85	58.11	62.09	53.99	1.117	0.238
AST (U/L)	133.98 ^a	102.04 ^b	103.18 ^b	85.19 ^b	1.798	0.007
LDH (U/L)	1.03 ^a	0.83 ^b	0.86 ^b	0.66 ^c	0.004	<0.001

注:同行数据肩标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下表同。

Note: Values in the same row with different superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), the same below.

2.2 饲料添加合生元对环江香猪血浆氮代谢相关生化参数的影响

由表 3 可知,与对照组相比,试验第 28 天, XOS 组 UN 浓度、合生元组 ALB 和 UN 水平均显著升高 ($P < 0.05$), 合生元组 TP 水平呈升高趋势 ($P =$

0.064); 试验第 56 天, LD 和 XOS 组 NH_3 水平, 合生元组 TP、ALB 和 UN 水平均显著升高 ($P < 0.05$)。试验第 84 天, XOS 和合生元组 NH_3 水平显著降低 ($P < 0.05$), 合生元组 TP 水平显著升高 ($P < 0.05$), 合生元组 UN 水平呈降低趋势 ($P = 0.087$)。

表 3 合生元对环江香猪血浆氮代谢相关生化参数的影响 ($n=8$)Table 3 Effects of synbiotics on plasma biochemical parameters related to nitrogen metabolism of Huanjiang mini-pigs ($n=8$)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> valve
试验第 28 天 Day 28 of the trial						
TP(g/L)	63.05	69.81	67.73	71.85	0.899	0.064
ALB(g/L)	25.76 ^b	27.01 ^b	26.73 ^b	30.19 ^a	0.598	0.026
NH ₃ (μmol/L)	139.31	145.2	134.96	157.21	2.804	0.903
UN(mmol/L)	1.93 ^b	2.47 ^{ab}	3.48 ^a	3.16 ^a	0.370	0.039
试验第 56 天 Day 56 of the trial						
TP(g/L)	71.91 ^b	75.91 ^b	75.65 ^b	83.08 ^a	0.792	0.001
ALB(g/L)	36.05 ^b	35.88 ^b	36.77 ^b	41.59 ^a	0.690	0.017
NH ₃ (μmol/L)	181.11 ^b	252.57 ^a	270.76 ^a	173.83 ^b	2.677	0.003
UN(mmol/L)	6.00 ^b	6.15 ^b	6.13 ^b	8.20 ^a	0.349	<0.001
试验第 84 天 Day 84 of the trial						
TP(g/L)	73.02 ^{bc}	71.06 ^c	77.06 ^{ab}	79.13 ^a	0.767	0.007
ALB(g/L)	41.03 ^{ab}	38.94 ^b	43.96 ^a	44.04 ^a	0.666	0.021
NH ₃ (μmol/L)	399.80 ^a	393.20 ^a	208.19 ^b	281.07 ^b	3.647	0.003
UN(mmol/L)	5.60	5.23	4.77	4.68	0.312	0.087

2.3 饲料添加合生元对环江香猪血浆糖脂代谢相关生化参数的影响

由表 4 可知,与对照组相比,试验第 28 天,LD、XOS 和合生元组 TG 水平均显著升高($P < 0.05$),而 XOS 组 HDL-C 水平显著降低($P < 0.05$)。试验

第 56 天,LD 组 AMS 活性,合生元组 GLU、TG、CHO、LDL-C 和 HL 水平均显著升高($P < 0.05$)。试验第 84 天,LD 组 TG 和 AMS 水平均显著降低($P < 0.05$),LD 组 LDL-C 水平呈降低趋势($P = 0.071$);另外,LD 组 CHO 水平显著低于 XOS 组($P < 0.05$)。

表 4 合生元对环江香猪血浆糖脂代谢相关生化参数的影响 ($n=8$)Table 4 Effects of synbiotics on plasma biochemical parameters related to glucose and lipid metabolism of Huanjiang mini-pigs ($n=8$)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> valve
试验第 28 天 Day 28 of the trial						
GLU(mmol/L)	5.54	4.90	4.78	5.10	0.293	0.152
TG(mmol/L)	0.45 ^b	0.60 ^a	0.63 ^a	0.68 ^a	0.136	0.023
CHO(mmol/L)	2.48	2.46	2.45	2.30	0.168	0.374
HDL-C(mmol/L)	0.84 ^a	0.75 ^{ab}	0.66 ^b	0.83 ^a	0.126	0.026
LDL-C(mmol/L)	1.27	1.17	1.25	1.27	0.170	0.788
AMS(U/L)	0.24	0.24	0.23	0.30	0.008	0.163
HL(U/L)	3.99	4.63	3.95	4.04	0.292	0.174
试验第 56 天 Day 56 of the trial						
GLU(mmol/L)	5.35 ^b	5.28 ^b	5.44 ^b	6.57 ^a	0.283	0.001
TG(mmol/L)	0.38 ^b	0.41 ^b	0.51 ^b	0.70 ^a	0.127	<0.001
CHO(mmol/L)	2.24 ^b	2.29 ^b	2.27 ^b	2.91 ^a	0.232	0.010

续表 4(Continued Tab. 4)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
HDL-C(mmol/L)	0.70	0.62	0.63	0.73	0.137	0.415
LDL-C(mmol/L)	1.20 ^b	1.23 ^b	1.23 ^b	1.64 ^a	0.202	0.034
AMS(U/L)	0.25 ^b	0.31 ^a	0.28 ^{ab}	0.30 ^{ab}	0.007	0.045
HL(U/L)	7.03 ^b	5.89 ^b	7.26 ^b	9.84 ^a	0.558	0.026
试验第 84 天 Day 84 of the trial						
GLU(mmol/L)	5.62	4.61	4.66	5.12	0.327	0.176
TG(mmol/L)	0.61 ^a	0.43 ^b	0.65 ^a	0.62 ^a	0.130	0.015
CHO(mmol/L)	2.71 ^{ab}	2.41 ^b	2.97 ^a	2.64 ^{ab}	0.210	0.033
HDL-C(mmol/L)	0.67	0.71	0.85	0.76	0.148	0.208
LDL-C(mmol/L)	1.61	1.33	1.68	1.44	0.188	0.071
AMS(U/L)	0.32 ^a	0.26 ^b	0.284 ^{ab}	0.31 ^a	0.006	0.008
HL(U/L)	8.22	5.88	7.50	7.40	0.545	0.273

2.4 饲料添加合生元对环江香猪血浆氧化/抗氧化指标的影响

由表 5 可知,与对照组相比,试验第 28 天,LD 组血浆 SOD 水平显著降低($P < 0.05$),XOS 组 CAT 和 T-GSH 水平显著升高($P < 0.05$),LD 和合生元组 H_2O_2 水平显著升高($P < 0.05$),LD、XOS 和合生元组 HR 水平显著升高、GSH-Px 水平显著降低($P <$

0.05);试验第 56 天,XOS 组血浆 T-GSH 水平显著降低($P < 0.05$),LD 和 XOS 组 MDA 水平显著降低($P < 0.05$);试验第 84 天,XOS 和合生元组血浆 GSH-Px 水平显著升高($P < 0.05$),LD、XOS 和合生元组 H_2O_2 水平显著降低($P < 0.05$)。另外,试验第 56 天 XOS 组血浆 H_2O_2 水平显著高于 LD 组($P < 0.05$)。

表 5 合生元对环江香猪血浆氧化/抗氧化指标的影响($n = 8$)Table 5 Effects of synbiotics on plasma oxidant/antioxidant indices of Huanjiang mini-pigs ($n = 8$)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	<i>P</i> 值
试验第 28 天 Day 28 of the trial						
H_2O_2 (mmol/L)	7.94 ^c	14.84 ^b	7.24 ^c	17.84 ^a	0.540	<0.001
MDA(nmol/mL)	2.36	2.25	2.24	2.39	0.301	0.967
HR(U/L)	0.71 ^c	1.06 ^b	1.22 ^a	1.20 ^a	0.003	<0.001
SOD(U/mL)	62.96 ^a	54.71 ^c	60.57 ^{ab}	56.29 ^{bc}	0.804	0.013
CAT(U/mL)	12.13 ^b	11.75 ^b	16.82 ^a	11.23 ^b	0.463	<0.001
GSH-Px(U/L)	1.05 ^a	0.84 ^b	0.87 ^b	0.87 ^b	0.003	0.005
T-GSH(umol/L)	8.07 ^b	8.62 ^b	10.61 ^a	8.65 ^b	0.423	0.008
试验第 56 天 Day 56 of the trial						
H_2O_2 (mmol/L)	19.31 ^{ab}	17.17 ^b	21.69 ^a	16.04 ^b	0.677	0.023
MDA(nmol/mL)	4.26 ^a	2.82 ^c	3.37 ^{bc}	3.93 ^{ab}	0.293	0.001
HR(U/L)	1.26	1.26	1.26	1.26	0.001	0.371
SOD(U/mL)	68.10	71.57	66.96	67.67	0.744	0.186
CAT(U/mL)	16.34	18.69	21.15	18.88	0.687	0.114
GSH-Px(U/L)	1.40	1.40	1.28	1.38	0.004	0.265

续表 5 (Continued Tab. 5)

指标 Index	对照组 Control group	德氏乳杆菌组 LD group	低聚木糖组 XOS group	合生元组 Synbiotics group	SEM	P 值
T-GSH(umol/L)	7.37 ^a	7.75 ^a	5.74 ^b	7.77 ^a	0.237	<0.001
试验第 84 天 Day 84 of the trial						
H ₂ O ₂ (mmol/L)	43.38 ^a	29.79 ^b	36.46 ^b	33.65 ^b	0.888	0.002
MDA(nmol/mL)	2.92	2.61	3.10	2.87	0.244	0.256
HR(U/L)	1.31	1.33	1.33	1.34	0.002	0.057
SOD(U/mL)	35.91	34.78	41.30	39.95	1.184	0.605
CAT(U/mL)	8.53	9.64	7.80	9.61	0.542	0.344
GSH-P _x (U/L)	1.00 ^c	1.04 ^c	1.17 ^b	1.30 ^a	0.003	<0.001
T-GSH(umol/L)	5.57	6.92	6.65	7.34	0.404	0.066

3 讨论与结论

血浆中与机体细胞损伤相关酶活性的高低可以反映机体的健康状况^[10]。AST 和 ALT 主要存在于肝细胞中, 血浆 AST 和 ALT 的水平升高说明肝脏细胞受损^[11]。LDH 是在机体各组织中广泛存在的一种抗氧化酶, 能够反映细胞的损伤程度, 其水平升高表示细胞受损、机体免疫力降低^[12]。在试验第 56 和 84 天环江香猪处于不同的生长阶段, 其面临更换饲料的外界应激, 此状态下易发生肝脏损伤。本研究发现, 饲料添加 LD、XOS 和合生元可显著降低试验第 56 和 84 天环江香猪血浆 AST 和 LDH 水平, 且添加合生元时血浆 AST 和 LDH 水平更低, 说明饲料添加 LD 和/或 XOS 可维持肝脏细胞正常功能和机体健康, 且添加合生元的效果更加显著。许焜森等^[13]报道, 肉鸡饲料添加 LD 30 天可显著降低肠道内鸡伤寒沙门氏菌、金黄色葡萄球菌等有害菌数量, 增强机体免疫力。Wang 等^[14]研究也发现, 饲料添加 LD 可显著降低泌乳母猪血浆 ALT 水平, 保护肝脏免受损伤, 维持机体正常免疫功能。这可能是由于饲料添加 LD 和 XOS 促进了肠道乳酸菌生长, 抑制了有害菌的繁殖, 增强了机体免疫功能和抗病能力, 从而抑制器官损伤的发生。

血浆中氮代谢相关生化参数可以反映机体对饲料中蛋白质的利用能力^[15]。血浆 TP 主要包括 ALB 和球蛋白, TP 含量越高说明机体蛋白合成越旺盛, 可增强机体免疫力^[16]。本研究中, 饲料添加合生元可不同程度地增加血浆 TP 和 ALB 浓度, 但单独添加 LD 或 XOS 不影响血浆 TP 和 ALB 浓度。Zhao 等^[17]在保育猪上的研究也发现, 饲料添加 XOS 不影响血浆 TP 和 ALB 水平。上述结果提示, 饲料添

加合生元可显著增强机体蛋白质合成能力。血浆 UN 是机体蛋白质的代谢产物, 其水平的高低可反映动物蛋白质代谢水平和日粮氨基酸平衡及其利用情况, 可作为评价蛋白质沉积水平的重要参数^[18]。本研究发现, 饲料添加合生元显著增加了试验第 28 和 56 天血浆 UN 含量, 表明机体蛋白质代谢能力增强、氨基酸利用提高。NH₃ 是由机体氨基酸脱氨基产生, 可反映机体氮代谢水平, 血浆 NH₃ 浓度越高说明氮代谢越旺盛^[19]。本研究中, 试验第 56 天 LD 和 XOS 组血浆 NH₃ 浓度均显著增加, 可能是由于 LD 和 XOS 的添加促进了肠道微生物的增殖及其对氨基酸的代谢。

TG 是血浆中主要的血脂成分, 可反映机体脂肪沉积能力^[20]。本研究发现, 饲料添加 LD、XOS 和合生元显著增加了试验第 28 天血浆 TG 水平, 添加合生元显著增加了试验第 56 天血浆 TG 水平, 提示 LD、XOS 和合生元均可促进试验前期环江香猪机体脂肪的代谢。CHO 是细胞构成的重要组成部分, 还可作为性激素等类固醇激素的合成原料; LDL-C 和 HDL-C 是胆固醇的主要转运蛋白, HDL-C 主要将胆固醇转运至肝脏, 而 LDL-C 主要将肝脏中的胆固醇转运至外周组织, 两者含量的高低分别说明肝脏和外周组织对胆固醇的利用能力^[21]。本研究中, 饲料添加合生元显著增加了试验第 56 天血浆 CHO 和 LDL-C 水平, 提示合生元增加了机体胆固醇的沉积。另外, 饲料添加 LD 降低了试验第 84 天环江香猪血浆 TG 和 CHO 水平, 提示 LD 可抑制育肥猪的脂肪和胆固醇的过度沉积, 这与 Hou 等^[22]的研究结果一致, 即育肥猪饲料添加 0.1% LD 可降低血浆 TG 和总胆固醇含量, 促进脂肪的转运和沉积。这提示 LD

和 XOS 对脂质代谢的调控作用与机体所处的生长阶段有关。AMS 是动物体内重要的糖类消化酶,HL 是机体内重要的脂类消化酶,两者水平的高低说明小肠吸收功能及胰腺分泌功能的强弱^[23]。本研究发现,饲粮添加 LD 和 XOS 不同程度地增加了试验第 56 天环江香猪血浆 AMS 水平,添加合生元显著增加了血浆 HL 水平,提示小肠对脂肪和糖类的消化功能增强。Li 等^[24]研究发现,饲粮添加 XOS 可显著增加仔猪饲料转化效率以及十二指肠和空肠胰蛋白酶、胃蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性。这一结果解释了试验第 28 和 56 天机体对脂肪利用能力的提高。

血浆氧化/抗氧化指标可反映机体的氧化-抗氧化平衡状态。MDA 是反映脂质过氧化程度的指标,其含量越高说明脂质过氧化程度越高; H_2O_2 代表机体内活性氧自由基的含量,其水平越高说明机体氧化程度越高。SOD、CAT 和 GSH-Px 是机体内重要的抗氧化酶,SOD 可将超氧自由基转化为 H_2O_2 , H_2O_2 通过 GSH-Px 和 CAT 转化为水^[25],其水平越高说明机体抗氧化能力越强。本研究发现,饲粮添加 LD、XOS 和合生元后,试验第 28 天血浆 H_2O_2 和 HR 含量均不同程度增加、SOD 和 GSH-Px 水平降低,提示机体内发生氧化应激,这可能与添加剂的添加剂量过高有关^[26];试验第 84 天时,LD、XOS 或合生元组血浆 H_2O_2 含量降低、CAT 和 GSH-Px 水平升高,且合生元组抗氧化酶的水平最高,表明机体抗氧化能力增强、氧化损伤减少。Li 等^[27]研究也发现,给新生仔猪口服 LD 可显著降低仔猪的氧化应激、提高抗氧化能力,并刺激肠道免疫反应,且上述作用可维持到断奶后 4 周。Fan 等^[28]报道,XOS 可显著提高仔猪血清 T-AOC、肝脏 SOD 和 CAT 活力,显著降低血清和肝脏 MDA 含量。另外,本研究中合生元的添加效果更佳,可能是因为 XOS 可促进乳酸菌等有益菌的繁殖,这些益生菌能分泌促进抗氧化酶活性的物质^[29]。

总之,饲粮添加 LD、XOS 和合生元均可通过影响碳氮代谢相关血浆生化参数和肝功能相关酶活性,调节机体营养代谢、维持肝脏正常功能;提高机体抗氧化酶活性,维持机体氧化-抗氧化平衡,并且上述作用与猪的生长阶段有关。另外,合生元的添加效果普遍优于单独添加益生菌和益生元。

参考文献

1 Zhao HB. Overview of the application of probiotics and prebi-

- otics in monogastric animals [J]. Feed Res (饲料研究), 2020,43(12):125-127.
- 2 Duan XD, Chen DW, Zheng P, et al. Effects of dietary mannan-oligosaccharide supplementation on performance and immune response of sows and their offspring [J]. Anim Feed Sci Tech, 2016, 218: 17-25.
- 3 Kong XF. Research progress of colonic microbial nitrogen metabolism and body health [J]. Feed Livest (饲料与畜牧), 2013(4):10-17.
- 4 Cai QL, Hu CG, Tang W, et al. Dietary addition with *Clostridium butyricum* and xylo-oligosaccharides improves carcass trait and meat quality of Huanjiang mini-pigs [J]. Front Nutr, 2021, 8:857.
- 5 Li J, Xu ZF, Zhang HH, et al. Association analysis of MUC13 gene polymorphisms with diarrhea in Huanjiang miniature pigs [J]. China Anim Husb Vet Med (中国畜牧兽医), 2016,43:1818-1825.
- 6 Cai QL, Tang W, Jiang HJ, et al. Effects of *Lactobacillus delbrueckii* and xylo-oligosaccharides on growth performance and plasma biochemical parameters of huanjiang mini-pigs [J]. Chin J Anim Nutr (动物营养学报), 2019, 31:3891-3897.
- 7 Cai QL, Tang W, Jiang HJ, et al. Effects of *Lactobacillus delbrueckii* and xylo-oligosaccharides on carcass traits and meat quality of Huanjiang mini-pigs [J]. Chin J Anim Nutr (动物营养学报), 2020, 32:636-645.
- 8 Hou GF, Li R, Liu M, et al. Effect of *Lactobacillus delbrueckii* on growth performance, nutrient digestibility, serum biochemical indexes and intestinal structure of fattening pigs [J]. Chin J Anim Nutr (动物营养学报), 2015, 27:2871-2877.
- 9 Guo QP, Wen CY, Wang WL, et al. Effects of xylooligosaccharide on growth performance, muscle nutrient content and muscle fiber type composition of piglets [J]. Chin J Anim Nutr (动物营养学报), 2017, 29:2769-2776.
- 10 Zaitsev SY, Belous AA, Voronina OA, et al. Correlations between antioxidant and biochemical parameters of blood serum of Duroc breed pigs [J]. Animals, 2021, 11(8):2400.
- 11 Wang XL, Liu ZY, Li YH, et al. Effects of dietary supplementation of *Lactobacillus delbrueckii* on gut microbiome and intestinal morphology in weaned piglets [J]. Front Vet Sci, 2021, 8:692389.
- 12 Guo Q, Zhu ZJ, Wang J, et al. Preparation, stability and commutability of candidate reference materials for lactate dehydrogenase (LDH) [J]. Clin Biochem, 2021, 91(5):45-51.
- 13 Xu ZS. Effect of *Lactobacillus delbrueckii* on the microflora in broiler gut [J]. J Anhui Agr Sci (安徽农业科学), 2008(8):3228-3229.
- 14 Wang J, Ji HF, Hou CL, et al. Effects of *Lactobacillus johnso-*

- nii* XS4 supplementation on reproductive performance, gut environment, and blood biochemical and immunological index in lactating sows[J]. *Livest Sci*, 2014, 164(6):96-101.
- 15 Peris SIE, Abd El-Latif, KM. Effect of feed restriction on growth performance, carcass traits, and some hematological and blood biochemical parameters in growing rabbits[J]. *Anim Biotechnol*, 2021, 3:1-10.
 - 16 Sun ZT, Maq G, Li ZR, et al. Effect of partial substitution of dietary spray-dried porcine plasma or fishmeal with soybean and shrimp protein hydrolysate on growth performance, nutrient digestibility and serum biochemical parameters of weanling piglets[J]. *Asian-Austral J Anim*, 2009, 22:1032-1037.
 - 17 Zhao L, Chen QH, Yi HQ. Effects of xylo-oligosaccharide on growth performance, diarrhea rate and serum biochemical indices of nursery piglets[J]. *Chin J Anim Nutr (动物营养学报)*, 2018, 30:1887-1892.
 - 18 Yang HY, Yang ZB, Yang WR, et al. Effect of probiotics and xylo-oligosaccharide on performance digestive enzyme activities blood index and intestinal microflora of early weaned piglets[J]. *Chin J Vet Sci (中国兽医学报)*, 2009, 29:914-919.
 - 19 Yin J, Li FN, Kong XF, et al. Dietary xylo-oligosaccharide improves intestinal functions in weaned piglets[J]. *Food Funct*, 2019, 10:2701-2709.
 - 20 Li R, Hou GH, Wei LK, et al. Effects of *Lactobacillus delbrueckii* on serum biochemical parameters, related genes mRNA expression of cholesterol metabolism and fat deposition in finishing pigs[J]. *Chin J Anim Nutr (动物营养学报)*, 2017, 29:3184-3192.
 - 21 Ren HL, Wang JJ, Jin SJ, et al. Effects of dietary compound bacteria of *Lactobacillus* and yeast in late pregnancy on reproductive performance, plasma lipid metabolism and antioxidant capacity of sows[J]. *Chin J Anim Nutr (动物营养学报)*, 2018, 30:1457-1464.
 - 22 Hou GF, Peng W, Wei LK, et al. *Lactobacillus delbrueckii* interfere with bile acid enterohepatic circulation to regulate cholesterol metabolism of growing-finishing pigs via its bile salt hydrolase activity[J]. *Front Nutr*, 2020, 7:617676.
 - 23 Chen YY, Gong XX, Li G, et al. Effects of dietary alfalfa flavonoids extraction on growth performance, organ development and blood biochemical indexes of Yangzhou geese aged from 28 to 70 days[J]. *Anim Nutr*, 2016, 2:318-322.
 - 24 Li ZY, Yang ZB, Yang WR, et al. Effects of probiotics and oligosaccharide on growth and nutrient utilization performance in piglets[J]. *J Northwest A&F Univ: Nat Sci (西北农林科技大学学报: 自科版)*, 2008, 36(1):59-65.
 - 25 Yuan D, Hussain T, Tan B, et al. The evaluation of antioxidant and anti-inflammatory effects of *Eucommia ulmoides* flavones using diquat-challenged piglet models[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2017, 2017:8140962.
 - 26 Zhang CN, Zhang JL, Guan WC, et al. Effects of *Lactobacillus delbrueckii* on immune response, disease resistance against *Aeromonas hydrophila*, antioxidant capability and growth performance of *Cyprinus carpio* Huanghe var[J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2017, 9(68):84-91.
 - 27 Li Y, Hou S, Peng W, et al. Oral Administration of *Lactobacillus delbrueckii* during the suckling phase improves antioxidant activities and immune responses after the weaning event in a piglet model[J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2019:6919803.
 - 28 Fang CR, Liu Q, Li JN, et al. Effects of xylo-oligosaccharides on growth performance, diarrhearate and antioxidant indexes of weaned piglets[J]. *J Anhui Agr Sci (安徽农业科学)*, 2016, 44(29):98-101.
 - 29 Chen XY, Cao JM, Huang YH, et al. Xylo-oligosaccharides supplementation affects growth performance, non-specific immunity, antioxidant function and anti-white spot syndrome virus capacity of juvenile *Litopenaeus vannamei*[J]. *Chin J Anim Nutr (动物营养学报)*, 2014, 26:2397-2407.