

引用格式:

马思奇, 张雯韬, 靳喜庆, 余冰, 伍树松. 妊娠后期添加酒糟对母猪繁殖性能和初乳成分的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2025, 51(5): 95–103.

MA S Q, ZHANG W T, JIN X Q, YU B, WU S S. Dietary supplementation of distillers' grains in late pregnancy on reproductive performance and colostrum composition of sows[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2025, 51(5): 95–103.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



## 妊娠后期添加酒糟对母猪繁殖性能和初乳成分的影响

马思奇<sup>1</sup>, 张雯韬<sup>1</sup>, 靳喜庆<sup>2</sup>, 余冰<sup>2</sup>, 伍树松<sup>1\*</sup>

(1. 湖南农业大学动物科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 酒鬼酒股份有限公司, 湖南 吉首 416000)

**摘要:** 为研究妊娠后期母猪饲料中添加酒糟(DG)对母猪繁殖性能和初乳成分的影响, 选取72头妊娠80 d左右的健康PIC母猪, 将其分为2个组, 每个组6个重复, 每个重复6头猪, 对照组饲喂基础日粮, 酒糟组在基础日粮中补充1%(质量分数)馥郁香型白酒酒糟, 试验周期为妊娠80 d至分娩结束。结果表明: 与对照组相比, 酒糟组仔猪初生窝重、活仔数、健仔数均显著上升( $P<0.05$ ), 宫内发育迟缓(IUGR)仔猪数显著降低( $P<0.05$ ); 酒糟组母猪初乳中尿素氮质量浓度显著降低( $P<0.05$ ), 但免疫球蛋白(IgA、IgG、IgM)质量浓度无显著差异( $P>0.05$ ); 酒糟组血清中甘油三酯(TG)浓度显著上升( $P<0.05$ ), 且血清总胆固醇(TC)和高密度脂蛋白(HDL-C)浓度、总超氧化物歧化酶(T-SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性极显著上升( $P<0.01$ ), 胎盘组织中谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性极显著上升( $P<0.01$ ), 但血清中白细胞介素-2(IL-2)水平显著下降( $P<0.05$ )。饲料中添加1%酒糟对母猪肠道微生物群聚类、Chao1指数、observed\_species、PD\_whole\_tree和Shannon指数无显著影响( $P>0.05$ ); 但DG组母猪肠道微生物中Spirochaetota(螺旋体门)的相对丰度极显著降低( $P<0.01$ ), *Treponema*(密螺旋体属)的相对丰度显著降低( $P<0.05$ ), 且显著提高了Clostridiaceae(梭菌科)的相对丰度( $P<0.05$ )。综上所述, 母猪妊娠后期饲料中补充1%酒糟可有效改善母猪繁殖性能, 提高母猪抗氧化能力, 缓解炎症并影响肠道微生物结构。

**关键词:** 酒糟; 母猪; 繁殖性能; 初乳成分; 肠道微生物

中图分类号: S828.9

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2025)05-0095-09

## Dietary supplementation of distillers' grains in late pregnancy on reproductive performance and colostrum composition of sows

MA Siqui<sup>1</sup>, ZHANG Wentao<sup>1</sup>, JIN Xiqing<sup>2</sup>, YU Bing<sup>2</sup>, WU Shusong<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Jiugu Liquor Co. Ltd., Jishou, Hunan 416000, China)

**Abstract:** To investigate the effects of distillers' grains(DG) on reproductive performance and colostrum composition of sows in late pregnancy, a total of 72 healthy PIC sows(80 days of pregnancy) were randomly divided into two groups, with 6 replicates in each group and 6 sows in each replicate. The control group was fed a basal diet, and the DG group was supplemented with 1%(mass fraction) Fuyu flavor DG in the basal diet. The experimental period was from 80 days of pregnancy to delivery. The results showed that the litter weight, number of live piglets and number of healthy piglets in the DG group were significantly higher than those of the control group( $P<0.05$ ), while the number of intrauterine growth retardation(IUGR) piglets was significantly decreased( $P<0.05$ ). DG decreased the mass concentration of urea nitrogen in colostrum of sows( $P<0.05$ ), but there was no significant difference in immunoglobulin(IgA, IgG, IgM) mass concentrations( $P>0.05$ ). DG increased the molar concentrations of serum triglyceride(TG) significantly( $P<0.05$ ). The serum cholesterol(TC) and high-density lipoprotein(HDL-C) concentrations, along with the total superoxide dismutase(T-

收稿日期: 2024-11-20

修回日期: 2025-01-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2023YFD1302300); 湖南省重点研发计划项目(2024JK2151)

作者简介: 马思奇(2000—), 女, 湖南岳阳人, 博士研究生, 主要从事单胃动物营养研究, 1171761477@qq.com; \*通信作者, 伍树松, 博士, 教授, 主要从事动物营养与饲料科学研究, wush688@hunau.edu.cn

SOD) and catalase(CAT) activity, and glutathione peroxidase(GSH-Px) activity in placental tissue exhibited highly significant elevations( $P<0.01$ ), but the molar concentration of interleukin-2(IL-2) was significantly decreased( $P<0.05$ ) in the DG group. DG had no significant effect on the intestinal microflora clustering, Chao1 index, observed\_species, PD\_whole\_tree and Shannon index( $P>0.05$ ). However, DG reduced the relative abundance of Spirochaetota( $P<0.01$ ) and Treponema( $P<0.05$ ), and increased the relative abundance of Clostridiaceae( $P<0.05$ ). In summary, supplementation of 1% DG in the diet of sows during late pregnancy can effectively improve the reproductive performance and antioxidant capacity, alleviate inflammation and affect the gut microbiota structure of sows.

**Keywords:** distillers' grains; sow; reproductive performance; colostrum composition; gut microbiota

馥郁香型酒糟是高粱、糯米、大米、小麦和玉米等粮食经微生物固态发酵、蒸馏后的副产物,富含蛋白质、矿物质、纤维等营养物质<sup>[1]</sup>。前人研究发现,酒糟中含有的蛋白质、B族维生素等营养物质不仅能帮助消肿,还能够在孕妇哺乳期利乳<sup>[2]</sup>。但由于酿酒过程的特殊性,新鲜酒糟中的水分和稻壳较多,黏性和酸度大,这些特殊的性质使得其容易霉变,不易运输和储藏等,从而导致新鲜酒糟利用率极低。酒糟传统的处理方式为直接烘干或制成有机肥料,这一过程不仅会消耗大量能量,而且酒糟利用率较低。近年来,随着国家“双碳”目标的推进,酒糟发酵类饲料资源的开发与利用取得了快速发展,但依旧存在糟渣利用不全面,使用效果不稳定等问题。

在现代规模化养殖模式下,母猪的生产效率对猪场的经济效益具有显著影响。母猪长期处于生产状态,可能会出现便秘、产程过长、初生窝重差异大等一系列问题<sup>[3-4]</sup>。此外,妊娠母猪因高产而产生应激也是影响其繁殖性能、导致产仔数减少的重要原因之一<sup>[5-7]</sup>。酒糟是一类具有改善妊娠母猪繁殖性能潜力的副产物,探究酒糟对母猪繁殖性能的影响及其在母猪饲料中的合理利用具有重要意义。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

妊娠母猪与饲料由湖南鑫广安农牧股份有限公司提供,馥郁香型酒糟原料由酒鬼酒股份有限公司提供。抗氧化能力、血清生化检测试剂盒购自南京建成生物工程研究所;免疫球蛋白、炎症因子检测试剂盒购自科鹿(武汉)生物科技有限责任公司。

### 1.2 试验设计

选取72头胎次相近(4~6胎)妊娠80 d左右的PIC妊娠母猪,随机分为2个组,每个组6个重复,每

个重复6头猪。其中,空白对照(CTL)组饲喂基础日粮,酒糟(DG)组饲喂含1%(质量分数)酒糟的日粮。试验周期为妊娠第80天至分娩结束,试验期间严格按照饲养标准饲养。

### 1.3 饲养管理

本试验全程严格按照猪场母猪喂料程序进行饲喂。每天分别在6:00和15:00进行饲喂,妊娠第80~113天对母猪限制饲养(2.5 kg/d);并在临产前一周将母猪转入产房产床上待产,保持产房干燥、清洁和通风。在母猪临产之前对母猪的外阴和乳房进行清洁并且消毒。分娩后母猪自由采食。

### 1.4 样品采集

粪便采集:在母猪分娩前,戴手套收集新鲜粪便,选取中间段粪便样本,装于冻存管中,于-20℃冰箱保存。

血液采集:在母猪分娩后,使用5 mL采血管,通过耳缘静脉采血方式采集血液样本,采血后静置2 h,3 500 r/min离心10 min后取血清,分装于多个1.5 mL离心管中,于-80℃保存。

初乳采集:在母猪前、中、后乳头分别收集初乳至50 mL离心管中,每个处理组选择6头猪,每头各采集50 mL初乳。

胎盘采集:从每组中选择6头猪,当其胎盘组织娩出时,立即采集胎盘组织(离脐带连接点2~4 cm处)。将新鲜胎盘组织固定在4%多聚甲醛中,剩下的置于4℃冰箱保存。

### 1.5 检测指标

繁殖性能指标:分娩当天,分别记录母猪的总产仔数、活仔数、健仔数、宫内发育迟缓(IUGR)仔猪数、死胎数、木乃伊胎数、初生窝重、胎盘重、胎盘效率。

血清生化指标及抗氧化指标:葡萄糖(GLU)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白

(HDL-C)和低密度脂蛋白(LDL-C)质量浓度;总抗氧化能力(T-AOC);总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性;丙二醛(MDA)质量摩尔浓度;谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性和过氧化氢酶(CAT)活性,上述指标均使用相应试剂盒(南京建成生物工程研究所)测定。

炎症细胞因子检测:采用ELISA试剂盒检测白细胞介素-1 $\beta$ (IL-1 $\beta$ )、白细胞介素-2(IL-2)、白细胞介素-6(IL-6)、肿瘤坏死因子- $\alpha$ (TNF- $\alpha$ )质量浓度。

初乳成分检测:采用ELISA试剂盒测定初乳成分及免疫球蛋白A(IgA)、免疫球蛋白G(IgG)、免疫球蛋白M(IgM)质量浓度。

1.6 母猪肠道微生物分析

肠道微生物DNA提取:采用MoBio Laboratories的PowerSoil DNA Isolation Kit提取肠道微生物的DNA。在完成DNA提取后,通过1%琼脂糖凝胶电泳评估提取的基因组DNA质量,合格的样本需在-20℃下保存以备后续实验。

肠道微生物16S rDNA扩增、测序及生物信息学分析:运用338F和806R引物扩增肠道微生物16S rRNA编码基因的V3~V4区域。PCR反应体系总体积为25  $\mu$ L,包含KAPA 2G Robust Hot Start Ready Mix、引物和模板DNA。PCR反应条件为:95℃预变性5 min;95℃变性45 s,55℃退火50 s,72℃延伸45 s,循环数为28;最后,72℃延伸10 min。为降低PCR反应中的偏差,合并每个样本的3个PCR产物。运用QIAGEN的QIAquick Gel Extraction Kit对PCR产物进行纯化,并借助Real Time PCR进行定量分析。将PCR纯化产物送至北京奥维森基因科技有限公司进行测序(Miseq平台)。采用Illumina分析管线2.6版对测序数据进行分析,包括图像分析、碱基调用和误差估计。舍弃序列长度小于200 bp、质量分数低( $\leq 20$ )、含有模糊碱基或与引物序列和条形码标签不完全匹配的序列。根据样本特定的条形码序列分离合格的序列,并用Illumina分析管线2.6版对其进行修剪。使用QIIME软件进行OTU聚类分析,计算丰富度和多样性指数。最终,利用RDP分类器工具对序列进行分类。

1.7 数据分析

使用Excel 2016对数据进行初步整理,使用

SPSS 20.0版本进行统计学分析,试验数据均采用独立样本 $t$ 检验进行样本差异的显著性分析,试验数据均以平均值 $\pm$ 标准差表示。

2 试验结果

2.1 妊娠后期饲料中添加酒糟对母猪繁殖性能的影响

由表1可见:与空白对照组相比,在母猪妊娠后期饲料中补充1%酒糟可显著增加母猪产活仔数( $P<0.05$ ),健仔数极显著高于对照组的( $P<0.01$ );同时,酒糟组仔猪初生窝重显著高于对照组的( $P<0.05$ )。与对照组相比,酒糟组IUGR仔猪数显著降低( $P<0.05$ )。

表1 饲料中添加酒糟对母猪繁殖性能的影响  
Table 1 Effects of dietary distillers' grains on reproductive performance of sows

| 参数        | 对照组              | 酒糟组              | <i>P</i> |
|-----------|------------------|------------------|----------|
| 总产仔数/头    | 14.33 $\pm$ 1.30 | 15.75 $\pm$ 2.41 | 0.088    |
| 活仔数/头     | 13.16 $\pm$ 1.33 | 14.75 $\pm$ 1.95 | 0.031    |
| 健仔数/头     | 12.33 $\pm$ 1.61 | 14.50 $\pm$ 1.78 | 0.005    |
| IUGR仔猪数/头 | 0.83 $\pm$ 0.83  | 0.25 $\pm$ 0.45  | 0.048    |
| 死胎数       | 1.16 $\pm$ 1.19  | 1.00 $\pm$ 1.95  | 0.803    |
| 木乃伊胎数     | 0.08 $\pm$ 0.28  | 0.25 $\pm$ 0.86  | 0.534    |
| 畸形胎数      | 0.08 $\pm$ 0.28  | 0.08 $\pm$ 0.28  | 1.000    |
| 初生窝重/kg   | 18.36 $\pm$ 4.06 | 22.39 $\pm$ 4.98 | 0.041    |
| 仔猪均重/kg   | 1.28 $\pm$ 0.27  | 1.43 $\pm$ 0.31  | 0.206    |

由表2可知,在母猪妊娠后期饲料中添加DG对母猪胎盘效率无显著影响。

表2 饲料中添加酒糟对母猪胎盘效率的影响  
Table 2 Effects of dietary distillers' grains on placental efficiency of sows

| 参数     | 对照组             | 酒糟组             | <i>P</i> |
|--------|-----------------|-----------------|----------|
| 胎盘重/kg | 3.22 $\pm$ 0.13 | 3.85 $\pm$ 0.92 | 0.159    |
| 胎盘效率   | 5.63 $\pm$ 1.12 | 6.00 $\pm$ 1.39 | 0.621    |

2.2 妊娠后期饲料中添加酒糟对母猪初乳成分的影响

由表3可知,与对照组相比,饲料中添加酒糟的妊娠母猪初乳中尿素氮质量浓度显著低于对照组的( $P<0.05$ ),但对乳脂率、乳蛋白率、乳糖率、去脂干物质质量、总干物质质量等指标无显著影响。

表3 饲粮中添加酒糟对母猪初乳成分的影响

| Table 3 Effects of dietary distillers' grains on milk composition in colostrum of sows |            |            |          |
|--|------------|------------|----------|
| 项目   | 对照组        | 酒糟组        | <i>P</i> |
| 乳脂率/%  | 5.89±0.85  | 5.22±0.81  | 0.197    |
| 乳蛋白率/%   | 19.95±3.05 | 18.39±3.64 | 0.441    |
| 乳糖率/%  | 2.05±0.25  | 1.75±0.24  | 0.062    |
| 去脂干物质质量分数/%  | 27.61±3.53 | 24.98±3.33 | 0.214    |
| 尿素氮质量浓度/(mg·dL <sup>-1</sup> )   | 68.70±7.15 | 54.58±9.20 | 0.014    |
| 总干物质质量分数/%   | 36.37±3.66 | 34.07±4.29 | 0.342    |

由表4可见,在母猪妊娠后期饲粮中添加酒糟对母猪初乳中的IgA、IgG、IgM质量浓度均无显著影响( $P>0.05$ ),但酒糟组IgA质量浓度相较于对照组存在上升趋势。

表4 饲粮中添加酒糟对母猪初乳中免疫球蛋白质量浓度的影响

| Table 4 Effects of dietary distillers' grains on immunoglobulin mass concentration in colostrum of sows |              |              |          |
|---|--------------|--------------|----------|
| 参数  | 对照组          | 酒糟组          | <i>P</i> |
| IgA质量浓度/(mg·mL <sup>-1</sup> )  | 0.16±0.01    | 0.18±0.01    | 0.092    |
| IgG质量浓度/(mg·mL <sup>-1</sup> )  | 0.43±0.11    | 0.34±0.05    | 0.125    |
| IgM质量浓度/(mg·mL <sup>-1</sup> )  | 337.10±48.74 | 378.26±43.44 | 0.154    |

2.3 妊娠后期饲粮中添加酒糟对母猪血清脂质代谢指标的影响

由表5可见,在母猪妊娠后期饲粮中添加酒糟显著提高了血清中甘油三酯(TG)浓度( $P<0.05$ ),极显著提高了血清中总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白(HDL-C)浓度( $P<0.01$ );但与对照组相比,酒糟组血清中低密度脂蛋白(LDL-C)和葡萄糖(GLU)浓度无显著差异。

表5 饲粮中添加酒糟对母猪血清中脂质代谢指标的影响

| Table 5 Effects of dietary distiller's grains on lipid metabolism indexes in serum of sows |           |           |          |
|--|-----------|-----------|----------|
| 参数   | 对照组       | 酒糟组       | <i>P</i> |
| TC浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )   | 1.71±0.35 | 2.51±0.49 | 0.009    |
| TG浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )   | 0.20±0.02 | 0.23±0.01 | 0.016    |
| HDL-C浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )  | 1.31±0.25 | 2.35±0.61 | 0.003    |
| LDL-C浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )  | 0.30±0.03 | 0.35±0.06 | 0.107    |
| GLU浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )  | 1.27±0.05 | 1.26±0.15 | 0.910    |

2.4 妊娠后期饲粮中添加酒糟对母猪抗氧化指标的影响

进一步对母猪血清和胎盘抗氧化指标进行分析后发现,妊娠后期在饲粮中添加酒糟极显著提高了母猪血清中T-SOD和CAT活性( $P<0.01$ ),但对

T-AOC浓度、MDA浓度、GSH-Px活性等指标无显著影响(表6)。

表6 饲粮中添加酒糟对母猪血清抗氧化指标的影响

| Table 6 Effects of dietary distillers' grains on serum antioxidant indices of sows |              |              |          |
|--|--------------|--------------|----------|
| 参数   | 对照组          | 酒糟组          | <i>P</i> |
| T-AOC浓度/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mL}^{-1}$ )                                     | 20.59±2.42   | 23.61±2.92   | 0.080    |
| T-SOD活性/(U·mL <sup>-1</sup> )  | 153.47±17.36 | 183.51±13.07 | 0.007    |
| MDA浓度/(nmol·mL <sup>-1</sup> )   | 3.84±0.48    | 3.52±0.28    | 0.199    |
| GSH-Px活性/(U·mL <sup>-1</sup> )   | 467.97±31.38 | 503.03±66.82 | 0.282    |
| CAT活性/(U·mL <sup>-1</sup> )  | 3.81±0.37    | 4.54±0.34    | 0.006    |

由表7可见,妊娠后期饲粮中添加酒糟极显著提高了母猪胎盘组织中GSH-Px活性( $P<0.01$ ),但对T-AOC质量摩尔浓度、T-SOD活性、MDA质量摩尔浓度、CAT活性等抗氧化指标无显著影响( $P>0.05$ )。

表7 饲粮中添加酒糟对母猪胎盘抗氧化指标的影响

| Table 7 Effects of dietary distillers' grains on placental antioxidant indices in sows |            |            |          |
|--|------------|------------|----------|
| 参数   | 对照组        | 酒糟组        | <i>P</i> |
| T-AOC质量摩尔浓度/( $\mu\text{mol}\cdot\text{mg}^{-1}$ )                                     | 10.04±1.22 | 11.92±1.84 | 0.064    |
| T-SOD活性/(U·mg <sup>-1</sup> )  | 46.61±6.67 | 55.67±9.47 | 0.084    |
| MDA质量摩尔浓度/(nmol·mg <sup>-1</sup> )   | 3.28±0.45  | 3.44±0.32  | 0.487    |
| GSH-Px活性/(U·mg <sup>-1</sup> )   | 17.37±2.35 | 33.64±8.29 | 0.001    |
| CAT活性/(U·mg <sup>-1</sup> )  | 18.27±2.38 | 17.70±2.82 | 0.712    |

2.5 妊娠后期饲粮中添加酒糟对母猪血清炎症因子水平的影响

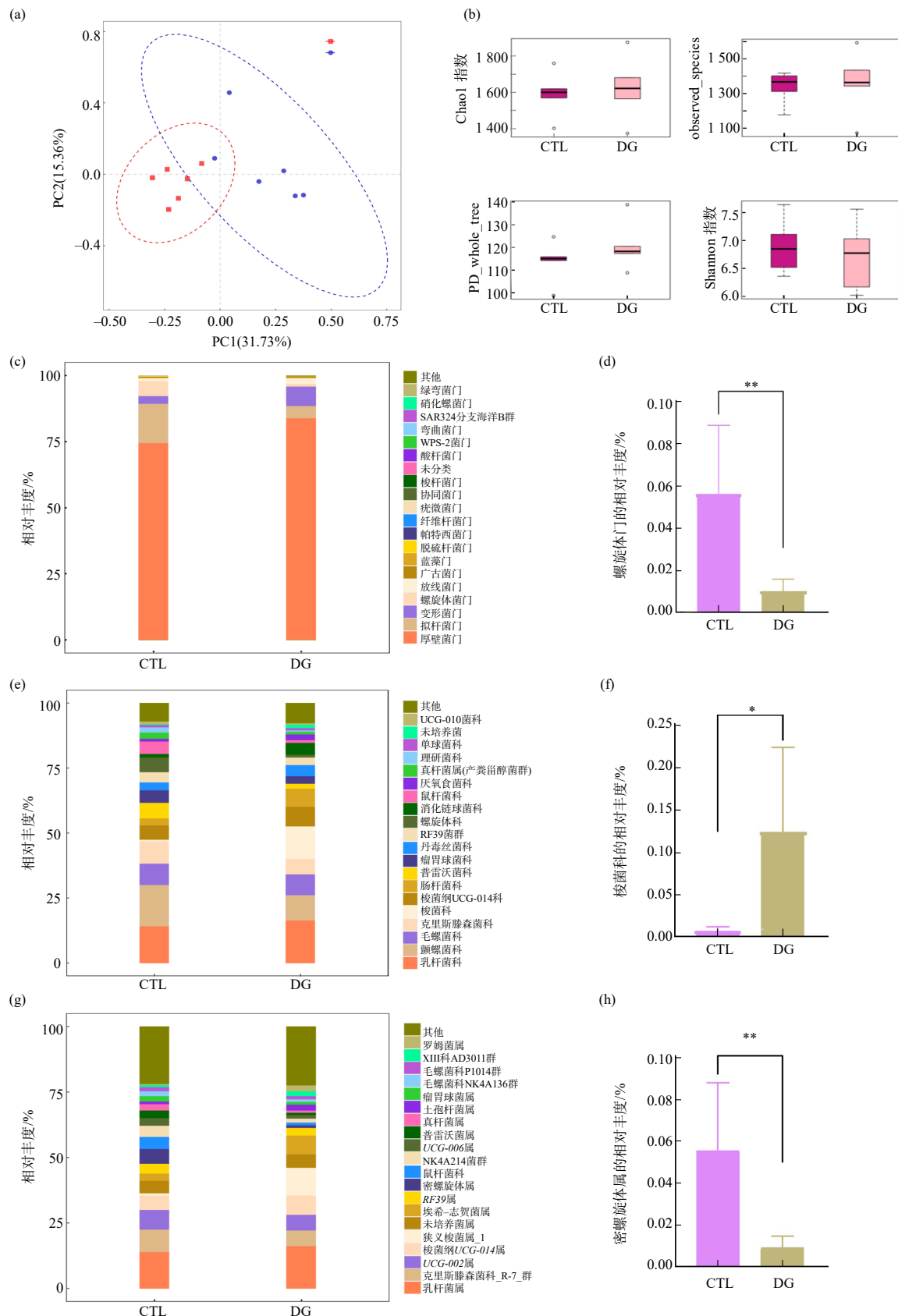
结果显示(表8),妊娠后期饲粮中添加酒糟显著降低了血清中炎症细胞因子IL-2质量浓度( $P<0.05$ ),但对IL-1 $\beta$ 、IL-6、TNF- $\alpha$ 的质量浓度等无显著影响。

表8 饲粮中添加酒糟对母猪血清炎症因子水平的影响

| Table 8 Effects of dietary distillers' grains on serum levels of inflammatory factors in sows |              |              |          |
|---|--------------|--------------|----------|
| 参数  | 对照组          | 酒糟组          | <i>P</i> |
| IL-1 $\beta$ 质量浓度/(pg·mL <sup>-1</sup> )  | 4.83±0.56    | 4.61±0.35    | 0.433    |
| IL-2质量浓度/(pg·mL <sup>-1</sup> )   | 440.95±16.20 | 415.46±13.20 | 0.014    |
| IL-6质量浓度/(pg·mL <sup>-1</sup> )   | 153.17±38.96 | 168.77±41.43 | 0.517    |
| TNF- $\alpha$ 质量浓度/(ng·mL <sup>-1</sup> )   | 2.30±0.44    | 2.00±0.32    | 0.225    |

2.6 妊娠后期饲粮中添加酒糟对母猪肠道菌群的影响及相关性分析

对照组与DG组粪便样品的16S rDNA分析结果(图1)表明,在母猪妊娠后期饲粮中添加1%DG对母猪肠道菌群存在影响。由图1(a)和图1(b)可见,



\*和\*\*分别表示组间差异有统计学意义( $P<0.05$ 、 $P<0.01$ )。

(a) DG对母猪肠道微生物β多样性的影响; (b) DG对母猪肠道微生物α多样性的影响; (c) 在门水平上DG对母猪肠道微生物的影响; (d) 螺旋体门的相对丰度; (e) 在科水平上DG对母猪肠道微生物的影响; (f) 梭菌科的相对丰度; (g) 在属水平上DG对母猪肠道微生物的影响; (h) 密螺旋体属的相对丰度

图1 DG对母猪肠道微生物的影响

Fig.1 Effects of DG on gut microbiota of sows

与对照组相比,母猪妊娠后期饲料中添加1%DG对母猪肠道微生物群聚类、Chao1指数、observed\_species、PD\_whole\_tree和Shannon指数均无显著影响( $P>0.05$ )。由图1(c)可见,在门水平上,母猪肠道微生物主要由Firmicutes(厚壁菌门)、Bacteroidota(拟杆菌门)、Proteobacteria(变形菌门)、Spirochaetota(螺旋体门)构成,其在肠道菌群中占比超90%。与对照组相比,DG组妊娠母猪Spirochaetota(螺旋体门)的相对丰度极显著降低( $P<0.01$ ,图1(d)),而Firmicutes(厚壁菌门)、Proteobacteria(变形菌门)的相对丰度无显著差异( $P>0.05$ )。由图1(e)可见,在科水平上,妊娠母猪的肠道微生物主要由Lactobacillaceae(乳杆菌科)、Oscillospiraceae(颤螺旋菌科)、Lachnospiraceae(毛螺菌科)、Christensenellaceae(克里斯滕森菌科)、Clostridiaceae(梭菌科)、Clostridia\_UCG-014(梭菌纲UCG-014科)、Enterobacteriaceae(肠杆菌科)、Prevotellaceae(普雷沃菌科)构成。与对照组相比,DG组显著提升了妊娠母猪Clostridiaceae(梭菌科)相对丰度( $P<0.05$ ,图1(f)),对Lactobacillaceae、Lachnospiraceae、Christensenellaceae、Clostridia\_UCG-014、Enterobacteriaceae的相对丰度无显著影响( $P>0.05$ )。由图1(g)可见,在属水平上,妊娠母猪的肠道微生物主要由Lactobacillus(乳杆菌属)、Christensenellaceae\_R-7\_group(克里斯滕森菌科\_R-7群)、UCG-002(UCG-002属)、Clostridia\_UCG-014(梭菌纲UCG-014属)、Clostridium\_sensu\_stricto\_1(狭义梭菌属\_1)、未培养菌属、Escherichia-Shigella(埃希-志贺菌属)、RF39(RF39属)、Treponema(密螺旋体属)构成。与对照组相比,饲料中添加DG显著降低了肠道微生物Treponema的相对丰度( $P<0.05$ ,图1(h))。

### 3 讨论

#### 3.1 饲料中添加酒糟对母猪繁殖性能的影响

目前,我国生猪整体呈亚健康状态,而影响母猪繁殖性能的因素不仅包括遗传因素,还包括营养、疾病、环境、繁殖技术和饲养管理等因素。母猪繁殖性能下降会严重影响猪场经济效益。XU等<sup>[8]</sup>研究表明,给母猪饲喂含有大量氧化脂肪的可溶性干酒糟(DDGS)可能会增加弱仔的发

病率,并影响后续生长。DE LEEUW等<sup>[9]</sup>发现DDGS中的纤维可使血液中的葡萄糖和胰岛素水平保持稳定,并增加限饲妊娠母猪的饱腹感。XU等<sup>[10]</sup>发现在母猪日粮中长期添加DDGS可提高产仔数,但SONG等<sup>[11]</sup>研究发现给哺乳期母猪喂食含有0%、10%、20%、30%DDGS的日粮对其采食量、窝深、窝重、仔猪断奶前死亡率、断奶至发情期间间隔均无影响。WU等<sup>[12]</sup>研究发现,与对照组相比,在妊娠第30天至第114天给母猪喂食高水平的日粮精氨酸可以提高产仔数,降低仔猪初生窝重变异系数,并降低矮猪的比例。胎盘是连接母体营养供应和胎儿肌肉纤维生长发育的重要器官。WILSON等<sup>[13]</sup>认为提高胎盘大小、功能和效率,可以降低IUGR仔猪的发病率。KIM等<sup>[14]</sup>指出,80%的IUGR病例可归因于子宫-胎盘循环和血管功能不全。WU等<sup>[15]</sup>提出,IUGR主要由胎盘血管生长受损和子宫胎盘血流量减少引起。本文研究结果表明,在母猪妊娠后期饲料中补充1%酒糟可提升健仔数与仔猪初生窝重,降低IUGR仔猪数,在一定程度上提升胎盘重与胎盘效率,从而提高母猪繁殖性能。

#### 3.2 饲料中添加酒糟对母猪初乳成分的影响

母猪初乳中包含了新生仔猪阶段所需的营养和免疫成分,包括碳水化合物、脂质、蛋白质及尿素氮等。CISZUK等<sup>[16]</sup>提出,乳中尿素氮与血液中尿素氮浓度呈正相关;WEBB等<sup>[17]</sup>研究发现血液中尿素浓度高会使母畜受孕率下降。KLOBASA等<sup>[18]</sup>研究发现,母猪初乳中免疫球蛋白含量占其总蛋白含量的80%左右。BRANDTZAEG<sup>[19]</sup>研究表明,IgA是母猪乳和黏膜分泌物中的重要免疫球蛋白,其主要功能为抑制黏膜表面病原菌的附着。本研究中,与对照组相比,酒糟组初乳中尿素氮质量浓度显著降低,免疫球蛋白质量浓度均无显著变化,但酒糟组IgA质量浓度相较于对照组提高了12.5%,呈上升趋势。

#### 3.3 饲料中添加酒糟对母猪血清中脂代谢的影响

BURTON等<sup>[20-22]</sup>研究表明,在母猪妊娠晚期,TG、TC、HDL-C和LDL-C水平的增加,更能满足胎儿生长和胎盘营养代谢的需求。HERRERA等<sup>[23]</sup>发现,胎儿血脂、胎儿生长和脂肪量也与母

体血清TG含量有关。而MIEHLE等<sup>[24]</sup>发现低血HDL-C水平与孕妇先兆子痫和妊娠期糖尿病有关。本研究结果表明,与对照组相比,饲料中添加1%的DG可显著提高TC、TG、HDL-C浓度。因此,在母猪妊娠后期饲料中添加1%的酒糟可能有助于胎儿生长,从而提高仔猪初生窝重;同时,还可能在预防母猪糖尿病方面发挥积极作用。

### 3.4 饲料中添加酒糟对母猪抗氧化指标的影响

COSTA等<sup>[25]</sup>研究表明,在母猪妊娠过程中,氧化应激会导致母猪泌乳和繁殖性能下降,最终缩短母猪寿命。MANNA等<sup>[26]</sup>发现胎盘中的血管因母体和胎儿之间营养物质交换需求的增加而生成。HUANG等<sup>[27]</sup>研究表明,仔猪初生窝重与胎盘血管密度呈显著正相关,通过降低胎盘氧化应激水平可促进胎盘血管生成,显著提高仔猪初生窝重;母体发生氧化应激会导致血管内皮损伤,诱发胎盘血管异常发育。MALTI等<sup>[28]</sup>研究表明,母体肥胖会导致MDA水平升高,并直接影响胎儿氧化还原平衡。本研究结果表明,在妊娠母猪后期饲料中补充1%酒糟极显著提高血清中T-SOD与CAT水平,胎盘中的GSH-Px水平也有显著提升,但DG对血清MDA与胎盘MDA水平均无显著影响。

### 3.5 饲料中添加酒糟对母猪血清炎症因子水平的影响

ZHAO等<sup>[29]</sup>研究表明,促炎细胞因子过多会导致机体产生免疫性炎症并传播。HU等<sup>[30]</sup>研究表明炎症因子中IL-1 $\beta$ 、IL-2、IL-6、TNF- $\alpha$ 均为促炎因子。ZHOU等<sup>[31]</sup>发现,IL-2是广谱增强因子,能增强自然杀伤细胞的活性,诱导T淋巴细胞产生干扰素,B淋巴细胞也可受IL-2作用,发生增殖反应。杨俊等<sup>[32]</sup>发现,降低血浆中IL-1 $\beta$ 和TNF- $\alpha$ 含量,对缓解后代仔猪体内的炎症水平具有一定促进作用。李展峰<sup>[33]</sup>研究发现,降低血清与胎盘中的IL-1 $\beta$ 、IL-6含量可改善胎盘功能。本研究结果表明,在妊娠母猪后期饲料中补充1%酒糟对IL-1 $\beta$ 、IL-6、TNF- $\alpha$ 质量浓度均无显著影响,但可显著降低IL-2质量浓度。

### 3.6 饲料中添加酒糟对母猪肠道微生物群的影响

TREMAROLI等<sup>[34]</sup>研究表明,机体中肠道微生物丰度与机体的代谢、免疫功能密切相关。

DUAN等<sup>[35]</sup>研究表明,在母猪妊娠期间,肠道菌群丰度也对母猪机体健康起着至关重要的作用。GEVA-ZATORSKY等<sup>[36]</sup>研究发现,肠道菌群可促进机体免疫力的调节。NIU等<sup>[37]</sup>研究发现,与育肥猪相比较,母猪具有独特的肠道微生物结构。本研究结果显示,饲料中添加DG对母猪肠道微生物群的 $\alpha$ 和 $\beta$ 多样性无显著影响。母猪肠道菌群主要由Firmicutes(厚壁菌门)、Bacteroidota(拟杆菌门)、Proteobacteris(变形菌门)和Spirochaetota(螺旋体门)构成,其在肠道菌群中占比超90%,是猪与人类肠道微生物中最主要的菌门<sup>[38]</sup>;与对照组相比,DG组极显著降低妊娠母猪Spirochaetota(螺旋体门)的相对丰度。肠道内Spirochaetota(螺旋体门)的丰度下调时,可有效促进肠道内微生物群的平衡<sup>[39]</sup>。与对照组相比,DG组妊娠母猪肠道内Clostridiaceae(梭菌科)的相对丰度显著提升,而当肠道内Clostridium的相对丰度上调时,可降低病原体的存活率,进而保护机体健康<sup>[39]</sup>。在属水平上,与对照组相比,饲料中添加DG显著降低了肠道微生物Treponema(密螺旋体属)的相对丰度,而Treponema是肠道内典型的致病菌<sup>[40]</sup>。综上可知,饲料中添加DG可通过上调Clostridiaceae(梭菌科)的相对丰度、降低Spirochaetota(螺旋体门)和Treponema(密螺旋体属)的相对丰度,改善妊娠母猪机体健康,进而提高母猪生产效率。

## 4 结论

母猪妊娠后期饲料中补充1%馥郁香型酒糟可提高母猪抗氧化能力,降低炎症细胞因子水平,降低初乳中尿素氮含量,提高仔猪初生窝重和健仔数,减少IUGR仔猪数,上调Clostridiaceae(梭菌科)的相对丰度,降低Spirochaetota(螺旋体门)、Treponema(密螺旋体属)的相对丰度,从而改善母猪繁殖性能。

### 参考文献:

- [1] SPIEHS M J, WHITNEY M H, SHURSON G C. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota[J]. Journal of Animal Science, 2002, 80(10): 2639-2645.
- [2] 王肇颖,肖敏. 白酒酒糟的综合利用及其发展前景[J]. 酿酒科技, 2004(1): 65-67, 64.

- [3] OLIVIERO C, HEINONEN M, VALROS A, et al. Environmental and sow-related factors affecting the duration of farrowing[J]. *Animal Reproduction Science*, 2010, 119(1/2): 85–91.
- [4] OLIVIERO C, JUNNIKKALA S, PELTONIEMI O. The challenge of large litters on the immune system of the sow and the piglets[J]. *Reproduction in Domestic Animals*, 2019, 54(S3): 12–21.
- [5] ANDERSSON E, FRÖSSLING J, ENGBLOM L, et al. Impact of litter size on sow stayability in Swedish commercial piglet producing herds[J]. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2016, 58(1): 31.
- [6] SCHILD S A, FOLDAGER L, RANGSTRUP-CHRISTENSEN L, et al. Characteristics of piglets born by two highly prolific sow hybrids[J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2020, 7: 355.
- [7] JU M M, WANG X N, LI X J, et al. Effects of litter size and parity on farrowing duration of Landrace × Yorkshire sows[J]. *Animals*, 2022, 12(1): 94.
- [8] XU G, BAIDOO S K, JOHNSTON L J, et al. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-finisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(4): 1398–1410.
- [9] DE LEEUW J, ZONDERLAND J J, VERSTEGEN M. Effects of levels and sources of dietary fermentable non-starch polysaccharides on blood glucose stability and behavior of group-housed pregnant gilts[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2005, 94(1–2): 15–29.
- [10] XU G, BAIDOO S K, JOHNSTON L J, et al. Effects of adding increasing levels of corn dried distillers grains with solubles(DDGS) to corn-soybean meal diets on growth performance and pork quality of growing-finishing pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2007, 85(1): 76.
- [11] SONG M, BAIDOO S K, SHURSON G C, et al. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and milk composition of lactating sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2010, 88(10): 3313–3319.
- [12] WU G Y, BAZER F W, DAVIS T A, et al. Arginine metabolism and nutrition in growth, health and disease[J]. *Amino Acids*, 2009, 37(1): 153–168.
- [13] WILSON M E, BIENSEN N J, FORD S P. Novel insight into the control of litter size in pigs, using placental efficiency as a selection tool[J]. *Journal of Animal Science*, 1999, 77(7): 1654–1658.
- [14] KIM B G, LINDEMANN M D, CROMWELL G L, et al. The correlation between passage rate of digesta and dry matter digestibility in various stages of swine[J]. *Livestock Science*, 2007, 109(1/2/3): 81–84.
- [15] WU G, BAZER F W, WALLACE J M, et al. Board-invited review: intrauterine growth retardation: implications for the animal sciences[J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(9): 2316–2337.
- [16] CISZUK P, GEBREGZIABHER T. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats[J]. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science*, 1994, 44(2): 87–95.
- [17] WEBB E C, DE BRUYN E. Effects of milk urea nitrogen(MUN) and climatological factors on reproduction efficiency of Holstein Friesian and jersey cows in the subtropics[J]. *Animals*, 2021, 11(11): 3068.
- [18] KLOBASA F, WERHAHN E, BUTLER J E. Composition of sow milk during lactation[J]. *Journal of Animal Science*, 1987, 64(5): 1458–1466.
- [19] BRANDTZAEG P. Mucosal immunity: induction, dissemination, and effector functions[J]. *Scandinavian Journal of Immunology*, 2009, 70(6): 505–515.
- [20] BURTON G J, JAUNIAUX E, CHARNOCK-JONES D S. The influence of the intrauterine environment on human placental development[J]. *The International Journal of Developmental Biology*, 2010, 54(2/3): 303–312.
- [21] ZHAO Y, FLOWERS W L, SARAIVA A, et al. Effect of social ranks and gestation housing systems on oxidative stress status, reproductive performance, and immune status of sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2013, 91(12): 5848–5858.
- [22] TANGHE S, MISSOTTEN J, RAES K, et al. The effect of different concentrations of linseed oil or fish oil in the maternal diet on the fatty acid composition and oxidative status of sows and piglets[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2015, 99(5): 938–949.
- [23] HERRERA E, ORTEGA-SENOVILLA H. Lipid metabolism during pregnancy and its implications for fetal growth[J]. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 2014, 15(1): 24–31.
- [24] MIEHLE K, STEPAN H, FASSHAUER M. Leptin, adiponectin and other adipokines in gestational diabetes mellitus and pre-eclampsia[J]. *Clinical Endocrinology*, 2012, 76(1): 2–11.
- [25] COSTA K A, MARQUES D B D, DE CAMPOS C F, et al. Nutrition influence on sow reproductive performance and conceptuses development and survival: a review about L-arginine supplementation[J]. *Livestock Science*, 2019, 228: 97–103.
- [26] MANNA S K, MUKHOPADHYAY A, AGGARWAL



- B B. Resveratrol suppresses TNF-induced activation of nuclear transcription factors NF-kappa B, activator protein-1, and apoptosis: potential role of reactive oxygen intermediates and lipid peroxidation[J]. *Journal of Immunology*, 2000, 164(12): 6509–6519.
- [27] HUANG S B, WU Z F, HUANG Z H, et al. Maternal supply of cysteamine alleviates oxidative stress and enhances angiogenesis in porcine placenta[J]. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 2021, 12(1): 91.
- [28] MALTI N, MERZOUK H, MERZOUK S A, et al. Oxidative stress and maternal obesity: feto-placental unit interaction[J]. *Placenta*, 2014, 35(6): 411–416.
- [29] ZHAO H K, WU L, YAN G F, et al. Inflammation and tumor progression: signaling pathways and targeted intervention[J]. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2021, 6(1): 263.
- [30] HU R Z, WU S S, LI B Z, et al. Dietary ferulic acid and vanillic acid on inflammation, gut barrier function and growth performance in lipopolysaccharide-challenged piglets[J]. *Animal Nutrition*, 2022, 8: 144–152.
- [31] ZHOU J C, AO X, LEI Y P, et al. *Bacillus subtilis* ANSB01G culture alleviates oxidative stress and cell apoptosis induced by dietary zearalenone in first-parity gestation sows[J]. *Animal Nutrition*, 2020, 6(3): 372–378.
- [32] 杨俊, 赵小刚, 张桂红, 等. 哺乳母猪饲料中添加鱼油对母猪泌乳性能的影响[J]. *饲料研究*, 2024(5): 26–31.
- [33] 李展峰. 妊娠后期日粮中添加白藜芦醇对母猪繁殖性能的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [34] TREMAROLI V, BÄCKHED F. Functional interactions between the gut microbiota and host metabolism[J]. *Nature*, 2012, 489(7415): 242–249.
- [35] DUAN X L, WANG X, LI Z N, et al. Effects of supplemental feeding of Chinese herbal mixtures to perinatal sows on antioxidant capacity and gut microbiota of sows and their offspring piglets[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2024, 15: 1459188.
- [36] GEVA-ZATORSKY N, SEFIK E, KUA L, et al. Mining the human gut microbiota for immunomodulatory organisms[J]. *Cell*, 2017, 168(5): 928–943.
- [37] NIU Q, LI P H, HAO S S, et al. Characteristics of gut microbiota in sows and their relationship with apparent nutrient digestibility[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(4): 870.
- [38] YATSUNENKO T, REY F E, MANARY M J, et al. Human gut microbiome viewed across age and geography[J]. *Nature*, 2012, 486(7402): 222–227.
- [39] BERNAD-ROCHE M, BELLÉS A, GRASA L, et al. Effects of dietary supplementation with protected sodium butyrate on gut microbiota in growing-finishing pigs[J]. *Animals*, 2021, 11(7): 2137.
- [40] NOWLAND T L, KIRKWOOD R N, PLUSH K J, et al. Exposure to maternal feces in lactation influences piglet enteric microbiota, growth, and survival preweaning[J]. *Journal of Animal Science*, 2021, 99(7): skab170.

责任编辑: 伍锦花

英文编辑: 张承平