

董磊, 董荣华, 刘红林, 等. 原花青素对母猪繁殖性能、血清生化指标、抗氧化能力及免疫功能的影响 [J]. 畜牧与兽医, 2024, 56 (6): 31-35.

DONG L, DONG R H, LIU H L, et al. The effects of procyanidins on the reproductive performance, serum biochemical indices, antioxidant capacity, and immune functions of sows [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2024, 56 (6): 31-35.

原花青素对母猪繁殖性能、血清生化指标、 抗氧化能力及免疫功能的影响

董磊¹, 董荣华², 刘红林³, 申明^{3*}

(1. 扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州 225009;

2. 温氏食品集团股份有限公司, 广东 云浮 222500;

3. 南京农业大学动物科技学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 旨在建立一套促进母猪生殖健康、提升繁殖性能的技术方法。选择健康的长大二元母猪, 随机分为对照组和试验组, 对照组饲喂基础日粮, 试验组饲喂基础日粮+每天每头猪 300 mg 原花青素。母猪断奶前 1 周开始进行原花青素的添加, 直至断奶后 2 周, 共 21 d。结果: 在断奶前 1 周至断奶后 2 周, 在母猪日粮中连续添加原花青素, 显著提高了窝均总产仔数 ($P < 0.05$), 与对照组相比, 试验组窝均总产仔数提高了 1.33 头。血液学指标测定表明, 饲喂原花青素提高了母猪的抗氧化能力和免疫力, 降低炎症反应, 并对肝脏功能具有一定的改善效果。综上, 日粮添加原花青素对母猪繁殖性能、血清生化指标、抗氧化能力及免疫功能都存在有益影响。

关键词: 原花青素; 母猪; 繁殖性能; 血清生化指标; 抗氧化能力; 免疫功能

中图分类号: S828 文献标志码: A 文章编号: 0529-5130(2024)06-0031-05

The effects of procyanidins on the reproductive performance, serum biochemical indices, antioxidant capacity, and immune functions of sows

DONG Lei¹, DONG Ronghua², LIU Honglin³, SHEN Ming^{3*}

(1. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China;

2. Guangdong Wens Foodstuffs Group Co., Ltd., Yunfu 222500, China;

3. College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study aims to establish a technology to promote reproductive health and enhance the reproductive performance of sows. Healthy crossbred (Landrace × Large White) sows were selected and randomly divided into a control group and a procyanidins supplementation group. The control group was fed a basic diet, while the procyanidins supplementation group was fed the basic diet plus 300 mg of procyanidins per pig per day. Procyanidins supplementation started one week before weaning and continued until two weeks after weaning, lasting a total of 21 days. Results: continuous addition of procyanidins to the sow's diet from one week before weaning to two weeks after weaning significantly increased the total number of piglets per litter ($P < 0.05$). Compared to the control group, the experimental group had an average increase of 1.33 piglets per litter. Hematological measurements indicated that procyanidins supplementation enhanced the antioxidant capacity and immune function of the sows, reduced inflammatory responses, and improved liver function to some extent. In conclusion, dietary supplementation with procyanidins had positive impacts on the reproductive performance, serum biochemical parameters, antioxidant capacity, and immune functions of sows.

Keywords: procyanidin; sow; reproductive performance; serum biochemical indices; antioxidant capacity; immune functions

收稿日期: 2024-04-22; 修回日期: 2024-05-16

基金项目: 抗氧化剂原花青素提高母猪繁殖性能中试项目 (YZ20181106BCXY027); 江苏省自然科学基金面上项目 (BK20221512)

第一作者: 董磊, 男, 本科生

* 通信作者: 申明, 副教授, 主要从事哺乳动物生殖调控研究, E-mail: shenm2015@njau.edu.cn.

动物繁殖过程常伴随氧化应激水平的升高^[1]。大量研究证实,氧化应激损害动物的卵泡发育,抗氧化相关基因敲除鼠为研究氧化应激对卵泡发育与母鼠繁殖性能的影响提供了良好的模型,超氧化物歧化酶基因敲除后有腔卵泡发育受阻、母鼠繁殖性能下降^[2-5]。此外,利用多种化学试剂,如环磷酰胺、二甲基苯并蒽、甲氧滴滴涕等诱导卵巢氧化应激后也观察到有腔卵泡凋亡信号的显著升高,且抗氧化剂可抑制卵泡凋亡^[6]。猪等家畜的繁殖性状是一个低遗传力性状,易受环境的影响。家畜养殖生产中常见的环境应激,如热应激、束缚应激、饲料霉菌毒素污染等往往造成机体与卵巢组织氧化自由基的升高^[7-8],抑制卵巢氧化损伤可能有助于提高动物的繁殖性能。

原花青素是植物中广泛存在的一类多酚化合物,具有促生长、抗氧化、免疫调节、血脂代谢调节以及抑菌消炎等诸多生物学功能,并且原花青素还具有生物利用效率高、水溶性强以及低毒等优良特性^[9]。因此,近年来原花青素被广泛用于各种家畜的饲料添加剂,本课题组前期研究发现,原花青素对卵巢氧化应激抑制作用效果显著^[10],但有关原花青素在改善猪繁殖性状方面应用鲜有报道。本试验拟在哺乳后期至断奶配种期间观察母猪日粮添加原花青素对产仔数的影响,旨在建立利用天然抗氧化剂提高母猪繁殖性能的实用技术。

1 材料与方法

1.1 试验材料

95%原花青素购自天津尖峰天然产物研究开发有限公司。丙二醛(MDA)测试盒、甘油三酯(TG)试剂盒、丙氨酸转氨酶(ALT)测定试剂盒、天门冬氨酸转氨酶(AST)测定试剂盒、过氧化氢酶(CAT)测试盒、还原型谷胱甘肽(GSH)测试盒、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-PX)测试盒、碱性磷酸酶(AKP)试剂盒、乳酸脱氢酶(LDH)试剂盒、直接胆红素(D-Bil)试剂盒、猪 γ 干扰素(IFN- γ)酶联免疫分析(ELISA)试剂盒、猪免疫球蛋白A(IgA)ELISA试剂盒、猪免疫球蛋白G(IgG)ELISA试剂盒、猪免疫球蛋白M(IgM)ELISA试剂盒、猪白细胞介素1(IL-1)ELISA试剂盒、猪白细胞介素2(IL-2)ELISA试剂盒、猪白细胞介素6(IL-6)ELISA试剂盒、猪白细胞介素8(IL-8)ELISA试剂盒、总超氧化物歧化酶(SOD)活力试剂盒、总胆固醇(TC)试剂盒、总胆红素(T-Bil)试剂盒、总抗氧化能力(T-AOC)试剂盒均购自南京

奥青生物技术有限公司。

1.2 试验动物分组及管理

选择健康的长大二元母猪(由广东温氏食品集团股份有限公司提供)进行试验。设立对照组,饲喂常规日粮;试验组,饲喂常规日粮+每天每头猪300 mg原花青素,随机分栏。母猪断奶前1周开始进行原花青素的添加,直至断奶后2周,共21 d。每日定量饲喂日粮,自由饮水,每日清理食槽,打扫猪舍,保持猪舍清洁卫生,通风状况良好。常规饲养管理。

1.3 测定繁殖性能

在原花青素添加试验21 d之后,母猪自由采食,待发情后进行配种。测定母猪相关繁殖性能指标,包括发情率、妊娠率、窝均总仔数、窝均活仔数等。

1.4 血液样品采集

样品采集前1 d,对试验母猪进行半天禁食处理,第2天早上空腹颈静脉采血5 mL,置于含有无抗凝剂成分的一次性真空采血管内。经过120 min,血液自然凝固,3 000 r/min离心15 min,吸取上层血清,存放于-20 °C冰箱中待用。

1.5 血液指标测定

母猪断奶前1周开始进行原花青素的添加。在饲喂添加原花青素7 d、14 d时进行血样采集,每组每次各采集6头,合计24头。测定血清中ALT、AST、AKP、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、TC、TG、T-Bil、D-Bil、乳酸脱氢酶(LDH)、磷酸肌酸激酶(CK)含量,相关操作参考试剂盒说明书。测定血清中IgG、IgA、IgM、IL-1、IL-2、IL-6、IL-8、IFN- γ 含量,相关操作参考试剂盒说明书。测定血清中MDA含量、GSH含量、T-AOC、SOD活力、CAT活力、GSH-Px活力,相关操作参考试剂盒说明书。

1.6 数据统计与分析

由Excel 2019完成数据库的构建,采用SPSS 20.0进行数据统计,并进行独立样本 t 检验,试验数据均以“平均值 \pm 标准差”表示, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 日粮添加原花青素对母猪断奶后发情率与妊娠率的影响

如表1所示,在哺乳后期至断奶配种期间,母猪日粮添加原花青素对母猪断奶发情率以及配种后妊娠率均无显著影响($P > 0.05$)。

表 1 原花青素对母猪断奶后发情与配种率的影响

组别	初始母猪数	发情母猪数	发情率/%	配种母猪数	妊娠母猪数	妊娠率/%
对照	94	89	94.68	85	80	94.12
试验	112	107	95.54	102	98	96.08

2.2 日粮添加原花青素对母猪产仔数的影响

如表 2 所示, 3 次试验结果不尽相同, 第 1 次试验和第 2 次试验在原花青素添加组均观察到窝均总产

仔数的显著升高 ($P < 0.05$), 分别提高 1.33 和 1.46 头; 然而第 3 次试验未见产仔数的明显变化 ($P > 0.05$)。

表 2 原花青素对母猪产仔数的影响

组别	胎次	窝数	窝均总仔数	窝均活仔数	
试验 1	对照	3	33	11.73±1.69	
	试验	3	52	13.06±1.47*	
试验 2	对照	3	96	10.64±3.24	
	试验	3	93	12.10±2.24*	
试验 3	对照	4	155	14.36±3.39	13.53±3.12
	试验	4	148	14.01±3.00	13.21±2.86

注: * 表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同, “-” 表示未检测。

2.3 日粮添加原花青素对母猪部分血液生化指标的影响

如表 3 所示, 母猪日粮连续添加原花青素 14 d 后, 血清 TP 含量极显著升高 ($P < 0.001$)。添加原花青素 7 d 能极显著降低血清总胆固醇水平 ($P < 0.001$); 添加原花青素 14 d 能显著降低血清总胆固醇水平 ($P < 0.01$)。此外, 添加原花青素 14 d 能极显著降低血清总胆红素水平 (添加 14 d 组, $P < 0.001$), 并在一定程度上降低谷丙转氨酶及谷草转氨酶活力 ($P > 0.05$)。

2.4 日粮添加原花青素对母猪血清免疫指标的影响

如表 4 所示, 母猪日粮连续添加原花青素 7 d 和 14 d 后, 血清 IgA 含量极显著升高 ($P < 0.001$)。IgG 含量在添加 7 d 试验组与对照组相比显著提高 ($P < 0.05$); 添加 14 d 试验组与对照组相比极显著提高 ($P < 0.001$)。IgM 含量在添加 14 d 试验组与对照组相比显著提高 ($P < 0.01$)。炎症因子方面, IL-1 含量在添加 14 d 试验组与对照组相比极显著降低 ($P < 0.001$)。IL-2 含量在添加 14 d 试验组与对照组相比极显著降低 ($P < 0.001$)。IL-6 含量在添加 7 d 和 14 d 试验组均比对照组极显著降低 ($P < 0.001$)。IL-8 含量在添加 14 d 试验组与对照组相比显著降低 ($P < 0.01$)。IFN- γ 含量在添加 14 d 试验组与对照组相比显著降低 ($P < 0.05$)。

表 3 原花青素对母猪血液生化指标的影响

项目	组别	饲喂 7 d	饲喂 14 d
TP/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	64.22±3.81	61.13±1.08
	试验	72.65±3.30	81.73±3.95***
ALB/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	3.34±1.37	4.00±1.63
	试验	5.11±2.09	3.62±1.48
T-Bil/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	23.44±1.08	27.79±0.79
	试验	25.28±1.05	19.89±1.11***
D-Bil/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	7.53±2.02	8.18±0.94
	试验	7.16±0.92	5.79±1.80
TG/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	1.05±0.09	1.03±0.10
	试验	0.95±0.10	0.96±0.11
TC/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	3.55±0.16	3.32±0.10
	试验	3.07±0.27***	2.37±0.12**
AKP/ (金氏单位· L^{-1})	对照	1.26±0.19	1.58±0.07
	试验	1.22±0.33	1.65±0.20
LDH/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	对照	0.19±0.00	0.37±0.01
	试验	0.18±0.00	0.41±0.01**
ALT 活力/ (卡门氏单位)	对照	16.70±4.69	16.74±5.21
	试验	13.37±4.55	12.55±3.90
AST 活力/ (卡门氏单位)	对照	14.06±3.11	13.36±2.77
	试验	13.47±3.13	10.83±1.68

注: ** 表示 $P < 0.01$; *** 表示 $P < 0.001$ 。

表 4 原花青素对母猪血清免疫指标的影响

项目	组别	饲喂 7 d	饲喂 14 d
IgA/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	14.63±0.47	14.72±0.36
	试验	19.36±0.45***	21.90±0.98***
IgG/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	165.60±4.95	156.39±6.90
	试验	192.33±6.51*	220.38±9.94***
IgM/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	17.49±2.41	15.35±2.01
	试验	23.72±1.80	28.02±2.40**
IL-1/($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	260.38±10.82	267.30±12.96
	试验	247.15±3.89	185.13±4.75***
IL-2/($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	26.51±10.82	9.54±3.89
	试验	31.75±12.96	11.63±4.75***
IL-6/($\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	14.87±0.43	12.17±0.35
	试验	15.03±0.53***	11.02±0.36***
IL-8/($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	355.24±28.69	300.31±15.44
	试验	346.42±11.77	263.21±14.72**
IFN- γ /($\text{pg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照	393.10±18.20	340.19±26.17
	试验	378.68±23.57	301.13±16.90*

2.5 日粮添加原花青素对母猪抗氧化能力的影响

如表 5 所示, 母猪日粮连续添加原花青素 14 d 后能够显著降低血清中 MDA 含量 ($P<0.001$), 显著提高血清中 GSH 浓度 ($P<0.05$), 并显著增加血清中 SOD 活力 ($P<0.01$) 和 CAT 活力 ($P<0.05$)。

表 5 原花青素对母猪血清氧化、抗氧化指标的影响

项目	组别	饲喂 7 d	饲喂 14 d
MDA/ ($\text{nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照组	8.34±0.46	6.88±0.35
	试验组	9.63±0.53	6.21±0.20***
T-AOC/ ($\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$)	对照组	1.34±0.06	1.35±0.04
	试验组	1.38±0.05	1.45±0.03
GSH/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照组	164.20±3.47	171.50±9.71
	试验组	181.38±7.81	194.65±3.63*
GSH-Px 活力/ ($\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照组	13.45±1.42	13.56±1.69
	试验组	16.06±1.64	16.65±1.27
SOD 活力/ ($\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照组	1 274.19±35.16	1 259.47±34.27
	试验组	1 355.30±28.03	1 405.14±25.19**
CAT 活力/ ($\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$)	对照组	5.82±0.51	5.98±0.72
	试验组	6.08±0.44	7.72±0.25*

3 讨论

3.1 日粮添加原花青素对母猪繁殖性能的影响

母猪繁殖性能是影响养猪产业经济效益的关键因素。在集约化生产条件下, 有 10%~15% 的母猪不能

正常繁殖。如何提高母猪的繁殖力一直是遗传育种以及营养研究关注的焦点。大量文献表明, 母猪日粮添加抗氧化剂能有效改善母猪的繁殖性能^[11-12]。原花青素是一种来源于葡萄籽(主要来源)和山楂等植物中的多酚类抗氧化剂^[13], 但其对母猪繁殖性能的影响及机制尚不明确。课题组前期设置不同剂量原花青素添加组(每天每头 0、100、200、300 mg), 发现 300 mg/d 这一添加剂量对母猪产仔数的提高效果最强。因此, 本研究选取该添加剂量, 在多个猪场中进一步验证日粮添加原花青素对母猪产仔数的促进作用。试验 1 与试验 2, 选择第 3 胎长大母猪开展了原花青素添加试验, 试验表明, 日粮添加原花青素对母猪断奶发情率以及配种后妊娠率均无显著影响, 然而原花青素添加组母猪的产仔数显著提高, 与对照组相比, 试验 1 与试验 2 总产仔数分别提高了 1.33 头和 1.46 头。试验 3, 选择第 4 胎的长大杂种母猪分为原花青素添加组与对照组进行试验, 结果发现, 添加组总产仔数平均每窝提高了 0.39 头。3 次试验均发现, 添加原花青素提高了母猪的产仔数, 但提高的幅度差异很大, 分析发现, 试验 1 与试验 2 中对照组母猪的平均产仔数不足 11 头, 低于第 3 胎长大母猪应有的产仔数, 对于这种产仔数较低, 环境不良应激可能较多的猪场, 原花青素对母猪产仔性能的提升十分显著; 试验 2 中对照组母猪的平均产仔数高达 14 头, 对于这种产仔性能很高的猪场, 原花青素仍能提高产仔数 0.39 头/窝。试验成本每 100 窝不到 1 000 元, 产仔数的增加在 39~146 头之间, 因此该项技术在产仔数优良与较差的猪场都具有推广应用价值。

3.2 日粮添加原花青素对母猪抗氧化能力的影响

原花青素作为多酚类化合物, 对于氧化自由基具有良好的清除作用, 同时对于机体抗氧化酶(如 SOD)活性具有改善作用, 因而发挥着较强的抗氧化作用。在改善抗氧化酶活性方面, 小鼠衰老模型证实灌胃原花青素显著提高了皮肤组织上清液 GSH-Px 以及 SOD 活性, 同时显著降低了 MDA 含量, 且效果优于添加维生素 E^[13]; 欧洲鳗鲡日粮中添加原花青素对于其肝脏 T-AOC、SOD 活性以及 CAT 活性均有显著提高作用, 同时显著降低了 MDA^[14]。本研究显示, 日粮中添加原花青素显著提高了母猪血清中 SOD、CAT 活性及 GSH 浓度, 并显著减少 MDA 含量, 表明原花青素能增强母猪抗氧化能力。

3.3 日粮添加原花青素对母猪免疫力的影响

原花青素对机体免疫具有良好的调节功能, 通过提高免疫球蛋白等因子水平进而改善机体免疫性能。Ali 等^[15]在肉仔鸡日粮中添加葡萄籽原花青素后, 可显著提高免疫球蛋白(IgG 等)水平而有效缓解黄曲

霉毒素 B1 暴露造成的免疫抑制作用；闫慧诗等^[16]发现，日粮添加高粱原花青素能显著提高生长育肥猪血清中 IgG、IgM 含量。除此以外，罗菲等^[17]探究了原花青素对急性通风关节炎大鼠的保护作用，发现原花青素干预后，显著降低了 SD 大鼠 IL-1 β 、IL-6、TNF- α 水平，同时下调了 TLR4、NF- κ B 蛋白的表达。本研究显示，日粮中添加原花青素后，母猪血清中 IgA、IgG、IgM 含量显著升高，而炎症因子 IL-1、IL-2、IL-6、IL-8、IFN- γ 显著下降，表明原花青素有助于提高母猪的免疫力，并降低母猪炎症反应。

3.4 日粮添加原花青素对母猪血液生化指标的影响

总胆红素是血红素降解的最终产物，当肝脏由于各种理化因素或生物因子导致损害时，血液中总胆红素含量会升高，这是肝功能测定的病理学基础^[18]。ALT 和 AST 是临床应用最广泛的反映肝细胞损伤的生化指标^[19]。本试验表明，原花青素添加组母猪血清总胆红素水平显著降低，ALT、AST 活力也有所降低，说明原花青素可能存在一定的护肝作用。另一方面，原花青素能调控机体脂代谢，原花青素已被证实可有效降低机体血脂水平^[20]。本研究同样发现，日粮添加原花青素可显著减少母猪血清总胆固醇水平。

综上，饲料中适当添加原花青素，可显著增加母猪的产仔数，有效提高母猪的抗氧化能力和免疫功能，同时可能具有保护肝脏的作用。

参考文献：

- [1] 刘红林, 孟繁星. 氧化应激对动物有腔卵泡闭锁的影响及机制 [J]. 南京农业大学学报, 2019, 42: 6-13.
- [2] MATZUK M M, DIONNE L, GUO Q, et al. Ovarian function in superoxide dismutase 1 and 2 knockout mice [J]. *Endocrinology*, 1998, 139: 4008-4011.
- [3] HO Y S, GARGANO M, CAO J, et al. Reduced fertility in female mice lacking copper-zinc superoxide dismutase [J]. *J Biol Chem*, 1998, 273: 7765-7769.
- [4] KUMAR T R, WISEMAN A L, KALA G, et al. Reproductive defects in gamma-glutamyl transpeptidase-deficient mice [J]. *Endocrinology*, 2000, 141: 4270-4277.
- [5] LIM J, NAKAMURA B N, MOHAR I, et al. Glutamate cysteine ligase modifier subunit (Gclm) null mice have increased ovarian oxidative stress and accelerated age-related ovarian failure [J]. *Endocrinology*, 2015, 156: 3329-3343.
- [6] DEVINE P J, PERREAULT S D, LUDERER U. Roles of reactive oxygen species and antioxidants in ovarian toxicity [J]. *Biol Reprod*, 2012, 86: 27.
- [7] 赵芳. 外源 ACTH 对产后断奶母猪发情及新生黄体 DNA 甲基化和基因表达的影响研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2018.
- [8] 张家庆. 小鼠卵巢氧化应激模型建立以及卵巢保护性抗氧化剂的筛选 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013.
- [9] 段国平, 刘晓利, 赵丕文. 葡萄籽原花青素的药理学研究进展 [J]. *环球中医药*, 2014, 7: 313-316.
- [10] LI B, WENG Q, LIU Z, et al. Selection of antioxidants against ovarian oxidative stress in mouse model [J]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2017, 31 (2): 1-6.
- [11] 孙婷婷, 徐建雄. 微生物源性抗氧化剂对母猪繁殖性能和自由基代谢的影响 [J]. *上海交通大学学报 (农业科学版)*, 2007 (4): 342-346.
- [12] 唐军, 王旭东, 方素庭, 等. 妊娠后期日粮中添加槲皮素对母猪繁殖性能、血清生化及抗氧化功能的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2024, DOI: 10.19556/j.0258-7033.20230829-04.
- [13] 吴伟伟, 哈尼克孜, 张小伟, 等. 原花青素生物学活性及其在畜牧生产中应用 [J]. *中国饲料*, 2019 (23): 14-17.
- [14] 何英霞, 黄林鑫, 夏克定, 等. 葡萄籽原花青素对欧洲鳊生长及机体抗氧化能力影响的初步研究 [J]. *饲料研究*, 2019, 42: 20-23.
- [15] ALI S. 葡萄籽原花青素提取物抵御黄曲霉毒素 B1 对肉仔鸡危害的作用及机制 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [16] 闫慧诗, 高俊杰, 高文伟, 等. 高粱原花青素对生长育肥猪抗氧化、免疫以及养分消化率的影响 [J]. *中国粮油学报*, 2018, 33: 84-90.
- [17] 罗菲, 梅燕. 原花青素对急性痛风性关节炎大鼠 TLR4/NF- κ B 信号通路的影响 [J]. *中国临床药理学与治疗学*, 2018, 23: 41-46.
- [18] 李燕, 王贵祥, 王红蕾, 等. 总胆红素总胆汁酸前白蛋白与肝脏疾病相关性研究 [J]. *河北医学*, 2014, 20: 151-154.
- [19] 杨智才. 血清 TBA、AST、ALT 与 AST/ALT 联合检测在诊断急性肝炎中的应用价值 [J]. *当代医药论丛*, 2019, 17: 167-168.
- [20] 陈辉. 原花青素的生物学功能及其在养猪生产中的应用 [J]. *广东饲料*, 2020, 29: 35-39.