

# 可溶性玉米纤维(Fibersol-2)对仔猪生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响

邢恒涛, 颜桂花, 刘 强, 王雨雨, 王保哲, 庄 苏\*

(南京农业大学动物科技学院, 南京 210095)

**摘 要:** 旨在研究日粮中添加可溶性玉米纤维(Fibersol-2)对仔猪生长性能、血清生化指标和抗氧化能力的影响。本试验选用 28 日龄体重相近的杜×长×大杂交仔猪 448 头, 随机分成 4 组, 每组 8 个重复, 每个重复 14 头, 分别饲喂基础日粮+0、1、2 和 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维。整个试验期为 35 d, 其中预试期为 7 d, 正试期为 28 d, 正试期初始体重为(9.65±0.44) kg。试验结束后, 从每个重复选择 1 头猪(体重接近于每重复的平均体重)称重, 屠宰, 取肝和血清样品进行指标测定。结果表明: 1) 日粮中添加可溶性玉米纤维未显著影响仔猪生长性能和营养物质表观消化率( $P>0.05$ ); 2) 与对照组相比, 可溶性玉米纤维显著降低血清中三酰甘油、白蛋白、总蛋白的含量和白蛋白与球蛋白比( $P<0.05$ ), 显著升高血清尿素氮的含量( $P<0.05$ ); 1 与 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维添加组显著增加血清中球蛋白含量( $P<0.05$ ); 2 与 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维添加组显著降低血清中总胆固醇含量( $P<0.05$ ); 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维添加组显著降低血清中葡萄糖含量( $P<0.05$ ); 3) 与对照组相比, 日粮中添加可溶性玉米纤维显著增加血清中谷胱甘肽过氧化物酶活性( $P<0.05$ ), 血清与肝中过氧化氢酶活性( $P<0.05$ ), 降低肝中丙二醛含量( $P<0.05$ ); 2 与 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维添加组显著提高血清中总抗氧化能力( $P<0.05$ ); 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维添加组显著增加血清和肝中超氧化物歧化酶活性、肝中谷胱甘肽过氧化物酶活性和总抗氧化能力( $P<0.05$ ), 降低血清中丙二醛含量( $P<0.05$ )。在本试验条件下, 日粮中添加可溶性玉米纤维能改善仔猪免疫力和抗氧化能力, 降低血糖血脂水平, 促进仔猪健康。

**关键词:** 可溶性玉米纤维; 生长性能; 血清生化指标; 抗氧化能力

中图分类号: S828.5

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2018)10-2170-10

## Effects of Soluble Corn Fiber(Fibersol-2) on Growth Performance, Biochemical Indexes of Serum and Anti-oxidative Capacity in Piglets

XING Heng-tao, YAN Gui-hua, LIU Qiang, WANG Yu-yu, WANG Bao-zhe, ZHUANG Su\*

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

**Abstract:** This study was conducted to investigate the effects of soluble corn fiber (Fibersol-2) supplementation in diet on growth performance, biochemical indexes of serum and anti-oxidative capacity in piglets. A total of 448 hybrid piglets (Duroc × Landrace × Large white) with similar body weight of 28 days old were randomly assigned into 4 dietary treatments, 8 replicates in each treatment with 14 piglets each, and fed a basal diet supplemented with 0, 1, 2 and 4 g·kg<sup>-1</sup> Fibersol-2, respectively. The total experiment lasted for 35 d including 7-d pre-test and 28-d test, and an average initial body weight of piglets in the test was (9.65±0.44) kg. At the end of the test, one pig per replicate (near to the average body weight of the replicate) were weighed,

收稿日期: 2018-03-07

基金项目: 国际合作项目(HY0029)

作者简介: 邢恒涛(1993-), 男, 河南沈丘人, 硕士生, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: xinghengtao@126.com

\* 通信作者: 庄 苏, 教授, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: zhuangsu@njau.edu.cn

slaughtered and the samples of liver and serum were collected and detected. The results showed that: 1) The diets added Fibersol-2 did not significantly affect the growth performance and apparent nutrient digestibility of piglets ( $P>0.05$ ). 2) Compared with the control group, Fibersol-2 supplementation significantly decreased the contents of triglyceride, albumin, total protein and the ratio of albumin to globulin, and markedly increased the content of urea nitrogen ( $P<0.05$ ) in serum. Fibersol-2 supplementation of 1 and 4 g · kg<sup>-1</sup> significantly increased globulin content in serum ( $P<0.05$ ), Fibersol-2 supplementation of 2 and 4 g · kg<sup>-1</sup> markedly decreased total cholesterol content in serum ( $P<0.05$ ), and Fibersol-2 supplementation of 4 g · kg<sup>-1</sup> significantly reduced glucose content ( $P<0.05$ ) in serum. 3) Compared with the control group, Fibersol-2 addition significantly enhanced the activity of glutathione peroxidase (GSH-Px) in serum ( $P<0.05$ ) and catalase (CAT) in serum and liver ( $P<0.05$ ), respectively, but significantly decreased malondialdehyde (MDA) content in liver ( $P<0.05$ ); Fibersol-2 supplementation of 2 and 4 g · kg<sup>-1</sup> markedly increased total antioxidant capacity (T-AOC) in serum ( $P<0.05$ ), and Fibersol-2 supplementation of 4 g · kg<sup>-1</sup> significantly increased the activity of superoxide dismutase (SOD) in serum and liver ( $P<0.05$ ), GSH-Px and T-AOC in liver ( $P<0.05$ ), however, significantly reduced MDA content in serum ( $P<0.05$ ). Under the experimental condition, Fibersol-2 supplementation could improve the immunity, antioxidant capacity of piglets, decrease the levels of glucose and lipids in serum, and promote the health of piglets.

**Key words:** Fibersol-2; growth performance; biochemical indexes of serum; anti-oxidative capacity

纤维的概念是由 Hipsley<sup>[1]</sup> 在 1953 年首次提出,其含义是指纤维素、半纤维素和木质素等不可消化的植物细胞壁成分。1995 年美国分析化学家协会定义的膳食纤维是指能抵抗人体小肠消化吸收,在大肠内能部分或全部发酵的可食用的植物性成分中碳水化合物及其类似物的总称<sup>[2]</sup>。膳食纤维在预防由于人们摄入了大量的高热量、高蛋白、高脂肪以及精细食品而造成的糖尿病、肥胖症以及肠癌等慢性疾病上具有突出作用。膳食纤维是指 3 个或以上单体链节的碳水化合物,具有其独特的理化特性,如水化性能、发酵作用、吸附作用、离子交换能力、溶解性和黏性<sup>[3]</sup>。动物日粮中添加膳食纤维会影响食糜的理化性质<sup>[4]</sup>,改善胃肠道的形态结构和微生物生态系统<sup>[5]</sup>以及促进肠黏膜的成熟和完整性<sup>[6]</sup>,改善仔猪断奶后面临的因环境和日粮改变而引起的应激反应以及消化道和免疫系统发育不成熟等问题,促进动物的健康生长。试验表明,日粮中长期或短期添加高水平豌豆纤维对断奶仔猪的平均日增重和平均日采食量无显著影响<sup>[7]</sup>。还有研究表明,随着甜菜浆膳食纤维添加量的增加,生长猪饲料采食量呈下降趋势,干物质和粗蛋白的表观消化率显著降低<sup>[8]</sup>。另一试验报道,不同淀粉类型日粮并不影响育肥猪空肠黏膜消化酶活性和血液葡萄糖含量<sup>[9]</sup>。

与饲喂高脂肪日粮相比,饲喂燕麦或小麦麸膳食纤维的小鼠表现出较低的体增重与脂质沉积,且饲喂谷物膳食纤维可以消除与饲喂高脂肪小鼠肥胖相关的肝毒性和血脂异常<sup>[10]</sup>。另有研究表明,来自芒果副产品的膳食纤维降低了总淀粉消化率,芒果膳食纤维还可以延迟葡萄糖的扩散吸收,表明芒果膳食纤维具有控制血糖的作用<sup>[11]</sup>。笋壳源膳食纤维具有降血脂的辅助作用,能有效地预防心血管疾病<sup>[12]</sup>。从前草中提取的可溶性膳食纤维具有很强的清除羟基自由基的能力<sup>[13]</sup>。低脂高膳食纤维饮食通过提高抗氧化酶活性和降低丙二醛含量对小鼠健康起到一定的改善作用<sup>[14]</sup>。可溶性玉米纤维(Fibersol-2)是由玉米淀粉经过特殊的加工工艺生成的低分子的可溶性葡聚糖,也称为抗性麦芽糊精,其物理特性具有高纤维含量、耐热耐酸、水溶性好、低甜度低热量以及低黏度等特点,作为一种低黏度低热量膳食纤维已经广泛应用于多种人类食品中。研究表明,日粮中添加 Fibersol-2 显著降低了雄性大白鼠血浆中葡萄糖、胆固醇和三酸甘油酯的含量,以及天冬转氨酶和丙氨酸转氨酶的活性<sup>[15]</sup>。抗性糊精能有效的调节糖尿病小鼠的血糖值<sup>[16]</sup>。Fibersol-2 也可以防止结肠癌细胞的扩散<sup>[17]</sup>。

本试验通过研究日粮中添加不同剂量可溶性玉

米纤维(Fibersol-2)对仔猪生长性能、血清生化及抗氧化能力的影响,了解可溶性玉米纤维的应用效果,以为可溶性玉米纤维对仔猪健康的影响提供试验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

可溶性玉米纤维(Fibersol-2)由艾地盟生物科技(天津)有限公司提供。

### 1.2 试验动物及设计

选用 28 日龄体重相近的杜×长×大杂交健康仔猪 448 头,随机分成 4 组,每组 8 个重复,每个重

复 14 头。各组日粮分别为:基础日粮(对照组)、基础日粮+1、2 与 4 g·kg<sup>-1</sup>可溶性玉米纤维。基础日粮参照 NRC 猪饲养标准配置,基础日粮组成及营养水平见表 1。整个试验期为 35 d,其中预试期为 7 d,正试期为 28 d。正试期平均开始体重为(9.65±0.44) kg。试验期最后 1 周,在各组日粮中添加 0.3% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>作为外源指示剂,用于测定饲料养分表观消化率。

### 1.3 饲养管理

试验在扬州加农畜牧科技有限公司完成。试验猪的饲养在封闭猪舍进行,自由采食、饮水,定期清粪,按常规操作规程进行防疫和消毒。

表 1 基础日粮组成及营养水平(风干基础)

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

原料 Ingredient	含量 Content	营养水平 <sup>2</sup> Nutrient level	含量 Content
玉米 Corn	55.80	消化能/(MJ·kg <sup>-1</sup> ) Digestible energy	13.81
次粉 Wheat middling	4.50	干物质 Dry mater	89.21
豆粕 Soybean meal	16.30	粗蛋白 Crude protein	19.63
发酵豆粕 Fermented soybean meal	7.00	赖氨酸 Lysine	1.32
鱼粉 Fish meal	2.50	蛋氨酸 Methionine	0.43
肠膜蛋白粉 Dried porcine solubles	2.50	蛋氨酸+胱氨酸 Methionine +Cystine	0.77
乳清粉 Whey powder	6.25	苏氨酸 Threonine	0.81
大豆油 Soy oil	1.65	钙 Calcium	0.96
赖氨酸 Lysine	0.25	总磷 Total phosphorus	0.60
蛋氨酸 Methionine	0.10		
石粉 Limestone	1.05		
磷酸氢钙 CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.80		
氯化钠 NaCl	0.30		
预混料 <sup>1</sup> Premix	1.00		
合计 Total	100.00		

<sup>1</sup>. 预混料为每千克日粮提供:维生素 A 8 000 IU,维生素 D 2 500 IU,维生素 E 15 mg,烟酸 20 mg,泛酸 10 mg,核黄素 4 mg,生物素 0.06 mg,叶酸 0.2 mg,硫胺素 2 mg,氯化胆碱 500 mg,铜 165 mg,铁 110 mg,锰 80 mg,锌 330 mg,硒 0.20 mg;<sup>2</sup>. 消化能为计算值,其它为实测值

<sup>1</sup>. The premix provides following per kilogram diet: vitamin A 8 000 IU, vitamin D 2 500 IU, vitamin E 15 mg, nicotinic acid 20 mg, D-pantothenie 10 mg, riboflavin 4 mg, biotin 0.06 mg, folic acid 0.2 mg, thiamine 2 mg, choline chloride 500 mg, Cu 165 mg, Fe 110 mg, Mn 80 mg, Zn 330 mg, Se 0.20 mg;<sup>2</sup>. Digestible energy is calculated value according to ingredients energy, the others are measured values

## 1.4 样品采集

在试验结束前 7 d,每天从每个重复组采集新鲜粪样,于-20℃冰箱保存待测,并同时采集饲料样。试验结束时,从每个重复组选择 1 头健康仔猪进行前腔静脉采血,以 3 500 r·min<sup>-1</sup>离心 10 min 分离血清后于-20℃冰箱保存待测。采完血后对猪进行屠宰,采集肝样品用液氮处理后于-80℃冰箱保存待测。

## 1.5 测定指标及方法

**1.5.1 生长性能测定** 在试验开始和结束的早晨对空腹 12 h 的仔猪称重,记录每天的饲料消耗量,计算平均日饲料采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料重比(F/G)。

**1.5.2 营养物质表观消化率测定** 按照张丽英<sup>[18]</sup>的方法测定粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、粗灰分、钙与磷含量。铁、铜、锰、锌与铬含量采用赛默飞 iCAP-7000 电感耦合等离子发射光谱仪测定。采用外源指示剂法计算养分表观消化率。

**1.5.3 血清常规生化指标测定** 血清尿素氮(脲酶法)、葡萄糖(葡萄糖氧化酶-过氧化物酶法)、三酰甘油(GPO-PAP 酶法)、总胆固醇(COD-PAP 法)、白蛋白(微量酶标法)与总蛋白含量(BCA 法)采用相应方法测定。血清球蛋白含量为血清总蛋白与血清白蛋白含量的差值,白球比(A/G)是白蛋白与球蛋白含量的比值。所有项目测定试剂盒均购自南

京建成生物工程研究所,具体测定步骤按试剂盒测定要求进行。

**1.5.4 抗氧化能力指标测定** 超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)、过氧化氢酶(CAT)、总抗氧化能力(T-AOC)以及丙二醛(MDA)含量均用南京建成生物工程研究所测定试剂盒测定,测定步骤按试剂盒测定要求进行。肝组织在测定抗氧化能力指标前,按照组织质量(g):体积(mL)=1:9 的比例加入 9 倍体积的生理盐水,剪碎组织,冰水浴制备匀浆,3 000 r·min<sup>-1</sup>离心 10 min 后,取上清即 10% 匀浆上清液。肝组织的抗氧化能力单位为每毫克蛋白中丙二醛含量或抗氧化酶活性。组织中蛋白质含量采用 BCA 法测定。

## 1.6 数据处理

先用 Excel 2010 对数据进行整理,再用 SPSS 20.0 统计软件对试验数据进行单因素方差分析,并用 Duncan's 进行多重比较,所有结果用平均数表示,SEM 表示平均标准误, $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果

### 2.1 可溶性玉米纤维对仔猪生长性能的影响

由表 2 可知,日粮中添加可溶性玉米纤维对仔猪的末重、平均日采食量、平均日增重和料重比均没有显著影响( $P > 0.05$ )。

表 2 可溶性玉米纤维对仔猪生长性能的影响( $n=8$ )

Table 2 Effects of Fibersol-2 on growth performance of piglets ( $n=8$ )

项目 Item	对照组 Control	可溶性玉米纤维添加量/(g·kg <sup>-1</sup> ) Fibersol-2 added level			SEM	P 值 P-value
		1	2	4		
初重/kg Initial weight	9.69	9.65	9.57	9.69	0.04	0.66
末重/kg Final weight	23.62	23.62	23.64	23.65	0.04	0.99
平均日采食量/(g·d <sup>-1</sup> ) ADFI	841.25	833.75	830.00	830.00	5.36	0.88
平均日增重/(g·d <sup>-1</sup> ) ADG	497.61	498.67	502.55	498.47	1.70	0.76
料重比 F/G	1.69	1.67	1.65	1.67	0.01	0.72

同行数据不同上标字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

The different superscript letters in the same row means significant difference between the treatments ( $P < 0.05$ ). The same as below

### 2.2 可溶性玉米纤维对仔猪营养物质表观消化率的影响

由表 3 可知,日粮中添加可溶性玉米纤维对仔

猪日粮中粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、钙与磷等常规营养物质以及日粮中微量元素铜、铁、锰、锌的表观消化率均没有显著影响( $P > 0.05$ )。

表 3 可溶性玉米纤维对仔猪营养物质表观消化率的影响( $n=8$ )Table 3 Effects of Fibersol-2 on apparent digestibility of nutrients of piglets ( $n=8$ )

项目 Item	对照组 Control	可溶性玉米纤维添加量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Fibersol-2 added level			SEM	P 值 P-value
		1	2	4		
干物质 Dry matter	91.04	90.95	90.42	90.93	0.17	0.59
粗灰分 Crude ash	72.30	72.31	71.70	72.25	0.21	0.69
粗脂肪 Ether extract	93.53	93.49	93.79	94.07	0.14	0.46
粗纤维 Crude fiber	74.95	74.65	74.77	73.65	0.33	0.52
粗蛋白 Crude protein	87.60	88.21	88.17	88.62	0.22	0.54
钙 Calcium	46.18	46.17	46.12	46.20	0.20	1.00
磷 Phosphorus	29.09	28.95	29.02	29.01	0.11	0.98
铜 Copper	38.42	38.35	39.81	39.28	0.26	0.13
铁 Iron	31.32	32.71	31.57	31.29	0.24	0.11
锰 Manganese	30.93	31.76	30.88	30.77	0.17	0.16
锌 Zinc	44.62	44.51	44.61	44.60	0.12	0.99

### 2.3 可溶性玉米纤维对仔猪血清生化指标的影响

由表 4 可知,1、2 和  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组的血清尿素氮含量分别比对照组提高了 45.96%、41.40% 和 43.51% ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,随着日粮中可溶性玉米纤维添加量增加,血清中葡萄糖含量逐渐下降,其中  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组与对照组之间差异显著 ( $P < 0.05$ )。可溶性玉米纤维显著降低血清中三酰甘油含量 ( $P < 0.05$ )。

在血清总胆固醇含量上,2 与  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,可溶性玉米纤维组均显著降低血清中白蛋白含量 ( $P < 0.05$ ),但 1 与  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组显著提高血清球蛋白含量 ( $P < 0.05$ )。可溶性玉米纤维添加组血清总蛋白含量显著低于对照组 ( $P < 0.05$ )。与对照组相比,可溶性玉米纤维添加组显著降低血清中白球比 ( $P < 0.05$ )。

表 4 可溶性玉米纤维对仔猪血清生化指标的影响( $n=8$ )Table 4 Effects of Fibersol-2 on biochemical indexes of serum in piglets ( $n=8$ )

项目 Item	对照组 Control	可溶性玉米纤维添加量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Fibersol-2 added level			SEM	P 值 P-value
		1	2	4		
尿素氮/( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Urea nitrogen	2.85 <sup>b</sup>	4.16 <sup>a</sup>	4.03 <sup>a</sup>	4.09 <sup>a</sup>	0.12	<0.01
葡萄糖/( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Glucose	27.98 <sup>a</sup>	26.74 <sup>ab</sup>	26.62 <sup>ab</sup>	24.77 <sup>b</sup>	0.50	0.15
三酰甘油/( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Triglyceride	0.61 <sup>a</sup>	0.48 <sup>b</sup>	0.35 <sup>c</sup>	0.36 <sup>c</sup>	0.02	<0.01
总胆固醇/( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Total cholesterol	0.80 <sup>a</sup>	0.80 <sup>a</sup>	0.68 <sup>b</sup>	0.63 <sup>c</sup>	0.01	<0.01
白蛋白/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Albumin	4.18 <sup>a</sup>	3.26 <sup>b</sup>	3.10 <sup>b</sup>	2.38 <sup>c</sup>	0.12	<0.01
球蛋白/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Globulin	2.97 <sup>c</sup>	3.54 <sup>b</sup>	3.27 <sup>bc</sup>	4.24 <sup>a</sup>	0.11	<0.01
总蛋白/( $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) Total protein	7.15 <sup>a</sup>	6.80 <sup>b</sup>	6.37 <sup>c</sup>	6.62 <sup>bc</sup>	0.07	<0.01
白球比 A/G	1.44 <sup>a</sup>	0.93 <sup>b</sup>	0.96 <sup>b</sup>	0.57 <sup>c</sup>	0.06	<0.01

## 2.4 可溶性玉米纤维对仔猪血清和肝抗氧化能力的影响

由表 5 可知,与对照组相比,日粮中添加可溶性玉米纤维降低血清中 MDA 含量,且  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  添加组达显著水平( $P < 0.05$ )。在血清 SOD 活性上,与对照组相比, $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组提高了 7.18%,两者间差异显著( $P < 0.05$ )。日粮中添加可溶性玉米纤维显著提高血清中 GSH-Px 活性( $P < 0.05$ )以及 CAT 活性( $P < 0.05$ )。由血清 T-AOC 指标可知,2 与  $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添

加组血清的 T-AOC 显著高于对照组( $P < 0.05$ )。由肝抗氧化指标可知,与对照组相比,日粮中添加可溶性玉米纤维显著地降低了肝 MDA 含量( $P < 0.05$ );最高剂量( $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )可溶性玉米纤维添加组的肝 SOD 以及 GSH-Px 活性显著高于对照组( $P < 0.05$ )。在肝 CAT 活性上,与对照组相比,可溶性玉米纤维添加组分别提高了 6.39%、6.08% 和 17.68%,且差异显著( $P < 0.05$ )。 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  可溶性玉米纤维添加组的肝 T-AOC 显著高于对照组( $P < 0.05$ )。

表 5 可溶性玉米纤维对仔猪血清和肝抗氧化能力的影响( $n=8$ )

Table 5 Effects of Fibersol-2 on anti-oxidative capacity of serum and liver in piglets ( $n=8$ )

项目 Item	对照组 Control	可溶性玉米纤维添加量/( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Fibersol-2 added level			SEM	P 值 P-value
		1	2	4		
血清 Serum						
MDA/( $\text{nmol} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	3.60 <sup>a</sup>	3.23 <sup>ab</sup>	3.44 <sup>a</sup>	2.80 <sup>b</sup>	0.10	<0.01
SOD/( $\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	88.40 <sup>b</sup>	88.93 <sup>b</sup>	92.13 <sup>ab</sup>	94.75 <sup>a</sup>	0.85	0.02
GSH-Px/( $\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	409.53 <sup>d</sup>	438.59 <sup>c</sup>	504.12 <sup>b</sup>	526.08 <sup>a</sup>	8.65	<0.01
CAT/( $\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	23.07 <sup>c</sup>	24.84 <sup>b</sup>	25.76 <sup>b</sup>	28.00 <sup>a</sup>	0.36	<0.01
T-AOC/( $\text{U} \cdot \text{mL}^{-1}$ )	11.13 <sup>c</sup>	11.87 <sup>bc</sup>	12.42 <sup>ab</sup>	13.13 <sup>a</sup>	0.20	<0.01
肝脏 Liver						
MDA/( $\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$ )	0.93 <sup>a</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.79 <sup>b</sup>	0.64 <sup>c</sup>	0.02	<0.01
SOD/( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$ )	364.10 <sup>b</sup>	383.74 <sup>b</sup>	388.59 <sup>b</sup>	422.38 <sup>a</sup>	6.04	<0.01
GSH-Px/( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$ )	522.07 <sup>b</sup>	524.93 <sup>b</sup>	523.76 <sup>b</sup>	540.46 <sup>a</sup>	3.06	0.12
CAT/( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$ )	182.29 <sup>c</sup>	193.93 <sup>b</sup>	193.37 <sup>b</sup>	214.52 <sup>a</sup>	2.38	<0.01
T-AOC/( $\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$ )	11.76 <sup>b</sup>	11.70 <sup>b</sup>	11.89 <sup>b</sup>	13.12 <sup>a</sup>	0.13	<0.01

## 3 讨论

### 3.1 可溶性玉米纤维对仔猪生长性能和营养物质表观消化率的影响

膳食纤维对动物生长性能和营养物质消化率的作用效果存在争议。抗性麦芽糊精和氢化抗性麦芽糊精能提高大鼠对钙、镁、铁和锌的表观消化率<sup>[19]</sup>。化学改性淀粉(RS4 型抗性淀粉)在一定剂量范围内能够增加齐口裂腹鱼体重,显著提高齐口裂腹鱼的特定生长率和采食量<sup>[20]</sup>。日粮中含有 7.8 与  $15.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  浓度的葛根膳食纤维能显著增加小鼠的摄食量和体重<sup>[21]</sup>。水溶性膳食纤维有较高的持水能力,延缓了胃排空,减缓了营养物质的消化<sup>[22]</sup>。

不溶性膳食纤维能够结合有机化合物、增加粪便体积和减少肠通过时间,减少病原菌在小肠的增殖,可以缓解与仔猪断奶后采食量下降有关的肠道瘀滞效应<sup>[23-25]</sup>。Wilfart 等<sup>[26]</sup>的研究结果表明,日粮中总膳食纤维含量的增加显著降低了干物质、有机物、粗蛋白和总能量的表观消化率。Devi 等<sup>[27]</sup>研究表明,日粮中添加膳食纤维不影响生长猪的采食量、体增重以及干物质、蛋白质的消化率。本研究表明,日粮中添加可溶性玉米纤维并不影响仔猪的生长性能和营养物质表观消化率,但可溶性玉米纤维添加组比对照组的平均日采食量低 11.25 到  $7.50 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ ,在料重比方面,可溶性玉米纤维添加组比对照组降低了 0.02 到 0.04 不等。分析膳食纤维对动物的生长性

能和营养物质消化率的影响不一致的原因,归结起来可能与膳食纤维的种类和理化特性、动物的品种与日龄以及基础日粮组成等不同有关。膳食纤维的种类和理化特性会影响胃肠道食糜的理化性质以及胃肠道形态和微生物菌群结构,进而影响动物体内营养物质的消化吸收及动物的生长。

### 3.2 可溶性玉米纤维对仔猪血清生化指标的影响

血清生化指标不仅可以反映动物一些器官组织变化和动物体内物质代谢的重要特征,也可以反映动物体内营养物质的沉积<sup>[28]</sup>。膳食纤维可以很好地控制餐后血糖的升高以及提高机体耐糖量<sup>[29]</sup>。小米糠膳食纤维具有降低患糖尿病模型小鼠空腹血糖的作用<sup>[30]</sup>。大豆膳食纤维和低聚果糖均有降低糖尿病患者血糖的作用,而两者混合后作用效果更加明显<sup>[31]</sup>。由于脂类物质都需要血液运输才能在各组织细胞间运转,所以血脂的含量可以反映体内脂类的代谢情况。海藻膳食纤维能显著降低高脂血症小鼠血清的总胆固醇、三酰甘油和低密度脂蛋白胆固醇水平,升高高密度脂蛋白胆固醇水平<sup>[32]</sup>。日粮中添加锦橙皮膳食纤维显著降低高脂血症大鼠的血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇水平,升高高密度脂蛋白胆固醇水平,并表现出剂量效应<sup>[33]</sup>。本研究表明,日粮中添加可溶性玉米纤维能显著降低仔猪血清中的葡萄糖、胆固醇和三酰甘油的含量,这一结果与前人研究结论基本一致。膳食纤维降低血糖和血脂的作用机理为膳食纤维吸水性较强、增加食糜的粘滞性、增加食物的排空频率、从而延缓或减少葡萄糖、胆固醇和三酰甘油的吸收,而且粘性膳食纤维在肠道内形成凝胶可影响葡萄糖、胆固醇和三酰甘油与小肠黏膜的接触,同时可促进肠道蠕动,缩短食糜在肠道内的停留时间<sup>[34]</sup>,降低葡萄糖、胆固醇和三酰甘油的吸收速度,进而降低血清中葡萄糖、胆固醇和三酰甘油的含量。

血清尿素氮是动物机体蛋白质代谢的总产物,血清总蛋白的含量与机体蛋白质的吸收和代谢状况有关,白蛋白是营养物质运输的载体<sup>[35]</sup>。本研究发现,仔猪日粮中添加可溶性玉米纤维可提高血清中尿素氮的含量,降低血清中总蛋白和白蛋白的含量,这可能是仔猪日粮中添加可溶性玉米纤维增加了体内蛋白质的降解,降低了蛋白质的沉积,有关这一作用机制还有待进一步研究。本研究还发现,日粮中添加可溶性玉米纤维提高了断乳仔猪血清球蛋白含量,降低了血清白蛋白与球蛋白比值。球蛋白主要

包括抗体分子与补体成分,有增强机体抵抗力以预防感染的作用<sup>[36]</sup>,白蛋白与球蛋白的比值(白球比)可反映机体的抵抗力,该值降低说明机体免疫机能提高。本研究结果表明,日粮中添加可溶性玉米纤维能显著提高仔猪血清中球蛋白含量、降低白蛋白含量以及白球比,即可溶性玉米纤维可以提高断乳仔猪的免疫力,推测其原因可能与可溶性玉米纤维增加了仔猪的抗氧化能力,保护了仔猪氧化损伤有关。

### 3.3 可溶性玉米纤维对仔猪机体抗氧化能力的影响

机体抗氧化防御体系有酶系抗氧化防御体系和非酶系抗氧化防御体系。酶系抗氧化防御体系是机体抵御氧化应激的第一道防线,它包括 SOD、GSH-Px、CAT 等。SOD 是生物体内清除自由基的首要物质,反映了机体清除氧自由基的能力。T-AOC 是衡量机体抗氧化防御体系的抗氧化能力综合指标,而 MDA 的含量间接反映了体内脂质过氧化程度,是衡量机体氧化应激程度的指标之一<sup>[37-38]</sup>。试验研究表明,在高脂饲料诱发的高脂血症的大鼠日粮中添加 10% 的纤维素、果胶、海藻酸钠及其两者混合物显著升高大鼠血清中 SOD 与 GSH-Px 活性,降低 MDA 水平<sup>[39]</sup>。小鼠日粮中添加红甜菜纤维可降低其肝和肠壁 MDA 水平<sup>[40]</sup>。苏珏<sup>[41]</sup>研究认为,随着膳食纤维添加量的增加抗氧化能力逐渐增强。另有研究报道,江蓠藻膳食纤维均能有效提高患糖尿病小鼠体内的 SOD 活性,降低机体内 MDA 的含量<sup>[42]</sup>。前人研究结果主要集中在高脂与高血糖大鼠或小鼠动物模型上,而对正常动物的研究相对较少。本研究表明,在正常仔猪日粮中添加可溶性玉米纤维降低了仔猪血清和肝中 MDA 的含量,提高了仔猪血清和肝中 SOD、GSH-Px 和 CAT 活性以及 T-AOC,与前人研究结果基本一致。日粮中添加可溶性玉米纤维增加仔猪的抗氧化能力,减少仔猪氧化损伤,增加动物机体酶系抗氧化能力,提高动物免疫能力,这与本研究的推测结果一致。膳食纤维的抗氧化作用机制为熄灭自由基,终止自由基的链式反应;抑制脂质过氧化;提高抗氧化酶活性;吸附人体产生的自由基;与阳离子交换,改变阳离子的瞬间浓度,对消化道的渗透压及氧化电位产生影响,抑制氧化反应的进行<sup>[43]</sup>。

## 4 结论

本试验条件下,日粮中添加可溶性玉米纤维未

显著影响仔猪的生长性能和营养物质表观消化率;可溶性玉米纤维增强仔猪的抗氧化能力以及免疫功能,降低了血清中葡萄糖、三酰甘油的含量,有利于改善仔猪健康。

### 参考文献(References):

- [1] HIPSLEY E H. Dietary "fibre" and pregnancy toxæmia[J]. *Br Med J*, 1953, 2(4833): 420-422.
- [2] LEE S C, PROSKY L. International survey on dietary fiber: Definition, analysis, and reference materials[J]. *J AOAC Int*, 1995, 78(1): 22-36.
- [3] 赵 丽, 李 倩, 朱丹实, 等. 膳食纤维的研究现状与展望[J]. *食品与发酵科技*, 2014, 50(5): 76-82, 86. ZHAO L, LI Q, ZHU D S, et al. Present situation and prospect on study of dietary fiber[J]. *Food and Fermentation Technology*, 2014, 50(5): 76-82, 86. (in Chinese)
- [4] CANIBE N, BACH KNUDSEN K E. Degradation and physicochemical changes of barley and pea fibre along the gastrointestinal tract of pigs[J]. *J Sci Food Agric*, 2002, 82(1): 27-39.
- [5] JØRGENSEN H, ZHAO X Q, EGGUM B O. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs[J]. *Br J Nutr*, 1996, 75(3): 365-378.
- [6] BRUNSGAARD G. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs[J]. *J Anim Sci*, 1998, 76(11): 2787-2798.
- [7] 罗玉衡, 陈 洪, 余 冰, 等. 短期或长期饲喂高水平豌豆纤维对猪盲肠微生物群落结构和代谢产物的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2017, 48(8): 1459-1467. LUO Y H, CHEN H, YU B, et al. Short-term or long-term intake of high-level pea fiber specifically affects the bacterial community and metabolites in the cecum of pigs[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48(8): 1459-1467. (in Chinese)
- [8] ZHANG W J, LI D F, LIU L, et al. The effects of dietary fiber level on nutrient digestibility in growing pigs[J]. *J Anim Sci Biotechnol*, 2013, 4(1): 17.
- [9] 谢 晨, 李艳娇, 李蛟龙, 等. 不同淀粉类型日粮对育肥猪消化代谢的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2017, 48(12): 2337-2346. XIE C, LI Y J, LI J L, et al. Effect of dietary starch types on intestinal digestion and metabolism of finishing pigs[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2017, 48(12): 2337-2346. (in Chinese)
- [10] HANS F, JIAO J, ZHANG W, et al. Dietary fiber prevents obesity-related liver lipotoxicity by modulating sterol-regulatory element binding protein pathway in C57BL/6J mice fed a high-fat/cholesterol diet[J]. *Sci Rep*, 2015, 5: 15256.
- [11] GOURGUE C M P, CHAMP M J M, LOZANO Y, et al. Dietary fiber from mango byproducts: Characterization and hypoglycemic effects determined by *in vitro* methods[J]. *J Agric Food Chem*, 1992, 40(10): 1864-1868.
- [12] 林良美. 笋壳活性膳食纤维的提取及降糖降脂功能特性研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016. LIN L M. Extraction, hypoglycemic and hypolipidemic effects of bioactive dietary fiber from bamboo shoot shell[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2016. (in Chinese)
- [13] 张建民, 肖小年, 易 醒, 等. 车前草可溶性膳食纤维的提取及其对自由基清除能力的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 2007, 19(4): 667-670. ZHANG J M, XIAO X N, YI X, et al. The extraction of soluble dietary fiber from plantago asiatica and its free radicals scavenging activity[J]. *Natural Product Research and Development*, 2007, 19(4): 667-670. (in Chinese)
- [14] 王伟红, 杨建军, 王 晶. 低脂高膳食纤维饮食对小鼠肝脂及脂质过氧化的影响[J]. *现代预防医学*, 2010, 37(14): 2644-2646. WANG W H, YANG J J, WANG J. The effects of low fat high diet fiber on lipids and anti-oxidation in mice liver[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2010, 37(14): 2644-2646. (in Chinese)
- [15] 謝侑霖, 曾憲鵬, 江孟燦. 含 Fibersol-2 之綠茶對大白鼠脂肪組織影響之探討[J]. *台灣農業化學與食品科學*, 2012, 50(2): 112-120. HSIEH Y L, CHANG H P, CHIANG M T. Studies of green tea containing Fibersol-2 on adipose tissue in rats[J]. *Taiwanese Journal of Agricultural Chemistry and Food Science*, 2012, 50(2): 112-120. (in Chinese)
- [16] 张泽生, 朱 洁, 张 颖, 等. 抗性糊精对小鼠血糖及糖耐量的影响[J]. *食品科技*, 2010, 35(8): 112-114. ZHANG Z S, ZHU J, ZHANG Y, et al. Effect of indigestible dextrin on the serum glucose and the glucose tolerance in mice[J]. *Food Science and Technology*,



- 2010,35(8):112-114. (in Chinese)
- [17] SO E Y, OUCHI M, CUESTA-SANCHO S, et al. Tumor suppression by resistant maltodextrin, Fiber-sol-2[J]. *Cancer Biol Ther*, 2015, 16(3):460-465.
- [18] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.  
ZHANG L Y. Feed analysis and feed quality detection technology[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)
- [19] MIYAZATO S, NAKAGAWA C, KISHIMOTO Y, et al. Promotive effects of resistant maltodextrin on apparent absorption of calcium, magnesium, iron and zinc in rats[J]. *Eur J Nutr*, 2010, 49(3):165-171.
- [20] 向世琼. RS4 型抗性淀粉对齐口裂腹鱼生长性能、肉品质及脂肪代谢的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014.  
XIANG S Q. The effect of RS4-type resistant starch on growth performance, meat quality and lipid metabolism of schizothorax prenanti[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [21] 赵 兰, 钟海雁, 苏 勇, 等. 葛根膳食纤维对小白鼠消化吸收功能的影响[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(2):63-66.  
ZHAO L, ZHONG H Y, SU Y, et al. Effect of dietary fiber from *Pueraria radix* on the digestion-absorption function of mice[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2005, 25(2):63-66. (in Chinese)
- [22] SERENA A, JØRGENSEN H, BACH KNUDSEN K E. Digestion of carbohydrates and utilization of energy in sows fed diets with contrasting levels and physico-chemical properties of dietary fiber[J]. *J Anim Sci*, 2008, 86(9):2208-2216.
- [23] KIM J C, HANSEN C F, MULLAN B P, et al. Nutrition and pathology of weaner pigs: Nutritional strategies to support barrier function in the gastrointestinal tract[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2012, 173(1-2):3-16.
- [24] HEO J M, OPAPAJU F O, PLUSKE J R, et al. Gastrointestinal health and function in weaned pigs: A review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds[J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2013, 97(2):207-237.
- [25] FLORES J A. Effect of soluble and insoluble fiber on diet digestibility and sow performance[D]. St. Paul: University of Minnesota, 2006:161.
- [26] WILFART A, MONTAGNE L, SIMMINS H, et al. Effect of fibre content in the diet on the mean retention time in different segments of the digestive tract in growing pigs[J]. *Livest Sci*, 2007, 109(1-3):27-29.
- [27] DEVI S M, CHEONG J Y, KIM I H. Effects of dietary fiber and benzoic acid on growth performance, nutrient digestibility, reduction of harmful gases, and lipid profiles in growing pigs [J]. *Ann Anim Sci*, 2015, 15(2):463-474.
- [28] WANG J P, YOO J S, KIM H J, et al. Nutrient digestibility, blood profiles and fecal microbiota are influenced by chitooligosaccharide supplementation of growing pigs[J]. *Livest Sci*, 2009, 125(2-3):298-303.
- [29] LIUS M. Whole-grain foods, dietary fiber, and type 2 diabetes: Searching for a kernel of truth[J]. *Am J Clin Nutr*, 2003, 77(3):527-529.
- [30] 刘敬科, 赵 巍, 张华博, 等. 小米糠膳食纤维调节血糖和血脂功能的研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(8):1636-1638, 1642.  
LIU J K, ZHAO W, ZHANG H B, et al. Effects of dietary fiber from millet bran on blood lipids and blood glucose[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(8):1636-1638, 1642. (in Chinese)
- [31] 于学华, 韩 萍, 张晓峰, 等. 大豆膳食纤维和低聚果糖临床降糖效果研究[J]. 河南预防医学杂志, 2011, 22(3):166-167, 172.  
YU X H, HAN P, ZHANG X F, et al. The clinical effect study on soybean dietary fiber and fructo-oligosaccharide lower the blood sugar[J]. *Henan Journal of Preventive Medicine*, 2011, 22(3):166-167, 172. (in Chinese)
- [32] 熊 霜, 肖美添, 叶 静. 复合型海藻膳食纤维功能食品的降血脂作用[J]. 食品科学, 2014, 35(17):220-225.  
XIONG S, XIAO M T, YE J. Hypolipidemic effect of functional foods containing dietary fiber from edible seaweeds[J]. *Food Science*, 2014, 35(17):220-225. (in Chinese)
- [33] 李 季. 柑橘皮膳食纤维对大鼠降血脂效果的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.  
LI J. Effects of dietary fiber from citrus peel on blood lipid-decreasing in rats (*Rattus Norvegicus*) [J]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2009. (in Chinese)
- [34] JENKINS D J A, MARCHIE A, AUGUSTIN L S A, et al. Viscous dietary fibre and metabolic effects[J]. *Clin Nutr Suppl*, 2004, 1(2):39-49.
- [35] 叶耀辉, 雷松波, 池春梅, 等. 中药添加剂对断奶仔猪

- 生长性能和血清蛋白含量的影响[J]. 闽东农业科技, 2009(2):1-6.
- YE Y H, LEI S B, CHI C M, et al. Effect of Chinese herbs additives on growth performance and serum protein contents of weaned piglets [J]. *Mindong Agricultural Science and Technology*, 2009(2):1-6. (in Chinese)
- [36] 王建华. 兽医内科学[M]. 4 版. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- WANG J H. *Veterinary internal medicine* [M]. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2010. (in Chinese)
- [37] ZHANG H J, GUO Y M, TIAN Y D, et al. Dietary conjugated linoleic acid improves antioxidant capacity in broiler chicks [J]. *Br Poult Sci*, 2008, 49(2): 213-221.
- [38] HAMER H M, JONKERS D M A E, BAST A, et al. Butyrate modulates oxidative stress in the colonic mucosa of healthy humans [J]. *Clin Nutr*, 2009, 28(1):88-93.
- [39] 宋 扬, 杨宗军. 复合膳食纤维对大鼠体内脂质过氧化作用的影响[J]. 卫生研究, 2003, 32(5):451-454.
- SONG Y, YANG Z J. Preparation of fiber complexes and its role in lipid peroxidation[J]. *Journal of Hygiene Research*, 2003, 32(5):451-454. (in Chinese)
- [40] BOBEK P, GALBAVÝ Š, MARIÁSSYOVÁ M. The effect of red beet (*Beta vulgaris* var. *rubra*) fiber on alimentary hypercholesterolemia and chemically induced colon carcinogenesis in rats [J]. *Mol Nutr Food Res*, 2000, 44(3):184-187.
- [41] 苏 珏. 大豆渣、大豆皮膳食纤维对 TFA 致高脂血症小鼠血脂及抗氧化能力的影响[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012.
- SU J. The effects and comparison of soybean dregs and soybean hulls dietary fiber on blood lipid and anti-oxidation of hyperlipidemia mice caused by trans-fatty [D]. Wuhan: Wuhan Institute of Technology, 2012. (in Chinese)
- [42] 肖美添, 叶 静, 汤须崇, 等. 江蓠藻膳食纤维的降血糖及抗氧化作用[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2009, 30(6):665-667.
- XIAO M T, YE J, TANG X C, et al. Study on lowering blood glucose and anti-oxidation of dietary fiber from gracilaria [J]. *Journal of Huaqiao University: Natural Science*, 2009, 30(6):665-667. (in Chinese)
- [43] 程安玮, 杜方岭. 膳食纤维抗氧化作用及其机理的研究[J]. 农产品加工, 2009(1):67-68, 71.
- CHENG A W, DU F L. Study on anti-oxidation and mechanism of dietary fiber [J]. *Farm Products Processing*, 2009(1):67-68, 71. (in Chinese)

(编辑 郭云雁)