

## 低聚木糖对断奶仔猪生产性能·腹泻率·抗氧化性能的影响

范程瑞, 刘强, 黎佳颖, 王保哲, 王雨雨, 庄苏\* (南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095)

**摘要** [目的]研究不同剂量的低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率以及血清和肝脏抗氧化性能的影响。[方法]选用72头35日龄、初重(10.14±0.15)kg的杜长大三元杂交仔猪分成4组,各组日粮分别为基础日粮(对照组)、基础日粮+100 mg/kg低聚木糖(试验I组)、200 mg/kg(试验II组)和400 mg/kg(试验III组),研究不同剂量低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率以及血清和肝脏抗氧化性能的影响。[结果]与对照组相比,日粮中添加200和400 mg/kg低聚木糖能显著降低断奶仔猪的料重比( $P<0.05$ )。添加低聚木糖能够显著降低仔猪的腹泻率( $P<0.05$ )。添加低聚木糖还能够显著提高仔猪血清总抗氧化能力(T-AOC)、肝脏中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活力( $P<0.05$ ),显著降低血清和肝脏中丙二醛(MDA)含量( $P<0.05$ ),以200 mg/kg低聚木糖的效果最佳。[结论]该研究可为低木糖在畜禽生产中的应用提供试验依据。

**关键词** 低聚木糖;断奶仔猪;生长性能;腹泻率;抗氧化性能

**中图分类号** S816.7 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)29-0098-04

## Effects of Xylo-oligosaccharides on Growth Performance, Diarrhea Rate and Antioxidant Indexes of Weaned Piglets

FAN Cheng-ru, LIU Qiang, LI Jia-ying, ZHUANG Su\* et al (College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

**Abstract** [Objective] The aim was to investigate the effect of different doses of xylo-oligosaccharides (XOS) on growth performance, diarrhea rate and serum and liver antioxidant indexes of weaned piglets. [Method] A total of 72 crossbred piglets (Duroc × Landrace × Big white) weaned at 35 days with initial body weight of (10.14 ± 0.15) kg were assigned into 4 groups. Piglets were fed the basal diet (control group), the basal diet plus 100 mg/kg XOS (Experiment I), 200 mg/kg XOS (Experiment II) and 400 mg/kg XOS (Experiment III), respectively. Effects of different doses of XOS on growth performance, diarrhea rate and serum and liver antioxidant indexes of weaned piglets were studied. [Result] The results showed that fed diets supplemented with 200 and 400 mg/kg XOS decreased significantly feed to gain ratio ( $P<0.05$ ) as compared with the control. Diarrhea rates were lower ( $P<0.05$ ) in supplementation of XOS than control group in weaned piglets. The diets supplemented with XOS enhanced markedly the serum T-AOC, liver SOD and CAT activity ( $P<0.05$ ), decreased MDA contents ( $P<0.05$ ) of serum and liver, and the best dose supplemented with XOS was 200 mg/kg in diet. [Conclusion] The study can provide basis for application of XOS in livestock and poultry production.

**Key words** Xylo-oligosaccharides; Weaned piglets; Growth performance; Diarrhea rate; Antioxidant indexes

在畜牧业生产中,抗生素的大量使用给养殖业带来了巨大的经济效益,但随着人们越来越重视食品安全,抗生素的弊端逐渐显露。1986年瑞典全面禁止抗生素以促进生长为目的在畜禽饲料中使用,2006年1月1日欧盟已经全面禁止抗生素在畜禽饲料中使用。美国食品和药物管理局(FDA)计划从2014年起用3年时间禁止在牲畜饲料中使用预防性抗生素,从而最大限度地避免食用畜禽产品的消费者出现对抗生素的抗药性问题<sup>[1]</sup>。因此,寻找抗生素的替代品已经成为畜牧业生产中的迫切问题。目前,抗生素替代品种类很多,如酸化剂、益生菌、抗菌肽以及化学益生菌等,其中功能性寡糖越来越受到人们的重视。功能性寡糖是一种绿色、安全的饲料添加剂,由2~10单糖基团以β-1,4糖苷键连接而成的聚合物,其特殊的糖苷键结构不能被机体内源性消化酶分解,但能够被肠道中有益微生物消化利用。功能性寡糖因能选择性促进宿主肠道中有益微生物的增殖,因此被称为益生菌。目前,在动物生产中应用的功能性寡糖主要有果寡糖(FOS)、甘露寡糖(MOS)、壳寡糖(COS)以及低聚木糖(XOS)等。研究表明,功能性寡糖能够促进动物生长,改善健康状态,具有类似抗生素的作用<sup>[2-3]</sup>。低聚木糖作为一种功能性寡糖,可以通过化学方法或酶法从玉米芯、甘蔗渣、谷

壳、棉籽和秸秆等农副产品和木材中获得。De等<sup>[4]</sup>和Pourabedin M等<sup>[5]</sup>报道低聚木糖在促进肠道乳酸菌的增殖和微生物之间的互养共生改善了肠道健康,并能提高家禽的生长性能,但是使用效果并不一致<sup>[6]</sup>。这可能与低聚木糖添加量、纯度以及动物的种类和生长阶段不同有关。郭小云等<sup>[7]</sup>和徐丽萍等<sup>[8]</sup>研究表明低聚木糖能够降低幼禽幼畜的腹泻率,增强免疫机能,提高营养物质的吸收。丁苏<sup>[9]</sup>研究表明低聚木糖能够清除羟自由基,具有较好的抗氧化功能。断奶仔猪由于断奶应激引起生长缓慢、腹泻率高和饲料转化率等一系列问题,这不仅不利于仔猪的生长,而且给养猪业造成了巨大的损失。吴秋钰等<sup>[10]</sup>研究表明低聚木糖对健康状况差、生长性能低的动物效果较好。笔者研究不同剂量低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率及抗氧化性能的影响,了解低聚木糖的应用效果,以期能为低木糖在畜禽生产中的应用提供试验依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 低聚木糖由江苏康维生物有限公司提供,纯度为35%。

**1.2 试验动物的分组及饲养管理** 试验选用72头35日龄、初重为(10.14±0.15)kg的杜×长×大三元杂交断奶仔猪分成4组,每组3个重复,每个重复6头仔猪,公母各半。试验期35d,其中预试期5d,正试期30d。各组日粮分别为:对照组(基础日粮)、试验I组(基础日粮+100 mg/kg低聚木糖)、试验II组(基础日粮+200 mg/kg低聚木糖)、试验组III

**基金项目** 江苏省科技厅前瞻性联合研究项目(BY2015071-01)。  
**作者简介** 范程瑞(1993-),女,安徽六安人,硕士研究生,研究方向:动物营养与饲料。\*通讯作者,教授,从事动物营养与饲料学研究。  
**收稿日期** 2016-08-17

组(基础日粮 + 400 mg/kg 低聚木糖)。基础日粮参照 NRC 猪饲养标准,并结合猪场实际情况配制而成,日粮为粉料,日粮组成及营养水平见表 1。试验期间,仔猪高床饲养,自由采食和饮水,并按常规进行防疫和消毒。试验在徐州大富华健康养殖有限公司养猪场进行。

表 1 日粮组成及营养水平(风干基础)

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

原料 Raw materials	添加比例 Addition ratio %	营养成分 Nutritional ingredients	含量 Content
玉米 Corn	67.35	消化能 Digestible energy KJ/kg	13.38
豆粕 Soybean meal	27.50	干物质 Dry mater//%	89.68
鱼粉 Fish meal	1.00	粗蛋白质 Crude protein//%	18.29
石粉 Limestone	1.60	粗脂肪 Ether extract//%	3.92
磷酸氢钙 Calcium hydro- gen phosphate	1.20	Ca//%	0.92
氯化钠 Sodium chloride	0.35	有效磷 Available phosphorus//%	0.36
预混合饲料 Permixed feed	1.00		

注:预混料为每千克饲料提供维生素 A 8 000 IU、维生素 D 2 500 IU、维生素 E 15 mg、硫胺素 2 mg、核黄素 4 mg、泛酸 10 mg、烟酸 20 mg、生物素 0.06 mg、叶酸 0.2 mg、氯化胆碱 500 mg、铁 100 mg、铜 120 mg、锰 60 mg、锌 100 mg、碘 0.3 mg、硒 0.15 mg。消化能为计算值,其他指标为实际测定值。

Note: Premixed feed provided the following per kilogram of diet: vitamin A 8 000 IU, vitamin D 2 500 IU, vitamin E 15 mg, vitamin B<sub>1</sub> 2 mg, vitamin B<sub>2</sub> 4 mg, vitamin B<sub>3</sub> 10 mg, vitamin B<sub>6</sub> 20 mg, vitamin H 0.06 mg, vitamin B<sub>9</sub> 0.2 mg, choline chloride 500 mg, Fe 100 mg, Cu 120 mg, Mn 60 mg, Zn 100 mg, I 0.3 mg, Se 0.15 mg. DE was calculated value, and the other nutrient levels were measured values.

### 1.3 测定指标

1.3.1 生长性能。仔猪于正式试验开始和结束当天早晨空腹称重,并记录每天采食量,用于计算平均日增重(ADG)、平

均日采食量(ADFI)和料重比。

1.3.2 腹泻率。试验期间每天观察腹泻仔猪个数和持续天数。按照以下公式计算腹泻率(%) = (腹泻仔猪头数 × 腹泻天数) / (仔猪总数 × 饲养天数) × 100%。

1.3.3 抗氧化指标。于试验结束当天,从每组每个重复中随机选择 1 头仔猪进行前腔静脉采血。血样 3 000 r/min 离心 15 min 后制取血清,血清 - 20 °C 下保存备用。采血后进行屠宰试验,在每头猪左侧肝小叶中部取肝脏组织样,并用液氮处理后于 - 80 °C 下保存,以备后期测定。血清与肝脏组织中超氧化物歧化酶(SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(GSH)、过氧化氢酶(CAT)、总抗氧化能力(T - AOC)和丙二醛(MDA)使用相关试剂盒测定。试验所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。所有测定步骤按照试剂盒说明书进行。

1.4 数据处理 使用 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 多重比较进行组间差异显著性检验,所有试验结果均以平均值 ± 标准差表示,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

2.1 低聚木糖对断乳仔猪生长性能与腹泻率的影响 由表 2 可知,在断奶仔猪饲料中添加不同剂量的低聚木糖对仔猪的平均日采食量和平均日增重没有显著影响,但是试验 II 组和试验 III 组 ADG 有增加的趋势,ADFI 存在减少的趋势。此外,试验 II 组和试验 III 组料重比分别显著下降了 7.86% ( $P < 0.05$ ) 和 6.18% ( $P < 0.05$ )。同时,添加低聚木糖可以显著降低仔猪的腹泻率,而且以试验 II 组的效果最佳,仔猪腹泻率与对照组相比下降了 75.23% ( $P < 0.05$ )。

表 2 低聚木糖对断奶仔猪生长性能和腹泻率的影响

Table 2 Effect of XOS on growth performance and diarrhea rate of weaned piglets

组别 Groups	初重 Initial weight//kg	末重 Final weight//kg	平均日增重 ADG//g/d	平均日采食量 ADFI//g/d	料重比 Feed-gain ratio(F/G)	腹泻率 Diarrhea rate//%
对照组 Control group	10.14 ± 0.10	24.89 ± 0.35 a	472.74 ± 8.80 a	838.87 ± 22.98 a	1.78 ± 0.05 a	3.23 ± 0.46 a
试验 I 组 Experiment I	10.25 ± 0.10	23.42 ± 0.43 a	459.37 ± 7.36 a	831.60 ± 42.39 a	1.81 ± 0.09 a	1.19 ± 0.93 b
试验 II 组 Experiment II	10.03 ± 0.07	24.40 ± 1.03 a	479.17 ± 35.35 a	787.83 ± 62.22 a	1.64 ± 0.02 b	0.80 ± 0.69 b
试验 III 组 Experiment III	10.17 ± 0.23	24.86 ± 0.53 a	489.74 ± 18.46 a	819.83 ± 62.14 a	1.67 ± 0.03 b	1.11 ± 0.35 b

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference ( $P < 0.05$ ).

2.2 低聚木糖对断乳仔猪血清中抗氧化指标的影响 由表 3 可知,与对照组相比,试验 I 组、试验 II 组和试验 III 组血清 T - AOC 分别提高了 39.28%、69.84% 和 52.78%,差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。同时,试验 II 组血清 T - AOC 显著高于其他试验组( $P < 0.05$ );日粮中添加低聚木糖对断奶仔猪血

清中 CAT、SOD 和 GSH - Px 活性没有显著影响( $P > 0.05$ )。试验 II 组和试验 III 组血清中丙二醛含量显著低于对照组与试验 I 组( $P > 0.05$ ),其中试验 II 组血清中丙二醛含量比对照组降低了 26.07%。

表 3 低聚木糖对断奶仔猪血清抗氧化性能的影响

Table 3 Effect of XOS on serum antioxidant indexes of weaned piglets

组别 Groups	T - AOC U/mL	CAT 活性 CAT activity//U/mL	SOD 活性 SOD activity//U/mL	GSH - Px 活性 GSH-Px activity// $\mu$ mol/L	MDA 含量 MDA content//nmol/mL
对照组 Control group	2.52 ± 0.26 a	14.79 ± 0.47 a	46.05 ± 8.54 a	998.35 ± 53.91 a	3.72 ± 0.25 a
试验 I 组 Experiment I group	3.51 ± 0.09 b	13.11 ± 2.06 a	54.25 ± 2.87 a	928.59 ± 88.26 a	3.75 ± 0.35 a
试验 II 组 Experiment II group	4.28 ± 0.19 c	14.19 ± 1.05 a	50.97 ± 4.50 a	904.33 ± 66.84 a	2.75 ± 0.11 b
试验 III 组 Experiment III group	3.85 ± 0.05 b	14.25 ± 0.77 a	55.35 ± 2.93 a	947.60 ± 71.03 a	3.08 ± 0.12 b

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference ( $P < 0.05$ ).

**2.3 低聚木糖对断奶仔猪肝脏组织抗氧化指标的影响** 由表4可知,日粮中添加低聚木糖对断奶仔猪肝脏组织中T-AOC以及GSH-Px活性没有显著影响( $P < 0.05$ )。与对照组相比,试验Ⅱ组与试验Ⅲ组肝脏中CAT活性分别提高了20.53%与36.91%,达到显著水平( $P < 0.05$ )。各试验组肝

脏SOD活性均显著高于对照组( $P < 0.05$ );低聚木糖添加组MDA含量均显著低于对照组( $P < 0.05$ )。这表明日粮中添加低聚木糖能有效增加断奶仔猪肝脏的抗氧化能力,降低肝脏中丙二醛含量。

表4 低聚木糖对断奶仔猪肝脏抗氧化性能的影响  
Table 4 Effect of XOS on liver antioxidant indexes of weaned piglets

组别 Groups	T-AOC U/mg prot	CAT活性 CAT activity U/mg prot	SOD活性 SOD activity U/mg prot	GSH-Px活性 GSH-Px activity U/mg prot	MDA含量 MDA content nmol/mg prot
对照组 Control group	2.67 ± 0.39 a	135.39 ± 4.90 a	200.13 ± 30.31 a	65.36 ± 1.41 a	1.02 ± 0.07 a
试验Ⅰ组 Experiment I group	2.43 ± 0.77 a	129.97 ± 7.66 a	286.07 ± 31.77 b	71.43 ± 7.62 a	0.68 ± 0.03 c
试验Ⅱ组 Experiment II group	2.75 ± 0.91 a	163.19 ± 6.01 b	339.30 ± 48.16 b	66.37 ± 5.11 a	0.82 ± 0.06 b
试验Ⅲ组 Experiment III group	2.68 ± 0.28 a	185.37 ± 5.00 b	279.70 ± 30.16 b	68.49 ± 2.41 a	0.77 ± 0.01 bc

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

**3.1 低聚木糖对断奶仔猪生长性能及腹泻率的影响** 低聚木糖作为一种新型寡聚糖,不仅具有益生菌的基本特性,而且来源广泛,因此倍受人们关注。王继成等<sup>[11]</sup>报道日粮中添加250 g/t的低聚木糖能够显著增加仔猪的ADG和降低料重比。但是,关于低聚木糖对仔猪生长性能影响的结果表现并不一致。周韶等<sup>[12]</sup>与扶国才等<sup>[13]</sup>研究结果表明低聚木糖对仔猪及生长猪的ADG、ADFI和F/G均无显著影响作用。究其原因,这可能与仔猪的断奶时间、健康状况、饲养环境以及基础日粮组成、低聚木糖纯度和添加量有关。据报道,低聚木糖对生长性能低、健康状况差及生长环境恶劣的仔猪效果较显著<sup>[10]</sup>。该试验结果表明日粮中添加不同剂量低聚木糖对断奶仔猪的ADG和ADFI无显著影响,但是日粮中200和400 mg/kg低聚木糖的断奶仔猪的料重比显著降低。料重比的降低说明低聚木糖提高了仔猪的饲料转化效率。Marinho等<sup>[14]</sup>和杨海英等<sup>[15]</sup>研究表明低聚木糖能够显著提高仔猪空肠和回肠的绒毛高度以及空肠的绒毛隐窝比,说明猪肠道表面积增大,营养物质吸收能力提高,因此可以改善仔猪的生长性能。

腹泻是仔猪断奶后最易发生的一种疾病。轻度腹泻会导致仔猪营养不良生长受阻,严重腹泻则导致仔猪脱水成僵猪,甚至死亡。仔猪免疫功能不健全,容易受到病原微生物的感染,病原微生物的感染是引起早期断奶仔猪腹泻的主要原因之一<sup>[16]</sup>。该试验结果表明日粮中添加低聚木糖可以显著降低仔猪的腹泻率。早期研究表明,在早期断奶仔猪日粮中添加功能性寡糖能够显著降低仔猪的腹泻率<sup>[17-18]</sup>。这主要与寡糖参与改善肠道微生态环境有关。王继成等<sup>[11]</sup>研究表明低聚木糖能够抑制结肠、盲肠与直肠中大肠杆菌的增殖,促进双歧杆菌和乳酸杆菌的增殖。双歧杆菌能够分泌一种广谱抗菌物质,对沙门氏菌属、李斯特菌属、弯曲杆菌属、志贺氏菌属以及霍乱弧菌属都有抑制效果;乳酸菌的代谢产物(乳酸和过氧化氢)能够抑制沙门氏菌、致病性大肠杆菌以及金黄色葡萄球菌的生长繁殖<sup>[19-21]</sup>。体外试验表明,双歧杆菌特别是青春双歧杆菌可以发酵利用低聚木糖,而梭菌和

大肠杆菌则不能利用低聚木糖<sup>[22]</sup>。肠道内有益菌(如双歧杆菌、乳酸杆菌)黏附于肠上皮表面或分布于黏液层,可以形成肠道防御屏障,抑制病原菌黏附定殖<sup>[23]</sup>,同时有益菌数量的增加可以与病原菌竞争营养物质,也能达到抑菌作用。Oli等<sup>[24]</sup>研究表明给急性分泌型腹泻的猪灌服添加果寡糖的电解质溶液能够促进其肠道益生菌的恢复。因此,低聚木糖是通过调节肠道微生物区系来改善仔猪断奶后的腹泻情况。因此,断奶仔猪腹泻率的降低与添加低聚木糖增加仔猪肠道有益菌数量直接相关。

**3.2 低聚木糖对断奶仔猪抗氧化性能的影响** 活性氧自由基是机体正常的代谢产物,体内的抗氧化系统维持其生成与清除的动态平衡,但是一些不利因素的出现会导致自由基的大量积累,过量的自由基会攻击体内生物大分子和细胞,引起细胞和组织的损伤。血管、心脏、肾脏和神经系统等都是活性氧自由基作用的靶器官<sup>[25]</sup>。SOD、CAT和GSH-Px构成机体抗氧化酶系统。SOD是机体内重要且特异的超氧阴离子清除剂,能够催化超氧阴离子歧化为过氧化氢和氧,生成产物过氧化氢在CAT或GSH-Px的作用下,分解成水和氧分子,从而减轻过量超氧阴离子对机体产生的伤害。GSH-Px还能够清除脂类氢过氧化物,阻止自由基对机体的进一步损伤。T-AOC是衡量机体抗氧化酶系统和非酶促类系统功能的综合指标。MDA是脂质过氧化的终产物,它会对机体生物膜结构产生严重的损伤,进而影响其功能。研究表明,早期断奶会引起仔猪肠道屏障功能的退化,体内自由基增加,抗氧化性能以及消化酶活力的降低,从而导致氧化应激的产生<sup>[26]</sup>。笔者在仔猪日粮中添加低聚木糖,发现低聚木糖能提高仔猪的抗氧化性能,降低早期断奶引起的氧化应激,改善仔猪早期断奶综合征。丁苏<sup>[9]</sup>研究表明给营养性氧化应激的小鼠饲喂低聚木糖能够显著提高其血浆及组织中T-AOC和SOD、CAT、GSH-Px的活力,显著降低MDA的含量。这说明低聚木糖可以作为一种抗氧化剂,用于提高抗氧化酶活性从而减少氧化应激对机体损伤。李志明等<sup>[27]</sup>报道添加低聚木糖能够提高断奶仔猪血清的T-AOC和SOD的活力。该试验结果表明添加低聚木糖能够显著提高

仔猪血清的 T-AOC 和肝脏中的 CAT、SOD 的活力,显著降低血清和肝脏中丙二醛的含量,结果与前人研究结果基本一致。低聚木糖调节肠道菌群可能是其发挥抗氧化作用的机制之一。前人研究表明低聚木糖在促进肠道乳酸菌的增殖,抑制大肠杆菌的增殖同时,低聚木糖还能够增强乳酸菌自身抗氧化能力<sup>[11,28]</sup>、有减缓机体氧化应激的效果<sup>[29]</sup>。体内的亚铁离子能够加快大肠杆菌的增殖,同时大肠杆菌会产生超氧阴离子自由基。但是,乳酸菌不仅可以产生 SOD 清除自由基,而且能够抑制亚铁离子系统中脂过氧化物的形成。因此,低聚木糖可以通过调节肠道微生物区系提高机体的抗氧化能力。

#### 4 结论

日粮中添加适量低聚木糖能够改善断奶仔猪的生长性能,降低仔猪的腹泻率,同时还能够提高仔猪的抗氧化能力。低聚木糖的适宜添加量为 200 mg/kg。

#### 参考文献

- [1] 本刊. 美国计划三年后禁止饲料添加预防性抗生素[J]. 江西畜牧兽医杂志,2014(5):29.
- [2] YIN Y L, TANG Z R, SUN Z H, et al. Effect of galacto-mannan-oligosaccharides or chitosan supplementation on cytoimmunity and humoral immunity in early-weaned piglets[J]. Asian Australasian journal of animal sciences, 2008, 21(5): 723-731.
- [3] YANG C M, FERKET P R, HONG Q H, et al. Effect of chito-oligosaccharide on growth performance, intestinal barrier function, intestinal morphology and cecal microflora in weaned pigs[J]. Journal of animal science, 2012, 90(8): 2671-2676.
- [4] DE MAESSCHALCK C, EECKHAUT V, MAERTENS L, et al. Effects of xylo-oligosaccharides on broiler chicken performance and microbiota[J]. Applied and environmental microbiology, 2015, 81(17): 5880-5888.
- [5] POURABEDIN M, GUAN L, XIN Z. Xylo-oligosaccharides and virginiamycin differentially modulate gut microbial composition in chickens[J]. Microbiome, 2015, 3(1): 1-12.
- [6] 宋晓春. 低聚木糖在仔猪和生长育肥猪生产中应用的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2006.
- [7] 郭小云, 谢春艳, 吴信, 等. 围产期母猪日粮中添加低聚木糖和活性酵母对哺乳仔猪血液生化及免疫力的影响[C]//李爱科, 李绍钰. 中国畜牧兽医学动物营养学会中国饲料营养学术研讨会论文集. 北京: 中国农业大学出版社, 2014.
- [8] 徐丽萍, 马明颖. 低聚木糖对雏鸡生长性能、免疫功能及营养物质利用率的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(13): 7835-7836.
- [9] 丁苏. 微波合成低聚木糖及其抗氧化与降血脂作用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008.
- [10] 吴秋珏, 徐廷生, 王玉琴, 等. 低聚木糖对断奶仔猪生产性能的影响[J]. 当代畜牧, 2007(11): 32-34.
- [11] 王继成, 潘灵辉, 李淑云, 等. 低聚木糖对断奶仔猪生产性能、肠道菌群

及免疫水平影响的研究[J]. 中国畜牧兽医, 2006, 33(5): 3-7.

- [12] 周韶, 黄华山, 杨在宾, 等. 低聚木糖对仔猪生产性能和肠道微生物影响的研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2011, 42(1): 84-88.
- [13] 扶国才, 罗有文, 周岩民. 低聚木糖对生长猪生产性能和抗氧化功能的影响[J]. 江苏农业科学, 2009(1): 221-222.
- [14] MARINHO M C, PINHO M A, MASCARENHAS R D, et al. Effect of prebiotic or probiotic supplementation and ileo rectal anastomosis on intestinal morphology of weaned piglets[J]. Livestock science, 2007, 108(1): 240-243.
- [15] 杨海英, 杨在宾, 杨维仁, 等. 益生菌和低聚木糖对断奶仔猪生产性能和肠道形态学影响研究[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(1): 116-120.
- [16] 吴银宝, 汪植三. 早期断奶仔猪腹泻的研究概述[J]. 家畜生态学报, 1999, 20(3): 45-48.
- [17] LIU P, PIAO X S, KIM S W, et al. Effects of chito-oligosaccharide supplementation on the growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, and fecal shedding of *Escherichia coli* and *Lactobacillus* in weaning pigs[J]. J Anim Sci, 2008, 86(10): 2609-2618.
- [18] 车向荣, 岳文斌, 臧建军, 等. 功能性低聚糖对断奶仔猪腹泻的防治及生产性能的影响[J]. 中国兽医学报, 2003, 23(3): 292-294.
- [19] GIBSON G R, WANG X. Regulatory effects of bifidobacteria on the growth of other colonic bacteria[J]. Journal of applied bacteriology, 1994, 77(4): 412-420.
- [20] OTERO M C, NADER-MACÍAS M E. Inhibition of *Staphylococcus aureus* by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-producing *Lactobacillus gasseri* isolated from the vaginal tract of cattle[J]. Animal reproduction science, 2006, 96(1/2): 35-46.
- [21] PARVEZ S, MALIK K A, AH KANG S, et al. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health[J]. Journal of applied microbiology, 2006, 100(6): 1171-1185.
- [22] OKAZAKI M, FUJIKAWA S, MASTUMOTO N. Effect of xylo-oligosaccharide on the growth of bifidobacteria[J]. Bifidobacteria and microflora, 1990, 9(2): 77-86.
- [23] BAUMGART D C, DIGNASS A U. Intestinal barrier function[J]. Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care, 2002, 5(6): 685-694.
- [24] OLI M W, PETSCHOW B W, BUDDINGTON R K. Evaluation of fructooligosaccharide supplementation of oral electrolyte solutions for treatment of diarrhea (recovery of the intestinal bacteria)[J]. Digestive diseases and sciences, 1998, 43(1): 138-147.
- [25] 黄晓凤, 程翔. 氧化应激与高血压[J]. 西部医学, 2007, 19(4): 695-697.
- [26] ZHU L H, ZHAO K L, CHEN X L, et al. Impact of weaning and an antioxidant blend on intestinal barrier function and antioxidant status in pigs[J]. Journal of animal science, 2012, 90(8): 2581-2589.
- [27] 李志明, 周岩民, 吴秋珏. 不同粒度低聚木糖对断奶仔猪生产性能、血清生化、抗氧化和粪便微生物的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2016(4): 63-66.
- [28] 贾丽丽, 孙进, 乐国伟, 等. 低聚糖对乳酸菌抗氧化胁迫能力的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(16): 191-194.
- [29] SUN J, HU X L, LE G W, et al. Lactobacilli prevent hydroxy radical production and inhibit *Escherichia coli* and *Enterococcus*, growth in system mimicking colon fermentation[J]. Letters in applied microbiology, 2010, 50(3): 264-269.

#### (上接第 38 页)

- [12] 陈昌盛. 水浴消解-原子荧光光谱法测定土壤中的砷[J]. 环保科技, 2009, 15(2): 26-27.
- [13] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 330-378.
- [14] 郭伟, 孙文惠, 赵仁鑫, 等. 呼和浩特市不同功能区土壤重金属污染特征及评价[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1561-1567.
- [15] BAI J H, CUI B S, CHEN B, et al. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China[J]. Ecological modelling, 2011, 222(2): 301-306.
- [16] 李晋昌, 张红, 石伟. 汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 116-120.
- [17] 于家宝, 董洪芳, 王慧彬, 等. 黄河三角洲新生湿地土壤重金属元素空间分布特征[J]. 湿地科学, 2011, 9(4): 297-304.
- [18] GAILEY F A Y, LLOYD O L. Spatial and temporal patterns of airborne

metal pollution: The value of low technology sampling to an environmental epidemiology study[J]. Science of the total environment, 1993, 133(3): 201-219.

- [19] ZHAO L L, YOU W B, HU H Q, et al. Spatial distribution of heavy metals (Cu, Pb, Zn, and Cd) in sediments of a coastal wetlands in eastern Fujian, China[J]. Journal of forestry research, 2015, 26(3): 703-710.
- [20] 陈雪龙, 齐艳萍, 吴海燕, 等. 大庆龙凤湿地土壤重金属空间分布特征[J]. 水土保持研究, 2013, 20(4): 141-144.
- [21] 王济, 王世杰. 土壤中重金属环境污染元素的来源及作物效应[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(2): 113-120.
- [22] 刘汝海, 王起超, 吕宪国, 等. 三江平原湿地表的地球化学特征[J]. 环境科学学报, 2002, 22(5): 661-663.
- [23] 张鹏岩, 秦明周, 陈龙, 等. 黄河下游滩区开封段土壤重金属分布特征及其潜在风险评价[J]. 环境科学, 2013, 34(9): 3654-3662.