

复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、营养物质表观消化率、血清抗氧化指标及内源消化酶活性的影响

史林鑫 乔鹏飞 龙沈飞 陆文清*

(中国农业大学动物科技学院农业部饲料工业中心,动物营养学国家重点实验室,北京 100193)

摘要: 本试验旨在评价复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、营养物质表观消化率、血清抗氧化指标和内源消化酶活性的影响。选用 84 头初始体重为 (7.22 ± 0.22) kg 的 28 日龄杜×长×大断奶仔猪,按完全随机区组设计分为 2 个组,每组 7 个重复,每个重复 6 头猪(公母各占 1/2)。对照组仔猪饲喂玉米-豆粕型基础饲料,复合酶组仔猪饲喂在基础饲料中添加 1 000 mg/kg 复合酶制剂(包含 4 000 U/g 纤维素酶、1 500 U/g α -淀粉酶、150 U/g β -葡聚糖酶和 3 000 U/g 中性蛋白酶)的试验饲料。饲养期为 35 d,分为前期(1~14 d)和后期(15~35 d)2 个阶段。结果显示:与对照组相比,饲料中添加复合酶制剂显著降低断奶仔猪全期的料重比(F/G)($P < 0.05$),并有降低前期($P = 0.09$)及后期 F/G($P = 0.05$)的趋势;复合酶组断奶仔猪前期及后期的中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)和粗脂肪(EE)表观消化率显著或极显著提高($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),前期有机物(OM)($P = 0.07$)、粗蛋白质(CP)($P = 0.09$)和总能(GE)的表观消化率($P = 0.08$)以及后期 CP($P = 0.07$)和 GE 的表观消化率($P = 0.09$)有提高的趋势。与对照组相比,在试验第 14 天,饲料中添加复合酶制剂显著或极显著提高血清总抗氧化能力(T-AOC)和总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$),显著降低血清丙二醛(MDA)含量($P < 0.05$),趋于增加血清谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性($P = 0.06$);在试验第 35 天,饲料中添加复合酶制剂显著提高血清 GSH-Px 活性($P < 0.05$),对血清其余抗氧化指标无显著影响($P > 0.05$)。此外,与对照组相比,饲料中添加复合酶制剂显著增强了空肠和回肠黏膜蔗糖酶以及回肠黏膜乳糖酶和胰脏胰脂肪酶活性($P < 0.05$),趋于增加空肠黏膜麦芽糖酶活性($P = 0.07$)。综上所述,饲料中添加 1 000 mg/kg 复合酶制剂能通过提高营养物质的消化率和内源消化酶活性以及增强血清抗氧化能力来改善断奶仔猪机体健康水平和生长性能。

关键词: 复合酶;断奶仔猪;生长性能;营养物质消化率;抗氧化能力;消化酶活性

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)08-3872-10

非淀粉多糖(non-starch polysaccharides, NSP)是谷物饲料中常见的抗营养因子,主要以阿拉伯木聚糖、 β -葡聚糖、甘露聚糖和其他聚合物的形式存在于谷物的糊粉、胚乳和果皮或种皮中^[1]。前

人的研究已经证明 NSP 的高黏度和系水能力会干扰其他营养物质的消化和吸收,减少消化酶与底物的接触时间,影响肠道内菌群结构,进而导致畜禽生长性能的下^[2-4]。豆粕是猪饲料中最为常

收稿日期:2019-01-29

基金项目:国家自然科学基金项目(31772612)

作者简介:史林鑫(1995—),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 1369319242@qq.com

* 通信作者:陆文清,副研究员,硕士生导师,E-mail: luwq196825@126.com

用的植物性蛋白质原料,其质量优良且稳定^[5]。但豆粕中同样含有抗营养因子,包括蛋白酶抑制因子、凝集素、大豆抗原蛋白和低聚糖(棉籽糖和水苏糖)等^[6]。蛋白酶抑制因子、凝集素可以通过热加工降低到动物可耐受的程度,而NSP、低聚糖与大豆抗原蛋白则具有热稳定性^[7]。此外,木聚糖通常与细胞壁蛋白结合,因此有理由认为在饲料中添加由NSP酶与蛋白酶组成的复合酶可以取得较好的降解效果。

目前,酶制剂在实际生产中已取得良好的应用效果。Tiwari等^[8]在含玉米干酒糟及其可溶物(DDGS)的育肥猪饲料中补充木聚糖酶及甘露聚糖酶后,提高了总NSP及总能的回肠表观消化率,并降低了空肠食糜黏度;Pan等^[9]发现,猪饲料中补充蛋白酶可以提高能量的利用效率,减少氮素损失,并显著提高干物质(DM)、有机物(OM)和粗蛋白质(CP)的全消化道表观消化率以及氨基酸的回肠表观消化率;Liu等^[10]分别在含麦麸和大豆皮的生长猪饲料中补充复合NSP酶,发现OM和CP的表观消化率均得到提高。

目前大多数研究主要探索不同酶制剂对大麦、燕麦或DDGS等农副产品作为基础饲料的作用,对于酶制剂是否能够提高玉米-豆粕型饲料利用效率的研究较少。玉米和豆粕是猪饲料中占比较高的饲料原料,其NSP的含量分别为9.5%和19.2%,且主要为纤维素和阿拉伯木聚糖^[11-12],远低于大麦、高粱或小麦等。因此,通过添加酶制剂以提高豆粕和玉米的利用效率更具挑战性。因

此,本试验通过在玉米-豆粕型饲料中添加一种由NSP酶与蛋白酶组成的复合酶制剂,评估其对断奶仔猪生长性能、营养物质表观消化率、血清抗氧化指标及内源消化酶活性的影响,为复合酶在实际生产中的应用提供科学依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验所用复合酶制剂由杜邦公司(美国)提供,主要成分为纤维素酶(4 000 U/g)、 α -淀粉酶(1 500 U/g)、 β -葡聚糖酶(150 U/g)和中性蛋白酶(3 000 U/g)。根据体外试验结果及生产公司建议,添加量为1 000 mg/kg。

1.2 试验动物及设计

试验选取84头28日龄断奶、初始体重为(7.22 \pm 0.22) kg的“杜 \times 长 \times 大”三元杂交仔猪,按照随机完全区组设计,将仔猪按照性别和体重随机分配到2个组中,每组7个重复,每个重复6头猪(公母各占1/2)。对照组仔猪饲喂玉米-豆粕型基础饲料,复合酶组仔猪饲喂在基础饲料基础上添加1 000 mg/kg复合酶制剂的试验饲料。饲养期为35 d,分为前期(1~14 d)和后期(15~35 d)2个阶段。

1.3 基础饲料

试验用基础饲料根据NRC(2012)推荐的断奶仔猪营养需求配制,为粉末状配合饲料。基础饲料组成及营养水平见表1。

表1 基础饲料组成及营养水平(饲喂基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (as-fed basis)

%

项目 Items	含量 Content	
	前期 Early period (1~14 d)	后期 Later period (15~35 d)
原料 Ingredients		
玉米 Corn	55.58	64.25
豆粕 Soybean meal	21.53	18.15
膨化全脂大豆 Extruded full-fat soybean	9.07	6.31
鱼粉 Fish meal	2.58	2.05
乳清粉 Whey powder	4.63	3.66
豆油 Soybean oil	2.65	2.00
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.32	0.94
石粉 Limestone	0.99	0.96
食盐 NaCl	0.31	0.30
L-赖氨酸盐酸盐 L-Lys · HCl	0.50	0.52

续表 1

项目 Items	含量 Content	
	前期 Early period (1~14 d)	后期 Later period (15~35 d)
DL-蛋氨酸 DL-Met	0.15	0.15
苏氨酸 Thr	0.16	0.18
色氨酸 Trp	0.03	0.04
预混料 Premix ¹⁾	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾		
消化能 DE/(MJ/kg)	14.83	14.61
粗蛋白质 CP	19.81	17.65
钙 Ca	0.88	0.74
可消化磷 DP	0.43	0.35
可消化赖氨酸 DLys	1.37	1.23
可消化蛋氨酸 DMet	0.43	0.40
可消化蛋氨酸+可消化半胱氨酸 DMet+DCys	0.74	0.68
可消化苏氨酸 DThr	0.79	0.73
可消化色氨酸 DTry	0.22	0.20

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 12 000 IU, VB₁ 2.5 mg, VB₂ 4 mg, VB₆ 3 mg, VB₁₂ 0.02 mg, VD₃ 2 000 IU, VE 30 IU, VK₃ 2.5 mg, 烟酸 nicotinic acid 40 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 12.5 mg, 叶酸 folic acid 0.7 mg, 生物素 biotin 0.12 mg, Cu (as copper sulfate) 10 mg, Fe (as ferrous sulfate) 100 mg, Mn (as manganese sulfate) 61.52 mg, Zn (as zinc sulfate) 100 mg, I (as potassium iodide) 0.25 mg, Se (as sodium selenite) 0.30 mg。

²⁾ 所有营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

1.4 饲养管理

饲养试验在中国农业大学丰宁动物试验基地开展,仔猪饲养在全漏缝地板网床上,自由采食和饮水,按常规程序进行驱虫和免疫,并定期对猪舍进行清洁消毒。舍内环境温度由恒温控制仪自动调节,定时开窗通风。

1.5 样品采集

1.5.1 血清样品

在试验第 14 和 35 天清晨进行采血,仔猪采血前需空腹 8 h。每个重复内各选取 1 头健康仔猪于前腔静脉处采血约 5 mL,静置 1 h,随后 3 500 r/min(约 2 800×g)离心 10 min,吸取上层血清于-20℃保存。

1.5.2 肠道黏膜及胰脏样品

饲养试验结束后,每组各选 4 头(公母各占 1/2)体重接近该组平均体重的健康仔猪进行屠宰。取胰脏、空肠及回肠后段肠段约 15 cm,以无菌载玻片小心刮取肠道表面黏膜,储存在 1.5 mL 冻存管内,并用液氮速冻后于-80℃储存。

1.6 检测指标

1.6.1 生长性能

试验第 1、14 和 35 天早晨对仔猪进行空腹称重,计算仔猪的平均日增重(ADG),并统计采食量以计算平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。

1.6.2 营养物质表观消化率

配制饲料时,额外添加三氧化二铬(Cr₂O₃)作为外源指示剂,每种饲料取 500 g 样品用于测定各营养物质含量。在每个试验阶段最后 3 d 收集粪便样品,每栏收集约 200 g,混匀后放入无菌自封袋内中并暂时储存在-20℃冷库内。收粪结束后,所有样品于 65℃烘箱中干燥 72 h,粉碎过 40 目筛。

营养物质表观消化率的计算公式如下:

$$\text{某营养物质表观消化率}(\%) = 100 \times [1 - (\text{饲料中铬含量} / \text{粪样中铬含量}) \times (\text{粪样中该营养物质含量} / \text{饲料中该营养物质含量})]$$

1.6.3 血清抗氧化指标

血清总超氧化物歧化酶(T-SOD)与谷胱甘肽过氧化物酶(GSH-Px)活性、总抗氧化能力(T-AOC)及丙二醛(MDA)含量均采用比色法测定,

所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,操作步骤按试剂盒说明书进行。

1.6.4 内源消化酶活性

空肠、回肠黏膜中麦芽糖酶、蔗糖酶、乳糖酶和以及胰脏中胰淀粉酶、胰脂肪酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶活性采用南京建成生物工程研究所生产的试剂,使用 UV-VIS 分光光度计(UV1100, MAPA-DA, 上海)进行测定。

1.7 数据处理及统计分析

所有原始数据通过 Excel 2010 整理后,使用 SAS 9.2 统计软件对相关指标进行单因素方差分析,并进行 t 检验。所有结果以 $P < 0.01$ 为差异极

显著, $P < 0.05$ 为差异显著, $0.05 \leq P < 0.10$ 为有变化趋势。

2 结果

2.1 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能的影响

复合酶制剂对断奶仔猪生长性能的影响见表 2。与对照组相比,饲料中添加复合酶制剂可以显著降低试验全期的 F/G ($P < 0.05$),同时试验前期 ($P = 0.09$) 及后期的 F/G ($P = 0.05$) 有降低趋势;饲料中添加复合酶制剂对断奶仔猪各阶段的 ADG、ADFI 无显著影响 ($P > 0.05$)。

表 2 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能的影响

Table 2 Effects of complex enzyme preparation on growth performance of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	复合酶组 Complex enzyme group	SEM	P 值 P-value
第 1 天体重 BW on day 1/kg	7.21	7.22	0.22	0.98
第 14 天体重 BW on day 14/kg	11.14	11.53	0.38	0.46
第 35 天体重 BW on day 35/kg	20.49	21.29	0.70	0.42
前期 Early period (1~14 d)				
平均日增重 ADG/g	284.92	292.71	13.21	0.68
平均日采食量 ADFI/g	446.05	439.53	28.28	0.87
料重比 F/G	1.57	1.50	0.02	0.09
后期 Later period (15~35 d)				
平均日增重 ADG/g	445.26	464.67	21.63	0.53
平均日采食量 ADFI/g	753.12	712.87	36.28	0.45
料重比 F/G	1.72	1.56	0.05	0.05
全期 Overall period (1~35 d)				
平均日增重 ADG/g	381.13	395.89	16.07	0.52
平均日采食量 ADFI/g	630.29	596.52	30.42	0.45
料重比 F/G	1.67 ^a	1.53 ^b	0.04	0.04

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。下表同。

Values in the same row with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P < 0.01$). The same as below.

2.2 复合酶制剂对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响

复合酶对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响见表 3。与对照组相比,饲料中添加复合酶制剂能显著或极显著提高断奶仔猪前期及后期中性洗涤纤维 (NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF) 和粗脂肪 (EE) 的表观消化率 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 有提高

前期 OM ($P = 0.07$)、CP ($P = 0.09$) 和 GE 的表观消化率 ($P = 0.08$) 以及后期 CP ($P = 0.07$) 和 GE 的表观消化率 ($P = 0.09$) 的趋势, 对其余指标无显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 复合酶制剂对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

复合酶制剂对断奶仔猪血清抗氧化指标的影

响见表4。在试验第14天时,与对照组相比,饲料添加复合酶分别极显著和显著提高断奶仔猪血清T-AOC活性($P < 0.01$)和血清T-SOD活性($P < 0.05$),同时显著降低了血清MDA含量($P <$

0.05),血清GSH-Px活性也有增高的趋势($P = 0.06$);在试验第35天,复合酶组显著提高了血清GSH-Px活性($P < 0.05$),其余指标无显著差异($P > 0.05$)。

表3 复合酶制剂对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响

Table 3 Effects of complex enzyme preparation on apparent digestibility of nutrients of weaned piglets %

项目 Items	对照组 Control group	复合酶组 Complex enzyme group	SEM	P值 P-value
前期 Early period (1~14 d)				
中性洗涤纤维 NDF	58.69 ^b	62.97 ^a	1.17	0.02
酸性洗涤纤维 ADF	68.96 ^b	71.58 ^a	0.75	0.03
有机物 OM	86.66	88.24	0.57	0.07
干物质 DM	85.08	85.62	0.55	0.70
粗脂肪 EE	38.54 ^b	47.50 ^a	3.39	0.03
粗蛋白质 CP	81.55	83.52	0.75	0.09
总能 GE	83.71	85.62	0.70	0.08
后期 Later period (15~35 d)				
中性洗涤纤维 NDF	37.83 ^b	43.26 ^a	1.52	0.03
酸性洗涤纤维 ADF	67.23 ^B	69.41 ^A	0.43	<0.01
有机物 OM	88.72	89.42	0.36	0.19
干物质 DM	86.14	86.64	0.30	0.47
粗脂肪 EE	60.36 ^a	64.39 ^b	1.10	0.02
粗蛋白质 CP	81.63	83.52	0.68	0.07
总能 GE	86.10	87.07	0.37	0.09

表4 复合酶制剂对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

Table 4 Effects of complex enzyme preparation on serum antioxidant indexes of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	复合酶组 Complex enzyme group	SEM	P值 P-value
第14天 Day 14				
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	6.80 ^B	8.81 ^A	0.45	<0.01
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	678.13	709.38	19.31	0.06
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	107.73 ^b	129.95 ^a	2.40	0.04
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.97 ^A	4.66 ^B	0.29	<0.01
第35天 Day 35				
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	4.60	4.64	0.44	0.95
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	649.89 ^b	726.56 ^a	19.62	0.02
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	181.82	178.52	2.09	0.28
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	2.84	2.58	0.12	0.17

2.4 复合酶制剂对断奶仔猪内源消化酶活性的影响

复合酶制剂对断奶仔猪内源消化酶活性的影响见表5。与对照组相比,饲料中添加复合酶制剂

可以显著提高空肠黏膜中蔗糖酶、回肠黏膜中蔗糖酶与乳糖酶以及胰脏中胰脂肪酶活性($P < 0.05$),有提高空肠黏膜中麦芽糖酶活性的趋势($P = 0.07$),对其余指标无显著影响($P > 0.05$)。

表 5 复合酶制剂对断奶仔猪内源消化酶活性的影响

Table 5 Effects of complex enzyme preparation on endogenous digestive enzyme activities of weaned piglets

项目 Items	对照组 Control group	复合酶组 Complex enzyme group	SEM	P 值 P-value
空肠黏膜 Jejunal mucosa				
麦芽糖酶 Maltase	47.04	72.15	8.10	0.07
蔗糖酶 Sucrase	269.14 ^b	376.27 ^a	27.34	0.03
乳糖酶 Lactase	87.32	98.54	4.25	0.11
回肠黏膜 Ileal mucosa				
麦芽糖酶 Maltase	51.05	56.14	3.91	0.39
蔗糖酶 Sucrase	123.58 ^b	165.10 ^a	8.03	0.01
乳糖酶 Lactase	68.17 ^b	101.03 ^a	6.22	0.01
胰脏 Pancreas				
胰淀粉酶 Amylopsin	0.13	0.12	0.01	0.86
胰脂肪酶 Pancrelipase	383.34 ^b	542.49 ^a	32.78	0.01
胰蛋白酶 Trypsin	145.02	155.52	17.16	0.68
糜蛋白酶 Chymotrypsin	7.71	8.48	0.52	0.33

3 讨论

3.1 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能及营养物质表观消化率的影响

在饲料中补充外源性的 NSP 酶及蛋白酶,可以降低 NSP、大豆球蛋白和蛋白酶抑制因子等的抗营养作用,提高饲料营养物质的消化率,从而提高仔猪的生长性能和饲料利用效率。Papadopoulos 等^[13]研究表明,在饲料中添加 0.5 g/kg 的复合 NSP 酶可以显著降低试验后期的 F/G。Prandini 等^[14]在 2 种不同的去壳大麦饲料中添加 NSP 酶,发现能够显著提高仔猪的全期 ADG,并降低全期的 F/G。Owusu-Asiedu 等^[15]通过添加不同剂量的木聚糖酶与 β -葡聚糖酶的复合酶,发现复合酶不仅能够显著降低全期 F/G,还可以提高 NSP 与部分单糖的表观消化率。另外,李洪龙等^[16]发现添加 0.1% 的金属蛋白酶制剂可以显著地降低 F/G,并显著提高了 CP 与 EE 的表观消化率。叶慧等^[17]研究发现,玉米-豆粕型饲料中添加 20 000 U/kg 的酸性蛋白酶后,断奶仔猪的 ADG 显著提高 5.71%,F/G 显著降低 6.71%。本试验发现,在玉米-豆粕型饲料中添加含有 NSP 酶与中性蛋白酶的复合酶制剂,可显著降低全期 F/G,提高前期及后期仔猪对 NDF、ADF 和 EE 的表观消化率,同时仔猪在试验第 14 与 35 天的体重分别提高

了 3.5% 和 3.9%,仔猪前期和后期 ADG 分别提高了 2.73% 和 4.36%。可见,虽然玉米-豆粕型饲料相较于麦类饲料抗营养因子含量要低,但该复合酶制剂对断奶仔猪仍具有一定的改善生长性能的效果。这是因为,NSP 酶将更多的营养物质从谷物细胞壁内释放出来,中性蛋白酶则将豆粕中哺乳动物难以分解的大豆抗原蛋白等分解成易吸收的小肽和氨基酸^[18-19],增加了营养物质的浓度,并能够增强断奶仔猪的抗氧化能力与消化酶活性^[20],从而提高断奶仔猪的生长性能和营养物质消化率。

3.2 复合酶制剂对断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

正常情况下,动物机体内的自由基代谢处于动态平衡,从而维持动物机体的健康状态。由病理或应激引起的过量氧自由基生成,会对动物机体产生损伤^[21]。机体自身的酶促抗氧化系统包括超氧化物歧化酶(SOD)和 GSH-Px 等。SOD 能清除超氧阴离子自由基,消除其对细胞膜的损伤作用;GSH-Px 则针对机体内的过氧化氢(H_2O_2)及一些脂类的过氧化自由基,抑制其生成,从而达到抗氧化的目的^[22];T-AOC 作为评价机体抗氧化能力的综合指标,包括酶类和非酶类抗氧化物(如维生素 C)的共同作用。MDA 是脂质过氧化物降解的主要产物,其含量越高,则表明机体的抗氧化能

力越弱^[23-24]。目前有关复合酶制剂对断奶仔猪血清抗氧化指标影响的研究相对较少,其具体的机制也尚不清晰。杨丽娜^[25]研究发现,饲料中添加0.05%和0.15%的复合酶(主要成分为酸性蛋白酶、真菌淀粉酶、木聚糖酶、甘露聚糖酶、葡萄糖氧化酶、酸性纤维素酶和半乳糖苷酶)均能显著提高断奶仔猪血清 T-AOC、GSH-Px 与 SOD 活性,降低 MDA 含量。Han 等^[26]研究发现,抗生素组仔猪饲料中添加 NSP 酶及酸性蛋白酶的复合酶,可以显著提高血清 GSH-Px 活性,并显著降低 MDA 含量;无抗生素组仔猪饲料中添加该复合酶,与抗生素+复合酶组相比,血清 MDA 含量显著降低。本试验研究得出的结论与前人研究相似,表明该复合酶制剂有提高仔猪血清抗氧化能力的效果,其原因可能是复合酶制剂中的 NSP 酶将 NSP 分解为寡糖,寡糖的益生作用调节了肠道内菌群结构,使有益菌的数量提高,有害菌的数量降低,并减少了肠道后段的异常发酵^[27-29],同时复合酶制剂中的中性蛋白酶降低了豆粕抗营养因子的作用,促进了仔猪肠道的发育及健康,从而提高了机体的抗氧化能力和健康状况。

3.3 复合酶制剂对断奶仔猪内源消化酶活性的影响

内源消化酶的活性是评价胃肠道消化功能强弱的重要指标之一。同一肠段内某消化酶活性的升高表明该酶的分泌量增加,同时还反映出该酶相应底物浓度的升高。二糖酶能够将二糖分解为动物可吸收利用的单糖,其活性的高低直接反映了动物肠道对饲料中糖类的消化利用能力^[30-31]。胰脏作为重要的消化器官,饲料中的蛋白质、糖类和脂肪等营养物质需要经过胰腺分泌的消化酶处理,才能被小肠上皮细胞吸收利用^[32]。许梓荣等^[33]研究发现,在大麦-豆粕型饲料补充 NSP 酶可以显著提高空肠黏膜中麦芽糖酶、蔗糖酶、乳糖酶和 γ -谷氨酰转移酶的活性。Zuo 等^[34]研究了蛋白酶对断奶仔猪内源消化酶活性的影响,结果表明,添加 200 和 300 mg/kg 蛋白酶的试验组胰蛋白酶、胰淀粉酶和胃蛋白酶的活性均显著高于对照组。但 Li 等^[35]研究表明,在大麦饲料中添加 1.5 g/L 的 NSP 酶对胰腺中消化酶和空肠黏膜中二糖酶活性无显著影响,回肠黏膜中 γ -谷氨酰转移酶活性显著提高了 118.75%。上述 2 篇文献研究结果不同,可能与酶制剂的种类和使用剂量有

关。Zuo 等^[34]添加的蛋白酶剂量较低,可能促进了 3 种内源性蛋白酶的合成,从而提高了对饲料中 CP 的消化率;Li 等^[35]添加的 NSP 酶剂量较高,对于饲料中的 NSP 水解更彻底,消除了 NSP 的营养屏障作用,增加了内源性消化酶与底物的接触,使其能更好地发挥消化功能。本试验表明,饲料中添加复合酶制剂能够显著提高空肠黏膜中蔗糖酶、回肠黏膜中蔗糖酶与乳糖酶及胰脏中胰脂肪酶活性,说明肠道食糜中二糖酶所对应的寡糖类底物浓度升高,从而证明玉米-豆粕型饲料中添加由 NSP 酶与蛋白酶组成的复合酶制剂可以有效降解饲料中多糖类成分。可见,在饲料中补充外源性的消化酶,可以将更多的营养物质从细胞内释放出来^[36-37],提高消化底物的浓度,增强内源性消化酶的活性和消化作用,从而改善断奶仔猪的生长性能。

4 结论

在玉米-豆粕型饲料中添加 1 000 mg/kg 由 NSP 酶与蛋白酶组成的复合酶制剂可以降低断奶仔猪的 F/G,提高营养物质的消化率,增强的血清抗氧化能力,降低氧化应激对断奶仔猪健康的损害,并提高内源消化酶活性,对于改善断奶仔猪的生长性能具有一定的效果。

致谢:

感谢中国农业大学动物科技学院尚庆辉博士对文稿所提的宝贵意见。

参考文献:

- [1] KNUDSEN K E B, SERENA A, KJAER A K B, et al. Rye bread enhances the production and plasma concentration of butyrate but not the plasma concentrations of glucose and insulin in pigs[J]. *The Journal of Nutrition*, 2005, 135(7): 1696-1704.
- [2] WU X Y, CHEN D W, YU B, et al. Effect of different dietary non-starch fiber fractions on growth performance, nutrient digestibility, and intestinal development in weaned pigs[J]. *Nutrition*, 2018, 51-52: 20-28.
- [3] CHOCT M, HUGHES R J, WANG J, et al. Increased small intestinal fermentation is partly responsible for the anti-nutritive activity of non-starch polysaccharides in chickens[J]. *British Poultry Science*, 1996, 37(3): 609-621.

- [4] ANNISON G. The role of wheat non-starch polysaccharides in broiler nutrition [J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1993, 44(3): 405-422.
- [5] JEZIERNY D, MOSENTHIN R, BAUER E. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: a review [J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 157(3/4): 111-128.
- [6] HART S D, BARROWS F T, DABROWSKI K, et al. Soybean antinutritional factors and their relative importance in limiting the use of soybean meal in salmonid diets [R]. United Soybean Board, Chesterfield, MO, and American Soybean Association, St. Louis, MO, USA, 2007.
- [7] ROOKE J A, SLESSOR M, FRASER H, et al. Growth performance and gut function of piglets weaned at four weeks of age and fed protease-treated soya-bean meal [J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 70(3): 175-190.
- [8] TIWARI U P, CHEN H Y, KIM S W, et al. Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both *in vivo* and *in vitro* models [J]. Animal Feed Science and Technology, 2018, 245: 77-90.
- [9] PAN L, ZHAO P F, YANG Z Y, et al. Effects of coated compound proteases on apparent total tract digestibility of nutrients and apparent ileal digestibility of amino acids for pigs [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2016, 29(12): 1761-1767.
- [10] LIU Q, ZHANG W M, ZHANG Z J, et al. Effect of fiber source and enzyme addition on the apparent digestibility of nutrients and physicochemical properties of digesta in cannulated growing pigs [J]. Animal Feed Science and Technology, 2016, 216: 262-272.
- [11] KNUDSEN K E B, NØRSKOV N P, BOLVIG A K, et al. Dietary fibers and associated phytochemicals in cereals [J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2016, 61(7), doi: 10.1002/mnfr.201600518.
- [12] CHOCT M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance [J]. Feed Milling International, 1997, 191: 13-26.
- [13] PAPADOPOULOS G A, MÜLLER K, SCHERTLING D, et al. Supplementation of lysolecithin in combination with a multi-non-starch polysaccharides enzyme improves the feed efficiency during the post-weaning period in piglets [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section A: Animal Science, 2014, 64(2): 130-136.
- [14] PRANDINI A, SIGOLO S, MOSCHINI M, et al. Effect of Italian heavy pig diets based on different barley varieties with or without non-starch polysaccharides degrading enzymes on growth performance, carcass characteristics and fresh thigh quality [J]. Italian Journal of Animal Science, 2016, 15(3): 428-436.
- [15] OWUSU-ASIEDU A, SIMMINS P H, BRUFAU J, et al. Effect of xylanase and β -glucanase on growth performance and nutrient digestibility in piglets fed wheat-barley-based diets [J]. Livestock Science, 2010, 134(1/2/3): 76-78.
- [16] 李洪龙, 孙明梅, 文玉兰. 金属蛋白酶制剂对仔猪生产性能的影响 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2006(12): 61.
- [17] 叶慧, 黄升科, 雷建平, 等. 组合型蛋白酶对仔猪生产性能和养分表观消化率的影响 [J]. 广东农业科学, 2013, 40(6): 120-123.
- [18] 王冠颖, 刘志国, 战晓燕, 等. 不同蛋白酶对豆粕酶解作用效果的研究 [J]. 饲料博览, 2017(9): 29-32.
- [19] MEINLSCHMIDT P, SCHWEIGGERT-WEISZ U, BRODE V, et al. Enzyme assisted degradation of potential soy protein allergens with special emphasis on the technofunctionality and the avoidance of a bitter taste formation [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 707-716.
- [20] 李学俭. β -甘露聚糖酶对断乳仔猪生产性能的影响及其机理的研究 [D]. 博士学位论文. 沈阳: 沈阳农业大学, 2008.
- [21] 武书庚. 肉仔鸡氧化应激模型的研究 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院, 2007.
- [22] 钟琴, 陈代文, 余冰, 等. 氧化应激对断奶仔猪的影响及营养的调控作用 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 1-8.
- [23] 伏润奇, 陈代文, 郑萍, 等. 酵母水解物对断奶仔猪生长性能、血清免疫和抗氧化能力及粪便菌群的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 351-359.
- [24] 魏金涛, 杨雪海, 赵娜, 等. 不同豆粕酶解发酵物对仔猪生长性能、血液生化指标、抗氧化能力的影响研究 [J]. 饲料工业, 2013(18): 55-58.
- [25] 杨丽娜. 复合酶制剂对仔猪生长性能、抗氧化能力和免疫力的影响 [D]. 硕士学位论文. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [26] HAN X Y, YAN F Y, NIE X Z, et al. Effect of replacing antibiotics using multi-enzyme preparations on production performance and antioxidant activity in piglets [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2017, 16(3): 640-647.
- [27] 高阳. 非淀粉多糖酶对猪生长性能和肉品质的影响 [D]. 硕士学位论文. 长春: 吉林大学, 2014.

- [28] ZHANG Y J, LIU Q, ZHANG W M, et al. Gastrointestinal microbial diversity and short-chain fatty acid production in pigs fed different fibrous diets with or without cell wall-degrading enzyme supplementation [J]. *Livestock Science*, 2018, 207: 105–116.
- [29] ZENG Z K, ZHU J L, SHURSON G C, et al. Improvement of *in vitro* ileal dry matter digestibility by non-starch polysaccharide degrading enzymes and phytase is associated with decreased hindgut fermentation [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 246: 52–61.
- [30] 田刚, 黄琳惠, 宋晓华, 等. 壳寡糖对氧化应激仔猪生长性能、抗氧化能力及空肠养分消化和转运能力的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(7): 2652–2661.
- [31] 贾玉川, 黄大鹏, 彭秋媛. 蛋氨酸锌和维生素 A 对断奶仔猪生长性能及小肠前段肠道功能的影响 [J]. *动物营养学报*, 2019, 31(1): 124–130.
- [32] 周芬. 断奶日龄和外源中性蛋白酶对仔猪生产性能、消化器官生长和消化酶活性的影响 [D]. 硕士学位论文. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [33] 许梓荣, 李卫芬, 孙建义. 大麦日粮中添加 NSP 酶对仔猪胰脏和小肠消化酶活性的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2002, 22(1): 99–101.
- [34] ZUO J J, LING B M, LONG L N, et al. Effect of dietary supplementation with protease on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, digestive enzymes and gene expression of weaned piglets [J]. *Animal Nutrition*, 2015, 1(4): 276–282.
- [35] LI W F, FENG J, XU Z R, et al. Effects of non-starch polysaccharides enzymes on pancreatic and small intestinal digestive enzyme activities in piglet fed diets containing high amounts of barley [J]. *World Journal of Gastroenterology*, 2004, 10(6): 856–859.
- [36] PEDERSEN N R, RAVN J L, PETTERSSON D. A multienzyme NSP product solubilises and degrades NSP structures in canola and mediates protein solubilisation and degradation *in vitro* [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2017, 234: 244–252.
- [37] JACOBSEN H J, KOUSOULAKI K, SANDBERG A S, et al. Enzyme pre-treatment of soybean meal: effects on non-starch carbohydrates, protein, phytic acid, and saponin biotransformation and digestibility in mink (*Neovison vison*) [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 236: 1–13.

Effects of Complex Enzyme Preparation on Growth Performance, Apparent Digestibility of Nutrients, Serum Antioxidant Indexes and Endogenous Digestive Enzyme Activities of Weaned Piglets

SHI Linxin QIAO Pengfei LONG Shenfei LU Wenqing*

(State Key Laboratory of Animal Nutrition, Ministry of Agriculture Feed Industry Centre, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of complex enzyme preparation on growth performance, apparent digestibility of nutrients, serum antioxidant indexes and endogenous digestive enzyme activities of weaned piglets. Eighty-four 28-day-old weaned piglets (Duroc×Landrace×Yorkshire) with an initial body weight of (7.22±0.22) kg were randomly allocated to one of two groups in a randomized complete block design. Each group contained 7 replicates and each replicate contained 6 piglets (3 males and 3 females). Piglets in control group were fed a corn-soybean meal basal diet, and piglets in complex enzyme group were fed an experimental diet which supplemented with 1 000 mg/kg complex enzyme preparation (containing 4 000 U/g cellulase, 1 500 U/g α -amylase, 150 U/g β -glucanase and 3 000 U/g neutral protease) based on the basal diet. The trial period was 35 d, which was divided into two phases: early period (1 to 14 d) and later period (15 to 35 d). The results showed that compared with the control group, dietary supplemented with compound enzyme preparation could significantly decrease the feed/gain (F/G) of overall period ($P<0.05$) and the F/G in early ($P=0.09$) and later periods ($P=0.05$) both had the potential to be decreased; the apparent digestibility of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and ether extract (EE) in early and later periods of complex enzyme group was significantly increased ($P<0.05$ or $P<0.01$), and there was a tendency to increase the apparent digestibility of organic matter (OM) ($P=0.07$), crude protein (CP) ($P=0.09$) and gross energy (GE) ($P=0.08$) in early stage and the apparent digestibility of CP ($P=0.07$) and GE ($P=0.09$) in later stage in complex enzyme group. Compared with the control group, dietary supplemented with compound enzyme preparation significantly increased serum total antioxidant capacity (T-AOC) and total superoxide dismutase (T-SOD) activity ($P<0.05$ or $P<0.01$), significantly decreased serum malondialdehyde (MDA) content ($P<0.05$), and tended to increase serum glutathione peroxidase (GSH-Px) activity ($P=0.06$) on day 14; dietary supplemented with compound enzyme preparation significantly increased the serum GSH-Px activity ($P<0.05$), and had no significant effects on the other serum antioxidant indices on day 35 ($P>0.05$). In addition, compared with the control group, dietary supplemented with compound enzyme preparation significantly enhanced the activities of sucrase in both jejunal and ileal mucosa, lactase in ileal mucosa and pancrelipase in pancreas ($P<0.05$), and there was a tendency to increase the maltase activity in jejunal mucosa in complex enzyme group ($P=0.07$). In conclusion, dietary supplemented with 1 000 mg/kg complex enzyme preparation has the potential to improve physiological health and growth performance of weaned piglets by increasing the digestibility of nutrients and the activities of endogenous digestive enzymes and enhancing the serum antioxidant capacity. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(8):3872-3881]

Key words: complex enzyme; weaned piglets; growth performance; apparent digestibility of nutrients; antioxidant capacity; digestive enzyme activities