

稻谷型日粮添加非淀粉多糖酶对生长猪消化道结构和功能的作用研究

许梓荣, 卢建军

(教育部动物分子营养学重点实验室 / 浙江大学饲料科学研究所, 杭州 310029)

摘要: 用 90 头 (35 ± 0.40 kg) 长嘉二元生长猪为试验对象, 研究了稻谷型日粮中添加非淀粉多糖 (NSP) 酶对其消化道结构和功能的影响。结果表明 (1) 添加非淀粉多糖酶组日增重提高 8.78% ($P < 0.05$), 料重比降低 9.42% ($P < 0.05$), 与玉米组相比无差异 (2) 添加非淀粉多糖酶使十二指肠内容物中的总蛋白水解酶、淀粉酶活性分别升高了 99.07% ($P < 0.01$) 和 18.41% ($P < 0.05$); 胃内容物中胃蛋白酶, 十二指肠内容物中胰蛋白酶、脂肪酶, 空肠粘膜和回肠粘膜中二糖酶、氨肽酶活性均有升高趋势 ($P > 0.05$) (3) 添加非淀粉多糖酶组十二指肠、空肠、回肠绒毛高度分别提高了 23.68% ($P < 0.05$), 56.00% ($P < 0.01$) 和 76.90% ($P < 0.01$) 微绒毛排列较规则且高度有升高趋势 ($P > 0.05$)。本研究结果揭示, 非淀粉多糖酶能显著改善生长猪消化道结构和功能, 提高饲料养分的消化吸收, 促进其生长。

关键词: 生长猪; 非淀粉多糖酶; 消化道; 结构; 功能

Effect of Exogenous NSP Enzymes (Xylanase , β -glucanase and Cellulase) on Structure and Function of Digestive Tract in Growing Pig Fed Paddy-based Diets

XU Zi-rong , LU Jian-jun

(Key Laboratory of Molecular Animal Nutrition , Ministry of Education / Feed Science Institute , Zhejiang University , Hangzhou 310029)

Abstract: Ninety Landrace \times Jia growing pigs with live weight of 35 ± 0.40 kg were randomly allocated into three groups, each of which was replicated three times with ten pigs per replicate. The pigs fed with either a conventional corn-based diet group I (Control) or a paddy-based diet (group II) or a paddy diet supplemented with 0.2% NSP enzymes (group III). All pigs were given ad libitum access to both feed and water. The results of feeding experiment showed that supplementation of NSP enzymes significantly increased ADG by 8.78% ($P < 0.05$) and decreased F/G by 9.42% ($P < 0.05$) over group II. No significant difference were found in ADG and F/G between control group I and the group III. The digestive experiment showed that adding NSP enzymes significantly improved apparent digestibility of CP, EE and CF by 18.76% ($P < 0.01$), 16.04% ($P < 0.05$) and 108.57% ($P < 0.05$), respectively compared with group II. The activities of proteolytic enzyme and α -amylase in duodenal contents were increased by 99.07% ($P < 0.01$) and 18.41% ($P < 0.05$) with the addition of NSP enzymes. No significant differences between group III and group II were found in activities of pepsin in the gastric content, the trypsin and lipase in duodenal contents, the disaccharidase and γ -glutamy transferase (γ -GT) in intestinal mucosa, but there was a tendency towards higher activities associated with the NSP enzymes diet ($P > 0.05$). The lengths of the villi within the duodenal, jejunal and ileal sections of the small

收稿日期: 2000-12-15

基金项目: 国家重大科技产业工程浙江分项资助项目(99-022-04-03), 浙江省重大科技攻关资助项目(991102406)

作者简介: 许梓荣(1941-), 男, 浙江长兴人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事动物营养和饲料科学研究。Tel: 0571-86091820, 86985824; E-mail: jzlu@zju.edu.cn

intestine of pigs receiving the NSP enzymes diet increased by 23.68% ($P < 0.05$), 56.00% ($P < 0.01$) and 76.90% ($P < 0.01$) respectively, as compared with the pigs in group II.

Key words: Growing pig; NSP enzymes; Digestive tract; Structure; Function

在日粮中添加外源酶制剂来提高动物对养分消化利用率和生长性能的效果已得到广泛肯定。对其作用机理的研究大多集中在外源酶制剂提高饲料消化率、激活内源消化酶活性等方面,而外源酶制剂对动物消化道结构和功能的影响研究很少,本研究在国内外对饲用酶制剂的广泛研究,又结合我国实际情况基础上,通过对生长猪消化道结构和功能的研究,探讨在早稻谷基础日粮中添加非淀粉多糖(non-starch polysaccharide, NSP)酶的促生长机理。为酶制剂及稻谷型饲粮在畜禽中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 非淀粉多糖酶 由浙江大学饲料科学研究所提供。其中木聚糖酶活性为 $12\ 000\ \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$, β -葡聚糖酶活性为 $8\ 000\ \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$, 纤维素酶活性为 $1\ 200\ \text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

木聚糖酶活性测定^[1]:吸取 $1.0\ \text{ml}\ 1.0\%$ β -葡聚糖(Primaco Co, 大麦木聚糖)底物(用 $0.1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 4.8 的醋酸钠缓冲液配置),预热 5 min 后,加入经适当稀释的酶液 $200\ \text{ml}$, 50°C 水浴反应 10 min,用 DNS 法测定木糖含量。在上述反应条件下,每秒钟产生相当于 $1\ \text{nmol}$ 木糖的酶量为 1 个酶活力单位。

β -葡聚糖酶活性测定^[2]:吸取 1.0% β -葡聚糖(Sigma Co, 大麦 β -葡聚糖)底物(用 $0.1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 4.8 的醋酸钠缓冲液配置) $1.8\ \text{ml}$, 预热 5 min 后,加入经适当稀释的酶液 $200\ \text{ml}$, 50°C 水浴反应 10 min,用 DNS 法测定葡萄糖含量。在上述反应条件下,每秒钟产生相当于 $1\ \text{nmol}$ 葡萄糖的酶量为 1 个酶活力单位。

纤维素酶活性测定^[3]:以 $1.0\ \text{ml}$ 用 $0.04\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ pH 4.8 的醋酸钠缓冲液配制的 1% 羟甲基纤维素钠溶液做底物,再加入 $1.0\ \text{ml}$ 经适当稀释的酶液 50°C 反应 15 min,用 DNS 法测定还原糖含量,每秒钟产生相当于 $1\ \text{nmol}$ 还原糖的酶量为 1 个酶活力单位。

1.1.2 试验动物 浙江省嘉兴市胥山养殖场的长嘉二元杂交猪。

1.1.3 试验日粮 参照美国 NRC(1988 版)猪的营养需要配合成的粉状全价饲料,配方及主要营养成分见表 1。

表 1 生长猪基础饲粮组成(%)及主要营养成分¹⁾

Table 1 Composition and nutrition content of the experimental diets

原料 Ingredient	玉米饲粮 Corn-based diet	稻谷饲粮 Paddy-based diet
玉米 Corn	68	—
稻谷 Paddy	—	72
豆粕 Soybean-meal	24	24
统糠 Rice bran	4	—
预混料 ¹⁾ Premix	4	4
主要营养成分 Nutrition level		
消化能 DE ²⁾ (MJ·kg ⁻¹)	12.98	12.00
粗蛋白 CP (%)	16.00	16.66
粗纤维 CF (%)	3.18	3.79

¹⁾ 每千克饲粮添加 $V_A\ 10\ 000\ \text{IU}$ 、 $V_{D_3}\ 1\ 500\ \text{IU}$ 、 $V_E\ 20\ \text{IU}$ 、 $V_{K_3}\ 4.0\ \text{mg}$ 、 $V_{B_{12}}\ 0.02\ \text{mg}$ 、 $V_{B_1}\ 4.4\ \text{mg}$ 、 $V_{B_2}\ 4.0\ \text{mg}$ 、 $V_{B_6}\ 2.0\ \text{mg}$ 、叶酸 $0.5\ \text{mg}$ 、烟酸 $22\ \text{mg}$ 、泛酸钙 $15\ \text{mg}$ 、Cu $150\ \text{mg}$ 、Fe $80\ \text{mg}$ 、Zn $80\ \text{mg}$ 、Mn $60\ \text{mg}$ 、 $\text{S}(\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})\ 0.27\ \text{mg}$ 、I(KI) $0.27\ \text{mg}$ (其中 Cu、Mn、Fe、Zn 均以硫酸盐形式添加)

²⁾ DE 为计算值,其它均为实测值

¹⁾ Supplemented per kg feed: $V_A\ 10\ 000\ \text{IU}$, $V_{D_3}\ 1\ 500\ \text{IU}$, $V_E\ 20\ \text{IU}$, $V_{K_3}\ 4.0\ \text{mg}$, $V_{B_{12}}\ 0.02\ \text{mg}$, $V_{B_1}\ 4.4\ \text{mg}$, $V_{B_2}\ 4.0\ \text{mg}$, $V_{B_6}\ 2.0\ \text{mg}$, folic acid $0.5\ \text{mg}$, nicotinic acid $22\ \text{mg}$, Ca-d-pantothenic acid $15\ \text{mg}$, Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) $150\ \text{mg}$, Fe ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) $80\ \text{mg}$, Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) $80\ \text{mg}$, Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) $60\ \text{mg}$, S ($\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) $0.27\ \text{mg}$, I (KI) $0.27\ \text{mg}$

²⁾ All analyzed except digest energy

1.2 试验方法

1.2.1 饲养试验 选择 90 头(体重 $35 \pm 0.40\ \text{kg}$) 长嘉二元杂交猪,按饲养试验要求分成 3 组,每组 3 个重复,每个重复 10 头(去势,公母各半)。其中一组饲喂玉米基础饲粮(玉米组),另 2 组分别饲喂含 0 和 0.2% 非淀粉多糖酶的稻谷-豆粕型饲粮,即未加酶组和加酶组。饲喂方式采用群饲,充分喂料(日喂 3 次),自由饮水。预试期 7 d,试验期 70 d。试验前对猪舍进行消毒,预试期间对试验猪打耳号、驱虫并防疫注射。试验期间每日记录料耗和腹泻情况。饲养试验结束时,停喂 24 h 后称重,计算试验猪平均日增重和料重比。

1.2.2 消化试验 在饲养试验结束前 10 d,每组选 6 头猪(公母各半),以 Cr_2O_3 为外源指示剂进行消化试验。在饲粮中均匀地拌入 0.5% Cr_2O_3 (分析

纯) 预试期 5 d, 试验期 3 d, 固定收粪时间在每天 14:00~15:00, 采用直肠收粪法, 每头猪分别收集并保存, 连收 3 d。粪样收集后立即用 10% HCl 按 5:1 比例拌匀, 于 $70 \pm 1^\circ\text{C}$ 烘箱中制成风干样品, 粉碎后于 4°C 密封保存待测。按中华人民共和国国家标准 GB/T 6432~6438—92~94 方法测定营养成分消化率。

1.2.3 屠宰试验 饲养试验结束后, 从 3 组的每个重复中各选体重 70 kg 左右试验猪 2 头(公母各 1 头) 禁食 24 h (自由饮水) , 称重后对猪进行屠宰, 并收集所需样品。

(1) 取胃、小肠、大肠、胰脏和肝脏并称量。

(2) 内容物样品: 剖开腹腔, 迅速结扎各段消化道, 而后分别收集胃、十二指肠、空肠、回肠内容物, 浸入液氮后再转移到 -70°C 低温冰箱保存待测。

(3) 消化道粘膜样品: 取由胃到回肠各段消化道, 挤出食糜, 剖开消化道, 用 0.9% 生理盐水轻轻冲洗掉肠壁上的内容物, 从相同位置分别剥取胃底部、空肠上段和回肠上段的粘膜, 置液氮保存, 而后放置 -70°C 低温冰箱保存待测。

(4) 小肠镜检样品: 切开小肠, 于相同位置分别取两段长度约 1 cm 的十二指肠、空肠、回肠, 用 0.9% NaCl 将其冲洗干净, 而后平铺在滤纸上将液体吸干, 分别浸入 4% 甲醛固定液和 2.5% 戊二醛固定液中固定, 置 4°C 冰箱中保存以待普通光镜和电镜分析用。

1.2.4 内源性消化酶活性测定 (1) 胃蛋白酶活性测定: 胃内容物胃蛋白酶的提取和胃粘膜中胃蛋白酶原的激活及活性测定参照文献 [4] 的方法进行。

(2) 胰脏中酶活性测定: 样品处理及胰总蛋白水解酶活性测定参照文献 [5] 方法进行, 胰蛋白酶和胰糜蛋白酶活性测定参照文献 [6] 的方法稍加修改;

胰淀粉酶活性测定按照宁波慈城生化试剂厂试剂盒提供的方法并稍作修改(即上清酶液又稀释 1 倍) , 在 CHEM-5 半自动生化分析仪上测定; 胰脂肪酶活性测定参照文献 [7] 的方法进行。

(3) 十二指肠内容物中酶活性测定: 取内容物 0.2 g 加入 4 ml 冷的生理盐水, 匀浆, 4°C 放置 24 h, 6 000 rpm 离心 15 min, 取上清液测定酶活。胰蛋白酶、十二指肠蛋白酶活和脂肪酶活性测定同胰脏; 淀粉酶活性测定按照试剂盒,

(4) 空肠、回肠粘膜中酶活性测定: 样品的处理及二糖酶活性测定参照文献 [8] 的方法进行。用卫生部上海生物制品研究所提供的葡萄糖试剂盒测定产生的葡萄糖量; γ -谷氨酰转移酶 (γ -GT) 活性测定: 用宁波慈城生化试剂厂的试剂盒测定。

1.2.5 小肠切片制作及绒毛、微绒毛形态结构观察
光镜切片制作: 将小肠 3 部分样品经固定、修整、脱水、包埋、切片和 H.E 染色制成切片, 光镜下用显微测微尺测定绒毛长度。电镜切片制作: 将组织块投入固定液中, 清洗后用梯度丙酮和乙醇脱水→塑料包埋剂包埋→标本囊→置入最终包埋剂中→包埋块修整→超薄切片→切片干燥→电镜观察微绒毛形态并进行显微拍照。

1.2.6 数据处理 本试验数据处理均采用 SAS (6.03 版) 软件进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 生长速度与饲料利用率

非淀粉多糖酶对生长猪生长速度和饲料利用率的影响见表 2。生长猪的稻谷基础日粮中添加非淀粉多糖酶, 其日增重提高 8.78% ($P < 0.05$), 料重比下降 9.42% ($P < 0.05$), 与玉米组相比无明显差异。

表 2 非淀粉多糖酶对生长猪生产性能的影响¹⁾

Table 2 Effects of NSP enzymes on performance of growing pigs

	饲料类型 Diet type			
	玉米组 Corn-based	未加酶组 Paddy-based	加酶组 Paddy + enzyme	
始重 IW (kg)	35.10 ± 1.68	35.65 ± 1.42	34.68 ± 1.62	
终重 FW (kg)	70.80 ± 2.17	67.49 ± 3.96	70.03 ± 3.87	
日增重 ADG (g)	510.14 ± 33.25b	463.71 ± 42.19a	504.43 ± 41.49b	
料重比 F/G	3.20 ± 0.10b	3.61 ± 0.12a	3.27 ± 0.23b	

¹⁾ 同行数据间字母不同者, 差异显著。下同 The same row with different letter differs significantly ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). The same as below

2.2 饲料养分表观消化率

饲料 CP、EE、CF 的表观消化率见表 3。稻谷-豆粕型日粮中添加非淀粉多糖酶, 粗蛋白、粗脂肪和

粗纤维的表观消化率分别提高 18.76% ($P < 0.01$)、16.04% ($P < 0.05$) 和 108.57% ($P < 0.05$); 与玉米组相比差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料养分表观消化率(%)

Table 3 Effects of NSP enzymes on the apparent digestibility of feed nutrients

		饲料类型 Diet type			
		玉米组 Corn-based	未加酶组 Paddy-based	加酶组 Paddy + enzyme	
粗蛋白 CP		76.18 ± 3.79b	62.63 ± 3.70a	74.38 ± 1.22b	
粗脂肪 EE		63.44 ± 2.85b	55.12 ± 6.57a	63.96 ± 1.45b	
粗纤维 CF		41.57 ± 7.06b	14.71 ± 3.49a	30.68 ± 9.24b	

2.3 胃、胰脏和小肠中消化酶的活性

胃(内容物、粘膜)、胰脏和小肠各段(内容物、粘膜)中部分消化酶的活性见表4~6。表4显示,非淀粉多糖酶对胃粘膜和胰脏中酶活性的影响不显著。由表5可见,非淀粉多糖酶使十二指肠内容物

中总蛋白水解酶和 α -淀粉酶活性分别提高99.07%($P < 0.01$)和18.41%($P < 0.05$);对十二指肠内容物中胰蛋白酶、脂肪酶和胃内容物中胃蛋白酶活性影响不显著($P > 0.05$),非淀粉多糖酶组与玉米组相比无显著差异($P > 0.05$)。

表 4 非淀粉多糖酶对胃粘膜中胃蛋白酶及胰脏中酶活性的影响¹⁾($U \cdot g^{-1}$)

Table 4 Effects of NSP enzymes on activities of pepsin in gastric mucosa, total proteolytic enzyme, trypsin, chymotrypsin, amylase and lipase in pancreatic tissue

		饲料类型 Diet type			
		玉米组 Corn-based	未加酶组 Paddy-based	加酶组 Paddy + enzyme	
胃蛋白酶 Pepsin in gastric mucosa		5.26 ± 1.85	5.17 ± 0.94	5.77 ± 2.20	
胰总蛋白水解酶 Total proteolytic enzyme		28.06 ± 2.69	27.49 ± 1.96	26.41 ± 2.33	
胰蛋白酶 Pancreatic trypsin		686.21 ± 142.04	903.28 ± 198.96	920.40 ± 3.35	
胰糜蛋白酶 Pancreatic chymotrypsin		73.39 ± 15.08	78.98 ± 10.13	78.45 ± 8.57	
胰淀粉酶 Pancreatic amylase		29 272.94 ± 2 687.5	29 922.44 ± 2 040.4	28 480.26 ± 3 780.8	
胰脂肪酶 Pancreatic lipase		48.97 ± 4.45	53.31 ± 3.56	52.09 ± 7.57	

¹⁾ 酶活性以每克湿内容物中所含活性单位表示,下同

The unit of the enzyme was expressed by the activity of wet juice per grammer. The same as below

表 5 非淀粉多糖酶对胃内容物胃蛋白酶和十二指肠内容物总蛋白水解酶、胰蛋白酶、 α -淀粉酶和脂肪酶活性的影响($U \cdot g^{-1}$)Table 5 Effects of NSP enzymes on activities of pepsin in the gastric juice, total proteolytic enzyme, trypsin, α -amylase and lipase in duodenal content

		饲料类型 Diet type			
		玉米组 Corn-based	未加酶组 Paddy-based	加酶组 Paddy + enzyme	
胃蛋白酶 Pepsin in gastric mucosa		5.34 ± 1.32	4.59 ± 0.48	5.12 ± 1.79	
总蛋白水解酶 Total proteolytic enzyme		15.27 ± 2.89b	7.53 ± 1.66a	14.99 ± 5.13b	
胰蛋白酶 Pancreatic trypsin		12.85 ± 3.75	11.20 ± 1.11	13.33 ± 0.56	
α -淀粉酶 α -amylase		15 305.13 ± 1 479.7b	13 928.07 ± 1 378.8a	16 491.81 ± 2 049.6b	
脂肪酶 Lipase		36.68 ± 9.14	35.11 ± 6.32	40.68 ± 7.61	

表 6 非淀粉多糖酶对空肠、回肠粘膜中麦芽糖酶、蔗糖酶和 γ -GT活力的影响($U \cdot g^{-1}$)Table 6 Effects of NSP enzymes on activities of maltase, invertase and γ -glutamyl transferase in jejunal and caecal mucosa

		饲料类型 Diet type			
		玉米组 Corn-based	未加酶组 Paddy-based	加酶组 Paddy + enzyme	
空肠	麦芽糖酶 Maltase	0.90 ± 0.16	0.85 ± 0.13	0.97 ± 0.11	
Jejunal	蔗糖酶 Invertase	0.33 ± 0.15	0.31 ± 0.06	0.34 ± 0.09	
	γ -谷氨酰转移酶 γ -glutamyl transferase	9 087.53 ± 2 643.3	7 022.44 ± 1 268.8	8 106.58 ± 2 376.0	
回肠	麦芽糖酶 Maltase	0.71 ± 0.14	0.68 ± 0.07	0.70 ± 0.06	
Caecal	蔗糖酶 Invertase	0.28 ± 0.09	0.27 ± 0.08	0.29 ± 0.07	
	γ -谷氨酰转移酶 γ -glutamyl transferase	77 780.42 ± 1 714.6	8 814.72 ± 3 062.8	9 241.45 ± 1 425.7	

由表 6 可见,非淀粉多糖酶对粘膜二糖酶和 γ -GT 活性的影响不显著 ($P > 0.05$),但都有升高趋势。

2.4 非淀粉多糖酶对内脏器官的影响

非淀粉多糖酶对胴体特性及内脏器官的影响见表 7。

表 7 非淀粉多糖酶对内脏器官相对重量的影响¹⁾

Table 7 Effects of NSP enzymes on relative weight of selected viscera in growing pigs

	饲料类型 Diet type					
	玉米组 Corn-based		未加酶组 Paddy-based		加酶组 Paddy + enzyme	
宰前活重 Live weight (kg)	70.55 ± 3.51		69.16 ± 2.83		70.00 ± 1.00	
胃率 Stomach (%)	0.48 ± 0.04b		0.59 ± 0.04a		0.51 ± 0.05b	
小肠率 Small intestine (%)	1.41 ± 0.06c		1.65 ± 0.06a		1.53 ± 0.11b	
大肠率 Large intestine (%)	2.29 ± 0.10		2.35 ± 0.45		2.06 ± 0.19	
肝率 Liver (%)	1.44 ± 0.22		1.43 ± 0.12		1.48 ± 0.18	
胰率 Pancreatic (%)	0.16 ± 0.01		0.17 ± 0.01		0.16 ± 0.01	

¹⁾ 内脏器官的相对重量以内脏器官的实际重量占宰前活重的百分数表示

The organ index was determined by organ weight at slaughter divided by live weight multiplied by 100

由表 7 可见,添加非淀粉多糖酶使胃、小肠、大肠的相对重量分别降低 13.56% ($P = 0.01$)、7.27% ($P < 0.05$) 和 12.34% ($P > 0.05$);与玉米组相比小肠相对重量提高了 8.51% ($P < 0.05$),而胃相对重量无差异。添加非淀粉多糖酶对肝脏、胰脏的相对重量影响不显著 ($P > 0.05$)。

2.5 小肠各段绒毛和微绒毛形态结构的影响

非淀粉多糖酶对小肠各段绒毛和微绒毛形态学

上的影响见表 8 和表 9。由表 8 可见,非淀粉多糖酶使十二指肠、空肠、回肠的绒毛长度分别提高了 23.68% ($P < 0.05$)、56.00% ($P < 0.01$) 和 76.90% ($P < 0.01$);与玉米组相比无显著差异 ($P > 0.05$)。表 9 显示,非淀粉多糖酶对生长猪小肠微绒毛长度的影响不显著 ($P > 0.05$),但有升高趋势。对小肠各段微绒毛密度及排列规则性的影响见图版 1~9 (放大倍数均为 $\times 30\ 000$)。

表 8 非淀粉多糖酶对十二指肠、空肠、回肠绒毛高度的影响

Table 8 Effects of NSP enzymes on the length of villi on duodenum, jejunum and ileum mucosa

	饲料类型 Diet type					
	玉米组 Corn-based		未加酶组 Paddy-based		加酶组 Paddy + enzyme	
十二指肠 Duodenum (μm)	221.00 ± 65.57b		156.14 ± 23.51a		193.11 ± 20.21b	
空肠 Jejunum (μm)	367.50 ± 94.30b		214.75 ± 18.76a		335.00 ± 53.23b	
回肠 Ileum (μm)	278.89 ± 55.10b		131.43 ± 24.10a		232.50 ± 26.30b	

表 9 非淀粉多糖酶对十二指肠、空肠、回肠微绒毛长度的影响

Table 9 Effects of NSP enzymes on the length of microvilli on duodenum, jejunum and ileum mucosa

	饲料类型 Diet type					
	玉米组 Corn-based		未加酶组 Paddy-based		加酶组 Paddy + enzyme	
十二指肠 Duodenum (μm)	1.93 ± 0.18b		0.97 ± 0.06a		1.21 ± 0.16a	
空肠 Jejunum (μm)	1.56 ± 0.30b		1.17 ± 0.10a		1.32 ± 0.10ab	
回肠 Ileum (μm)	1.62 ± 0.20		1.45 ± 0.11		1.71 ± 0.25	

3 讨论

3.1 非淀粉多糖酶对猪生产性能和养分消化率的影响

畜禽饲料中添加酶制剂提高生产性能的实践已有数十年的历史且越来越受到关注,但有关对早籼稻中添加酶制剂的试验尚未见报道,本试验结果表明,在早籼稻饲料中添加非淀粉多糖酶可显著提高

生长猪日增重 ($P < 0.05$),并降低料重比 ($P < 0.05$)。

禾本科籽实中含大量可溶性 NSP,它们在肠道中达到一定含量会提高内容物粘度,从而直接影响养分的消化和吸收。韩正康等报道在早籼稻饲料中添加一定比例和数量的非淀粉多糖酶可显著降低空肠和回肠内容物的粘度 ($P < 0.01$)^[9]。单胃动物以早籼稻为主要能量来源时,大量的可溶性 NSP 进入

消化道后使肠道内容物粘度升高。酶的添加,一方面摧毁了结构致密的细胞壁,将其中丰富的养分及消化酶(如淀粉酶等)释放出,另一方面可使木聚糖和 β -葡聚糖部分水解为低聚糖,从而降低内容物的粘度^[10]。粘度的降低,不仅降低了粘性 NSP 与内源消化酶及饲料养分的结合率,提高了养分与消化酶的混合速率,以至最大限度地发挥其消化作用,而且 NSP 降解后失去了与小肠粘膜刷状缘上多糖-蛋白质复合物结合的功能,从而降低了养分与消化道粘膜不动水层厚度,缩短了运输路程,提高了养分消化和吸收效率。本消化试验结果表明,添加非淀粉多糖酶使粗蛋白($P < 0.01$)、粗脂肪($P < 0.05$)和粗纤维($P < 0.05$)的表观消化率都得到提高。

3.2 非淀粉多糖酶对内源消化酶活性的影响

高含量 NSP 日粮中添加非淀粉多糖酶提高了日粮养分的表观消化率,与之关系最密切的因素是胃肠道消化作用的发挥,因此,非淀粉多糖酶添加到日粮中必然引起了内源酶活性的变化。

本试验结果表明,非淀粉多糖酶对胃粘膜中胃蛋白酶和胰脏中酶活性没有显著影响($P > 0.05$)。Ikegami 等^[11]报道,粘性 NSP 不影响每克胰脏内胰蛋白酶、胰脂肪酶、胰淀粉酶活性。徐有良^[12]报道,生长肥育猪的大麦日粮中添加 GXC 复合酶后胰脏中脂肪酶和淀粉酶活性不变。

对胃和十二指肠内容物中消化酶测定结果表明,非淀粉多糖酶显著提高十二指肠内容物中总蛋白水解酶($P < 0.01$)和淀粉酶($P < 0.05$)活性,对胰蛋白酶、脂肪酶和胃蛋白酶影响不显著($P > 0.05$),与奚刚^[13]的报道一致。研究表明,不同来源的日粮纤维能不同程度地抑制消化道中的酶活性^[14],可能是纤维在内容物中吸水膨胀并结合消化酶、胆盐、胆固醇、矿物元素。日粮高纤维还可稀释酶活,降低酶活,导致养分消化率降低^[15],Jensen^[16]报道,在 6 周龄仔猪大麦日粮中添加 β -葡聚糖酶,虽不影响总胰蛋白酶的活性,但糜蛋白酶的活性显著升高($P < 0.05$)。笔者推测,非淀粉多糖酶一方面通过促进胃泌素刺激胃酸分泌,使饲料蛋白在胃内初步得到较好的消化;另一方面它降解 NSP,使细胞壁中的养分大量释放入小肠,与胃消化蛋白产物共同刺激十二指肠和空肠粘膜中的 I 细胞分泌 CCK(缩胆囊素),CCK 可刺激胰酶分泌并促进胆囊收缩排出胆汁,因而非淀粉多糖酶间接地促进了胰酶的分泌,提高十二指肠内容物中总蛋白水解酶和淀粉酶活性。

饲料中淀粉和蛋白质在小肠中少部分被分解成单糖和游离氨基酸而被直接吸收,大部分被分解成二糖和多肽,它们需经过肠粘膜中二糖酶和肽酶的作用才能被彻底吸收,因而对粘膜中酶活的测定有一定的意义。其中麦芽糖酶、蔗糖酶是两种最重要的二糖酶, γ -谷氨酰转移酶在各种氨基酸(除脯氨酸外)的转运过程中起着重要作用。本试验测定结果表明,添加非淀粉多糖酶对空肠、回肠粘膜的麦芽糖酶、蔗糖酶和 γ -GT 活性影响不显著,但都有升高的趋势。Thomsen 等^[17]认为,日粮纤维能调节肠粘膜的酶活性,特别是二糖酶的活性。Schneeman 等^[18]报道,食糜中亮氨酸氨肽酶(LAP)数量不受日粮中纤维含量影响,但粘膜中 LAP 的活性却由于受日粮纤维影响而降低。笔者认为,非淀粉多糖酶使十二指肠内容物胰酶活性提高,而小肠刷状缘的酶活性可能被胰酶调控^[19],另外, T_3 、 T_4 、胰岛素都可促进二糖酶发育并通过增加酶合成提高了成熟期粘膜二糖酶活力水平^[20]。膜消化是联系消化与吸收的关键步骤,甚至是整个吸收过程的限速步骤^[21],因此,参与膜消化的二糖酶和肽酶活性一定程度的升高使养分消化吸收速率得以提高。

3.3 非淀粉多糖酶对小肠绒毛、微绒毛形态结构的影响

小肠特别是空肠粘膜是机体吸收养分的主要部位,因此,小肠绒毛、微绒毛形态上的变化直接反映了机体对养分的吸收状况。Ritz 等^[22]报道,在雄性火鸡的玉米基础日粮中添加淀粉酶,两周之后日增重和饲料转化率提高,同时空肠和回肠的绒毛长度明显增加,这说明肠绒毛的高度与生产性能是呈正相关的。本试验结果表明,非淀粉多糖酶使十二指肠、空肠、回肠的绒毛高度显著增加($P < 0.05$),微绒毛排列有规则且高度也有所增加,密度增加,与前人的研究结果一致。机理可能是日粮成分的变化,特别是酶制剂的添加,减轻了 NSP 造成的负作用,肠道粘度降低,有害微生物对肠粘膜上绒毛和微绒毛的损害减轻,甚至消失^[23],消化酶的活性增强,可利用养分消化率提高,吸收表面积增大,绒毛高度和数量都得到提高。Sharma 等^[24]和 Viverous 等^[25]报道,酶制剂添加到日粮中可使肠粘膜粘蛋白和杯状细胞的生化特性发生改变。

4 结论

(1) 非淀粉多糖酶能显著提高十二指肠($P < 0.05$)、空肠($P < 0.01$)和回肠($P < 0.01$)绒毛高

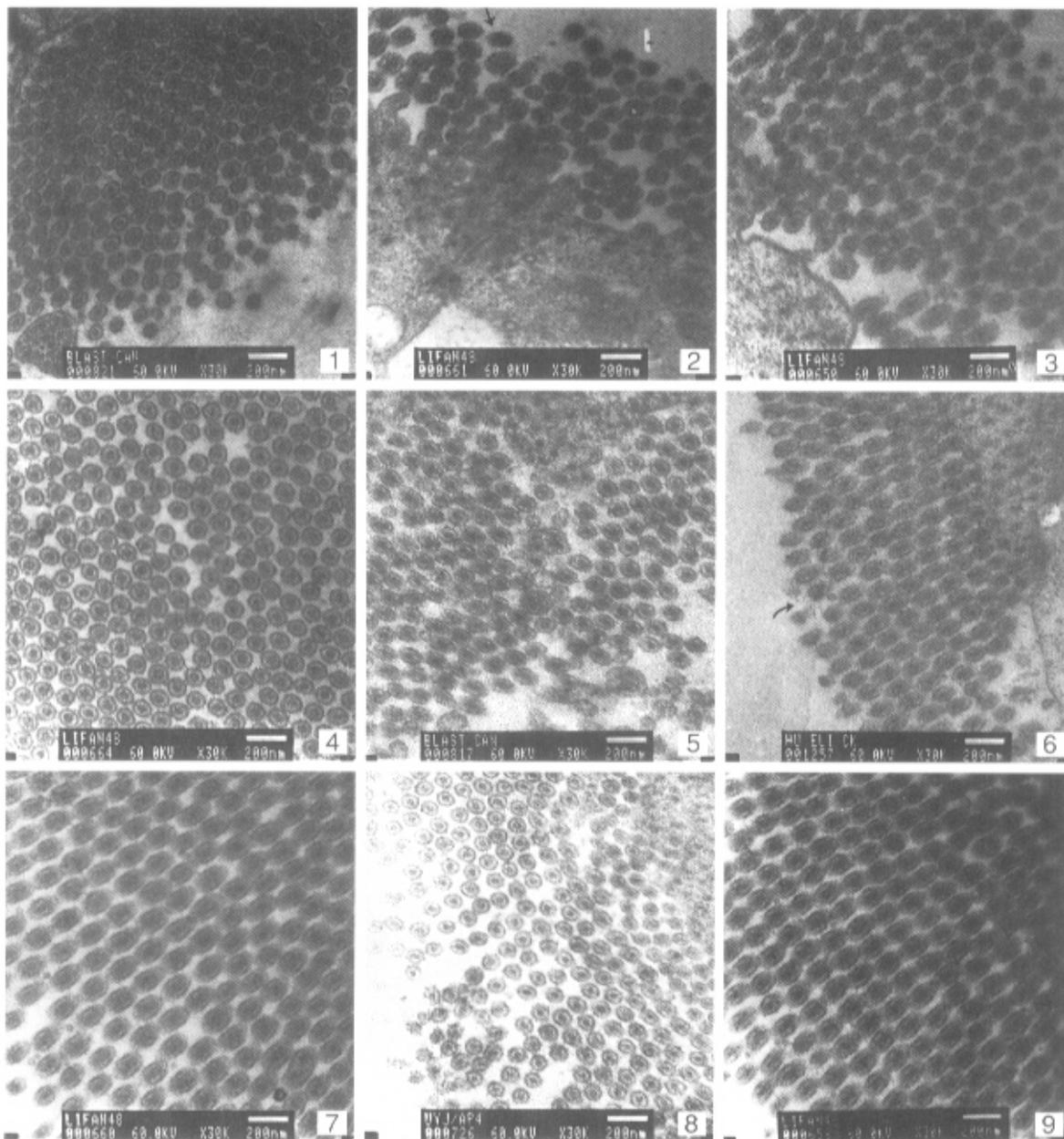
度 微绒毛排列有序且长度也有所提高。

(2)非淀粉多糖酶明显提高十二指肠内容物中总蛋白水解酶($P < 0.01$)和淀粉酶活性($P < 0.05$),对胃内容物中胃蛋白酶和十二指肠内容物中胰蛋白酶、脂肪酶及肠粘膜中麦芽糖酶、蔗糖酶和 γ -GT酶活性的提高有促进作用。

References

- [1] Bailey M J. Production of xylanases by strains of *Aspergillus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1989, 10 :5 - 10.
- [2] Erfle J D, Teather R M, Wood R M. Purification and properties of a 1,3-1,4- β -D-glucanase(lichenase), 1,3-1,4- β -D-glucanohydrolase, EC3.2.1.73) from *Bacteroides Saccinogenes* cloned in *E. coli*. *Biochem J.* 1988, 255(3) :833 - 841.
- [3] Susan E L. Cellulases and xylanase of an anaerobic rumen fungus grown on wheat straw. *Applied and Environmental Microbiology*, 1987, 53 :1216 - 1223.
- [4] 谭玉梅, 王玉国. 动力学方法测定胃蛋白酶的探讨. 中华医学检验杂志, 1992, 15(3) :131 - 133.
Tan Y M, Wang Y G. Discussion of the kinetics method on pepsin in gastric mucosa. *Journal of Medical Survey Sinica*, 1992, 15(3) :131 - 133. (in Chinese)
- [5] Krogdahl A, Sell J L. Influence of age on lipase, amylase and protease activities in pancreatic tissue and intestinal contents of young turkey. *Poultry Sci.* 1989, 68 :1561 - 1568.
- [6] Erlanger B F, Kokowsky N, Cohen W. The preparation and properties of two new chromogenic substrate of trypsin. *Arch. Biochim. Biophys.* 1961, 95 :271 - 278.
- [7] 金宗瀛. 功能食品评价原理及方法. 北京: 北京大学出版社, 1995.
Jin Z L. *Principle and Methods on the Evaluation of Functional Foods*. Beijing: Beijing University Press, 1995. (in Chinese)
- [8] Dahlqvist A. Method for assay of intestinal disaccharidase. *Analytical Biochemistry*, 1964, 7 :18 - 25.
- [9] 韩正康, Marquardt R R. 畜禽营养中的酶制剂. 饲料酶制剂国际学术研讨会论文集. 南京: 南京农业大学出版社, 1996.
Han Z K, Marquardt R R. Enzymes in fowl and porcine nutrition. *Collection of Papers of Seminar on Feed Enzymes*. Nanjing: Nanjing agricultural University Press, 1996. (in Chinese)
- [10] Choct M, Anison G. Anti-Nutritive effect of wheat pentosans in broiler chickens: roles of viscosity and gut microflora. *Brit Poult Sci.* 1992, 33 :821 - 834.
- [11] Ikegami S F, Tsnchihashi F. Effects of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic-biliary secretion and digestive organs in rats. *J. Nutr.* 1990, 120 :353 - 360.
- [12] 徐有良. 大麦型饲料中添加 GXC 对生长肥育猪生产性能、消化机能的影响及其作用机理探讨. 浙江农业大学硕士毕业论文. 1998.
Xu Y L. Effects of adding enzyme GXC to barley-based diet on growth performance and digestive function in finishing pigs and approach to the mechanism. *Dissertation for Master Degree*, Zhejiang Agricultural University. 1998. (in Chinese)
- [13] 奚刚. 中性蛋白酶对丝毛乌骨鸡氮利用率及蛋白酶活性的影响. 浙江农业大学学报, 1998, 24(4) :399 - 404.
Xi G. Effects of neutral proteinase on nitrogen utilization and activities of endogenous protein digestive enzyme in *Gallus domesticus brisson*. *J. Zhejiang Agricultural University*, 1998, 24(4) :399 - 404. (in Chinese)
- [14] Isaksson G, Lundquist I, Ihse I. *In vitro* inhibition of pancreatic enzyme activities by dietary fiber. *Digestion*, 1982, 24 :54 - 59.
- [15] Meyer J H. Influence of dietary fiber on metabolic and endogenous nitrogen excretion. *J. Nutr.* 1956, 58 :407 - 413.
- [16] Jensen M S. Exocrine pancreatic secretion in young pigs fed barley-based diets supplemented with beta-glucanase. *Journal of Ani. Physiol. and Ani. Nutr.* 1996, 75(4-5) :231 - 241.
- [17] Thomsen L L, Tasman-Jones C. Disaccharidase levels of the rat jejunum are altered by dietary fibre. *Digestion*, 1982, 23 :253 - 258.
- [18] Schneeman B O, Callahan D. Changes in small intestinal digestive enzyme activity and bile acids with dietary cellulose in rats. *J. Nutr.* 1980, 110 :584 - 590.
- [19] Alpers D H, Tedesco F J. The possible role of pancreatic proteases in the turnover of intestinal brush border proteins. *Biochem. Biophys. Acta.* 1975, 401 :28 - 40.
- [20] Henning S J. Ontogeny of enzyme in the small intestine. *Ann. Rev. Physiol.* 1985, 47 :231 - 245.
- [21] Heitlinger L A. Glucose flux from dietary disaccharides: all sugars are not absorbed at equal rates. *Am. J. Physiol.* 1991, 261 :818 - 822.
- [22] Ritz C W, Hulet R M, Self B B, Denbow D M. Endogenous amylase levels and response to supplemental feed enzymes in male turkeys from hatch to eight weeks of age. *Poultry Sci.* 1995, 74(8) :1317 - 1322.
- [23] Frost A J, Bland A P. The early dynamic response of the calf ileal epithelium to *Salmonella typhimurium*. *Vet. Pathol.* 1997, 34 :369 - 386.
- [24] Sharma R, Fernandez F, Hinton M, Schumacher U. The influence of diet on the mucin carbohydrates in the chick intestinal tract. *Life Sci.* 1997, 53(11-12) :935 - 942.
- [25] Viverous A, Brenes A, Pizarro M, Castano M. Effect of enzyme supplementation of a diet based on barley and actoclave treatment on apparent digestibility, growth performance and gut morphology of broilers. *Ani. Feed Science and Technology*, 1994, 48 :237 - 251.

许梓荣等：稻谷型日粮添加非淀粉多糖酶对生长猪消化道结构和功能的作用研究
 XU Zi-rong et al.: Effect of Exogenous NSP Enzymes (Xylanase, β -glucanase and Cellulase) on Structure and Function of Digestive Tract in Growing Pig Fed Paddy-based Diets



1~9 分别为 3 组猪十二指肠、空肠和回肠粘膜微绒毛排列及密度的电镜图，图中小圆点为微绒毛横切面 ($\times 30\ 000$)。1. 玉米组日粮猪十二指肠粘膜微绒毛排列整齐，密度均匀；2. 未加酶组日粮猪十二指肠粘膜微绒毛排列整齐度、密度均匀性均差，表明早稻谷型日粮对猪十二指肠粘膜微绒毛形态结构影响较大；3. 加酶组日粮猪十二指肠粘膜微绒毛排列整齐度、密度均匀性都比图 2 有显著改善，表明添加 NSP 酶显著改善了早稻谷型日粮猪十二指肠粘膜微绒毛的形态结构；4~6. 3 组猪空肠粘膜微绒毛排列及密度的差异不显著，但添加 NSP 酶组有所改善；7~9. 3 组猪回肠粘膜微绒毛排列及密度的差异不显著

1-9 were electron microscope photos for the micro-villi on duodenum, jejunum and ileum mucosa respectively, the black spots represent micro-villi ($\times 30\ 000$). 1. The micro-villi on duodenum mucosa range in order and dense for corn-based group pigs; 2. The micro-villi on duodenum mucosa range order and density poorer for paddy-based group pigs; 3. The improvement of range order and density of the micro-villi on duodenum mucosa for NSP enzymes group compared with Fig. 2; 4-6. No significant difference of range order and density of the micro-villi on jejunum mucosa among the three groups; 7-9. No significant difference of range order and density of the micro-villi on ileum mucosa among the three groups