

水苏糖对肉仔鸡消化器官发育 及肠黏膜形态的影响

易中华¹, 马秋刚², 王晓霞³, 计成²

(1. 江西农业大学 动物科技学院, 江西 南昌 330045; 2 中国农业大学 动物科技学院, 北京 100193; 3 北京农学院 动物科学系, 北京 102206)

摘要:在玉米-大豆浓缩蛋白型低寡糖基础日粮中分别添加 0, 0.50%, 1.00% 或 2.00% 的水苏糖制剂, 研究不同添加量水苏糖对肉仔鸡消化器官发育及肠黏膜形态的影响。选用 192 只 1 日龄 AA 肉公鸡, 随机分成 4 个处理组, 每个处理设 6 个笼 (重复), 每笼 8 只鸡。结果表明: 水苏糖的添加可不同程度地增加肉仔鸡消化器官的绝对重量, 对盲肠和结直肠的作用效果尤为明显。添加 0.50% 水苏糖制剂对肉仔鸡的肠黏膜形态产生有利的影响, 十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度以 0.50% 水苏糖制剂添加组为最大; 空肠和回肠的隐窝深度以 0.50% 水苏糖制剂添加组为最小; 空肠和回肠的 V/C 值以 0.50% 水苏糖制剂添加组为最大。

关键词:水苏糖; 肉仔鸡; 消化器官质量; 肠黏膜形态

中图分类号: S831.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2010)03-0566-05

Effects of Stachyose on the Development of Digestive Organ and the Intestinal Morphology in Broilers

YI Zhong-hua¹, MA Qiu-gang², WANG Xiao-xia³, JI Cheng²

(1. College of Animal Science and Technology, JAU, Nanchang 330045, China; 2. College of Animal Science and Technology, CAU, Beijing 100193, China; 3. Department of Animal Science, Beijing Agricultural College, Beijing 102206, China)

Abstract: An experiment was conducted to investigate the effects of gradient dietary stachyose on the development of digestive organ and the intestinal morphology in broilers. A total of 192 1-day-old male Arbor Acres broilers were randomly allotted into 4 treatments of 6 cages which contained 8 birds and were fed one of the 4 diets with stachyose preparation (STP) added to an oligosaccharide-low basal diet of corn-SPC at the dosage of 0, 0.50%, 1.00% and 2.00%, respectively. The results indicated that supplemental STP increased absolute and relative weight of digestive organs in broilers to various extents, especially for the caecum and the colon-rectum, and the inclusion of 0.50% STP had a positive effect on the mucosal morphology with maximum villus height in duodenum, jejunum and ileum, minimum crypt depth in jejunum and ileum and maximum V/C values in jejunum and ileum.

Key words: stachyose; broiler; weight of digestive organ; intestinal morphology

肠道黏膜构成动物机体的非特定免疫屏障, 肠形态反映机体的健康状况, 同时也是营养物质消化吸收的基本保证^[1]。James^[2]指出, 粘膜消化是各种养分的最终消化阶段, 肠粘膜是所有养分的最终消化

收稿日期: 2009-12-18 修回日期: 2010-04-30

基金项目: 江西省教育厅科技项目 (GJJ09170) 和江西农业大学博士科研启动基金项目 (2003)

作者简介: 易中华 (1971-), 男, 副教授, 博士, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: yizhcn@126.com。

场所,处于关键的地位。Uni等^[3]报道,单位质量肠组织的黏膜酶活性与肠绒毛细胞数量密切相关,决定着营养素的最终水解程度。他们认为,小肠粘膜阶段的水解过程是消化阶段的决定性步骤,消化道形态结构可能与鸡的体增重有关。有研究^[4]认为,消化道形态结构受肠道多胺、表皮生长因子、短链脂肪酸、pH值等因素的影响,后者受日粮营养因素的调节,非消化碳水化合物是一个很重要的调节物。Siri等^[5]在莱航鸡日粮中添加果胶,结果发现嗦囊、小肠、盲肠及结直肠相对重量有所增加。Xu等^[6]报道,果寡糖对肉仔鸡十二指肠的组织形态不产生影响,0.4%果寡糖的添加可显著提高回肠绒毛高度、空肠和回肠的微绒毛高度及空肠和回肠的绒毛高度/隐窝深度比值,降低空肠和回肠的隐窝深度。水苏糖是一种非消化寡糖(non-digestible oligosaccharide, NDO),由于其特有的发酵特性和非消化性,对动物的消化生理和营养素代谢产生重要影响^[7-8],但尚未见有报道对肉仔鸡消化器官发育及肠黏膜形态影响的研究。本试验的目的是研究玉米-大豆浓缩蛋白型低寡糖日粮中添加不同剂量水苏糖对肉仔鸡消化器官发育及肠黏膜形态的影响,为水苏糖的深入研究提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验动物与试验日粮

选用 192 只 1 日龄 AA 肉公鸡,随机分成 4 个处理组,每个处理设 6 个笼(重复),每笼 8 只鸡。试验日粮分别为:基础日粮(对照组);基础日粮+0.50%水苏糖制剂;基础日粮+1.00%水苏糖制剂;基础日粮+2.00%水苏糖制剂。本试验将肉仔鸡生长阶段划分为:1~21 日龄和 22~42 日龄。基础日粮参照 NRC(1994)家禽营养需要量标准^[9],配制为玉米-大豆浓缩蛋白型日粮,不含任何抗生素,以粉料形式饲喂。水苏糖制剂购自中国科学院食品发酵研究所,产品中水苏糖含量为 83.7%;大豆浓缩蛋白产品购自秦皇岛金海食品工业公司,粗蛋白质经实测为 65.83%。以粉料形式饲喂。基础日粮组成和营养水平见表 1。试验鸡笼养,自由采食和饮水,饲养管理和免疫程序参照 AA 肉仔鸡饲养手册进行。

1.2 试验程序与样品采集

第 21、42 日龄称重结束后,每笼随机取 1 只试鸡,将鸡宰杀,剖开腹腔,分离肝脏、腺胃、肌胃、十二指肠、空肠、回肠、盲肠及结直肠,挤出消化道内容物,用生理盐水冲洗净残余物,滤纸吸干消化器官残余水分,用电子天平称各消化器官的质量;剪取肉仔鸡十二指肠中段、空肠前段(前 1/4 处)和回肠中段等部位的肠道组织 2 cm 左右,用生理盐水冲洗净内容物,置于(甲醛磷酸)=10%缓冲液中固定,用于肠黏膜形态指标的测定。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 消化器官重量的测定 用电子天平称各消化器官的质量,为消化器官的绝对质量。

1.3.2 肠道黏膜组织形态的测定 参照王子旭(2003)^[11]制作肠组织切片的方法,将固定的标本经梯度酒精脱水、透明、浸蜡、包埋等处理后,在室温下切成 5 μm 厚的切片,最后用苏木精-伊红染色法(HE)染色。在低倍镜下观测切片,选择典型视野,在高倍镜下观测和比较试验肉仔鸡的肠黏膜形态结构。每张切片选取 5 个不同的典型视野,摄影后用 TD2000 真彩色病理图像分析系统记录绒毛长度、隐窝深度和肠壁厚度,每个视野测出 5 个数值。

1.5 数据处理

原始数据经 Excel 初步处理后,采用 SPSS 13.0 软件中的 One-Way ANOVY 程序进行方差分析和 Duncan 氏多重比较。试验结果用平均数±标准差($\bar{X} \pm S$)表示, $P < 0.05$ 为有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 水苏糖对肉仔鸡消化器官质量的影响

消化器官质量以绝对质量表示,日粮水苏糖不同添加水平对 21、42 日龄肉仔鸡消化器官质量的影响见表 2。从消化器官的绝对质量来看,在玉米-大豆浓缩蛋白低寡糖型日粮中添加 0.50%水苏糖制剂,除显著($P < 0.05$)增加 42 日龄肉仔鸡腺胃的绝对质量外,对 42 日龄肉仔鸡其它消化器官和 21 日龄肉仔鸡腺胃、肌胃、空肠、回肠、盲肠及结直肠的绝对质量也有增加的趋势,但差异均不显著($P > 0.05$);

表 1 基础日粮的组成及营养水平含量 (以饲喂状态为基础)

Tab 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (as-fed basis)

原料组成 / % Composition of diet	日龄		营养水平 / % Nutrient levels	日龄	
	1 ~ 21 d	22 ~ 42 d		1 ~ 21 d	22 ~ 42 d
玉米 Com	64.39	68.20	代谢能 / (MJ · kg ⁻¹) ME	12.55	12.55
大豆浓缩蛋白 Soybean protein concentrate	25.75	20.85	粗蛋白 / % CP	22.57	20.11
大豆皮 Soybean hull	3.00	4.00	钙 / % Ca	1.01	0.91
植物油 Plant oil	1.82	2.43	有效磷 / % Available P	0.45	0.35
石粉 Limestone	1.40	1.45	赖氨酸 / % Lys	1.10	1.00
磷酸氢钙 Dicalcium phosphate	1.82	1.28	蛋氨酸 / % Met	0.50	0.38
食盐 Salt	0.30	0.30	水苏糖 / % Stachyose	0.06	0.04
赖氨酸盐酸盐 Lys - HCl	0.12	0.24	棉子糖 / % Raffinose	0.08	0.06
蛋氨酸 DL - Methionine	0.20	0.10			
胆碱 Chloride choline	0.20	0.15			
预混料 Premix	1.00	1.00			
合计 Total	100.00	100.00			

(1) 预混料可为每千克全价料提供: 维生素 A, 10 000 IU; 维生素 D₃, 2 600 IU; 维生素 E, 25 mg; 维生素 K₃, 2 mg; 硫胺素, 1.6 mg; 核黄素, 6 mg; 泛酸, 20 mg; 尼克酸, 30 mg; 吡哆素, 3 mg; 叶酸, 0.8 mg; 生物素, 0.15 mg; 维生素 B₁₂, 20 μg; 锰, 180 mg; 铁, 240 mg; 锌, 120 mg; 铜, 25 mg; 碘, 0.3 mg; 硒, 0.15 mg。

(2) 粗蛋白、钙为实测值, 其他指标根据《中国饲料数据库 - 中国饲料成分及营养价值》(2004年修订版) 计算。

(3) 水苏糖制剂以及基础日粮中水苏糖和棉子糖含量根据气相色谱分析测定, 均为实测值。

(1) Supplied the following per kilogram of diet: vitamin A, 10 000 IU; vitamin D₃, 2 600 IU; vitamin E, 25 mg; vitamin K₃, 2 mg; thiamine 1.6 mg; riboflavin, 6 mg; D - pantothenic acid, 20 mg; niacin, 30 mg; pyridoxine, 3 mg; folic acid, 0.8 mg; biotin, 0.15 mg; vitamin B₁₂, 20 μg; Mn (as manganous sulfate), 180 mg; Fe (as ferrous sulfate), 240 mg; Zn (as zinc oxide), 120 mg; Cu (as copper sulfate), 25 mg; I (as calcium iodate), 0.3 mg and Se (as sodium selenite), 0.5 mg

(2) The values of crude protein, calcium were analyzed and other else were calculated according to China Feed Database (Revised edition, 2004).

(3) The values of stachyose and raffinose in the stachyose preparation and the basal diet were analyzed according to gas chromatography.

表 2 日粮水苏糖添加水平对肉仔鸡消化器官绝对质量的影响

Tab 2 The effects of dietary stachyose levels on absolute weight of digestive organ in broilers

日龄 / d Age	水苏糖制剂 添加水平 / % Supplemental STP levels	绝对质量 / g Absolute weight							
		肝脏 Liver	腺胃 Proventriculus	肌胃 Gizzard	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	盲肠 Caecum	结直肠 Colon - rectum
21	0	31.44 ± 0.68 ^b	5.63 ± 0.61	22.88 ± 1.32 ^{ab}	6.31 ± 0.60	10.01 ± 0.52 ^{ab}	7.50 ± 0.35 ^{ab}	4.82 ± 0.24	1.34 ± 0.09
	0.5	31.59 ± 0.21 ^b	6.04 ± 0.38	23.82 ± 0.90 ^b	6.22 ± 0.42	10.91 ± 0.83 ^b	7.80 ± 0.34 ^b	5.39 ± 0.68	1.44 ± 0.15
	1.00	30.63 ± 0.16 ^{ab}	5.95 ± 0.80	23.06 ± 1.53 ^{ab}	6.24 ± 0.67	10.05 ± 0.63 ^{ab}	7.81 ± 0.45 ^b	5.36 ± 0.48	1.48 ± 0.24
	2.00	28.28 ± 0.04 ^a	5.36 ± 0.42	21.57 ± 0.07 ^a	5.85 ± 0.67	9.64 ± 0.95 ^a	7.12 ± 0.61 ^a	5.24 ± 0.78	1.42 ± 0.14
42	0	67.58 ± 0.63	10.54 ± 1.09 ^a	42.75 ± 0.04	13.77 ± 0.01	28.41 ± 0.14	23.61 ± 0.26	9.73 ± 0.88 ^a	2.95 ± 0.38
	0.5	70.86 ± 0.89	11.69 ± 0.90 ^b	45.29 ± 0.38	14.20 ± 0.60	29.52 ± 0.33	24.68 ± 0.80	10.47 ± 1.13 ^{ab}	3.18 ± 0.34
	1.00	72.88 ± 0.76	11.21 ± 0.37 ^{ab}	45.71 ± 0.25	14.32 ± 0.93	30.37 ± 0.84	24.70 ± 0.90	10.89 ± 0.69 ^b	3.29 ± 0.45
	2.00	68.32 ± 0.99	10.85 ± 0.83 ^{ab}	43.15 ± 0.03	13.26 ± 0.15	28.42 ± 0.13	23.62 ± 0.24	10.63 ± 0.62 ^{ab}	2.97 ± 0.42

同列数据肩注字母不同者表示差异显著 (P < 0.05), 未标注或字母相同表示差异不显著 (P > 0.05)。

Means in the same column with different superscripts are significantly different (P < 0.05).

添加 1.00% 水苏糖制剂, 除显著 (P < 0.05) 增加 42 日龄肉仔鸡盲肠绝对质量外, 对 42 日龄肉仔鸡其它消化器官和 21 日龄肉仔鸡腺胃、肌胃、空肠、回肠、盲肠及结直肠的绝对质量有增加的趋势, 但差异均不

显著 ($P > 0.05$); 添加 2.00% 水苏糖制剂, 除显著 ($P < 0.05$) 降低 21 日龄肉仔鸡肝脏的绝对质量外, 对 21 日龄肉仔鸡腺胃、肌胃、十二指肠、空肠及回肠和 42 日龄肉仔鸡十二指肠的绝对质量也有降低的趋势, 对 21 日龄肉仔鸡盲肠、结直肠和 42 日龄肉仔鸡肝脏、腺胃、肌胃、空肠、回肠、盲肠及结直肠的绝对质量则有增加的趋势, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 水苏糖对肉仔鸡肠黏膜形态的影响

由表 3 可见水苏糖对 42 日龄肉仔鸡肠黏膜形态的影响。添加 0.50% 水苏糖制剂, 使回肠的绒毛高度分别提高了 15.50% ($P < 0.05$), 使空肠和回肠的隐窝深度分别降低了 10.38% ($P < 0.05$) 和 16.26% ($P < 0.05$), 使空肠和回肠的绒毛长度/隐窝深度比值 (V/C) 分别提高了 15.81% ($P < 0.05$) 和 38.23% ($P < 0.05$), 虽有提高十二指肠、空肠的绒毛高度和十二指肠隐窝深度及降低十二指肠 V/C 值的趋势, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 添加 1.00% 水苏糖制剂使回肠的 V/C 值提高了 24.94% ($P < 0.05$), 虽有提高空肠、回肠绒毛高度和空肠 V/C 值及降低空肠、回肠隐窝深度的趋势, 有降低十二指肠绒毛长度和 V/C 值及提高十二指肠隐窝深度的趋势, 但差异均不显著 ($P > 0.05$); 添加 2.00% 水苏糖制剂, 使回肠的 V/C 值提高了 17.22% ($P < 0.05$), 虽有提高回肠绒毛高度和空肠 V/C 值及降低空肠、回肠隐窝深度的趋势, 有降低十二指肠、空肠绒毛高度和降低十二指肠 V/C 值及提高十二指肠隐窝深度的趋势, 但差异均不显著 ($P > 0.05$)。

就总体而言, 十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度以 0.50% 水苏糖制剂添加组为最大; 空肠和回肠的隐窝深度以 0.50% 水苏糖制剂添加组为最小; 空肠和回肠的 V/C 值以 0.50% 水苏糖制剂添加组则为最大。

表 3 日粮水苏糖添加水平对 42 日龄肉仔鸡肠黏膜形态的影响

Tab 3 Effects of dietary stachyose levels on the morphology of the intestinal mucosa in 42-day-old broilers

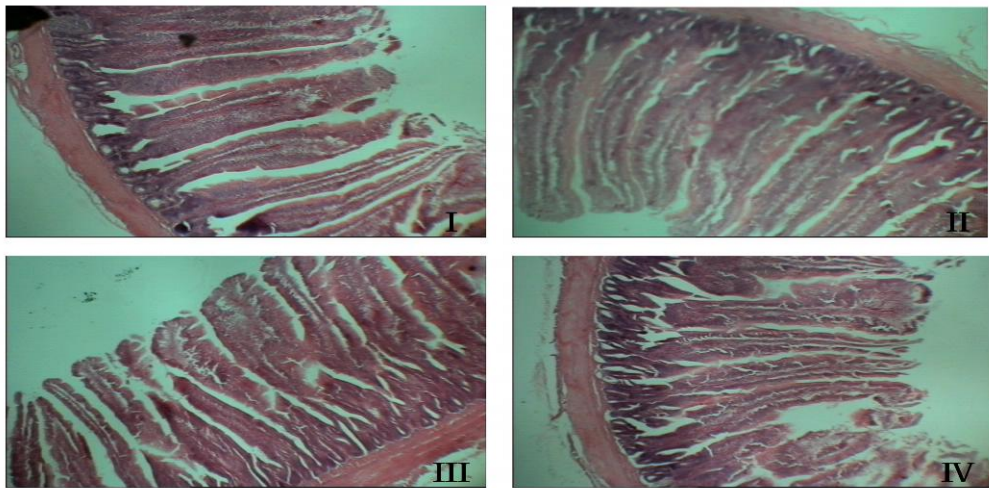
形态 Pattern	项目 Item	水苏糖制剂添加水平 / % Supplemental STP levels			
		0	0.5	1.00	2.00
绒毛高度 / μm Villous height	十二指肠 Duodenum	765.47 \pm 79.85	781.08 \pm 35.72	761.05 \pm 52.58	744.89 \pm 60.30
	空肠 Jejunum	871.00 \pm 42.98	906.82 \pm 71.56	895.45 \pm 121.01	854.64 \pm 49.23
	回肠 Ileum	645.01 \pm 93.52 ^a	744.96 \pm 37.32 ^b	718.32 \pm 29.07 ^{ab}	697.35 \pm 64.74 ^{ab}
隐窝深度 / μm Crypt depth	十二指肠 Duodenum	146.89 \pm 13.64	152.06 \pm 10.07	152.61 \pm 24.26	149.21 \pm 11.37
	空肠 Jejunum	141.84 \pm 12.03 ^b	127.11 \pm 10.15 ^a	134.56 \pm 5.84 ^{ab}	138.23 \pm 6.50 ^{ab}
	回肠 Ileum	137.98 \pm 9.49 ^c	115.54 \pm 8.24 ^a	123.37 \pm 8.27 ^{ab}	127.57 \pm 10.10 ^{bc}
绒毛高度/隐窝深度 V/C	十二指肠 Duodenum	5.26 \pm 0.84	5.15 \pm 0.41	5.09 \pm 0.84	5.03 \pm 0.66
	空肠 Jejunum	6.17 \pm 0.47 ^a	7.14 \pm 0.39 ^b	6.68 \pm 1.11 ^{ab}	6.19 \pm 0.36 ^a
	回肠 Ileum	4.68 \pm 0.62 ^a	6.47 \pm 0.43 ^c	5.84 \pm 0.45 ^b	5.48 \pm 0.51 ^b

同行数据字母不同者表示差异显著 ($P < 0.05$), 未标注或字母相同表示差异不显著 ($P > 0.05$)。

Means in the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

3 讨论与小结

衡量消化道形态结构的指标主要包括消化器官相对质量和相对长度等粗指标及肠黏膜绒毛高度和隐窝深度等精细指标。肠绒毛是由肠上皮和固有层共同向肠腔突出形成的细小突起, 多呈柱状、叶状或指状等, 随肠腔后移逐渐变短。当绒毛变短时, 肠上皮细胞数减少, 对营养物质的消化吸收能力也就降低^[12]。肠隐窝是绒毛基部的上皮内陷至固有层内形成的管状结构, 隐窝细胞不断分裂增殖并向上迁移, 分化为肠腺细胞和绒毛上皮细胞, 至绒毛顶端, 细胞逐渐退化萎缩而脱落。隐窝细胞生长速度的快慢, 在形态上表现为隐窝深度大小的变化, 在功能上将影响消化吸收机能^[12]。绒毛高度和隐窝深度反映了肠黏膜的吸收功能状态, 用绒毛长度/隐窝深度的比值则综合反映肠黏膜的吸收功能状况。比值下降, 表示黏膜受损, 消化吸收功能降低, 常伴有腹泻的发生, 动物生长发育受阻; 比值上升, 则黏膜改善, 消化吸收功能增强, 腹泻率降低, 生长发育加快^[11]。



I : 日粮水苏糖制剂添加水平分别为 0, 0.50%, 1.00%, 2.00%。
 II : Dietary supplemental STP levels were 0, 0.50%, 1.00%, 2.00%

图 1 不同日粮水苏糖添加水平组肉仔鸡的空肠黏膜形态显微结构 (HE 染色)

Fig 1 Microstructure of the jejunal mucosa morphology in broilers fed different supplemental levels of dietary stachyose (HE stain)

水苏糖的化学性质和生理功能类似于可溶性 NSP,后者可引起动物消化器官相对质量升高^[5,13-14]。本试验发现,在玉米-大豆浓缩蛋白型低寡糖日粮中添加不同剂量的水苏糖制剂(纯度为 83.7%),可不同程度地增加肉仔鸡消化器官的绝对质量,对盲肠和结直肠的作用效果尤为明显。肉仔鸡消化器官的相对质量增加,表明其黏膜代谢速度加快,营养素用于维持的比例增加^[15],这可能是水苏糖影响肉仔鸡生长性能的原因之一。在本试验条件下,相对添加 0.50%水苏糖制剂而言,日粮添加 1.00%或 2.00%水苏糖制剂对肉仔鸡消化器官相对质量的影响更明显些;就整体而言,添加 1.00%或 2.00%水苏糖制剂对肉仔鸡消化道相对质量的影响程度 21 日龄较 42 日龄更大,这可能是造成添加 0.50%水苏糖制剂对肉仔鸡生长性能表现为促进作用,而 2.00%的添加量对肉仔鸡日增重和日采食量表现为抑制作用,且 21 日龄肉仔鸡生长性能受水苏糖的影响程度大于 42 日龄的原因之一。

肠黏膜的形态结构可反映肠道对营养素的吸收状况,且受日粮因素的影响。Xu 等^[16]报道,果寡糖对肉仔鸡十二指肠的组织形态无影响,(果寡糖)=0.4%的添加可显著提高回肠绒毛高度、空肠和回肠的微绒毛高度及空肠和回肠的绒毛高度/隐窝深度比值,降低空肠和回肠的隐窝深度。本试验在玉米-大豆浓缩蛋白型低寡糖日粮中添加不同剂量的水苏糖制剂,0.50%水苏糖制剂的添加使十二指肠、空肠和回肠的绒毛高度在各处理组中最大,使空肠和回肠的隐窝深度最小,并使空肠和回肠的 V/C 值最大,这说明 0.50%水苏糖制剂对空肠和回肠的黏膜形态产生最有利的影响。

本试验条件下,在玉米-大豆浓缩蛋白型低寡糖日粮中添加不同剂量的水苏糖制剂(纯度为 83.7%),对肉仔鸡产生以下影响:水苏糖的添加可不同程度地增加肉仔鸡消化器官的绝对质量和相对质量,对盲肠和结直肠的作用效果尤为明显;添加 0.50%水苏糖制剂对空肠和回肠的黏膜形态产生有利的影响。

参考文献:

- [1] Barrett K E New ways of thinking about (and teaching about) intestinal epithelial function[J]. *Adv Physiol Educ*, 2008, 32: 25 - 34
- [2] James G C D. *Textbook of veterinary physiology - text and veterinary consult package*[M]. 4th ed ISBN 978 - 1 - 4160 - 3610 - 4, 2007: 301 - 330
- [3] Uni Z, Ganot S, Sklan D. Posthatch development of mucosal function in the broiler small intestine[J]. *Poult Sci*, 1998, 77 (1): 75 - 82
- [4] Duggan C, Gannon J, Walker W A. Protective nutrients and functional foods for the gastrointestinal tract[J]. *Am J Clin Nutr*, 2002, 75 (1): 789 - 808
- [5] Siri S, Tobioka H, Tasaki I Effect of dietary fibers on growth performance, development of intestinal organs, protein and energy utilization, and lipid content of growing chicks[J]. *Jap Poult Sci*, 1992, 29 (2): 106 - 114

(下转第 576 页)

- [2] Wanapat M. Manipulation of cassava cultivation and utilization to improve protein to energy biomass for livestock feeding in the tropics [J]. Asian - Aus J Anim Sci, 2003, 16(4): 463 - 472
- [3] 张吉鹏. 粗饲料分级指数参数的模型化及粗饲料科学搭配的组合效应研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [4] 刘建新. 秸秆基础日粮添补苜蓿体外发酵特性及微生物氮合成的组合效应研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 45 - 49.
- [5] 闫伟杰. 饼粕蛋白与羊草 NDF/玉米淀粉混合料的组合效应研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [6] 段智勇. 反刍动物日粮中淀粉与纤维的组合效应及其机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [7] 张显东. 补饲淀粉对反刍动物饲料组合效应的影响及其机理研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [8] AOAC. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists, 15th Edition [M]. Washington DC: Association of Official Anal Chem, 1990: 69 - 90.
- [9] Van Soest P J, Robertson J B, Lewis B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non - starch polysaccharides in relation to animal nutrition [J]. J Dairy Sci, 1991, 74(10): 3583 - 3597.
- [10] 卢德勋, 谢崇文, 朱兴运, 等. 现代反刍动物营养研究方法和特点 [M]. 北京: 农业出版社出版, 1991: 60 - 74.
- [11] 卢德勋. 系统动物营养学导论 [M]. 北京: 中国农业出版社出版, 2004: 289.
- [12] 张吉鹏. 粗饲料分级指数参数的模型化及粗饲料科学搭配的组合效应研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [13] 张吉鹏, 包赛娜, 赵辉, 等. 木薯渣不同补饲方式对山羊生产性能的影响研究 [J]. 饲料工业, 2009, 30(21): 31 - 34.
- [14] Odunlami M O. Energy supplementation of forage - and browse - based diets for West African Dwarf goats [D]. Nigeria: Obafemi Awolowo University, 1988.

(上接第 570 页)

- [6] Xu Z R, Hu C H, Xia M S, et al Effects of dietary fructooligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers [J]. Poul Sci, 2003, 82(6): 1030 - 1036.
- [7] Jiang H Q, Gong L M, Ma Y X, et al Effect of stachyose supplementation on growth performance, nutrient digestibility and caecal fermentation characteristics in broilers [J]. Br Poult Sci, 2006, 47(4): 516 - 522.
- [8] 蒋红琴, 龚利敏, 贺永惠, 等. 日粮添加水苏糖对肉仔鸡鼠伤寒沙门氏菌感染控制效果的研究 [J]. 中国畜牧杂志, 2007, 43(7): 25 - 27.
- [9] NRC. Nutrient Requirement of Poultry [S]. 9th National Academy Press, Washington, D C USA, 1994.
- [10] Benes A, Marquardt R R, Guenter W, et al Effect of enzyme addition on the performance and gastrointestinal tract size of chicks fed lupin seed and their fractions [J]. Poul Sci, 2002(5), 81: 670 - 678.
- [11] 王子旭. 锌硒互作对肉鸡肠黏膜结构及黏膜免疫相关细胞影响的研究 [D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [12] 戚令忠. 组织学 [M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 1994.
- [13] Johnson I T, Gee J M, Mahoney R R. Effect of dietary supplements of guar gum and cellulose on intestinal cell proliferation, enzyme levels and sugar transport in the rats [J]. Br J Nutr, 1984, 52(3): 477 - 487.
- [14] Kim M. The water - soluble extract of chicory affects rat intestinal morphology similarly to other non - starch polysaccharides [J]. Nutr Res, 2002, 22(11): 1299 - 1307.
- [15] Radechi S V, Ku P K, Bennink M R, et al Effect of dietary copper on intestinal mucosa enzyme activity, morphology and turnover rates in weanling pigs [J]. J Anim Sci, 1992, 70(5): 1424 - 1431.