

# 饲料粗纤维水平与砂砾对四川白鹅肠道组织形态、纤维分解酶活性及挥发性脂肪酸含量的影响

金 灵<sup>1</sup> 罗海凌<sup>1</sup> 高玉云<sup>2\*</sup> 杨 琳<sup>3\*</sup>

(1.福建农林大学国家菌草工程技术研究中心,福州 350002;2.福建农林大学动物科学学院,福州 350002;

3.华南农业大学动物科学学院,广州 510642)

**摘 要:** 本试验旨在研究饲料粗纤维(CF)水平和砂砾对鹅肠道组织形态、纤维分解酶活性及挥发性脂肪酸(VFA)含量的影响。试验采用双因素试验设计,即是否添加砂砾(-砂砾,+砂砾)以及3个CF水平(4.0%、7.0%、10.0%)。试验选取体重接近的22日龄四川白鹅公鹅648只,分为6个处理,每个处理6个重复,每个重复18只,饲养至70日龄屠宰采样。结果表明:1)7.0%组和10.0%组空肠绒毛高度显著高于4.0%组( $P<0.05$ ),10.0%组盲肠绒毛高度和绒毛高度与隐窝深度比值显著高于4.0%组和7.0%组( $P<0.05$ );添加砂砾显著降低了盲肠隐窝深度( $P<0.05$ )。2)10.0%组十二指肠纤维素酶和木聚糖酶活性显著高于4.0%组( $P<0.05$ );但4.0%组盲肠纤维素酶活性显著高于7.0%组( $P<0.05$ ),且其木聚糖酶活性显著高于7.0%组和10.0%组( $P<0.05$ )。3)10.0%组空肠和回肠乙酸含量显著高于7.0%组( $P<0.05$ )。综上,在本试验条件下,提高饲料CF水平改善了22~70日龄鹅的小肠和盲肠绒毛组织形态,促进了鹅小肠的微生物发酵;推荐22~70日龄四川白鹅饲料CF水平可高达10.0%,水泥地面饲养大鹅阶段可不用添加砂砾。

**关键词:** 粗纤维;砂砾;鹅;肠道组织形态;纤维分解酶;挥发性脂肪酸

中图分类号:S835

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)07-3403-09

鹅是我国重要的经济禽类,2018年我国养鹅量占全球的93.3%<sup>[1]</sup>。我国的四川白鹅具有生长快、产蛋能力强等特点<sup>[2]</sup>。由于以中国鹅为代表的亚洲鹅(新疆伊犁鹅除外)起源于鸿雁(*Anser cygnoides*)并保留了雁食草的习性,因此,在自然条件下鹅不仅喜好采食青草,还能以草为生<sup>[3]</sup>。这使得鹅的饲料能够部分用纤维原料替代<sup>[4]</sup>,从而为养鹅减少粮食消耗、降低饲料成本提供了一个策略方向。有研究表明,中等饲料纤维水平对家禽的生产性能和消化功能有利<sup>[5-6]</sup>,且生产中鹅饲料配方粗纤维(CF)水平通常在4%~7%。我们的前期研究也表明,过低或过高CF水平(2.0%和

6.0%相较于4.0%)降低了21日龄鹅生长性能<sup>[7]</sup>;过高CF水平(10%相较于4.0%和7.0%)降低了22~49日龄鹅的增重耗料比,但对22~70日龄鹅的生长性能无显著影响<sup>[8]</sup>。但不同纤维源性质差异大,因此当禾本科草粉作为主要纤维源时,饲料CF水平对四川白鹅的影响值得探究。

为实现不同纤维源的饲料化应用,探究鹅消化高CF水平饲料的机理十分必要,但鹅利用饲料CF的机理仍有争议。有研究表明,鹅肠道纤维类分解酶在鹅利用饲料CF过程中具有重要作用<sup>[9]</sup>,尤其是盲肠的微生物发酵最为活跃<sup>[10]</sup>。但也有研究表明,鹅的盲肠不如一些草食单胃动物盲肠发

收稿日期:2019-11-19

基金项目:福建省自然科学基金(2018J01599);国家水禽产业技术体系(CARS-43-14)

作者简介:金 灵(1984—),女,四川宜宾人,博士,研究方向为动物营养与饲料资源开发。E-mail: lingjin5@vip.163.com

\* 通信作者:高玉云,副教授,硕士生导师,E-mail: gaoyuyun2000@163.com;杨 琳,教授,博士生导师,E-mail: ylin898@126.com

达<sup>[11]</sup>,其盲肠容积与非草食家禽(鸡、鸭)相比也无优势<sup>[12-13]</sup>,其解剖特征是进化过程中已退化的盲肠和发达的肌胃<sup>[14]</sup>。鉴于鹅肌胃的绝对与相对重量比鸡和鸭具有明显优势<sup>[12]</sup>,推测肌胃对鹅采食高CF水平饲料具有重要作用。另外,大部分禽类都需要砂砾留存于肌胃中以加强其机械消化<sup>[15-16]</sup>,鹅也有采食砂砾的习性<sup>[17]</sup>,而且采食大量植物性食物的水禽肌胃中有更多砂砾<sup>[16]</sup>。有研究表明,在人工肌胃条件下砂砾能促进肌胃对草的消化<sup>[18]</sup>,我们前期研究也表明添加砂砾提高了雏鹅生长性能<sup>[7]</sup>,降低了雏鹅<sup>[7]</sup>与生长育肥鹅<sup>[8]</sup>的胃肠道重量,改变了肌胃砂砾特征。因此,本试验拟在不同饲料CF水平(来源于草粉)和添加砂砾条件下进一步研究鹅肠道组织形态与肠道纤维分解能力,以期为鹅饲料CF适宜添加水平和消化机理提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验以皇竹草草粉(*Pennisetum hybridum*)来调节饲料CF水平,草粉由整株皇竹草晒干后通过孔径为2.5 mm的粉碎机制成,其主要营养成分含量测定值参见文献<sup>[19]</sup>。根据遗传关系与鹅较近的雁<sup>[17]</sup>以及体重与鹅近似的家禽肌胃砂砾粒度<sup>[20]</sup>,推测22~70日龄鹅的适宜砂砾粒度为1.00~4.00 mm。试验所用砂砾为检验筛选出的1.00~4.00 mm干河砂,粒度组成为:1.00~2.00 mm 64.68%、2.00~3.00 mm 22.39%、3.00~4.00 mm 12.93%。

### 1.2 试验设计

试验在广东省汕头市白沙禽畜原种研究所的水泥地面水禽试验场地进行,场地清扫干净后无砂砾,每栏配1个水池。采用双因素试验设计,即是否添加砂砾[添加(+)、不添加(-)]以及3个CF水平(4.0%、7.0%和10.0%)。饲料CF水平为覆盖并大于生产中常用的CF水平。选取22日龄、体重相近的四川白鹅公鹅648只(该部分鹅1~21日龄阶段是在网上饲养且未添加砂砾),随机分为6个处理,每个处理6个重复,每个重复18只。试验饲料组成及营养水平参见文献<sup>[19]</sup>。砂砾从试验第1天(22日龄)开始添加,每周按采食量的1%添加到料盘中饲料表面,每周1次。

### 1.3 样品采集与指标检测

#### 1.3.1 肠道组织形态观察

于70日龄每个重复选1只接近平均体重的鹅进行屠宰,取空肠和盲肠的中部各2 cm待测肠道组织形态。样品采集后用冷的磷酸盐缓冲液(PBS)洗干净并放入10%中性福尔马林固定液中,选取合适大小的肠段组织用石蜡包埋,苏木精-伊红染色,光镜观察形态,选取10根绒毛,测定绒毛高度及相连的隐窝深度、肌层厚度,并计算绒毛高度与隐窝深度比值。

#### 1.3.2 纤维素酶和木聚糖酶活性测定

动物屠宰后立即结扎各肠段分界点,取出体腔,采集十二指肠、空肠后半部以及盲肠的内容物,样品立即放入液氮中速冻,之后转入-80℃冰箱保存。十二指肠和空肠内容物在4℃下解冻,以4 000 r/min离心10 min,取上清液,按1:3的比例加入生理盐水,待测纤维素酶和木聚糖酶活性。盲肠内容物在4℃下解冻,取0.5 g左右,以1:9比例加入4℃生理盐水,冰浴下匀浆,4 000 r/min离心10 min,取上清液待测纤维素酶和木聚糖酶活性。纤维素酶和木聚糖酶活性分别参考GB/T 23881—2009和GB/T 23874—2009的方法测定。

#### 1.3.3 肠道挥发性脂肪酸(VFA)含量测定

屠宰前未断料(因鹅肠道排空很快)以保证肠道中有食糜。屠宰后立即结扎各肠段分界点,取出体腔,采集十二指肠、空肠后半部以及盲肠的内容物,样品立即放入液氮中速冻,之后转入-80℃冰箱保存。样品解冻后,十二指肠、空肠、回肠样品在4℃下10 000 r/min离心10 min,取1 mL上清液备用;盲肠样品(半固体状)则取0.5 g样品加入1 mL去离子水稀释、混匀,在4℃下10 000 r/min离心10 min,再取1 mL上清液备用。向上清液中加入0.2 mL 25%偏磷酸和0.2 mL 42 mmol/L巴豆酸,在4℃下14 000 r/min离心10 min,吸取上清液过0.22 μm水系滤膜,采用气相色谱仪检测VFA含量<sup>[21]</sup>。

色谱条件:进样口温度为220℃,检测器温度为250℃;柱温为60℃ 2 min,再以30℃/min升至150℃,保持2.8 min,再以40℃/min升至250℃;氮气流速为4.0 mL/min,氢气流速为40 mL/min,空气流速为400 mL/min,分流比60:1自动进样,进样量为1 μL。

## 1.4 数据统计分析

数据采用 SAS 9.1 软件进行统计分析, 所有数据进行双因素方差分析, 每个重复为 1 个统计单位。分析的模型包括饲料 CF 水平与砂砾的主效应以及它们的互作。表中数据采用平均值 (means) 和混合标准误 (PSEM) 表示。  $P \leq 0.05$  表示差异显著,  $0.05 < P \leq 0.10$  表示有差异显著的趋势。当主效应或者它们之间的互作有显著差异时, 采用 Tukey's HSD 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料 CF 水平和砂砾对四川白鹅空肠、盲肠组织形态的影响

由表 1 可知, 10.0% 组和 7.0% 组空肠绒毛高度显著高于 4.0% 组 ( $P < 0.05$ ), 10.0% 组盲肠绒毛高度和绒毛高度与隐窝深度比值显著高于 4.0% 组和 7.0% 组 ( $P < 0.05$ )。添加砂砾仅显著降低了盲肠的隐窝深度 ( $P < 0.05$ ), 可见其对 70 日龄鹅的肠道组织形态影响很小。

表 1 饲料 CF 水平和砂砾对 70 日龄鹅肠道组织形态的影响

Table 1 Effects of dietary CF levels and grit on intestinal histology of geese aged 70 days

组别 Groups	空肠 Jejunum				盲肠 Cecum				
	绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	肌层厚度 Muscular thickness/ $\mu\text{m}$	绒毛高度/ 隐窝深度 VH/CD	绒毛高度 Villus height/ $\mu\text{m}$	隐窝深度 Crypt depth/ $\mu\text{m}$	肌层厚度 Muscular thickness/ $\mu\text{m}$	绒毛高度/ 隐窝深度 VH/CD	
CF 水平 CF levels/%									
4.0	-	820.60	192.96	736.10	4.38	487.08 <sup>ab</sup>	158.45 <sup>ab</sup>	458.65	3.11 <sup>b</sup>
4.0	+	864.37	215.08	808.67	4.18	451.50 <sup>b</sup>	152.25 <sup>ab</sup>	453.48	3.01 <sup>b</sup>
7.0	-	907.85	200.87	836.98	4.77	502.14 <sup>ab</sup>	174.58 <sup>a</sup>	409.90	2.92 <sup>b</sup>
7.0	+	953.65	204.75	813.23	4.73	468.22 <sup>ab</sup>	157.33 <sup>ab</sup>	467.65	3.00 <sup>b</sup>
10.0	-	910.87	180.78	833.20	5.23	567.33 <sup>ab</sup>	168.60 <sup>ab</sup>	470.68	3.38 <sup>ab</sup>
10.0	+	949.53	205.18	864.22	4.82	626.68 <sup>a</sup>	143.56 <sup>b</sup>	454.08	4.39 <sup>a</sup>
混合标准误 PSEM		37.62	16.13	41.96	0.46	39.65	6.97	37.45	0.29
CF 水平 CF levels/%	砂砾 Grit								
4.0		842.48 <sup>b</sup>	204.02	772.38	4.28	469.29 <sup>b</sup>	155.35	456.07	3.06 <sup>b</sup>
7.0		930.75 <sup>a</sup>	202.81	825.11	4.75	485.18 <sup>b</sup>	165.96	438.78	2.96 <sup>b</sup>
10.0		930.20 <sup>a</sup>	192.98	848.71	5.03	597.01 <sup>a</sup>	156.08	462.38	3.89 <sup>a</sup>
混合标准误 PSEM		26.60	11.40	29.67	0.33	28.03	4.93	26.48	0.21
砂砾 Grit									
-		879.77	191.54	802.09	4.79	518.85	167.21 <sup>a</sup>	446.41	3.14
+		922.52	208.34	828.71	4.58	515.47	151.05 <sup>b</sup>	458.40	3.47
混合标准误 PSEM		21.72	9.31	24.23	0.27	22.89	4.02	21.62	0.17
双因素方差分析 Two-way ANOVA									
CF 水平 CF levels		*	NS	NS	NS	**	NS	NS	*
砂砾 Grit		NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
交互作用 Interaction		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

同列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 ( $P < 0.05$ )。\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), NS 表示无显著差异 ( $P > 0.05$ )。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P > 0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P < 0.05$ ). \* mean significant difference ( $P < 0.05$ ), \*\* mean extremely significant difference ( $P < 0.01$ ), and NS mean no significant difference ( $P > 0.05$ ). The same as below.

## 2.2 饲料 CF 水平和砂砾对四川白鹅肠道纤维分解酶活性的影响

由表 2 可知,饲料 CF 水平的升高提高了 70 日龄鹅十二指肠纤维素酶与木聚糖酶活性,10.0% 组的活性显著高于 4.0% 组 ( $P < 0.05$ )。但 4.0% 组

的盲肠纤维素酶活性显著高于 7.0% 组 ( $P < 0.05$ ), 其盲肠木聚糖酶活性显著高于 7.0% 组和 10.0% 组 ( $P < 0.05$ )。添加砂砾对各组的纤维素酶和木聚糖酶活性均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

表 2 饲料 CF 水平和砂砾对 70 日龄鹅肠道纤维分解酶活性的影响

Table 2 Effects of dietary CF levels and grit on intestinal cellulolytic enzyme activities of geese aged 70 days

组别 Groups	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum		盲肠 Cecum		U/mL	
		纤维素酶 Cellulase	木聚糖酶 Xylanase	纤维素酶 Cellulase	木聚糖酶 Xylanase		纤维素酶 Cellulase
CF 水平 CF levels/%	砂砾 Grit						
4.0	-	0.23	0.32	0.50	0.66	0.71	1.83
4.0	+	0.28	0.44	0.51	0.63	0.63	2.17
7.0	-	0.29	0.43	0.45	0.54	0.57	1.37
7.0	+	0.30	0.58	0.47	0.68	0.57	1.45
10.0	-	0.39	0.87	0.49	0.55	0.62	1.45
10.0	+	0.37	0.88	0.44	0.64	0.60	1.43
混合标准误 PSEM		0.04	0.15	0.04	0.07	0.04	0.20
CF 水平 CF levels/%							
4.0		0.26 <sup>b</sup>	0.38 <sup>b</sup>	0.51	0.65	0.67 <sup>a</sup>	2.00 <sup>a</sup>
7.0		0.30 <sup>ab</sup>	0.51 <sup>ab</sup>	0.46	0.61	0.57 <sup>b</sup>	1.41 <sup>b</sup>
10.0		0.38 <sup>a</sup>	0.88 <sup>a</sup>	0.47	0.60	0.61 <sup>ab</sup>	1.44 <sup>b</sup>
混合标准误 PSEM		0.03	0.11	0.03	0.05	0.03	0.14
砂砾 Grit							
-		0.31	0.54	0.48	0.59	0.63	1.55
+		0.32	0.64	0.48	0.65	0.60	1.68
混合标准误 PSEM		0.02	0.09	0.02	0.04	0.02	0.11
双因素方差分析 Two-way ANOVA							
CF 水平 CF levels		*	**	NS	NS	*	**
砂砾 Grit		NS	NS	NS	NS	NS	NS
交互作用 Interaction		NS	NS	NS	NS	NS	NS

## 2.3 饲料 CF 水平和砂砾对四川白鹅肠道 VFA 含量的影响

试验检测了 70 日龄鹅十二指肠、空肠、回肠、盲肠中的 VFA 含量,但大部分十二指肠内容物样品未检测出 VFA,因此结果未列出;大部分空肠和回肠样品中的丙酸和丁酸含量未达到当前试验条件的最低检测值,结果也未列出。由表 3 可知,10.0% 组的空肠、回肠乙酸含量显著高于 7.0% 组 ( $P < 0.05$ )。饲料 CF 水平对盲肠的 VFA 含量无显著影响 ( $P > 0.05$ )。砂砾对各肠段的 VFA 含量均无显著影响 ( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 饲料 CF 水平和砂砾对四川白鹅肠道组织形态的影响

有研究表明,生长肥育鹅的小肠绒毛高度随饲料 CF 水平升高而呈现先升高后降低<sup>[22]</sup>或者升高<sup>[23]</sup>的规律。也有研究表明,较窄范围的饲料 CF 水平对小肠绒毛高度影响不显著<sup>[24]</sup>。与大部分研究结果<sup>[22-23]</sup>较一致的是,本试验中饲料最低 CF 水平(4.0%)的空肠绒毛高度最低,中等饲料 CF 水平(7.0%)的空肠绒毛高度最高,高饲料 CF 水

平(10.0%)的空肠绒毛高度又略有降低;而盲肠绒毛高度以及绒毛高度与隐窝深度比值随饲料 CF 水平升高而增加。总的来看,本试验中 7.0% 和 10.0% 饲料 CF 水平改善了 70 日龄鹅空肠和盲肠

组织形态,同时生长性能未受饲料 CF 水平显著影响<sup>[8]</sup>,可见与 21 日龄鹅在饲料高 CF 水平(6.0%)时空肠绒毛高度降低<sup>[7]</sup>相比,70 日龄鹅的空肠、盲肠对饲料高 CF 水平适应能力强很多。

表 3 饲料 CF 水平和砂砾对 70 日龄鹅肠道 VFA 含量的影响

Table 3 Effects of dietary CF levels and grit on VFA contents in intestines of geese aged 70 days

组别 Groups	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	盲肠 Cecum					
			乙酸 Acetic acid/ (mmol/L)	乙酸 Acetic acid/ (mmol/L)	乙酸 Acetic acid/ (mmol/L)	丙酸 Propionic acid/ (mmol/L)	丁酸 Butyric acid/ (mmol/L)	总挥发性 脂肪酸 Total VFA/ (mmol/L)
CF 水平 CF levels/%								
4.0	-	1.30	3.32 <sup>ab</sup>	44.61	12.51	7.03	64.16	3.88
4.0	+	1.58	4.53 <sup>ab</sup>	37.82	9.97	5.63	53.43	3.88
7.0	-	1.47	2.86 <sup>ab</sup>	39.36	9.92	6.27	55.55	4.29
7.0	+	1.31	2.48 <sup>b</sup>	40.10	13.27	7.82	61.50	5.51
10.0	-	1.77	5.37 <sup>a</sup>	32.51	8.90	5.95	47.36	3.66
10.0	+	2.55	4.03 <sup>ab</sup>	37.79	9.99	7.43	55.21	4.59
混合标准误 PSEM		0.33	0.64	4.33	2.94	1.51	8.11	0.89
CF 水平 CF levels/%								
4.0		1.44 <sup>ab</sup>	3.92 <sup>ab</sup>	41.22	11.24	6.33	58.79	3.88
7.0		1.39 <sup>b</sup>	2.67 <sup>b</sup>	39.88	11.60	7.05	58.53	4.90
10.0		2.16 <sup>a</sup>	4.70 <sup>a</sup>	35.15	9.45	6.69	51.29	4.12
混合标准误 PSEM		0.23	0.45	3.13	2.04	1.04	5.73	0.63
砂砾 Grit								
-		1.51	3.85	38.83	10.44	6.42	55.69	3.94
+		1.82	3.68	38.67	11.08	6.96	56.71	4.66
混合标准误 PSEM		0.19	0.37	2.56	1.66	0.85	4.68	0.51
双因素方差分析 Two-way ANOVA								
CF 水平 CF levels		*	*	NS	NS	NS	NS	NS
砂砾 Grit		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
交互作用 Interaction		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

添加砂砾降低了 70 日龄鹅盲肠的隐窝深度, 先前试验表明添加砂砾增加了 21 日龄鹅盲肠的肌层厚度<sup>[7]</sup>。但由于不溶性的颗粒物无法进入禽类盲肠<sup>[25-27]</sup>, 因此大部分砂砾应该不经过盲肠而直接排出体外, 对盲肠无直接影响。本试验结果推测可能是由于添加砂砾促进了肌胃对饲料纤维的研磨, 为盲肠提供了更多细小、利于发酵的底物, 从而间接对盲肠产生了一定影响。总的来看, 添加砂砾仅对盲肠组织形态有较小影响, 而对空肠无显著影响, 推测砂砾对空肠的消化吸收功能

影响不大; 但添加砂砾提高了 21 日龄鹅(网上饲养)的生长性能<sup>[7]</sup>, 可能与促进肌胃研磨作用有关。

### 3.2 饲料 CF 水平和砂砾对四川白鹅肠道纤维分解酶活性的影响

本试验结果表明, 纤维素酶和木聚糖酶活性由高到低依次为盲肠、空肠、十二指肠, 其中十二指肠的纤维分解酶活性受饲料 CF 水平影响显著, 随饲料 CF 水平升高而升高。对生长育肥阶段鹅的研究表明, 不同肠段的纤维分解酶活性各不相

同,总体表明鹅盲肠中纤维分解酶活性最高,但饲料 CF 的消化主要发生在消化道前部<sup>[28-29]</sup>,可能因鹅盲肠发育迟、体积小<sup>[14,30]</sup>,大量食糜未经过鹅盲肠而是直接排出体外<sup>[29]</sup>。当前试验饲料 CF 水平主要影响了十二指肠的纤维分解酶活性,推测本试验饲料 CF(不溶性为主)消化也主要发生在消化道前部。

本试验中,饲料 CF 水平为 7.0% 和 10.0% 时,70 日龄鹅盲肠纤维分解酶活性反而低于饲料 CF 水平为 4.0% 的处理,这可能与试验中饲料 CF 的颗粒较大、难溶、难以进入盲肠有关。有研究表明,饲料添加果胶相比添加苜蓿草粉、大麦麸、米糠、纤维素和木质素会提高鹅盲肠的纤维素酶活性<sup>[31]</sup>;而对比玉米秸秆和羊草纤维源时(主要为难溶性),鹅盲肠的纤维素酶活性组间无显著差异<sup>[32]</sup>。据推测,盲肠的主要功能是允许小肠内容物在此分类,使难以消化的部分成分迅速排出体外,较容易消化的部分则留下来<sup>[26,33]</sup>。也有研究证明,禽类(包括鹅和松鸡)盲肠具有一种分离机制,即允许可溶性物质进入盲肠,而不溶性的颗粒物则无法进入盲肠<sup>[25-27]</sup>,这极大地促进了鹅肠道的排空,但同时限制了鹅盲肠对难溶、大颗粒纤维的消化。

就目前国内外与砂砾相关的文献,暂未见到有关砂砾对肠道纤维分解酶活性影响的报道。本试验中砂砾对鹅肠道纤维分解酶活性无显著影响。由此可见,本试验中以不溶性纤维为主的草粉添加砂砾辅助研磨时,未能影响肠道纤维分解酶活性,推测砂砾对鹅肠道的纤维分解能力无显著影响。

### 3.3 饲料 CF 水平对四川鹅肠道 VFA 含量的影响

VFA 是碳水化合物经微生物发酵产生的终产物,主要包括乙酸、丙酸和丁酸,VFA 含量和组成反映了微生物区系的活动状况。有研究表明,180 日龄太湖鹅盲肠的乙酸和丁酸含量显著高于其他各段胃肠道<sup>[11]</sup>,这与本试验中 70 日龄四川白鹅结果基本一致;不同的是,大部分 70 日龄鹅小肠中未检测出丁酸。结合当前试验的肠道纤维分解酶活性指标,即 10.0% 组的十二指肠纤维消化酶活性高于 4.0% 组(但该段未检测出 VFA),而在饲料 CF 水平为 10.0% 时,空肠、回肠检测出最高乙酸含量,总体说明本试验中饲料 CF 水平的升高显著影

响了小肠段的微生物发酵。

鹅盲肠 VFA 的相关研究表明,鹅盲肠发育较迟,2 周龄时出现微生物消化含有一定量的 VFA,8 周龄时有所升高,10 周龄时最高<sup>[30]</sup>。也有研究表明,不同纤维源对鹅盲肠 VFA 的比例无显著影响,但显著影响了 VFA 含量,可溶性纤维果胶组的 VFA 含量高于苜蓿粉、大麦麸、稻壳、纯化纤维素、木质素组<sup>[34]</sup>。相似地,饲料中可溶性纤维的增加,提高了兔子盲肠中总 VFA 和乙酸含量<sup>[35]</sup>,而添加木质素反而显著降低了兔子盲肠中 VFA 含量<sup>[36]</sup>。本试验中,饲料 CF 水平对盲肠的 VFA 含量无显著影响,推测是由于本试验中使用的纤维源是难溶的皇竹草草粉,而影响鹅盲肠发酵的主要是可溶性纤维。

本试验表明,饲料 CF 水平(不溶性纤维)对四川白鹅的盲肠发酵功能影响很小,究其原因,可能与鹅的消化道生理特征相关。虽然鹅被认为是草食家禽,但与鸡、鸭、鹅相比,鹅的盲肠相对长度与重量无优势,且鸡盲肠中的 VFA 含量最高<sup>[37]</sup>。鹅盲肠发育迟,食糜少,被认为是退化的器官,在整个消化过程似乎无重要意义<sup>[14,30]</sup>,故鹅采食高 CF 水平饲料时,并不一定通过盲肠发酵获得营养。对鹌鹑的研究表明,盲肠主要功能是允许小肠内容物在此分类,使难以消化的迅速排出体外,较容易消化的则留下来<sup>[33]</sup>。若该假设正确,那么盲肠内的细菌会优先发酵可溶或悬浮的物质而不是纤维。由于可溶物流通快,大量未被小肠消化吸收是完全可能的<sup>[26]</sup>,也有研究证明只有液体标记物才能在鹅盲肠滞留<sup>[25]</sup>。还有研究认为,对食糜分类的意义在于,肠道能迅速清空以便采食更多食物;排掉大颗粒食糜后,可以减轻动物承载的重量,这对禽类是具有适应性意义的;还可提高能量吸收效率,因为可溶性或细小物质在此得以浓缩<sup>[26]</sup>。总体来看,鹅的消化生理特点表明鹅的排空时间短<sup>[38-40]</sup>;鹅起源于雁(候鸟),若盲肠对食糜存在分类机制,同时不溶性纤维对盲肠发酵功能影响很小,这对其适应性也是有利的。

本试验表明,添加砂砾对 70 日龄四川白鹅盲肠纤维消化酶活性与 VFA 含量均无显著影响。先前研究表明,鹅的肌胃对砂砾具有选择存留作用,可能是肌胃能够捕捉饲料中偶然存在的少量砂砾并累积、存留在肌胃中<sup>[7]</sup>。当前饲养试验在水泥地面上进行(清扫干净无砂砾),结果表明未添加

砂砾组肌胃砂砾也逐渐累积以至减弱了添加砂砾的效果<sup>[8]</sup>, 至 70 日龄时有、无添加砂砾组的肌胃存留砂砾量相差倍数已经很小(与 1~21 日龄网上饲养鹅相比<sup>[7]</sup>)。有研究推测, 采食砂砾可能是一种行为学或营养学上的需要, 可能与动物福利有关<sup>[41]</sup>。推测一般生产条件下, 添加砂砾对鹅盲肠微生物发酵能力无显著影响。

## 4 结 论

本试验条件下, 提高饲料 CF 水平改善了 70 日龄鹅的小肠和盲肠绒毛组织形态, 促进了鹅小肠的微生物发酵。综合试验结果得出, 22~70 日龄鹅饲料 CF 水平可高达 10.0%; 水泥地面饲养生长育肥鹅可不用添加砂砾。

## 参考文献:

- [ 1 ] 侯水生. 2018 年度水禽产业发展现状、未来发展趋势与建议[J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(3): 124-128.
- [ 2 ] 赵万里, 祁永红. 中国鹅的品种资源及保护利用[J]. 中国禽业导刊, 2001, 18(24): 8-9.
- [ 3 ] BUCHSBAUM R, WILSON J, VALIELA I. Digestibility of plant constituents by Canada geese and Atlantic brant[J]. Ecology, 1986, 67(2): 386-393.
- [ 4 ] KOKOSZYŃSKI D, BERNACKI Z, GRABOWICZ M, et al. Effect of corn silage and quantitative feed restriction on growth performance, body measurements, and carcass tissue composition in white Kółuda W31 geese[J]. Poultry Science, 2014, 93: 1993-1999.
- [ 5 ] HETLAND H, CHOCT M, SVIHUS B. Role of insoluble non-starch polysaccharides in poultry nutrition[J]. World's Poultry Science Journal, 2004, 60: 415-422.
- [ 6 ] MATEOS G G, JIMENEZ-MORENO E, SERRANO MP, et al. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics[J]. Journal of Applied Poultry Research, 2012, 21: 156-174.
- [ 7 ] JIN L, GAO Y Y, YE H, et al. Effects of dietary fiber and grit on performance, gastrointestinal tract development, lipometabolism, and grit retention of goslings[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(12): 2731-2740.
- [ 8 ] JIN L, ZHENG L Y, YANG L, et al. Effect of dietary fibre and grit on performance, gastrointestinal tract development, and grit pattern of goose[J]. British Poultry Science, 2020, DOI: 10.1080/00071668.2020.1736267
- [ 9 ] 张桂山, 徐晶, 娄玉杰, 等. 鹅肠道纤维分解菌的分离筛选及酶活力研究[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(2): 195-199, 207.
- [ 10 ] YANG H, XIAO Y, GUI G, et al. Microbial community and short-chain fatty acid profile in gastrointestinal tract of goose[J]. Poultry Science, 2018, 97(4): 1420-1428.
- [ 11 ] 赵莹, 娄玉杰. 日粮纤维对单胃动物胃肠道微生物区系的影响[J]. 饲料工业, 2006, 27(19): 12-15.
- [ 12 ] JAMROZ D, JAKOBSEN K, ORDA J, et al. Development of the gastrointestinal tract and digestibility of dietary fibre and amino acids in young chickens, ducks and geese fed diets with high amounts of barley[J]. Comparative biochemistry and physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2001, 130(4): 643-652.
- [ 13 ] JAMROZ D, WERTELECKI T, WILICZKIEWICZ A, et al. Dynamics of yolk sac resorption and post-hatching development of the gastrointestinal tract in chickens, ducks and geese[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2004, 88(5/6): 239-250.
- [ 14 ] 黎寿丰. 禽类的起源、演化及我国主要家禽品种类型与分布[J]. 中国家禽, 2009, 31(3): 7-10.
- [ 15 ] GIONFRIDDO J P, BEST L B. Grit-use patterns in North American birds; the influence of diet, body size, and gender[J]. The Wilson Bulletin, 1996, 108: 685-696.
- [ 16 ] FIGUEROLA J, MATEO R, GREEN A J, et al. Grit selection in waterfowl and how it determines exposure to ingested lead shot in Mediterranean wetlands[J]. Environmental Conservation, 2005, 32: 226-234.
- [ 17 ] VERCAUTEREN K C, LAVELLE M J, SHIVELY K J. Characteristics of grit in Canada goose gizzards[J]. Wildlife Society Bulletin, 2003, 31(1): 265-269.
- [ 18 ] MOORE S J. Use of an artificial gizzard to investigate the effect of grit on the breakdown of grass[J]. Journal of Zoology, 1998, 246(1): 119-124.
- [ 19 ] 金灵, 李昂, 林占熿, 等. 饲料粗纤维水平和砂砾对四川白鹅血清脂肪代谢指标、屠宰性能及肉品质的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(9): 4052-4060.
- [ 20 ] TAGAMI S. On the variation of retention and form of grit in gizzard of growing chicks[J]. Scientific Reports of the Faculty of Agriculture (Ibaraki University), 1974, 22: 7-13.

- [21] 姜芳,王佳堃,刘建新.内标法同时测定挥发性脂肪酸和乳酸的方法探究[J].中国畜牧杂志,2009,45(21):73-76.
- [22] 刘长忠.日粮纤维水平对生长鹅营养效应和NSP酶在日粮中应用的研究[D].博士学位论文.武汉:华中农业大学,2007.
- [23] 周娟,潘振亮,周瑞进,等.日粮纤维源及添加水平对北方白鹅生产性能及消化道发育的影响[J].畜牧与兽医,2009,41(9):28-33.
- [24] 王娟娟.鹅对羊草利用效果的研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2007.
- [25] CLEMENS E T, STEVENS C E, SOUTHWORTH M. Sites of organic acid production and pattern of digesta movement in the gastrointestinal tract of geese[J]. *Journal of Nutrition*, 1975, 105(10):1341-1350.
- [26] REMINGTON T E. Why do grouse have ceca? A test of the fiber digestion theory[J]. *Journal of Experimental Zoology*, 1989, 3(Suppl.3):87-94.
- [27] VERGARA P, FERRANDO C, JIMÉNEZ M, et al. Factors determining gastrointestinal transit time of several markers in the domestic fowl[J]. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 1989, 74(6):867-874.
- [28] 黄萌,曹立军,李伟,等.鹅肠道内容物纤维素酶活性的分段比较[J].当代畜牧,2010(1):27-28.
- [29] 陈五湖,王志跃,杨海明,等.鹅消化道对不同饲粮源纤维消化的比较[J].扬州大学学报(农业与生命科学版),2010,31(1):33-37.
- [30] 邵彩梅,韩正康.四季鹅胃肠道发育及消化酶活力的年龄性变化[J].中国畜牧杂志,1990(1):16-19.
- [31] YU B, TSAI C C, HSU J C, et al. Effect of different sources of dietary fibre on growth performance, intestinal morphology and caecal carbohydrases of domestic geese[J]. *British Poultry Science*, 1998, 39(4):560-567.
- [32] 刘晓娟.不同纤维源日粮对吉林白鹅消化生理及盲肠发酵的影响[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2008.
- [33] FENNA L, BOAG D A. Adaptive significance of the caeca in Japanese quail and spruce grouse (*Galliformes*) [J]. *Canadian Journal of Zoology*, 1974, 52(12):1577-1584.
- [34] HSU J C, LU T W, CHIOU P W S, et al. Effects of different sources of dietary fibre on growth performance and apparent digestibility in geese [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 60(1/2):93-102.
- [35] XICCATO G, TROCINO A, MAJOLINI D, et al. Effect of decreasing dietary protein level and replacing starch with soluble fibre on digestive physiology and performance of growing rabbits [J]. *Animal*, 2011, 5(8):1179-1187.
- [36] CHIOU P W, YU B, LIN C. The effect of different fibre components on growth rate, nutrient digestibility, rate of digesta passage and hindgut fermentation in domesticated rabbits [J]. *Laboratory Animals*, 1998, 32(3):276-283.
- [37] JAMROZ D, WILICZKIEWICZ A, ORDA J, et al. Aspects of development of digestive activity of intestine in young chickens, ducks and geese [J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2002, 86(11/12):353-366.
- [38] MOORE S J. Food breakdown in an avian herbivore: who needs teeth? [J]. *Australian Journal of Zoology*, 1999, 47(6):625-632.
- [39] 樊红平,侯水生,刘建华,等.食糜在鸡、鸭消化道排空速度的比较研究[J].中国畜牧兽医,2007,34(4):7-10.
- [40] 王志跃,周秀丽,杨海明,等.不同日粮对仔鹅消化道食糜流速的影响[J].江苏农业科学,2007(6):218-220.
- [41] GARİPOGLU A V, ERENER G, OCAK N. Voluntary intake of insoluble granite-grit offered in free choice by broilers: its effect on their digestive tract traits and performances [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2006, 19(4):549-553.



# Effects of Dietary Fiber Level and Grit on Intestinal Morphology, Cellulolytic Enzyme Activities and Volatile Fatty Acid Contents in *Sichuan* White Geese

JIN Ling<sup>1</sup> LUO Hailing<sup>1</sup> GAO Yuyun<sup>2\*</sup> YANG Lin<sup>3\*</sup>

(1. *China National Engineering Research Center of JUNCAO Technology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China*; 2. *College of Animal Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China*; 3. *College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China*)

**Abstract:** This study was investigated the effects of dietary crude fiber (CF) level and grit on intestinal morphology, cellulolytic enzyme activities and volatile fatty acid contents in geese. This experiment was adopted a two factorial design, which consisting with or without grit addition and three levels of dietary CF (4.0%, 7.0% and 10.0%). A total of 648 *Sichuan* white male geese at 22 days of age were divided into 6 treatments, each with 6 replicates, each replicate with eighteen geese. At 70 days of age, geese were slaughtered to collect samples. The results showed as follow: 1) the jejunum villus height in 7.0% group and 10.0% group was significantly higher than that in 4.0% group ( $P<0.05$ ), and cecal villus height and cecal villus height to crypt depth ratio in 10.0% group were significantly higher than those in 4.0% group and 7.0% group ( $P<0.05$ ). The addition of grit significantly reduced the depth of the cecal crypt ( $P<0.05$ ). 2) The cellulase and xylanase activities in duodenum in 10.0% group was significantly higher than that in 4.0% group ( $P<0.05$ ); the cellulase activity in cecum in 4.0% group was significantly higher than that in 7.0% group ( $P<0.05$ ), and xylanase activity was significantly higher than that in 7.0% group and 10.0% group ( $P<0.05$ ). 3) The acetic acid content in the jejunum and ileum in 10.0% group were significantly higher than those in 7.0% group ( $P<0.05$ ). In conclusion, increasing dietary CF levels increase the development of the small intestine and cecal villi in growing geese; and mainly promote the microbial fermentation of small intestines in geese. It is recommended that CF level for 22 to 70 aged *Sichuan* white geese diet can be up to 10%; and there is no need to add grit to growing or finishing geese raised on concrete floor. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(7): 3403-3411]

**Key words:** crude fiber; grit; geese; intestinal morphology; cellulolytic enzyme; volatile fatty acids

\* Corresponding authors: GAO Yuyun, associate professor, E-mail: gaoyuyun2000@163.com; YANG Lin, professor, E-mail: ylin898@126.com