

文章编号:1000-0615(2007)01-0054-08

## 小麦基础饲料添加木聚糖酶对尼罗罗非鱼肠道食糜粘度和绒毛、微绒毛发育的影响

聂国兴<sup>1,2</sup>, 王俊丽<sup>1</sup>, 朱命炜<sup>1</sup>, 周洪琪<sup>2</sup>

(1. 河南师范大学生命科学学院, 河南 新乡 453007;

2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

**摘要:**以尼罗罗非鱼[体重( $106.16 \pm 16.77$ )g]为实验对象,小麦基础饲料为对照,小麦基础饲料中分别添加不同水平的木聚糖酶(0.05%、0.10%、0.15%)作为试验饲料。每个处理设5个重复,每个重复放养40尾雄性尼罗罗非鱼。饱食投喂,饲养75 d后测定尼罗罗非鱼肠道食糜粘度以及前、中、后肠的肠绒毛显微与超微结构。结果表明,对照组与0.05%、0.10%、0.15%木聚糖酶试验组的肠道食糜粘度分别为( $15.21 \pm 0.29$ ) cps、( $13.75 \pm 0.45$ ) cps、( $12.23 \pm 0.16$ ) cps和( $11.92 \pm 0.22$ ) cps,试验组的肠道食糜粘度极显著低于对照组( $P < 0.01$ )。随着木聚糖酶添加量的增加,试验组尼罗罗非鱼前、中、后肠绒毛表面的粘附性颗粒数量较对照组明显减少,颗粒直径减小;试验组前、中、后肠微绒毛的密度和高度均得到不同程度的改善。0.10%木聚糖酶试验组前、中、后肠绒毛高度、宽度、密度均极显著高于对照组( $P < 0.01$ )。

**关键词:**小麦基础饲料;木聚糖酶;尼罗罗非鱼;食糜粘度;肠绒毛

中图分类号:S 963

文献标识码:A

## The influences of xylanase added in wheat basal diet on intestine chyme viscosity and the development of villi and microvilli of *Tilapia nilotica*

NIE Guo-xing<sup>1,2</sup>, WANG Jun-li<sup>1</sup>, ZHU Ming-wei<sup>1</sup>, ZHOU Hong-qi<sup>2</sup>

(1. College of Life Sciences, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China;

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract:**Wheat is important cereal crop in our country. Recently, because of the rise of science and technology, the output of wheat have increased significantly and exceeded in phase and structure. Meanwhile, the flourishing developments of aquatic feed industries have been restricted seriously by the defect of raw material. Using wheat as raw material of feed, carrying out transformation and consumption by aquaculture, all of these now possess the resources feasibility. The use of wheat in aquatic feed industry as major energy feed has been restricted because of xylan. In the past few years, the application of feed xylanase with wheat basal diet has resolved the problems of the anti-nutrition of xylan successfully.

收稿日期:2006-03-14

资助项目:河南省重点科技攻关项目(0423014000);河南省动物学重点学科资助项目

作者简介:聂国兴(1971-),男,河南长垣人,博士,副教授,从事水产动物营养与饲料科学研究。Tel:0373-3326441, E-mail:niegx@henannu.edu.cn

通讯作者:周洪琪, Tel:021-65710017, E-mail:hqzhou@shfu.edu.cn

Xylanase could improve the growth of aquatic animals fed with wheat basal diet. But there weren't any researches about the mechanism of xylanase promoting aquatic animals' growth at home and abroad. The purpose of adding xylanase to wheat basal diet in this paper was to study the influences of xylanase on intestine chyme viscosity, on the developments of intestine villi and microvilli. In this study we also probed into the relationship between intestinal environment and the developments of villi and microvilli, displayed the mechanism of xylanase relieving the anti-nutrition of xylan and promoting *Tilapia nilotica*'s growth. Wheat basal diet was control. The tested diets were wheat basal diet added with different levels of xylanase (0.05%, 0.10%, and 0.15% respectively). Each treatment was devised with 5 repeats and each repeat had 40 male *Tilapia nilotica*. The fish in floating cages were fed to satiation for 75 days. The results indicated that adding xylanase to wheat basal diet could decrease intestine chyme viscosity, promote the developments of villi and microvilli of *Tilapia nilotica*. The intestine chyme viscosity of 0.05%, 0.10%, 0.15% xylanase groups [(13.75 ± 0.45) cps, (12.23 ± 0.16) cps and (11.92 ± 0.22) cps respectively] was significantly lower than that of control [(15.21 ± 0.29) cps] ( $P < 0.01$ ). The number and diameter of adhering granule on the villi surface of fore-gut, mid-gut and hind-gut of tested groups significantly decreased with supplement of xylanase. The height and density of intestine villi of the tested groups were significantly improved. The height, width and density of intestine villi of 0.10% xylanase group were significantly higher than that of control ( $P < 0.01$ ). According to the states of intestine chyme viscosity, villi and microvilli development in this study, we concluded that fore-gut and mid-gut of *Tilapia nilotica* were the major places of digestion and absorption. The appropriate amount of xylanase added to wheat basal diet was 0.10%. This study firstly investigated the relationship between xylanase and intestine chyme viscosity, as well as the relationship between intestine chyme viscosity and the development of villi and microvilli. From histology aspect, this study also clarified the mechanism of xylanase improving *Tilapia nilotica*'s growth, and put forward the concept of "fold villi".

**Key words:** wheat basal diet; xylanase; *Tilapia nilotica*; chyme viscosity; intestine villi

随着动物营养学的发展,小麦在水产饲料中的应用正在越来越多地被养殖者尝试。但是,小麦中含有较多的木聚糖,特别是水溶性木聚糖是影响动物消化吸收的抗营养因子。目前,就木聚糖对畜禽的抗营养机制进行了研究<sup>[1]</sup>,木聚糖能提高养殖动物肠道食糜粘度,阻止营养成分的扩散和吸收,降低消化性酶和非消化性酶的作用效率,延缓食糜通过肠道的速度,改变肠道菌群等。但是对于高粘度食糜是否影响肠道形态未见相关报道。国内外许多学者对鱼类肠道形态的研究较多,但主要集中在以下几个方面:通过解剖,阐明鱼类的消化道组成<sup>[2-4]</sup>;利用扫描电子显微镜技术研究鱼类肠道表面的超微结构<sup>[5-6]</sup>;采用组织化学或者免疫组织化学的方法,研究鱼类肠道功能性细胞的形态与分布<sup>[7]</sup>。本研究在小麦基础饲料中添加木聚糖酶,研究木聚糖酶对尼罗罗非鱼肠道食糜粘度以及肠道绒毛、微绒毛发育的影响,探讨肠道环境与肠道绒毛和微绒毛发育的关

系,从而揭示木聚糖酶解除木聚糖抗营养作用、促进尼罗罗非鱼生长的机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

采用单因子浓度梯度法,在基础饲料中分别添加 0.05%、0.10%、0.15% 的木聚糖酶。以不添加木聚糖酶的基础饲料组为对照,试验组和对照组各设 5 个平行。

### 1.2 试验饲料

基础饲料含有 50% 小麦,试验饲料用 HKJ-218 型环模制粒机制成  $\Phi = 2$  mm 的硬颗粒,自然晾干,备用。饲料成分及营养水平见表 1。

### 1.3 饲养管理

试验尼罗罗非鱼来自农业部中捷罗非鱼良种场(河北沧州),饲养于 20 只 1.0 m × 1.0 m × 1.3 m 的池塘浮式网箱中,随机分组。每个网箱放养 40 尾雄性尼罗罗非鱼,初始体重为 (106.16 ±

16.77) g。试验采用饱食方式,每天投喂 4 次(8:30、11:30、14:30、17:30)。试验期间水温为(28.98±2.86)℃,各组水质完全一致。每周刷洗网箱 1 次,防止藻类附着生长。试验时间为 2005 年 7 月 1 日-2005 年 9 月 13 日,共计 75 d。

#### 1.4 食糜粘度测定

投喂 2 h 后,每只网箱中随机取 5 条鱼,常规方法解剖,取全肠食糜 30 g,加入 10 mL 0.1% 迭氮钠,充分混合均匀,Eppendorf Centrifuge 5804R 离心机 4℃、7 000 r·min<sup>-1</sup>、离心 15 min。上清液采用高精度的光电计时粘度测量系统 AVS 310 在 30℃ 下进行粘度测定。

#### 1.5 肠道绒毛、微绒毛观察

投喂 2 h 后,每个饲料组随机取 5 尾鱼,常规

方法解剖,分别取鱼的前、中、后肠。光镜材料于 Bouin 氏液固定,乙醇脱水,二甲苯透明,石蜡包埋,切片(厚度 6 μm),H. E 染色,显微镜下观察,测量绒毛的高度、宽度和密度,密度为一个横切面的绒毛数量。电镜材料将所取肠段小心剖开,翻转,用 0.65% 生理盐水冲洗干净,置 2.5% 戊二醛中 4℃ 固定 48 h, PBS 缓冲液冲洗 3 次,用 30%、50%、70%、80%、90%、100% 的乙醇依次梯度脱水,醋酸异戊脂处理 3 次,临界点干燥,溅射金膜,扫描电镜下观察绒毛和微绒毛的形态特征。

#### 1.6 数据处理

采用 SPSS 11.5 for Windows 进行 one-way ANOVA 分析和 LSD 比较。

表 1 试验饲料组成及营养水平

Tab. 1 Composition of the experimental diet and its nutrition level

饲料原料与营养素 raw material and nutrient of experimental diet	对照组 control group	试验组 test groups		
		0.05%	0.10%	0.15%
小麦(豫麦 34) wheat (Yumai 34)	50.00	50.00	50.00	50.00
大豆粕 soybean meal solvent	23.00	23.00	23.00	23.00
棉籽粕 cottonseed meal solvent	2.00	2.00	2.00	2.00
菜籽粕 rapessed meal solvent	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼粉 fish meal	19.00	18.95	18.85	18.80
氯化胆碱 choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15
1.25% 预混料 1.25% premix	1.25	1.25	1.25	1.25
鱼油 fish oil	1.40	1.40	1.40	1.40
磷酸二氢钙 CaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1.50	1.50	1.50	1.50
木聚糖酶 xylanase	0	0.05	0.10	0.15
水分 moisture	8.59	8.36	8.62	8.86
粗蛋白 crude protein	30.32	30.29	30.24	30.21
粗脂肪 crude fat	3.46	3.46	3.46	3.45
粗纤维 crude fiber	2.65	2.65	2.66	2.66
粗灰分 crude ash	4.94	4.93	4.92	4.92
有效磷 available phosphorate	0.97	0.97	0.96	0.96
赖氨酸 lysine	1.74	1.74	1.74	1.73
蛋氨酸 methionine	0.61	0.61	0.61	0.61
总木聚糖 total xylan	4.23	4.23	4.23	4.23
可溶性木聚糖 water soluble xylan	1.05	1.06	1.05	1.05

注:每 1000 g 1.25% 预混料含: V<sub>A</sub>75×10<sup>4</sup> IU, VD<sub>3</sub>15×10<sup>4</sup> IU, V<sub>E</sub>14 g, VK<sub>3</sub>325 mg, VB<sub>1</sub>1500 mg, VB<sub>2</sub>1250 mg, VB<sub>6</sub>1100 mg, VB<sub>12</sub>4 mg, V<sub>C</sub>2.5 g, 肌酸 5.5 g, 烟酸 4 g, 泛酸 4.5 g, 叶酸 70 mg, 生物素 125 mg, 胆碱 150 g, 镁 45 g, 铁 15 g, 铜 0.35 g, 锌 3 g, 锰 1.5 g, 碘 50 mg, 硒 9 mg, 钴 11 mg, 磷 105 g, 钙 330 g.

Notes: Premix includes(per 1000g): V<sub>A</sub>75×10<sup>4</sup> IU, VD<sub>3</sub>15×10<sup>4</sup> IU, V<sub>E</sub>14 g, VK<sub>3</sub>325 mg, VB<sub>1</sub>1500 mg, VB<sub>2</sub>1250 mg, VB<sub>6</sub>1100 mg, VB<sub>12</sub>4 mg, V<sub>C</sub>2.5 g, creatine 5.5 g, nincia 4 g, pantothenic acid 4.5 g, folic acid 70 mg, biotin 125 mg, choline chloride 150 g, Mg 45 g, Fe 15 g, Cu 0.35 g, Zn 3 g, Mn 1.5 g, I50 mg, Se 9 mg, Co 11 mg, P 105 g, Ca 330 g.

## 2 实验结果

### 2.1 肠道食糜粘度

在小麦基础饲料中添加木聚糖酶可以显著降低尼罗罗非鱼肠道食糜粘度。0.05%、0.10%、0.15% 木聚糖酶组的食糜粘度分别为 13.75 cps、

12.23 cps 和 11.92 cps, 比对照组分别降低 9.60%、19.59%、21.63% ( $P < 0.01$ , 图 1)。随着木聚糖酶添加量的增加, 食糜粘度逐渐下降, 0.05% 组尼罗罗非鱼肠道食糜粘度极显著高于 0.10%、0.15% 组 ( $P < 0.01$ ), 0.10% 与 0.15% 组之间没有显著差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.2 肠绒毛的发育

**肠绒毛和微绒毛的发育** 图版 I-1~4 为前肠绒毛的超微结构。对照组的绒毛排列较为紊乱、稀疏。绒毛上粘附着较大的食糜颗粒。试验组使用了木聚糖酶,促进了微绒毛的发育,前肠的簇状微绒毛的高度增加,密度增大,柱状上皮细胞界限明显,细胞之间有杯状细胞分布。0.05%、0.10% 木聚糖酶组的绒毛排列规则,密集,其中 0.10% 木聚糖酶组的前肠微绒毛发育状况最好,绒毛具有较多分支,绒毛上也粘附着食糜颗粒,但是体积较小,数量较少;0.15% 木聚糖酶组的绒毛上粘附的食糜颗粒很少,但绒毛排列较 0.05%、0.10% 组稀疏。

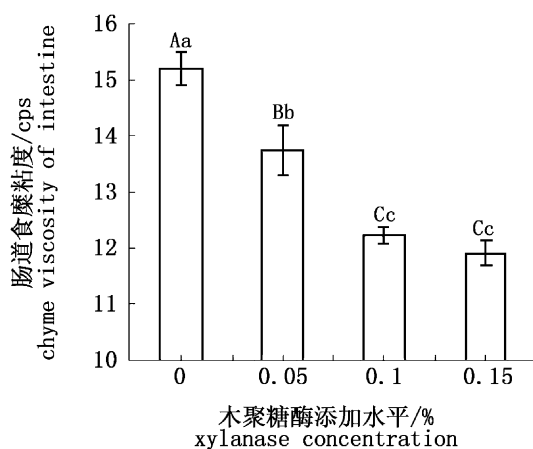


图 1 木聚糖酶添加水平与肠道食糜粘度的关系

Fig. 1 The relationship between the xylanase concentration and the viscosity of intestine chyme 大写字母不同表示差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.01$ )

Different capital letters indicate significant difference at  $P < 0.01$ , different letters indicate difference at  $P < 0.01$  among treatments

在解剖结构上,中肠的长度明显长于前肠和后肠,中肠是尼罗罗非鱼消化食物的主要部位。图版 I-5~8 为中肠绒毛的超微结构。对照组中肠的绒毛稀疏,绒毛上粘附着较多的食糜颗粒,绒毛间有明显的条状粘滞性物质。0.05% 木聚糖酶组的绒毛上也粘附着食糜颗粒,但是颗粒较对照组小,数量少,没有条状的粘滞物;0.05%、0.10% 木聚糖酶组绒毛排列规则,密集,其中 0.10% 木聚糖酶组的绒毛还具有较多分支,0.15% 木聚糖酶组的绒毛排列较 0.05%、0.10% 组稀疏。

图版 I-9~12 为后肠绒毛的超微结构。对照组的后肠绒毛上粘附着大量的、较小的食糜颗

粒,试验组绒毛是洁净的,而且试验组绒毛排列密集度优于对照组。后肠绒毛的宽度要大于前肠和中肠,但高度明显降低。

**肠绒毛的高度、宽度和密度** 添加木聚糖酶对前肠绒毛的高度、宽度和密度有极显著影响(表 2)。0.10% 组的绒毛高度为 368.80  $\mu\text{m}$ ,极显著高于对照组、0.05% 组和 0.15% 组 ( $P < 0.01$ ),对照组与 0.05% 组、0.15% 组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。试验组绒毛宽度极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),试验组之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ),试验组绒毛的平均宽度为 103.6  $\mu\text{m}$ ,试验组的绒毛密度极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),其中 0.10% 组的绒毛密度最高、每个截面为 71.20 条,极显著高于 0.05% 组和 0.15% 组,0.05% 组和 0.15% 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

添加木聚糖酶对中肠绒毛的高度、宽度和密度有极显著影响(表 2)。0.10% 组中肠绒毛极显著高于对照组、0.05% 组和 0.15% 组 ( $P < 0.01$ ),其中 0.05% 组显著高于对照组 ( $P < 0.05$ ),0.15% 组和对照组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。试验组中肠绒毛的宽度极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),0.05% 组、0.10% 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ),但均显著高于 0.15% 组 ( $P < 0.05$ )。试验组中肠绒毛的密度极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),0.10% 组绒毛密度极显著高于 0.15% 组 ( $P < 0.01$ )、显著高于 0.05% 组 ( $P < 0.05$ ),0.05% 组和 0.15% 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

添加木聚糖酶对后肠绒毛的高度、宽度和密度有极显著影响(表 2)。0.10% 组后肠绒毛高度为 187.00  $\mu\text{m}$ ,极显著高于对照组、0.05% 组和 0.15% 组 ( $P < 0.01$ ),0.05% 组和 0.15% 组极显著高于对照组 ( $P < 0.01$ ),但 0.05% 组和 0.15% 组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。0.10% 组后肠绒毛宽度为 190.60  $\mu\text{m}$ ,极显著高于其它 3 个组 ( $P < 0.01$ ),0.05% 组显著高于 0.15% 组 ( $P < 0.05$ ),0.15% 组和对照组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ );0.10% 组后肠绒毛的密度为 30.20 条,极显著高于对照组、0.05% 组和 0.15% 组 ( $P < 0.01$ ),0.05% 组极显著高于对照组和 0.15% 组 ( $P < 0.01$ ),0.15% 组显著高于对照组 ( $P < 0.05$ )。

前、中、后肠绒毛高度、宽度和密度的比较 比较尼罗罗非鱼肠绒毛的高度、宽度和密度(表

2,图版II)。肠绒毛高度的顺序为中肠 > 前肠 > 后肠,绒毛宽度的顺序后肠 > 前肠 > 中肠,绒毛密

度变化的顺序为前肠 > 中肠 > 后肠。簇状微绒毛的高度和密度的顺序为中肠 > 前肠 > 后肠。

表2 肠绒毛的高度、宽度和密度

Tab.2 The height, width and density of intestinal villus

n = 5

项目 items		对照组 control group	试验组 (test groups) 0.05% 木聚糖酶组 0.05% xylanase	0.10% 木聚糖酶组 0.10% xylanase	0.15% 木聚糖酶组 0.15% xylanase
绒毛高度 (μm) height of villus	前肠 fore-gut	327.00 ± 15.44 <sup>Bb</sup>	334.60 ± 15.57 <sup>Bb</sup>	368.80 ± 17.51 <sup>Aa</sup>	330.20 ± 16.57 <sup>Bb</sup>
	中肠 mid-gut	353.20 ± 18.10 <sup>Bc</sup>	381.00 ± 17.82 <sup>Bb</sup>	431.00 ± 18.68 <sup>Aa</sup>	374.60 ± 15.65 <sup>Bbc</sup>
	后肠 hind-gut	67.40 ± 3.91 <sup>Cc</sup>	158.80 ± 9.47 <sup>Bb</sup>	187.00 ± 8.31 <sup>Aa</sup>	150.20 ± 7.05 <sup>Bb</sup>
绒毛宽度 (μm) width of villus	前肠 fore-gut	86.20 ± 4.32 <sup>Bb</sup>	103.40 ± 4.83 <sup>Aa</sup>	106.00 ± 6.00 <sup>Aa</sup>	101.40 ± 4.83 <sup>Aa</sup>
	中肠 mid-gut	83.40 ± 3.91 <sup>Cc</sup>	99.20 ± 4.87 <sup>ABa</sup>	103.20 ± 5.89 <sup>Aa</sup>	92.80 ± 3.96 <sup>Bb</sup>
	后肠 hind-gut	117.00 ± 12.23 <sup>Cc</sup>	142.40 ± 11.59 <sup>Bb</sup>	190.60 ± 8.65 <sup>Aa</sup>	124.60 ± 9.15 <sup>BCc</sup>
绒毛密度 (条/截面) density of villus	前肠 fore-gut	56.60 ± 3.98 <sup>Cc</sup>	64.40 ± 4.28 <sup>Bb</sup>	71.20 ± 2.17 <sup>Aa</sup>	63.00 ± 2.00 <sup>Bb</sup>
	中肠 mid-gut	48.40 ± 1.14 <sup>Cd</sup>	59.00 ± 2.00 <sup>ABb</sup>	61.60 ± 0.89 <sup>Aa</sup>	56.40 ± 1.52 <sup>Bc</sup>
	后肠 hind-gut	19.40 ± 1.52 <sup>Cd</sup>	26.40 ± 1.34 <sup>Bb</sup>	30.20 ± 0.84 <sup>Aa</sup>	21.20 ± 0.45 <sup>Cc</sup>

注:同一行大写字母不同表示差异极显著( $P < 0.01$ ),小写字母不同表示差异显著( $P < 0.05$ )

Notes: Different capital letters in the same line indicate significant difference at  $P < 0.01$ , different letters indicate difference at  $P < 0.05$  among treatments

### 3 讨论

#### 3.1 木聚糖、木聚糖酶与食糜粘度

研究表明,木聚糖的抗营养作用是使养殖动物消化道内食糜的粘度增加。由于食糜中木聚糖含量较高时,木聚糖分子本身互相作用,缠绕成网状结构,这种作用能引起食糜粘度大大增加,当木聚糖分子间的相互作用足够大时,还会形成凝胶。肠道食糜粘度较高时,肠内容物呈浓稠的胶冻样,减慢了肠内食糜通过消化道的速度,其结果是饲料流通量和摄入量均减少,限制了营养素的同化效率<sup>[8]</sup>;粘稠的水溶性木聚糖可与肠道内的消化酶络合,阻止酶同其底物发生反应,延缓了酶对底物的消化<sup>[9]</sup>;高粘度会使食糜内各组分混合不匀,妨碍已消化完毕的营养素向肠粘膜的扩散,并且由于木聚糖具有较高的持水能力,在肠粘膜上形成了一层较厚的不动水层,使已扩散至粘膜的营养素也无法正常吸收;食糜通过肠道速度降低也延缓了菌群在肠道内的移动,为细菌的生长、繁殖提供了一个稳定的环境,细菌得以在肠道内大量定居,与宿主的养分竞争加剧。另外细菌对胆盐的分解严重阻碍了养殖动物对脂肪的吸收。

在小麦基础饲料中添加适量的木聚糖酶,可将饲料中的木聚糖分解成较小的片段,减少了肉眼状水凝胶的交搭和形成,系水力随着这种分解作用的发生而下降,显著降低肠道食糜粘度,解除上述抗营养作用。本研究证实了木聚糖酶这种作

用也存在于尼罗罗非鱼的肠道。Choct<sup>[10]</sup>、Lunen<sup>[11]</sup>、Zijlstra等<sup>[12]</sup>对猪,Sanna等<sup>[13]</sup>、Preston等<sup>[14]</sup>、Dusel等<sup>[15]</sup>、王修启等<sup>[16]</sup>对鸡的研究也得到相似的结果,木聚糖酶可以通过降低肠道食糜粘度消除木聚糖的抗营养作用。

#### 3.2 肠道环境与肠绒毛、微绒毛

绒毛和微绒毛的发育主要取决于养殖动物的品种和其生理状况。除此以外,肠道环境也是影响绒毛发育的主要因素,动物摄食后,肠道的食糜粘度是肠道的重要环境因子。肠道食糜粘度的变化与肠绒毛和微绒毛的发育密切相关。首先,食糜粘度的增加导致食糜通过消化道的速度降低,肠内细菌在消化道中获得了较长的存在时间和相对稳定的生存环境,从而大量繁殖,有害细菌数量增多可以产生多种有害代谢物质,这些代谢物直接刺激肠道,增厚肠道粘膜层,损害微绒毛<sup>[17]</sup>;其次,在木聚糖产生的高粘环境中,肠道粘膜被一层厚的不动水层覆盖,这层不动水层是分隔肠道中已消化营养素和肠粘膜的营养屏障,肠粘膜自身发育难以得到充分的营养物质,绒毛和微绒毛的发育将会受到严重影响,因此,在本研究中0.10%组的绒毛、微绒毛的发育优于对照组和0.05%组。但是,如果肠道食糜粘度过低,消化后的营养素通过肠道的速度过快,绒毛和微绒毛也得不到充分的营养素,发育会受到影响。本研究中0.15%组的绒毛、微绒毛的发育没有0.10%组的好。由此可见,在小麦基础基础饲料中适量添加

木聚糖酶,能使食糜的粘度控制在合理的水平上。

### 3.3 关于鱼类的肠绒毛

研究者多采用光学显微镜技术和扫描电子显微镜技术,从形态学的角度对鱼类肠绒毛和微绒毛进行描述<sup>[2-7]</sup>。多数研究者依据鱼类肠绒毛的形态,将其称为皱襞、皱褶、褶皱、肠褶或粘膜褶,而喻子牛等<sup>[3]</sup>将其明确称为小肠绒毛。对微绒毛的称呼较为一致,即微绒毛或纹状缘。鉴于鱼类的皱襞、皱褶、褶皱、肠褶或粘膜褶均由单层柱状上皮细胞构成。因此,本文将鱼类绒毛称为“褶皱绒毛”,既考虑了尼罗罗非鱼的绒毛形态有别于其它动物,又与其它动物的研究具有对应性。

Hofer<sup>[18]</sup>提出,不同鱼类的绒毛形态变化较大,绒毛高度一般由前向后逐渐降低。多数研究者也基本验证了 Hofer 的观点。但是,本试验尼罗罗非鱼的绒毛形态和其它鱼类稍有差异,从肠绒毛和微绒毛的高度、宽度和密度看,尼罗罗非鱼的前肠和中肠是其消化吸收的最主要部位。

## 4 小结

在尼罗罗非鱼小麦基础饲料中添加木聚糖酶可以显著降低其肠道食糜粘度,促进肠绒毛、微绒毛的发育。

从肠绒毛和微绒毛的高度、宽度和密度看,尼罗罗非鱼的前肠和中肠是消化吸收的最主要部位。

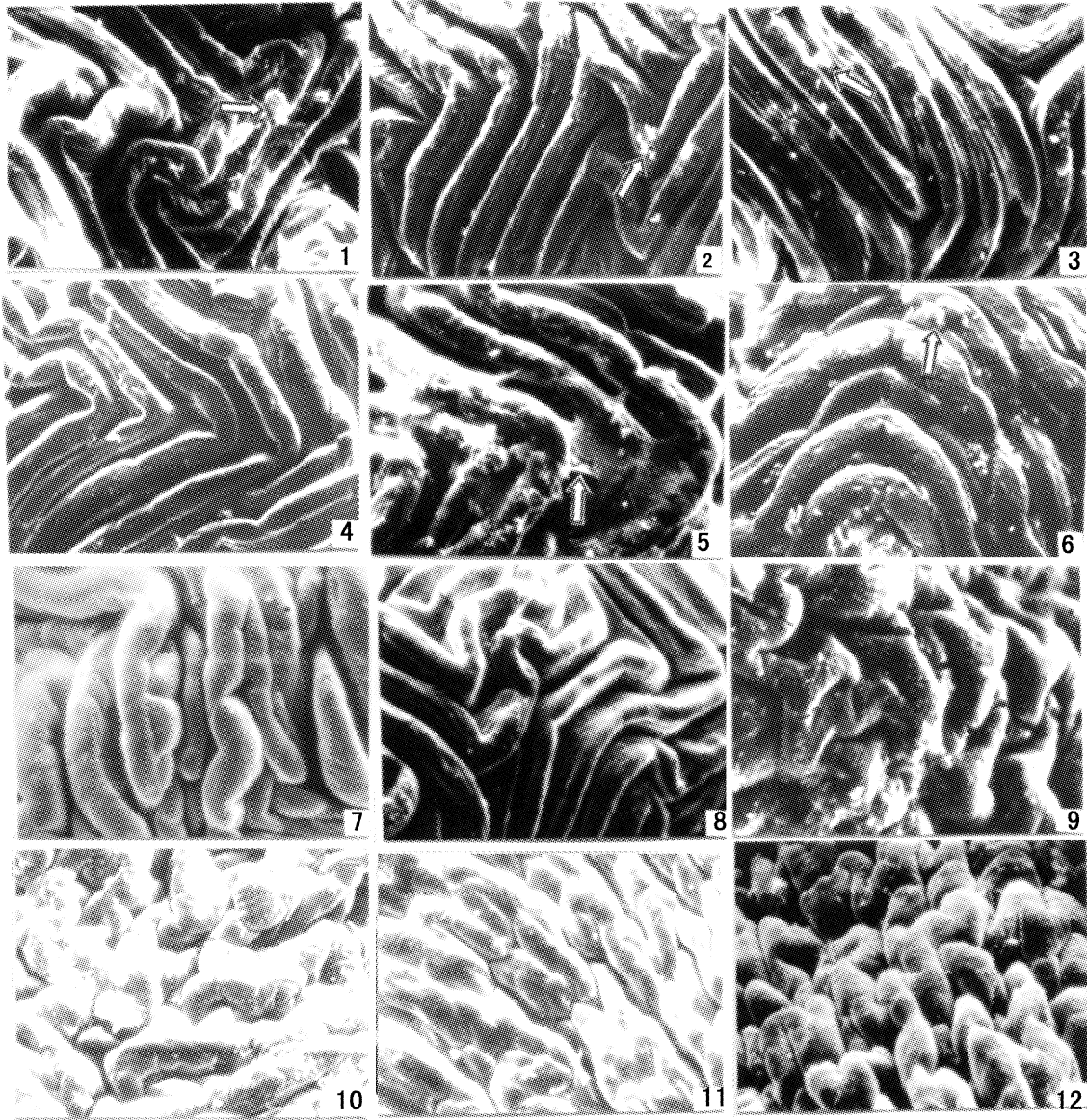
根据木聚糖酶添加后肠道食糜粘度及肠道绒毛、微绒毛的发育,尼罗罗非鱼小麦基础饲料中木聚糖酶的适宜添加量为 0.10%。

### 参考文献:

- [1] 王修启. 小麦中的抗营养因子及木聚糖酶提高小麦日粮利用效率的作用机理研究[D]. 南京:南京农业大学博士学位论文,2003:20-23.
- [2] 王典群. 玛曲渔场几种裂腹鱼类消化道的形态结构与其食性的相互关系[J]. 水生生物学报,1992,16(1):33-39.
- [3] 喻子牛,孙晓瑜,孙世春. 真鲷消化道的组织学和形态学研究[J]. 水产学报,1997,21(2):113-119.
- [4] Morrison C M, Wright J R. A study of the histology of the digestive tract of the Nile tilapia [J]. J of Fish Bio,1999,54:597-606.
- [5] 李玉和,郭淑华. 乌鳢消化道粘膜上皮的扫描电镜研究[J]. 解剖学报,1992,23(1):98-101.
- [6] 方静,谢林,李逊,等. 齐口裂腹鱼消化道粘膜上皮的扫描电镜观察[J]. 水生生物学报,1995,19(2):188-189.
- [7] 房慧伶,曾文宗. 尼罗罗非鱼肠道的细微结构及组织化学的研究[J]. 广西农业大学学报,1992,11(3):121-126.
- [8] Bedford M R. Mechanism of action and potential environmental benefits from the use of feed enzymes [J]. Animal Feed Science and Technology,1995,53:145-155.
- [9] Vabouny G V, Cassidy M M. Dietary fiber and absorption of nutrients [J]. Proc Soc Exp Biol Med,1985,180:432.
- [10] Choct M. Feed non-starch polysaccharides: chemical structures and nutritional significance [M]. Recent advances in poultry nutrition and feed enzyme technology,1997:16-28.
- [11] Lunen T A. Influence of trichoderma longibrachiatum xylanase supplementation of wheat and corn based diets on growth performance of pigs [J]. Canadian Journal of Animal Science,1996,76:2,271-273.
- [12] Zijlstra R T, Lange C F M, Patience J F. Nutritional value of wheat for growing pigs: chemical composition and digestible energy content [J]. Canadian Journal of Animal Science,1999,79:187-194.
- [13] Sanna Steinfeldt, Anette Mullertz, J Fris Jensen. Enzyme supplementation of wheat-based diets for broilers 1. Effect on growth performance and intestinal viscosity [J]. Animal Feed Science and Technology,1998,75:27-43.
- [14] Preston C M, Mccracken K J, Mcallister A. Effect of diet form and enzyme supplementation on growth, efficiency and energy utilization of wheat-based diets for broilers[J]. British Poultry Science,2000,41:324-331.
- [15] Dusel G, Kluge H, Jeroch, et al. Xylanase supplementation of wheat-based rations for broilers: influence of wheat characteristics [J]. Journal of Applied Poultry Research,1998,7(2):119-131.
- [16] 王修启,李春喜,林东康,等. 小麦戊聚糖含量及添加木聚糖酶对鸡表观代谢能值和养分消化率的影响[J]. 华北农学报,2002,17(4):104-107.
- [17] 钱利纯,孙建义,许梓荣. 大麦糠麸饲料中添加复合酶制剂对畜禽消化性能的影响[J]. 中国畜牧杂志,2002,38(3):14-16.

[18] Hofer R. Morphological adaptation of the digestive tract of tropical cyprinids and cichlids to diet[J]. J

Fish Bio, 1988,33:399-408.

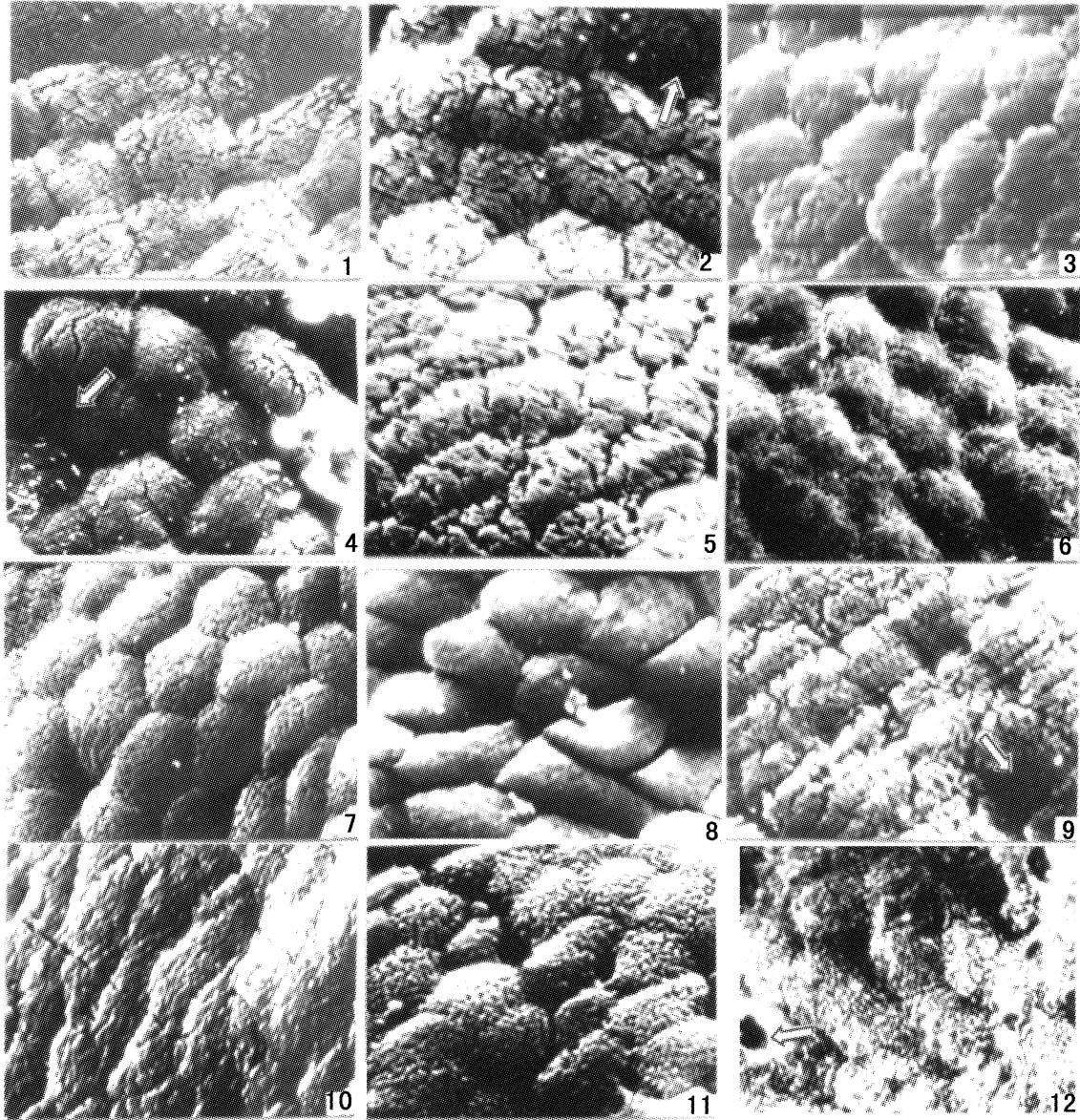


图版 I 不同处理尼罗罗非鱼肠道绒毛的扫描电镜图(×80)

**Plate I Scanning electron microphotographs of intestinal villus(×80)**

1~4. 前肠绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组% 和 0.15% 木聚糖酶组,1,2,3 中箭头示食糜颗粒;5~8. 中肠绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组% 和 0.15% 木聚糖酶组,5 中箭头示绒毛间粘滞物,6 中箭头示食糜颗粒;9~12. 后肠绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组% 和 0.15% 木聚糖酶组

1-4. SEM photos of fore-gut villus. The sequence is treatment I - IV. Arrows indicate the chyme granule in 1,2 and 3;5-8. SEM photos of mid-gut villus. The sequence is treatment I - IV. Arrowheads indicate viscid substance between villi in 5 and chyme granule in 6;9-12. SEM photos of hind-gut villus. The sequence is treatment I - IV



图版 II 不同处理尼罗罗非鱼肠道微绒毛的扫描电镜图(×5000)

**Plate II Scanning electron microphotographs of intestinal microvillus (×5000)**

1~4. 前肠微绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组%和 0.15% 木聚糖酶组,2,4 中箭头示杯状细胞;5~8. 中肠微绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组%和 0.15% 木聚糖酶组;9~12. 后肠微绒毛 SEM 图,依次为对照组、0.05% 木聚糖酶组、0.10% 木聚糖酶组%和 0.15% 木聚糖酶组,9,12 中箭头示杯状细胞

1-4. SEM photos of fore-gut microvillus. The sequence is treatment I-IV. Arrows indicate the goblet cell in 2 and 4;5-8. SEM photos of mid-gut microvillus. The sequence is treatment I-IV;9-12. SEM photos of hind-gut microvillus. The sequence is treatment I-IV. Arrowheads indicate the goblet cell in 9 and 12