

文章编号: 1674-5566(2010)04-0475-07

## 稀土壳聚糖螯合盐对鲫肠道发育的影响

刘 军<sup>1,2</sup>, 陈爱敬<sup>1,2</sup>, 侯永清<sup>1,2</sup>, 汪 明<sup>1,2</sup>, 胡 兵<sup>1,2</sup>, 黄 峰<sup>1,2</sup>

(1. 武汉工业学院动物营养与饲料科学湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430023;

2. 武汉工业学院动物科学与营养工程学院, 湖北 武汉 430023)

**摘 要:**通过在鲫日粮中添加稀土壳聚糖螯合盐(rare earth-chitosan chelate, RECC),研究其对鲫(*Carassius auratus* L.)肠道发育的影响。试验分为1个空白对照组和3个试验组,日粮中稀土壳聚糖螯合盐的添加量分别为0.00%、0.08%、0.16%和0.24%。每组设3个重复,每个重复放养30尾鲫。试验鲫初始平均体重为(5.04±0.08)g。每日投喂2次(9:00,16:00),每次投喂量为每池鱼总重的0.5%~1.0%(投喂量据具体情况调节),养殖期60d。试验期间水温(26.7±2.5)℃,自然光照,水体pH为7.1~7.8,溶氧>4mg/L。研究表明:添加RECC能改善鲫肠道形态结构。添加RECC后肠道粘膜褶皱变细长,形状较均一,数目增多。与空白对照组相比,0.08%RECC组粘膜褶皱数目显著增加( $P<0.05$ )、粘膜褶皱宽度显著降低( $P<0.05$ )、杯状细胞数目显著增多( $P<0.05$ );0.16%RECC组杯状细胞数目极显著增多( $P<0.01$ )。超显微观察发现,空白对照组肠道微绒毛分块,分布较稀疏且不均匀;而RECC添加组微绒毛较空白对照组明显密集,且分布均匀。

**关键词:**稀土壳聚糖螯合盐;肠道发育;鲫

中图分类号: S 963.1 文献标识码: A

## Effects of the rare earth-chitosan chelate on intestinal structure of *Carassius auratus* L.

LIU Jun<sup>1,2</sup>, CHEN Ai-jing<sup>1,2</sup>, HOU Yong-qing<sup>1,2</sup>, WANG Ming<sup>1,2</sup>, HU Bin<sup>1,2</sup>, HUANG Feng<sup>1,2</sup>

(1. Hubei Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China;

2. School of Animal Science and Nutritional Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

**Abstract:** A feeding study was performed to investigate possible performance enhancing effects of the rare earth-chitosan chelate (RECC) on intestinal structure of *Carassius auratus* L. Three hundred and sixty individuals (about 5.0 g) were allotted to four dietary treatments: a control group and three RECC-treated groups. RECC-treated groups were supplemented with 800 mg, 1 600 mg and 2 400 mg of RECC per kg feed respectively. Each group had three duplicates. The whole feeding period lasted for sixty days. Results are as follows: RECC added in diet promoted the development of intestine. It was found that RECC-treated groups had higher numbers of plicamucosa than the control group, and plicamucosae became longer and narrower. Compared with the control group, the 0.08% RECC group had a greater number of plicamucosa ( $P<0.05$ ), a lower width of plicamucosa ( $P<0.05$ ), and a higher number of goblet cells ( $P<0.05$ ); the 0.16% RECC group had a greater number of goblet cell ( $P<0.01$ ). Scanning electron microscope observation showed that microvilli in RECC-treated groups were more uniform and denser than the control group.

收稿日期: 2009-11-09

基金项目: 湖北省教育厅重点项目(D200618007)

作者简介: 刘 军(1976-),男,副教授,博士,主要从事水产养殖方面的研究。E-mail:liujunihb@yahoo.com.cn

**Key words:** rare earth-chitosan chelate; intestinal structure; *Carassius auratus* L.

鱼类的消化道为一肌肉的管道,包括口腔、咽、食道、胃和肠等部分,主要负责对食物的消化和吸收。肠道是消化道的重要组成部分,在鱼类对食物的消化吸收中起主导作用,在无胃鱼中,其结构及功能更为重要。而诸多因素,如摄食状态、日粮成分及添加剂等,都会影响到肠道的结构和功能<sup>[1-4]</sup>。稀土壳聚糖螯合盐(rare earth-chitosan chelate, RECC)是一种新型的饲料添加剂,已有学者研究了其对水产动物生长性能、消化酶活性以及养殖水体水质等方面的影响<sup>[5-7]</sup>,但其对水产动物肠道发育的影响尚未见研究报告。本实验通过在鲫日粮中添加 RECC,研究其对鲫肠道发育的影响,以期从显微和超显微水平探讨稀土壳聚糖螯合盐促生长作用机理,为其在水产养殖中的应用提供理论基础与技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与设施

试验鲫购自农业部长江水产科学研究所良种场。稀土壳聚糖螯合盐由深圳市希科安实业有限公司提供。试验鱼池 12 个(附曝气蓄水池 1 个),鱼池规格为 150 cm × 130 cm × 150 cm。饲料原料均从武汉九如饲料厂购买,矿物质由武汉工业学院饲料厂提供。

### 1.2 试验分组

试验鱼购回后驯养 7 d,挑选体质健康和无损伤鲫进行试验。试验分为 1 个空白对照组和 3 个试验组,日粮中稀土壳聚糖螯合盐的添加量分别为 0.00%、0.08%、0.16% 和 0.24%。每组设 3 个重复。每个重复放养 30 尾鲫。试验鲫初始平均体重为(5.04 ± 0.08) g,各组间无显著差异( $P > 0.05$ )。

### 1.3 试验日粮

4 个日粮组分别添加不同水平的稀土壳聚糖螯合盐,制成颗粒饲料,冰箱中 4 °C 保存。试验基础日粮组成及营养水平见表 1。

### 1.4 饲养管理

试验期间用静水养殖,养殖用水为曝气除氯自来水,水位控制在 80 cm 左右;期间投喂自制饲料,每日投喂两次(9:00, 16:00),每次投喂量为

每池鱼总重的 0.5% ~ 1.0% (投喂量据具体情况调节)。养殖期 60 d。试验期间每天换水 1 次,换水量为鱼池总量的 1/3,换水时清理鱼池的污物及粪便。24 h 充氧增氧,水温(26.7 ± 2.5) °C,自然光照。水体 pH 为 7.1 ~ 7.8,溶氧 > 4 mg/L,氨氮 < 0.15 mg/L,亚硝酸氮 < 0.02 mg/L。

表 1 基础日粮组成及主要营养成分

Tab. 1 Composition and nutrient content of basic diets

主要原料	配比(%)	营养成分	含量(%)
大豆粕	44.10	水分	9.40
米糠	24.40	粗蛋白质	36.60
棉籽粕	10.00	粗脂肪	3.65
菜籽粕	8.00	灰分	8.92
鱼粉	5.00	钙	0.76
植物油	3.00	磷	1.99
面粉	2.00	能量(J/g)	16957
粘合剂	0.50		
淀粉	0.20		
预混料*	1.00		
氯化胆碱	0.30		
磷酸二氢钙	1.50		

注: \*表示预混料为每千克饲料提供,维生素(mg/kg): 维生素 B<sub>1</sub>, 20; 维生素 B<sub>2</sub>, 20; 维生素 B<sub>6</sub>, 20; 维生素 B<sub>12</sub>, 0.02; 叶酸, 5; 泛酸钙, 50; 肌醇, 100; 烟酸, 100; 生物素, 0.1; 维生素 C, 100; 维生素 A, 110; 维生素 D, 20; 维生素 E, 50; 维生素 K, 10。矿物质(mg/kg): 一水硫酸镁, 2 500; 一水硫酸铁, 200; 五水硫酸铜, 20; 一水硫酸锰, 80; 一水硫酸锌, 430; 碘酸钾, 500; 亚硒酸钠, 50; 硫酸钴, 5; 滑石粉, 1 220。

### 1.5 肠道切片的制作及观察

#### 1.5.1 肠道切片的制作

在饲养实验结束时,每组随机抽取 6 尾鱼(每个重复各 2 尾鱼)进行解剖,取出肠道,于食道与肠管连接处到肠道第一个回折处取下前肠,用去离子水冲洗,滤纸吸干后再用 10% 福尔马林固定。切片由华中农业大学畜牧兽医学院制作完成,取回后用于光镜(日产 Olympus BX-41TF 型显微镜)观察。

在饲养实验结束时,每组随机抽取 3 尾鱼(每个重复各 1 尾鱼)进行解剖,取出肠道,于食道与肠管连接处到肠道第一个回折处取下前肠,用去离子水冲洗,用 4% 戊二醛固定。电镜样品制作在武汉工业学院农产品加工与转化湖北省重点实验室完成并进行观察。

#### 1.5.2 肠道结构的观察<sup>[8]</sup>

粘膜皱褶数是指在消化管横切面上粘膜皱

褶的个数。40 倍镜下,先随机计数 5 个横切面上的粘膜褶数,取其平均数作为 1 条鱼的粘膜褶数,再以 6 条鱼粘膜褶数的平均数作为该实验组鱼的粘膜褶数。

粘膜皱褶高度用粘膜皱褶顶端至基部凹陷处的垂直距离表示。100 倍镜下,在 1 张切片中,随机测量 5 个粘膜褶的高度,取其平均数作为 1 张切片上粘膜褶高度,再以 4 张切片粘膜褶高度的平均数作为 1 条鱼的粘膜褶高度。取 6 条鱼粘膜褶高度的平均数作为该实验组鱼的粘膜褶高度。

100 倍镜下,在 1 张切片中,随机测量 5 个粘膜褶的宽度,取其平均数作为 1 张切片上粘膜褶宽度,再以 4 张切片粘膜褶宽度的平均数作为 1 条鱼的粘膜褶宽度。取 6 条鱼粘膜褶宽度的平均数作为该实验组鱼的粘膜褶宽度。

400 倍镜下,在 1 张切片中,随机测量 5 处环肌层的厚度,取其平均数作为 1 张切片上环肌层厚度,再以 4 张切片环肌层的厚度平均数作为 1 条鱼的环肌层的厚度。取 6 条鱼环肌层的厚度的平均数作为该实验组鱼环肌层的厚度。

400 倍镜下,在 1 张切片中,随机测量 5 处纵肌层的厚度,取其平均数作为 1 张切片上纵肌层厚度,再以 4 张切片纵肌层的厚度平均数作为 1 条鱼的纵肌层的厚度。取 6 条鱼纵肌层的厚度的平均数作为该实验组鱼纵肌层的厚度。

杯状细胞数是指 400 倍镜下,在 1 张切片中,随机测量 5 个粘膜褶上的杯状细胞的数目,取其平均数作为 1 张切片上杯状细胞数目,再以 4 张切片杯状细胞数目的平均数作为 1 条鱼的杯状细胞数目。取 6 条鱼杯状细胞数目的平均数作为该实验组鱼的杯状细胞数目。

扫描电镜样品观察,即扫描电镜下观察柱状细胞的疏密及形态;微绒毛的疏密。

## 1.6 数据分析

统计分析采用 STATISTICA 6.0 软件,试验数据采用单因子方差分析(ANOVA),多重比较采用 Duncan's 检验方法。

## 2 结果

### 2.1 肠道显微结构

#### 2.1.1 一般组织结构

鲫前肠由粘膜、粘膜下层、肌层和浆膜 4 层

结构,肠道的粘膜层向肠腔内折叠形成丰富的粘膜褶,多呈指状。单层柱状上皮细胞衬附于粘膜表面,柱状上皮细胞排列整齐,细胞核位于细胞基底部,椭圆形,其间散布有少量杯状细胞。其中,添加 RECC 的实验组在形态上明显优于空白对照组,粘膜褶排列较空白对照组密集;添加 RECC 后粘膜褶变细长,形状较均一,数目增多,肌层致密,绝对厚度降低(图版 I)。

#### 2.1.2 粘膜褶数目

实验各组粘膜褶数目见表 2。由表可见,0.08% RECC 组粘膜褶个数最多,为 24.67;0.24% RECC 组次之,为 23.00;空白对照组再次,为 21.50;0.16% RECC 组最低,为 21.00。其中 0.08% RECC 组粘膜褶个数显著高于空白对照组( $P < 0.05$ ),也显著高于 0.16% RECC 组( $P < 0.05$ );其它组间均无显著性差异( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.3 粘膜褶高度

日粮中添加稀土壳聚糖螯合盐,试验鲫粘膜褶出现增高趋势。空白对照组粘膜褶高度为 328.93  $\mu\text{m}$ ;0.08% RECC 组粘膜褶最高,为 381.39  $\mu\text{m}$ ,较空白对照组提高了 15.95%;0.16% RECC 组次之,为 375.55  $\mu\text{m}$ ,增高了 14.17%;0.24% RECC 组再次,粘膜褶高为 356.57  $\mu\text{m}$ ,增高了 8.40%(表 2)。方差分析表明,各组间粘膜褶高度差异不显著( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.4 粘膜褶宽度

RECC 实验组鲫前肠粘膜褶宽度较空白对照组有不同程度的减小。其中,0.08% RECC 组减小最明显,显著低于空白对照组( $P < 0.05$ ),也显著低于 0.16% RECC 组( $P < 0.05$ );0.16% RECC 组、0.24% RECC 组前肠粘膜褶宽度也较空白对照组降低,但差异不显著( $P > 0.05$ )(表 2)。

#### 2.1.5 环肌层厚度

鲫前肠环肌层厚度变化不明显。空白对照组环肌层厚度为 109.63  $\mu\text{m}$ ;0.08% RECC 组环肌层厚度为 110.05  $\mu\text{m}$ ,与空白对照组差别不大;0.16% RECC 组厚度最薄为 96.47  $\mu\text{m}$ ,比空白对照组降低了 12.00%;0.24% RECC 组厚度为 107.40  $\mu\text{m}$ ,降低了 2.03%(表 2)。各组间无显著差异( $P > 0.05$ )。

#### 2.1.6 纵肌层厚度

日粮中添加 RECC 后,鲫前肠纵肌层出现增厚趋势。空白对照组纵肌层厚度为 15.84  $\mu\text{m}$ ;

0.08%、0.16%和0.24% RECC 组环肌层厚度分别为 18.06  $\mu\text{m}$ 、18.98  $\mu\text{m}$  和 19.13  $\mu\text{m}$ , 较空白对照组依次提高了 14.02%、19.82% 和 20.77% (表 2)。方差分析表明, 各组间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

表 2 RECC 对鲫肠道显微结构的影响

Tab. 2 Effects of RECC on the intestinal structure of *C. auratus* L.

指标	空白对照组	0.08% RECC 组	0.16% RECC 组	0.24% RECC 组
粘膜褶数目(个)	21.50 $\pm$ 0.71 <sup>b</sup>	24.67 $\pm$ 0.29 <sup>a</sup>	21.00 $\pm$ 1.73 <sup>b</sup>	23.00 $\pm$ 1.73 <sup>ab</sup>
粘膜褶高度( $\mu\text{m}$ )	328.93 $\pm$ 13.27	381.39 $\pm$ 34.06	375.55 $\pm$ 10.11	356.57 $\pm$ 50.49
粘膜褶宽度( $\mu\text{m}$ )	126.70 $\pm$ 7.14 <sup>a</sup>	98.12 $\pm$ 16.63 <sup>b</sup>	123.25 $\pm$ 5.87 <sup>a</sup>	107.80 $\pm$ 10.47 <sup>ab</sup>
环肌层厚度( $\mu\text{m}$ )	109.63 $\pm$ 9.35	110.05 $\pm$ 2.45	96.47 $\pm$ 12.15	107.40 $\pm$ 2.12
纵肌层厚度( $\mu\text{m}$ )	15.84 $\pm$ 2.56	18.06 $\pm$ 4.94	18.98 $\pm$ 1.19	19.13 $\pm$ 2.50
杯状细胞数目(个)	2.67 $\pm$ 0.58 <sup>Bc</sup>	3.96 $\pm$ 0.50 <sup>ABab</sup>	5.00 $\pm$ 0.00 <sup>Aa</sup>	3.50 $\pm$ 0.71 <sup>ABbc</sup>

注:表中值为平均值  $\pm$  标准差;表内同一行数据肩注不同大写字母表示极显著差异 ( $P < 0.01$ );肩注不同小写字母表示显著差异 ( $P < 0.05$ )。

### 2.1.7 杯状细胞数目

日粮中添加 RECC, 提高了鲫前肠杯状细胞的数目。空白对照组有 2.67 个杯状细胞; 0.08%、0.16% 和 0.24% RECC 组杯状细胞数目分别为 3.96、5.00 和 3.50, 较空白对照组依次提高了 48.31%、87.27% 和 31.09% (表 2)。方差分析表明, 0.08% RECC 组杯状细胞数目显著高于空白对照组 ( $P < 0.05$ ); 0.16% RECC 组杯状细胞数目极显著高于空白对照组 ( $P < 0.01$ ), 也显著高于 0.24% RECC 组 ( $P < 0.05$ ); 0.24% RECC 组与空白对照间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 肠道的超微结构

鲫前肠肠道超微结构见图版 II 和图版 III。从图版 II 中可看出, 添加 RECC 后, 鲫前肠上皮细胞表面光滑, 排列紧密, 上皮细胞上表面微绒毛排列整齐, 0.08% RECC 组和 0.24% RECC 组微绒毛尤为细密。图版 III 显示了鲫前肠上皮细胞表面的微绒毛: 由图可见, 空白对照组鲫前肠上皮细胞表面微绒毛较稀少, 分块, 且分布不均匀; RECC 添加组微绒毛较空白对照组明显密集, 分布均匀。

## 3 讨论

### 3.1 鱼类肠道结构及功能

鱼类没有发达的肠绒毛, 其肠壁内侧有许多向内突起的结构, 少数学者将其称为小肠绒毛<sup>[9]</sup>或褶皱状绒毛<sup>[10]</sup>, 但多数研究者依据其形态特点, 称之为皱襞、皱褶、褶皱、肠褶或粘膜褶。本文统称为粘膜褶。

在研究水产动物肠道的功能时, 一般用皱褶高度来反映吸收能力。另外, 肠道粘膜层是吸收营养物质的关键部位, 肠上皮细胞是吸收营养物质的功能细胞, 而肌层参与食物在肠道内的运输与消化, 也通常作为衡量肠道消化吸收功能的指标<sup>[11-13]</sup>。因而, 本文采用上述指标来研究 RECC 对鲫肠道形态结构的影响。

研究发现鱼类肠道分化多数不明显, 肠道分段存在较大差异, 且部位的不同, 肠道形态存在较大差异<sup>[14-18]</sup>。鲫为鲤科无胃鱼类, 其前肠是消化和吸收的主要功能区<sup>[14]</sup>。因而本文取鲫前肠, 研究稀土壳聚糖螯合盐对其形态结构的影响。

### 3.2 稀土壳聚糖螯合盐对鲫肠道发育的影响

研究发现, 鱼类肠道结构受食性、部位、生长阶段和添加剂等多种因素的影响。蒋作亮<sup>[19]</sup>认为, 稀土能通过加强氧化还原酶、脱氢酶的功能, 快速消除过氧化物自由基的危害, 保护细胞膜的完整性; 黎新明等<sup>[20]</sup>研究发现壳聚糖对消化系统有营养保护作用。日粮中添加稀土壳聚糖螯合盐后, 组织切片观察表明: 鲫前肠粘膜褶变得细长, 形状比较均一, 粘膜褶个数增加, 杯状细胞数目增多, 纵肌层厚度增加; 扫描电镜观察表明: RECC 添加组鲫前肠柱状细胞表面光滑, 排列紧密, 微绒毛密集, 分布均匀。这一结果表明 RECC 可以改善鲫肠道形态结构: 粘膜褶增高, 数目增多, 微绒毛密集, 分布均匀, 使肠道吸收面积增大, 可以更好地消化吸收食物; 杯状细胞增多, 分

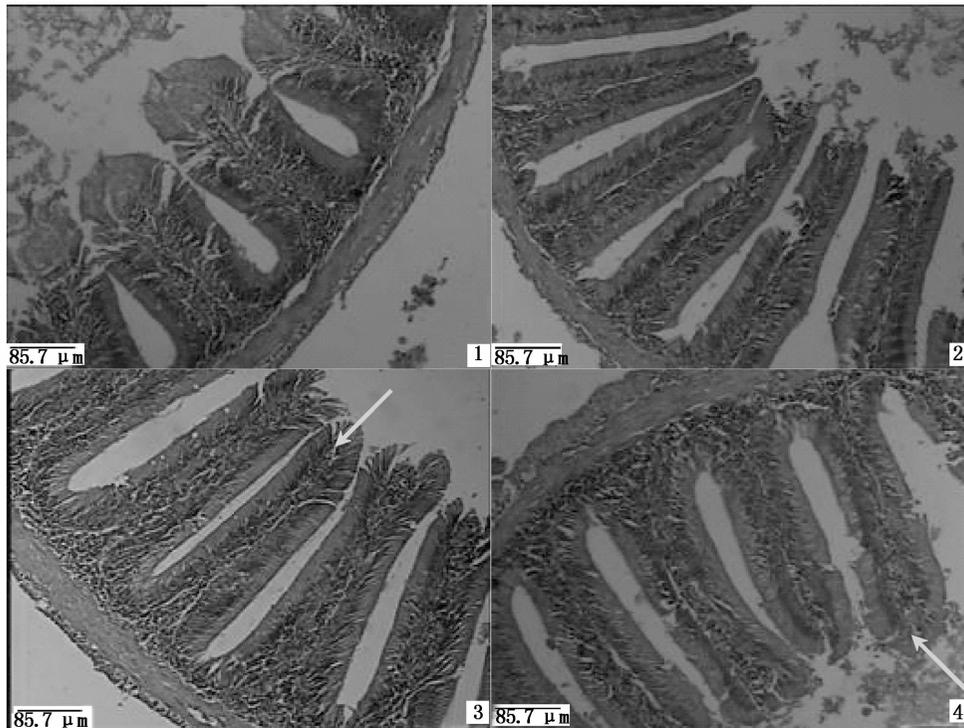
泌消化液和粘液,可较好润滑食物,减少食物对肠粘膜的机械性损伤;纵肌层厚度增加,有利于肠的蠕动以便与食物充分混合。进而促进鲫的生长,提高饲料利用效率。

### 3.3 肠道结构对鲫生长性能的影响

鱼类的肠道能容纳、运输、消化食物,吸收营养物质,同时还具有免疫功能等,是重要的消化器官和复杂的免疫器官<sup>[21]</sup>。肠道的结构与肠道的功能密切相关,鱼类肠道结构完善、功能正常,是消化吸收营养物质的前提。营养物质的吸收情况直接影响动物体的生长发育。研究发现,除食性、生长阶段等因素会影响鱼类肠道的结构外,饵料及一些添加剂也会对鱼类的肠道结构产生影响,从而影响鱼类对营养物质的消化吸收,导致鱼类生长出现差异<sup>[22-23]</sup>。本试验在研究稀土壳聚糖螯合盐对鲫肠道发育影响的同时,对鲫的生长性能也进行了研究。结果表明:肠道发育情况与鲫的生长性能密切相关,3个 RECC 添加组试验鲫终末均重高于或显著高于空白组(试验数据另文发表)。这可能是由于肠道发育完善,保障肠道功能正常,促进肠道对营养物质的消化吸收,提高了生长性能。

#### 参考文献:

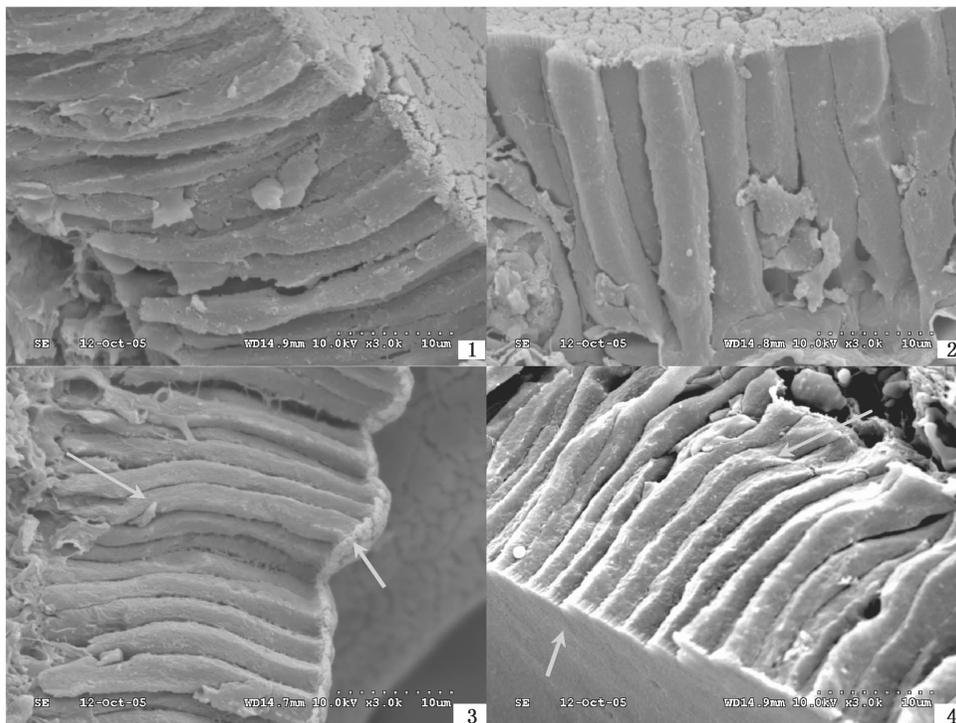
- [1] Yufera M, Pascual E, Polo A, *et al.* Effect of starvation on the feeding ability of gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) larvae at first feeding[J]. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology*, 1993, 169: 259 - 272.
- [2] Bisbal G A, Bengtson D A. Description of the starving condition in summer flounder *Paralichthys dentatus*, early life history stages[J]. *Fishery Bulletin*, 1995, 93: 217 - 230.
- [3] Ikegami S, Tsuchihashi F, Harada H, *et al.* Carbohydrate and Fiber; Effect of viscous indigestible polysaccharides on pancreatic biliary secretion and digestive organs in rats[J]. *Journal of Nutrition*, 1990, 120: 353 - 360.
- [4] 陆清儿,李行先,李忠全.甜菜碱促进淡水白鲢的生长机制[J].*水产学报*,2003,27(6):564 - 569.
- [5] 胡品虎.稀土甲壳素在河蟹养殖中的应用[J].*水产养殖*,1999,(5):13 - 14.
- [6] 陈爱敬,刘军,胡兵,等.稀土壳聚糖螯合盐对养殖水体水质的影响[J].*粮食与饲料工业*,2006,(12):35 - 36.
- [7] 刘军,陈爱敬,胡兵,等.稀土壳聚糖螯合盐对鲫消化酶活力的影响[J].*中国饲料*,2008,(6):35 - 38.
- [8] 阮国良,杨代勤,严安生,等.月鳢消化系统形态及组织学的研究[J].*湖北农学院学报*,2004,24(3):185 - 189.
- [9] 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.
- [10] 聂国兴,王俊丽,朱命炜,等.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[J].*水产学报*,2007,31(1):54 - 61.
- [11] 杨义.酶解蛋白对幼建鲤肠道功能和免疫力的影响[D].四川雅安:四川农业大学,2005.
- [12] 尾崎久雄.鱼类消化生理[M].上海:上海科学技术出版社,1983.
- [13] 李诺.黄芪提取物对鸡生长发育及免疫功能的影响[D].北京:中国农业大学,2004.
- [14] 林浩然.五种不同食性鲤科鱼类消化道[J].*中山大学学报:自然科学版*,1962,(3):65 - 78.
- [15] 范瑞青,姜明,汝少国.蓝非鲫肠道上皮组织的扫描电镜观察[J].*海洋科学*,2001,25(11):53 - 55.
- [16] 郭恩棉,王鑫,张筱兰,等.短盖巨脂鲤(*Piaractus brachyomum*)消化系统组织形态学研究[J].*莱阳农学院学报*,2002,19(2):145 - 150.
- [17] 林仕梅,罗莉,叶元土.黄颡鱼、大鳍鲃消化道粘膜的扫描电镜观察[J].*四川动物*,2003,22(2):63 - 66.
- [18] 刘飞,张轩杰,刘少军,等.湘云鲫、湘云鲤消化道的组织学研究[J].*中国水产科学*,2001,8(3):23 - 27.
- [19] 蒋作亮.稀土饲料添加剂机理及毒性探讨[J].*中国饲料*,1996,(6):16 - 18.
- [20] 黎新明,姚钧健.壳聚糖的动物生理效应及其在饲料添加剂中的应用[J].*广州化工*,2004,32(4):9 - 12.
- [21] 涂永锋,宋代军.鱼类肠道组织结构及其功能适应性[J].*江西饲料*,2004,(4):16 - 19.
- [22] 刘克琳,何明清.益生菌对鲤鱼免疫功能影响的研究[J].*饲料工业*,2000,21(6):24 - 25.
- [23] 张锦华.不同微生态制剂在鲤鱼养殖中的应用研究[D].江西南昌:江西农业大学,2003.



图版 I 稀土壳聚糖螯合盐对鲫前肠粘膜褶的影响(×100)

Plate I Effects of RECC on foregut plicamucosae of *C. auratus* (×100)

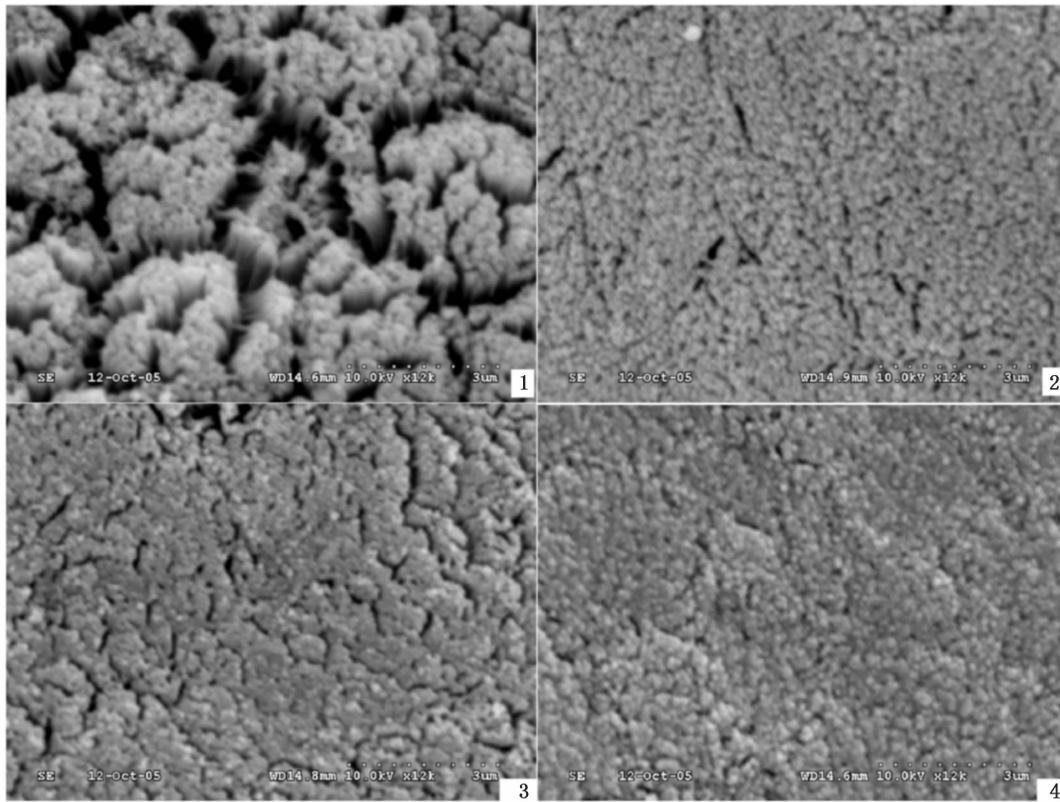
1. 空白对照组; 2. 0.08% RECC 组; 3. 0.16% RECC 组; 4. 0.24% RECC 组; 图中箭头示粘膜褶。



图版 II 稀土壳聚糖螯合盐对鲫前肠上皮细胞的影响(扫描电镜×3 000)

Plate II Effects of RECC on foregut epithelial cells of *C. auratus* (SEM×3 000)

1. 空白对照组; 2. 0.08% RECC 组; 3. 0.16% RECC 组; 4. 0.24% RECC 组; 图中短箭头示微绒毛,长箭头示上皮细胞。



图版Ⅲ 稀土壳聚糖螯合盐对鲫前肠微绒毛的影响(扫描电镜×12 000)

PlateⅢ Effects of RECC on foregut microvillus of *C. auratus* (SEM×12 000)

1. 空白对照组; 2. 0.08% RECC 组; 3. 0.16% RECC 组; 4. 0.24% RECC 组。