

壳聚糖对异育银鲫生长和饲料消化率的影响

陈 勇^{1,2}, 周洪琪²

(1 南京晓庄学院 生物化工与环境工程学院, 江苏 南京 210017; 2 上海海洋大学 水产与生命学院, 上海 201306)

摘要:采用单因子试验设计方法, 试验分成4组进行, 对照组和3个试验组, 每组3个重复. 对照组投喂基础饲料, 3个试验组分别投喂在基础饲料中添加0.25%壳聚糖、0.50%壳聚糖和1.00%壳聚糖的试验饲料, 自然水温下饲养异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* 50尾/池[初始体质量为(78.31±2.15)g]. 64d后, 采用国标常规方法测定异育银鲫肌肉的营养成分, 采用国标间接法(以Cr₂O₃为外源指示剂)测定饲料能量和营养成分消化率, 并计算特定生长率、饲料系数、蛋白质效率、蛋白质沉积率、白肌RNA/DNA, 旨在探讨壳聚糖对异育银鲫生长、饲料营养成分和能量消化率及利用率的影响. 结果表明, 饲料中添加0.50%以上的壳聚糖可以显著提高异育银鲫的特定生长率($P<0.05$)、蛋白质消化率($P<0.05$)和白肌RNA/DNA($P<0.05$), 显著降低异育银鲫对饲料脂肪的消化率($P<0.05$). 添加0.50%壳聚糖可以显著降低异育银鲫的饲料系数($P<0.05$), 显著提高蛋白质效率和肌肉中的蛋白质沉积率($P<0.05$), 显著提高异育银鲫对饲料能量的消化率($P<0.05$). 添加0.25%和0.50%壳聚糖可以显著提高鱼体肌肉中的灰分含量($P<0.05$). 由此看来, 在饲料中添加0.50%壳聚糖可以提高蛋白质和能量的消化率和利用率, 从而降低饲料系数、促进异育银鲫的生长.

关键词:异育银鲫; 壳聚糖; 生长; 消化率
中图分类号:S963.73 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2012)02-0230-05

Effect of Chitosan on Growth and Dietary Digestibility
of *Carassius auratus gibelio*

CHEN Yong^{1,2}, ZHOU Hong-qi²

(1 School of Biochemical and Environmental Engineering, Nanjing Xiaozhuang College, Nanjing 210017, China;
2 College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: The trial was divided into one control group and three tested ones. Each group was in triplicate. Gibel carp, *Carassius auratus gibelio* [initial mass of (78.31±2.15)g] with fifty for every pond were fed with control diet in control group and tested ones were control diet with chitosan of 0.25%, 0.50% and 1.00% in three tested groups below indoor temperature respectively. Muscle components were determined with national standard Method. The digestibilities of the dietary general energy and nutriment were determined by the indirect way of external indicator Cr₂O₃ and the survive ratio, the specific growth rate (SGR), the feed coefficient, the protein efficiency, protein retention, RNA/DNA ratio in white muscle were measured in order to investigate influence of the chitosan on the digestibilities and the utilization of the dietary nutriments and general energy of gibel carp after 64 d feeding period. Results showed that the supplement with 0.50% or more chitosan could improve the SGR, protein digestibility, the RNA/DNA ratio in white muscle ($P<0.05$) and decrease the fat digestibility of gibel carp respectively ($P<0.05$). The supplement with 0.50% chitosan could improve the protein efficiency, protein retention and the digestibility of the dietary general energy ($P<0.05$) and decrease the feed coefficient of the fish respectively ($P<0.05$). The supplement with 0.25% and 0.50% chitosan could improve ash

content in muscle ($P < 0.05$). Therefore, the supplement with 0.50% chitosan in gibel carp diet could improve the growth and the digestibilities of the dietary nutriment and general energy and decrease the feed coefficient of gibel carp.

Key words: *Carassius auratus gibelio*; chitosan; growth; digestibility

壳聚糖是由自然界中很多种生物尤其是甲壳类动物大量合成的甲壳素经过人工脱乙酰作用得到的,化学名称为聚葡萄糖胺((1,4)-2-氨基-2-脱氧- β -D-葡聚糖).这种天然高分子的生物相容性、安全性、微生物降解性等优良性能越来越受到各行各业的广泛关注,在医药、食品、化工、化妆品、水处理、金属提取及回收、生化 and 生物医学工程等诸多领域的应用研究取得了重大进展.壳聚糖作为一种饲料添加剂安全无毒,可被生物降解,对环境无不良影响,因此在水产养殖上也有了许多的应用,而且作为水产饲料添加剂所使用的壳聚糖多是利用水产品加工废弃物中的甲壳素制备的,兼有变废为宝、保护环境的作用.童春等^[1]对淡水白鲢、张耀武等^[2]对异育银鲫、常青等^[3]对花鲈的研究表明,在饲料中添加适量壳聚糖具有促进鱼类生长的效果,但常青等^[3]对花鲈的研究还表明,过量添加也会抑制鱼类的生长.可见壳聚糖对鱼类生长的影响与添加量有关.华雪铭等^[4]对暗纹东方鲀、陈勇等^[5]对异育银鲫的研究表明,壳聚糖促进鱼类生长的原因之一是壳聚糖能够提高鱼类肠道中消化酶的活性.但它是怎样的机制影响鱼类生长的?很多研究者是从壳聚糖能够提高鱼体免疫力的角度给出的答案^[1-3,6].本试验旨在从营养学的角度作进一

步的探讨.

1 材料与方法

1.1 材料

二龄异育银鲫 *Carassius auratus gibelio* 鱼种购自上海市南汇水产养殖场,体质量为 (78.31 ± 2.15) g,体质健壮,无病无伤.壳聚糖为低聚壳聚糖,由上海海洋大学食品学院提供,壳聚糖质量分数为100%.相对分子质量范围为 $27 \times 10^4 \sim 31 \times 10^4$.

1.2 设计

采用单因子试验设计.以鱼粉、豆粕、菜籽粕、次粉、玉米粉、啤酒酵母等为主要原料,粉碎研磨分别过40目筛,60目筛上物低于20%.按比例混合并搅拌均匀,采用逐级放大法使微量原料混合均匀,制成基础饲料.以投喂基础饲料作为对照,试验饲料分别为在基础饲料中添加不同水平的壳聚糖(0.25%、0.50%、1.00%)制成的饲料,设3个处理组,1个对照组,每组3个重复.各组饲料原料的配方组成和成分测定结果见表1.试验饲料用小型平模制粒机制成粒径为2.0~3.0 mm的硬颗粒饲料,饲料加工过程中温度65~70℃、持续时间约1 min.风干后置于4℃下保存备用.

表1 试验饲料原料组成和营养成分

Tab.1 Ingredient and nutrient composition of the experimental diets

组别	饲料原料及比例/%										营养成分及比例/%		
	鱼粉	豆粕	菜籽粕	次粉	玉米粉	啤酒酵母	大豆油	壳聚糖	磷酸二氢钙	预混料 ¹⁾	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
对照组	10.00	20.00	20.00	25.00	16.00	5.00	1.00	0.00	2.00	1.00	31.12	6.52	8.48
0.25%壳聚糖	10.00	20.00	20.00	24.25	16.00	5.00	1.00	0.25	2.00	1.00	31.10	6.51	8.48
0.50%壳聚糖	10.00	20.00	20.00	24.50	16.00	5.00	1.00	0.50	2.00	1.00	31.07	6.54	8.51
1.00%壳聚糖	10.00	20.00	20.00	24.00	16.00	5.00	1.00	1.00	2.00	1.00	31.04	6.55	8.52

1) 每千克预混料含: FeSO₄ · 7H₂O 25.00 g; CuSO₄ · 5H₂O 2.00 g; ZnSO₄ · 7H₂O 22.00 g; MnSO₄ · 4H₂O 7.00 g; Na₂ SeO₃ 0.05 g; KI 0.03 g; CoCl₂ · 6H₂O 0.10 g; V_A 900 000 IU; V_D 200 000 IU; V_E 4 500.0 mg; V_K 3 200.0 mg; V_{B1} 350.0 mg; V_{B2} 1 200.0 mg; V_{B5} 2 000.0 mg; V_{B6} 500.0 mg; V_{B12} 1.5 mg; V_C 10 000.0 mg; 泛酸 1 000.0 mg; 叶酸 150.0 mg.

1.3 饲养

饲养试验在上海海洋大学南汇养殖场进行,将试验鱼随机分到12个水泥池(5.0 m × 2.0 m × 1.0 m)中,有效水位0.6 m,每池50尾.先用基础饲料驯化1周,待鱼摄食正常后试验开始,每天按体质量的3%分3次(8:30、12:30、16:30)投喂每种饲料,并根据水温、水质、摄食情况适当调整,尽量让投喂的饲

料全部吃完不留残饵.每天充气12 h,不定期吸污、换水.饲养试验时间为64 d.整个试验期间水温为室温(21~35℃),溶氧量>5 mg/L,ρ(NH₃-N)<0.3 mg/L,各池水质基本一致.

1.4 消化率试验

分别在基础饲料和试验饲料中添加质量分数为0.5% Cr₂O₃ 用作消化率试验饲料.64 d的饲养试验

后,分别从各组随机取 15 尾试验鱼(分 3 次,每次 5 尾)放入另外 4 个大水族箱中,充气,不定期换水.先用不含 Cr_2O_3 的基础饲料饲养,待鱼摄食正常后改用含 Cr_2O_3 的基础饲料驯化,待试验鱼适应后试验正式开始,投喂含 Cr_2O_3 的试验饲料和基础饲料,投喂量同饲养试验,尽量让投喂的饲料全部吃完不留残饵,5 d 后开始用虹吸法分别收集刚刚排出不久、形状完整的粪便,放滤纸上吸干水分,70 ℃ 烘干待测.样本收集到足够分析使用为止.

1.5 测定

1.5.1 特定生长率、饲料系数及成活率计算 在试验正式开始及结束前试验鱼饥饿 1 d,每池鱼称体质量、计数.每组分别取 10 尾鱼背部白肌 2 g 待测.计算特定生长率、成活率及饲料系数.

特定生长率 = $(\ln \text{池鱼终末体质量} - \ln \text{池鱼初始体质量}) / \text{饲养时间}(\text{d}) \times 100\%$,

饲料系数 = $\text{试验期间池鱼投饲量} / (\text{池鱼终末体质量} - \text{池鱼初始体质量})$,

成活率 = $\text{池鱼终末尾数} / \text{池鱼初始尾数}$.

1.5.2 鱼体肌肉、饲料常规营养成分测定及蛋白质效率、蛋白质沉积率计算 水分质量分数采用常压干燥法测定,蛋白质质量分数采用凯氏定氮法(GB/T6432—1994)测定,脂肪质量分数采用索氏抽提法(GB/T6433—1994)测定,灰分含量采用 550 ℃ 灼烧法(GB/T6438—1992)测定.以下列公式计算蛋白质效率和蛋白质沉积率.

蛋白质效率 = $\text{体质量增加量} / (\text{投饲量} \times \text{饲料蛋白质质量分数})$,

蛋白质沉积率 = $(\text{试验结束时鱼体总体质量} \times \text{试验结束时鱼体粗蛋白质质量分数} - \text{试验开始时鱼体总体质量} \times \text{试验开始时鱼体粗蛋白质质量分数}) / (\text{消耗饲料总质量} \times \text{饲料粗蛋白质质量分数}) \times 100\%$.

1.5.3 消化率测定 采用间接法测定消化率.湿式灰化比色法(SC/T 1089—2006)测定饲料和粪便中的 Cr_2O_3 质量分数.凯氏定氮法(GB/T6432—1994)测定蛋白质质量分数,索氏抽提法(GB/T6433—1994)测

定脂肪质量分数. PARR1281 型氧弹式热量计(SC/T 1089—2006)测定单位饲料及粪样所含热能.

饲料中总营养物质的消化率(GD)、某营养物质消化率(D)和饲料总能的消化率(ED)分别按以下公式计算:

$$\text{GD} = [1 - (B/B')] \times 100\%$$
$$D = [1 - (A'/A) \times (B/B')] \times 100\%$$
$$\text{ED} = [1 - Q_2 \times M_2 / Q_1 \times M_1] \times 100\%.$$

其中 A 、 A' 分别为饲料和粪便中某营养物质的质量分数, B 、 B' 分别为饲料和粪便中的 Cr_2O_3 质量分数, Q_1 、 Q_2 分别为 1 g 饲料和粪样所含热能(kJ), M_1 为消化率试验摄入饲料总质量, M_2 为消化率试验排出粪便总质量(间接法测得).

1.5.4 白肌 RNA/DNA 计算 生长试验结束后,每个饲料组取 10 尾鱼,每尾鱼称取白肌 0.5 ~ 1.0 g,参照司亚东等^[7]的方法测定 RNA 和 DNA 的含量,计算白肌 RNA/DNA.

1.6 统计方法

试验数据用 ANOVA 进行方差分析,Duncan's 法进行多重比较.

2 结果

2.1 壳聚糖对异育银鲫成活、生长及饲料营养成分利用的影响

各饲料组成活率均为 100%.壳聚糖对异育银鲫的体质量、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率、白肌 RNA/DNA 及蛋白质沉积率有显著影响(表 2).饲料中添加 0.50% 以上的壳聚糖可以显著提高异育银鲫的特定生长率($P < 0.05$),1.00% 组的特定生长率虽然有下降趋势,但与 0.50% 组无显著差异.添加 0.50% 壳聚糖可以显著降低异育银鲫的饲料系数($P < 0.05$)、显著提高异育银鲫的蛋白质效率($P < 0.05$)、显著提高异育银鲫的蛋白质沉积率($P < 0.05$).添加 0.50% 以上的壳聚糖可以使异育银鲫白肌 RNA/DNA 呈显著提高,但随壳聚糖添加量的增加而显著降低($P < 0.05$).

表 2 壳聚糖对异育银鲫体质量、特定生长率、饲料系数、蛋白质效率、RNA/DNA 及蛋白质沉积率的影响¹⁾
Tab. 2 Effect of chitosan on body mass,specific growth rate,feed coefficient,protein efficiency rate,protein retention and the RNA/DNA ratio in white muscle of gibel carp

组别	终末体质量/g	特定生长率/%	饲料系数	蛋白质效率/%	蛋白质沉积率/%	RNA/DNA
对照	128.93 ± 2.57b	0.78 ± 0.08b	1.91 ± 0.27a	170.71 ± 22.81b	31.78 ± 1.58b	1.86 ± 0.02c
0.25% 壳聚糖	129.10 ± 1.82b	0.78 ± 0.06b	1.91 ± 0.24a	169.71 ± 20.16b	33.55 ± 0.92b	1.88 ± 0.03bc
0.50% 壳聚糖	142.00 ± 2.65a	0.94 ± 0.02a	1.49 ± 0.04b	215.34 ± 5.11a	35.62 ± 1.05a	2.06 ± 0.06a
1.00% 壳聚糖	138.37 ± 4.65a	0.89 ± 0.04a	1.61 ± 0.13ab	200.95 ± 16.39ab	33.89 ± 0.55b	1.90 ± 0.03b

1) 表中数据为平均值 ± 标准差,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著($P > 0.05$,Duncan's 法).

2.2 壳聚糖对异育银鲫肌肉成分的影响

壳聚糖对异育银鲫肌肉成分的影响见表 3. 饲料中添加 0. 50% 壳聚糖可以显著提高鱼体肌肉中的蛋白质质量分数 ($P < 0. 05$). 添加 0. 25% 和 0. 50% 壳聚糖可以显著提高鱼体肌肉中的灰分质量分数 ($P < 0. 05$). 添加壳聚糖对肌肉水份、脂肪质量分数无显著影响 ($P > 0. 05$).

2.3 壳聚糖对异育银鲫消化吸收率的影响

壳聚糖对异育银鲫饲料能量和营养成分的

消化吸收率有显著影响(表 4). 添加 0. 50% 壳聚糖能显著提高异育银鲫对饲料的干物质消化率 ($P < 0. 05$); 添加 0. 50% 以上的壳聚糖可以显著提高对饲料蛋白质的消化率,但随壳聚糖添加量的增加而显著降低 ($P < 0. 05$), 可以显著降低异育银鲫对饲料脂肪的消化率,并随壳聚糖添加量的增加而降低 ($P < 0. 05$). 添加 0. 50% 壳聚糖能显著提高异育银鲫对饲料的能量消化率 ($P < 0. 05$).

表 3 壳聚糖对异育银鲫肌肉成分的影响¹⁾
Tab.3 Effect of chitosan on nutrient ingredients in the muscle of gibel carp

组别	$w_{湿}/\%$			
	蛋白质	脂肪	灰分	水分
对照	19. 12 ± 0. 11b	2. 27 ± 0. 35a	1. 17 ± 0. 10b	76. 88 ± 0. 30a
0. 25% 壳聚糖	19. 99 ± 0. 65ab	1. 96 ± 0. 81a	1. 32 ± 0. 05a	76. 45 ± 0. 44a
0. 50% 壳聚糖	20. 47 ± 0. 96a	1. 78 ± 0. 51a	1. 31 ± 0. 11a	76. 86 ± 0. 50a
1. 00% 壳聚糖	19. 73 ± 0. 57ab	1. 62 ± 0. 36a	1. 29 ± 0. 11ab	76. 95 ± 0. 51a

1) 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ($P > 0. 05$, Duncan's 法).

表 4 壳聚糖对异育银鲫饲料营养成分和能量消化吸收率的影响¹⁾
Tab.4 Effect of chitosan on digestibilities of the dietary nutriment and general energy of gibel carp %

组别	干物质消化率	蛋白质消化率	脂肪消化率	能量消化率
对照	64. 04 ± 1. 09b	84. 96 ± 0. 75c	86. 38 ± 0. 76a	91. 62 ± 0. 43b
0. 25% 壳聚糖	63. 25 ± 1. 38b	84. 62 ± 0. 68c	86. 08 ± 0. 67a	91. 44 ± 0. 38b
0. 50% 壳聚糖	68. 00 ± 0. 42a	90. 24 ± 0. 65a	83. 12 ± 1. 50b	93. 36 ± 0. 49a
1. 00% 壳聚糖	64. 02 ± 1. 59b	88. 51 ± 1. 02b	80. 58 ± 1. 85c	92. 26 ± 0. 70b

1) 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列数据后凡是有一个相同小写字母者, 表示差异不显著 ($P > 0. 05$, Duncan's 法).

3 讨论

3.1 壳聚糖对异育银鲫生长和肌肉成分的影响

本试验结果表明, 饲料中添加 0. 50% 壳聚糖可以显著降低异育银鲫的饲料系数、显著提高异育银鲫的蛋白质效率、显著提高异育银鲫的蛋白质沉积率、可以显著提高鱼体肌肉中的蛋白质质量分数. 饲料中添加 0. 50% 以上的壳聚糖可以显著提高异育银鲫的特定生长率, 可以使异育银鲫白肌 RNA/DNA 呈显著提高. 这与曹丹等^[8]、王红权等^[9]的研究结果相一致.

鱼类的生长主要是蛋白质的积累, 而蛋白质的积累是通过蛋白质生物合成实现的. 当鱼体的生长速度加快即鱼体蛋白质合成速度加快时, 鱼体组织中的 RNA 含量就会增加. 考虑到单位组织样品中细胞数目的不同, 影响 RNA 和 DNA 的量, 许多学者对 RNA/DNA 与鱼类生长的关系进行了研究^[10-13], 结果表明: RNA/DNA 值能准确反映蛋白质的合成速率, 可作为衡量鱼类生长速率的指标, 而且能影响鱼类生长的因素也能影响鱼类 RNA/DNA, 如种类^[10]、大

小^[11]、营养条件^[12]、添加剂^[13], 等等. 白肌是表达鱼体生长最有代表性的组织^[12], 本试验 0. 50% 及以上的壳聚糖可以显著提高异育银鲫白肌 RNA/DNA, 这与本试验的壳聚糖显著提高异育银鲫肌肉中的蛋白质沉积率 (0. 50%)、显著提高鱼体肌肉中的蛋白质质量分数 (0. 50%)、显著提高异育银鲫特定生长率的结果相一致. 说明壳聚糖提高了鱼体蛋白质的合成速度, 有更多的蛋白质沉积在肌肉中即用于生长.

3.2 壳聚糖对异育银鲫消化吸收率的影响

本试验结果表明, 添加 0. 50% 壳聚糖可以显著提高异育银鲫对饲料的干物质消化率, 饲料中添加 0. 50% ~ 1. 00% 的壳聚糖可以显著提高异育银鲫的蛋白质消化率, 显著降低异育银鲫对饲料的脂肪消化率. 由此可见, 饲料中添加壳聚糖可以显著提高异育银鲫对饲料尤其是蛋白质的消化能力. 这与其他学者^[4-6]的生长试验结果相一致.

本试验添加 0. 50% 的壳聚糖可以显著提高饲料的蛋白质消化率和能量消化率, 可能是由于壳聚糖或者其降解产物在肠道中可使有益菌得到增殖, 增

殖的细菌能够分泌蛋白酶^[4,14],使异育银鲫肠道中消化酶尤其是蛋白酶活性和数量得到提高之故^[5]. Gabriel 等^[15]用含甲壳素饲料饲养虹鳟 12 周,胃内有活性较高的甲壳素酶,肠道特别是后肠有活性较高的壳二糖酶,一些有益菌得到了增殖.其次,壳聚糖是一种带正电荷的高分子碱性多糖,其所带正电荷的氨基可以与细胞膜磷脂中的磷酸根作用,从而改变肠道上皮细胞的结构及通透性^[16],增加吸收能力^[17].然而,随添加量的增加,饲料营养成分的消化率呈显著下降,可见壳聚糖具有很强的吸附能力^[8],过量添加使其在鱼类的消化道内吸附营养物质而导致鱼体消化吸收能力的下降.这可能正是过量添加壳聚糖会抑制鱼类的生长和饲料转化的原因.

异育银鲫对饲料脂肪消化率随着壳聚糖添加量增加呈显著降低.这与 Shiao 等^[18]、Razdan 等^[19]的研究结果相一致.壳聚糖对鱼类的降脂作用与人类不同,在人类,壳聚糖可以与胆汁酸络合,使脂肪不能被乳化,从而降低了脂肪的吸收^[20].但是,鲤科鱼类几乎不含胆汁酸^[21],所以异育银鲫的降脂作用可能由于壳聚糖是一种带正电荷的碱性多糖,具有吸附和络合的特性.在肠道内会呈凝胶状态,其吸附脂肪并加强肠道蠕动,促使糜团快速通过排出体外,从而降低了脂肪的消化吸收^[22].

由此看来,在饲料中添加 0.50% 壳聚糖可以提高蛋白质和能量的消化率和利用率,从而降低饲料系数、促进异育银鲫的生长.

参考文献:

- [1] 童春,曹振杰,杨玲,等.壳聚糖对淡水白鲢生长和非特异性免疫功能的影响[J].上海海洋大学学报,2010,19(2):219-225.
- [2] 张耀武,郭黛健,陈万光.壳聚糖对异育银鲫生长及非特异性免疫功能的影响[J].水利渔业,2008,28(4):50-74.
- [3] 常青,梁萌青,王家林,等.壳聚糖对花鲈生长和非特异性免疫力的影响[J].海洋水产研究,2006,27(5):17-22.
- [4] 华雪铭,周洪琪,张宇峰,等.饲料中添加壳聚糖和益生菌对暗纹东方鲀幼鱼生长及部分消化酶活性的影响[J].水生生物学报,2005,29(3):299-305.
- [5] 陈勇,周洪琪,冷向军,等.壳聚糖对异育银鲫生长和消化酶的影响[J].中国水产科学,2006,13(3):440-445.
- [6] 闫大伟,华雪铭,周洪琪.壳聚糖对草鱼生长、抗病性能的影响[J].饲料工业,2007,28(12):17-18.
- [7] 司亚东,金有坤,周洪琪,等.鲤鱼白肌中 RNA/DNA 值与生长的关系[J].上海水产大学学报,1992,12(3):159-167.
- [8] 曹丹,周洪琪.壳聚糖对异育银鲫的生长、蛋白质合成及肌肉营养成分的影响[J].淡水渔业,2004,34(1):6-8.
- [9] 王红权,赵玉蓉,余建波,等.壳聚糖对草鱼生长及肌肉营养成分的影响[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2008,34(5):576-578.
- [10] PELLETIER D, BLIER P U, LAMBERT Y, et al. Deviation from the general relationship between RNA concentration and growth rate in fish[J]. J Fish Biol, 1995, 47: 920-922.
- [11] CLEMMESSEN C. The effect of food availability, age or size on the RNA/DNA ratios of individually measured herring larvae: Laboratory calibration[J]. Mar Biol, 1994, 118: 377-382.
- [12] SMITH T R, BUCKLEY L J. RNA-DNA ratio in scales from juveniles cod provides a nonlethal measure of feeding condition[J]. Trans Am Fish Soc, 2003, 132(1): 9-17.
- [13] 梁萌青,王成刚,陈超,等.几种添加剂对红鳍东方鲀的促生长效果与 RNA/DNA 关系[J].海洋水产研究,2001,22(2):38-41.
- [14] 刘小刚,周洪琪,华雪铭,等.微生态制剂对异育银鲫消化酶活性的影响[J].水产学报,2002,26(5):448-452.
- [15] GABRIEL J, LINDSAY H, WALTON M J. et al. The growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) given diets containing chitin and its relationship to chitinolytic enzymes and chitin digestibility[J]. Aquac, 1984, 37(4):315-334.
- [16] DODANE V, AMIN K M, MERWIN J R. Effect of chitosan on epithelial permeability and structure[J]. Int J Pharm, 1999, 182(1):21-32.
- [17] SCHIPPER N G, OLSSON S, HOOGSTRAATE J A, et al. Chitosans as absorption enhancers for poorly absorbable drugs 2: Mechanism of absorption enhancement[J]. Pharm Res, 1997, 14(7):923-929.
- [18] SHIAU S Y, YU L P. Dietary supplementation of chitin and chitosan depresses growth in tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. Aquac, 1999, 179, 439-446.
- [19] RAZDAN A, PETTERSSON D. Hypolipidaemic, gastrointestinal and related responses of broiler chickens to chitosans of different viscosity[J]. Br J Nutr, 1996, 76(3):387-397.
- [20] 杨铭铎,刘浩宇,王禾,等.壳聚糖抑脂作用的研究[J].营养学报,2002,24(1):53-58.
- [21] 林浩然.鱼类生理学[M].广州:广东高等教育出版社,1999:222-225.
- [22] KANAUCHI O, DEUCHI K, IMASATO Y, et al. Mechanism for the inhibition of fat digestion by chitosan and for the synergistic effect of ascorbate[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 1995, 59(5):786-790.