

饲料酵母对大菱鲆生长及肠道显微结构的影响

崔敏 郭冉* 夏辉 苏利 王静

(河北农业大学 海洋学院 河北 秦皇岛 066000)

摘要: 试验旨在研究不同比例的饲料酵母替代鱼粉对大菱鲆生长及肠道显微结构的影响。设计 5 种等氮、等能的试验饲料(B₁(对照组)、B₂、B₃、B₄和 B₅) ,分别用 0、15%、30%、45%、60% 的饲料酵母替代饲料中 0、17%、34%、51%、68% 的鱼粉。经过 56 d 的饲养 结果表明: B₂ 的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)最高(B₂的 WGR 是 275.30% ,SGR 是 1.91%;对照组 WGR 为 235.66% ,SGR 为 1.82%) ,饲料系数(FCR)最低(B₂的 FCR 为 1.34 而对照组为 1.53) 。B₂(97.44%)和 B₄(94.87%) 的成活率(SR)均显著高于对照组(84.62%) (P<0.05) ,而 B₅(74.36%) 显著低于对照组(P<0.05) 。鱼体的粗蛋白含量随着饲料酵母替代比例的增加而逐渐降低(P<0.05) 粗灰分则逐渐升高(P<0.05) 。从切片观察肠道皱襞高度显著下降 当饲料酵母替代 68% 鱼粉时 前肠道组织结构完整性被破坏 部分肠绒毛脱落 中肠和后肠的肠绒毛都变短 且后肠固有层变宽 粘膜层与肌层结缔组织连接疏松。综合考虑大菱鲆的生长指标、形体指标、鱼体成分和显微结构等因素 要获得最佳的养殖效益 大菱鲆饲料中的添加量以 15% 为宜。

关键词: 大菱鲆; 饲料酵母; 生长性能; 肠道显微结构

中图分类号: S963.5 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)05-0976-06

Effect of Feed Yeast on Growth Performance and Intestinal Microscopic Structure of Turbot *Scophthalmus maximus*

CUI Min , GUO Ran* , XIA Hui , SU Li , WANG Jing

(Ocean College , Agricultural University of Hebei , Qinhuangdao 066000 ,China)

Abstract: The experiment was conducted to study the effect of replacement of fish meal by feed yeast (*Candida utilis*) on growth and intestinal microscopic structure of turbot (*Scophthalmus maximus*) . Five kinds of isocaloric and isonitrogenous diets containing 0 , 15% , 30% , 45% and 60% of feed yeast. Were used to replace 0 (B₁) , 17% (B₂) , 34% (B₃) , 51% (B₄) and 68% (B₅) of fish meal were respectively. After 56 d feeding trial , it was observed that B₂ got the highest weight gain rate (WGR) (275.30%) , specific growth rate (SGR) (1.91%) and the lowest feed conversion rate (FCR) (1.34) compared with the control (235.66% , 1.82% and 1.53 respectively) (P < 0.05) . The values of survival rates (SR) in B₂ (97.44%) and B₄ (94.87%) were significantly higher than that of the control (84.62%) , but that of B₅ was significantly lower (74.36%) . Crude protein content decreased , on the contrary , ash content increased with the feed yeast increasing in the diets. Observation of slices revealed that the entero - plica height of intestine decreased

收稿日期: 2011-06-27 修回日期: 2011-07-25

基金项目: 国家发改委 2008 年重大产业技术开发项目和秦皇岛市科技计划项目(201101A207)

作者简介: 崔敏(1985—) 硕士生 主要从事鱼类营养与饲料学研究 E-mail: cuimin0535@163.com; * 通讯作者: 郭冉 博士。

significantly. The structural integrity of anterior intestine in the 68% alternative group was destroyed, the part of intestinal villi shed. The intestinal villi of mid-intestine and posterior intestine were shorter, the proper layer of posterior intestine became wider and the connective tissue of proper layer loosened. The overall conclusion is that the optimal feed yeast addition in diets may be set at 15% based on the results of growth performance, physical indicators, body composition and intestinal microscopic structure.

Key words: *Scophthalmus maximus*; *Candida utilis*; growth performance; intestinal microscopic structure

众所周知,在水产动物的饲料原料中,最紧缺的就是饲料蛋白源,积极开发饲料蛋白源具有很高的经济和社会效益。目前对渔用蛋白源的研究主要集中在动物性蛋白源、植物性蛋白源、单细胞蛋白源等几个方面。本试验所用饲料酵母属单细胞蛋白,它是以前淀粉企业生产淀粉和葡萄糖的废弃物为底物,以产朊假丝酵母(*Candida utilis*)为菌种,经过一系列的发酵、蒸干、喷雾干燥等工艺加工而成。该饲料酵母蛋白质含量可达46.36%,粗脂肪为1.71%,粗纤维0.04%,总氨基酸为36.04%,营养十分丰富。如能充分利用该饲料酵母作为蛋白源最大限度的替代鱼粉,不仅可以减少鱼粉的使用,降低生产成本;还能充分利用我国的糟渣资源,解决环境污染的问题。

目前,关于饲料酵母对鱼类的影响已经在多种鱼类上进行了相关的研究,研究的内容多集中在饲料酵母替代鱼粉后对鱼类的生长、饲料利用等^[1-3]方面。研究的对象多集中在鲤鱼(*Cyprinus carpio*)^[1]、建鲤(*Cyprinus carpio* var. *jian*)^[2]、罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)、淡水白鲳(*Ephippium orbis*)^[4],对大菱鲆的研究还很少。

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)英文名Turbot,在中国俗称为“多宝鱼”,是一种底栖的肉食性鱼类,它易于被驯服、生长速度快、肉质细嫩、口感独特,是我省乃至我国重点养殖品种,也是养殖产量较大的品种之一。大菱鲆对蛋白质营养的需求量很高,蛋白含量低于39%时,幼鱼增长缓慢,只有蛋白含量高于42%时,大菱鲆幼鱼才会快速增长^[5]。因此,针对大菱鲆研究饲料酵母在其饲料中的应用,具有典型的代表作用。本研究通过营养学和肠道组织学方法探索饲料酵母替代鱼粉的可行性及其在大菱鲆饲料中适宜的添加比例,为饲料酵母的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验饲料的配制

试验所用鱼粉为粗蛋白为68%的秘鲁鱼粉,饲料酵母由秦皇岛骊骅淀粉股份有限公司提供,粗蛋白含量为46.36%,按照不同的替代比例设计5种不同的饲料配方,B₁为对照组,不添加饲料酵母,B₂、B₃、B₄、B₅分别替代17%、34%、51%和68%的鱼粉。饲料配方及饲料常规成分见表1。根据饲料配方将所有饲料原料用粉碎机进行粉碎过80目筛、混匀,用F-26型双螺杆挤条机(华南理工大学科技实业总厂制造)制成1.5 mm的硬颗粒饲料,干燥后于-20℃冰箱保存,备用。

表1 饲料原料及组成

Tab.1 Raw materials and composition of experimental diets

原料 Raw materials	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
鱼粉 Fish meal	65	54	43	32	21
饲料酵母 Feed yeast	0	15	30	45	60
纤维素 Cellulose	23.1	18.3	13.6	8.6	4.1
鳕鱼油 Cod-fish oil	0.5	1.3	2	3	3.5
其它 Others	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4

其它:磷虾粉2%,玉米淀粉5%,复合矿物质0.5%,复合维生素2%,胆碱0.5%,V_c磷酸酯0.4%,复合矿物质(g/kg):氯化钴0.04,硫酸锰6.5%,硫酸铜2.5%,硫酸亚铁40,硫酸镁283.98,亚硒酸钠0.1,碘化钾0.67,硫酸锌131.93,填充物534.28;复合维生素(g/kg):盐酸硫氨酸0.5,V_{B6}1,烟酸5,核黄素3,肌醇5,泛酸钙5,生物素0.05,叶酸0.18,V_{K3}2,V_{B12}0.002,V_A醋酸盐(20 000 IU/g)5,V_{D3}(400 000 IU/g)0.002,V_E(250 IU/g)8,纤维素865.266.

krill meal, corn starch, Mineral mixture, Vitamin mixture, choline (50%), ascorbic phosphate ester, CMC 1; CoCl₂ · 6H₂O, MnSO₄ · H₂O, CuSO₄ · 5H₂O, FeSO₄ · 7H₂O, MgSO₄ · 7H₂O, NaSeO₃, KIO₄, ZnSO₄, filler, thiamine hydrochloride, pyridoxine, niacin, riboflavin, inositol, Ca-pantothenate, biotin, folic acid, menadione, cyanocobal-amine, vitamin A acetate, vitamin D₃, vitamin E, cellulose.

表2 饲料的营养成分

Tab.2 Nutritional ingredient of experimental diets

营养成分 Nutritional ingredient	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
水分/% Moisture	10.39	11.26	10.46	11.17	11.49
粗蛋白/% Crude protein	45.40	45.17	44.93	44.70	44.46
粗脂肪/% Crude lipid	7.30	7.30	7.20	7.40	7.10
总糖/% Total sugar	5.00	5.75	6.50	7.25	8.00
粗灰分/% Crude ash	7.96	9.39	10.45	11.58	12.81
总能/(MJ·kg ⁻¹) Total energy	18.44	17.69	16.91	16.21	15.39

1.2 试验设计及饲养管理

大菱鲃幼鱼购于秦皇岛天合水产良种有限公司,195尾大菱鲃(9.02±0.15)g随机分为5个组,每组3个重复,每个重复放养13尾鱼。饲养于室内循环流水的水族箱(120L)中,以试验饲料驯化10d后,开始试验。水温(18.0±1.0)℃,pH(7.6±0.4),溶氧大于8mg/L,盐度为(30.60±0.02)。每天饲喂3次(07:00、12:00和18:00),投饲率为体重的3%~4%,每14d调整投喂量。试验持续56d。

1.3 样品采集与分析

试验结束后,禁食1d称重,每箱随机取3尾鱼用于全鱼粗蛋白、粗灰分和粗脂肪含量^[6-8]的分析。另从每箱随机取3尾鱼,麻醉处理后,测体长和体质量,解剖后,测肝脏、内脏重量。然后用2.5mL一次性无菌注射器(含肝素钠)从心脏采血,置于4℃冰箱过夜,以3000r/min于4℃下离心10min,分离血浆,收集的血浆保存于-80℃冰箱待测。

1.3.1 体成分的测定 饲料及鱼体成分均采用国标法进行测定:干物质采用105℃烘箱干燥法;灰分采用马弗炉灼烧法(550℃);粗蛋白质采用凯氏定氮法;粗脂肪采用索氏抽提法(以石油醚为溶剂)^[9]。

1.3.2 肠道显微结构的观察 从每箱随机取3尾鱼,活体解剖,用生理盐水冲洗后,迅速取出前肠、中肠和后肠(1.0cm×1.0cm)4%中性甲醛固定、修块与冲洗、脱水与透明、透蜡、包埋、切片和HE染色,用于观察肠道微观形态结构和测量皱襞高度。使用Olympus摄影显微镜进行图像采集。

1.4 数据处理

试验结果用平均数±标准误(mean±SE)表示,采用SPSS(17.0)统计软件对数据进行统计学分析,先对数据作单因素方差分析(One-way ANOVA),若组间差异显著,再用Duncan's法进行多重比较,显著水平为0.05。

2 结果分析

2.1 不同比例的饲料酵母对大菱鲃生长性能的影响

由表3可见,和对照组相比,其他组的WGR、SGR和PER随着饲料酵母替代比例的增加而显著降低($P<0.05$),FCR则显著增加($P<0.05$)。B₂(97.44%)和B₄(94.87%)的SR均显著高于对照组(84.62%)($P<0.05$),而B₅(74.36%)显著低于对照组12.1%($P<0.05$)。

2.2 不同比例的饲料酵母对大菱鲃形体指标的影响

由表4发现,B₂与B₃的肝体指数(hepatopancreas indexes,HSI)分别比对照组高83.08%和61.54%($P<0.05$),B₄与对照组没有显著差异($P>0.05$),而B₅显著低于对照组69.23%($P<0.05$)。B₂的内脏指数(viscera indexes,VSI)显著高于对照组24.60%($P<0.05$),B₃、B₄和B₅与对照组差异不显著($P>0.05$)。和对照组相比,B₃的CF最大(2.94%),其次是B₄(2.87%)和B₂(2.74%),B₅最小(2.34%)。

2.3 不同比例的饲料酵母对大菱鲃形体成分的影响

由表5可知,全鱼水分和粗脂肪含量随着替代比例的增加没有显著性差异($P>0.05$)。和对照组相比,粗蛋白含量随着饲料酵母添加比例的增加而逐渐降低,粗灰分则显著升高($P<0.05$)。

表 3 不同比例的饲料酵母替代鱼粉对大菱鲂生长性能及饲料利用的影响
Tab. 3 The effects of partial replacement of fish meal by feed yeast on growth performance and feed conversion for *Scophthalmus maximus*

指标 Parameters	末均重/g Final average weight	增重率/% Weight gain rate	特定生长率/% Specific growth rate	成活率/% Survival rate	饲料系数 Feed conversion ratio	蛋白质效率 Protein efficiency rate
B ₁	28.65 ± 4.71 ^{ab}	235.66 ± 58.33 ^{ab}	1.82 ± 0.71 ^{ab}	84.62 ± 4.44 ^a	1.53 ± 0.08 ^{ab}	1.63 ± 0.07 ^b
B ₂	35.12 ± 4.01 ^a	275.30 ± 52.87 ^a	1.91 ± 0.59 ^a	97.44 ± 2.56 ^c	1.34 ± 0.07 ^a	1.87 ± 0.12 ^b
B ₃	29.78 ± 3.57 ^{ab}	214.36 ± 38.29 ^{ab}	1.68 ± 0.47 ^{ab}	79.49 ± 2.57 ^{ab}	1.45 ± 0.04 ^{ab}	1.72 ± 0.04 ^b
B ₄	18.25 ± 2.44 ^b	110.77 ± 28.15 ^b	0.92 ± 0.38 ^b	94.87 ± 2.57 ^c	2.67 ± 0.76 ^{bc}	1.10 ± 0.29 ^a
B ₅	18.38 ± 1.04 ^b	108.17 ± 13.95 ^b	0.90 ± 0.19 ^b	74.36 ± 2.57 ^b	2.84 ± 0.38 ^c	0.91 ± 0.11 ^a

增重率(WGR, %) = 100 × (末均量 - 初均量) / 初均量; 特定生长率(SGR, % / d) = 100 × (ln 终末体重 - ln 初始体重) / 试验天数; 成活率(SR, %) = (试验结束鱼尾数 / 试验开始鱼尾数) × 100; 饲料系数(FCR) = 摄食饲料总量 / 鱼体增重量; 蛋白质效率(PER) = 鱼体增重量 / 蛋白质摄入量, 同列中不同字母的表示差异显著。

weight gain rate (%) = 100 × (final average weight - initial average weight) / initial average weight; specific growth rate (%) = 100 × (ln final weight - ln initial weight) / experiment days; survival rate (%) = 100 × (the final number of fish / the initial number of fish); feed conversion ratio = feed intake / weight gain of the fish; protein efficiency rate = weight gain of the fish / protein intake. Means with different letters in the same line are significant differences (P < 0.05).

表 4 不同比例的饲料酵母替代鱼粉对大菱鲂形体指标的影响

Tab. 4 The effects of partial replacement of fish meal by feed yeast on physical indicators for *Scophthalmus maximus*

指标 Parameters	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
肝体指数/% Hepatosomatic index	0.65 ± 0.14 ^a	1.19 ± 0.06 ^b	1.05 ± 0.09 ^b	0.44 ± 0.10 ^{ac}	0.20 ± 0.38 ^c
肥满度/% Condition factor	2.54 ± 0.10 ^{ab}	2.74 ± 0.05 ^{bc}	2.94 ± 0.12 ^c	2.87 ± 0.12 ^c	2.34 ± 0.09 ^a
内脏指数/% Viscera index	5.65 ± 0.62 ^{ab}	7.04 ± 0.42 ^c	6.72 ± 0.21 ^{bc}	5.56 ± 0.27 ^a	5.44 ± 0.25 ^a

肝体指数(HSI, %) = (肝脏质量 / 鱼体质量) × 100; 内脏指数(VSI, %) = (内脏质量 / 鱼体质量) × 100; 肥满度(CF, %) = (体重 / 体长) × 100, 同行中不同字母的表示差异显著。

Hepatosomatic index (%) = 100 × (liver weight / body weight); viscera index (%) = 100 × (viscera weight / body weight); condition factor (%) = 100 × (body weight(g) / body length(cm)); Means with different letters in the same raw are significant differences (P < 0.05).

表 5 不同比例的饲料酵母替代鱼粉对大菱鲂形体成分的影响

Tab. 5 The effects of partial replacement of fish meal by feed yeast on whole body composition for *Scophthalmus maximus*

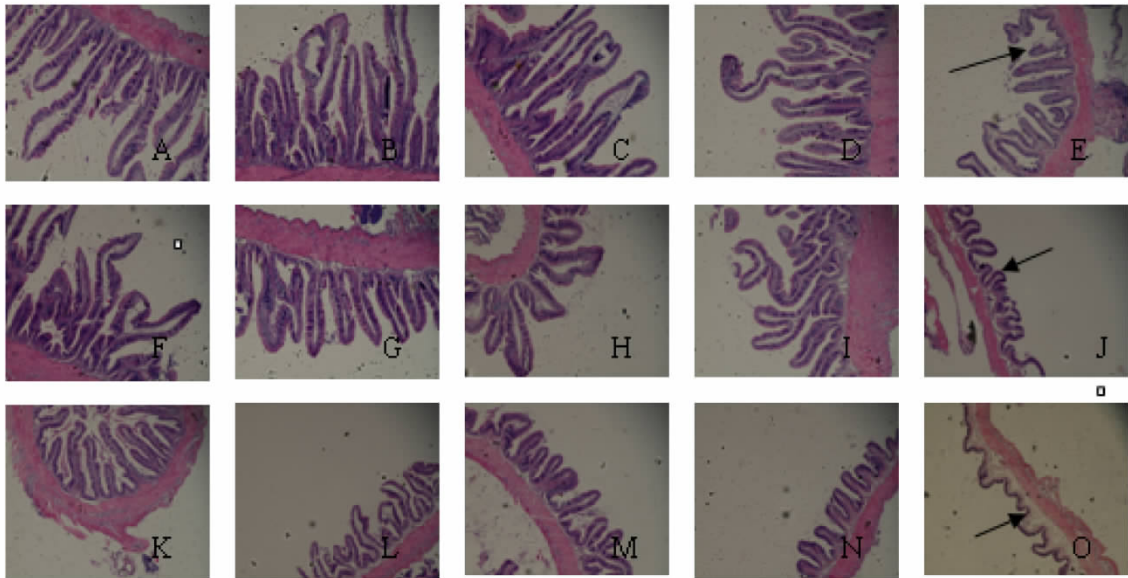
指标 Parameters	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅
水分/% Moisture	80.16 ± 0.06	80.11 ± 0.04	80.21 ± 0.09	80.14 ± 0.04	80.18 ± 0.03
粗蛋白/% Crude protein	62.67 ± 0.19 ^a	66.33 ± 0.44 ^b	60.75 ± 0.15 ^a	56.47 ± 1.06 ^c	57.09 ± 1.86 ^c
粗脂肪/% Crude lipid	3.67 ± 0.60	3.41 ± 1.07	3.80 ± 0.61	4.24 ± 0.27	3.42 ± 0.62
粗灰分/% Crude ash	4.68 ± 0.04 ^a	3.63 ± 0.18 ^b	5.28 ± 0.04 ^c	5.71 ± 0.10 ^d	5.76 ± 0.17 ^d

同行中不同字母表示差异显著。

Means with different letters in the same row are significant differences (P < 0.05).

2.4 不同比例的饲料酵母对大菱鲂肠道显微结构的影响

观察大菱鲂前肠、中肠和后肠的组织切片发现, 肠道组织结构可分为四层: 粘膜层、粘膜下层、肌层和浆膜。但固有膜与粘膜层之间无明显分界, 粘膜突起成皱襞。皱襞的数量由前肠到后肠逐渐减少。对照组皱襞排列紧密, 分支多, 肠绒毛发达, 粘膜下层较薄。(图 A、F、K)。从前肠到后肠肠绒毛的高度明显降低(图 C、F、M), B₂、B₃、B₄ 组除了肠绒毛高度的变化外, 结构上没有显著的变化(图 B、C、D、G、H、I、L、M、N) 当饲料酵母替代比例为 68% 时, 大菱鲂前肠肠道组织结构完整性被破坏, 部分肠绒毛脱落,



A: B₁ 前肠, 100 ×; B: B₂ 前肠, 100 ×; C: B₃ 前肠, 100 ×; D: B₄ 前肠, 100 ×; E: B₅ 前肠箭头所指处纹状缘有多处断裂和脱落现象, 100 ×; F: B₁ 中肠, 100 ×; G: B₂ 中肠, 100 ×; H: B₃ 中肠, 100 ×; I: B₄ 中肠, 100 ×; J: B₅ 中肠, 箭头所指处肠绒毛变短, 100 ×; K: B₁ 后肠, 100 ×; L: B₂ 后肠, 100 ×; M: B₃ 后肠, 100 ×; N: B₄ 后肠, 100 ×; O: B₅ 后肠, 100 ×; 箭头所指处肠绒毛变短且固有层变宽, 粘膜层与肌层结缔组织连接疏松, 100 ×。

A: The anterior intestine of B₁, 100 ×; B: The anterior intestine of B₂, 100 ×; C: The anterior intestine of B₃, 100 ×; D: The anterior intestine of B₄, 100 ×; E: The anterior intestine of B₅, arrows indicated intestinal villi partly break, 100 ×; F: The mid-intestine of B₁, 100 ×; G: The mid-intestine of B₂, 100 ×; H: The mid-intestine of B₃, 100 ×; I: The mid-intestine of B₄, 100 ×; J: The mid-intestine of B₅, arrow indicated intestinal villi were shorter, 100 ×; K: The posterior intestine of B₁, 100 ×; L: The posterior intestine of B₂, 100 ×; M: The posterior intestine of B₃, 100 ×; N: The posterior intestine of B₄, 100 ×; O: The posterior intestine of B₅, arrow indicated intestinal villi were shorter and the tissue of proper layer are loosened, 100 ×.

图1 不同比例的饲料酵母替代鱼粉对大菱鲂肠道显微结构的影响

Fig. 1 The effects of partial replacement of fish meal by feed yeast on intestinal microscopic structure for *Scophthalmus maximus*

纹状缘有多处断裂和脱落现象(图E), 中肠和后肠的肠绒毛都变短, 但后肠固有层变宽, 粘膜层与肌层结缔组织连接疏松(图O)。

3 讨论

诸多研究表明^[10-13], 饲料酵母部分或全部替代鱼粉应用在水产动物上是可行的, 但是要根据养殖种类和鱼类食性的差异, 调整饲料配方, 满足鱼类营养的需要。本试验中, 饲料中添加 15% 的饲料酵母时, 大菱鲂的生长性能最佳, 该值与张梁^[4]网箱养殖淡水白鲢的结果相同。

添加 15% 饲料酵母组的 SR 最高, WGR、SGR 和 PER 随着替代比例的升高而下降, 表明适量的酵母有利于大菱鲂的生长, 但随着饲料中酵母含量的增加会影响大菱鲂对饲料的转化率, 从而导致大菱鲂的增重率和成活率下降。但葛树立^[7]用活性酵母养殖罗非鱼时, 随着替代比例的增加, WGR 增加, FCR 降低, 表明活性酵母明显促进罗非鱼的生长。这可能与养殖品种、酵母的来源、组成等有关。较高的饲料酵母替代鱼粉也同样降低了鲤鱼^[1]、淡水白鲢^[4]、胡子鲶^[14]的摄食和生长, 也可能是高浓度的饲料酵母引起鱼体的免疫反应过度, 导致用于生长的能量和营养素减少的缘故。Rumsey 等^[15]则认为完整的酵母细胞因细胞壁存在无法使胞内的营养成分释放出来, 致使鱼类利用高含量酵母能力较差。

幼鱼的消化系统发育不及成鱼完善, 对各种环境因子(运输、储藏、食物因子、水质理化因子等)尤其是食物因子的变化反应比较敏感, 当饲料中大量添加饲料酵母时, 可能会对消化系统的发育产生一定的影响, HSI 和 VSI 等会发生较大变化。在本试验中, 添加 15% 饲料酵母组的 HSI、VSI 和 CF 均高于对

对照组,说明一定比例的饲料酵母会刺激鱼体形体的生长,改善肝功能。但黄钧^[3]用加酶饲料酵母替代鱼粉饲养丰鲤时,鱼粉组的CF显著高于各饲料酵母替代组。

本试验结果来看,全鱼的水分和脂肪含量无明显变化,粗蛋白含量逐渐降低,灰分的含量逐渐升高。而程光平^[13]用酵母蛋白替代鱼粉饲养胡子鲶,测定其水分、粗蛋白、粗灰分和氨基酸总量时,与鱼粉组均没有差异。当饲料酵母添加量超过45%时,粗蛋白的含量显著下降,表明高比例的饲料酵母替代鱼粉会影响蛋白质在鱼体内的沉积,这与高含量饲料酵母组的饲料利用率较低有关。从总体来看,15%饲料酵母组的粗蛋白含量最高,粗脂肪含量又最低,说明饲料中添加15%的饲料酵母能够增加鱼的蛋白含量,减少脂肪的堆积,能显著提高鱼肉的品质,使鱼肉更加鲜嫩可口。

从本研究结果可知,饲料酵母影响了大菱鲆肠道组织结构的完整性。和对照组相比,当饲料中添加60%饲料酵母,前肠、中肠和后肠道皱襞高度显著下降,说明饲料酵母影响了大菱鲆肠道的生长发育,导致肠道完整性被破坏,肠道皱襞高度下降,肠道吸收面积减少,对营养物质的吸收能力降低。与本试验研究相反的是,但邱燕^[16]用YC饲养草鱼时,添加1000 mg/kg组和2000 mg/kg组的皱襞高度均显著高于对照组,他认为YC对肠道的保护作用可能与酵母细胞壁有关。具体原因有待进一步地研究。

参考文献:

- [1]吕迅,于伟君,王丹,等. 酵母替代鱼粉养鲤试验[J]. 水产科学, 1991(3): 5-9.
- [2]胡迪先,夏先林,程园,等. 饲料酵母替代鱼粉作饲料的研究[J]. 中国饲料, 1995(4): 19-20.
- [3]黄钧,程光平,夏中生,等. 加酶饲料酵母的养鱼效果分析[J]. 淡水渔业, 2000, 30(3): 27-29.
- [4]张梁,周维禄,杨世平. 饲料酵母替代部分鱼粉养殖淡水白鲢试验[J]. 郑州牧业工程高等专科学校学报, 2003, 23(1): 4-5.
- [5]马爱军,陈四清,雷霖霖,等. 饲料中主要能量物质对大菱鲆幼鱼生长的影响[J]. 海洋与湖沼, 2001, 32(5): 527-533.
- [6]Association of official analytical chemists. Official Methods of Analysis (Williams, S ed.) [M]. 1984, 14th edn. AOAC, Washington D C, USA, 1984.
- [7]Folch J, Lees M, Sloane - Stanley G H, et al. A simple method of the isolation and purification of total lipid from animal tissues [J]. Journal of Biology and Chemical, 1957, 226: 497-509.
- [8]Delsal J L. Nouveau Procédé D' extraction des lipides du serum par le méthylal: application aux microdosages du cholestérol total, des phosphoaminolipides, et des protéines. New process for extracting lipids form serum by methylal: application to micro dosages of total cholesterol, phosphoaminolipids, and proteins [J]. Bulletin of the Society of Chemical Biology, 1944 (26): 99-105.
- [9]Woyewoda A D, Shaw S J, Ke P J, et al. Recommended laboratory methods for assessment of fish quality [J]. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 1986, 1448: 28-31.
- [10]周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- [11]Lim E H, Lain T J, Ding J L, et al. Single - Cell protein diet of a novel recombinant vitellogenin yeast enhances growth and survival of first - feeding Tilapia (*Oreochromis Mossambicus*) Larvae [J]. The Journal of Nutrition, 2005, 135(3): 513-518.
- [12]Sanderson G W, Jolly S O. The value of phaffia yeast as a feed ingredient for salmonid fish [J]. Aquaculture, 1994, 124: 193-200.
- [13]Tacon A G. Feed ingredients for carnivorous fish species alternatives to fishmeal and other dietary resources [J]. FAO Fish Circle, 1994, 881: 35.
- [14]程光平,黄钧,夏中生,等. 酵母蛋白替代鱼粉饲养胡子鲶试验[J]. 广西农业生物科学, 2001, 20(1): 41-44.
- [15]Rumsey G L, Hughes S G, Kinsella L, et al. Use of dietary yeast *saccharomyces cerevisiae* nitrogen by lake trout [J]. World Aquaculture Society, 1990, 21: 205-209.
- [16]邱燕,叶元土,蔡春芳,等. 酵母培养物对草鱼生长性能与肠道粘膜状态的影响[J]. 饲料工业, 2010, 31(18): 15-17.