

## 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼生长、 消化酶活性和血液生化指标的影响

刘襄河, 叶超霞, 郑丽勉, 欧成成, 王安利\*

(华南师范大学生命科学学院, 广东省水产健康安全养殖重点实验室,  
生态与环境科学广东普通高校重点实验室, 广东 广州 510631)

**摘要:** 配制等蛋白质(42%), 等脂肪(9%), 糊精水平分别为 10%、15%、20%、25%、30% 的 5 组饲料, 饲养暗纹东方鲀幼鱼[初始体质量为(10.25 ± 0.51)g]60 d, 考察饲料中不同糊精水平对其生长、消化酶活性和血液生化指标的影响。结果发现, 随着饲料糊精水平的升高, 暗纹东方鲀幼鱼的特定生长率和饲料效率先增加后降低, 25% 组最高, 并显著高于 10% 和 15% 组。30% 组鱼的脏体比和肝体比显著高于 10% 组, 同时其肝脂肪含量也显著高于其他组。10% 组的肝糖原和血浆总氨基酸含量显著低于其他组。10% 和 15% 组鱼的肝胰脏和肠道中淀粉酶活性显著低于其他实验组, 而其肝胰脏中胰蛋白酶活性显著高于 30% 组。25% 和 30% 组的血浆总胆固醇和甘油三酯含量显著高于 10% 和 15% 组。10% 和 15% 组的血浆尿素氮含量显著高于其他实验组。15% 和 20% 组的血细胞数量显著高于其他实验组。30% 组的细胞凋亡率及细胞内活性氧(ROS)和钙离子(Ca<sup>2+</sup>)含量显著高于其他实验组。饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼的血糖含量、血浆谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性及肝胰脏和肠道中脂肪酶活性无显著影响。在本实验条件下, 暗纹东方鲀幼鱼饲料中糊精的适宜水平为 20%~25%。

**关键词:** 暗纹东方鲀; 生长; 消化酶; 血浆生化指标

**中图分类号:** S 963

**文献标志码:** A

碳水化合物(CHO)是鱼类饲料中重要且廉价的能源物质。在饲料中添加适量的碳水化合物可以减少饲料蛋白质分解功能, 使更多的蛋白质用于鱼类生长, 起到节约蛋白质的作用, 同时减轻氮排泄对养殖水体的污染<sup>[1-3]</sup>。已有研究表明, 当饲料中碳水化合物不足时, 其他营养物质如蛋白质和/或脂肪将会被分解用于能量供应, 蛋白质和脂肪利用率降低, 导致鱼体代谢紊乱、体型消瘦和生长速度下降<sup>[4-5]</sup>; 碳水化合物的水平过高则会导致鱼类肝脏损伤, 脂肪沉积增加, 易形成脂肪肝<sup>[6-7]</sup>, 影响鱼类生长、导致免疫力下降和死亡率升高<sup>[8]</sup>等。因此, 研究鱼类饲料中适宜的碳水化合物水平, 既可以保证鱼类良好的生长性能和合理的饲料成本, 使更多的蛋白质用于生长, 又可

以减少蛋白质用于能量的消耗, 减轻氨氮和硝态氮的排放对养殖水体的污染<sup>[9]</sup>。

暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)俗称河鲀, 隶属于鲀科(Tetraodontidae)、东方鲀属, 属江海洄游性鱼类, 对淡水有很好适应性<sup>[10-11]</sup>。暗纹东方鲀具有很高的食用和药用价值, 是经济价值很高的水产养殖新品种, 规模化人工繁殖及集约化养殖技术体系也非常完善。目前, 在养殖过程中, 通常以鳊鱼料或甲鱼料混合冰冻小杂鱼替代, 在表面上保证了大多数养殖生产的正常运转, 但却并不完全适合暗纹东方鲀的营养需求。暗纹东方鲀营养需求的研究是其人工配合饲料开发的基础环节, 也是其养殖业持续健康发展的重要环节, 有关其蛋白质需求和鱼粉替代研究已有报道<sup>[12-14]</sup>, 而

收稿日期:2013-02-24 修回日期:2013-05-10

资助项目:广东省重点实验室建设项目(2009A060800019);省部产学研结合项目(2011B090500009);广东省高等学校科技创新重点项目(CXZD1114)

通信作者:王安利, E-mail:wanganl@scnu.edu.cn

关于其对饲料碳水化合物的需求还未见报道。实验研究了饲料中添加不同水平糊精对暗纹东方鲀生长、消化酶活性和血液生化指标的影响,初步探讨其饲料中糊精的适宜水平,旨在为其营养需求和配合饲料的研制开发提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 实验饲料的配制

实验饲料以鱼粉和酪蛋白为蛋白源,鱼油和

豆油为脂肪源,糊精为碳水化合物原料,设计了5组等蛋白(42%),等脂肪(9%)的饲料配方,糊精水平分别为10%、15%、20%、25%和30%(表1)。所有饲料原料用粉碎机进行粉碎后过80目筛,按饲料配方比例准确称重后混匀,微量组分采用逐级扩大法混匀,加适量水用双螺杆制粒机做成3 mm粒径的颗粒饲料,自然风干后分装,贮存于-20℃冰柜中备用。

表1 实验饲料配方及营养水平(风干基础,%)

Tab.1 Formulation and proximate composition of experimental diets (air-dry basis, %)

饲料原料 ingredients	饲料(糊精水平)/% diets (Dextrin)				
	D1 (10%)	D2 (15%)	D3 (20%)	D4 (25%)	D5 (30%)
鱼粉 fish meal	30	30	30	30	30
酪蛋白 casein	26	26	26	26	26
糊精 dextrin	10	15	20	25	30
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	20.9	15.9	10.9	5.9	0.9
羧甲基纤维素 carboxyl methyl cellulose	2	2	2	2	2
鱼油 fish oil	3	3	3	3	3
豆油 soybean oil	3	3	3	3	3
大豆磷脂 soybean lecithin	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
氯化胆碱 choline chloride (50%)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VC-磷酸酯 vitamin C	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
维生素预混料 vitamin premix <sup>1</sup>	1	1	1	1	1
矿物盐预混料 mineral premix <sup>1</sup>	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
三氧化二钇 yttrium oxide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>营养成分 proximate analysis</b>					
干物质/% dry matter	90.56	90.27	90.23	90.56	90.42
粗蛋白/% crude protein	41.78	41.89	41.78	41.95	41.96
粗脂肪/% crude lipid	8.98	8.88	8.92	8.79	8.82
灰分/% ash	9.38	9.27	9.22	9.18	8.95
碳水化合物/% carbohydrate	16.96	22.06	27.18	32.18	37.37
总能/(MJ/kg) gross energy <sup>2</sup>	15.2	16.0	16.8	17.6	18.5

注:1. 由广州飞禧特水产科技有限公司提供。2. 饲料总能根据蛋白质、脂肪和碳水化合物的能量(23.6,39.5和17.2 kJ/g)来计算。

Notes:1. Provided by Fish-Technology Co. Ltd. (Guangzhou, Guangdong, China). 2. Calculated values based on 23.6,39.5 and 17.2 kJ/g for protein, lipid and carbohydrate, respectively.

### 1.2 实验鱼与饲养管理

实验用暗纹东方鲀购于广州市金洋水产养殖有限公司,鱼苗运到华南师范大学生物系养殖实验场,放入暂养池(3 m × 2 m × 2 m,长 × 宽 × 高)驯养15 d后,选取体格健壮、规格均匀的个体300尾,平均体质量为(10.25 ± 0.51) g,用渔用消毒剂 and 食盐混合溶液消毒后,随机放入15个圆形钢化玻璃钢(300 L),每缸20尾鱼,每组饲料对应3

个缸,称初始体质量后开始实验。

养殖实验持续60 d,每天8:00和16:00各投喂1次,达到表观饱食,无剩余残饵,投喂0.5 h后观察采食情况,估计采食量,并将多余饲料吸出。早晚各排污1次,定期清洗养殖桶,实验用水为曝气自来水,用增氧机昼夜持续增氧,每半个月换水1次,换水量1/4 ~ 1/3,以保持池水清新。实验期间水温(28 ± 2)℃,pH 7.3 ± 0.3,溶氧高

于 6.5 mg/L, 氨氮低于 0.05 mg/L, 光照为自然光源。

### 1.3 样品采集和分析

实验结束后, 禁食 24 h, 每缸鱼称重并计数, 每缸随机取 5~7 尾鱼, 用 MS-222 (0.05 mg/L) 麻醉后测量每尾鱼体质量, 用 2.5 mL 一次性无菌注射器从心脏采血, 血用肝素钠抗凝, 先取 0.2 mL 全血, 稀释后用于血细胞计数和流式细胞仪检测, 其余血液 4 °C 下放置 2 h, 以 3 500 r/min 离心 10 min 分离血浆, 保存于 -80 °C 冰箱待测。采血后在冰盘上解剖鱼体, 分离出内脏团和肝脏并称量, 肝脏每缸合并为一个样本, 并于 -80 °C 下保存待测。肝脏按质量体积比 (W/V, 1/10) 加入预冷 0.2 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (4 °C, pH 7.4), 用高速组织匀浆机在冰浴中匀浆, 并以 3 500 r/min, 4 °C 离心 20 min, 取上清液保存于 -20 °C 冰箱中备用。

### 1.4 测定指标与方法

实验结束时测定特定生长率 (specific growth rate, SGR)、饲料效率 (feed efficiency, FE)、肝体比 (hepatosomatic indexes, HSI) 和脏体比 (viscerosomatic index, VSI):

$$\text{特定生长率 (SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$\text{饲料效率 (FE, \%)} = 100 \times (W_t - W_0) / FI$$

$$\text{肝体比 (HSI, \%)} = 100 \times W_l / W_b$$

$$\text{脏体比 (VSI, \%)} = 100 \times W_v / W_b$$

式中,  $W_0$  为实验开始时鱼体质量 (g);  $W_t$  为实验结束时鱼体质量 (g);  $t$  为养殖天数 (d);  $FI$  为饲料摄入量 (g, 指投饲量减去残饵量);  $W_l$  为每尾鱼肝脏重 (g);  $W_v$  为每尾鱼内脏团重 (g);  $W_b$  为每尾鱼体质量 (g)。

肝胰脏和肠道中胰蛋白酶测定采用 Folin 酚法、淀粉酶测定采用淀粉-碘比色法和脂肪酶测定采用对硝基苯酚比色法 (均采用南京建成生物技术研究所试剂盒)。血浆中葡萄糖 (glucose, GLU)、总氨基酸 (total amino acids, TAA)、总胆固醇 (total cholesterol, TCHO)、甘油三酯 (triglycerides, TG) 和尿素氮 (blood urea nitrogen, BUN) 含量及谷丙转氨酶 (glutamic-pyruvic transaminase, ALT) 和谷草转氨酶 (glutamic-oxalacetic transaminase, AST) 活性委托广州中山大学附属第三医院检验科采用日立全自动生化分

析仪 (7020 型) 进行测定。

血细胞数量 (red blood cell, RBC) 采用稀释 200 倍血液在显微镜下用 Neubauer 氏计数板计数。细胞凋亡率 (apoptosis ratio) 采用 Annexin V-FITC/PI 凋亡试剂盒 (Invitrogen 公司)、活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 含量采用 2,7-二氢二氯荧光黄双乙酸钠 (DCFH-DA) 为标记探针试剂盒检测嗜中性粒细胞的呼吸爆发 (Sigma 公司)、钙离子含量采用 Fluo-3 AM 荧光钙探针试剂盒 (Sigma 公司) 在流式细胞仪 (FACSCalibur, Becton Dickinson Co., United States) 上应用 CellQuest 软件 (Becton Dickinson Immuncytometry Systems, San Jose, Canada) 进行实验数据的获取和分析。

### 1.5 数据处理

所有数据以平均值  $\pm$  标准差 (mean  $\pm$  SD) 表示。采用 SPSS 13.0 软件对实验数据做单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 所有用百分数表示的数据都先转化成反正弦方根后再进行方差分析, 当差异达到显著时, 则进行 Tukey 多重比较, 显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼生长和肝脏指标的影响

暗纹东方鲀幼鱼的特定生长率和饲料效率随饲料中糊精水平的增加呈现先上升后降低的趋势 (表 2)。D3 和 D4 组的 SGR 显著高于 D1 和 D2 组 ( $P < 0.05$ ), D5 组的 SGR 也显著高于 D1 组 ( $P < 0.05$ ), SGR 与饲料中糊精水平的回归方程为  $y = -0.0007x^2 + 0.0331x + 1.2056$  ( $R^2 = 0.9272$ ), 当饲料糊精水平为 23.64%, 暗纹东方鲀的 SGR 最大 (图 1)。D3 和 D4 组的 FE 显著高于 D1 组 ( $P < 0.05$ ), FE 与饲料中糊精水平的回归方程为  $y = -0.0475x^2 + 2.1669x + 39.444$  ( $R^2 = 0.9538$ ), 当饲料糊精水平为 22.81%, 暗纹东方鲀的 FE 最大 (图 2)。

暗纹东方鲀幼鱼的脏体比、肝体比、肝糖原和肝脂肪含量均随饲料中糊精水平增加而升高 (表 2)。D5 组的 VSI 显著高于 D1 组 ( $P < 0.05$ ), D4 和 D5 组的 HSI 也显著高于 D1 组 ( $P < 0.05$ ), VSI 和 HSI 与饲料中糊精水平的回归方程分别为  $y = 0.0688x + 14.078$  ( $R^2 = 0.9101$ ) (图 3) 和

$y = 0.0544x + 9.632$  ( $R^2 = 0.9636$ ) (图4)。D1组的肝糖原含量显著低于其他组 ( $P < 0.05$ ), 其余各组之间无显著差异 ( $P > 0.05$ ), 肝糖原含量与饲料中糊精水平的回归方程为  $y = -0.0032x^2 + 0.1682x + 1.3088$  ( $R^2 = 0.9335$ ), 当饲料糊精水平为 26.28%, 暗纹东方鲀的肝糖原含量最高 (图5)。D5组的肝脂肪含量显著高于其他组 ( $P <$

0.05), 同时 D4 组的肝脂肪含量也显著高于 D1 和 D2 组 ( $P < 0.05$ ), 肝脂肪含量与饲料中糊精水平的回归方程为  $y = 0.0089x^2 + 0.0569x + 50.082$  ( $R^2 = 0.9998$ ), 此回归方程的二次曲线开口向上, 因此肝脂肪含量无最大值 (图6), 从回归曲线可以看出肝中脂肪沉积随着饲料中糊精水平增加而升高。

表2 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼特定生长率、饲料效率、脏体比、肝体比、肝糖原和肝脂肪的影响  
Tab.2 Specific growth rate, feed efficiency, viscerosomatic index, hepatosomatic indexes, liver glycogen and lipid of juvenile obscure puffer fed different dietary dextrin levels

	D1 (10%)	D2 (15%)	D3 (20%)	D4 (25%)	D5 (30%)
特定生长率/(%/d) SGR	1.48 ± 0.03 <sup>a</sup>	1.53 ± 0.04 <sup>ab</sup>	1.61 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.62 ± 0.04 <sup>c</sup>	1.58 ± 0.02 <sup>bc</sup>
饲料效率/% FE	56.82 ± 3.22 <sup>a</sup>	60.24 ± 1.67 <sup>ab</sup>	64.11 ± 2.52 <sup>b</sup>	64.51 ± 1.43 <sup>b</sup>	61.35 ± 2.42 <sup>ab</sup>
脏体比/% VSI	14.57 ± 0.79 <sup>a</sup>	15.34 ± 0.48 <sup>ab</sup>	15.56 ± 0.59 <sup>ab</sup>	15.68 ± 0.56 <sup>ab</sup>	16.12 ± 0.61 <sup>b</sup>
肝体比/% HSI	10.08 ± 0.38 <sup>a</sup>	10.53 ± 0.29 <sup>ab</sup>	10.76 ± 0.42 <sup>ab</sup>	11.05 ± 0.45 <sup>b</sup>	11.18 ± 0.36 <sup>b</sup>
肝糖原/% liver glycogen	2.46 ± 0.33 <sup>a</sup>	3.22 ± 0.32 <sup>b</sup>	3.35 ± 0.28 <sup>b</sup>	3.47 ± 0.30 <sup>b</sup>	3.56 ± 0.21 <sup>b</sup>
肝脂肪/% liver lipid	51.56 ± 3.22 <sup>a</sup>	52.89 ± 1.67 <sup>a</sup>	54.74 ± 2.53 <sup>ab</sup>	57.11 ± 1.43 <sup>b</sup>	59.73 ± 2.42 <sup>c</sup>

注: 数据表示为平均值 ± 标准差 ( $n = 3$ ), 同一行数据右上角不同上标字母表示有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values are means ± SD ( $n = 3$ ). Means in the same lines with different superscripts indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

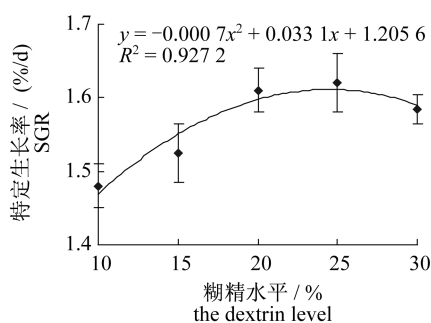


图1 暗纹东方鲀特定生长率与饲料中糊精水平的回归关系

Fig.1 Relationship between SGR and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

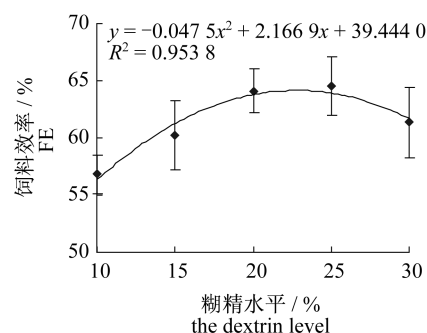


图2 暗纹东方鲀饲料效率与饲料中糊精水平的回归关系

Fig.2 Relationship between FE and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

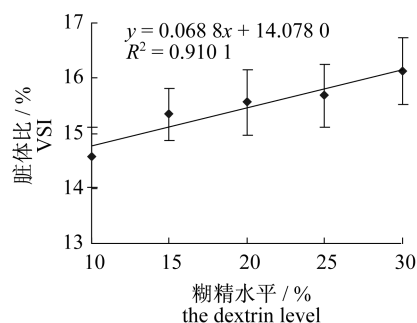


图3 暗纹东方鲀脏体比与饲料中糊精水平的回归关系

Fig.3 Relationship between VSI and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

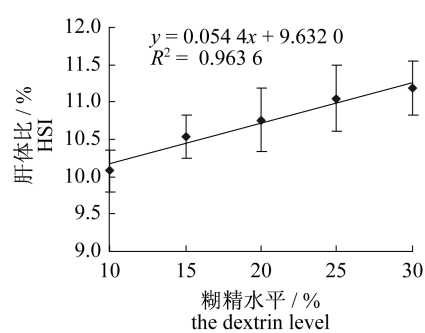


图4 暗纹东方鲀肝体比与饲料中糊精水平的回归关系

Fig.4 Relationship between HSI and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

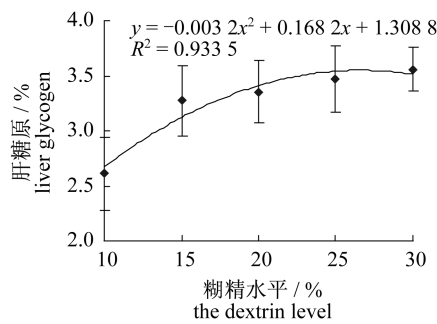


图5 暗纹东方鲀肝糖原与饲料中糊精水平的回归关系

Fig. 5 Relationship between liver glycogen and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

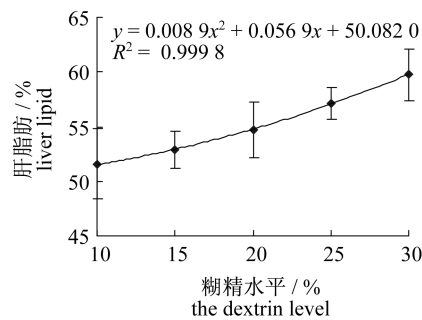


图6 暗纹东方鲀肝脂肪与饲料中糊精水平的回归关系

Fig. 6 Relationship between liver lipid and dietary dextrin levels of juvenile obscure puffer

## 2.2 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼消化酶活性的影响

随着饲料糊精水平的增加,暗纹东方鲀幼鱼肝脏和肠道中淀粉酶活性呈上升趋势,而肝脏中胰蛋白酶呈下降趋势(表3)。D1和D2组的肝胰

脏中胰蛋白酶活性显著高于D5组( $P < 0.05$ ),而肝胰脏和肠道中淀粉酶活性显著低于其他组( $P < 0.05$ )。各实验组鱼的肠道胰蛋白酶活性及肝脏和肠道中脂肪酶活性不受饲料糊精水平的影响( $P > 0.05$ )。

## 2.3 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼血浆生化指标和血细胞免疫功能的影响

随着饲料糊精水平的增加,暗纹东方鲀血浆中血糖(GLU)、总氨基酸(TAA)和尿素氮(BUN)含量呈先上升、后下降的趋势,同时血浆中总胆固醇(TCHO)和甘油三酯(TG)含量及谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活性呈上升趋势(表4)。D1组的血浆TAA含量显著低于其他组( $P < 0.05$ )。D4和D5组的血浆TCHO和TG含量显著高于D1和D2组( $P < 0.05$ ),D3的血浆TG含量也显著高于D1组( $P < 0.05$ )。D1和D2组的血浆BUN含量显著高于其他实验组( $P < 0.05$ ),同时D1组BUN含量也显著高于D2组( $P < 0.05$ )。各实验组鱼血浆中GLU含量及AST和ALT活性受饲料糊精水平的影响不显著( $P > 0.05$ )。

随着饲料糊精水平的增加,暗纹东方鲀血细胞数量(RBC)呈先上升、后下降的趋势,而细胞凋亡率及细胞内活性氧(ROS)和钙离子( $Ca^{2+}$ )含量变化趋势与RBC相反(表5)。D2和D3组的RBC显著高于其他组( $P < 0.05$ ),同时D1和D4组的RBC显著高于D5组( $P < 0.05$ )。D5组的细胞凋亡率和ROS含量显著高于其他组( $P < 0.05$ )。D2和D3组的细胞内 $Ca^{2+}$ 含量显著低于其他实验组( $P < 0.05$ ),同时D1和D4组也显著低于D5组( $P < 0.05$ )。

表3 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼肝胰脏和肠道中消化酶活性的影响

Tab. 3 Effects of dietary dextrin levels on hepatopancreas and intestinal digestive enzyme activities of juvenile obscure puffer

	D1 (10%)	D2 (15%)	D3 (20%)	D4 (25%)	D5 (30%)
<b>肝胰脏消化酶 hepatopancreas digestive enzyme</b>					
胰蛋白酶/(U/g prot) trypsin	977 ± 71 <sup>b</sup>	931 ± 66 <sup>b</sup>	902 ± 83 <sup>ab</sup>	875 ± 46 <sup>ab</sup>	812 ± 45 <sup>a</sup>
淀粉酶/(U/g prot) amylase	1.04 ± 0.11 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.06 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.03 <sup>b</sup>	1.31 ± 0.08 <sup>bc</sup>	1.40 ± 0.05 <sup>c</sup>
脂肪酶/(U/g prot) lipase	50.31 ± 4.57	51.30 ± 3.86	52.42 ± 5.58	53.30 ± 6.82	55.24 ± 8.79
<b>肠道消化酶 intestinal digestive enzyme</b>					
胰蛋白酶/(U/g prot) trypsin	586 ± 49	562 ± 36	578 ± 94	590 ± 56	630 ± 78
淀粉酶/(U/g prot) amylase	2.28 ± 0.19 <sup>a</sup>	2.41 ± 0.22 <sup>a</sup>	2.85 ± 0.18 <sup>b</sup>	2.81 ± 0.14 <sup>b</sup>	2.90 ± 0.16 <sup>b</sup>
脂肪酶/(U/g prot) lipase	12.25 ± 1.18	13.01 ± 0.57	12.21 ± 0.94	12.42 ± 1.18	12.01 ± 1.59

注:数据表示为平均值 ± 标准差( $n = 3$ ),同一行数据右上角不同上标字母表示有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: Values are means ± SD ( $n = 3$ ). Means in the same lines with different superscripts indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 4 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼血浆生化指标的影响  
 Tab. 4 Effects of dietary dextrin levels on plasma biochemistry indices of juvenile obscure puffer fed experimental diets for 60 d

	D1 (10%)	D2 (15%)	D3 (20%)	D4 (25%)	D5 (30%)
血糖/(mmol/L) GLU	1.61 ± 0.19	1.84 ± 0.23	1.82 ± 0.34	1.98 ± 0.29	1.97 ± 0.42
总氨基酸/(μmol/mg prot) TAA	24.08 ± 2.56 <sup>a</sup>	34.19 ± 3.29 <sup>b</sup>	40.26 ± 4.82 <sup>b</sup>	41.63 ± 5.66 <sup>b</sup>	37.13 ± 4.21 <sup>b</sup>
总胆固醇/(mmol/L) TCHO	4.74 ± 0.51 <sup>a</sup>	5.02 ± 0.21 <sup>a</sup>	5.41 ± 0.27 <sup>ab</sup>	5.81 ± 0.39 <sup>b</sup>	6.10 ± 0.19 <sup>b</sup>
甘油三酯/(mmol/L) TG	4.15 ± 0.20 <sup>a</sup>	4.41 ± 0.21 <sup>ab</sup>	4.88 ± 0.34 <sup>bc</sup>	5.04 ± 0.19 <sup>c</sup>	5.11 ± 0.39 <sup>c</sup>
尿素氮/(mmol/L) BUN	8.69 ± 0.39 <sup>c</sup>	7.37 ± 0.46 <sup>b</sup>	5.78 ± 0.52 <sup>a</sup>	5.53 ± 0.48 <sup>a</sup>	6.03 ± 0.73 <sup>a</sup>
谷草转氨酶/(U/g prot) AST	328.0 ± 17.3	338.7 ± 16.9	342.7 ± 19.3	354.3 ± 12.3	356.7 ± 20.1
谷丙转氨酶/(U/g prot) ALT	24.16 ± 1.02	24.97 ± 1.56	25.41 ± 1.48	25.75 ± 1.42	25.96 ± 1.77

注:数据表示为平均值 ± 标准差 ( $n=3$ ),同一行数据右上角不同上标字母表示有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values are means ± SD ( $n=3$ ). Means in the same lines with different superscripts indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

表 5 饲料糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼血细胞免疫功能的影响  
 Tab. 5 Effects of dietary dextrin levels on blood cells immunity of juvenile obscure puffer fed experimental diets for 60 d

	D1 (10%)	D2 (15%)	D3 (20%)	D4 (25%)	D5 (30%)
血细胞数量/( $10^9$ /mL) RBC	1.46 ± 0.05 <sup>b</sup>	1.63 ± 0.08 <sup>c</sup>	1.66 ± 0.07 <sup>c</sup>	1.43 ± 0.08 <sup>b</sup>	1.15 ± 0.04 <sup>a</sup>
细胞凋亡率/%	4.73 ± 0.31 <sup>a</sup>	4.22 ± 0.22 <sup>a</sup>	4.36 ± 0.27 <sup>a</sup>	4.57 ± 0.33 <sup>a</sup>	5.82 ± 0.39 <sup>b</sup>
细胞内活性氧 ROS (DCF 荧光量)	27.36 ± 2.26 <sup>a</sup>	26.47 ± 3.49 <sup>a</sup>	27.72 ± 2.60 <sup>a</sup>	31.04 ± 2.06 <sup>a</sup>	38.35 ± 2.83 <sup>b</sup>
细胞内钙离子含量/(nmol/L) $Ca^{2+}$	65.13 ± 3.53 <sup>b</sup>	47.41 ± 4.67 <sup>a</sup>	49.96 ± 4.28 <sup>a</sup>	61.72 ± 4.19 <sup>b</sup>	81.15 ± 5.43 <sup>c</sup>

注:数据表示为平均值 ± 标准差 ( $n=3$ ),同一行数据右上角不同上标字母表示有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

Notes: Values are means ± SD ( $n=3$ ). Means in the same lines with different superscripts indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).

### 3 讨论

鱼类主要以蛋白质和脂肪作为能量来源,对饲料碳水化合物利用能力较差<sup>[15]</sup>,但已有众多研究表明在饲料中添加适量的碳水化合物可以提高鱼类特定生长率、饲料效率及对蛋白质的利用率,起到节约蛋白质的作用<sup>[3]</sup>。很多鱼类利用糊化淀粉和糊精要好于葡萄糖等构型简单的碳水化合物<sup>[16-17]</sup>,故本实验选用糊精作为暗纹东方鲀饲料中碳水化合物的主要来源。本实验结果表明,饲料糊精水平在 10%~25% 时,暗纹东方鲀幼鱼的特定生长率和饲料效率呈增加趋势,说明饲料中糊精水平未达到适宜需求量之前,碳水化合物可以替代部分蛋白质用于能量的消耗,提高生长性能;饲料糊精水平超过 25% 时,暗纹东方鲀生长受到抑制,特定生长率和饲料效率均降低,这与韩勃等<sup>[18]</sup>对淡水黑鲷 (*Hephaestus fuliginosus*) 和李葳等<sup>[19]</sup>对点篮子鱼 (*Siganus guttatus*) 研究结果一致。饲料中糊精水平分别为 22.81% 和 23.64% 时,暗纹东方鲀的特定生长率和饲料效率均达到最高值,这与 Wang 等<sup>[20]</sup>报道奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 为 22%、Ren

等<sup>[21]</sup>报道军曹鱼 (*Rachycentron canadum*) 为 21% 和齐野等<sup>[22]</sup>报道宝石鲈 (*Scortum barcoo*) 为 23% 的结果基本一致,但与 Takii 等<sup>[23]</sup>报道红鳍东方鲀 (*Takifugu rubripes*) 饲料中糊精适宜水平为 16% 有较大差异,可能是与两者的食性和养殖环境有关(前者为杂食性偏肉食性,淡水;后者为肉食性,海水)。

肝脏是鱼类营养代谢的主要器官,也是糖原储存的主要场所,在碳水化合物代谢中发挥着重要的作用<sup>[24]</sup>。据报道,肝糖原含量与饲料的碳水化合物水平呈正相关<sup>[25-26]</sup>,肝糖原沉积过多,会导致肝细胞出现肿大或空泡化,引起肝细胞失活,损害肝脏的正常代谢功能,导致解毒能力下降<sup>[27]</sup>。田丽霞等<sup>[28]</sup>报道草鱼摄食不同碳水化合物水平饲料时,吸收的糖类很大一部分转化为脂肪在肝胰脏与肠系膜中积累。Brauge 等<sup>[29]</sup>报道鱼肝脏中内源酶的活性随着饲料糖水平的提高而增强,提高了磷酸戊糖途径和糖异生的功能,促进脂肪酸的合成作用,导致鱼体脂含量升高。实验中暗纹东方鲀幼鱼的脏体比、肝体比、肝糖原和肝脂肪含量随饲料中糊精水平增加而升高,取样解剖过程中观察到肠系膜上脂肪沉积也呈增加趋

势,也证明了饲料碳水化合物在一定程度上可以转化为鱼体脂肪,这与上述报道基本一致。

鱼类消化酶活性不仅反映基本的消化生理特征,而且可以作为衡量鱼类对饲料营养成分消化、吸收和利用的重要指标<sup>[30]</sup>,其活性的高低决定鱼类对营养物质消化吸收的能力。实验发现暗纹东方鲀的肝脏和肠道淀粉酶活性均随饲料糊精水平增加而显著升高,说明食物中糊精对淀粉酶的分泌和活性有一定的刺激作用,有利于提高对糊精的消化利用能力和为其提供充足的糖源,这与 Keshavanath 等<sup>[31]</sup>对鲤、韩勃等<sup>[18]</sup>对淡水黑鲷和强俊等<sup>[32]</sup>对奥尼罗非鱼的研究结果一致。鱼类摄食含糖饲料后对蛋白酶活性也会产生一定影响,实验发现胰腺中胰蛋白酶活性随饲料中糊精水平升高呈下降趋势,D5(30%)组显著低于 D1(10%)和 D2(15%)组,而对肠道中胰蛋白酶无明显影响,这可能与其肝脏受损导致代谢功能紊乱有关。Cahu 等<sup>[33]</sup>饲料糖可导致狼鲈(*Dicertrarchus labraa*)蛋白酶活性明显下降,而高梅等<sup>[34]</sup>报道饲料碳水化合物可导致南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)蛋白酶活性的升高,这可能与鱼类的食性及对营养成分的适应性有关。

鱼类血液指标受到多种因素共同影响,同机体代谢、营养状况、健康状况及免疫功能密切相关<sup>[35]</sup>。鱼类摄入的碳水化合物最终被分解成葡萄糖,而后进入血液在体内运输,到达肝脏、脑、肌肉及其他组织,被氧化分解并释放能量,或被用于糖原、体脂和氨基酸的合成,或参与其他生理活性物质的合成。实验中随着饲料糊精水平的提高,暗纹东方鲀血浆中血糖含量呈上升趋势,同时血浆中总氨基酸、总胆固醇和甘油三脂含量也显著升高,这与戈贤平等<sup>[36]</sup>对翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)、宋理平等<sup>[37]</sup>对厚唇弱棘鲷(*Hephaestus fuliginosus*)和吴凡等<sup>[38]</sup>对奥尼罗非鱼的研究结果相似,说明了饲料中糊精水平增加提高了糖代谢功能,减少了蛋白质和脂肪用于供能消耗,蛋白和脂肪的合成速度增加,导致血液中的总氨基酸、总胆固醇和甘油三脂含量升高。尿素氮(BUN)是鱼体含氮物质的代谢产物,血浆 BUN 浓度可以较准确地反映动物体内蛋白质代谢和氨基酸之间的平衡状况,BUN 浓度降低意味着表明氨基酸平衡好,蛋白质分解速度降低,机体

蛋白质合成速度加快<sup>[39]</sup>。本实验中,D1(10%)组鱼血浆 BUN 含量显著高于其他组,而血浆中总氨基酸含量则相反,意味着饲料中碳水化合物不足时蛋白质分解增加,合成速度明显降低。随着糊精水平增加,血浆 BUN 含量显著降低,而血浆中总氨基酸含量显著升高,说明了碳水化合物可以替代部分蛋白质,起到节约蛋白质作用。谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)主要参与体内转氨基作用,肝功能正常,血浆 AST 和 ALT 的活性很低,但当肝细胞或某些组织损伤或坏死,都会导致血液中的 AST 和 ALT 活性升高<sup>[38]</sup>。实验中,各组鱼血浆中 AST 和 ALT 活性随着糊精水平的提高呈上升趋势,说明高碳水化合物饲料对暗纹东方鲀的肝功能有一定的负面影响,这与碳水化合物对厚唇弱棘鲷<sup>[37]</sup>和奥尼罗非鱼<sup>[38]</sup>的研究结果一致。

鱼类血细胞不仅具有运输、体液调节及维持内环境稳定等功能,还参与机体的损伤修复、免疫等生理机制,鱼类血细胞数量及其变化可以反映鱼体的生理和病理状况<sup>[40]</sup>。实验中饲喂高糊精水平饲料组的暗纹东方鲀血浆营养物质含量发生显著变化导致内稳态发生改变,同时血细胞数量明显降低,说明饲料中碳水化合物水平过高影响其免疫功能。线粒体对维持细胞能量代谢和正常功能活动起重要作用,线粒体内包含一些与细胞凋亡有密切关系的物质,如细胞色素 C(Cyt-C)、凋亡诱导因子(AIF)、Bcl-2 家族蛋白、活性氧自由基(ROS)和  $Ca^{2+}$  等,可通过损伤线粒体,使其通透性改变,从而引起细胞凋亡<sup>[41-42]</sup>。线粒体是细胞内 ROS 的主要来源和靶位,ROS 的产生及脂质过氧化会改变线粒体膜的通透性而导致  $Ca^{2+}$  从线粒体释放,过多的细胞内  $Ca^{2+}$  又会导致 ROS 形成增多,同时, $Ca^{2+}$  的释放引起线粒体膜电位的崩溃,线粒体功能丧失,细胞 ATP 水平降低,而导致凋亡的发生<sup>[43-44]</sup>。实验中,D5(30%)组鱼的细胞凋亡率及细胞内 ROS 和  $Ca^{2+}$  含量显著升高,也说明饲料中糊精水平过高影响暗纹东方鲀幼鱼血细胞内环境的稳定及正常功能,进而影响其免疫功能,这也与血浆中 AST 和 ALT 活性变化相对应。

#### 4 结论

本实验条件下,通过线性回归得出饲料糊精

水平分别为 23.64% 和 22.81% 时,暗纹东方鲀幼鱼的特定生长率和饲料效率最高。综合考虑饲料中糊精水平对暗纹东方鲀幼鱼生长、饲料利用、消化酶活性、血浆生化和细胞免疫功能指标的影响,认为暗纹东方鲀幼鱼饲料中糊精的适宜水平为 20%~25%。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Shiau S Y, Peng C Y. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [ J ]. Aquaculture, 1993, 117 ( 3 - 4 ): 327 - 334.
- [ 2 ] Stone D A J, Allan G L, Anderson A J. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* ( Mitchell ). III. The protein-sparing effect of wheat starch-based carbohydrates [ J ]. Aquaculture Research, 2003, 34 ( 2 ): 123 - 134.
- [ 3 ] Mohanta K N, Mohanty S N, Jena J K. Protein-sparing effect of carbohydrate in silver barb, *Puntius gonionotus* fry [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13 ( 4 ): 311 - 317.
- [ 4 ] Hemre G I, Mommsen T P, Krogdahl Å. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2002, 8 ( 3 ): 175 - 194.
- [ 5 ] Rawles S D, Gatlin III D M. Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂ ) [ J ]. Aquaculture, 1998, 161 ( 1 - 4 ): 201 - 212.
- [ 6 ] Kumar S, Sahu N P, Pal A K, et al. Effect of dietary carbohydrate on haematology, respiratory burst activity and histological changes in *L. rohita* juveniles [ J ]. Fish & Shellfish Immunology, 2005, 19 ( 4 ): 331 - 344.
- [ 7 ] 缪凌鸿,刘波,戈贤平,等.高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生长,生理,免疫和肝脏超微结构的影响 [ J ]. 水产学报, 2011, 35 ( 2 ): 221 - 230.
- [ 8 ] Amoah A, Coyle S D, Webster C D, et al. Effects of graded levels of carbohydrate on growth and survival of largemouth bass, *Micropterus salmoides* [ J ]. Journal of the World Aquaculture Society, 2008, 39 ( 3 ): 397 - 405.
- [ 9 ] Hillestad M, Johnsen F, Åsgård T. Protein to carbohydrate ratio in high-energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L. ) [ J ]. Aquaculture Research, 2002, 32 ( 7 ): 517 - 529.
- [ 10 ] Yang Z, Chen Y F. Induced ovulation using LHRHa in anadromous obscure puffer *Takifugu obscurus* cultured entirely in freshwater [ J ]. Fish Physiology and Biochemistry, 2003, 29 ( 4 ): 323 - 326.
- [ 11 ] Yang Z, Chen Y F. Effect of temperature on incubation period and hatching success of obscure puffer *Takifugu obscurus* ( Abe ) eggs [ J ]. Aquaculture, 2005, 246 ( 1 - 4 ): 173 - 179.
- [ 12 ] 杨州,杨家新.暗纹东方鲀幼鱼对蛋白质的最适需要量 [ J ]. 水产学报, 2003, 27 ( 5 ): 450 - 455.
- [ 13 ] 钟国防,钱曦,华雪铭,等.玉米蛋白粉替代鱼粉对暗纹东方鲀溶菌酶活性及 c 型溶菌酶 mRNA 表达的影响 [ J ]. 水产学报, 2010, 34 ( 7 ): 1121 - 1128.
- [ 14 ] 钟国防,韩斌,华雪铭,等.暗纹东方鲀对几种蛋白质原料表观消化率及酶制剂对其消化能力的影响 [ J ]. 上海海洋大学学报, 2012, 21 ( 2 ): 241 - 246.
- [ 15 ] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [ J ]. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11 ( 4 ): 337 - 369.
- [ 16 ] Lee S M, Kim K D, Lall S P. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [ J ]. Aquaculture, 2003, 221 ( 1 - 4 ): 427 - 438.
- [ 17 ] Enes P, Peres H, Couto A, et al. Growth performance and metabolic utilization of diets including starch, dextrin, maltose or glucose as carbohydrate source by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles [ J ]. Fish Physiology and Biochemistry, 2010, 36 ( 4 ): 903 - 910.
- [ 18 ] 韩勃,宋理平.饲料淀粉水平对淡水黑鲟生长和消化酶活性的影响 [ J ]. 上海海洋大学学报, 2010, 19 ( 2 ): 207 - 213.
- [ 19 ] 李葳,侯俊利,章龙珍,等.饲料糖水平对点篮子鱼生长性能的影响 [ J ]. 海洋渔业, 2012, 34 ( 1 ): 64 - 70.
- [ 20 ] Wang Y, Liu Y J, Tian L X, et al. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [ J ]. Aquaculture Research, 2005, 36 ( 14 ): 1408 - 1413.
- [ 21 ] Ren M C, Ai Q H, Mai K S, et al. Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, apparent digestibility coefficient and digestive enzyme activities of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L. [ J ]. Aquaculture Research, 2011, 42 ( 10 ): 1467 - 1475.
- [ 22 ] 齐野,孙向军,于刚,等.饲料可消化糖水平对宝石鲈餐后代谢的影响 [ J ]. 南方水产, 2010, 6 ( 2 ): 59 - 65.



- [23] Takii K, Ukawa M, Nakamura M, *et al.* Suitable sugar level in brown fish meal diet for tiger puffer (*Takifugu rubripes*) [J]. *Fisheries Science*, 1995, 61 (5): 837 - 840.
- [24] 蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响 [J]. *水产学报*, 2013, 37(2): 245 - 254.
- [25] Kim J D, Kaushik S J. Contribution of digestible energy from carbohydrates and estimation of protein/energy requirements for growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1992, 106 (2): 161 - 169.
- [26] Waagbø R, Glette J, Sandnes K, *et al.* Influence of dietary carbohydrate on blood chemistry, immunity and disease resistance in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. [J]. *Journal of Fish Diseases*, 1994, 17(3): 245 - 258.
- [27] 周华, 樊启学, 宗克金, 等. 饲料碳水化合物水平对鳃幼鱼生长和体成分的影响 [J]. *水生态学杂志*, 2011, 32(3): 108 - 113.
- [28] 田丽霞, 刘永坚, 冯建, 等. 不同种类淀粉对草鱼生长, 肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响 [J]. *水产学报*, 2002, 26(3): 247 - 251.
- [29] Brauge C, Medale F, Corraze G. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater [J]. *Aquaculture*, 1994, 123 (1 - 2): 109 - 120.
- [30] Fernández I, Moyano F J, Díaz M, *et al.* Characterization of  $\alpha$ -amylase activity in five species of Mediterranean sparid fishes (Sparidae, Teleostei) [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 262(1): 1 - 12.
- [31] Keshavanath P, Manjappa K, Gangadhara B. Evaluation of carbohydrate rich diets through common carp culture in manured tanks [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, 8(3): 169 - 174.
- [32] 强俊, 王辉, 彭俊, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长的影响 [J]. *饲料工业*, 2009, 30 (14): 32 - 35.
- [33] Cahu C, Rønnestad I, Grangier V, *et al.* Expression and activities of pancreatic enzymes in developing sea bass larvae (*Dicentrarchus labrax*) in relation to intact and hydrolyzed dietary protein; involvement of cholecystokinin [J]. *Aquaculture*, 2004, 238(1 - 4): 295 - 308.
- [34] 高梅, 罗毅平, 曹振东. 饲料碳水化合物对南方鲇幼鱼消化酶活性的影响 [J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 31(2): 119 - 123.
- [35] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展 [J]. *上海水产大学学报*, 2001, 10(2): 163 - 165.
- [36] 戈贤平, 刘波, 谢骏, 等. 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长及血液指标和糖代谢酶的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30(3): 88 - 93.
- [37] 宋理平, 韩勃, 王爱英, 等. 碳水化合物水平对厚唇弱棘鲷生长和血液指标的影响 [J]. *大连水产学院学报*, 2010, 25(4): 293 - 297.
- [38] 吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长, 体成分和血清生化指标的影响 [J]. *华南农业大学学报*, 2011, 32(4): 91 - 95.
- [39] 吴莉芳, 秦贵信, 刘春力, 等. 饲料大豆蛋白对鲤鱼消化酶活力和血液主要生化指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2009, 37(8): 63 - 69.
- [40] 张妍, 张其中, 罗新, 等. 草鱼外周血细胞数量及其在胁迫或感染下的变化 [J]. *生态科学*, 2012, 31(3): 295 - 300.
- [41] 赵云罡, 徐建兴. 线粒体, 活性氧和细胞凋亡 [J]. *生物化学与生物物理进展*, 2001, 28(2): 168 - 171.
- [42] 樊廷俊, 夏兰, 韩贻仁. 线粒体与细胞凋亡 [J]. *生物化学与生物物理学报*, 2001, 33(1): 7 - 12.
- [43] 马淇, 刘垒, 陈佳. 活性氧, 线粒体通透性转换与细胞凋亡 [J]. *生物物理学报*, 2012, 28(7): 523 - 536.
- [44] 汪开毓, 赵德明, 耿毅, 等. 喹乙醇诱导鲤肝细胞凋亡的研究 [J]. *水产学报*, 2004, 28(6): 733 - 737.

## Effect of dietary dextrin levels on growth, activities of digestive enzyme and blood biochemical indices of juvenile obscure puffer (*Takifugu obscurus*)

LIU Xianghe, YE Chaoxia, ZHENG Limian, OU Chengcheng, WANG Anli\*

(Key Laboratory of Ecology and Environment Science of Guangdong Higher Education Institutes,  
Guangdong Provincial Key Laboratory for Healthy and Safe Aquaculture, College of Life Science,  
South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** A feeding trial was conducted to determine the effect of dietary dextrin level on growth, activities of digestive enzyme and blood biochemical indices of juvenile obscure puffer, *Takifugu obscurus*. Five iso-nitrogenous (42%) and iso-lipidic (9%) diets containing graded levels of dextrin (10%, 15%, 20%, 25% and 30%) were prepared. The fish [average weight (10.25 ± 0.51 g)] were stocked in triplicate tanks during a feeding period of 60 days. The results showed that best specific growth rate and feed efficiency occurred for fish fed the diet with dietary dextrin level at 25%. Viscerosomatic index and hepatosomatic index of 30% group were significantly higher than those of 10% group ( $P < 0.05$ ), meanwhile liver lipid content of 30% group was also significantly higher than other groups ( $P < 0.05$ ). Liver glycogen and total amino acids content in plasma of 10% group were significantly lower than those of other groups ( $P < 0.05$ ). Compared with the 10% and 15% groups, amylase activity in hepatopancreas and intestine of other groups was significantly increased ( $P < 0.05$ ), while trypsin activity in hepatopancreas of the 30% group decreased significantly ( $P < 0.05$ ); total cholesterol and triglycerides content in plasma of the 25% and 30% groups increased significantly ( $P < 0.05$ ), while blood urea nitrogen in plasma of other groups decreased significantly ( $P < 0.05$ ). Red blood cell counts of 15% and 20% groups were significantly higher than other those of groups ( $P < 0.05$ ), while apoptosis ratio, reactive oxygen species and calcium ions content of 30% group were significantly higher than those of other groups ( $P < 0.05$ ). However, plasma glucose concentration, aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase activity as well as lipase activity in hepatopancreas and intestine of obscure puffer were not affected by dietary dextrin levels. The present results showed that the optimum dextrin level in diets is at 20%–25% for juvenile obscure puffer under the present research conditions.

**Key words:** *Takifugu obscurus*; growth; digestive enzyme; plasma biochemistry indices

**Corresponding author:** WANG Anli. E-mail: wanganl@scnu.edu.cn