

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2017.03.009

饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼生长性能和体成分的影响

赵旺^{1,2}, 牛津³, 胡静^{1,2}, 吴开畅^{1,2}, 王雨^{1,2}, 杨蕊^{1,2}, 叶乐⁴

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心, 海南 三亚 572018; 2. 农业部南海渔业资源开发利用重点实验室, 广东 广州 510300; 3. 中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275; 4. 海南热带海洋学院生命科学与生态学院, 海南 三亚 572022)

摘要: 为确定眼斑双锯鱼(*Amphiprion ocellaris*)幼鱼人工配合饲料的适宜糖水平, 研究了糖水平为4.4%、8.4%、12.2%、16.1%、20.5%、24.5%和28.4%的人工饲料对眼斑双锯鱼幼鱼生长、饲料转化率和体成分的影响。结果显示, 随着糖水平的升高, 幼鱼增重率(WG)和特定生长率(SGR)呈先增加后降低趋势。回归分析表明, 糖水平16.49%时WG最大; 糖水平16.73%时SGR最大。饲料系数(FCR)随糖水平增加呈现先下降后上升的趋势, 而蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PRR)和脂肪沉积率(LRR)的变化则相反。回归分析显示, 糖水平9.20%时FCR最小; 糖水平8.57%时PER最大; 糖水平10.97%时PRR最大; 糖水平14.12%时LRR最大。全鱼粗脂肪质量分数随糖水平升高而增加, 糖水平20.5%时达到最高水平后略有下降。综合生长参数与糖水平的回归分析结果, 眼斑双锯鱼生长最快的糖添加量为16.49%~16.73%; 综合饲料效率参数与糖水平的回归分析结果, 饲料效率最高的糖添加量为8.57%~14.12%。

关键词: 眼斑双锯鱼; 幼鱼; 饲料糖水平; 生长; 体成分

中图分类号: S 965.231

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2017)03-0066-07

Effect of dietary carbohydrate level on growth performance and body composition of juvenile *Amphiprion ocellaris*

ZHAO Wang^{1,2}, NIU Jin³, HU Jing^{1,2}, WU Kaichang^{1,2}, WANG Yu^{1,2}, YANG Rui^{1,2}, YE Le⁴

(1. Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572018, China; 2. Key Lab. of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China; 3. School of Life Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275 China; 4. College of Life Sciences and Ecology, Hainan Tropical Ocean University, Sanya 572022, China)

Abstract: To investigate the effect of different carbohydrate (CHO) levels in diets on the growth performance, feed efficiency and body composition of juvenile *Amphiprion ocellaris*, we fed the fish with 4.4%, 8.4%, 12.2%, 16.1%, 20.5%, 24.5% and 28.4% CHO. The results show that the weight gain (WG) and special growth ratio (SGR) increased first and then decreased with increasing carbohydrate level. The regression analysis shows that the WG and SGR reached the maximum when CHO levels were 16.49% and 16.73%, respectively. Moreover, with increasing carbohydrate level, the feed coefficient (FCR) increased first and then showed a declining trend, while the trends of efficiency of protein (PER), protein retention ratio (PRR) and lipid retention ratio (LRR) were just the opposite. The regression analysis shows that the minimum FCR was at 9.20% CHO level; the maximum PER was at 8.57% CHO

收稿日期: 2015-10-26; 修回日期: 2016-05-10

资助项目: 国家自然科学基金青年基金项目(31101911); 海南省重点科技计划项目(ZDXM20130051); 海南省应用技术研发与示范推广专项(ZDXM2014131); 三亚市科技成果转化项目(2013CZ11); 国家(省)重点科技项目三亚市配套资金项目(2010PT06, 2014PT01)

作者简介: 赵旺(1987-), 男, 硕士, 研究实习员, 从事海水养殖和生理生态学研究。E-mail: zhaowang522@163.com

通信作者: 叶乐(1974-), 男, 博士, 副研究员, 从事海水养殖和生理生态学研究。E-mail: yele2008@163.com

level; the maximum PRR was at 10.97% CHO level; and the maximum LRR was at 14.12% CHO level. The whole body fish crude fat content increased with increasing CHO levels first, and then decreased slightly after reaching the maximum value at 20.5% CHO level. Based on the second order polynomial regression analysis of growth parameter and CHO level, 16.49% ~ 16.73% dietary CHO level provided the maximum growth of juvenile *A. ocellaris*. Based on the second order polynomial regression analysis of feed efficiency parameters and CHO level, 8.57% ~ 14.12% dietary CHO level provided the maximum feed efficiency for juvenile *A. ocellaris*.

Key words: *Amphiprion ocellaris*; juvenile; dietary carbohydrate level; growth performance; body composition

眼斑双锯鱼 (*Amphiprion ocellaris*) 属雀鲷科, 海葵鱼亚科, 双锯鱼属。海葵鱼亚科的鱼类统称为小丑鱼或海葵鱼, 是代表性的珊瑚礁观赏鱼类。目前, 小丑鱼幼鱼养殖主要还是以新鲜鱼虾肉和市售海水观赏鱼成品鱼饲料为主。使用新鲜鱼虾糜不仅价格高而且易污染水质, 而市售海水观赏鱼成品鱼饲料价格昂贵也不一定能满足幼鱼的生长需要和适口性, 不适合应用于产业化^[1]。因此, 研制经济适用的幼鱼人工配合饲料对小丑鱼繁殖产业化具有重要意义。

饲料中不恰当的营养配比不仅影响鱼类生长, 还将导致鱼类行为和生理异常, 降低对不良环境和疾病的抵抗能力^[2]。糖类是鱼类的三大营养物质和能量来源之一, 而且是饲料中最便宜的能源物质, 但不同的鱼类对其利用率存在较大差异, 一般来说, 肉食性鱼类对糖类的利用能力远低于杂食性和草食性鱼类^[2-3]。目前, 海水鱼类营养需求的研究基本都是针对经济食用鱼类, 如大西洋鳕 (*Gadus morhua*)^[4]、点篮子鱼 (*Siganus guttatus*)^[5]、军曹鱼 (*Rachycentron canadum*)^[6-7]、斜带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*)^[8]、普安银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)^[9]、卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*)^[10]等, 而对小丑鱼糖类营养需求方面的研究还未见报道。近年有关小丑鱼的研究较多涉及繁殖生物学方面^[11-13], 然而其仔幼鱼营养需求方面的研究仍然匮乏, 仅见一些仔鱼饵料品种选择和利用方面的报道^[14-16]。因此, 该实验采用糖类梯度法, 通过研究饲料中糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼生长性能、饲料利用率和全鱼营养成分等参数的影响, 以期获得眼斑双锯鱼人工配合饲料中最适糖水平, 为小丑鱼人工养殖的配合饲料研制开发提供基础资料和理论依据, 促进小丑鱼人工养殖产业化发展。

1 材料与方法

1.1 饲料配方与实验设计

以鱼粉和豆粕为主要蛋白源, 卵磷脂、鱼油和

豆油为主要脂肪源, 高筋面粉为主要糖源, 设计7个糖水平饲料, 质量分数分别为4.4%、8.4%、12.2%、16.1%、20.5%、24.5%和28.4%; 参照同为热带珊瑚礁鱼类石斑鱼的营养要求(蛋白水平40%~56%, 脂肪水平4%~15%), 按饲料蛋白和脂肪水平低于需要量原则, 设定实验饲料蛋白水平为35.6%, 脂肪水平为10.1%, 并保持各实验组饲料一致。将各原料粉碎并过筛(0.2 mm网目), 用小型搅拌机搅拌5 min彻底混匀, 再以小型颗粒机制粒(颗粒直径1.0 mm), 日晒晾干至水分约为10.0%。制作好的饲料置于-20℃冰箱中保存待用。饲料原料和营养成分见表1。

1.2 实验鱼和养殖管理

实验鱼为自繁殖幼鱼, 选取同批次中规格相当、健康活泼的个体进行实验, 初始质量为 (0.21 ± 0.01) g。实验分7个处理组, 每处理组设3个平行, 每平行40尾鱼, 共840尾。实验前用基础饲料进行7 d驯养, 待正常摄食后开始实验。

实验时将鱼随机放入水族箱(120 L)中进行循环水饲养(流速 $2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$)。日投喂4次(08:00, 11:00, 14:00, 17:00), 采用饱食投喂法, 以鱼不集中觅食为止, 投喂结束30 min后收集残饵。养殖期间水温 $(27.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, $\rho(\text{DO}) > 6.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N}) < 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH为7.8~8.0, 光照周期12L:12D, 实验周期为56 d。

1.3 样品采集与分析

养殖实验开始前取60尾鱼(饥饿24 h)作为初始体成分测定样品。实验结束后称每水族箱实验鱼(饥饿24 h)总质量。每平行随机取10尾鱼用于全长、体质量和内脏质量的测定, 其余全鱼样品用于测定体成分(合并为一个样本, $n=3$)。

水分测定用105℃烘箱干燥恒重法; 粗蛋白测定为凯氏定氮法(总氮 $\times 6.25$); 粗脂肪测定用索氏乙醚抽提法; 灰分测定用茂福炉灼烧法(550℃); 糖测定用3,5-二硝基水杨酸法。

表1 实验饲料原料和营养成分

Tab. 1 Formulation and nutrient composition of experimental diets

原料 ingredient	饲料编号 Diet No.						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
鱼粉 fish meal	36	36	36	36	36	36	36
豆粕 soybean meal	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4
啤酒酵母 beer yeast	5	5	5	5	5	5	5
虾头粉 shrimp head	5	5	5	5	5	5	5
玉米淀粉 corn starch	4	8	12	16	20	24	28
谷朊粉 gluten	5	5	5	5	5	5	5
卵磷脂 phosphatidylcholine	2	2	2	2	2	2	2
鱼油 fish oil	2	2	2	2	2	2	2
豆油 soybean oil	2	2	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1	1	1	1	1	1	1
Vc 磷酸酯 Vc-phosphate	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
胆固醇 cholesterol	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
复合维生素 vitamins premix	1	1	1	1	1	1	1
复合矿物盐 mineral premix	1	1	1	1	1	1	1
氯化胆碱 choline chloride (50%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
微纤维 microcrystalline cellulose	24	20	16	12	8	4	0
合计 total	100	100	100	100	100	100	100
营养成分/% proximate composition							
干物质 dry matter	90.20	90.24	90.78	89.66	89.73	90.14	90.46
蛋白 crude protein	36.12	35.63	35.48	36.19	35.35	36.21	35.46
脂肪 crude fat	9.80	9.72	9.43	10.11	9.67	9.62	9.83
灰分 ash	10.01	10.11	10.60	9.84	10.83	10.03	10.06
能值/ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ gross energy	13.15	13.69	14.20	15.30	15.68	16.56	17.14
糖 digestible carbohydrate	4.41	8.37	12.23	16.08	20.48	24.50	28.42

注: 1) 复合维生素 (mg 或 $\text{IU} \cdot \text{kg}^{-1}$): 维生素 A 900 000 IU; 维生素 D 250 000 IU; 维生素 K_3 60 IU; 维生素 E 50 IU; 维生素 B_1 320 mg; 维生素 B_2 1 090 mg; 维生素 B_5 2 000 mg; 维生素 B_6 500 mg; 维生素 B_{12} 116 mg; 维生素 C 5 000 mg; 烟酸 40 mg; 叶酸 5 mg; 泛酸 20 mg; 肌醇 150 mg; 生物素 0.2 mg; 2) 无机盐混合物 [$\text{g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$]: 硫酸镁 3.0; 氯化钾 0.7; 碘化钾 0.015; 硫酸锌 0.14; 硫酸锰 0.03; 氯化铜 0.05; 氯化钴 0.005; 硫酸亚铁 0.15; 磷酸二氢钾 45.0; 氯化钙 28.0。饲料能量蛋白质以 $23.64 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 脂肪以 $39.54 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 糖以 $17.15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 计算。

Note: 1) vitamin premix (mg or $\text{IU} \cdot \text{kg}^{-1}$): vitamin A 900 000 IU, vitamin D 250 000 IU, vitamin K_3 60 IU, vitamin E 50 IU, vitamin B_1 320 mg, vitamin B_2 1 090 mg, vitamin B_5 2 000 mg, vitamin B_6 500 mg, vitamin B_{12} 116 mg, vitamin C 5 000 mg, niacin 40 mg, folic acid 5 mg, calcium pantothenate 20 mg, inositol 150 mg, biotin 0.2 mg; 2) mineral premix [$\text{g} \cdot (100 \text{ g})^{-1}$]: $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.0; KCl 0.7; KI 0.015; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.14; $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 0.03; CuCl_2 0.05; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.005; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.15; $\text{KH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 45.0; CaCl_2 28.0. The dietary energy was calculated as protein: $23.64 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, lipid: $39.54 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, carbohydrate: $17.15 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1.4 统计分析方法

$$\text{成活率}(\text{SR}, \%) = 100 \times N_t / N_0$$

$$\text{增重率}(\text{WG}, \%) = 100 \times (W_t - W_0) / W_0$$

$$\text{特定生长率}(\text{SGR}, \% \cdot \text{d}^{-1}) = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$\text{摄食率}(\text{FR}, \%) = 100 \times \text{IF} / [(W_0 + W_t + W_d) \times t / 2]$$

$$\text{饲料系数}(\text{FCR}) = \text{IF} / (W_t - W_0)$$

$$\text{蛋白质效率}(\text{PER}) = (W_t - W_0) / \text{IP}$$

$$\text{肥满度}(\text{CF}, \%) = (W_t / L_t)^3 \times 100$$

肝体指数(HSI,%) = 肝质量/ $W_t \times 100$

脏体指数(VSI,%) = 内脏质量/ $W_t \times 100$

蛋白质沉积率(PRR,%) = $100 \times (\text{鱼体蛋白增量}/\text{IP})$

脂肪沉积率(LRR,%) = $100 \times (\text{鱼体脂肪增量}/\text{IL})$

式中 N_t 为实验结束成活鱼数量(尾); N_0 为实验开始鱼数量(尾); W_t 为实验结束体质量(g); W_0 为实验开始体质量(g); W_d 为实验死亡鱼体质量(g); L_t 为实验结束鱼体长(cm); IF 为摄入饲料量(g); IP 为蛋白质摄入量(g), IL 为脂肪摄入量(g), t 为实验时间(d)。

实验结果用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析, 组间差异运用 Duncan's 多重比较分析, $P < 0.05$ 为差异显著。以 WG、SGR、FCR、PER、PRR 和 LRR 为指标进行二次曲线回归分析, 用 Excel 2010 绘图。

2 结果与分析

2.1 饲料糖水平对生长和饲料利用的影响

在养殖实验期间, 眼斑双锯鱼幼鱼未患病, 摄食和生长正常, 均具有较高的成活率, 各实验组间成活率无显著差异($P > 0.05$)。饲料糖水平对其生长的影响见表2, 随着糖水平从4.4%增加至16.1%, WG 和 SGR 均逐渐增加; 而糖水平从16.1%至28.4%, WG 和 SGR 均呈下降趋势。随

着糖水平增加, PER 呈先上升后下降的趋势, 峰值出现在糖水平8.4%饲料组; 而 FCR 随糖水平增加呈先下降后上升的趋势, 谷值出现在糖水平8.4%饲料组。FR 随饲料糖水平增加呈逐渐增高趋势, 在糖水平24.5%时达最高, 随后糖水平28.4%时下降。蛋白质沉积方面, PRR 随糖水平的增加呈先上升后下降的趋势, 峰值在糖水平8.4%饲料组; 随着糖水平增加, LRR 呈现先下降再上升后下降的趋势, 峰值在糖水平16.1%饲料组。对 WG 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = -0.3059x^2 + 10.087x + 84.303$ ($R^2 = 0.6797$), 当 $x = 16.49$ 时, WG 最大(图1); 对 SGR 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = -0.0022x^2 + 0.0736x + 1.1527$ ($R^2 = 0.6928$), 当 $x = 16.73$ 时, SGR 最大; 对 FCR 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = 0.003x^2 - 0.0552x + 3.0282$ ($R^2 = 0.8315$), 当 $x = 9.20$ 时, FCR 最小(图2); 对 PER 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = -0.0007x^2 + 0.012x + 0.9593$ ($R^2 = 0.7946$), 当 $x = 8.57$ 时, PER 最大; 对 PRR 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = -0.0173x^2 + 0.3797x + 14$ ($R^2 = 0.7211$), 当 $x = 10.97$ 时, PRR 最大; 对 LRR 与糖水平进行回归分析, 得出二次方程 $y = -0.0135x^2 + 0.3813x + 15.414$ ($R^2 = 0.2256$), 当 $x = 14.12$ 时, LRR 最大。

表2 饲料糖水平对眼斑双锯鱼生长性能的影响(平均值 $\pm$ 标准误)

Tab. 2 Effect of CHO levels in diets on growth performance of juvenile *A. ocellaris* ($\bar{X} \pm \text{SE}$)

指标 indicator	糖水平/% carbohydrate level						
	4.4	8.4	12.2	16.1	20.5	24.5	28.4
成活率/% SR	96.67 $\pm$ 2.20	97.50 $\pm$ 1.44	97.50 $\pm$ 1.44	97.50 $\pm$ 1.44	97.50 $\pm$ 2.50	95.00 $\pm$ 1.44	95.00 $\pm$ 1.44
初均质量/g·尾 ⁻¹ initial weight	0.20 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.22 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01	0.21 $\pm$ 0.01
末均质量/g·尾 ⁻¹ final weight	0.47 $\pm$ 0.02 ^a	0.52 $\pm$ 0.01 ^{bc}	0.56 $\pm$ 0.01 ^{cd}	0.60 $\pm$ 0.01 ^d	0.57 $\pm$ 0.01 ^{cd}	0.54 $\pm$ 0.03 ^a	0.49 $\pm$ 0.01 ^{ab}
增重率/% WG	126.11 $\pm$ 6.53 ^a	143.69 $\pm$ 4.36 ^{ab}	158.09 $\pm$ 7.31 ^{bc}	170.19 $\pm$ 8.88 ^c	164.48 $\pm$ 9.51 ^{bc}	149.47 $\pm$ 9.76 ^{ab}	121.76 $\pm$ 7.90 ^a
特定生长率/% SGR	1.46 $\pm$ 0.05 ^{ab}	1.59 $\pm$ 0.03 ^{abc}	1.69 $\pm$ 0.05 ^c	1.77 $\pm$ 0.06 ^c	1.73 $\pm$ 0.06 ^c	1.63 $\pm$ 0.07 ^{bc}	1.42 $\pm$ 0.06 ^a
摄食率/% FR	3.99 $\pm$ 0.16 ^a	4.00 $\pm$ 0.20 ^a	4.51 $\pm$ 0.14 ^{ab}	4.76 $\pm$ 0.25 ^{bc}	5.07 $\pm$ 0.13 ^{cd}	5.45 $\pm$ 0.15 ^d	5.21 $\pm$ 0.17 ^{cd}
饲料系数 FCR	2.90 $\pm$ 0.11 ^{ab}	2.67 $\pm$ 0.10 ^a	2.87 $\pm$ 0.13 ^{ab}	2.90 $\pm$ 0.07 ^{ab}	3.16 $\pm$ 0.10 ^b	3.59 $\pm$ 0.17 ^c	3.87 $\pm$ 0.12 ^c
蛋白质效率 PER	0.97 $\pm$ 0.04 ^{bc}	1.05 $\pm$ 0.04 ^c	0.98 $\pm$ 0.05 ^{bc}	0.97 $\pm$ 0.03 ^{bc}	0.89 $\pm$ 0.03 ^b	0.79 $\pm$ 0.04 ^a	0.73 $\pm$ 0.02 ^a
蛋白质沉积率/% PRR	14.76 $\pm$ 0.18 ^{bcd}	16.66 $\pm$ 1.34 ^d	16.52 $\pm$ 1.01 ^d	15.40 $\pm$ 0.39 ^{cd}	13.97 $\pm$ 0.59 ^{bc}	12.67 $\pm$ 0.39 ^{ab}	11.14 $\pm$ 0.38 ^a
脂肪沉积率/% LRR	17.86 $\pm$ 0.78 ^{ab}	16.08 $\pm$ 1.59 ^{ab}	17.64 $\pm$ 0.31 ^{ab}	18.74 $\pm$ 0.73 ^b	18.62 $\pm$ 1.10 ^b	16.03 $\pm$ 1.14 ^{ab}	15.29 $\pm$ 0.67 ^a

注: 同行数据后不同上标英文字母表示差异显著($P < 0.05$), 下表同此。

Note: The data within the same line with different letters indicate significant difference at the level of 0.05. The same case in the following tables.

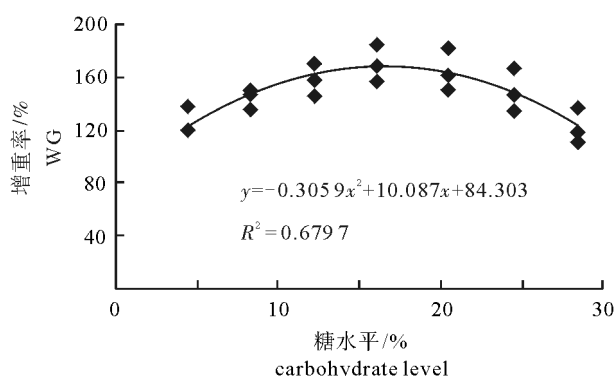


图1 饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼增重率的影响

Fig. 1 Relationship of weight gain (WG) of juvenile *A. ocellari* with dietary CHO levels

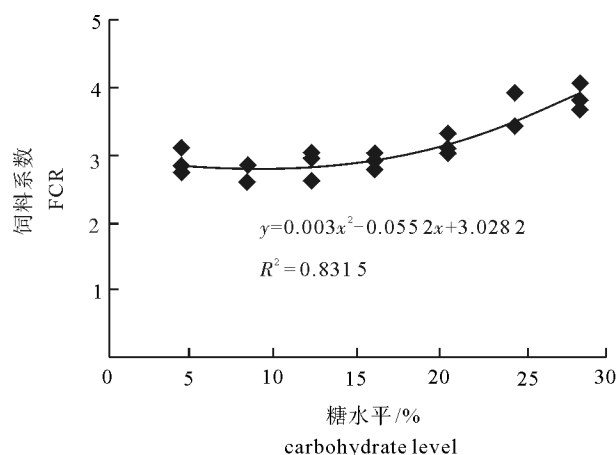


图2 饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼饲料系数的影响

Fig. 2 Effect of CHO levels in diets on feed conversion rate (FCR) of juvenile *A. ocellari*

2.2 饲料糖水平对体成分的影响

饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼体成分影响见表3。不同糖水平对幼鱼全鱼水分和灰分无显著影响；全鱼粗蛋白在糖水平4.4%时显著低于糖水平12.2%饲料组，其余各糖水平组均无显著差异；全鱼粗脂肪在糖水平8.4%时最低，之后随糖水平增加而增高，在糖水平20.5%组达到最高水平，24.5%和28.4%糖水平组略有下降，但组间差异不显著；饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼肥满度无显著影响；低糖组(4.4%和8.4%)脏体指数显著低于其他糖水平组；肝体指数呈现先上升后平稳的趋势(表4)。

3 讨论

糖是眼斑双锯鱼饲料中最便宜的能源物质，提高饲料糖水平是节约饲料成本的有效举措，但不同的鱼类对其利用率有较大不同。一般来说，肉食性鱼类对糖类的利用能力远低于杂食性和草食性鱼类，当然，适当的糖水平对肉食性鱼类的生长同样有促进作用^[3,17]。该研究结果表明，眼斑双锯鱼幼鱼WG和SGR随饲料糖水平增加呈现先逐渐上升

表3 饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼体成分影响(平均值±标准误)

Tab. 3 Effect of CHO levels in diets on whole body composition of juvenile *A. ocellaris* ($\bar{X} \pm SE$)

体成分 body composition	糖水平/% carbohydrate level						
	4.4	8.4	12.2	16.1	20.5	24.5	28.4
水分 moisture	74.89 ± 0.59	74.72 ± 0.35	73.54 ± 0.41	74.60 ± 0.36	74.35 ± 0.69	75.01 ± 0.35	74.52 ± 0.63
粗蛋白质 protein	14.08 ± 0.23 ^a	14.47 ± 0.43 ^{ab}	15.14 ± 0.17 ^b	14.66 ± 0.31 ^{ab}	14.49 ± 0.29 ^{ab}	14.70 ± 0.26 ^{ab}	14.15 ± 0.34 ^{ab}
粗脂肪 lipid	4.66 ± 0.18 ^b	4.16 ± 0.17 ^a	4.64 ± 0.11 ^b	4.90 ± 0.05 ^{bc}	5.16 ± 0.12 ^c	5.03 ± 0.13 ^{bc}	5.04 ± 0.09 ^{bc}
灰分 ash	4.77 ± 0.10	4.91 ± 0.14	4.54 ± 0.14	4.63 ± 0.04	4.74 ± 0.11	4.67 ± 0.12	4.69 ± 0.16

表4 饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼肥满度、脏体指数和肝体指数的影响(平均值±标准误)

Tab. 4 Effect of CHO levels in diets on condition factor (CF), hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI) of juvenile *A. ocellaris* ($\bar{X} \pm SE$)

指标 indicator	糖水平/% carbohydrate level						
	4.4	8.4	12.2	16.1	20.5	24.5	28.4
肥满度/% CF	2.3 ± 0.4	2.5 ± 0.4	2.4 ± 0.3	2.6 ± 0.4	2.3 ± 0.6	2.2 ± 0.5	2.4 ± 0.3
脏体指数/% VSI	6.95 ± 0.43 ^a	7.88 ± 0.75 ^a	9.17 ± 0.83 ^b	9.47 ± 0.71 ^b	10.07 ± 0.65 ^b	9.47 ± 0.62 ^b	10.21 ± 0.58 ^b
肝体指数/% HSI	3.11 ± 0.19 ^a	3.52 ± 0.36 ^a	3.70 ± 0.17 ^{ab}	4.21 ± 0.22 ^c	3.99 ± 0.38 ^{bc}	4.13 ± 0.27 ^{bc}	4.03 ± 0.32 ^{bc}

后下降趋势, 高糖水平(28.4%)饲料组 WG 和 SGR 显著低于中糖水平(12.2%~20.5%)饲料组, 说明过高的糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼生长有显著的抑制作用。这点与肉食性鱼类如军曹鱼^[6]、日本黄姑鱼(*Nibea japonica*)^[18]、黄鳍鲷(*Sparus latus*)^[19]等种类类似。对 WG 和 SGR 与糖水平进行回归分析, 得出当糖水平 16.49%~16.73% 时生长最快, 为最适添加量。低于杂食性偏植食的点篮子鱼最适糖水平(20.83%)^[5], 略低于肉食性淡水鱼类斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)(17.55%~18%)^[20], 略高于肉食性海水鱼类日本黄姑鱼(12.2%~12.7%)^[18]。除了食性的差别外, 温度也可能是影响鱼类对糖利用的一个因子, 如 WILSON^[21]证明暖水性鱼类对糖的利用效率高于冷水性鱼类。还有研究表明, 舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)对糖的表观消化率随着养殖温度的升高而增加^[22]。而且, 同样为暖水性肉食性海洋鱼类, 其最适糖水平也因种类而异, 如军曹鱼幼鱼为 18.0%~21.1%^[6], 日本黄姑鱼幼鱼为 12.2%~12.7%^[18], 而黄鳍鲷幼鱼只有 8%^[19]。

该研究还表明, PER 和 PRR 具有相似的变化趋势, 饲料糖水平 8.4% 饲料组 FCR 最低, 但 PER 和 PRR 最高; 当饲料糖水平超过 8.4% 后, FCR 逐渐增加, PER 和 PRR 均下降, 说明眼斑双锯鱼幼鱼可在一定程度上利用糖而节约蛋白的消耗; 而 SGR 峰值出现在糖水平 16.1% 饲料组, 表明糖对蛋白的节约作用较为有限, 当糖水平高于 8.4% 后生长的提高更多是依赖于 FR 的增加。这点与点篮子鱼类似, 即 FCR 和 FR 随饲料糖水平增加而升高^[5]。研究证实糖对蛋白节约作用较明显的还有南亚野鲮(*Labeo rohita*)^[23]、杂交罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[24]、短盖巨脂鲤(*Piaractus brachypomus*)^[25]、瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[26]和鲈(*Lateolabrax japonicus*)^[27]等; 而对蛋白节约不明显的有日本黄姑鱼^[18]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus* Linnaeus)和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[28]等。所以, 幼鱼利用糖节约蛋白的效能也因种类而异。对 FCR、PER 和 PRR 与糖水平进行回归分析, 求出当饲料糖水平 9.20% 时 FCR 最小; 糖水平 8.57% 时 PER 最高; 糖水平 10.97% 时 PRR 最高。因此, 从 PER、PRR 和 FCR 来看, 眼斑双锯鱼幼鱼饲料最适糖添加量为 8.57%~10.97%。

鱼体对糖的代谢包括酵解氧化供能和转化储存, 其中转化储存有合成肝糖原和合成脂肪 2 个途径, 如果脂肪合成能力高, 表明该鱼对糖利用能力较强^[29]。该实验结果显示, 眼斑双锯鱼幼鱼全鱼粗脂肪质量分数随饲料糖水平增加而升高, 在糖水平 20.5% 时达到最高水平; 而糖水平 24.5% 和 28.4% 时略有下降, 但组间差异不显著。说明饲料糖水平适当增加, 体内脂肪累积量增加, 而饲料糖水平过高时体内脂肪累积量不再增加。全鱼粗脂肪的变化趋势也决定了 LRR 随糖水平的增加而增大, 对 LRR 与糖水平进行回归分析, 得出糖水平 14.12% 时 LRR 达到最大值; 随着糖水平的升高, 全鱼粗脂肪含量维持稳定, 但 LRR 呈下降趋势, 其主要是因 FCR 的增加。许多研究均证实鱼类可将饲料中的糖转化为脂肪存储于体内, 如篮子鱼在饲料糖水平 5%~25% 时全鱼脂肪含量随糖水平增加而升高^[5]; 吉富罗非鱼(*O. niloticus*) 在糖水平 10% 增至 45% 范围, 其全鱼脂肪也呈逐渐增加趋势^[30]。而过高的糖水平下体内脂肪累积量下降现象在其他鱼类中也有发现, 如异育银鲫(*Carassius auratus* var. *gibelio*), 全鱼脂肪质量分数在糖水平 24%~28% 时稳定, 而糖水平从 28% 增至 40% 时脂肪质量分数降低, 表明过高的糖水平会降低糖的利用^[31]; 虽然日本黄姑鱼饲料中添加糖水平 0%~24% 范围没有发现全鱼和肌肉脂肪明显积累, 但在过高的糖水平(30%) 时全鱼和肌肉脂肪均下降^[18], 这一现象还可从脏体指数和肝体指数中得以验证。一般来说, 鱼类在一定程度上可以将摄入的多余能量以脂肪的形式储存在肠系膜、肝脏和肌肉中^[29], 此实验中饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼肥满度无显著影响, 但低糖组(4.4% 和 8.4%) 脏体指数显著低于较高糖水平组, 肝体指数呈现先上升后平稳的趋势, 说明幼鱼随糖水平增加有部分脂肪积累于肝脏; 到一定水平后肝体指数不再增加, 说明这时肝脏对脂肪积累已经饱和。然而, 也有一些鱼类在糖水平过高时仍保持脂肪累积量的增加, 如军曹鱼^[6]和南亚野鲮^[23]。可见, 鱼类对糖的代谢还比较复杂, 需要进一步做细致研究。

4 结论

饲料糖水平对眼斑双锯鱼幼鱼生长参数 WG、SGR, 饲料效率参数 FCR、PER、PRR、LRR 以及全鱼的粗脂肪等均有显著影响, 从生长参数与饲料

糖水平回归方程得出最适糖添加量为 16.49% ~ 16.73%；而从饲料效率参数与饲料糖水平回归方程得出最适糖添加量为 8.57% ~ 14.12%。从体粗脂肪积累看，以不超过 20.5% 为宜。

参考文献:

- [1] 叶乐, 杨其彬, 吴开畅. 小丑鱼幼鱼人工配合饲料初步研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(8): 3555-3556.
- [2] OLIVA T A. Nutrition and health of aquaculture fish [J]. J Fish Dis, 2012, 35(2): 83-108.
- [3] HEMRE G I, MOMMSEN T P, KROGDAHL A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. Aquacult Nutr, 2002, 8(3): 175-194.
- [4] HEMRE G I, LIE Ø, SUNDBY A. Dietary carbohydrate utilization in cod (*Gadus morhua*): metabolic responses to feeding and fasting [J]. Fish Physiol Biochem, 1993, 10(6): 455-463.
- [5] 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.
- [6] 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]. Aquacult Res, 2011, 42(10): 1467-1475.
- [7] 郭志勋, 林黑着, 徐力文, 等. 饲料中添加半乳低聚糖对军曹鱼生长、部分血清免疫和生化因子的影响[J]. 南方水产科学, 2011, 7(1): 56-61.
- [8] 毛义波, 刘泓宇, 谭北平, 等. 饲料碳水化合物水平及饥饿处理对斜带石斑鱼生长及葡萄糖耐受能力的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(4): 549-558.
- [9] 熊铎龙, 姚俊杰, 安苗, 等. 葡萄糖、维生素 C 对普安银鲫早期发育的影响[J]. 南方水产科学, 2014, 10(6): 88-92.
- [10] ZHOU C, GE X, NIU J, et al. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance, body composition, intestinal and hepatic enzyme activities, and growth hormone gene expression of juvenile golden pompano, *Trachinotus ovatus* [J]. Aquaculture, 2015, 437(1): 390-397.
- [11] YE L, YANG S Y, ZHU X M, et al. Effects of temperature on survival, development, growth and feeding of larvae of yellowtail clownfish *Amphiprion clarkii* (Pisces: Perciformes) [J]. Acta Ecol Sin, 2011, 31(5): 241-245.
- [12] DHANEESH K V, KUMAR T T A, SHUNMUGARAJ T. Embryonic development of percula clownfish, *Amphiprion percula* (Lacepede, 1802) [J]. Middle East J Sci Res, 2009, 4(2): 84-89.
- [13] HO Y S, SHIH S C, CHENG M J, et al. Reproduction behavior and larval rearing of the tomato anemonefish (*Amphiprion frenatus*) [J]. J Taiwan Fish Res, 2009, 17(1): 39-51.
- [14] DIVYA S P, KUMAR T T A, RAJASEKARAN R, et al. Larval rearing of clownfish using *Brachionus plicatilis* rotifer as starter food [J]. Sci Asia, 2011, 37(3): 179-185.
- [15] OLIVOTTO I, BUTTINO I, BORRONI M, et al. The use of the Mediterranean calanoid copepod *Centropages typicus* in yellowtail clownfish (*Amphiprion clarkii*) larviculture [J]. Aquaculture, 2008, 284(1/2/3/4): 211-216.
- [16] OLIVOTTO I, CAPRIOTTI F, BUTTINO I, et al. The use of harpacticoid copepods as live prey for *Amphiprion clarkii* larviculture: effects on larval survival and growth [J]. Aquaculture, 2008, 274(2/3/4): 347-352.
- [17] 何流健, 迟淑艳, 谭北平. 石斑鱼的营养需要及其饲料原料表观消化率的研究进展[J]. 饲料工业, 2011, 32(24): 10-15.
- [18] LI X Y, WANG J T, HAN T, et al. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile giant croaker *Nibea japonica* [J]. Aquacult Res, 2015, 46(12): 2851-2858.
- [19] HU Y H, LIU Y J, TIAN L X, et al. Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio for juvenile yellowfin seabream (*Sparus latus*) [J]. Aquacult Nutr, 2007, 13(4): 291-297.
- [20] 张盛. 饲料糖水平对斑点叉尾鲷生长和生理机能的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2014: 111-118.
- [21] WILSON R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. Aquaculture, 1994, 124(1/2/3/4): 67-80.
- [22] MOREIRA I S, PERES H, COUTO A, et al. Temperature and dietary carbohydrate level effects on performance and metabolic utilisation of diets in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. Aquaculture, 2008, 274(1): 153-160.
- [23] ERFANULLA H, JAFRI A K. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo rohita* [J]. Aquaculture, 1995, 136(3): 331-339.
- [24] 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]. Aquacult Res, 2005, 36(14): 1408-1413.
- [25] VÁSQUEZ TORRES W, ARIAS CASTELLANOS J A. Effect of dietary carbohydrates and lipids on growth in cachama (*Piaractus brachipomus*) [J]. Aquacult Res, 2013, 44(11): 1768-1776.
- [26] 杨莹, 陈立侨, 李二超, 等. 饲料糖水平对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长、体成分和血清生化指标的影响研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2011, 50(5): 625-631.
- [27] 窦兵帅, 梁萌青, 郑珂珂, 等. 饲料中碳水化合物水平对鲈鱼生长、生理状态参数及体组成的影响[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 46-54.
- [28] 李晓宁. 饲料糖水平对大菱鲆和牙鲆生长、生理状态参数及体组成的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 48-52.
- [29] 罗毅平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展[J]. 中国水产科学, 2010, 17(2): 381-390.
- [30] 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): 245-255.
- [31] TAN Q, WANG F, XIE S, et al. Effect of high dietary starch levels on the growth performance, blood chemistry and body composition of gibel carp (*Carassius auratus* var. *gibelio*) [J]. Aquacult Res, 2009, 40(9): 1011-1018.