

饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆 生长性能和代谢反应的影响

苗淑彦^{1,2}, 苗惠君¹, 聂琴¹, 张文兵^{1*}, 麦康森¹

(1. 中国海洋大学水产动物营养与饲料农业部重点实验室,
中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 山东 青岛 266003;
2. 山东省海洋水产研究所, 山东 烟台 264006)

摘要:为探讨在低蛋白水平(40%)下,饲料中不同种类的碳水化合物(葡萄糖、蔗糖和糊精)对大菱鲆幼鱼[(8.12±0.04)g]生长、成活、饲料利用、体组成和血液生理生化指标等的影响,实验在对照组饲料中未添加可消化碳水化合物,含40%的蛋白质和18%的脂肪,然后在对照组饲料的基础上,调节脂肪水平为12%,分别添加15%的葡萄糖、蔗糖和糊精配制3组实验饲料。在流水式养殖系统中进行9周的大菱鲆生长实验。结果显示,各处理组大菱鲆成活率均高于95.24%,并且各组间无显著差异;对照组和糊精组大菱鲆的增重率(WGR)和特定生长率(SGR)均显著高于葡萄糖组和蔗糖组。各组间的日摄食率(DFI)没有显著差异。对照组和糊精组饲料效率(FE)显著高于蔗糖组,但葡萄糖组FE与其它各组无显著差异;各处理组间蛋白质和脂肪表观消化率(ADC)未受碳水化合物种类的显著影响,而可消化碳水化合物的ADC依次为:葡萄糖组>糊精组>蔗糖组。(葡萄糖组的能量ADC最高,蔗糖组的最低;除对照组肌肉脂肪含量显著高于其它各组外,碳水化合物的种类对大菱鲆肌肉常规组成及糖原含量无显著影响,但显著影响了肝脏的脂肪和糖原含量。大菱鲆肝脏脂肪含量依次为对照组>糊精组>蔗糖组>葡萄糖组,肝脏糖原含量依次为葡萄糖组>蔗糖组>糊精组>对照组;不同碳水化合物种类对大菱鲆幼鱼血浆葡萄糖含量没有显著影响,但显著影响血浆总氨基酸、胰岛素、总胆固醇(CHO)和甘油三酯(TAGs)的含量。结果表明,本实验条件下,大菱鲆对糊精的利用效率优于葡萄糖和蔗糖,并且不同种类的碳水化合物通过糖脂关联代谢等途径对大菱鲆幼鱼的体组成和血液生理生化指标造成一定的影响。

关键词:大菱鲆;糖类;生长;代谢反应;营养

中图分类号:S 963

文献标志码:A

大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)是我国重要的养殖鱼类,对饲料中蛋白质和脂肪的需求量分别为50%^[1]和15%~17%^[2]。饲料中过高的蛋白质和脂肪水平不仅会提高饲料成本,而且会增加养殖鱼类氮代谢物向环境中的排放^[3],因此有必要采取措施适当降低饲料中蛋白质和脂肪的添加水平。碳水化合物是生物体内的一种重要的能源物质,但鱼类对其利用能力有限^[4],过高的碳水化合物不仅

抑制生长,而且会降低饲料的利用效率。通常来说,鱼类对碳水化合物的利用效率与鱼的种类、养殖策略、饲料组成、碳水化合物的种类和水平等因素有关^[5]。研究表明,石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)^[6]和草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[7]等对单糖和双糖的利用效率高于多糖和寡糖。但乌颊鱼(*Sparus aurata*)^[3],牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[8],星斑川鲽(*Platichthys*

收稿日期:2013-02-04 修回日期:2013-03-29

资助项目:国家自然科学基金项目(31072219)

通信作者:张文兵,E-mail:wzhang@ouc.edu.cn

stellatus)^[9],南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[10],鲟鱼(*Acipenser transmontanus*)^[11],欧洲鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[12],异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[13]和军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[14]等种类不能有效地利用饲料中的单糖。

Nijhof 等^[15]通过向饲料中添加淀粉饲喂大菱鲃,比较大菱鲃对脂肪和淀粉的利用差异,结果发现大菱鲃对淀粉的利用效率是脂肪的 67%。Garcia-Riera 等^[16]通过腹膜内注射的方式向大菱鲃体内注射葡萄糖(1 g/kg 体质量),结果表明,血糖在注射后 3 h 达到峰值,之后

持续下降,24 h 内血糖恢复到正常水平,说明大菱鲃能在 24 h 内有效平衡葡萄糖在体内的代谢。实验的目的是探讨在低蛋白水平(40%)下,饲料中不同种类的碳水化合物(葡萄糖、蔗糖和糊精)对大菱鲃幼鱼生长、成活、饲料利用、体组成和血液生理生化指标等生长性能和代谢反应的影响,为研究大菱鲃对碳水化合物的代谢和利用提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

饲料成分及组成见表 1。对照组饲料中未添

表 1 实验饲料配方及常规营养组成

Tab.1 Ingredients and proximate compositions of the experimental diets

原料 ingredients (g/100g dry weight)	C0	G15	S15	D15
白鱼粉 white fish meal	36.00	36.00	36.00	36.00
酪蛋白 casein	12.80	12.80	12.80	12.80
明胶 gelatin	3.20	3.20	3.20	3.20
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose	1.00	1.00	1.00	1.00
葡萄糖 glucose		15.00		
蔗糖 sucrose			15.00	
糊精 dextrin				15.00
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	25.00	16.00	16.00	16.00
大豆卵磷脂 soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼油 fish oil	17.00	11.00	11.00	11.00
维生素预混料 vitamin premix ^a	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质预混料 mineral premix ^b	1.00	1.00	1.00	1.00
诱食剂 attractants ^c	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 choline chlorine(95%)	0.25	0.25	0.25	0.25
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05
丙酸钙 calcium propionate	0.10	0.10	0.10	0.10
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.50	0.50	0.50	0.50
三氧化二钇 yttrium oxide	0.10	0.10	0.10	0.10
营养组成(%干物质) proximate analysis(% dry matter)				
干物质 dry matter	90.85	90.78	90.91	91.34
粗蛋白 crude protein	39.02	40.26	39.55	40.44
粗脂肪 crude lipid	18.29	12.05	12.90	12.39
灰分 ash	11.50	11.73	11.56	11.72
总能/(kJ/g) gross energy	22.48	20.80	20.24	20.74

注:a. 维生素预混料(mg/kg 饲料):维生素 A,32 mg;维生素 D₃,5 mg;α-生育酚,240 mg;维生素 K,10 mg;硫胺素,25 mg;核黄素,45 mg;盐酸吡哆醇,20 mg;泛酸钙,60 mg;烟酸,200 mg;生物素,60 mg;叶酸,20 mg;维生素 B₁₂,10 mg;肌醇 800 mg;抗坏血酸,2 000 mg。b. 矿物质预混料(mg/kg 饲料):CuSO₄·5H₂O,10 mg;Na₂SeO₃,20 mg;MnSO₄·H₂O,45 mg;CoCl₂·6H₂O(1%),50 mg;ZnSO₄·H₂O,50 mg;Ca(IO₃)₂,60 mg;FeSO₄·H₂O,80 mg;MgSO₄·7H₂O,1 200 mg;沸石粉,18 485 mg。c. 诱食剂:牛磺酸:甘氨酸:甜菜碱=1:3:3。

Notes:a. Vitamin premix (mg/kg diet):Vitamin A,32 mg;Vitamin D₃,5 mg;Vitamin E,240 mg;Vitamin K,10 mg;Vitamin B₁,25 mg;Vitamin B₂,45 mg;Nicotinic acid,200 mg;Vitamin B₆,20 mg;Biotin,60 mg;Inositol,800 mg;Calcium pantothenate,60 mg;Folic acid,20 mg;Vitamin B₁₂,10 mg;Vitamin C,2 000 mg;Microcrystalline cellulose,4 292.54 mg。b. Mineral premix (mg/kg diet):CuSO₄·5H₂O,10 mg;Na₂SeO₃,20 mg;MnSO₄·H₂O,45 mg;CoCl₂·6H₂O(1%),50 mg;ZnSO₄·H₂O,50 mg;Ca(IO₃)₂,60 mg;FeSO₄·H₂O,80 mg;MgSO₄·7H₂O,1 200 mg;Zeolite Powder,18 485 mg。c. Attractants:Taurine/Glycine/Betaine=1/3/3。

加可消化碳水化合物,分别含40%的蛋白质和18%的脂肪。在对照组饲料的基础上,每组饲料分别添加葡萄糖、蔗糖和糊精(济南鑫奎化工有限公司,食品级),添加水平为15%。调节饲料脂肪水平(12%)以保持与对照组饲料能量相当。每组饲料中添加0.1%的 Y_2O_3 作为指示剂以测定饲料的表观消化率(apparent digestibility coefficients, ADCs)。4组等氮等能的实验饲料分别命名为C0、G15、S15和D15。配制饲料前,所有原料过80目筛,混匀,然后添加鱼油和豆油充分混合,加水混匀后在螺杆挤压机中制成 1.5×3.0 mm的颗粒,50℃烘箱内干燥后置-20℃冰箱保存。

1.2 实验用鱼及养殖管理

实验用大菱鲆幼鱼购自山东青岛胶南养殖场,为当年人工培育的同一批种苗,大小均匀,健康无病。养殖试验在中国海洋大学鳌山卫实验基地室内流水养殖系统中进行,养殖容器为500 L的玻璃钢桶,桶内水流速度为6 L/min。实验前投喂商业饲料(青岛七好生物科技有限公司提供)暂养2周以适应环境。实验开始前,大菱鲆幼鱼禁食24 h,选择体质量相近[(8.12 ± 0.04) g],体格健壮的幼鱼,随机分为4组,每组设3个重复,每个重复放养28尾鱼。每天人工投喂两次(07:00和18:00),达饱食水平。投喂结束1 h后,收集残饵,每日记录摄食量,计数病死鱼。实验结束前20 d开始收集粪便,离心后置-20℃冰箱保存以计算饲料消化率。实验周期为9周,每周检测两次水质指标,水温为18~20℃,pH为7.6~7.8,盐度为28.2~30.2,溶解氧不低于7.0 mg/L,氨氮、亚硝酸氮均低于0.1 mg/L。

1.3 样品收集及指标测定

养殖实验结束,大菱鲆禁食24 h后取样。为减少取样操作对鱼体产生的应激,所有鱼于取样前麻醉(MS 222, 100 mg/kg),逐尾鱼测量体长(cm),称重(g),计算增重率(weight gain rate, WGR)、特定增长率(specific growth rate, SGR)、肥满度(condition factor, CF)、日摄食率(daily feed intake, DFI)和饲料效率(feed efficiency, FE)。随机取10尾鱼,用肝素钠取血器尾静脉取血,血液先于离心机2 000 r/min离心10 min,分离血浆后立刻置于液氮中保存以测定血液学指标。然后,解剖内脏,称重后计算脏体比(the ratio

of viscera to body weight, VSI);分离出肝脏,称重后计算肝体比(the ratio of liver to body weight, HSI),将肝脏迅速置于液氮保存用于分析常规组成和肝糖原含量。最后取背部肌肉置液氮保存用于分析常规组成和肌糖原含量。

饲料和鱼体常规成分分析均采用AOAC(1995)^[17]方法。其中,水分的测定采用105℃烘干恒重法;粗蛋白质含量采用全自动蛋白质分析仪(Kjeltec™2100, FOSS, 瑞典)测定;粗脂肪的测定采用索氏抽提法(海能SOX406脂肪测定仪,济南海能仪器股份有限公司,中国);粗灰分的测定采用箱式电阻炉550℃灼烧法;能量用氧弹仪(Parr 6100, Moline, IL, USA)进行测定。

饲料原料及饲料中的糖含量采用蒽酮比色法^[18]测定。肝脏和肌肉中糖原含量的测定参照Plummer的方法^[19]。饲料和粪便中的 Y_2O_3 含量参照Refstie等^[20]的方法进行测定。

血浆总氨基酸含量采用茚三酮方法^[21]进行测定。血糖采用葡萄糖氧化法进行测定,所用试剂盒购自Sigma公司(Sigma kit No. 510; Sigma Chemicals, St. Louis, USA)。血浆胰岛素的测定参照Plisetskaya等^[22]的方法。血浆甘油三酯(triacylglycerols, TAGs)和总胆固醇(total cholesterol, CHO)的测定参照Trinder的方法^[23]。

所有测定均采用三个重复。

计算公式如下:

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

$$\text{特定增长率}(SGR, \% / d) = (\ln \bar{W}_t - \ln \bar{W}_0) / d \times 100;$$

$$\text{日摄食率}(DFI, \%) = 100 \times F / [(W_0 + W_t + W_d) / 2] / d$$

$$\text{饲料效率}(FE) = (W_t - W_0) / F;$$

$$\text{脏体比}(VSI) = 100 \times W_v / W;$$

$$\text{肝体比}(HSI) = 100 \times W_h / W;$$

$$\text{肥满度}(CF) = 100 \times W / L^3$$

$$\text{表观消化率}(ADC, \%) = 100 \times [1 - (F_n \times D_y) / (D_n / F_y)]$$

式中, \bar{W}_0 为实验初各组鱼平均体质量(g); \bar{W}_t 为实验终各组鱼平均体质量(g); W_0 为实验初各组鱼体总重(g); W_t 为实验终各组鱼体总重(g); W_d 为实验组鱼体死亡鱼总重(g); F 为摄食干饲料重(g); d 为养殖天数; W 为鱼体质量; W_v 为内脏重; W_h 为肝脏重; L 为鱼体长(cm); F_n 为粪便中

营养素百分含量或能量值; D_n 为饲料中营养素百分含量或能量值; F_y 为粪便中 Y_2O_3 的含量; D_y 为饲料中 Y_2O_3 的含量。

1.4 统计分析

采用 EXCEL 2003 和 SPSS 13.0 软件进行统计分析,数据采用平均值 \pm 标准误 (means \pm SE) 的形式表示,显著水平为 $P < 0.05$ 。当差异显著时采用 Duncan's 多重比较分析组间的差异显著

程度。

2 结果

2.1 成活率、生长及饲料利用

饲料中添加不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼成活率、生长及饲料效率的影响结果见表 2。各处理组大菱鲆成活率均高于 95.24%,并且各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼成活率、生长及饲料效率的影响
Tab.2 Effects of different dietary carbohydrates on the survival, growth performance and feed utilization of juvenile *S. maximus*

饲料 diets	终末体质量/g final weight	增重率/% WGR	特定生长率/(%/d) SGR	日摄食率/% DFI	饲料效率 FE	成活率/% survival rate
C0	30.33 \pm 0.27 ^c	255.45 \pm 7.69 ^b	2.01 \pm 0.09 ^b	1.54 \pm 0.13	1.15 \pm 0.09 ^b	96.43 \pm 2.06
G15	28.35 \pm 0.34 ^b	216.37 \pm 8.82 ^a	1.83 \pm 0.05 ^a	1.58 \pm 0.09	1.04 \pm 0.07 ^{ab}	95.24 \pm 1.19
S15	26.91 \pm 0.54 ^a	203.22 \pm 6.40 ^a	1.76 \pm 0.09 ^a	1.61 \pm 0.14	0.96 \pm 0.04 ^a	97.62 \pm 1.19
D15	31.11 \pm 0.78 ^c	267.51 \pm 7.46 ^b	2.07 \pm 0.07 ^b	1.60 \pm 0.17	1.11 \pm 0.07 ^b	96.43 \pm 2.06

注:表中数据以平均值 \pm 标准误表示 ($n=3$),同行数值后不同上标英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$),以下各表同。

Notes: Values (mean \pm S. E. of three replicates) in the same row not sharing a common superscript are significantly different ($P < 0.05$).

C0 和 D15 组大菱鲆的 WGR 和 SGR 均显著高于 G15 组和 S15 组 ($P < 0.05$)。各组间的 DFI 没有显著差异 ($P > 0.05$)。C0 和 D15 组 FE 显著高于 S15 组 ($P < 0.05$),但 G15 组 FE 与其余三组无显著差异 ($P > 0.05$)。

饲料中添加不同糖类对大菱鲆幼鱼主要营养物质 ADCs 的影响见表 3。由表 3 可知,各组间蛋白质 ADC 和脂肪 ADC 不受碳水化合物种类的

影响 ($P > 0.05$),但不同碳水化合物显著影响了大菱鲆幼鱼对碳水化合物和能量的 ADC ($P < 0.05$)。其中碳水化合物的 ADC 依次为:G15 > D15 > S15。另外,G15 组的能量 ADC 最高,显著高于其余三组 ($P < 0.05$);D15 组和 C0 组的能量 ADC 没有显著差异 ($P > 0.05$),S15 组的能量 ADC 最低 ($P < 0.05$)。

表 3 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼主要营养物质的表观消化率的影响
Tab.3 Effects of different dietary carbohydrates on apparent digestibility coefficients of nutrients in juvenile *S. maximus*

饲料 diets	蛋白质 protein	脂肪 lipid	糖 carbohydrate	能量 energy
C0	95.25 \pm 0.90	89.86 \pm 0.85	N. D.	76.23 \pm 0.69 ^b
G15	95.26 \pm 0.85	90.66 \pm 0.49	85.68 \pm 0.72 ^c	86.46 \pm 0.41 ^c
S15	94.21 \pm 0.56	91.85 \pm 0.91	71.90 \pm 0.79 ^a	67.34 \pm 1.17 ^a
D15	94.55 \pm 0.59	91.45 \pm 0.76	81.62 \pm 0.68 ^b	78.12 \pm 0.56 ^b

注:N. D.:未检出,下表同。

Notes:N. D.:Not detected.

2.2 肌肉及肝脏组成分析

分别测定了大菱鲆幼鱼肌肉和肝脏的常规组成及糖原含量,结果见表 4。不同的饲料处理对大菱鲆肌肉的水分、蛋白质、灰分和糖原含量未产生显著影响 ($P > 0.05$),但却显著影响脂肪含量。其中,C0 组大菱鲆幼鱼肌肉脂肪含量显著高于其余三组 ($P < 0.05$),但碳水化合物种类对大菱鲆

肌肉脂肪含量无显著影响 ($P > 0.05$)。另外,不同的饲料处理对大菱鲆肝脏的水分、蛋白含量未产生显著影响 ($P > 0.05$),但却显著影响了大菱鲆肝脏的脂肪和糖原含量。其中,大菱鲆肝脏脂肪含量依次为 C0 > D15 > S15 > G15 ($P < 0.05$);大菱鲆肝脏糖原含量依次为 G15 > S15 > D15 > C0 ($P < 0.05$)。

表 4 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼肌肉和肝脏常规组成及糖原含量(%湿重)的影响

Tab. 4 Effects of different dietary carbohydrates on the proximate chemical compositions and glycogen contents of muscle and liver in juvenile *S. maximus* (% wet weight basis) %

	饲料 diets	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	糖原 glycogen
肌肉 muscle	C0	76.96 ± 0.18	19.90 ± 0.11	2.42 ± 0.06 ^b	0.14 ± 0.00	0.62 ± 0.09
	G15	77.79 ± 0.50	20.10 ± 0.52	1.32 ± 0.07 ^a	0.14 ± 0.00	0.85 ± 0.17
	S15	76.52 ± 0.20	21.30 ± 0.17	1.29 ± 0.09 ^a	0.15 ± 0.00	0.72 ± 0.11
	D15	77.27 ± 0.38	20.77 ± 0.33	1.27 ± 0.07 ^a	0.14 ± 0.00	0.69 ± 0.04
肝脏 liver	C0	63.53 ± 0.33	9.05 ± 0.26	22.58 ± 0.31 ^d	N. D.	1.68 ± 0.24 ^a
	G15	62.60 ± 0.52	8.74 ± 0.15	13.03 ± 0.14 ^a	N. D.	12.74 ± 0.83 ^d
	S15	63.88 ± 0.63	9.09 ± 0.26	15.00 ± 0.53 ^b	N. D.	9.10 ± 0.90 ^e
	D15	62.63 ± 0.41	9.14 ± 0.20	19.79 ± 0.39 ^c	N. D.	5.39 ± 0.32 ^b

2.3 体指数(脏体比、肝体比和肥满度)

饲料中添加不同种类的糖对大菱鲆幼鱼肝体比(HSI)、脏体比(VSI)和肥满度(CF)的影响见表5。G15组的大菱鲆幼鱼 HSI 和 VSI 显著高于 S15 组 ($P < 0.05$), 但 C0 组和 D15 组大菱鲆幼鱼的 HSI 和 VSI 与其余两组无显著差异 ($P > 0.05$)。不同糖种类对大菱鲆幼鱼的 CF 没有显著影响 ($P > 0.05$)。

2.4 血液生理生化指标

大菱鲆幼鱼的血液生理生化指标见表6。饲料中添加不同糖种类对大菱鲆幼鱼血浆血糖含量没有显著影响 ($P > 0.05$), 但显著影响总氨基酸、血浆胰岛素、总胆固醇和甘油三酯的含量 ($P < 0.05$)。其中, C0 组大菱鲆血浆总氨基酸含量显著高于 G15 组和 S15 组 ($P < 0.05$), 但 D15 组与其余三组无显著差异 ($P > 0.05$)。D15 组大菱鲆幼鱼的血浆胰岛素含量显著高于 C0 组 ($P <$

0.05), G15 组和 S15 组血浆胰岛素与其余两组无显著差异 ($P > 0.05$)。C0 组大菱鲆幼鱼血浆总胆固醇显著高于其余三组 ($P < 0.05$), D15 组又显著高于 G15 组和 S15 组 ($P < 0.05$)。C0 组和 D15 组血浆甘油三酯显著高于 G15 组和 S15 组 ($P < 0.05$)。

表 5 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼的脏体比、肝体比和肥满度的影响

Tab. 5 Effects of different dietary carbohydrate on the hepatosomatic index (HSI), viscerosomatic index (VSI) and condition factor (CF) of juvenile *S. maximus*

饲料 diets	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI	肥满度 CF
C0	1.34 ± 0.11 ^{ab}	5.96 ± 0.71 ^{ab}	3.84 ± 0.20
G15	1.58 ± 0.12 ^b	6.38 ± 0.17 ^b	3.65 ± 0.06
S15	1.17 ± 0.16 ^a	5.52 ± 0.35 ^a	3.57 ± 0.07
D15	1.26 ± 0.13 ^{ab}	6.05 ± 0.34 ^{ab}	3.93 ± 0.30

表 6 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆幼鱼的血液生理指标的影响

Tab. 6 Effects of different dietary carbohydrate on the haematological parameters of juvenile *S. maximus*

饲料 diets	总氨基酸/(mmol/L) total α -amino acids	葡萄糖/(mmol/L) glucose	胰岛素/(ng/mL) insulin	总胆固醇/(mmol/L) total cholesterol	甘油三酯/(mmol/L) triacylglycerols
C0	30.57 ± 0.18 ^b	0.29 ± 0.04	11.51 ± 1.29 ^a	7.26 ± 0.45 ^c	3.56 ± 0.09 ^b
G15	27.10 ± 1.31 ^a	0.27 ± 0.06	13.83 ± 1.18 ^{ab}	4.16 ± 0.37 ^a	2.45 ± 0.26 ^a
S15	27.21 ± 0.58 ^a	0.28 ± 0.03	13.14 ± 0.87 ^{ab}	4.03 ± 0.29 ^a	2.46 ± 0.12 ^a
D15	27.84 ± 0.28 ^{ab}	0.23 ± 0.03	15.73 ± 1.39 ^b	5.45 ± 0.44 ^b	3.18 ± 0.16 ^b

3 讨论

糖类是饲料中最廉价的能源物质, 饲料中添加适量的糖有利于提高饲料颗粒的物理性状, 同时能降低饲料成本。因此, 关于鱼类对不同糖类

的利用效果以及饲料中适宜的糖添加水平吸引了大量的研究。根据 Lee 等^[1]的研究结果, 大菱鲆饲料中蛋白质的适宜含量为 50%。实验中的大菱鲆幼鱼对照组饲料配方采用了低蛋白水平(40%)的设计, 同时未添加可消化糖, 通过提高

饲料中的脂肪含量(18%)以补充饲料中的能量含量。在此基础上设计的其它3组实验饲料则通过添加15%的不同种类的碳水化合物,同时将饲料脂肪降低到12%来实现与对照组能量相同。结果表明,糊精组在生长、饲料利用和形体指标方面与对照组无显著差异,说明糊精可以取代部分饲料脂肪而满足大菱鲆的营养和能量需求。在对其它鱼类的研究中也有的相似的结果报道。例如,饲料中添加一定量的糊精(8.48%~20.76%)替代部分脂肪后,雷氏鲈(*Rhamdia quelen*)的生长与高脂肪组(10.73%)没有显著差异^[24]。当摄食含不同糖脂比的饲料后,杂交条纹鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)^[25]和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[26]的生长也没有显著差异。以上研究说明这些鱼类能够利用饲料中适当含量的碳水化合物来提供能量。

同时,实验的生长和饲料利用数据表明,大菱鲆幼鱼对于饲料中糊精的利用要优于葡萄糖和蔗糖,这一结果与许多鱼类的研究结果相似^[8-10,12-14,27]。Wilson^[4]指出,大多数鱼类对淀粉和糊精等多糖的利用效率要高于单糖,这主要与糖类在鱼体内的代谢相关。单糖类,如葡萄糖等被鱼类摄食后,可不经过消化过程直接被消化道吸收进入循环系统,但同时鱼类胰岛素分泌相对滞后以及胰岛素受体数量不足,这三种因素造成摄入的葡萄糖不能被鱼体有效利用,除部分葡萄糖经糖酵解途径进行分解^[28]外,部分葡萄糖被排出体外,另外也有部分葡萄糖以糖原形式沉积在体内^[29]。实验中,分析大菱鲆对不同种类碳水化合物的表观消化率的结果表明,大菱鲆幼鱼对葡萄糖具有较高的表观消化率,推测可能与不同类型碳水化合物在鱼体内的代谢特点有关。另一方面,鱼类消化道内的蔗糖酶活性较低,仅为淀粉酶活性的1/6左右,鱼类摄入的大部分蔗糖不能有效地被消化酶分解利用,而以粪便的形式排出体外^[30]。同时,对表观消化率的分析也间接证明了大菱鲆对蔗糖的利用效率较低。然而,有些种类,如乌鳊^[3]和草鱼^[7]对葡萄糖和麦芽糖的利用效率要高于淀粉和糊精。当饲料中的糖含量为15%时,牙鲆对麦芽糖的利用效率高于糊精^[8]。另外,石斑鱼的生长和饲料效率不受糖种类的影响,如石斑鱼对葡萄糖和淀粉的利用效率没有显著差异^[6]。对不同种类糖的利用效率不仅与鱼

的种类相关,饲料组成、养殖策略等同样影响鱼类与糖的利用^[4]。到目前为止,不同鱼类对糖利用差异的原因仍没有明确解释^[31]。

实验中,摄食含可消化碳水化合物饲料的大菱鲆幼鱼肌肉脂肪含量显著低于对照组,这一结果与对其它鱼类的研究结果相似,如雷氏鲈^[24]、鳞脂鲤(*Brycon orbignyanus*)^[32]和欧洲鲈^[33]等,说明对这些鱼类体脂肪含量的影响因素中,饲料中的脂肪含量占主导地位。另外,有研究指出鱼类不仅能消化部分碳水化合物,并且能将多余的碳水化合物转化为脂肪储存在肝脏中^[33-35]。对大菱鲆幼鱼肌肉和肝脏糖原含量的分析表明,葡萄糖更易于引起大菱鲆体内糖原的蓄积,说明大菱鲆对葡萄糖的利用能力有限,多余的葡萄糖以糖原形式储存在肝脏中,这一结果与牙鲈^[8]、鲈^[11]等鱼类的研究结果相似。另有研究发现,鱼类脂肪酸的合成主要在肝脏中进行,同时发现合成脂肪酸所必需的原料——NADPH主要由葡萄糖-6-磷酸脱氢酶通过磷酸戊糖途径产生,或由苹果酸酶催化苹果酸氧化脱羧生成丙酮酸而产生。因此,葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和苹果酸酶是参与脂肪合成的重要酶^[36]。Hung等^[37]对虹鳟的研究表明,以葡萄糖为糖源的处理组中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和苹果酸酶的活性均比其他糖源的处理组高。对军曹鱼幼鱼^[14]和高首鲟(*Acipenser transmontanus*)^[38]的研究也得到了同样的结果。这些实验结果表明,葡萄糖比聚合度高的碳水化合物源更能促进鱼体内脂肪的合成代谢;但对欧洲鲈的研究表明,饲料中碳水化合物源为玉米淀粉时,葡萄糖-6-磷酸脱氢酶活性比碳水化合物源为糊精和葡萄糖的饲料组都要高,但糊精和葡萄糖组的葡萄糖-6-磷酸脱氢酶活性没有显著差异^[27],对石斑鱼^[6]的研究也证实这一结果。以上两种情况表明,不同鱼类对不同种类碳水化合物的代谢存在一定的差异,从而对其它物质的代谢,如脂肪等产生不同的影响。在实验中,当碳水化合物源为葡萄糖时,肝脏中葡萄糖-6-磷酸脱氢酶的活性最高^[39],但通过对大菱鲆肝脏脂肪含量的分析却表明,糊精组大菱鲆肝脏脂肪含量最高,葡萄糖组最低,说明饲料中碳水化合物种类对大菱鲆体内脂肪含量的影响效果还受到其它因素的影响。例如,不同鱼类对饲料中不同碳水化合物种类的利用效率不同,对碳水化合物和脂肪的利用

优先程度也不同^[8,24,40]。对牙鲆的分析表明,牙鲆能优先利用饲料中的碳水化合物(糊精等),从而将饲料中多余的脂肪储存在肝脏中。同时还发现,牙鲆对糊精的利用效率高于葡萄糖,葡萄糖组牙鲆肝脏脂肪含量显著低于糊精组^[8]。实验中糊精组大菱鲆的生长和肝脏脂肪含量显著高于葡萄糖组和蔗糖组,这一结果也与大菱鲆对不同糖类的利用效率密切相关。同时,脂肪和糖原在体内的蓄积也显著影响了大菱鲆的肝体比和脏体比。但也有相关研究表明,仅糖原含量显著影响鱼类的肝体比和脏体比,例如牙鲆^[8]、杂交条纹鲈^[34]、军曹鱼^[35]等摄食高含量的葡萄糖饲料后,鱼体肝体比和脏体比显著升高。

在血液生理指标方面,有研究发现,饲料中糖的种类对鱼体血浆总氨基酸含量没有显著影响^[41-43]。但在实验中,对照组血浆总氨基酸含量显著高于含碳水化合物组,说明脂肪对大菱鲆饲料中蛋白的节约作用高于碳水化合物。一般来说,鱼类代谢糖的能力有限,摄入高含量的可消化糖后短时间内会导致高血糖症^[4]。对大菱鲆腹腔注射葡萄糖后,在3 h内血浆葡萄糖达到峰值,24 h内持续下降至基础水平^[16]。实验中,大菱鲆在养殖试验结束后饥饿24 h开始采集血液样本,这可能导致血糖恢复至基础水平而未发现高血糖症。然而,本研究中的数据表明,各组间的血糖浓度没有显著差异。但是,血浆胰岛素、总胆固醇和甘油三酯的含量,以及肌肉和肝脏中的脂肪和糖原含量受到糖种类(葡萄糖、蔗糖和糊精)的显著影响,表明大菱鲆通过糖异生和脂肪合成作用适当地对葡萄糖代谢进行调整。

总的来说,在本实验条件下,对大菱鲆幼鱼生长和饲料利用的分析结果表明,大菱鲆对糊精的利用效率显著高于葡萄糖和蔗糖,饲料中添加一定量的糊精能够明显节约饲料中脂肪的添加量,并且不同种类的碳水化合物通过糖脂关联代谢等途径对大菱鲆幼鱼的体组成和血液生理生化指标也产生一定的影响。另外,在大菱鲆体内,有关糖代谢及其与脂肪代谢之间的关系还需要进一步的研究。

参考文献:

- [1] Lee J K, Cho S H, Park S U, *et al.* Dietary protein requirement for young turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9 (4): 283 - 286.
- [2] Bromley P J. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Aquaculture*, 1980, 19 (4): 359 - 369.
- [3] Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Growth performance and metabolic utilization of diets with native and waxy maize starch by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2008, 274(1): 101 - 108.
- [4] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 67 - 80.
- [5] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11 (4): 337 - 369.
- [6] Shiau S Y, Lin Y H. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. *Animal Science*, 2001, 73(2): 299 - 304.
- [7] Tian L X, Liu Y J, Hung S S O. Utilization of glucose and cornstarch by juvenile grass carp [J]. *North American Journal of Aquaculture*, 2004, 66 (2): 141 - 145.
- [8] 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.
- [9] Lee S M, Lee J H. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* [J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(1): 53 - 58.
- [10] Fu S J. The growth performance of southern catfish fed diets with raw, precooked cornstarch and glucose at two levels [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11 (4): 257 - 261.
- [11] Deng D F, Hemre G I, Storebakken T, *et al.* Utilization of diets with hydrolyzed potato starch, or glucose by juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*), as affected by Maillard reaction during feed processing [J]. *Aquaculture*, 2005, 248 (1-4): 103 - 109.
- [12] Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Rapid metabolic adaptation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different carbohydrate sources after heat shock stress [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2006, 145(1): 73 - 81.
- [13] Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary

- carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris gunther*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12 (1): 61 – 70.
- [14] Cui X J, Zhou Q C, Liang H O, *et al.* Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus) [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 42(1): 99 – 107.
- [15] Nijhof M, Bult T P. Metabolizable energy from dietary carbohydrates in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.) [J]. *Aquaculture Research*, 1994, 25 (3): 319 – 327.
- [16] Garcia-Riera M P, Hemre G I. Glucose tolerance in turbot, *Scophthalmus maximus* (L.) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1996, 2(2): 117 – 120.
- [17] Cunniff P. Official Methods of Analysis of AOAC International [M]. Arlington VA: AOAC International, 1995.
- [18] Hedge J E, Hofreiter B T. Carbohydrate Chemistry [M]. New York: Academic Press, 1962.
- [19] Plummer P. Glycogen Determination in Animal Tissues [M]. An Introduction to Practical Biochemistry, 3rd edn. Maidenhead; McGraw Hill Book, 1987: 332.
- [20] Refstie S, Helland S J, Storebakken T. Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1997, 153 (3 – 4): 263 – 272.
- [21] Moore S. Amino acid analysis: aqueous dimethyl sulfoxide as solvent for the ninhydrin reaction [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1968, 243 (23): 6281 – 6283.
- [22] Plisetskaya E M, Dickhoff W W, Paquette T L, *et al.* The assay of salmon insulin in homologous radioimmunoassay [J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1986, 1: 37 – 43.
- [23] Trinder P. Determination of blood glucose using an oxidase-peroxidase system with a non-carcinogenic chromogen [J]. *Journal of Clinical Pathology*, 1969, 22(2): 158 – 161.
- [24] Giovanni V M, Rodrigo Y C, Gilberto M, *et al.* Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen* [J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(3): 394 – 400.
- [25] Nematipour G R, Brown M L, Gatlin III D M. Effects of dietary energy: protein ratio on growth characteristics and body composition of hybrid striped bass, *Morone chrysops* × *M. saxatilis* [J]. *Aquaculture*, 1992, 107(4): 359 – 368.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 沈同, 王镜岩, 赵邦梯, 等. 生物化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- [29] Deng D F, Refstie S, Hung S S O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates [J]. *Aquaculture*, 2001, 199(1 – 2): 107 – 117.
- [30] Shiao S Y, Chuang J C. Utilization of disaccharides by juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture*, 1995, 133(3 – 4): 249 – 256.
- [31] López-Olmeda J F, Egea-álvarez M, Sánchez-Vázquez F J. Glucose tolerance in fish: Is the daily feeding time important? [J]. *Physiology & Behavior*, 2009, 96(4 – 5): 631 – 636.
- [32] Borba M R, Fracalossi D M, Pezzato L E. Dietary energy requirement of piracanjuba fingerlings, *Brycon orbignyanus*, and relative utilization of dietary carbohydrate and lipid [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(3): 183 – 191.
- [33] 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.
- [34] Rawles S D, Smith S B, Gatlin III D M. Hepatic glucose utilization and lipogenesis of hybrid striped bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) in response to dietary carbohydrate level and complexity [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2008, 14(1): 40 – 50.
- [35] Webb K A Jr, Rawlinson L T, Holt G J. Effects of dietary starches and the protein to energy ratio to growth and feed efficiency of juvenile cobia,

- Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010,16(5):447-456.
- [36] 梁洪,钱云霞. 食物对养殖鱼类脂肪代谢的影响[J]. *水产科学*,2007,26(9):521-524.
- [37] Hung S S, Storebakken T. Carbohydrate utilization by rainbow trout is affected by feeding strategy[J]. *The Journal of Nutrition*,1994,124(2):223-230.
- [38] Hung S S,Fynn-Aikins F K,Lutes P B, *et al.* Ability of juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) to utilize different carbohydrate sources[J]. *The Journal of Nutrition*,1989,119(5):727-733.
- [39] 苗慧君. 饲料糖对大菱鲆脂肪代谢和 Ghrelin 基因表达的影响[D]. 青岛:中国海洋大学,2013.
- [40] Brauge C, Corraze G, Médale F. Effects of dietary levels of carbohydrates and lipid on glucose oxidation and lipogenesis from glucose in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in freshwater or in seawater [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology*, 1995, 111 (1): 117-124.
- [41] Adamidou S,Nengas I, Henry M, *et al.* Growth, feed utilization, health and organoleptic characteristics of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) fed extruded diets including low and high levels of three different legumes [J]. *Aquaculture*, 2009, 293 (3-4):263-271.
- [42] Peres H, Oliva-Teles A. Utilization of raw and gelatinized starch by European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2002,205(3-4):287-299.
- [43] Krogdahl Å, Sundby A. Characteristics of pancreatic function in fish[M] // Pierzynowski S G, Zabielski R Eds. *Biology of the Pancreas in Growing Animals*. Amsterdam:Elsevier,1999:437-458.

Effects of different dietary carbohydrates on growth performance and metabolism response of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*)

MIAO Shuyan^{1,2}, MIAO Huijun¹, NIE Qin¹, ZHANG Wenbing^{1*}, MAI Kangsen¹

(1. Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds, Ministry of Agriculture,

Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Shengsuo Fishery Feed Research Center of Shandong Province, Yantai 265500, China)

Abstract: A study was conducted to evaluate the ability of juvenile turbot *Scophthalmus maximus* to utilize different molecular complexity of carbohydrates in diets. The control diet without carbohydrates supplementation contained 40% protein and 18% lipid. Based on it, 15% of three kinds of carbohydrate (glucose, sucrose and dextrin) were respectively added into the diet. At the same time, dietary lipid content was adjusted to 12% to keep isoenergetic with the control diet. Triplicate groups of fish [initial body weight: (8.12 ± 0.04) g] were hand-fed one of the four diets to apparent satiation for 9 weeks. The results showed that survival rate, daily feed intake (DFI), the apparent digestibility coefficients (ADCs) of protein and lipid, contents of moisture, crude protein, ash and glycogen in muscle, contents of moisture, crude protein and ash in liver, condition factor (CF) and plasma glucose were not significantly affected by dietary treatments ($P > 0.05$). Weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of fish fed dietary dextrin and the control diet were significantly higher than those of fish fed dietary glucose and sucrose ($P < 0.05$). Feed efficiency (FE) of fish fed the control diet and dietary dextrin was significantly higher than those fed dietary sucrose ($P < 0.05$). However, there was no significant difference in FE between fish fed dietary glucose and the other three groups ($P > 0.05$). The order of the ADC of carbohydrate was glucose > dextrin > sucrose. The ADC of energy was significantly highest in fish fed dietary glucose and lowest in fish fed dietary sucrose ($P < 0.05$). Fish fed the control diet had the significantly highest lipid contents in muscle ($P < 0.05$), and there was no significant difference in lipid content of muscle among the other three groups ($P > 0.05$). The order of the liver lipid content was control > dextrin > glucose > sucrose ($P < 0.05$). The order of the liver glycogen was glucose > sucrose > dextrin > control ($P < 0.05$). Total α -amino acids in fish fed the control diet was significantly higher than that fed dietary glucose and sucrose ($P < 0.05$). Plasma insulin of fish fed dietary dextrin was significantly higher than those fed the control diet ($P < 0.05$). Total cholesterol (CHO) in plasma of fish fed the control diet was the highest, followed by dietary dextrin. The lowest was found in fish fed dietary glucose and sucrose ($P < 0.05$). Triacylglycerols (TAGs) in plasma of fish fed the control and dietary dextrin were significantly higher than those fed dietary glucose and sucrose ($P < 0.05$). In conclusion, the present study suggested that turbot can utilize dextrin more efficiently than glucose and sucrose.

Key words: *Scophthalmus maximus*; carbohydrates; growth; metabolism response; nutrition

Corresponding author: ZHANG Wenbing. E-mail: wzhang@ouc.edu.cn