

文章编号: 1000-0615(2017)05-0746-11

DOI: 10.11964/jfc.20160910552

## 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼生长性能和肝脏相关代谢酶活性的影响

黄岩, 李建, 王学习, 王琨, 叶继丹\*

(集美大学水产学院, 厦门市饲料检测与安全评价重点实验室, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 为了探讨饲料蛋白质和碳水化合物对斜带石斑鱼的互作效应, 实验采用3×3因子设计, 配制蛋白质水平(P)为38%、45%和52%, 淀粉水平(S)为10%、20%和30%的9种实验饲料, 分别饲喂斜带石斑鱼56 d。结果显示, 38%粗蛋白与10%淀粉饲料组(38P/10S饲料组)增重率显著低于其他各组, 52P/10S组增重率最高, 但与45P/20S、45P/30S、52P/20S组差异不显著。增加饲料蛋白质或淀粉水平显著增加饲料效率、鱼体蛋白质与脂肪含量及肝糖原肝脂含量, 而降低摄食率和鱼体水分含量。增加饲料蛋白质水平降低蛋白质效率, 但增加淀粉水平却增加蛋白质效率及肝体比与脏体比。饲料蛋白质水平和淀粉水平对鱼体灰分含量无明显影响。肝中肝酯酶、脂蛋白酯酶、脂肪酸合成酶、谷丙转氨酶和谷草转氨酶活性均随蛋白质或淀粉水平的升高呈显著上升趋势。增加饲料蛋白质水平显著降低肝中葡萄糖-6-磷酸酶活性, 而增加肝中苹果酸酶活性, 但对肝中葡萄糖激酶、丙酮酸激酶、磷酸果糖激酶、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶和葡萄糖-6-磷酸脱氢酶活性没有明显影响。增加饲料淀粉水平显著增加肝中葡萄糖激酶、丙酮酸激酶、磷酸果糖激酶、葡萄糖-6-磷酸脱氢酶和苹果酸酶活性, 但显著降低磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶和葡萄糖-6-磷酸酶活性。上述结果显示, 斜带石斑鱼的生长和肝脏代谢明显受饲料蛋白质和淀粉水平的影响, 其中, 糖代谢酶活性受淀粉水平的影响较大, 而受饲料蛋白质水平的影响较小, 斜带石斑鱼生长适宜的饲料蛋白质和淀粉水平分别为45%和20%。

**关键词:** 斜带石斑鱼; 蛋白质水平; 淀粉水平; 生长; 肝脏代谢

**中图分类号:** S 963.7

**文献标志码:** A

鱼类饲料中的蛋白质水平通常较高, 因此, 蛋白质是其中最为昂贵的一类大量营养成分。如何在不影响鱼类正常生长的前提下最大限度地降低饲料蛋白质水平一直是鱼类营养学家探索的目标之一, 而一个有效的解决方式是通过调整饲料蛋白质与碳水化合物或脂肪的适宜添加比例来减少蛋白质作为能量的消耗<sup>[1]</sup>。碳水化合物是水产饲料中最廉价的能量来源<sup>[2]</sup>。虽然鱼类尤其是肉食性鱼类对碳水化合物的利用能力有限, 过高的碳水化合物水平甚至会引起鱼类生长速度降低和代谢障碍等症<sup>[3-5]</sup>, 但

是, 饲料中添加适当比例碳水化合物反而有利于鱼类生长。大量研究表明, 饲料中添加淀粉、糊精等大分子碳水化合物表现出一定的蛋白质节约效应<sup>[6-10]</sup>。

石斑鱼是我国重要的海水养殖种类, 十年来, 石斑鱼养殖产业发展十分迅速, 2014年, 我国石斑鱼养殖产量达8.813万t<sup>[11]</sup>, 是继大黄鱼(*Larimichthys crocea*)、鲆鲽之后实现大规模人工养殖的海水鱼类。有关石斑鱼的营养学研究也有一些报道。Millamena等<sup>[12]</sup>和Luo等<sup>[13]</sup>测定了斜带石斑鱼(*Epinephelus coioides*)幼鱼的蛋白质需求量

收稿日期: 2016-09-22 修回日期: 2016-11-10

资助项目: 国家自然科学基金(31372546); 福建省科技重大专项(2016NZ0001-3)

通信作者: 叶继丹, E-mail: yjdwk@sina.com

(45%~48%)。Luo等<sup>[14]</sup>测定了斜带石斑鱼幼鱼的脂肪需求量(10%左右)。毛义波等<sup>[15]</sup>测定的斜带石斑鱼适宜碳水化合物的添加比例为21%。适宜的碳水化合物/脂肪能够提高鞍带石斑鱼(*E. lanceolatus*)的生长性能,比例过高反而不利于其生长<sup>[16]</sup>。然而,饲料蛋白质/碳水化合物对石斑鱼生长的影响以及碳水化合物的节约蛋白质效应还未见报道。因此,本实验以斜带石斑鱼为实验动物,研究了不同饲料蛋白质和淀粉水平对其生长及肝脏相关代谢酶活性的影响,旨在探讨斜带石斑鱼适宜的蛋白质/碳水化合物及淀粉的节约蛋白质效应,为合理配制石斑鱼饲料提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验饲料

本实验采用3×3因子实验设计,饲料蛋白质水平(P)分别为38%、45%、52%,饲料淀粉水平(S)分别为10%、20%、30%,共配制D1(38P/10S)、D2(38P/20S)、D3(38P/30S)、D4(45P/10S)、D5(45P/20S)、D6(45P/30S)、D7(52P/10S)、D8(52P/20S)和D9(52P/30S)9种实验饲料。饲料配方和营养水平见表1。

### 1.2 实验鱼及饲养管理

斜带石斑鱼幼鱼(6.75±0.06)g先放在4个有循环水过滤装置的FRP桶(600 L)中暂养15 d,待其适应养殖条件后,再选取规格相近的鱼随机分配到27个有循环水装置的玻璃水族箱(150 L)中,每箱20尾。随机选取3个水族箱作为1个实验处理,每个处理组的鱼投喂一种实验饲料。

每天饱食投喂实验鱼2次(8:00和18:00),每次投喂0.5 h后用虹吸法收集剩料,随后清污,清污完毕后用新鲜海水补足箱内排掉的海水。养殖实验进行56 d。养殖期间用增氧泵持续增氧,自然光照。养殖期间水温27.5~31.8 °C,海水盐度28~32,溶氧量4.7~5.3 mg/L, pH值6.72~7.83。

### 1.3 样品采集

养殖实验结束后,先将每个水族箱中的鱼全部捞出,记录各箱鱼尾数,并称活体总体质量。依次从每箱中随机取5尾鱼,逐尾测量体长和体质量,再将鱼解剖,取出肝脏和内脏并称重,以计算肝体比和脏体比,然后将各组鱼肝

脏分别置于冻存管中,保存于-80 °C冰箱用于测定肝脏生化指标。依次从每个水族箱随机取5尾鱼合并为一个全鱼样本,保存于-20 °C冰箱,待测鱼体成分。

### 1.4 指标测定

**常规成分测定** 饲料水分采用干燥法(105 °C)测定,粗蛋白采用FOSS公司Kjeltec8400型自动定氮仪测定,粗脂肪采用索氏抽提法测定,淀粉采用酸水解法(GB/T5009-2008)测定,灰分采用灼烧法(550 °C)测定。

将冷冻的全鱼常温解冻,并用纱布拭干体表水分,用绞肉机绞碎,取出称重,置于玻璃器皿中,并放置于干燥箱中70 °C烘干,然后置于室内48 h后称重,用粉碎机粉碎制备成全鱼风干样品。鱼体常规成分测定方法同饲料常规成分测定方法。

肝糖原(mg/g肝湿重)均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定。肝脂(肝湿重,%)采用氯仿—甲醇提取法提取。

**生化指标测定** 肝脏葡萄糖激酶(GK)、丙酮酸激酶(PK)、磷酸果糖激酶(PFK)、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)、葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)、葡萄糖-6-磷酸脱氢酶(G6PD)、苹果酸酶(ME)、肝酯酶(HL)、脂蛋白酯酶(LPL)、脂肪酸合成酶(FAS)、谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)均采用上海泛柯生物科技有限公司生产的试剂盒测定。

### 1.5 计算公式

增重率(weight gain rate, WGR, %)= $100 \times (W_t - W_0) / W_0$

饲料效率(feed efficiency, FE)= $(W_t - W_0) / W_f$

蛋白质效率(protein efficiency rate, PER, %)= $(W_t - W_0) / (W_f \times P) \times 100$

日摄食率(daily feeding intake rate, DFI, %/d)= $100 \times W_f / (W_t / 2 + W_0 / 2) / t$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $100 \times W_h / W_b$

脏体比(viscerasomatic index, VSI, %)= $100 \times W_v / W_b$

式中, $W_0$ 为初始体质量(g), $W_t$ 为终末体质量(g), $W_f$ 为摄食饲料总量(g), $W_b$ 为样品鱼体质量(g), $W_h$ 为样品鱼肝脏重(g), $W_v$ 为样品鱼内脏重

表1 饲料配方及营养成分

		Tab. 1 Formulation and composition of experimental diets								
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
		(38P/10S)	(38P/20S)	(38P/30S)	(45P/10S)	(45P/20S)	(45P/30S)	(52P/10S)	(52P/20S)	(52P/30S)
<b>原料/% ingredients</b>										
鱼粉	fish meal	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
酪蛋白	casein	30.4	30.4	30.4	38.2	38.2	38.2	46	46	46
鱼油/豆油(1:1)	fish oil/soybean oil	5.4	5.4	5.4	5.2	5.2	5.2	5	5	5
大豆磷脂	soybean lecithin	2	2	2	2	2	2	2	2	2
玉米淀粉	corn starch	10	20	30	10	20	30	10	20	30
维生素预混料	vitamin premix	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
微量元素预混料	mineral premix	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
氯化胆碱	choline chloride	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
磷酸二氢钙	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
维生素C	vitamin C	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
海藻酸钠	sodium alginate	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
沸石粉	zeolite powder	17.6	12.6	7.6	13.8	8.8	3.8	10	5	0
微晶纤维素	microcrystalline cellulose <sup>5</sup>	17.6	12.6	7.6	13.8	8.8	3.8	10	5	0
氧化钇	yttrium oxide	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
总计	total	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>营养组成/% nutrient composition</b>										
干物质	dry matter	92.80	91.29	91.01	91.84	91.66	91.66	91.87	91.28	90.30
粗蛋白	crude protein	37.88	38.14	37.79	45.26	44.61	44.72	51.65	51.37	51.47
粗脂肪	crude lipid	9.54	9.49	9.48	9.57	9.52	9.49	9.51	9.53	9.44
淀粉	starch	9.86	19.96	30.03	9.89	20.11	30.07	10.03	19.92	29.98
灰分	ash	19.76	14.88	10.67	16.32	11.52	7.70	13.11	8.46	4.47
总能/(KJ/g)	gross energy	14.39	15.96	17.66	15.93	17.67	19.31	17.59	19.28	20.90
蛋白质/能量/(mg/KJ)	protein to energy ratio	26.32	23.90	21.40	28.41	25.25	23.16	29.36	26.64	24.63

注: 1. 总能根据蛋白质23.6 KJ/g, 脂肪39.5 KJ/g和碳水化合物17.2 KJ/g来计算; 2. 复合多维 (mg /kg饲料): 维生素A 10, 维生素D 10, 维生素C 1000, 维生素K 40, 维生素E 500, 维生素B<sub>1</sub> 60, 维生素B<sub>2</sub> 70, 维生素B<sub>6</sub> 80, 维生素B<sub>12</sub> 0.4, 烟酸 200, 泛酸钙 200, 生物素 2, 肌醇 500, 叶酸 8; 3. 复合多矿 (mg /kg饲料): 柠檬酸铁 900, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 25, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 190, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 100, CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 50, KI 8, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 2; 4. 维生素C为维生素C多聚磷酸酯

Notes: 1. the dietary gross energy was calculated as protein: 23.6 KJ/g, lipid: 39.5 KJ/g, carbohydrate: 17.2 KJ/g. 2. vitamin premix (mg /kg diet): vitamin A 10, vitamin D 10, vitamin C, 1000, vitamin K 40, vitamin E 500, vitamin B<sub>1</sub> 60, vitamin B<sub>2</sub> 70, vitamin B<sub>6</sub> 80, vitamin B<sub>12</sub> 0.4, nicotinic acid 200, calcium pantothenate 200, biotin 2, inositol 500, folicacid 8. 3. mineral premix (mg /kg diet): ferric citrate 900, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 25, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 190, MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O 100, CoSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 50, KI 8, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 2. 4. vitaminC is in the form of 35% Stay-C

(g),  $L$ 为样品鱼体长(cm),  $t$ 为投喂天数(d),  $P$ 为饲料中粗蛋白含量。

## 1.6 数据统计分析

所有实验数据均以平均值±标准差(mean±SD)表示, 采用SPSS17.0统计软件进行双因子方差分析(Two-Way ANOVA), 若存在显著差异, 则采

用Student-Newmnan-Keuls法进行多重比较,  $P<0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果

### 2.1 生长性能

本实验中, 各饲料组石斑鱼的成活率均为

100%, 饲料蛋白质和淀粉水平明显影响斜带石斑鱼生长性能(表2)。在38%蛋白质水平下, 石斑鱼的WGR随淀粉水平的提高而显著上升( $P<0.05$ ), 而在45%蛋白质水平下, WGR随饲料淀粉水平的升高呈先升后降趋势, 而52%蛋白质水平下, WGR随淀粉水平升高而呈逐渐下降趋势( $P<0.05$ )。其中52P/30S组WGR明显低于45P/20S、45P/30S、52P/10S和52P/20S组( $P<0.05$ ), 但仍明显高于38%蛋白质各组, 其中38P/10S组最小( $P<0.05$ )。在每个饲料蛋白质水平下, FE、PER均随饲料淀粉水平的升高而明显增加( $P<0.05$ ), 45P/30S和52P/30S组FE显著高于其他各组, 38P/30S组获得

了最大PER( $P<0.05$ ); DFI则呈明显下降趋势( $P<0.05$ ), 38P/10S和38P/20S组显著高于其他各组( $P<0.05$ ), 而52P/30S组DFI最小, 且显著低于其他各组( $P<0.05$ )。另外, 将饲料总能值( $X$ )与摄食率( $Y$ )进行回归分析(图1), 发现二者之间呈负线性关系( $Y=-0.092X+4.627$ ,  $R=0.918$ ,  $P<0.001$ )。在不考虑蛋白质水平的情况下, 提高饲料淀粉水平, 提高了PER、FE、HSI、VSI( $P<0.05$ ), 而降低了DFI( $P<0.05$ ), WGR则先提高后降低( $P<0.05$ )。在不考虑饲料淀粉水平的情况下, 提高饲料蛋白质水平, 提高了WGR、FE( $P<0.05$ ), 而降低了PER、DFI( $P<0.05$ ); 饲料蛋白质水平对

表2 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼生长性能的影响

Tab. 2 Effect of different dietary protein and starch levels on the growth performance of *E. coioides*

蛋白质水平/% protein level	淀粉水平/% starch level	初均重/g IAW	末均重/g FAW	增重率/% WGR	饲料效率 FE	蛋白质效率 PER	日摄食率 /(%/d) DFI	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI
38	10 (D1)	6.72±0.03	31.63±0.69 <sup>c</sup>	370.70±10.72 <sup>c</sup>	0.69±0.03 <sup>c</sup>	1.87±0.03 <sup>c</sup>	3.28±0.07 <sup>a</sup>	2.53±0.25	7.98±0.25
	20 (D2)	6.72±0.03	33.60±1.17 <sup>d</sup>	400.35±16.87 <sup>d</sup>	0.71±0.04 <sup>c</sup>	1.94±0.06 <sup>c</sup>	3.26±0.07 <sup>a</sup>	2.46±0.32	8.48±0.41
	30 (D3)	6.72±0.06	35.60±1.17 <sup>c</sup>	429.52±14.43 <sup>c</sup>	0.80±0.03 <sup>b</sup>	2.17±0.05 <sup>a</sup>	2.97±0.08 <sup>b</sup>	2.97±0.04	8.65±0.40
45	10 (D4)	6.75±0.06	38.93±0.71 <sup>b</sup>	476.82±11.65 <sup>b</sup>	0.81±0.03 <sup>b</sup>	1.85±0.05 <sup>c</sup>	3.05±0.09 <sup>b</sup>	2.73±0.09	7.96±0.31
	20 (D5)	6.77±0.04	41.92±1.14 <sup>a</sup>	518.73±14.93 <sup>a</sup>	0.83±0.02 <sup>b</sup>	1.90±0.03 <sup>c</sup>	3.04±0.08 <sup>b</sup>	2.52±0.15	8.45±0.42
	30 (D6)	6.73±0.06	40.88±1.16 <sup>a</sup>	507.60±20.38 <sup>a</sup>	0.88±0.04 <sup>a</sup>	2.05±0.07 <sup>b</sup>	2.80±0.09 <sup>c</sup>	2.91±0.13	8.49±0.27
52	10 (D7)	6.76±0.06	42.32±0.80 <sup>a</sup>	526.18±17.51 <sup>a</sup>	0.83±0.02 <sup>b</sup>	1.64±0.03 <sup>d</sup>	3.06±0.07 <sup>b</sup>	2.65±0.18	8.14±0.31
	20 (D8)	6.74±0.05	41.62±1.44 <sup>a</sup>	517.22±20.19 <sup>a</sup>	0.84±0.03 <sup>b</sup>	1.69±0.05 <sup>d</sup>	2.98±0.06 <sup>b</sup>	2.65±0.22	8.31±0.27
	30 (D9)	6.74±0.06	37.95±0.73 <sup>b</sup>	463.18±6.19 <sup>b</sup>	0.92±0.03 <sup>a</sup>	1.84±0.05 <sup>c</sup>	2.64±0.08 <sup>d</sup>	2.71±0.19	8.60±0.21

Two-Way ANOVA

蛋白质水平 protein level	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.734	0.903
淀粉水平 starch level		0.028	0.033	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	0.006
蛋白质水平×淀粉水平 interaction of protein and starch		<0.001	<0.001	0.212	0.304	0.431	0.275	0.868

注: 同一列数字不同上标字母表示差异显著( $P<0.05$ ), 下同

Notes: Values with different superscripts in each column indicate significant difference ( $P<0.05$ ), the same below

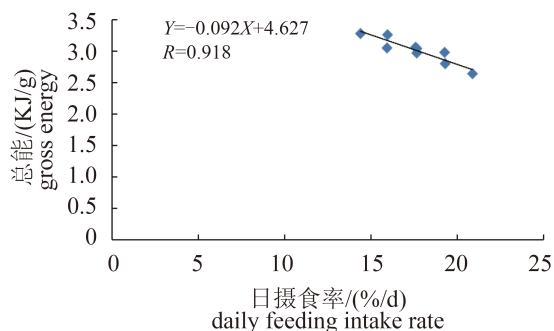


图1 斜带石斑鱼日摄食率与饲料总能的关系

Fig. 1 Relationship between daily feeding intake rates and gross energy values in diets

HSI、VSI没有影响( $P>0.05$ )(表2)。

## 2.2 体成分

饲料蛋白质和淀粉水平对鱼体水分、蛋白质、脂肪含量、肝糖原及肝脂含量产生显著影响(表3)。与其他组比较, 45P/20S、45P/30S、52P/10S、52P/20S和52P/30S组鱼体水分含量最低, 鱼体蛋白质和脂肪含量最高; 在所有饲料组中, 38P/10S组鱼体水分含量最高, 而鱼体蛋白质和脂肪含量最低( $P<0.05$ ); 38P/30S、45P/20S、45P/30S、52P/20S和52P/30S组肝糖原、肝脂含量显著高于其他各组( $P<0.05$ )。无论增加饲料蛋白

表3 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼鱼体成分、肝糖原和肝脂含量的影响

Tab. 3 Effect of different dietary protein and starch levels on whole-body composition, liver glycogen and lipid contents of <i>E.coioides</i> %							
蛋白质水平 protein level	淀粉水平 starch level	水分 moisture	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid	灰分 ash	肝糖原 liver glycogen	肝脂 liver lipid
38	10 (D1)	73.13±0.68 <sup>a</sup>	15.72±0.21 <sup>d</sup>	5.27±0.10 <sup>c</sup>	4.38±0.19	64.93±5.46 <sup>c</sup>	8.89±0.59 <sup>b</sup>
	20 (D2)	72.43±0.59 <sup>ab</sup>	16.20±0.17 <sup>c</sup>	5.56±0.11 <sup>d</sup>	4.47±0.13	66.90±4.80 <sup>c</sup>	9.02±0.48 <sup>b</sup>
	30 (D3)	72.06±0.55 <sup>c</sup>	16.42±0.20 <sup>bc</sup>	5.82±0.10 <sup>c</sup>	4.37±0.15	86.72±6.41 <sup>b</sup>	11.44±0.53 <sup>a</sup>
45	10 (D4)	71.73±0.24 <sup>c</sup>	16.68±0.18 <sup>b</sup>	6.23±0.07 <sup>b</sup>	4.40±0.13	69.13±3.36 <sup>c</sup>	9.07±0.71 <sup>b</sup>
	20 (D5)	70.27±0.37 <sup>d</sup>	17.35±0.22 <sup>a</sup>	6.65±0.11 <sup>a</sup>	4.41±0.11	88.11±4.37 <sup>b</sup>	11.25±0.58 <sup>a</sup>
	30 (D6)	70.04±0.61 <sup>d</sup>	17.26±0.27 <sup>a</sup>	6.64±0.07 <sup>a</sup>	4.50±0.14	106.55±3.67 <sup>a</sup>	11.23±0.50 <sup>a</sup>
52	10 (D7)	70.34±0.45 <sup>d</sup>	17.25±0.26 <sup>a</sup>	6.57±0.10 <sup>a</sup>	4.33±0.12	85.83±4.42 <sup>b</sup>	9.73±0.71 <sup>b</sup>
	20 (D8)	70.43±0.51 <sup>d</sup>	17.20±0.22 <sup>a</sup>	6.59±0.10 <sup>a</sup>	4.39±0.11	110.03±3.09 <sup>a</sup>	10.99±0.81 <sup>a</sup>
	30 (D9)	70.18±0.45 <sup>d</sup>	17.22±0.19 <sup>a</sup>	6.62±0.10 <sup>a</sup>	4.38±0.19	111.56±5.69 <sup>a</sup>	11.05±0.46 <sup>a</sup>
Two-Way ANOVA							
蛋白质水平	protein level	<0.001	<0.001	<0.001	0.590	<0.001	0.021
淀粉水平	starch level	0.002	0.001	<0.001	0.724	<0.001	<0.001
蛋白质水平×淀粉水平 interaction of protein and starch		0.098	0.031	0.001	0.849	0.001	0.010

质还是淀粉水平，鱼体水分含量随之下降，而鱼体蛋白质、脂肪含量、肝糖原及肝脂含量随之增加( $P<0.05$ )。各组鱼体灰分含量差异不明显( $P>0.05$ )。

### 2.3 肝脏脂肪和蛋白质代谢酶

肝脏中HL、LPL、FAS、GOT、GPT活性均随着饲料蛋白质和淀粉水平的提高而显著升高( $P<0.05$ )，且52P/30S组有最大酶活性(表4)。在不考虑蛋白质水平时，随着淀粉水平提高，HL、LPL、FAS的活性均显著增加( $P<0.05$ )；淀粉水平从10%增至20%时，GPT、GOT活性显著增加( $P<0.05$ )，而从20%增至30%时，GPT、GOT活性增加不明显( $P>0.05$ )。

### 2.4 肝脏糖代谢酶

斜带石斑鱼肝脏中糖代谢酶活性不受饲料蛋白质水平的影响，而受饲料淀粉水平的影响明显(除PFK)(表5)。肝脏中GK、PK、G6PD和ME活性均随淀粉水平的提高而显著升高( $P<0.05$ )，而PEPCK和G6Pase活性则显著下降( $P<0.05$ )。不同蛋白质和淀粉水平对各肝糖代谢酶活性无显著交互作用( $P>0.05$ )。

## 3 讨论

本实验表明，在不考虑淀粉水平的情况下，饲料蛋白质水平从38%增至45%时，增重率显著增加，但饲料蛋白质水平增至52%，则增重率增加不明显，说明45%的饲料蛋白质水平已能满足斜带石斑鱼生长的需要，这与Luo等<sup>[13]</sup>测定的斜带石斑鱼蛋白质需要量(48%)略低。当饲料蛋白质水平超过营养需要时，超出的部分可通过脱氨基作用进行分解供能，而且，过多的氨基酸降解会加重鱼体氮代谢负荷，反而不利于生长<sup>[17]</sup>。与以往的研究结果一致<sup>[18]</sup>，本实验发现，随饲料蛋白质水平的升高饲料效率逐渐升高，但蛋白质效率则逐渐下降，且饲料蛋白质从38%增至45%时，饲料效率增幅大于蛋白质效率降幅，而当饲料蛋白质从45%增至52%时，饲料效率增幅却小于蛋白质效率降幅。因此，从生长速度、饲料利用和蛋白质利用角度看，45%的饲料蛋白质水平用于斜带石斑鱼生长是合适的。毛义波等<sup>[15]</sup>测定的斜带石斑鱼适宜碳水化合物水平为21%，与此结果一致，本实验中，在饲喂10%、20%、30%淀粉饲料时，20%淀粉饲料获得了最大的增重率。饲料蛋白质效率随着淀粉水平的增加而增加，这说明饲料淀粉能明显促进斜带

表4 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼肝脂肪代谢酶和蛋白质代谢酶活性的影响

**Tab. 4 Effect of different dietary protein and starch levels on liver metabolic enzyme activities related to lipid and protein metabolism in *E. coioides***

蛋白质水平/% protein level	淀粉水平/% starch level	肝脂酶/ (U/g prot) HL	脂蛋白酯酶/ (U/g prot) LPL	脂肪酸合成酶/ (U/g prot) FAS	谷丙转氨酶/ (U/g prot) GPT	谷草转氨酶/ (U/g prot) GOT
38	10 (D1)	60.40±1.65 <sup>c</sup>	53.79±2.27 <sup>d</sup>	32.05±2.27 <sup>c</sup>	43.87±2.71 <sup>c</sup>	160.64±6.68 <sup>d</sup>
	20 (D2)	62.03±3.82 <sup>c</sup>	55.68±3.86 <sup>cd</sup>	34.50±2.25 <sup>c</sup>	48.60±1.35 <sup>d</sup>	183.42±4.62 <sup>c</sup>
	30 (D3)	74.87±2.40 <sup>b</sup>	58.17±2.28 <sup>bcd</sup>	40.50±1.68 <sup>b</sup>	49.19±2.44 <sup>d</sup>	184.60±7.11 <sup>c</sup>
45	10 (D4)	63.49±4.96 <sup>c</sup>	53.96±3.12 <sup>d</sup>	33.42±1.93 <sup>c</sup>	53.30±1.99 <sup>c</sup>	189.70±3.48 <sup>c</sup>
	20 (D5)	66.11±4.42 <sup>c</sup>	63.23±2.76 <sup>abc</sup>	45.95±1.70 <sup>a</sup>	58.02±2.43 <sup>b</sup>	209.22±6.14 <sup>b</sup>
	30 (D6)	81.29±3.85 <sup>ab</sup>	65.92±2.86 <sup>ab</sup>	46.30±2.13 <sup>a</sup>	58.42±1.19 <sup>b</sup>	212.16±5.47 <sup>b</sup>
52	10 (D7)	66.01±4.45 <sup>c</sup>	59.25±3.90 <sup>bcd</sup>	40.37±1.10 <sup>b</sup>	63.82±1.71 <sup>a</sup>	217.22±6.35 <sup>ab</sup>
	20 (D8)	80.11±4.19 <sup>ab</sup>	63.44±3.93 <sup>abc</sup>	45.18±2.51 <sup>a</sup>	64.79±2.91 <sup>a</sup>	221.20±7.53 <sup>ab</sup>
	30 (D9)	84.29±4.82 <sup>a</sup>	71.23±5.20 <sup>a</sup>	46.44±0.82 <sup>a</sup>	66.96±1.59 <sup>a</sup>	226.02±5.35 <sup>a</sup>
Two-Way ANOVA						
蛋白质水平	protein level	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
淀粉水平	starch level	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	<0.001
蛋白质水平×淀粉水平 interaction of protein and starch		0.063	0.180	0.002	0.545	0.085

表5 饲料中不同蛋白质和淀粉水平对肝糖代谢酶活性的影响

**Tab. 5 Effect of different dietary protein and starch levels on liver metabolic enzyme activities related to glucose metabolism in *E. coioides***

蛋白质水平/% protein level	淀粉水平/% starch level	葡萄糖激酶/ (U/g prot) GK	丙酮酸激酶/ (U/g prot) PK	磷酸果糖激酶/ (U/g prot) PFK	磷酸烯醇式丙酮酸激酶/ (U/g prot) PEPCK	葡萄糖-6-磷酸酶/ (U/g prot) G6Pase	葡萄糖-6-磷酸脱氢酶/ (U/mg prot) G6PD	苹果酸酶/ (U/g prot) ME
38	10(D1)	37.47±3.13 <sup>c</sup>	26.21±1.52 <sup>c</sup>	30.06±1.66	62.72±3.75 <sup>a</sup>	261.03±6.90 <sup>a</sup>	10.26±0.38 <sup>c</sup>	1.27±0.07 <sup>d</sup>
	20(D2)	45.55±4.00 <sup>ab</sup>	29.77±1.87 <sup>bc</sup>	30.47±1.07	56.17±3.27 <sup>ab</sup>	243.08±9.05 <sup>bc</sup>	11.12±0.42 <sup>bc</sup>	1.33±0.06 <sup>cd</sup>
	30(D3)	50.49±3.36 <sup>a</sup>	34.42±2.83 <sup>ab</sup>	31.45±1.45	46.60±3.66 <sup>cd</sup>	223.93±10.31 <sup>dc</sup>	11.80±0.30 <sup>ab</sup>	1.43±0.06 <sup>abc</sup>
45	10(D4)	38.29±3.46 <sup>c</sup>	26.27±2.54 <sup>c</sup>	29.81±1.56	61.03±3.75 <sup>ab</sup>	254.58±5.14 <sup>ab</sup>	10.37±0.58 <sup>c</sup>	1.33±0.04 <sup>cd</sup>
	20(D5)	46.90±3.19 <sup>ab</sup>	30.13±1.44 <sup>bc</sup>	31.13±1.35	54.82±3.73 <sup>ab</sup>	241.54±5.98 <sup>bc</sup>	11.20±0.58 <sup>bc</sup>	1.37±0.05 <sup>bcd</sup>
	30(D6)	52.41±4.08 <sup>a</sup>	36.16±2.37 <sup>a</sup>	31.57±1.20	44.46±3.61 <sup>d</sup>	219.57±7.60 <sup>c</sup>	11.94±0.32 <sup>ab</sup>	1.48±0.04 <sup>ab</sup>
52	10(D7)	40.23±2.09 <sup>bc</sup>	26.46±2.45 <sup>c</sup>	31.28±1.51	59.23±4.36 <sup>ab</sup>	252.40±4.56 <sup>ab</sup>	10.51±0.43 <sup>c</sup>	1.36±0.05 <sup>bcd</sup>
	20(D8)	46.87±2.31 <sup>ab</sup>	30.71±1.08 <sup>bc</sup>	32.05±0.26	52.79±3.66 <sup>bc</sup>	235.34±6.29 <sup>cd</sup>	11.48±0.41 <sup>ab</sup>	1.44±0.05 <sup>abc</sup>
	30(D9)	51.74±2.72 <sup>a</sup>	38.31±2.00 <sup>a</sup>	31.72±0.82	43.78±3.20 <sup>d</sup>	214.71±5.35 <sup>c</sup>	12.31±0.20 <sup>a</sup>	1.52±0.06 <sup>a</sup>
Two-Way ANOVA								
蛋白质水平	protein level	0.484	0.251	0.220	0.205	0.059	0.179	0.003
淀粉水平	starch level	<0.001	<0.001	0.157	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
蛋白质水平×淀粉水平 interaction of protein and starch		0.966	0.637	0.851	0.998	0.978	0.983	0.971

石斑鱼对饲料蛋白质利用,这个结果与Fernández等<sup>[19]</sup>的实验结果一致。饲料中适宜的碳水化合物

水平不仅可减少蛋白质作为能量物质供体而被氧化的机会<sup>[13]</sup>,还在一定程度上促进鱼类的生长<sup>[20]</sup>。

本实验发现45P/20S、45P/30S组增重率与52P/10S、52P/20S组一致,说明当饲料蛋白质水平由52%降至45%,淀粉水平由10%增至20%或30%时,淀粉节约蛋白质的效应明显,且以45P/20S组合为最佳。在38%蛋白质水平下,尽管增重率、饲料效率和蛋白质效率均随饲料淀粉水平增加而明显增加,且以最高淀粉水平饲料组的数值为最大,但仍明显低于45%、52%蛋白质饲料组,但是从另外一方面看,较低的饲料蛋白质水平(38%)下更有利于斜带石斑鱼对淀粉的利用。尽管如此,本实验发现,30%淀粉饲料组HSI明显高于20%和10%淀粉饲料组,可能与30%饲料淀粉水平促进肝糖原和肝脂含量累积有关(表3)。鱼类通常通过调节摄食量来满足代谢所需的能量<sup>[21-22]</sup>。本实验表明,饲料摄食率均随饲料蛋白质水平和淀粉水平的提高而降低,这与饲料能量含量随蛋白质水平和淀粉水平的提高而相应增加相反(表1)。我们发现饲料总能( $X$ )与摄食率( $Y$ )之间呈负线性关系,表明斜带石斑鱼的摄食量受饲料能量含量的调节。

本实验发现,在38%和45%的饲料蛋白质水平下,10%淀粉饲料组鱼体蛋白质和脂肪含量明显低于20%、30%淀粉饲料组。在每一个饲料淀粉水平下,38%蛋白质水平饲料组鱼体蛋白质和体脂含量都是明显低于45%和52%蛋白质饲料组,说明38%饲料蛋白质水平不利于斜带石斑鱼体蛋白质和体脂肪沉积。在不考虑饲料淀粉水平或饲料蛋白质水平的前提下,鱼体蛋白质和脂肪含量随着饲料蛋白质水平和淀粉水平的提高而增加,鱼体水分含量则随之降低。该结果与Chen等<sup>[23]</sup>的结果一致。

GPT和GOT是肝中重要的两种转氨基酶。增加饲料蛋白质水平能增强沙重牙鲷(*Diplodus sargus*)肝中两种酶的活性<sup>[24]</sup>。本实验也发现,增加饲料蛋白质和淀粉水平均能促进GPT和GOT的活性升高,说明鱼体蛋白质代谢旺盛,更多的氨基酸用于蛋白质合成。本实验还发现,饲料蛋白质水平越高,肝中GPT和GOT活性越强,而饲料淀粉水平在20%以上时GPT和GOT活性水平变化不大,因此,饲料蛋白质水平对GPT和GOT的影响强于饲料淀粉水平。

HL和LPL参与脂肪的分解,而FAS则参与脂肪的合成。蒋利和等<sup>[25]</sup>研究表明,尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)肝中HL和LPL活性在一定

范围内随饲料碳水化合物水平的提高而升高。本实验发现,肝中HL、LPL和FAS活性随着饲料淀粉水平的提高均呈明显上升趋势,本实验同时观察到提高饲料蛋白质水平同样提高了肝HL、LPL和FAS活性,且45P/30S、52P/20S、52P/30S饲料组鱼的肝HL、LPL和FAS活性都较高,表明提高饲料蛋白质水平和淀粉水平可同时促进脂肪的分解和合成。因没有测定HL、LPL和FAS的脂肪降解或合成速率,还无法清晰判断脂肪生成率。从鱼体脂肪含量变化趋势看,脂肪的合成速率大于脂肪的降解速率。

糖酵解、糖异生与三羧酸循环是动物体糖代谢的重要途径,在维持体内糖稳定性中发挥重要作用<sup>[26]</sup>。PK和PFK是糖酵解途径的关键限速酶。刘波等<sup>[27]</sup>、戈贤平等<sup>[28]</sup>对翘嘴红鲌(*Erythroculter ilishaeformis*)的研究发现,肝脏和血液中GK和PK活性随饲料碳水化合物含量的增加而升高。与此结果一致,本实验发现,无论饲料蛋白质水平高低,斜带石斑鱼肝中GK和PK活性均随饲料淀粉水平的提高而升高,但饲料淀粉水平从20%升至30%时二者的活性差异不明显,这与舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*)的结果<sup>[29]</sup>相似,表明20%的淀粉水平可能是斜带石斑鱼在糖代谢利用过程的上限值。PFK活性与碳水化合物水平的关系目前还不明确。Shiau等<sup>[30-31]</sup>研究发现,奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)体内PFK活性随血糖水平的提高而明显增强,但舌齿鲈肝PFK活性随淀粉水平的提高而下降<sup>[32]</sup>。对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)而言,肝脏PFK的活性不受碳水化合物水平的影响<sup>[33-34]</sup>,本实验结果进一步支持了这个结果。可见,不同鱼类PFK活性对碳水化合物的敏感性存在较大差异。总的来说,较高水平的碳水化合物促进斜带石斑鱼肝GK和PK活性的升高,糖酵解作用增强。PEPCK和G6Pase是糖异生途径的关键限速酶,它们的活性可影响鱼体对糖代谢的调节。研究发现,翘嘴红鲌肝PEPCK活性、鲤(*Cyprinus carpio*)G6Pase活性随饲料碳水化合物水平的增加而明显降低<sup>[35-36]</sup>,我们的实验结果与此一致,同时,增加饲料蛋白质水平降低了G6Pase活性,这说明高的碳水化合物和蛋白质水平均可抑制糖异生作用。本实验表明,增加饲料淀粉水平促进了肝中G6PD和ME活性的提高,因此,促进斜带石斑鱼对淀粉的进一步利

用。高的饲料蛋白质水平伴随高的肝ME活性,预示更多饲料蛋白质参与了糖代谢。

#### 4 结论

①饲料蛋白质和淀粉水平均能显著影响斜带石斑鱼的生长,二者间存在明显的交互作用。饲料蛋白质为45%,淀粉水平为20%,斜带石斑鱼获得较佳的生长性能。增加饲料蛋白质和淀粉水平可同时促进鱼体蛋白质和脂肪沉积。

②肝中GK、PK、G6PD活性均随淀粉水平的提高明显上升,而PEPCK和G6Pase活性明显下降。肝中G6Pase活性随蛋白质水平的提高明显下降,而ME活性则明显升高。肝中HL、LPL、FAS、GPT和GOT活性均随蛋白质和淀粉水平的提高呈明显上升趋势。说明饲料蛋白质和淀粉水平对斜带石斑鱼肝糖、脂肪和蛋白质代谢的影响程度不同。

#### 参考文献:

- [1] Gao W, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Protein-sparing capability of dietary lipid in herbivorous and omnivorous freshwater finfish: a comparative case study on grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2011, 17(1): 2-12.
- [2] Rosas C, Cuzon G, Gaxiola G, *et al.* Influence of dietary carbohydrate on the metabolism of juvenile *Litopenaeus stylirostris*[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2000, 249(2): 181-198.
- [3] Lin M F, Shiao S Y. Requirements of vitamin C ( $L$ -ascorbyl-2-sulphate and  $L$ -ascorbyl-2-polyphosphate) and its effects on non-specific immune responses of grouper, *Epinephelus malabaricus*[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(3): 183-189.
- [4] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish[J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 67-80.
- [5] Hemre G I, Torrissen O, Krogdahl Å, *et al.* Glucose tolerance in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., dependence on adaption to dietary starch and water temperature[J]. *Aquaculture Nutrition*, 1995, 1(2): 69-75.
- [6] Shiao S Y, Cheng D J. Ammonia excretion and oxygen consumption of tilapia are affected by different carbohydrate ingestion[J]. *Fisheries Science*, 1999, 65(2): 321-322.
- [7] Peres H, Oliva-Teles A. Utilization of raw and gelatinized starch by European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles[J]. *Aquaculture*, 2002, 205(3-4): 287-299.
- [8] 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.
- [9] Wu X Y, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effects of raw corn starch levels on growth, feed utilization, plasma chemical indices and enzyme activities in juvenile yellowfin seabream *Sparus latus* Houttuyn[J]. *Aquaculture Research*, 2007, 38(12): 1330-1338.
- [10] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish[J]. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11(4): 337-369.
- [11] 农业部渔政渔业管理局. 2015年中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015.
- Fishery Administration of the Ministry of Agriculture. China Statistical Yearbook of Fisheries 2015 [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2015(in Chinese).
- [12] Millamena O M, Toledo J D. Replacement of fish meal by Lupin meal in a practical diet for grouper *Epinephelus coioides* juveniles[C]//10th International Symposium on Nutrition & Feeding in Fish. Feeding for Quality. Rhodes, Greece: National Center for Marine Research, 2002: 2-7.
- [13] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and body composition of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isonitrogenous diets in floating netcages[J]. *Aquaculture International*, 2005, 13(3): 257-269.
- [14] Luo Z, Liu Y J, Mai K S, *et al.* Optimal dietary protein requirement of grouper *Epinephelus coioides* juveniles fed isoenergetic diets in floating net cages[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2004, 10(4): 247-252.
- [15] 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): 550-559.
- Mao Y B, Liu H Y, Tan B P, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels and starvation on growth and glucose tolerance ability in grouper (*Epinephelus coioides*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 550-559(in Chinese).



- [16] Li W F, Wu X Y, Lu S D, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate/lipid ratios on growth, feed utilization and body composition of early giant grouper *Epinephelus lanceolatus* juveniles[J]. Journal of Aquaculture Research & Development, 2016, 7(3): 415.
- [17] Lin Y H, Shiau S Y. Dietary lipid requirement of grouper, *Epinephelus malabaricus*, and effects on immune responses[J]. Aquaculture, 2003, 225(1-4): 243-250.
- [18] Abdel-Tawwab M, Ahmad M H, Khattab Y A E, *et al.* Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.)[J]. Aquaculture, 2010, 298(3-4): 267-274.
- [19] Fernández F, Miquel A G, Córdoba M, *et al.* Effects of diets with distinct protein-to-carbohydrate ratios on nutrient digestibility, growth performance, body composition and liver intermediary enzyme activities in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fingerlings[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2007, 343(1): 1-10.
- [20] Suwirya K, Giri N A, Marzuqi M. Effect of dietary n-3 HUFA on growth of humpback grouper (*Cromileptes altivelis*) and tiger grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) juveniles[M]//Rimmer M A, McBride S, Williams K C. Advances in Grouper Aquaculture. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2004: 98-100.
- [21] Coutinho F, Peres H, Guerreiro I, *et al.* Dietary protein requirement of sharpnose sea bream (*Diplodus puntazzo*, Cetti 1777) juveniles[J]. Aquaculture, 2012, 356-357: 391-397.
- [22] Ozório R O A, Valente L M P, Correia S, *et al.* Protein requirement for maintenance and maximum growth of two-banded seabream (*Diplodus vulgaris*) juveniles[J]. Aquaculture Nutrition, 2009, 15(1): 85-93.
- [23] Chen Y J, Tian L X, Wang H J, *et al.* Effect of protein and starch level in practical extruded diets on growth, feed utilization, body composition, and hepatic transaminases of juvenile grass carp, *Ctenopharyngodon idella*[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2012, 43(2): 187-197.
- [24] Sá R, Pousão-Ferreira P, Oliva-Teles A. Growth performance and metabolic utilization of diets with different protein: carbohydrate ratios by white sea bream (*Diplodus sargus*, L.) juveniles[J]. Aquaculture Research, 2007, 38(1): 100-105.
- [25] 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.
- Jiang L H, Wu H Y, Huang K, *et al.* Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance and liver metabolism functions of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 245-255(in Chinese).
- [26] Craig S R, Schwarz M H, McLean E. Juvenile coho (*Rachycentron canadum*) can utilize a wide range of protein and lipid levels without impacts on production characteristics[J]. Aquaculture, 2006, 261(1): 384-391.
- [27] 刘波, 谢骏, 苏永腾, 等. 高碳水化合物日粮对翘嘴红鲌生长、GK及GK mRNA表达的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(1): 47-53.
- Liu B, Xie J, Su Y T, *et al.* Effect of high carbohydrate levels of dietary on growth, GK activities and GK mRNA levels in topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2008, 32(1): 47-53(in Chinese).
- [28] 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.
- Ge X P, Liu B, Xie J, *et al.* Effect of different carbohydrate levels of dietary on growth, plasma biochemical indices and hepaticpancreas carbohydrate metabolic Enzymes in topmouth culter (*Erythroculter ilishaeformis* Bleeker)[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2007, 30(3): 88-93(in Chinese).
- [29] 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.
- [30] Shiau S Y, Chen M J. Carbohydrate utilization by tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*) as influenced by different chromium sources[J]. The Journal of Nutrition, 1993, 123(10): 1747-1753.
- [31] Shiau S Y, Liang H S. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the

- diet[J]. *The Journal of Nutrition*, 1995, 125(4): 976-982.
- [32] Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Effect of normal and waxy maize starch on growth, food utilization and hepatic glucose metabolism in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2006, 143(1): 89-96.
- [33] 张世亮. 饲料中糖结构、糖水平及糖脂比对瓦氏黄颡鱼幼鱼生长及糖代谢的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- Zhang S L. Effects of dietary carbohydrate source, level and carbohydrate-to-lipid ratio on growth performance and glycometabolism of juvenile darkbarbel catfish, *Pelteobagrus vachelli*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011 (in Chinese).
- [34] 聂琴, 苗惠君, 苗淑彦, 等. 不同糖源及糖水平对大菱鲆糖代谢酶活性的影响[J]. *水生生物学报*, 2013, 37(3): 425-433.
- Nie Q, Miao H J, Miao S Y, *et al.* Effects of dietary carbohydrate sources and levels on the activities of carbohydrate metabolic enzymes in turbot[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2013, 37(3): 425-433(in Chinese).
- [35] 俞菊华, 戈贤平, 唐永凯, 等. 碳水化合物、脂肪对翘嘴红鲌PEPCK基因表达的影响[J]. *水产学报*, 2007, 31(3): 369-373.
- Yu J H, Ge X P, Tang Y K, *et al.* Effects of carbohydrate, lipid in diets on the PEPCK gene expression of *Erythroculter ilishaeformis*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2007, 31(3): 369-373(in Chinese).
- [36] Furuichi M, Yone Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream[J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1982, 48(7): 945-948.

## Effects of different dietary protein and starch levels on the growth and liver metabolism of grouper (*Epinephelus coioides*)

HUANG Yan, LI Jian, WANG Xuexi, WANG Kun, YE Jidan\*

(Xiamen Key Laboratory for Feed Quality Testing and Safety Evaluation,  
Fisheries College of Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** A 3×3 factorial experiment was designed to determine the interactive effects of dietary protein and starch levels on growth performance of grouper (*Epinephelus coioides*). Nine diets were formulated to contain three levels of crude protein (P) (38%, 45% and 52%) and three levels of starch (S) (10%, 20% and 30%). Fish were fed the diets twice daily over a 56-day study period. Fish fed 38% crude protein and 10% starch diet (38P/10S diet) had significantly lower weight gain rate than those fed other diets, and fish receiving 52P/10S diet achieved highest weight gain rate among the test diets, but comparable to fish receiving diets 45P/20S, 45P/30S and 52P/20S. Increasing dietary crude protein and starch levels led to increased feed efficiency, whole-body protein and lipid liver glycogen content and liver lipid contents, and reduced daily feeding rate and whole-body moisture content. Increasing dietary protein level decreased protein efficiency ratio, but increasing dietary starch level increased hepatosomatic index, protein efficiency ratio and viscerasomatic index. Dietary protein and starch levels did not affect whole-body ash content. Hepatic lipase, lipoprotein lipase, fatty acid synthetase, glutamic-oxalacetic and glutamic-pyruvic transaminase activities increased with the increase in dietary protein or starch level. Increasing dietary protein level resulted in lowered liver glucose-6-phosphatase activity, and elevated liver malic enzyme activity, but did not affect liver activities of glucokinase, pyruvate kinase, phosphofructokinase, phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucose-6-phosphate dehydrogenase. Increasing dietary starch level led to increased liver activities of glucokinase, pyruvate kinase, phosphofructokinase, glucose-6-phosphate dehydrogenase and malic enzyme, but reduced activities of phosphoenolpyruvate carboxylase kinase and glucose-6-phosphatase. These results indicate that the growth and liver metabolism of grouper were affected by both dietary protein and starch levels, in which the enzyme activity related to glucose metabolism responds to dietary starch level more sensitively than dietary protein level. The diet containing 45% protein and 20% starch is suitable for the optimal growth of this fish species.

**Key words:** *Epinephelus coioides*; protein levels; starch levels; growth; liver metabolism

**Corresponding author:** YE Jidan. E-mail: yjdwk@sina.com

**Funding projects:** National Natural Science Foundation of China (31372546); Science and Technology Major/Special Project of Fujian Province (2016NZ0001-3)