

饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼生长性能、 消化酶活性及肌肉成分的影响

任鸣春^{1,2}, 贾文锦¹, 戈贤平^{1,2*}, 谢 骏^{1,2}, 刘 波^{1,2}, 周群兰^{1,2}, 廖英杰¹

(1. 南京农业大学无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081;

2. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 农业部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081)

摘要: 为探讨饲料淀粉水平对团头鲂成鱼生长、消化酶活性和肌肉成分的影响, 选用初始均重为 (161 ± 2.7) g 的团头鲂成鱼 360 尾, 随机分成 6 组 (每组 3 个重复), 分别投喂含淀粉 17.1%、21.8%、26.4%、32.0%、36.3% 和 41.9% 的等氮等脂饲料 9 周。结果发现, 团头鲂成鱼成活率和特定生长率不受饲料淀粉水平影响, 但饲料添加适量淀粉能提高饲料和蛋白利用率, 淀粉水平对肝脏和肠道中的总蛋白酶和纤维素酶活性不产生影响, 却显著影响淀粉酶活性。肝体比、肝糖原和肌肉粗脂肪含量随饲料淀粉含量的增加而显著增加, 血清血糖、胆固醇和甘油三酯含量不受饲料淀粉水平的显著影响, 饲料中添加过量淀粉显著降低了血清补体 3 和补体 4 含量。以蛋白质效率和饲料效率为评价指标, 经折线模型回归分析, 得到团头鲂成鱼饲料中淀粉的适宜添加量分别为饲料干重的 34.1% 和 31.4%, 但考虑到血清补体的活性, 团头鲂成鱼日粮淀粉水平不应超过 36.3%。

关键词: 团头鲂; 碳水化合物利用率; 消化酶活性; 肌肉成分

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

蛋白质和脂肪是水产动物最主要的营养物质, 能够被大多数鱼类充分利用, 并且对鱼类生长和生命维持起到重要作用, 但其成本相对高昂。糖类是廉价的能量来源, 饲料中添加适宜水平的糖类能减少蛋白质和脂质的分解代谢, 起到节约成本的作用, 并且淀粉等糖类作为天然粘合剂, 可以提高饲料的耐水性和稳定性, 在鱼类配合饲料中被广泛应用^[1]。但是, 糖类在鱼类饲料中如果添加过量则会抑制鱼类生长, 引起代谢紊乱, 造成摄食后持续高血糖, 并伴随体内脂肪存储过剩, 甚至会导致免疫力的下降等不良后果。鱼类对不同来源的糖类利用率是不同的, 在大多数谷物中, 淀粉是主要能量储备物质, 也是最易消化的碳水化合物, 因此, 鱼类饲料中淀粉适宜添加量的研究成为水产饲料研究的热点^[2]。

团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*), 又称武

昌鱼, 属鲤形目 (Cypriniformes), 鲤科 (Cyprinidae), 鲃亚科 (Abramidinae), 鲂属 (*Megalobrama*)。20 世纪 60 年代, 团头鲂作为我国淡水鱼混养系统中的一种优良的草食性鱼类在全国推广。该鱼具有肉质鲜美、生长快、抗病强、营养价值高等优点^[3]。尽管如此, 团头鲂营养需要量的信息相当有限, 传统配方饲料的生产依赖于有类似食草习惯的草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 的配方。最新研究表明, 饲料中添加 31% 的蛋白质和 8% 的脂肪能够促进团头鲂的生长和提高蛋白质利用率^[4]。研究证明, 饲料中添加 31% 淀粉, 团头鲂幼鱼生长性能达到最好^[5]。糖类利用率会受到鱼体大小的影响, 例如饲喂含葡萄糖饲料时, 相比于小规格的尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*), 大规格的罗非鱼增重率、饵料系数、蛋白质和能量沉积率显著提高^[6]。至今, 关于大规模团

收稿日期: 2014-04-24 修回日期: 2014-06-07

资助项目: 国家自然科学基金青年科学基金 (31302199); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (2013JBFR03); 公益性行业 (农业) 科研专项 (201003020)

通信作者: 戈贤平, E-mail: gexp@ffrc.cn

头鲂对饲料中碳水化合物利用率及其不同水平碳水化合物对消化酶和免疫影响未见报道。因此,本实验旨在研究饲料中不同淀粉水平对团头鲂成鱼生长性能、消化酶活性和免疫能力的影响,并确定碳水化合物适宜添加量,为研制团头鲂成鱼营养平衡的人工配合饲料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本实验采用单因素梯度配方设计,以鱼粉、酪

蛋白和明胶为蛋白源,豆油和大豆磷脂油为脂肪源配制 6 组等氮等脂半精制饲料。饲料中淀粉含量分别为 17. 1%、21. 8%、26. 4%、32. 0%、36.3% 和 41.9% (占干重)。实验饲料用微晶纤维素作填充剂,饲料蛋白质和脂肪添加量分别为 30% 和 8% (表 1)。各种原料分别充分混匀,加 15% 自来水混匀后,用 SLP-45 型质粒机(中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所)制成粒径 1.0 mm 的沉性颗粒饲料,室温 72 h 阴干后于 -10 ℃ 冰柜中保存备用。

表 1 实验饲料配方和营养成分组成(干重)
Tab.1 Composition and proximate analyses of the experimental diets(air-dry basis)

原料/% ingredients	组别 groups					
	1	2	3	4	5	6
酪蛋白/% casein ¹	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
明胶/% gelatin ¹	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
白鱼粉/% white fish meal ¹	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
豆油/% soybean oil	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
大豆磷脂/% soybean lecithin	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
小麦淀粉/% wheat starch ²	18.0	23.0	28.0	33.0	38.0	43.0
微晶纤维素/% microcrystalline cellulose ³	29.0	24.0	19.0	14.0	9.0	4.0
羧甲基纤维素/% carboxyl-methyl cellulose	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
维生素预混料/% vitamin premix ⁴	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
矿物质预混料/% mineral premix ⁵	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
营养成分分析 proximate analysis(dry weight basis)						
水分/% moisture	8.0	7.7	7.6	7.9	7.4	7.8
粗蛋白/% crude protein	30.3	30.1	29.7	29.7	29.6	29.2
粗脂肪/% crude lipid	8.5	8.7	8.4	8.5	8.5	8.6
淀粉/% starch	17.1	21.8	26.4	32.0	36.3	41.9
粗灰分/% ash	5.5	5.5	5.4	5.6	5.4	5.2
可消化能量/(kJ/g) digestible energy ⁶	13.4	14.3	14.9	15.9	16.6	17.5

注:1. 酪蛋白,从华安生物制品有限公司(中国甘肃)购得,粗蛋白 90.2%;明胶,从展宇化学有限公司(中国上海)购得,粗蛋白 91.3%;白鱼粉,从秘鲁利马公司购得,粗蛋白 67.4%,粗脂肪 9.3%。2. 小麦淀粉从广胜有限公司(中国江苏)购得。3. 微晶纤维素从新旺有限公司(中国浙江)购得。4. 维生素预混料(每 kg 饲料):维生素 A,9 000 IU;维生素 D,2 500 IU;维生素 E,45 mg;维生素 K₃,2.2 mg;维生素 B₁,3.2 mg;维生素 B₂,10.9 mg;维生素 B₆,50 mg;维生素 B₁₂,1.16 mg;生物素,0.50 mg;泛酸盐,10.00 mg;叶酸,1.65 mg;肌醇 150 mg;烟酸,25 mg。5. 矿物质预混料(每 kg 饲料):磷酸氢钙,20 g;氯化钠,2.6 g;氯化钾,5 g;硫酸镁,2 g;硫酸亚铁,0.9 g;硫酸锌,0.06 g;硫酸铜,0.02 g;硫酸锰,0.03 g;硒酸钠,0.02 g;氯化钴,0.05 g;碘化钾,0.004 g。6. 可消化能量 = 蛋白(24 kJ/g) + 脂肪(38 kJ/g) + 淀粉(17 kJ/g)

Notes:1. csein,obtained from Hua' an Biological Products Lit. (Gansu,China) ,crude protein 90.2% ;gelatin,obtained from Zhanyu chemical Lit. (Shanghai,China) ,crude protein 91.3% ;white fish meal,obtained from Copeinca(Lima,Peru) ,crude protein 67.4% ,crude lipid 9.3% . 2. wheat starch obtained from Guangsheng starch Lit. (Jiangsu, China) . 3. microcrystalline cellulose, obtained from Xinwang chemical Lit. (Zhejiang, China) . 4. vitamin premix(per kg diet) :Vitamin A ,9 000 IU;Vitamin D ,2 500 IU;Vitamin E,45 mg;Vitamin K₃ ,2.2 mg;Vitamin B₁ ,3.2 mg;Vitamin B₂ ,10.90 mg;Vitamin B₆ ,50 mg;Vitamin B₁₂ ,1.16 mg;Biotin,0.50 mg;Pantothenate,10 mg;Folic acid,1.65 mg;Inositol,150 mg;Niacin acid,25 mg. 5. mineral premix(g/kg of diet) :calcium biphosphate,20 g;sodium chloride,2.6;potassium chloride,5 g;magnesium sulphate,2 g;ferrous sulphate,0.9 g;zinc sulphate,0.06 g;cupric sulphate,0.02;manganese sulphate,0.03 g;sodium selenate,0.02 g;cobalt chloride,0.05 g;potassium iodide,0.004 g. 6. digestible energy(kJ/g) = protein(24 kJ/g) + fat(38 kJ/g) + starch(17 kJ/g)

1.2 实验鱼与饲养管理

养殖实验在中国水产科学研究院淡水渔业研究中心南泉基地的循环系统中进行。实验所用团头鲂购自本基地,驯化 15 d 后,将 360 条体质健壮,初始体质量 (161 ± 2.7) g,规格和重量基本一致的团头鲂鱼种随机分入 18 个循环桶(规格:1 000 L)中,6 个实验组,每组设 3 个重复,每个重复放养 20 尾。每天定时投喂 3 次(8:00,12:00 和 16:00),每次投喂持续 30 min,日投饵量为鱼体质量的 3%~5%,并根据摄食和生长情况作适当调整,直到表观饱食为止。

每天定时(8:00 和 16:00)测定循环桶内水体的水温、溶解氧和 pH。每周给循环桶更换 1/3 的新鲜水,并且定期测定氨氮和亚硝酸盐含量,以保证循环桶中水质清新。饲养期间水温 28~30 °C,pH 为 7.2~7.8,溶解氧 > 5 mg/L,氨氮 < 0.01 mg/L。减少人为干扰,保持安静,防止额外应激,每日观察鱼摄食及死亡情况,发现死鱼及时捞出称重记数,并检查死亡原因。正式养殖 9 周后结束,量取鱼体长、称重和采样等。

1.3 样品测定与分析

常规生长指标测定 饲养实验结束后,禁食 24 h,每桶随机选取 5 尾,每个处理 15 尾鱼,采血后测定每条鱼的体质量、体长、肝脏重等,以计算肝体比,取团头鲂肠道和肝脏匀浆,以备后续检测分析,随后对每桶余下的鱼体称重后计算特定增长率等。

血液指标测定 饲养实验结束后,分别从每桶随机取团头鲂 5 尾,每个处理 15 尾鱼,用浓度为 100 mg/L 的 MS-222 作快速深度麻醉,用一次性医用注射器(用肝素钠润湿)从尾静脉采血。将血液于 4 °C 条件下 $3\,500 \times g$ 离心 10 min,制备血清,于 -70 °C 冻存。葡萄糖(Glu)、胆固醇(Cho)和甘油三酯(Tri)等指标在深圳迈瑞 BS-400 全自动生化分析仪上分析,试剂盒均购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。

肌肉成分分析 饲养实验结束后,每桶随机选取 5 尾鱼,每个处理 15 尾鱼,用于测定肌肉的粗蛋白、粗脂肪、灰分和水分含量等常规营养成分。通过常压干燥法在 105 °C 的烘箱中烘至恒重来计算干物质含量;通过凯氏定氮法来检测样品的粗蛋白含量;使用索氏抽提法即利用乙醚抽脂来检测粗脂肪含量;采用 560 °C 灼烧法在马弗炉

焚烧 5 h 后计算灰分含量。

消化酶的测定 蛋白酶活性根据 Kumar 等^[7]描述的方法测定,以酪氨酸为标准,1 min 内催化形成 1 μg 酪氨酸所需酶量被定义为 1 单位的酶活性。淀粉酶活性参考 Hidalgo^[8]等描述方法来测定,100 mL 血浆中的淀粉酶,在 37 °C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉为 1 个单位。纤维素酶活性根据 Saha 等^[9]方法测定,1 个单位的纤维素酶被定义为 1 min 降解 1 μg 还原糖释放其底物所需的量。

其他指标的测定 血清中补体 3 和补体 4,37 °C 条件下孵育,与相应抗体结合,形成抗原-抗体复合物浓度所对应的补体含量。测定血清补体 3(C3)和补体 4(C4)试剂盒(购自南京建成生物工程研究所)。超氧化物歧化酶(SOD)采用黄嘌呤氧化酶法测定^[5],所用试剂盒购自南京建成生物工程研究所。

1.4 相关指标计算公式

存活率(survival rate, SR, %) = $100 \times N_t / N_0$

摄食率(feed intake, FI, g/d) = $W / ((W_0 + W_t) / 2 \times t)$

特定增长率(specific growth rate, SGR, %/d) = $100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$

饲料效率(feed efficiency rate, FER) = $(W_t - W_0) / FI$

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) = $(W_t - W_0) / (FI \times P_i)$

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

能量摄入(energy intake, EI, kJ/d) = $(E \times F) / N_0$

式中, W (g)为每天摄入饲料干物质重量; W_0 (g)为鱼初体均重; W_t (g)为鱼末体均重; t (d)为饲喂天数; W_h (g)为每尾鱼末肝脏重; W_b (g)为每尾鱼末体质量; N_t 为收获尾数, N 为放养尾数; N_0 为每缸鱼数量; E (kJ/g)为饲料中所含能量; F (g)为每缸每天摄入饲料重; P_i 为饲料蛋白含量。

1.5 数据统计与分析

实验数据用 SPSS 16.0 统计软件包中的单因素方差分析(One-Way ANOVA),若差异显著时,再进行多重比较(Tukey's test), $P < 0.05$ 表示差异显著,所有的结果均以平均值 ± 标准误(mean ± SE)表示。通过折线法(broken-line),根据团头鲂成鱼的蛋白质效率和饲料效率与饲料中

淀粉水平的相关性得出最适添加量。

2 结果

2.1 饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼生长性能和饲料利用率的影响

各实验组的团头鲂存活率都在 93.3% 以上,实验处理间无显著差异($P>0.05$)(表 2)。随着饲料中淀粉水平的增加,各实验组的终末体质量

(FWB)、特定生长率(SGR)没有显著差异($P>0.05$)。然而,随着饲料中淀粉水平的增加,饲料效率(FER)和蛋白质效率(PER)呈现先升高后趋于平缓的趋势,而淀粉含量在 26.4%~41.9% 饲料的实验组间饲料效率和蛋白质效率相比没有显著差异($P>0.05$)。但是,随着饲料中淀粉水平的逐渐增加,摄食率(FI)却显著降低($P<0.05$)。各处理组间能量摄入(EI)无显著差异($P>0.05$)。

表 2 饲料中不同水平淀粉对团头鲂生长性能和饲料利用率的影响
Tab. 2 Growth performance and feed utilization of blunt snout bream fed with different diets($n=3$)

淀粉水平/% starch level	存活率/% SR	终末体质量/g FWB	特定生长率/ (%/d) SGR	饲料效率 FER	蛋白质效率 PER	摄食率/ (g/d) FI	能量摄入/ (kJ/d) EI
17.1	100.0±0.00	260.2±2.11	0.78±0.01	0.31±0.02 ^a	1.05±0.05 ^a	2.39±0.12 ^{ab}	32.1±1.67
21.8	98.3±1.67	266.0±3.13	0.79±0.02	0.33±0.01 ^{ab}	1.06±0.04 ^{ab}	2.43±0.12 ^b	34.8±1.69
26.4	95.0±2.89	259.9±3.80	0.76±0.02	0.37±0.01 ^{bc}	1.17±0.04 ^{abc}	2.13±0.09 ^{ab}	31.7±1.28
32.0	93.3±3.33	266.2±4.37	0.79±0.03	0.38±0.01 ^c	1.25±0.01 ^c	2.12±0.08 ^{ab}	33.7±2.09
36.3	98.3±1.67	267.0±2.33	0.80±0.02	0.40±0.01 ^c	1.24±0.05 ^{bc}	2.06±0.08 ^{ab}	34.2±1.05
41.9	96.7±1.67	267.6±5.37	0.80±0.03	0.41±0.01 ^c	1.30±0.01 ^c	1.99±0.04 ^a	34.8±0.66
ANOVA							
F-value	0.895	1.300	0.890	16.238	7.391	3.980	1.007
P-value	0.514	0.327	0.518	<0.001	0.002	0.023	0.455

注:不同英文字母表示各组间有显著差异($P<0.05$)。以下表注同此
Notes: Different superscript letters indicate significant differences($P<0.05$). The same as the following

经折线模型回归分析,团头鲂成鱼蛋白质效率和饲料效率与淀粉水平呈非线性关系。当蛋白质效率达到最大时,饲料中淀粉最适添加量为 34.1%(图 1);当饲料效率达到最大时,饲料中淀粉最适添加量为 31.4%(图 2)。

2.2 饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼全肠和肝脏消化酶活性的影响

肝脏和肠道中的蛋白酶活性无显著差异

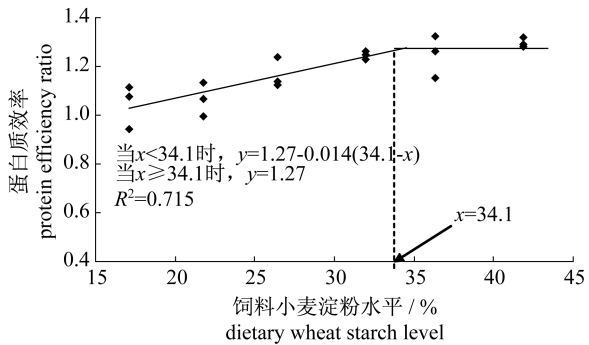


图 1 饲料中淀粉水平对团头鲂成鱼蛋白质效率的影响

Fig. 1 Effect of dietary starch level on protein efficiency ratio (PER) of adult *M. amblycephala*

($P>0.05$)(表 3)。随着饲料中淀粉水平的增加,肝脏中淀粉酶活性先增加后降低,当淀粉含量达到 32.0% 时,淀粉酶活性最大;肠道中淀粉酶活性先升高后趋于平缓,当饲料中淀粉水平达到 36.3% 时,淀粉酶活性最大。所有处理中肠道可以检测到纤维素酶的活性,但在肝脏中检测不到酶活性($P>0.05$)。

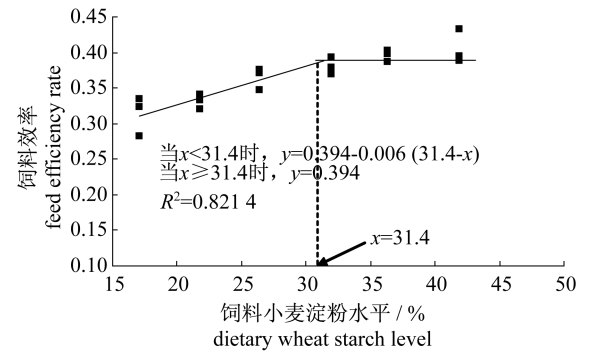


图 2 饲料中淀粉水平对团头鲂成鱼饲料效率的影响

Fig. 2 Effect of dietary starch level on feed efficiency rate (FER) of adult *M. amblycephala*

表 3 不同饲料对团头鲂肝脏和肠道消化酶活性的影响
Tab.3 Digestive enzymes activities in the liver and intestine of blunt snout
bream fed experimental diets(*n* = 3)

淀粉水平/% starch level	肝脏 liver			肠道 intestine tract		
	蛋白酶 protease	淀粉酶 amylase	纤维素酶 cellulase	蛋白酶 protease	淀粉酶 amylase	纤维素酶 cellulase
17.1	0.051 ± 0.019	0.56 ± 0.06 ^{ab}	—	0.79 ± 0.16	25.0 ± 1.31 ^{ab}	0.17 ± 0.11
21.8	0.049 ± 0.001	0.44 ± 0.04 ^a	—	0.81 ± 0.03	20.4 ± 1.83 ^a	0.16 ± 0.08
26.4	0.044 ± 0.004	0.43 ± 0.08 ^a	—	0.75 ± 0.07	31.0 ± 1.57 ^{bc}	0.25 ± 0.14
32.0	0.050 ± 0.008	0.86 ± 0.17 ^b	—	0.95 ± 0.16	30.9 ± 1.10 ^{bc}	0.15 ± 0.05
36.3	0.051 ± 0.002	0.51 ± 0.05 ^a	—	0.86 ± 0.16	33.4 ± 2.08 ^c	0.29 ± 0.11
41.9	0.048 ± 0.019	0.65 ± 0.07 ^{ab}	—	0.73 ± 0.18	31.3 ± 1.05 ^{bc}	0.54 ± 0.18
ANOVA						
<i>F</i> -value	0.745	3.438	—	0.359	10.791	1.981
<i>P</i> -value	0.602	0.018	—	0.887	<0.001	0.111

2.3 饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼肝体比、肝糖原和肌肉组成的影响

随着饲料中淀粉含量的增加,肝体比(HSI)与肝糖原含量呈正相关($r = 0.638$, $P = 0.638$),肝指数和肝糖原含量显著增加($P < 0.05$)(表

4)。肌肉水分、蛋白质和粗灰分不受饲料淀粉水平的影响($P > 0.05$)。肌肉脂肪含量随着饲料淀粉水平的增加均呈增长趋势($P < 0.05$),当淀粉含量为41.9%时,肌肉脂肪含量达到最大。

表 4 饲料中不同水平淀粉对团头鲂成鱼肝指数、肝糖原和肌肉组成的影响
Tab.4 Hepatosomatic index, hepatic glycogen content and muscle composition
(% wet weight) in blunt snout bream fed experimental diets(*n* = 3)

淀粉水平/% starch level	肝脏 liver		肌肉 muscle			
	肝指数/% HSI	糖原含量/(mg/g) GC	水分/% moisture	蛋白质/% protein	脂肪/% lipid	粗灰分/% ash
17.1	1.57 ± 0.10 ^{ab}	11.8 ± 2.95 ^a	78.1 ± 0.14	19.4 ± 0.09	1.21 ± 0.23 ^{ab}	1.40 ± 0.04
21.8	1.82 ± 0.07 ^b	10.5 ± 2.42 ^a	78.1 ± 0.22	19.4 ± 0.11	1.18 ± 0.06 ^a	1.42 ± 0.02
26.4	1.34 ± 0.14 ^a	13.5 ± 3.60 ^a	78.4 ± 0.25	19.3 ± 0.10	1.15 ± 0.03 ^a	1.47 ± 0.02
32.0	1.96 ± 0.06 ^{bc}	21.3 ± 6.32 ^{ab}	78.1 ± 0.10	19.6 ± 0.20	1.47 ± 0.10 ^{ab}	1.37 ± 0.02
36.3	1.96 ± 0.10 ^{bc}	20.2 ± 2.60 ^{ab}	77.7 ± 0.34	19.5 ± 0.39	1.58 ± 0.25 ^{ab}	1.41 ± 0.04
41.9	2.27 ± 0.11 ^c	31.3 ± 4.26 ^b	77.6 ± 0.36	19.6 ± 0.24	1.67 ± 0.24 ^b	1.37 ± 0.06
ANOVA						
<i>F</i> -value	10.192	5.056	1.326	0.246	4.927	0.977
<i>P</i> -value	<0.001	0.006	0.317	0.936	0.011	0.470

注:GC,糖原含量
Notes:GC, glycogen content

2.4 饲料中不同水平淀粉对团头鲂成鱼血清生化指标的影响

各实验组团头鲂成鱼血清中胆固醇、甘油三酯和葡萄糖含量无显著差异($P > 0.05$)(表5)。随着饲料中淀粉水平的升高,血清中补体3和补

体4与淀粉水平呈负相关关系,饲喂淀粉含量41.9%的饲料的团头鲂血清中补体3和补体4比饲喂淀粉含量21.8%和17.1%的饲料显著低($P < 0.05$)。饲喂不同淀粉水平饲料的团头鲂血清中超氧化物歧化酶没有明显差异($P < 0.05$)。

表 5 饲料中不同水平淀粉对团头鲂成鱼血清生化指标的影响
Tab. 5 Plasmatic parameters of blunt snout bream fed the experimental diets for 9 weeks(*n* = 3)

淀粉水平/% starch level	胆固醇/ (mmol/L) Cho	甘油三酯/ (mmol/L) Tri	葡萄糖/ (mmol/L) Glu	补体 3/ (g/L) C3	补体 4/ (g/L) C4	超氧化物歧化酶/ (U/mL) SOD
17.1	6.66 ± 0.46	1.52 ± 0.17	8.82 ± 1.42	0.86 ± 0.17 ^b	0.13 ± 0.01 ^{ab}	21.7 ± 1.44
21.8	7.32 ± 0.52	1.22 ± 0.10	8.67 ± 0.85	0.96 ± 0.20 ^b	0.16 ± 0.03 ^b	21.4 ± 1.89
26.4	5.26 ± 0.44	1.03 ± 0.09	9.21 ± 0.76	0.74 ± 0.12 ^{ab}	0.08 ± 0.02 ^{ab}	22.3 ± 1.64
32.0	7.21 ± 0.51	1.57 ± 0.19	9.20 ± 1.21	0.68 ± 0.12 ^{ab}	0.09 ± 0.02 ^{ab}	20.4 ± 0.61
36.3	8.07 ± 0.97	1.39 ± 0.17	9.47 ± 0.72	0.44 ± 0.03 ^{ab}	0.07 ± 0.01 ^{ab}	20.8 ± 0.59
41.9	7.05 ± 0.32	1.41 ± 0.32	8.69 ± 0.88	0.20 ± 0.06 ^a	0.04 ± 0.01 ^a	19.9 ± 0.39
ANOVA						
<i>F</i> -value	2.557	1.329	1.897	5.599	3.542	0.433
<i>P</i> -value	0.056	0.325	0.138	0.003	0.017	0.821

3 讨论

饲料能量水平是影响鱼类摄食量的主要因素,通过调节摄食量可以使鱼体保持恒定的能量摄入水平,来维持生长或特定的营养状态^[10]。在本实验中也观察到类似的结果,随着饲料能量(淀粉)水平的提高,团头鲂成鱼的摄食量显著下降,但能量摄入维持相似水平。与肉食性鱼类相比,草食性鱼类通常更好地利用饲料中的碳水化合物,并且可以耐受更高水平的碳水化合物^[1]。从本实验的结果可知,与低淀粉组相比,团头鲂摄食含高水平淀粉(41.9%)的饲料并没有对生长性能产生负面影响。这与其他草食性或杂食性鱼类中的研究结果类似,如虱目鱼(*Chanos chanos*) (35%~45%)^[11]和草鱼(37%~56%)^[12]。当饲喂淀粉含量40%的饲料时,罗非鱼、鲤(*Cyprinus carpio*)等也表现出良好的生长性能^[13],黑鲷(*Hephaestus fuliginosus*)在饲料淀粉添加量为34%~38%时生长最佳^[14]。相反,肉食性鱼类摄食高淀粉含量(40%)饲料时的生长性能明显降低,如大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)^[15]和南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[16]。本实验研究发现,饲料中添加适当的淀粉(26.4%以上)可以显著增加团头鲂成鱼蛋白利用率,以此来节约蛋白质作为能量物质来源。以上结果表明,饲料中添加适量的淀粉可以有效促进团头鲂生长。然而,饲料中过高的淀粉含量(超过32.0%)并不能继续改善团头鲂成鱼的蛋白质利用率和饲料利用率。本实验结果表明,鱼体大小可能影响饲料中淀粉利用率。在

以前的研究中发现,团头鲂幼鱼(15 g)摄食31%以上淀粉含量的饲料时,特定生长率显著降低^[5]。与团头鲂幼鱼相比,大规模的团头鲂(161~276 g)能耐受饲料中较高水平的淀粉,并且能够有效利用饲料中淀粉作为可消化能量。

肉食性鱼类,如虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*),体内淀粉酶活性会受到过量添加淀粉的抑制^[17]。而草鱼前肠淀粉酶活力并不受饲料淀粉水平影响^[18]。在一些草食性和杂食性鱼类研究中发现,淀粉酶活力与饲料中糖水平正相关^[19]。在本实验中,团头鲂成鱼的淀粉酶活性与饲料中淀粉水平呈正相关关系。但是饲料淀粉水平对团头鲂成鱼消化率的研究今后仍需继续,因为在一些鱼类中发现,过量的淀粉酶并不能够显著提高饲料淀粉的消化吸收率^[19]。一般而言,大多数鱼类都缺乏纤维素酶来消化饲料中的纤维素,并且纤维素具有较强的吸水能力和较低的溶解度,因而通常作为饲料的填充剂^[2]。在本实验中,团头鲂成鱼肠道中检测到纤维素酶活性,在肝脏中却没有发现。在淡水鱼类肠道中,微生物对纤维素酶活性具有重要作用。在雀点刺蝶鱼(*Holacanthus passer*)的研究中发现,后肠含有大量微生物,并且能够有效地分解复合碳水化合物^[20]。因此,产生本实验团头鲂成鱼肠道中检测到的纤维素酶可能是外源性的产物。尽管在团头鲂肠道中发现纤维素酶活性,但是随着饲料中纤维素含量的持续增加,与饲料中淀粉相比,它对鱼类生长提供能量的作用极其有限。

在本实验中,团头鲂摄食高水平淀粉的饲料时,肝体比和肝糖原含量也增加。这可能是过高

的淀粉促进肝脏中水分子与糖原的结合,从而使肝体比增加,这与虹鳟和欧洲鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 中的研究结果类似^[21-22]。因此,过多的可消化碳水化合物有一部分也作为团头鲂成鱼肝糖原储存起来。在本实验中,随着饲料中淀粉含量的增加,团头鲂成鱼肌肉中的脂肪沉积量也显著增加,这与团头鲂幼鱼中的研究结果类似^[5]。同样,在大西洋鲑鱼 (*Gadus morhua*) 研究中也发现,尽管其利用碳水化合物重新合成脂质的含量相当有限,但随着饲料碳水化合物含量的增加,体内脂肪沉积也随之增加。同时,据研究报道,饲料中高水平碳水化合物能够刺激鱼类肝脏中脂肪酶的分泌^[23]。因此,团头鲂成鱼饲料中碳水化合物的增加能够显著提高脂肪的合成效率,其途径可能是 NADPH 通过磷酸戊糖脂质合成途径,而不是通过简单的提供碳骨架来合成脂肪。

根据本实验的结果,饲养实验结束时将团头鲂成鱼禁食 24 h 后,血清中葡萄糖、胆固醇和甘油三酯与饲料淀粉水平没有明显相关关系。大多数肉食性或海洋鱼类,摄入或注射可消化碳水化合物 24 h 后导致高血糖,而草食性或杂食性鱼类似乎有更好的能力来调节血清中葡萄糖水平^[2]。在罗非鱼的研究中,饲喂 6 h 后,血清中葡萄糖水平能够很快恢复到禁食水平^[24]。团头鲂幼鱼摄食高水平淀粉饲料,禁食 24 h 后,血清中葡萄糖含量也明显增高^[5]。在本实验中,团头鲂成鱼高水平淀粉(41.9% 以上)生长性能没有任何变化,但与团头鲂摄食低水平淀粉(21.8% 和 17.1%)饲料相比,血清中补体 3 和补体 4 的含量显著降低。本实验结果表明,过量的饲料淀粉含量抑制团头鲂成鱼的免疫能力,这在某些肉食性鱼类中也有类似的报道,大西洋鲑 (*Salmo salar*) 血清溶血酶活性与饲料中碳水化合物呈负相关关系^[25]。Hemre 等^[26]认为鱼在持续摄入极高水平淀粉饲料时,即持续的营养代谢性应激,从而影响对传染性疾病的免疫抑制,导致免疫功能抑制。

总之,团头鲂成鱼摄食 41.9% 淀粉水平饲料对生长性能没有负面影响,并且较高水平的淀粉(能量)能够显著提高饲料利用率和蛋白质效率。以鱼体蛋白质效率和饲料效率为评价指标,经折线模型回归分析得到团头鲂成鱼饲料中淀粉的适宜添加量分别为饲料干重的 34.1% 和 31.4%。同时,考虑到血清补体活性等免疫指标,团头鲂成

鱼饲料的淀粉水平不应超过 36.3%。但是,此实验设计为等氮等脂的饲料,而蛋白质和脂肪水平的添加和改变是否会影响团头鲂饲料中淀粉适宜添加量,有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Cai C F. Advances in the study of carbohydrate utilization by fish [J]. Journal of Fisheries University, 1997, 6(2): 116 - 123. [蔡春芳. 鱼类对糖利用的研究进展. 上海水产大学学报, 1997, 6(2): 116 - 123.]
- [2] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. Aquaculture, 1994, 124(1 - 4): 67 - 80.
- [3] Liao Y J, Liu B, Ren M C, et al. Effect of lysine on growth, physiological and biochemical indexes of blood and essential amino acids of serum in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(11): 1716 - 1724. [廖英杰, 刘波, 任鸣春, 等. 赖氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清生化及游离必需氨基酸的影响. 水产学报, 2013, 37(11): 1716 - 1724.]
- [4] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. Aquaculture, 2010, 303(1 - 4): 65 - 70.
- [5] Zhou C, Liu B, Xie J, et al. Effect of dietary carbohydrate levels on the growth performance, immune response, hepatic antioxidant abilities and heat shock protein 70 expression of the Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Journal of Applied Ichthyol, 2013, 29(6): 1348 - 1356.
- [6] Tung P H, Shiau S Y. Carbohydrate utilization versus body size in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1993, 104(3): 585 - 588.
- [7] Kumar S, Sahu N P, Pal A K, et al. Studies on digestibility and digestive enzyme activities in *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles; Effect of microbial α -amylase supplementation in non-gelatinized or gelatinized corn based diet at two protein levels [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2006, 32(3): 209 - 220.
- [8] Hidalgo M C, Urea E, Sanz A. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities [J]. Aquaculture, 1999, 170(3): 267 - 283.

- [9] Saha A K, Ray A K. Cellulase activities in rohu fingerlings [J]. Aquaculture International, 1998, 6 (4) : 281 – 291.
- [10] Thierry B, Françoise M. Regulation of voluntary feed intake in juvenile rainbow trout fed by hand or by self-feeders with diets containing two different protein/energy ratios [J]. Aquatic Living Resource, 1994, 7 (3) : 211 – 215.
- [11] Lim C. Milkfish, *Chanos chanos* [M] // Wilson R P. Handbook of nutrient requirements of finfish. Boca Raton: CRC Press, 1991.
- [12] Lin D. Grass carp, *Ctenopharyngodon idella* [M] // Wilson R P. Handbook of nutrition requirements of finfish. Boca Raton: CRC Press, 1991.
- [13] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [J]. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11 (4) : 337 – 369.
- [14] Han B, Song L P. The effects of starch levels on growth performance and digestive enzyme activities of *Hephaestus fuliginosus* [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19 (2) : 207 – 213. [韩勃, 宋理平. 饲料淀粉水平对淡水黑鲷生长和消化酶活性的影响. 上海海洋大学学报, 2010, 19 (2) : 207 – 213.]
- [15] Mazur C N, Higgs D A, Plisetskaya E, et al. Utilization of dietary starch and glucose tolerance in juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) of different strains in seawater [J]. Fish Physiology Biochemistry, 1992, 10 (4) : 303 – 313.
- [16] Fu S J, Xie X J. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance in *Silurus meridionalis* Chen [J]. Acta Hydrobiologia Sinica, 2005, 29 (4) : 393 – 398. [付世健, 谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲇生长的影响. 水生生物学报, 2005, 29 (4) : 393 – 398.]
- [17] Spannhof L, Plantikow H. Studies on carbohydrate digestion in rainbow trout [J]. Aquaculture, 1983, 30 (1 – 4) : 95 – 108.
- [18] Pan Q, Liao X H. Studies on Digestibility and utilization of starch diets in Grass Carp *Ctenopharyngodon idellus* (C. et V.) [J]. Supplement to the Journal of Sun Yatsen University, 1997 (5) : 86 – 89. [潘庆, 廖祥华. 草鱼对淀粉饲料的消化和吸收. 中山大学学报论丛, 1997 (5) : 86 – 89.]
- [19] Krogdahl Å, Hemre G I, Mommsen T P. Carbohydrates in fish nutrition: Digestion and absorption in postlarval stages [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11 (2) : 103 – 122.
- [20] Martínez-Díaz S F, Pérez-España P. Feasible mechanisms for algal digestion in the king angelfish [J]. Journal of Fish Biology, 2002, 55 (4) : 692 – 703.
- [21] Bergot F. Carbohydrate in rainbow trout diets: Effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition [J]. Aquaculture, 1979, 18 (2) : 157 – 167.
- [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] Rollin X, Médale F, Gutiérrez S, et al. Short and long term nutritional modulation of acetyl-CoA carboxylase activity in selected tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. British Journal of Nutrition, 2003, 89 (6) : 803 – 810.
- [24] Shiau S Y, Chuang J C. Utilization of disaccharides by juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Aquaculture, 1995, 133 (3) : 249 – 256.
- [25] Waagbø R, Glette J, Sandnes K, et al. Influence of dietary carbohydrate on blood chemistry, immunity and disease resistance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Journal of Fish Diseases, 1994, 17 (3) : 245 – 258.
- [26] 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.

**Effects of dietary starch levels on growth performance, digestive enzyme activities and muscle composition of adult blunt snout bream
(*Megalobrama amblycephala*)**

REN Mingchun^{1,2}, JIA Wenjin¹, GE Xianping^{1,2*}, XIE Jun^{1,2}, LIU Bo^{1,2},
ZHOU Qunlan^{1,2}, LIAO Yingjie¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture,
Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

2. Wuxi Fishery College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, China)

Abstract: A 9-week feeding trial was conducted to assess the effect of dietary starch level on growth performance, digestive enzyme activities and muscle composition of adult blunt snout bream [initial weight (161 ± 2.7) g]. Six isonitrogenous and isolipidic diets were formulated with increasing starch inclusion from 17.1 to 41.9%. At the end of the feeding trial, survival rate and specific growth rate were not affected by dietary starch level. Feed efficiency rate (FER) and protein efficiency ratio (PER) were enhanced by increasing dietary starch supplementation. Dietary starch levels did not affect total protease activities in the liver and intestine, while up-regulated amylase activities. Cellulase activities were detected in the intestine and there were no significant differences among treatments. Hepatosomatic index, liver glycogen and muscle crude lipid contents were significantly increased with the increasing dietary starch levels. Similar serum glucose, total cholesterol and triglyceride contents were observed among the treatments. However significantly lower serum complement 3 and 4 contents were observed in fish fed the highest starch diet (41.9%) compared with those fed with 17.1 or 21.8% starch diets. In conclusion, the 41.9% dietary starch level gave no negative effect on growth of adult blunt snout bream, and considering the serum complement activities, the dietary starch level should not exceed 36.3% for adult blunt snout bream. On the basis of PER and FER, the optimum dietary starch requirement of adult *M. amblycephala* was estimated to be 34.1% of diet and 31.4% of diet, respectively, using broken-line regression analysis.

Key words: blunt snout bream; carbohydrate utilization; digestive enzyme activities; muscle composition

Corresponding author: GE Xianping. E-mail: gexp@ffrc.cn