

文章编号: 1000-0615(2019)04-1069-11

DOI: 10.11964/jfc.20180411247

不同糖源膨化饲料对大规模草鱼生长、越冬及血清部分生化指标的影响

陈团^{1,2,3}, 胡毅^{1,2*}, 张德洪^{1,3}, 潘化祥^{1,3}, 陈云飞^{1,2,3}, 钟蕾^{1,2*}

(1. 湖南农业大学, 湖南省特色水产资源利用工程技术研究中心, 湖南长沙 410128;

2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 湖南常德 415000;

3. 通威股份有限公司, 四川成都 610041)

摘要: 以商业配方为基础, 研究不同糖源(小麦、大麦、玉米、白高粱、木薯)膨化饲料对大规模草鱼[初始体质量(400.77±7.45)g]生长、体成分、越冬及部分生理生化指标的影响。共设置5个处理, 每处理3个重复, 每个重复30尾鱼, 养殖实验于水库网箱(2.0 m×2.0 m×2.0 m)中进行, 饲养时间为16周, 养殖实验结束后, 每网箱保留15尾进行越冬实验, 时间为16周。结果显示, 玉米组草鱼增重率(WGR)和蛋白质效率(PER)显著低于其他各组, 饲料系数(FCR)显著高于其他各组, 其他4组差异不显著; 肥满度(CF)小麦组最高, 脏体比(VSI)玉米组最高, 肝体比(HSI)和肠体比(ISI)木薯组最高; 小麦组血糖(GLU)含量显著高于其他各组, 大麦和白高粱组总胆固醇(T-CHO)含量显著高于其他3组, 木薯组甘油三酯(TG)含量显著低于其他各组。小麦、大麦和玉米组的肌肉粗脂肪含量显著高于白高粱和木薯组, 木薯组的粗蛋白含量显著低于其他4组。白高粱和木薯组的肝糖原显著高于其他组, 大麦和白高粱组的肌糖原显著高于其他组。越冬后, 大麦组草鱼体质量下降幅度显著高于其他各组, HSI下降幅度显著小于其他各组, 肝糖原含量显著升高, GLU下降幅度显著低于其他各组, 肌肉粗蛋白含量下降幅度最高, 其他各组越冬后体质量下降幅度差异不显著, 小麦组CF下降比例最高, 玉米和木薯组HSI下降幅度显著大于其他各组, 玉米组的VSI下降比例最大。研究表明, 在膨化工艺条件下, 以生长、增重成本和越冬为评价指标, 小麦、木薯和白高粱是大规模草鱼适合的糖源, 木薯增重成本最低。

关键词: 草鱼; 糖源; 生长; 越冬; 血清指标

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)是我国主要淡水养殖经济鱼类, 年养殖产量超过500万t^[1], 作为典型的草食性鱼类, 其对糖的需求高达37%~56%^[2]。目前小麦(面粉)是水产膨化饲料中广泛应用的糖源, 随着草鱼膨化饲料的推广应用, 其需求将会越来越高, 因此, 开发其他饲料糖源是目前水产饲料企业关注的热点^[3]。大麦、玉米、白高粱和木薯是我国主要的饲料糖源, 年

产量分别为163.69、21 581.21、296.22和459.85万t^[4], 与小麦相比, 其价格具有一定优势, 但存在一些限制性因子而影响应用。如大麦抗营养因子含量高, 其中苦涩味单宁导致适口性较差, 饲用比例仅占4.38%^[5]; 玉米在畜禽饲料中得到广泛的应用, 但玉米淀粉黏性低, 不利于水产饲料黏结性, 其中的角质层淀粉和硬质淀粉不利于水产动物消化吸收^[6]; 白高粱颗粒结构致密,

收稿日期: 2018-04-14 修回日期: 2018-10-11

资助项目: 湖南省科技重大专项(2017NK1030); 通威股份有限公司产学研项目(TW2014A013)

通信作者: 胡毅, E-mail: huyi740322@163.com; 钟蕾, E-mail: zhonglei-5@163.com

淀粉较难糊化^[7]；木薯中含有较多有利于鱼类消化吸收的支链淀粉，但其亚麻苦苷含量较高^[8-9]。鱼类对糖源的利用除了与鱼种类相关外，还与鱼的规格以及饲料加工工艺有关^[10-13]。已有研究表明，在硬颗粒沉性饲料条件下，草鱼幼鱼(8.49±0.04) g对小麦的利用效果要优于玉米^[14]，对木薯的利用能力比小麦和玉米低(4.62±0.35) g^[15]；而中等规格草鱼(72.5±0.55) g对玉米、木薯利用能力与小麦差异不显著^[16]。研究表明草鱼成鱼对糖的消化吸收能力比幼鱼强^[17]，但目前对草鱼营养研究大多局限于其幼鱼阶段，而对大规格草鱼研究甚少^[18]，并且在膨化加工工艺条件下，淀粉糊化将更加充分，部分抗营养因子被钝化，但该条件下草鱼营养研究尚不多见。越冬对水产动物而言是非常重要的一个阶段，越冬带来的体质量损失直接影响到商品鱼的收益，有关越冬影响水产动物生理机能变化已有相关报道^[19]，但有关营养对养殖鱼类越冬的影响鲜有报道。因此，在草鱼膨化饲料推广越来越受到重视，且在对大规格草鱼及越冬研究欠缺的背景下，比较5种糖源膨化饲料对大规格草鱼(400 g左右)生长、越冬及部分生理生化指标的影响，为大规格草鱼膨化饲料配方优化及糖源的合理选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以商业配方为基础，等比例添加小麦、大麦、玉米、白高粱、木薯作为糖源，配料后，使用利达超微粉碎机，粉碎细度达到80%过80目筛，通过牧羊混合机混合均匀，最后通过恒润145双螺杆膨化机膨化，制作粒径为4.0 mm的膨化饲料，配制成5种全价配合饲料，5种糖源的基本营养指标、单价和实验配方见表1和表2。

1.2 实验动物及养殖管理

实验鱼购自湖南岳阳湘阴县，养殖实验于湖南娄底新化县车田江水库网箱进行，实验鱼先放于5.0 m×4.0 m×5.0 m的网箱暂养60 d，实验分组前10 d，将5种实验膨化饲料按同一比例混合后对草鱼进行驯化。采用2.0 m×2.0 m×2.0 m的聚乙烯网箱，挑选规格均匀、体格健壮、平均体质量为(400.77±7.45) g的大规格草鱼进行正式实验。实验设置5个处理，每个处理3个平行，每个网箱放30尾鱼；实验期间水温低于25 °C时以

表1 5种糖源的基本营养指标及单价

Tab. 1 Fundamental nutritional index and unit price of five carbohydrates

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
粗蛋白/% crude protein	12.00	10.80	8.60	9.00	2.50
粗脂肪/% crude fat	1.70	1.80	3.50	3.40	0.70
灰分/% ash	1.90	2.40	1.30	1.80	1.90
无氮浸出物/% N-free extract	68.50	67.10	71.80	70.40	79.40
单价/(元/t) unit price	2 680.00	2 250.00	2 550.00	2 500.00	1 850.00

草鱼体质量的1%~2%投喂，日投喂2次(8:30-10:00、15:30-17:00)，早晚比例分别为40%、60%；水温高于25 °C时以草鱼体质量的3%投喂，日投喂3次(7:00-8:00、11:00-12:00、17:00-18:00)，早、中、晚的投喂比例分别为20%、35%、45%，实验周期为16周。实验期间水体pH为7.3±0.5，溶解氧含量为(7.0±0.4) mg/L，氨氮浓度≤0.21 mg/L，水温(26.1±3.2) °C。

在上述养殖实验采样结束后(10月底)，在每一个网箱中保留规格齐整，大小为1 400 g左右的15尾草鱼进行越冬实验，共15个网箱(2.0 m×2.0 m×2.0 m)，越冬期间不投喂任何食物，只进行水温检测。越冬实验进行16周。越冬期间水温(10.3±3.8) °C。

1.3 样品收集与分析

养殖实验结束后，饥饿24 h后采样，称量每个网箱草鱼总重，记录总尾数，用于计算增重率、成活率、饲料系数等。从每个实验箱随机取6尾草鱼用丁香油麻醉(1:10 000)，记录每条鱼的体质量、体长后，从尾静脉取血，装于1.5 mL离心管中，4 °C下静置12 h后于离心机3 000 r/min离心10 min，取上清液于-80 °C冰箱保存待测；另随机取5尾草鱼麻醉后于冰盘上迅速解剖，称取肝重、肠重、内脏团重，用于肝体比、肠体比、脏体比的计算；迅速取肝脏和前肠，装于10 mL离心管中，-80 °C保存，用于肝脏、肠道消化酶活性的测定；取背部肌肉和肝脏，用滤纸吸干水分，一部分装于10 mL离心管中，-80 °C保存，用于肝糖原和肌糖原的测定，另取部分装于6号封口袋，-20 °C保存，用于肝脏和肌肉常规成分的测定。

饲料、肌肉和肝脏常规成分分析均采用

表 2 饲料配方和主要营养成分

Tab. 2 Formulation and proximate analysis of the experimental diet

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
原料 ingredients					
小麦/% wheat	24.00				
大麦/% barley		24.00			
玉米/% corn			24.00		
白高粱/% white sorghum				24.00	
木薯/% cassava					24.00
粗麸皮/% coarse bran	6.00	5.00	5.00	5.00	3.00
米糠/% rice bran	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
大豆磷脂油粉/% soybean lecithin oil powder	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
大豆油/% soybean oil	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
43%大豆粕/% 43% soybean meal	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
200型菜粕/% 200 rapeseed meal	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
玉米蛋白粉/% corn gluten meal	6.00	7.00	7.00	7.00	8.00
进口DDGS/% import DDGS	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
干白酒糟/% dry distillers grains	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00
磷酸二氢钙/% Ca (H ₂ PO ₄) ₂	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
氯化胆碱/% choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
膨润土/% bentonite	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
预混料*/% premix	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
营养指标 nutritional indices					
水分/% moisture	11.01	7.83	7.83	7.83	7.86
粗蛋白/% crude protein	26.31	25.86	25.86	26.14	26.17
粗脂肪/% crude fat	4.81	5.10	5.10	5.07	4.68
灰分/% ash	6.08	5.55	5.55	5.55	5.42
无氮浸出物/% N-free extract	37.25	37.63	37.63	37.29	37.48
粗纤维/% crude fiber	6.44	5.92	5.92	5.92	6.03
钙/% calcium	0.70	0.66	0.66	0.66	0.66
磷/% phosphorus	1.20	1.10	1.10	1.10	1.08
赖氨酸/% lysine	1.28	1.26	1.26	1.26	1.39
成本/(元/t) cost	3 094.90	2 991.70	3 063.70	3 051.70	2 960.00

注: * 预混料成分为(每kg含量)维生素A 120 000 IU、维生素D₃ 40 000 IU、维生素E 480 mg、维生素B₁ 200 mg、维生素B₂ 280 mg、维生素B₈ 240 mg、维生素K₃ 200 mg、维生素B₁₂ 0.6 mg、泛酸钙720 mg、烟酸1 000 mg、叶酸60 mg、生物素1.2 mg、VC磷酸酯6 850 mg、肌酸3 200 mg、铁4 800 mg、镁4 000 mg、锌2 000 mg、锰800 mg、铜160 mg、钴12 mg、硒4 mg、碘40 mg

Notes: * mineral Premix composition (per kg) were vitamin A, 120 000 IU; vitamin D₃, 40 000 IU; vitamin E, 480 mg; vitamin B₁, 200 mg; vitamin B₂, 280 mg; vitamin B₈, 240 mg; vitamin K₃, 200 mg; vitamin B₁₂, 0.6 mg; calcium pantothenate, 720 mg; nicotinic acid, 1 000 mg; folic acid, 60 mg; biotin, 1.2 mg; VC phosphatase, 6850 mg; creatine, 3200 mg; iron, 4 800 mg; magnesium, 4 000 mg; zinc, 2 000 mg; manganese, 800 mg; copper, 160 mg; cobalt, 12 mg; selenium, 4 mg; iodine, 40 mg

AOAC方法^[20]。其中,水分的测定采用105 °C烘干恒重法;粗蛋白质含量采用全自动蛋白质分析仪(KjeltecTM2100, FOSS, 瑞典)测定;粗脂肪的测定采用索氏抽提法(脂肪测定仪, 济南海能仪器股份有限公司, 中国);灰分的测定采用箱式电阻炉 550 °C灼烧法;能量用氧弹仪(PARR-6100, Moline, IL, 美国)进行测定;饲料无氮浸出物通过公式 $NFE=100\%-(水分\%+粗蛋白\%+粗脂肪\%+粗纤维\%+灰分\%)$ 计算。

血糖(GLU)采用葡萄糖氧化法进行测定,血清谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、血清甘油三酯(triacylglycerols, TG)和总胆固醇(total cholesterol, CHO-T)所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

肝脏转氨酶测定前,将所采样品于冰盒中解冻,按指标测定说明书要求将待测组织于冰水浴中进行匀浆,3 000 r/min离心10 min,取上清液用于酶活性测定。肝脏GOT、GPT采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。肌肉和肝脏中糖原含量采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。

计算公式:

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

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

肝体比(hepatosomatic index, HSI)= $W_l / W_t \times 100\%$;

脏体比(ratio of viscera and body weight, VSI)= $W_v / W_t \times 100\%$;

肥满度(condition factor, CF)= $W_f / L^3 \times 100$;

肠体比(viserosomatic index, ISI)= $W_f / W_t \times 100\%$;

饲料系数(feed conversion rate, FCR)= $W_f / (W_t - W_0 + W_s)$;

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

增重成本(weight gain cost, WGC , 元/kg)= $FCR \times cost / 1000$

式中, N_t 为终末尾数, N_0 为初始尾数; W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); W_s 为死亡体质量(g); W_f 为摄入饲料量(g); W_l 为肝脏湿重(g); W_v 为内脏团湿重(g); W_i 为肠道重(g); L 为鱼体长(cm); CP 为饲料蛋白含量(%); $cost$ 为饲料单吨成本(元/t)。

1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2007和SPSS 19.0软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),用Duncan

氏多重比较组间差异性,当 $P < 0.05$ 时表示差异显著,数据表示为“平均值±标准差”(mean±SD)。

2 结果

2.1 不同糖源对大规格草鱼生长性能的影响

不同糖源对大规格草鱼SR未造成显著影响($P > 0.05$),但玉米组WGR、PER效率显著低于其他组,FCR显著高于其他组($P < 0.05$),其他4组差异不显著($P > 0.05$) (表3)。小麦组草鱼CF显著高于其他组,玉米组的VSI最高($P < 0.05$),其他组VSI无显著差异($P > 0.05$);大麦组HSI显著低于其他组($P < 0.05$),木薯淀粉组HSI和VSI高于其他组。木薯组的增重成本最低,其次是小麦组,玉米组的增重成本最高。

2.2 不同糖源对大规格草鱼血液生理生化指标的影响

小麦组草鱼GLU含量显著高于其他组,大麦和玉米组显著低于其他组($P < 0.05$) (表4);大麦和白高粱组T-CHO含量显著高于其他3组($P < 0.05$),小麦、玉米和木薯组没有显著差异($P > 0.05$);木薯组TG含量显著低于其他组,大麦组含量最高($P < 0.05$),其他组之间无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 不同糖源对大规格草鱼肝脏、血清转氨酶活性的影响

木薯组肝脏GOT、GPT活性显著高于其他各组($P < 0.05$),其他组间肝脏GPT无显著差异($P > 0.05$),大麦和玉米组的肝脏GOT活性显著低于小麦和白高粱组($P < 0.05$) (表5)。小麦组血清GOT含量最高,大麦和白高粱组含量显著低于小麦组($P < 0.05$);木薯组血清GPT含量最高,玉米组含量最低($P < 0.05$),其他3组无显著差异($P > 0.05$)。

2.4 不同糖源对大规格草鱼肌肉、肝脏成分的影响

各组草鱼肌肉水分和灰分均无显著差异($P > 0.05$) (表6),玉米组的粗脂肪含量最高,其次是大麦和小麦组,白高粱组的粗脂肪含量最低;小麦组的肌肉中粗蛋白显著高于木薯组,木薯组含量最低,其他各组无显著差异($P > 0.05$);大麦和白高粱组肌糖原含量显著高于小麦、玉米和木薯组($P < 0.05$)。白高粱组肝脏水分显著高于其他各组($P < 0.05$),小麦组和玉米组含量最低;小麦组肝脏脂肪含量显著高于其他各组,白

表 3 不同糖源对大规模草鱼生长性能和形态学指标的影响

Tab. 3 Effects of carbohydrate sources on growth performance and morphological indices of large size *C. idella*

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
初始均重/g IBW	402.23±0	400.15±5.78	392.54±10.79	403.00±4.72	407.22±1.53
终末均重/g FBW	1 326.58±184.21	1 301.62±93.52	1 172.72±177.01	1 291.69±74.52	1 373.56±44.00
增重率/% WGR	230.07±46.10 ^b	225.24±19.55 ^b	198.02±32.08 ^a	220.51±20.62 ^b	237.73±9.57 ^b
成活率/% SR	93.33±0	100.00±0	96.66±0	91.75±7.13	93.44±4.72
饲料系数 FCR	1.99±0.21 ^a	1.96±0.10 ^a	2.25±0.36 ^b	1.93±0.09 ^a	1.92±0.07 ^a
蛋白质效率 PRE	1.96±0.38 ^b	1.99±0.18 ^b	1.51±0.52 ^a	2.00±0.17 ^b	1.98±0.13 ^b
肥满度/(g/cm ³) CF	2.17±0.03 ^c	2.08±0.03 ^b	2.05±0.03 ^b	1.96±0.02 ^a	1.95±0.02 ^a
脏体比/% VSI	13.41±0.26 ^{ab}	12.82±0.17 ^a	14.19±0.49 ^b	12.84±0.20 ^a	13.20±0.19 ^a
肝体比/% HSI	2.18±0.05 ^{bc}	1.97±0.03 ^a	2.05±0.03 ^{ab}	2.28±0.04 ^{cd}	2.46±0.12 ^d
肠体比/% ISI	1.72±0.03 ^b	1.79±0.03 ^{bc}	1.44±0.03 ^a	1.80±0.04 ^{bc}	1.87±0.02 ^c
增重成本/(元/kg) WGC	6.16±0.65	5.86±0.30	6.89±1.10	5.89±0.27	5.68±0.21

注: 表中同一行数据中肩标字母不同表示差异显著, $P<0.05$, 下同

Notes: values in the same row with different letter superscripts represent significant difference, $P<0.05$, the same below

表 4 不同糖源对大规模草鱼血清指标的影响

Tab. 4 Effects of carbohydrate sources on serum indexes of large size *C. idella* mmol/L

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
血糖 GLU	4.45±0.47 ^c	3.02±0.55 ^a	2.82±0.33 ^a	3.62±0.51 ^b	3.67±0.19 ^b
总胆固醇 T-CHO	6.98±0.15 ^a	8.70±0.31 ^b	7.18±1.16 ^a	8.45±0.32 ^b	7.66±0.19 ^a
甘油三酯 TG	2.06±0.18 ^b	2.37±0.14 ^c	1.99±0.24 ^b	2.28±0.29 ^{bc}	1.40±0.30 ^a

表 5 不同糖源对大规模草鱼肝脏、血清转氨酶活性的影响

Tab. 5 Effects of carbohydrate sources on liver and serum transaminase activities of large size *C. idella* U/g prot

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
肝脏谷草转氨酶 L-GOT	5.61±0.19 ^b	4.76±0.42 ^a	4.64±0.24 ^a	5.66±0.47 ^b	6.90±0.63 ^c
肝脏谷丙转氨酶 L-GPT	1.77±0.15 ^a	2.26±0.32 ^a	2.33±0.40 ^a	1.93±0.25 ^a	4.00±0.83 ^b
血清谷草转氨酶 S-GOT	14.51±1.37 ^b	9.46±2.33 ^a	10.25±2.77 ^{ab}	9.51±3.98 ^a	10.38±0.30 ^{ab}
血清谷丙转氨酶 S-GPT	7.30±0.70 ^{ab}	7.65±3.04 ^{ab}	4.09±1.92 ^a	5.61±3.03 ^{ab}	8.87±2.11 ^b

高粱组含量最低。白高粱和木薯组的肝糖原含量显著高于小麦和大麦组($P<0.05$), 大麦组含量最低。

2.5 越冬对大规模草鱼体质量及形体指标的影响

各饲料组大规模草鱼越冬后体质量、CF和VSI呈现一定比例的下降, 大麦组的体质量损失率显著高于其他各组($P<0.05$), 其他各组之间无显著差异($P>0.05$) (表7); 小麦组CFF最高, 其次

是大麦和玉米组, 白高粱和木薯组显著低于小麦组($P<0.05$); 越冬后玉米组的HSI显著低于小麦组($P<0.05$), 其他各组与小麦组差异不显著($P>0.05$), 玉米和木薯组HSIF显著高于其他各组($P<0.05$), 大麦组最低。越冬后玉米组的VSIF最高, 显著高于小麦组($P<0.05$), 其他3组差异不显著($P>0.05$)。

2.6 越冬对大规模草鱼生理生化指标的影响

不同糖源的膨化饲料饲喂的大规格草鱼越

表6 不同糖源对大规格草鱼肌肉、肝脏成分的影响

Tab. 6 Effects of carbohydrate sources on body composition, muscle and liver glycogen of large size *C. idella*

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
肌肉 muscle					
水分/% moisture	75.51±0.18	75.14±0.27	74.82±2.28	76.13±0.46	76.52±0.48
粗脂肪/% crude fat	2.92±0.26 ^{ab}	3.01±0.33 ^{ab}	3.81±0.56 ^b	2.74±0.19 ^a	2.40±0.05 ^a
粗蛋白/% crude protein	20.22±0.27 ^b	20.10±0.42 ^{ab}	20.00±0.52 ^{ab}	19.43±0.23 ^{ab}	19.41±0.52 ^a
灰分/% ash	1.34±0.03	1.39±0.07	1.41±0.09	1.40±0.03	1.33±0.03
肝脏 liver					
肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	0.90±0.10 ^a	1.22±0.10 ^b	0.92±0.06 ^a	1.13±0.10 ^b	0.88±0.06 ^a
水分/% moisture	65.84±1.56 ^a	67.74±0.27 ^{ab}	65.47±0.3 ^a	68.66±0.32 ^b	66.81±0.52 ^{ab}
粗脂肪/% crude fat	11.15±0.58 ^c	9.43±0.17 ^b	9.85±0.38 ^b	7.72±0.11 ^a	8.78±0.51 ^{ab}
肝糖原/(mg/g) hepatic glycogen	31.61±10.62 ^{ab}	28.1±2.75 ^a	36.82±9.63 ^{bc}	41.61±6.72 ^c	39.31±4.77 ^c

表7 不同糖源的膨化饲料对大规格草鱼越冬后体质量和形体指标的影响

Tab. 7 Effects of carbohydrate sources on weight and physical indicators of large size *C. idella* after overwintering

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
越冬前均重/g HBW	1 464.46±51.24	1 378.89±12.81	1 356.67±45.50	1 401.25±28.81	1 440.00±13.87
越冬后均重/g HAW	1 342.20±54.18	1 180.11±20.00	1 243.51±44.91	1 295.97±32.37	1 323.33±18.36
体质量损失率/% QFR	8.37±0.62 ^a	14.60±0.11 ^b	8.34±1.29 ^a	7.53±0.46 ^a	8.11±0.46 ^a
成活率/% SR	100	100	100	100	100
肥满度/(g/cm ³) CF	1.74±0.02	1.77±0.04	1.77±0.07	1.78±0.01	1.78±0.02
肥满度下降比/% CFF	19.18±1.59 ^a	13.98±2.84 ^{ab}	12.91±2.47 ^{ab}	8.36±1.02 ^b	8.96±1.21 ^b
脏体比/% VSI	9.62±0.13	9.93±0.36	10.68±0.99	9.54±0.27	9.36±0.31
脏体比下降比/% VSIF	26.03±2.67 ^{ab}	21.20±1.29 ^a	33.90±0.98 ^b	27.67±1.19 ^{ab}	27.27±2.01 ^{ab}
肝体比/% HSI	1.30±0.09 ^a	1.21±0.06 ^{ab}	0.98±0.06 ^b	1.21±0.07 ^{ab}	1.28±0.04 ^{ab}
肝体比下降比/% HSIF	39.46±0.93 ^{ab}	31.92±1.82 ^a	52.13±3.12 ^c	49.43±1.32 ^{bc}	53.43±1.26 ^c

冬后的GLU、T-CHO和TG呈现一定比例的下降,小麦组GLUF显著高于大麦组($P<0.05$),其他3组无显著差异($P>0.05$) (表8),白高粱组T-CHO显著高于其他各组($P<0.05$),大麦、玉米和木薯组无显著差异($P>0.05$),小麦组T-CHO含量不降反而升高了7.76%±3.78%。小麦组TGF显著高于其他各组,木薯组最低($P<0.05$),其他3组无显著差异($P>0.05$)。

2.7 越冬对大规格草鱼肌肉成分、肝糖原及肌糖原的影响

不同糖源的膨化饲料饲喂的大规格草鱼越冬后的肌肉蛋白和脂肪呈现一定比例的下降,

肌肉水分出现小幅度的升高,但是差异不显著($P>0.05$) (表9)。越冬后,各组大规格草鱼肌肉蛋白的下降比、脂肪下降比和水分增加比无显著差异,但是大麦组肌肉蛋白下降幅度最大,高粱组肌肉蛋白下降幅度最小;玉米组肌肉脂肪下降比最大,木薯组肌肉脂肪下降比最小;玉米组水分增加比最大,小麦组水分增加比最小。越冬后各组肌糖原无显著差异,白高粱组肌糖原下降比显著高于其他各组,其次是大麦组,玉米组含量升高;越冬后玉米组肝糖原显著低于其他各组,玉米组肝糖原下降比显著高于其他各组,大麦组含量升高。

表 8 不同糖源的膨化饲料对大规格草鱼越冬后血液生理生化指标的影响

Tab. 8 Effects of carbohydrate sources on serum indexes of large size *C. idella* after overwintering

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
越冬后血糖/(mmol/L) GLU	1.72±0.38	1.92±0.15	1.25±0.39	1.48±0.02	1.97±0.23
血糖下降比/% GLUF	61.80±14.85 ^c	37.09±12.94 ^a	57.45±13.23 ^b	58.56±13.43 ^b	45.50±14.59 ^{ab}
越冬后总胆固醇/(mmol/L) T-CHO	7.42±0.67	7.85±1.02	6.64±1.01	6.83±0.78	6.43±1.00
总胆固醇下降比/% T-CHOF	-7.76±3.78 ^a	16.55±8.69 ^b	18.10±9.65 ^b	27.81±6.85 ^c	24.93±10.09 ^{bc}
越冬后甘油三酯/(mmol/L) TG	0.18±0.03	0.49±0.11	0.71±0.24	0.61±0.25	0.70±0.12
甘油三酯下降比/% TGF	90.29±16.17 ^a	78.90±18.45 ^b	64.82±24.67 ^{bc}	73.68±22.48 ^b	50.00±24.47 ^c

表 9 不同糖源的膨化饲料对大规格草鱼越冬后肌肉成分的影响

Tab. 9 Effects of carbohydrate sources on muscle composition of large size *C. idella* after overwintering

项目 items	小麦 wheat	大麦 barley	玉米 corn	白高粱 white sorghum	木薯 cassava
越冬后粗蛋白/% crude protein	19.68±0.09	19.31±0.30	19.37±0.22	19.27±0.01	19.24±0.04
粗蛋白下降比/% FCP	2.53±1.27	4.31±2.06	3.07±0.53	1.59±0.03	2.12±0.49
越冬后粗脂肪/% crude fat	1.23±0.09	1.26±0.13	1.28±0.30	1.20±0.05	1.22±0.07
粗脂肪下降比/% FCF	35.86±2.31	57.67±5.01	66.32±4.14	55.56±8.86	48.75±9.71
越冬后水分/% moisture	77.39±0.03	77.78±0.09	77.69±0.46	77.87±0.13	78.49±0.33
水分增加比/% RM	2.40±0.13	3.49±0.31	3.76±1.20	2.45±0.26	2.59±0.13
越冬后肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	0.84±0.49	0.93±0.53	0.96±0.49	0.62±0.03	0.84±0.04
肌糖原下降比/% MGF	6.29±2.82 ^{ab}	23.82±8.86 ^b	-3.91±1.37 ^a	45.07±3.81 ^c	4.92±0.35 ^{ab}
越冬后肝糖原/(mg/g) hepatic glycogen	31.60±1.11 ^b	32.71±0.91 ^b	22.93±1.75 ^a	36.55±2.67 ^b	35.31±1.94 ^b
肝糖原下降比/% HGF	0.11±0.05 ^b	-16.30±3.15 ^a	37.84±9.38 ^c	12.38±4.33 ^{bc}	10.91±3.57 ^{bc}

3 讨论

3.1 不同糖源对大规格草鱼生长性能、肌肉成分及生理生化指标的影响

小麦因其质地松软、黏结性能好等优点在水产膨化饲料中被广泛使用^[3]。玉米淀粉黏性低、白高粱颗粒致密及大麦和木薯抗营养因子含量高等因素导致其在水产饲料中的应用受限^[5-7]。草鱼幼鱼硬颗粒沉性实验表明,小规格草鱼对小麦的利用效果要优于玉米^[14],对木薯的利用能力不佳^[15]。但在本实验中,小麦、大麦、白高粱和木薯组生长性能无显著差异。其原因可能为以下两个方面:①与膨化加工降低了饲料中抗营养因子含量有关,研究表明,膨化加工可以降低植酸、单宁等抗营养因子含量^[21-22],从而提高饲料利用率;②与鱼的规格有关,鱼体消化系统的结构和功能随生长发育而不断完

善,各种激素的分泌和糖代谢酶系逐渐健全,其对糖的消化能力随生长发育而增强,即成鱼对糖的消化吸收能力比幼鱼强^[17]。淀粉的功能主要受其形态、结构和颗粒大小等影响^[23]。不同的淀粉源其直、支链淀粉的比例不同,此比例影响着分子间的连接以及吸水性。支链淀粉是一种呈分支状的分子,在膨化制粒过程中起着膨胀的作用。支链淀粉分子间的键在高温作用下很容易断裂^[24]。玉米组的草鱼生长性能显著低于其他4组,可能原因:①与玉米淀粉中的角质层淀粉和硬质淀粉不利于水产动物的消化吸收有关,这与孙金辉等^[25]在鲤(*Cyprinus carpio*)中的研究结果一致;②与玉米中支链淀粉含量低而直链淀粉含量较高有关,直链淀粉分子间连接紧密不易断裂,导致糊化度降低并对酶抵触作用增强^[26],从而间接影响鱼类的生长。与其他4组糖源相比,玉米组血糖含量最低,且玉米组脏

体比和肌肉脂肪均高于其他各组,可能与草鱼对玉米消化吸收差,对玉米糖源利用差有关,过多的糖被转化为脂肪,导致肠系膜脂肪和肌肉脂肪沉积,这与田丽霞等^[14]研究结果一致。本研究表明,不同糖源对血清甘油三酯和总胆固醇影响显著,这可能与草鱼对不同糖源的吸收和转化、体内脂质代谢存在差异有关^[27],其机制有待深入探讨。

血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶是反映肝功能状态的重要指标^[28]。在正常情况下,肝细胞内的转氨酶仅有少量被释放到血浆中,当肝脏发生坏死或被破坏时,会有大量的谷草转氨酶和谷丙转氨酶从细胞内溢出进入血液,使血清中转氨酶的活性升高^[29]。在本实验中,各组草鱼血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶均与小麦组无显著差异或显著低于小麦组,说明本实验条件下,木薯、玉米、白高粱和大麦对草鱼肝脏影响与小麦相当。有研究表明,木薯中亚麻苦苷等有毒物质容易对鱼类肝脏造成损伤^[30],与本实验结果不一致,而与尹晓静等^[15]在草鱼中的研究结果相似。其原因可能是木薯经膨化加工或晒干等物理方式处理后,降低了亚麻苦苷等抗营养因子的含量。

3.2 不同糖源对大规模草鱼越冬后形体、肌肉成分及部分生理生化指标的影响

本研究表明,越冬后各糖源组草鱼体质量降低,鱼体水分含量升高,粗脂肪和粗蛋白含量降低,说明在越冬实验中,各组草鱼均动用了储存的脂肪及蛋白质提供能量;而越冬后糖原含量升降情况存在差异,大麦组肝糖原升高,玉米组肌糖原略微升高,其他各组肝糖原、肌糖原均降低,说明大麦组和玉米组在越冬期间动用糖原供能与其他组的差异较大。实际养殖过程中,特别是山区水库网箱养殖,草鱼越冬期基本处于停食状态,在低温和饥饿双重条件下,鱼体代谢率维持在较低的水平,活动及能量消耗均减少,仅动用身体贮存的能量来维持生命活动,贮能物质主要为脂肪、糖原及蛋白质,一般先动用肝脏内的储能物质分解供能,肝重减少,肝体指数随之下降^[31]。相关研究表明,草鱼在短期饥饿15 d时主要利用肝糖原、肌糖原和脂肪^[32];大鳍鱮(*Mystus macropterus*)饥饿12 d,主要利用肝糖原、肌糖原及蛋白质,然后

是脂肪^[33];真鲷(*Pagrosomus major*)饥饿15 d仅用蛋白质供能^[34]。说明不同鱼类在饥饿期间利用贮能物质供能的方式存在差异,同种鱼类在饥饿状态下的供能方式也与饥饿时间相关。其中脂肪是最廉价的供能物质,其次是糖原和蛋白质,然而越冬后肌肉蛋白水平最能体现越冬期体质量损失程度^[35]。本研究中,大麦组草鱼越冬后体质量损失率显著高于其他4组,大麦组肝体比下降比最低,肝糖原含量并未降低,反而有升高趋势,且大麦组草鱼肌肉粗蛋白含量下降幅度高于其他4组,说明大麦组动用肝脏内的储能物质相比最低,动用糖源来提供能量低于其他组,而使用蛋白质供能高于其他组,因此大麦组草鱼体质量下降速率快于其他组,其机理还有待进一步研究。

4 结论

在本实验条件下,综合生长性能、养殖效益、生理生化等指标,大规模草鱼膨化饲料中,木薯和白高粱可以替代小麦作为糖源。

参考文献:

- [1] 农业部渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 中国农业出版社, 2017.
The ministry of a griculture and fishery administration. Chinese Fishery Statistics Yearbook[M]. China Agriculture Press, 2017(in Chinese).
- [2] 冯硕恒, 米海峰, 刘迎隆, 等. 草鱼对饲料中碳水化合物利用的研究进展[J]. 中国饲料, 2016(5): 25-28.
Feng S H, Mi H F, Liu Y L, . Research progress on utilization of carbohydrate in feed by grass carp[J]. China Feed, 2016(5): 25-28(in Chinese).
- [3] 刘珍, 王卫国. 小麦在水产饲料中的应用研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2005(1): 34-36.
Liu Z, Wang W G. Research Progress on the application of wheat in aquatic feed[J]. Cereal & Feed Industry, 2005(1): 34-36(in Chinese).
- [4] Interpreters S. FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations[J]. Science, 2013, 118(3077): 3-3.
- [5] 张融, 李先德. 饲料大麦的应用价值及开发前景[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(7): 27-31.
Zhang R, Li X D. Application value and development prospect of feed barley in China[J]. Food and Nutrition

- in China, 2015, 21(7): 27-31(in Chinese).
- [6] Wang W X, Ke C. Dominance of dietary intake of cadmium and zinc by two marine predatory gastropods[J]. *Aquatic Toxicology*, 2002, 56(3): 153-165.
- [7] 陈静, 刘宏, 沈群. 12种杂粮米蒸煮特性研究[J]. *食品科技*, 2012, 37(9): 143-146.
- Chen J, Liu H, Shen Q. Gelatinisation properties of 12 varieties of grains[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(9): 143-146(in Chinese).
- [8] 叶元土. 鱼类营养与饲料配制[M]. 化学工业出版社, 2013.
- Ye Y T. *Fish Nutrition and Feed Preparation*[M]. Chemical Industry Press, 2013(in Chinese).
- [9] 徐祥泰, 陈乃松, 刘子科, 等. 饲料中不同淀粉源及水平对大口黑鲈肝脏组织学的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2016, 25(1): 61-70.
- Xu X T, Chen N S, Liu Z K, . Effects of dietary starch sources and levels on liver histology in largemouth bass, *Micropterus salmoides*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2016, 25(1): 61-70(in Chinese).
- [10] 赵万鹏, 刘永坚, 潘庆, 等. 草鱼对饲料中碳水化合物利用的研究[J]. *中山大学学报:自然科学版*, 1999, 38(4): 87-91.
- Zhao W P, Liu Y J, Pan Q, . Study on utilization of dietary carbohydrate by grass carp[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1999, 38(4): 87-91(in Chinese).
- [11] Rosas C, Cuzon G, Gaxiola G, . Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 259(1): 1-22.
- [12] 孙育平, 王国霞, 胡俊茹, 等. 不同种类碳水化合物对吉富罗非鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1486-1491.
- Sun Y P, Wang G X, Hu J R, . Effects of different types of carbohydrate on growth, body composition and serum biochemical indices of GIFT tilapia[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1486-1491(in Chinese).
- [13] 褚志鹏, 危起伟, 杜浩, 等. 不同糖源对达氏鲟幼鱼生长、体成分及生理生化指标的影响[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(2): 284-294.
- Chu Z P, Wei Q Q, Du H, . Effects of different carbohydrate sources on growth performance, body composition, and physiological and biochemical parameters of juvenile Dabry's sturgeon[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(2): 284-294(in Chinese).
- [14] 田丽霞, 刘永坚, 冯健, 等. 不同种类淀粉对草鱼生长、肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响[J]. *水产学报*, 2002, 26(3): 247-251.
- Tian L X, Liu Y J, Feng J, . Effect of different types of starch on growth, the deposition of mesenteric fat and body composition of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2002, 26(3): 247-251(in Chinese).
- [15] 尹晓静, 叶元土, 金素雅, 等. 玉米, 小麦和木薯对草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 生长性能的影响[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(08): 70-76.
- Ying X J, Ye Y T, Jin S Y, . Effects of corn, wheat and cassava on growth of *Ctenopharyngodon idella*[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2010, 25(08): 70-76(in Chinese).
- [16] 张建, 张宝彤, 叶元土, 等. 五种淀粉原料在草鱼饲料中应用效果的研究[J]. *饲料工业*, 2010, 31(24): 16-22.
- Zhang J, Zhang B T, Ye Y T, . Study on application effect of five kinds of starch materials in grass carp feed[J]. *Feed Industry*, 2010, 31(24): 16-22(in Chinese).
- [17] Mokoginta I, Takeuchi T, Hadadi A, . Different capabilities in utilizing dietary carbohydrate by fingerling and subadult giant gouramy, *Osphronemus gouramy*[J]. *Fisheries Science*, 2004, 70(6): 996-1002.
- [18] 朱站英, 华雪铭, 于宁, 等. 草鱼蛋白质和脂肪代谢对饥饿胁迫的响应[J]. *水产学报*, 2012, 36(5): 756-763.
- Zhu Z Y, Hua X M, Yu N, . Response of lipid and protein metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) to starvation[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(5): 756-763(in Chinese).
- [19] 刘庄鹏, 胡毅, 吕富, 等. 越冬对黄鳝形体、肠道消化酶及免疫指标的影响[J]. *水生态学杂志*, 2015, 36(03): 72-76.
- Liu Z P, Hu Y, Lv F, . Effect of overwintering on body indices, intestinal digestive enzymes and immune indices in *Monopterus albus*[J]. *Journal of Hydroecology*, 2015, 36(03): 72-76(in Chinese).
- [20] Association of Official Analytical Chemists. *Official Methods of Analysis of AOAC International*[M]. 16th ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- [21] 倪海球, 杨玉娟, 于纪宾, 等. 挤压膨化加工对菜籽粕

- 中抗营养因子含量及膨化菜籽粕对生长育肥猪生长性能的影响[J]. 动物营养学报, 2017, 29(7): 2295-2306.
- Ni H Q, Yang Y J, Yu J B, . Effects of extrusion on antinutritional factor content in rapeseed meal and expanded rapeseed meal on growth performance of growing finishing pigs[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(7): 2295-2306(in Chinese).
- [22] 刘艳香. 高粱挤压加工特性及高粱-蚕豆复配营养早餐粉的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2009.
- Liu Y X. Study on extrusion properties of sorghum flour and sorghum-bean nutritional breakfast powder[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2009(in Chinese).
- [23] Swinkles I J J M. Composition and properties of commercial native starches[J]. Starch-Stärke, 1985, 37(1): 1-5.
- [24] Davidson V J, Paton D, Diosady L L, *et al.* Degradation of wheat starch in a single screw extruder: characteristics of extruded starch polymers[J]. Journal of Food Science, 1984, 49(2): 453-458.
- [25] 孙金辉, 范泽, 程镇燕, 等. 饲料中玉米淀粉添加水平对鲤生长性能、消化酶活性及血清生化指标的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(4): 1152-1159.
- Sun J H, Fan Z, Cheng J Y, *et al.* Effects of dietary corn starch supplemental level on growth performance, digestive enzyme activities and serum biochemical indices of common carp[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(4): 1152-1159(in Chinese).
- [26] 袁军, 薛敏, 吴立新, 等. 不同淀粉源对膨化饲料颗粒质量及吉富罗非鱼表观消化率的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2209-2216.
- Yuan J, Xue M, Wu L X, *et al.* Effects of different starch sources on pellet quality of extruded feed and apparent digestibility of genetic improvement of farmed tilapia (*Oreochromis niloticus*, GIFT)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(8): 2209-2216(in Chinese).
- [27] 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): 107-11.
- [28] 聂国兴, 明红, 郑俊林, 等. 木聚糖酶对尼罗罗非鱼血液生理生化指标的影响[J]. 大连水产学院学报, 2007, 22(5): 361-365.
- Nie G X, Ming H, Zhen J L, . Effects of xylanase on blood physiological-biochemical parameters of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2007, 22(5): 361-365(in Chinese).
- [29] 孟兆娜, 陈玉春, 管雪婷, 等. 复方中草药对镜鲤 (*Cyprinus carpio* L.)血清转氨酶及红细胞抗氧化酶活性的影响[J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(8): 75-80.
- Meng Z N, Chen Y C, Guan X T, . Effect of Chinese herb compounds on activities of transaminase in -serum and antioxidase in erythrocyte of *Cyprinus carpio* L.[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(8): 75-80(in Chinese).
- [30] 马霞, 陈效儒, 潘瑜, 等. 乌鳢饲料中木薯粉替代不同比例面粉的营养效果[J]. 动物营养学报, 2015, 27(11): 3597-3603.
- Ma X, Chen Y C, Guan X T, *et al.* Nutritional effect of replacing wheat flour with cassava meal in *Channa argus* diets[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(11): 3597-3603(in Chinese).
- [31] 宋昭彬, 何学福. 鱼类饥饿研究现状[J]. 动物学杂志, 1998(1): 48-52.
- Song Z B, He X F. Research status of fish hunger[J]. Chinese Journal of Zoology, 1998(1): 48-52(in Chinese).
- [32] 沈文英, 林浩然, 张为民. 饥饿和再投喂对草鱼鱼种生物化学组成的影响[J]. 动物学报, 1999, 45(4): 404-412.
- Shen W Y, Lin H R, Zhang W M. Effect of starvation and refeeding on biochemical composition of grass carp fingerling[J]. Current Zoology, 1999, 45(4): 404-412(in Chinese).
- [33] 马珊, 姜海波, 姚俊杰. 短期饥饿对大鳍鲢生化组成、氨基酸和脂肪酸组成的影响[J]. 水生态学杂志, 2010, 31(02): 61-65.
- Ma S, Jiang H B, Yao J J. Biochemical composition amino acid and fatty acid composition of *Mystus macropterus* under short-term starvation[J]. Journal of Hydroecology, 2010, 31(02): 61-65(in Chinese).
- [34] 张波, 孙耀, 唐启升. 饥饿对真鲷生长及生化组成的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(3): 206-210.
- Zhang B, Sun Y, Tang Q S. The effects of starvation on growth and biochemical composition in *Pagrosomus major*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(3): 206-210(in Chinese).

- [35] 于淼. 松浦镜鲤越冬期的形态、组织学结构及生化组成变化研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015.
Yu M. Changes in morphology, histological structure, and biochemical components during overwintering in *Cyprinus carpio* var. *songpu mirror*[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015(in Chinese).

Effects of dietary carbohydrate sources on growth, overwintering and serum indexes in large-size *Ctenopharyngodon idella*

CHEN Tuan^{1,2,3}, HU Yi^{1,2*}, ZHANG Dehong^{1,3}, PAN Huaxiang^{1,3}, CHEN Yunfei^{1,2,3}, ZHONG Lei^{1,2*}

(1. Hunan Engineering Technology Research Center of Featured Aquatic Resources Utilization, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000, China;

3. Tongwei Co., LTD., Chengdu 610041, China)

Abstract: A 16-week feeding experiment was conducted to study the effects of different dietary carbohydrate sources (wheat, barley, corn, white sorghum, cassava) on growth, body composition, overwintering and serum indexes of large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [initial body weight (400.77±7.45) g]. Every diet was randomly fed by triplicate cages, and each cage (2 m×2 m×2 m) was stocked with 30 fish. After the feeding trail, 15 fishes were kept in original cage for overwintering experiment in 16 weeks. Results show as follows: the weight gain rate (WGR) and protein efficiency ratio (PER) of grass carp in corn group was the lowest among experimental groups, and the feed coefficient ratio (FCR) was the highest, but other four groups had no significant difference; the condition factor (CF) in wheat group, was the highest, body weight (VSI) in corn group, and the hepatic body ratio (HSI) and intestine ratio (ISI) in cassava group were the highest, and these were highest among experimental groups; blood glucose (GLU) in wheat group and total cholesterol (T-CHO) in barley and white sorghum groups were the highest among other groups. The triglyceride (TG) content in the cassava group was significantly lower than that in the other groups. The crude fat of muscle in wheat, barley and corn groups was significantly higher than white sorghum and cassava groups. The crude protein content of muscle in cassava group was significantly lower among other four groups. Hepatic glycogen was significantly higher in the white sorghum and cassava groups than other groups. Muscle glycogen was significantly higher in the barley and white sorghum groups than other groups. After wintering, the weight loss of barley grass carp was significantly higher than that of other groups. The decrease rate of HSI was significantly lower than other groups. The hepatic glycogen content was significantly increased, and the decrease of GLU was significantly less than that of other groups. The crude muscle protein decreased most rapidly. There were no significant differences in weight loss after winter in other groups. The CF was the highest drop rate in wheat group, the HSI decline in corn and cassava groups was significantly greater than other groups. Corn group had the largest decrease in VSI. In conclusion, under the puffing process conditions, wheat, cassava, and white sorghum are suitable sugar to be sources to be added in feed for large-size grass carp, and cassava has the lowest weight-increasing costs with growth, weight gain cost, and overwintering as evaluation indicators.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; carbohydrate sources; growth; overwintering; serum indexes

Corresponding author: HU Yi. E-mail: huyi740322@163.com; ZHONG Lei. E-mail: zhonglei-5@163.com

Funding projects: Major Science and Technology Special Project in Hunan Province, China (2017NK1030); Production Project of Tongwei Co., LTD. (TW2014A013)