

文章编号: 1000-0615(2018)05-0777-10

DOI: 10.11964/jfc.20170510849

不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规格草鱼生长、 肠道消化酶及血清指标的影响

胡毅^{1,2*}, 陈云飞^{1,2,3}, 张德洪^{1,3}, 陈团^{1,2},
刘波³, 高启平^{3*}

(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: 为探究不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规格草鱼生长、体成分、肠道消化酶和血清指标的影响, 以初始体质量(398.6±5.9) g的大规格草鱼为研究对象, 设置不同碳水化合物/蛋白质水平分别为C31P30、C34P28、C37P26、C40P24、C43P22、C46P20、C49P18的7组膨化饲料, 养殖周期为16周。实验结果显示, 各饲料组草鱼成活率(SR)差异不显著, 随着蛋白质水平的下降、碳水化合物水平的升高, 增重率(WGR)呈下降趋势, 蛋白质效率(PER)呈升高趋势; 肝体比(HSI)、脏体比(VSI)、肠体比(ISI)、肌肉和肝脏粗脂肪(CF)含量均有随饲料碳水化合物水平升高而升高的趋势。随着饲料中碳水化合物水平升高、蛋白质水平下降, 各组间草鱼肌肉粗蛋白质(CP)含量无显著差异; 肝糖原、肌糖原含量呈升高趋势, 饲料中碳水化合物水平分别高于46%和40%时, 肝糖原、肌糖原含量显著升高。肠道胰蛋白酶(PRS)和淀粉酶(AMS)活性随饲料中碳水化合物水平的升高呈先下降后升高趋势, 脂肪酶(LPS)活性呈升高趋势; 血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL)、高密度脂蛋白(HDL)含量及谷草转氨酶与丙转氨酶(GOT/GPT)比值都随饲料中碳水化合物水平升高和蛋白质水平下降而呈升高的趋势。本实验结果显示: 当饲料碳水化合物水平高于37%、蛋白质水平低于26%时, 将显著影响草鱼的生长, 饲料中高碳水化合物水平将导致鱼体肝体比、脏体比、肠体比以及肌肉和肝脏脂肪含量升高。

关键词: 草鱼; 蛋白质; 碳水化合物; 生长; 肠道消化酶; 血清指标

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)是我国养殖产量最高的淡水鱼类, 2015年养殖产量高达567.6万t^[1]。作为典型的草食性鱼类, 草鱼可利用高达37%~56%水平的碳水化合物^[2], 而对蛋白质的需求量相对较低, 在22%~33%^[3-4]。水产动物随着生长发育, 对饲料中蛋白质的需求量会降低, 而对碳水化合物的利用能力将提高^[5]。适当提高饲料中碳水化合物水平可以促进水产动物生长, 降

低其对饲料中蛋白质的需求量, 这已在黑鲟(*Acanthopagrus schlegeli*)幼鱼^[6]、大黄鱼(*Larimichthys crocea*)幼鱼^[7]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)幼鱼^[8]、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[9]以及草鱼幼鱼^[10]有相关研究。当前, 水产膨化饲料日益推广, 由于膨化能使蛋白质变性、多糖分解、淀粉糊化, 因此, 比环模制粒加工的饲料利用率更高^[11-13], 其蛋白质和碳水化

收稿日期: 2017-05-26 修回日期: 2017-10-29

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); 国家星火计划重点项目(2011GA770007)

通信作者: 胡毅, E-mail: huyi740322@163.com; 高启平, E-mail: gaoqp@tongwei.com

合物需求可能与环模制粒饲料存在差异。大规模阶段是草鱼养殖的主要饲料成本投入期,目前对草鱼营养的研究大多局限于幼鱼阶段,且主要以环模或平模制粒的颗粒饲料为主^[14-15],大规模草鱼饲料配方营养参数主要参考幼鱼研究成果,不符合大规模草鱼的营养需求,导致饲料配方不合理、饲料系数高、养殖成本高、体型差和抗应激差等现象。虽然草鱼对碳水化合物总体利用能力较高,但在膨化条件下,400 g左右的大草鱼对碳水化合物和蛋白质的利用情况尚未见相关报道。因此,在膨化颗粒饲料普及率越来越高的前提下,以草鱼膨化饲料配方为参考,研究不同碳水化合物和蛋白质水平膨化饲料对大规模草鱼生长、肠道消化酶和血清指标的影响;探讨膨化条件下,是否可以通过增加饲料中碳水化合物水平来减少蛋白质添加量,将为大规模草鱼膨化颗粒饲料配方的完善、配方成本的降低以及大草鱼健康养殖提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以草鱼膨化饲料配方为基础,豆粕、菜粕、玉米蛋白粉和进口玉米酒糟(DDGS)为主要蛋白源,每种饲料蛋白源在总蛋白源中保持比例一致,以保证每组饲料中氨基酸组成基本一致,以小麦和小麦麸为主要糖源,实验共设置7个处理,分别设置蛋白质水平依次为30%、28%、26%、24%、22%、20%、18%,碳水化合物(无氮浸出物)水平依次为31%、34%、37%、40%、43%、46%、49%,配制成7种膨化颗粒饲料,分别标记为C31P30、C34P28、C37P26、C40P24、C43P22、C46P20、C49P18。实验饲料由通威股份有限公司南昌分公司提供,饲料原

料使用利达超微粉碎机粉碎,粉碎细度达到80%过80目,通过牧羊混合机混合,混合均匀度系数为5.2%,最后通过恒润145双螺杆膨化机膨化,制作成粒径为4.0 mm的膨化饲料,实验饲料主要原料营养成分和配方组成如表1和表2所示。

1.2 饲养与管理

实验鱼购自湖南省岳阳市湘阴县,养殖实验在湖南省娄底市新化县车田江水库网箱进行。实验鱼先放于5 m×4 m×5 m的网箱暂养,正式实验采用2 m×2 m×2 m的聚乙烯网箱,挑选规格均匀、体格健壮、均重为(398.6±5.9) g的大规格草鱼进行实验。实验正式开始前1周,以7种实验膨化饲料按同一比例混合后对草鱼进行驯食,待所有实验网箱中的鱼全部正常摄食后,再投喂实验饲料开始实验。实验设置7个处理组,每个处理组设置3个平行,每个网箱放养30尾鱼。实验期间,水温低于25 °C时,以草鱼体质量的1%~2%投喂,日投喂两次(8:30—10:00、15:30—17:00),早晚比例为40%和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在7.3±0.5,溶氧量为(7.0±0.4) mg/L,氨氮浓度≤0.21 mg/L,水温为(26.1±3.1) °C。

1.3 样品收集

实验结束后,实验鱼饥饿24 h,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。从每个网箱随机抽取6尾草鱼,用丁香油麻醉(1:10 000)后,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静置过夜,然后3 500 r/min离心10 min,

表1 饲料配方中主要大宗原料营养成分
Tab. 1 The main ingredient nutrition in feed formula

原料 ingredient	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat	粗纤维 crude fiber	灰分 ash	无氮浸出物 N-free extract	%
小麦 wheat	12.00	1.70	1.90	2.40	68.50	
小麦粗麸 coarse bran	14.50	3.40	6.80	5.50	56.74	
米糠 rice bran	13.20	15.87	7.00	7.73	42.47	
大豆粕 soybean meal	43.20	0.80	7.90	6.50	28.10	
菜籽粕 rapeseed meal	36.00	0.90	12.50	8.50	28.60	
玉米蛋白粉 corn gluten meal	63.00	0.80	3.00	3.50	18.70	

表2 实验饲料配方及成分含量

Tab. 2 Feed formulation and nutrient levels of the experimental diet

项目 items	饲料 diet						
	C31P30	C34P28	C37P26	C40P24	C43P22	C46P20	C49P18
原料/% ingredient							
小麦 wheat	14.00	20.00	26.00	32.00	38.00	44.00	50.00
小麦粗麸 coarse bran	0.97	1.97	2.97	3.97	4.97	5.97	6.97
米糠 rice bran	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
大豆磷脂粉 soybean lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
豆油 soybean oil	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
大豆粕 soybean meal	20.00	18.00	16.00	14.00	12.00	10.00	8.00
菜籽粕 rapeseed meal	30.00	27.00	24.00	21.00	18.00	15.00	12.00
玉米蛋白粉 corn gluten meal	8.00	7.20	6.40	5.60	4.80	4.00	3.20
进口DDGS import DDGS	7.00	6.30	5.60	4.90	4.20	3.50	2.80
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1.20	1.20	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	0.20	0.20
白酒糟 distillers grains	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
膨润土 bentonite	4.13	3.63	3.13	2.63	2.13	1.63	1.13
添加剂* additive	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
营养指标/% nutritional indices							
水分 moisture	12.20	12.20	12.30	12.30	12.40	12.40	12.40
粗蛋白 crude protein	30.10	28.30	26.40	24.60	22.70	20.90	18.90
粗脂肪 crude fat	5.10	5.10	5.00	5.00	5.00	5.00	4.90
粗灰分 crude ash	10.90	10.60	10.30	10.00	9.70	9.40	9.10
无氮浸出物 N-free extract	32.40	34.90	37.80	40.40	43.20	45.80	48.50
粗纤维 crude fiber	9.40	8.90	8.20	7.80	7.00	6.60	6.10
钙 calcium	0.62	0.60	0.59	0.58	0.56	0.54	0.53
磷 phosphorus	1.09	1.07	1.05	1.03	1.02	1.00	0.98
赖氨酸 lysine	1.39	1.31	1.23	1.15	1.07	0.95	0.86
总能/(MJ/Kg) gross energy	11.64	11.72	11.75	11.84	11.90	11.99	11.99

注: *添加剂成分(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K₃ 200 mg、维生素B₁ 200 mg、维生素B₂ 280 mg、维生素B₈ 240 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、镁 4 000 mg、铁 4 800 mg、锌 2 000 mg、锰 800 mg、铜 160 mg、钴 12 mg、硒 4 mg、碘 40 mg

Notes: * Premix ingredients (per kg) as follows: vitamin A 120 000 IU; vitamin D₃ 40 000 IU; vitamin E 480 mg; vitamin K₃ 200 mg; vitamin B₁ 200 mg; vitamin B₂ 280 mg; vitamin B₈ 240 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 6 850 mg; creatine 3 200 mg; magnesium 4 000 mg; iron 4 800 mg; zinc 2 000 mg; manganese 800 mg; copper 160 mg; cobalt 12 mg; selenium 4 mg; iodine 40 mg

取上清液,保存于-80 °C冰箱,用于血清生化指标的测定;另随机取5尾草鱼麻醉后于冰盘上迅速进行解剖,称取肝重、肠重、内脏团总重,用于肝体比、脏体比、肠体比的计算;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;另取背部肌肉和肝脏,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,另一部分装于6号封口袋, -20°C保存,用于肝脏和肌肉常规成分的测定。

1.4 指标测定

饲料、肌肉、肝脏常规成分测定,参考(AOAC)^[16]测定方法,将待测样品于105°C恒温烘箱中进行烘干以检测其水分含量,样品中粗蛋白质含量采用凯氏定氮法进行测定;粗脂肪的含量采用索氏抽提法进行测定;灰分含量采用马弗炉550°C灼烧法进行测定。饲料粗纤维含量测定方法参考GB/T 6434-2006;饲料中无氮浸出物含量计算公式为无氮浸出物(%)=100%-(水分+粗蛋白+粗脂肪+灰分+粗纤维)%。

肝脏、肠道消化酶测定前,将所采集样品在测定前于冰盒中解冻,按指标测定说明书将待测组织于冰水浴中进行匀浆,2 500 r/min离心10 min,取上清液用于消化酶测定。肠道胰蛋白酶(Trypase)、淀粉酶(Amylase)和脂肪酶(Lipase)活性、血清谷草转氨酶(GOT)、谷丙转氨酶(GPT)、血糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、肝脏糖原、肌肉糖原的测定试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.5 数据计算与分析

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

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

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

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)= $100 \times W_v/W_q$

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $100 \times W_q/L^3$

肠体比(intestinosomatic index, ISI, %)= $100 \times W_i/W_q$

饲料系数(feed conversion rate, FCR)= $W_f/(W_z - W_c + W_d)$

蛋白质效率(protein efficiency rate, PER, %)= $100 \times (W_z - W_c + W_d)/(W_f \times m)$

式中, N_t 为终末尾数, N_0 为初始尾数, W_t 为终末均重, W_0 为初始均重, W_h 为肝重, W_q 为全鱼体质量, W_v 为内脏总重, L 为体长, W_i 为鱼肠重, W_f 为摄入饲料量, W_z 为终末体质量, W_c 为初始体质量, W_d 为死亡体质量, m 为饲料蛋白含量。

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 饲料不同碳水化合物和蛋白质水平对大规模草鱼生长的影响

C31P30组成活率最高,其他各组间成活率无显著差异(表3);随着饲料中蛋白质水平下降、

表3 不同碳水化合物和蛋白质水平饲料对大规模草鱼生长性能的影响

Tab. 3 Effects of different levels of carbohydrates and protein on growth performance of large-size *C. idella*

项目 items	饲料 diet						
	C31P30	C34P28	C37P26	C40P24	C43P22	C46P20	C49P18
初始均重/g IBW	400.00±2.00	397.33±7.51	402.00±0.00	401.67±2.89	397.08±2.09	400.00±3.00	399.94±7.66
终末均重/g EBW	1434.67±97.34 ^c	1386.00±71.02 ^c	1326.67±184.15 ^{bc}	1310.00±42.51 ^{bc}	1275.77±52.19 ^b	1164.00±83.61 ^{ab}	1093.00±97.06 ^a
成活率/% SR	96.70±0.00 ^b	90.00±0.00 ^a	93.30±0.00 ^{ab}	90.50±0.71 ^a	90.00±0.00 ^a	89.00±1.41 ^a	93.40±4.74 ^{ab}
饲料系数 FCR	1.67±0.10 ^a	1.75±0.11 ^{ab}	1.92±0.07 ^{bc}	1.94±0.06 ^c	1.95±0.05 ^c	2.11±0.18 ^{cd}	2.26±0.16 ^d
增重率/% WGR	260.69±8.65 ^c	251.83±11.41 ^c	229.44±12.01 ^b	226.222±12.07 ^b	225.91±8.15 ^b	195.90±7.11 ^a	193.67±1.96 ^a
蛋白质效率 PER	201.57±3.32 ^a	202.75±8.08 ^a	207.51±6.55 ^a	212.09±8.76 ^{ab}	231.09±9.50 ^b	230.91±10.44 ^b	237.42±8.40 ^b
肥满度/(g/cm ³) CF	2.10±0.07	2.05±0.09	2.17±0.06	2.08±0.06	2.07±0.08	2.14±0.09	2.11±0.12
脏体比/% VSI	12.99±0.73 ^a	12.86±0.32 ^a	13.27±0.55 ^a	14.16±0.45 ^b	13.43±0.47 ^{ab}	14.99±0.89 ^c	13.54±0.61 ^{ab}
肝体比/% HSI	2.27±0.13 ^{bc}	2.37±0.15 ^{bc}	2.18±0.11 ^{ab}	2.45±0.19 ^{cd}	2.00±0.16 ^a	2.13±0.08 ^{ab}	2.66±0.35 ^d
肠体比/% ISI	1.79±0.07 ^{ab}	1.88±0.02 ^{bc}	1.75±0.05 ^a	1.92±0.09 ^c	1.81±0.10 ^b	1.93±0.09 ^{cd}	2.03±0.13 ^d

注:表中同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 represented significant difference ($P < 0.05$). The same below

碳水化合物水平升高,草鱼增重率呈下降趋势,而饲料系数呈升高趋势。当饲料碳水化合物水平高于37%、蛋白质水平低于26%时,草鱼增重率显著下降($P<0.05$);饲料蛋白质效率随饲料中蛋白质水平下降、碳水化合物水平升高呈升高趋势;各组间大规格草鱼肥满度无显著差异($P>0.05$),但脏体比、肠体比和肝体比随饲料中碳水化合物水平的升高呈升高趋势,在碳水化合物水平为49%时,肝体比和肠体比显著高于其他组($P<0.05$)。

2.2 饲料不同碳水化合物和蛋白质水平对大规格草鱼肌肉、肝脏常规指标的影响

草鱼肝脏、肌肉粗脂肪含量随饲料碳水化合物水平升高、蛋白质水平下降而呈升高的趋势($P<0.05$)(表4)。当碳水化合物水平达到46%以上时,肌肉脂肪含量显著高于C31P30和C34P28组($P<0.05$);当碳水化合物水平达到40%以上时,肝脏脂肪含量显著高于C31P30和C34P28组($P<0.05$)。肌肉粗蛋白质含量随饲料碳水化合物水平升高、蛋白质水平降低而呈下降趋势,但各组间差异不显著;各处理组中草鱼肌肉和肝

脏水分无显著差异($P>0.05$)。随碳水化合物水平升高、蛋白质水平降低,肝糖原、肌糖原含量呈升高趋势,饲料碳水化合物水平达到46%时,肝糖原含量显著高于其他各饲料组($P<0.05$);肌糖原含量则在碳水化合物水平为40%时显著升高,继续升高碳水化合物水平,肌糖原含量显著降低($P<0.05$)。

2.3 饲料不同碳水化合物和蛋白质水平对大规格草鱼肠道消化酶活性的影响

随着饲料中碳水化合物水平升高和蛋白质水平下降,大规格草鱼肠道胰蛋白酶和淀粉酶活性呈先下降后升高趋势,胰蛋白酶和淀粉酶活性分别在碳水化合物水平为40%和46%时最低,继续升高碳水化合物水平后酶活性显著升高($P<0.05$);脂肪酶活性呈升高趋势,当碳水化合物水平为49%时,脂肪酶活性显著高于其他各组($P<0.05$)(表5)。

2.4 饲料不同碳水化合物和蛋白质水平对大规格草鱼血清指标的影响

随着饲料中碳水化合物水平升高,各组间大规格草鱼血糖含量无显著差异($P>0.05$),血清

表4 不同碳水化合物和蛋白质水平饲料对大规格草鱼肝脏、肌肉成分的影响

Tab. 4 Effects of different levels of carbohydrates and protein on liver and muscle composition of large-size *C. idella*

项目 items	饲料 diet							
	C31P30	C34P28	C37P26	C40P24	C43P22	C46P20	C49P18	
肌肉 muscle	水分/% moisture	75.39±0.85	75.39±0.54	75.54±0.18	74.91±0.43	74.75±0.90	74.33±0.76	75.47±0.77
	粗脂肪/% crude fat	2.79±0.10 ^a	2.80±0.11 ^a	3.23±0.16 ^{ab}	3.22±0.38 ^{ab}	3.23±0.54 ^{ab}	3.75±0.43 ^b	3.76±0.08 ^b
	粗蛋白/% crude protein	20.26±0.54 ^{ab}	20.27±0.04 ^{ab}	20.18±0.27 ^{ab}	20.75±1.25 ^b	20.04±0.16 ^{ab}	19.28±0.31 ^a	19.30±0.17 ^a
	肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	0.75±0.18 ^a	0.63±0.1 ^a	0.83±0.09 ^{ab}	1.42±0.15 ^c	1.42±0.25 ^c	1.03±0.16 ^b	0.83±0.21 ^{ab}
肝脏 liver	水分/% moisture	63.53±2.14	66.50±1.30	65.80±2.69	63.27±9.13	65.97±1.10	65.93±2.85	64.13±1.45
	脂肪/% crude fat	8.05±0.71 ^a	8.47±0.09 ^b	9.14±0.16 ^{bc}	10.20±1.73 ^c	11.07±1.42 ^d	10.43±0.33 ^d	10.96±0.96 ^d
	肝糖原/(mg/g) hepatic glycogen	31.76±1.31 ^a	33.45±3.55 ^a	32.89±4.3 ^a	28.94±3.61 ^a	29.5±5.62 ^a	50.21±3.99 ^e	44.34±3.21 ^b

表5 不同蛋白质和碳水化合物水平对大规格草鱼肠道消化酶活性的影响

Tab. 5 Effects of different levels of carbohydrates and protein on digestive enzyme of large-size *C. idella*

项目 items	饲料 diet						
	C31P30	C34P28	C37P26	C40P24	C43P22	C46P20	C49P18
胰蛋白酶/(U/mg prot) PRS	3 454.2±73.39 ^a	6 001.3±456.16 ^b	5 732.9±602.45 ^b	3 361.5±488.72 ^a	3 416.5±439.62 ^a	5 259.7±100.55 ^b	5 233.8±504.47 ^b
淀粉酶/(U/mg prot) AMS	5.96±0.57 ^{bc}	4.81±0.36 ^{ab}	4.98±0.54 ^{ab}	4.76±0.87 ^{ab}	5.44±0.89 ^{bc}	4.06±0.18 ^a	6.18±2.23 ^d
脂肪酶/(U/g prot) LPS	12.04±0.71 ^c	8.31±0.70 ^a	11.04±1.06 ^{bc}	12.66±2.87 ^c	8.59±0.70 ^{ab}	10.9±1.4 ^{abc}	17.84±2.81 ^d

总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白(HDL)、低密度脂蛋白(LDL)含量都有升高趋势;血清TC、HDL、LDL含量在碳水化合物水平46%组最高,但当饲料中碳水化合物水平升高到49%时,血清TC、HDL、LDL含量显著降低,血清TG含量显著升高;血清谷草转氨酶(GOT)活性呈升高趋势,谷丙转氨酶(GPT)活性呈下降趋势,GOT/GPT比例呈升高趋势($P<0.05$)(表6)。

3 讨论

3.1 不同碳水化合物和蛋白质水平饲料对大规模草鱼生长的影响

饲料蛋白质和碳水化合物是鱼类生长必不可少的营养物质。碳水化合物除了能为鱼类提供能量之外,还可以合成某些非必需氨基酸^[17];饲料蛋白质水平过低会限制鱼类生长,导致肌肉的蛋白质沉积率降低,而蛋白质水平过高则会导致蛋白质利用效率降低和氨氮排泄物增加,同时也增加了养殖成本并加重养殖水体污染^[18-20]。适当提高饲料中碳水化合物水平可以提高饲料蛋白质的利用率、降低水产动物饲料中蛋白质的添加量。本实验结果显示,草鱼饲料蛋白质效率随饲料中蛋白质水平下降、碳水化合物水平升高而呈升高趋势,这与Zeng等^[21]对大菱鲂(*Scophthalmus maximus*)、Shiau等^[22]对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*♂×*O. aureus*♀)、戴祥庆等^[23]对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)的研究结果相似。但当饲料蛋白质水平低于26%时会显著影响

大规模草鱼生长,这可能是两方面原因:一方面可能是饲料中蛋白质不能满足草鱼的生长需求;另一方面可能是饲料膨化加工后淀粉糊化,糊化淀粉吸水后膨胀可增加淀粉与淀粉酶的接触机会,同时膨化后还可使淀粉糖化,大大增加了淀粉的水溶性,从而使淀粉利用率提高,如鲤鱼类对熟淀粉的消化率比生淀粉高30%左右^[24]。虽然在非膨化条件下,草鱼对碳水化合物的利用率可高达37%~56%^[2],但在膨化条件下,更容易达到草鱼对碳水化合物的适宜需求量。饲料中糖类含量过高后,过多的糖类在体内通过糖酵解等途径转化为脂肪后在肝脏和肌肉中沉积,导致鱼类肝脏和肌肉脂肪含量增加^[25-27];本实验结果显示:当饲料中碳水化合物水平达到40%后,肝脏粗脂肪沉积量增加;当饲料中碳水化合物水平达到46%后,肌肉粗脂肪沉积量增加;各组间肌肉蛋白质含量无显著差异,可能是由于饲料蛋白质效率升高,导致蛋白质沉积未受饲料蛋白质水平降低的影响。肝脏和肌肉是葡萄糖以糖原形式储存的主要部位,饲料中碳水化合物经消化吸收以葡萄糖形式进入肝脏和血液,当饲料碳水化合物水平较高时,肝糖原合成会增加^[28]。本实验结果也显示,当饲料中碳水化合物达到46%时,肝糖原含量显著升高。肠体比通常是被用来衡量鱼类消化吸收能力的指标之一^[29],本实验中草鱼肠体比随着饲料蛋白质含量下降、碳水化合物水平升高呈现升高趋势,这可能是与草鱼需通过增加

表6 饲料不同碳水化合物和蛋白质水平对大规模草鱼血清生理生化指标的影响

Tab. 6 Effects of different levels of carbohydrates and protein on physiological and biochemical serum indexes of large-size *C. idella*

项目 items	饲料 diet						
	C31P30	C34P28	C37P26	C40P24	C43P22	C46P20	C49P18
葡萄糖/(mmol/L) GLU	4.29±0.29	4.69±0.21	4.45±0.47	4.86±0.37	4.76±0.30	4.81±0.84	4.88±0.36
总胆固醇/(mmol/L) TC	4.79±1.80 ^b	7.67±0.18 ^{cd}	6.75±0.58 ^c	8.09±0.66 ^d	6.99±0.99 ^c	8.54±0.59 ^d	2.73±0.38 ^a
甘油三酯/(mmol/L) TG	2.46±0.21 ^a	2.25±0.57 ^a	2.06±0.18 ^a	2.24±0.25 ^a	2.23±0.13 ^a	2.38±0.46 ^a	4.74±0.50 ^b
谷草转氨酶/(U/L) GOT	12.95±2.47 ^a	12.71±1.88 ^a	13.71±0.05 ^{ab}	16.46±1.24 ^{bc}	15.56±1.07 ^{abc}	16.65±1.71 ^c	15.46±0.72 ^{abc}
谷丙转氨酶/(U/L) GPT	8.28±0.16 ^c	9.79±1.77 ^d	7.3±0.7 ^{bc}	6.62±0.34 ^{ab}	7.59±0.39 ^{bc}	5.74±0.6 ^a	5.7±0.62 ^a
GOT/GPT	1.56±0.03 ^{ab}	1.33±0.24 ^a	1.89±0.19 ^{bc}	2.49±0.13 ^d	2.05±0.1 ^c	2.92±0.3 ^c	2.73±0.29 ^{bc}
高密度脂蛋白/(mmol/L) HDL	5.98±0.11 ^b	6.37±0.3 ^b	5.59±0.11 ^{ab}	7.25±0.4 ^c	7.31±0.25 ^c	9.97±0.88 ^d	4.99±0.42 ^a
低密度脂蛋白/(mmol/L) LDL	5.34±0.48 ^{ab}	5.64±0.34 ^b	4.88±0.14 ^a	5.16±0.2 ^{ab}	4.98±0.35 ^a	7.57±0.35 ^c	5.46±0.3 ^{ab}

肠道表面积来提高对饲料中蛋白质的吸收有关。

3.2 不同碳水化合物和蛋白质水平饲料对大规格草鱼肠道消化酶活力的影响

鱼类肠道消化酶活性与其食性和饲料营养成分密切相关,也反映了其对不同营养物质的利用能力^[30-31]。李弋等^[32]对大黄鱼(*larimichthys crocea*)的研究表明,碳水化合物会促进鱼类肠道淀粉酶的分泌,饲料中过高的碳水化合物水平会抑制鱼类胃蛋白酶活性^[33];强俊等^[34]对奥尼罗非鱼的研究表明,淀粉酶和胃蛋白酶活性随饲料碳水化合物水平升高而升高,而胰蛋白酶活性显著降低;饲料蛋白质水平也会对鱼类消化酶产生一定的影响。孙翰昌等^[35]对瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)的研究发现,饲料蛋白质水平升高可以提高肠道蛋白酶活性,而对脂肪酶和淀粉酶活性有一定的限制作用。本实验结果显示,草鱼肠道胰蛋白酶和淀粉酶活性随碳水化合物水平升高、蛋白质水平下降呈先降低后升高趋势,而脂肪酶活性则呈升高趋势,这与上述研究结果存在一定的差异性,原因可能与草鱼的食性有关,其肠道淀粉酶水平高于其他食性鱼类,蛋白酶在饲料低蛋白质水平下升高的原因可能是草鱼为满足自身对蛋白质的需求,补偿性分泌蛋白酶加强其对饲料中蛋白质的吸收,从而在一定程度上抵消了高糖水平对蛋白酶活性带来的抑制作用。

3.3 不同碳水化合物和蛋白质水平饲料对大规格草鱼部分血清指标的影响

血液是机体内环境的组成部分,是机体与外界环境联系的媒介,能够沟通体内各组织之间的联系,也是鱼体健康和对环境适应情况的重要评价指标^[36]。GLU水平的恒定是机体健康的重要指标之一,TG、TC、LDL、HDL是脂类在血液中存在和运输的形式,其含量代表脂肪在体内代谢的状况。本实验结果显示,碳水化合物水平升高、蛋白质水平下降对大规格草鱼血清GLU含量无显著影响,TG、TC、LDL、HDL等含量均呈升高趋势,说明在本实验条件下,碳水化合物水平升高会促进草鱼体内脂肪的代谢。血清GOT、GPT值是肝脏健康与否的重要指标,正常情况下GOT、GPT存在于肝脏和心肌细胞中,当肝脏受损时血清中GOT和GPT值则会升高^[37],

本实验中,血清GOT值随碳水化合物水平升高呈升高趋势,而GPT值则呈下降趋势,GOT/GPT比值则呈升高趋势,说明饲料高碳水化合物水平、低蛋白质水平对大规格草鱼肝脏造成了一定的损伤。

4 结论

在本实验膨化条件下,当饲料碳水化合物水平高于37%、蛋白质水平低于26%,会显著降低大规格草鱼生长性能,且碳水化合物过高会对大规格草鱼的生长和健康带来不利的影响。

参考文献:

- [1] 农业部渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016.
The ministry of agriculture and fishery administration. Chinese fishery statistical yearbook [M]. Beijing: China agriculture press, 2016.
- [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, 32.
Feng S H, Mi H F, Liu Y L, et al. Research progress on utilization of carbohydrate in feed by Grass carp[J]. China Feed, 2016(5): 25-28, 32(in Chinese).
- [3] 林鼎, 毛永庆, 蔡发盛. 鲢鱼*Ctenopharyngodon idellus*鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的研究[J]. 水生生物学集刊, 1980, 4(2): 207-212.
Lin D, Mao Y Q, Cai F S. Experiments on the protein requirements of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus* (C. & V.)) juveniles[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1980, 4(2): 207-212(in Chinese).
- [4] 李彬. 饲料蛋白质水平对三种规格草鱼生长、饲料利用以及氮代谢的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
Li B. Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization and nitrogen metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in three growth stages [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014 (in Chinese).
- [5] 杨俊江. 三个生长阶段斜带石斑鱼蛋白质、脂肪和碳水化合物需要量研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2013.
Yang J J. The Requirement of protein, lipid and carbohydrate for grouper (*Epinephelus coioides*) at three growth stages [D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2013 (in Chinese).
- [6] 李玉娟. 不同蛋白和碳水化合物水平对黑鲷幼鱼生长性能和肌肉品质的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
Li Y J. Effects of different dietary protein and carbo-

- hydrate levels on growth performance and flesh quality of juvenile black sea bream (*Acanthopagrus schlegelii*) [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015 (in Chinese).
- [7] 王猛强, 黄文文, 周飘苹, 等. 不同蛋白质和小麦淀粉水平对大黄鱼生长性能、糖酵解和糖异生关键酶活性的影响[J]. 水产学报, 2015, 39(11): 1690-1701.
- Wang M Q, Huang W W, Zhou P P, *et al.* Effects of dietary protein and wheat starch levels on growth performance, hepatic glycolysis and gluconeogenic key enzymes activities in large yellow croaker (*Larimichthys crocea* Richardson)[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(11): 1690-1701(in Chinese).
- [8] Ren M C, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, body composition, apparent digestibility coefficient and digestive enzyme activities of juvenile cobia, *Rachycentron canadum* L[J]. Aquaculture Research, 2011, 42(10): 1467-1475.
- [9] Zhou C P, Ge X P, Liu B, *et al.* Effect of dietary carbohydrate level on growth performance, blood chemistry, hepatic enzyme activity, and growth hormone gene expression in Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 2013, 65(1): 1-8.
- [10] 蒋阳阳, 何吉祥, 李海洋, 等. 不同饵料蛋白比对草鱼幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 753-758.
- Jiang Y Y, He J X, Li H Y, *et al.* Effect of protein to carbohydrate ratios on growth performance, body composition and digestive enzymes activities of juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. Journal of Southern Agriculture, 2016, 47(5): 753-758(in Chinese).
- [11] 王常安, 徐奇友, 许红, 等. 膨化饲料和颗粒饲料对哲罗鲑生长、体成分、消化酶活性和血液生化指标影响的比较[J]. 水产学杂志, 2008, 21(2): 47-54.
- Wang C A, Xu Q Y, Xu H, *et al.* Effects of feeding extruded and pelleted diet on the growth, body composition, digestive enzyme activities and plasma biochemical indexes of *Hucho taimen*[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2008, 21(2): 47-54(in Chinese).
- [12] Shiau S Y, Liang H S, *et al.* 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.
- [13] Ma F, Li X Q, Li B A, *et al.* Effects of extruded and pelleted diets with differing protein levels on growth and nutrient retention of tilapia, *Oreochromis niloticus*×*O. aureus*[J]. Aquaculture International, 2015, 23(6): 1341-1356.
- [14] 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, *et al.* 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).
- [15] 姚林杰, 叶元土, 蔡春芳, 等. 饲料蛋白质脂肪比与不同生长阶段团头鲂全鱼蛋白质、脂肪含量及肌肉氨基酸、脂肪酸组成的关系[J]. 动物营养学报, 2014, 26(8): 2184-2196.
- Yao L J, Ye Y T, Cai C F, *et al.* Relationship between dietary protein to lipid ratio on protein and lipid contents in whole-body, and amino acid and fatty acid compositions in muscle of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) in different growth stages[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(8): 2184-2196(in Chinese).
- [16] AOAC. Official methods of analysis of AOAC International [M]. 16th ed. Arlington, VA: AOAC International, 1995.
- [17] 邹思湘. 动物生物化学[M]. 4版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- Zou S X. Animal Biochemistry [M]. 4th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [18] 杨弘, 徐起群, 乐贻荣, 等. 饲料蛋白质水平对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、体组成、血液学指标和肝脏非特异性免疫指标的影响[J]. 动物营养学报, 2012, 24(12): 2384-2392.
- Yang H, Xu Q Q, Le Y R, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, body composition, hematological indexes and hepatic non-specific immune indexes of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(12): 2384-2392(in Chinese).
- [19] 涂永芹, 韩冬, 朱晓鸣, 等. 饲料中不同蛋白、脂肪水平对春鲤生长、饲料利用和体成分的影响[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5): 843-850.
- Tu Y Q, Han D, Zhu X M, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth, feed utilization and Body composition of *Cyprinus longipectoralis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2012, 36(5): 843-850(in Chinese).

- [20] Kim K W, Wang X J, Bai S C. Optimum dietary protein level for maximum growth of juvenile olive flounder *Paralichthys olivaceus* (Temminck et Schlegel)[J]. *Aquaculture Research*, 2015, 33(9): 673-679.
- [21] Zeng L, Lei J L, Ai C X, et al. Protein-sparing effect of carbohydrate in diets for juvenile turbot *Scophthalmus maximus* reared at different salinities[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2015, 33(1): 57-69.
- [22] Shiau S Y, Peng C Y, et al. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Aquaculture*, 1993, 117(3): 327-334.
- [23] 戴祥庆, 杨国华, 李军. 青鱼饲料最适能量蛋白比的研究[J]. *水产学报*, 1988, 12(1): 35-41.
- Dai X Q, Yang G H, Li J. The optimum calorie protein ratio in the diet for black carp fingerlings[J]. *Journal of Fisheries of China*, 1988, 12(1): 35-41(in Chinese).
- [24] 麦康森. 水产动物营养与饲料学[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2011: 39.
- Mai K S. *Aquatic Animal Nutrition and Feed Science*[M]. 2nd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2011: 39.
- [25] 蒋湘辉, 刘刚, 金广海, 等. 饲料蛋白质和能量水平对草鱼生长和鱼体组成的影响[J]. *水产学杂志*, 2010, 23(1): 24-27.
- Jiang X H, Liu G, Jin G H, et al. Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of *Ctenopharyngodon idellus*[J]. *Chinese Journal Fisheries*, 2010, 23(1): 24-27(in Chinese).
- [26] 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).
- [27] 王菲, 李向飞, 李贵锋, 等. 不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响[J]. *水产学报*, 2015, 39(9): 1386-1394.
- Wang F, Li X F, Li G F, et al. Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, body composition, digestion and glycolysis of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2015, 39(9): 1386-1394(in Chinese).
- [28] 杨玲. 三种糖代谢调控剂对异育银鲫生长、血液生化指标及糖代谢的影响[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2009.
- Yang L. Effects of three glycometabolic modulators on growth, serum biochemical indices and glycometabolism in *Carassius auratus gibelio*[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2009 (in Chinese).
- [29] 郭建林, 马恒甲, 孙丽慧, 等. 不同精、青饲料比例对草鱼生长、形体及肌肉营养成分的影响[J]. *浙江海洋学院学报(自然科学版)*, 2012, 31(6): 503-508.
- Guo J L, Ma H J, Sun L H, et al. Effects of different proportion of pelleted feed and duckweed on growth, body shape and muscle composition of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2012, 31(6): 503-508(in Chinese).
- [30] 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.
- [31] 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(3-4): 267-283.
- [32] 李弋, 周飘苹, 邱红, 等. 饲料中糖源对大黄鱼生长性能及消化酶、糖代谢关键酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2015, 27(11): 3438-3447.
- Li Y, Zhou P P, Qiu H, et al. Effects of dietary carbohydrate sources on growth performance, digestive enzyme and carbohydrate metabolic key enzyme activities of large yellow croaker (*Larimichthys crocea* Richardson)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(11): 3438-3447(in Chinese).
- [33] Moyano F J, Díaz M, Alarcón F J, et al. Characterization of digestive enzyme activity during larval development of gilthead seabream (*Sparus aurata*)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 1996, 15(2): 121-130.
- [34] 强俊, 王辉, 彭俊, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长的影响[J]. *饲料工业*, 2009, 30(14): 32-35.
- Qiang J, Wang H, Peng J, et al. Effect of dietary carbohydrate levels on growth performance in hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)[J]. *Feed Industry*, 2009, 30(14): 32-35(in Chinese).
- [35] 孙翰昌, 徐敬明, 庞敏. 饲料蛋白水平对瓦氏黄颡鱼消化酶活性的影响[J]. *水生态学杂志*, 2010, 3(2): 84-88.
- Sun H C, Xu J M, Pang M. Effects of dietary protein levels on digestive enzyme activities of yellow catfish *Pelteobagrus vachelli*[J]. *Journal of Hydroecology*,

- 2010, 3(2): 84-88(in Chinese).
- [36] 周玉, 郭文场, 杨振国, 等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163-165.
Zhou Y, Guo W C, Yang Z G, *et al.* Advances in the study of haematological indices of fish[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2001, 10(2): 163-165(in Chinese).
- [37] 王香丽, 麦康森, 徐玮, 等. 蛋氨酸对瓦氏黄颡鱼幼鱼肝脏及血浆中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活力的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(9): 49-53.
Wang X L, Mai K S, Xu W, *et al.* Influence of dietary methionine on the activity of liver and plasma glutamic-pyruvic and glutamic oxalacetic transaminases of juvenile darkbarbel catfish (*Pelteobagrus vachelli*)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2015, 45(9): 49-53(in Chinese).

Effects of different dietary carbohydrate and protein levels on growth, intestinal digestive enzymes and serum indexes in large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)

HU Yi^{1,2*}, CHEN Yunfei^{1,2,3}, ZHANG Dehong^{1,3}, CHEN Tuan^{1,2},
LIU Bo³, GAO Qiping^{3*}

(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 and protein levels on growth, body composition, intestinal digestive enzyme activity and serum indexes of large-size grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [initial body weight (398.6±5.9 g)]. Seven extruded diets with different levels of carbohydrate (C) and protein (P) (C31P30, C34P28, C37P26, C40P24, C43P22, C46P20, C49P18) were made. Experimental results showed that with protein levels decreasing and carbohydrate levels increasing, weight gain rate decreased significantly, protein efficiency significantly increased, hepatosomatic index, viscera index, intestinosomatic index and the fat content of muscle and liver increased significantly. However, the protein content in muscle had no significant difference among dietary treatments. The carbohydrate levels affected significantly the glycogen content in liver and muscle. The glycogen content in liver and muscle increased significantly when the carbohydrate levels were equal to or over 46% and 40%, respectively. The activities of intestinal trypsin and amylase decreased firstly, and then showed a tendency of increase, and lipase activity significantly increased. The content of serum total cholesterol (TC), triglyceride (TG), low density lipoprotein (LDL), high density lipoprotein (HDL), and glutamic-oxalacetic transaminase (GOT)/ glutamic-pyruvic transaminase (GPT) values had a rising trend with dietary carbohydrate levels increasing and protein level decreasing. These results indicated that lower protein (protein levels below 26%) and higher carbohydrate (carbohydrate level above 37%) imposed a negative effect on growth performance, and the hepatosomatic index, viscera index, intestinosomatic index and the fat content of muscle and liver were significantly increased at high level of dietary carbohydrate.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; protein; carbohydrates; growth; intestinal digestive enzyme; serum indexes

Corresponding author: HU Yi, E-mail: huyi740322@163.com; GAO Qiping, E-mail: gaoqp@tongwei.com

Funding projects: Major Science and Technology Special Project in Hunan, China (2017NK1030); Production Project of Tongwei Co., LTD. (TW2014A013); National Spark Plan Key Project of China (2011GA770007)