

黄龙, 韦木莲, 蒙烽, 吴雅丽, 廖森泰, 丁成章, 李强, 姜鹏. 基塘农业模式下不同饲料养殖草鱼的成效分析 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(5): 113-120.

## 基塘农业模式下不同饲料养殖草鱼的成效分析

黄龙<sup>1</sup>, 韦木莲<sup>1</sup>, 蒙烽<sup>1</sup>, 吴雅丽<sup>1</sup>, 廖森泰<sup>2</sup>, 丁成章<sup>1</sup>, 李强<sup>1</sup>, 姜鹏<sup>3</sup>

(1. 佛山市农业科学研究所 / 佛山市农业技术推广中心 / 广东省农业科学院佛山分院, 广东 佛山 528145;  
2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 广东 广州 510610;  
3. 中国水产科学院珠江水产研究所, 广东 广州 510380)

**摘要:**【目的】探究基塘农业模式下,不同饲料养殖草鱼的生长性能、常规营养成分和经济效益的差异。【方法】设置蛹肽蛋白饲料组、混合料组、普通料组进行养殖对比试验,每组选择初始体重为 770 (±11.2) g 的草鱼 610 尾,分别放入面积相同的试验池塘养殖 180 d,试验期结束后每组随机抽取 4 尾草鱼,采集侧线上方背脊肌肉,制成 4 个质量均为 50 (±3.8) g 的混合样作为每组 4 个重复,另外试验前随机抽取 4 尾初始规格鱼种的背脊肌肉制成混合样设置为空白对照。【结果】蛹肽蛋白饲料组草鱼增重率最高 (134.3%),肌肉粗脂肪含量 (1.74%) 显著高于其他组,从增重率与特定生长率两个指标看,均呈现出蛹肽蛋白饲料组 > 普通料组 > 混合料组的显著性差异;混合料组的草鱼粗蛋白含量 (20.7%) 和鲜味氨基酸含量 (6.37%) 均最高,而脂肪含量最低 (1.27%),投入产出比最低 (0.941)。初始组不饱和脂肪酸含量 (71.07%) 显著高于 3 个试验组,3 个试验组草鱼肌肉油酸 (C<sub>18:1</sub>) 含量与氨基酸总量均高于初始组,蛹肽蛋白饲料组与普通料组的鱼肉营养成分无显著差异。【结论】摄食蛹肽蛋白饲料的草鱼增重率高,但容易沉积体脂,导致体型肥胖;混合料组的草鱼生长速度慢,但鱼肉粗蛋白含量最高 (20.7%),脂肪含量最低 (1.27%),肉质更鲜美。基塘农业模式下利用闲置区域种青养鱼,能有效降低饲料成本,改善鱼肉品质。

**关键词:** 基塘农业; 草鱼; 蛹肽蛋白; 高丹草

中图分类号: S964.9

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2019) 05-0113-08

## Analysis on the Effects of Grass Carp Fed with Different Feed Based on Dike-pond Agriculture

HUANG Long<sup>1</sup>, WEI Mulian<sup>1</sup>, MENG Feng<sup>1</sup>, WU Yali<sup>1</sup>, LIAO Sentai<sup>2</sup>,

DING Chengzhang<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>1</sup>, JIANG Peng<sup>3</sup>

(1. Foshan Sciences of Agricultural Institute / Agricultural Technology Extension Center of Foshan / Foshan Branch, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Foshan 528145, China; 2. Sericulture Institute & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China; 3. Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510380, China)

**Abstract:** 【Objective】The study was conducted to explore the differences in growth performance, conventional nutrient composition and economic benefits of grass carp cultivated with different feed based on dike-pond agriculture. 【Methods】A comparative test on grass carp breeding among three groups, i.e. pupa peptide protein group (PP. Group), pupa peptide protein feed and jean grass group (PP.+JG.Group), feed from WangHai corp. (WH. Group). 610 grass carps with the

收稿日期: 2019-03-24

基金项目: 佛山市农业科技推广资金 (佛财预 [2018] 6 号)

作者简介: 黄龙 (1988—), 男, 水产养殖工程师, 研究方向为设施渔业, E-mail: 331536748@qq.com

initial weight of 770( $\pm$  11.2) g were selected for each group and were cultured in the test ponds of the same size(0.147 hm<sup>2</sup>) for 180 d. At the end of test period, 4 grass carps were randomly selected from each group, and dorsal muscle above the lateral line were collected and made into 4 compound samples with a mass of 50( $\pm$  3.8) g as 4 repeated samples in each group. In addition, the dorsal muscle of 4 grass carps with the initial weight was randomly collected before the test to be made into compound samples as the blank control group. 【 Result 】 The results showed that the grass carps in PP. Group have the highest weight gain rate (134.3%), and the crude fat content in muscle (1.74%) was significantly higher than that of other groups. From the two indicators of weight gain rate and specific growth rate, there was an obvious difference among 3 groups: PP. Group >WH.Group>PP.+ JG. Group. The crude protein content (20.7%) and delicious amino acid content (6.37%) of grass carps in PP.+JG.Group were the highest, while the fat content was the lowest (1.27%), and the input-output ratio was the lowest (0.941). The unsaturated fatty acid content (71.07%) of the initial group was significantly higher than that of three test groups (66.98%, 65.48%, 66.07%); while the oleic acid content(C<sub>18:1</sub>) and total amino acid content in the muscle of grass carps in the three test groups were significantly higher than those in the initial group, and there was no significant difference in the fish nutritional composition between PP. Group and WH.Group. 【 Conclusion 】 Grass carps fed with pupa peptide protein feed had a high rate of weight gain, but it was easy to cause body fat deposition. Grass carps of PP.+JG.Group grew slowly, but the fish had the highest crude protein content (20.7%) and the lowest fat content (1.27%), and higher delicious amino acid content. Raising grass carp with grass based on dike-pond agriculture in the idle areas can effectively reduce the cost of feed and improve the fish quality.

**Key words:** dike-pond agriculture; grass carp; pupal peptide protein; jean grass

【研究意义】基塘农业种养模式在改善环境和提高社会经济价值方面具有独特的作用,开展基塘农作物和水产名优品种选育及布局优化、基塘系统水陆相互作用的研究,有助于发展生态效益与经济效益兼顾的基塘农业。【前人研究进展】19世纪80年代,以钟功甫为主要代表的研究团队系统地探究了珠三角的桑基鱼塘及其水陆的相互作用<sup>[1]</sup>。1992年,珠三角的桑基鱼塘被联合国教科文组织列为区域农业开发的典型范例,从此引起了国内外学术界的研究兴趣,主要研究方向为基塘农业时空格局变化和农业发展模式的演变<sup>[2-4]</sup>,但基塘农业系统种养模式及可行性研究相关报道较少。有学者在种青养鱼领域进行了相关研究,程辉辉等<sup>[5]</sup>研究了种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性;毕香梅等<sup>[6]</sup>、毛东东等<sup>[7-8]</sup>分别研究了摄食青草、皇竹草和人工配合饲料的草鱼的肌肉营养成分;陈丽婷<sup>[9]</sup>研究了3种优质青饲料对草鱼饲养的效果。广东佛山珠三角基塘农业研究中心近期在广东省农业科学院佛山分院挂牌成立,正开展相关研究。【本研究切入点】随着工业化和城市化进程加快,基塘农业的经营模式及基塘用地的空间发生了巨大变化,鱼塘面积不断增大而基面面积逐渐缩小,目前珠三角基-塘比例以2:8居多。在佛山市南海和顺德区域,由于鱼塘租金上涨速度快,一般可达每年6~8元/m<sup>2</sup>,导致养殖户不断提高

养殖密度,而集约化养殖逐渐衍生出鱼类病害多发和饲料利用率下降、肉质变差<sup>[6,10]</sup>等问题。治病不如预防,种养结合提升生态系统协同效益的理念被重新挖掘。新形势下基塘农业模式需走生态高效化、产业化延伸的路子,构建兼顾污染整治、生态保护等因素的珠江三角洲种养综合技术体系<sup>[11]</sup>。【拟解决的关键问题】本研究在基塘农业模式下以不同饲料养殖草鱼,养殖前期主要投喂人工配合饲料,后期适当增加高丹草(该牧草为高粱与苏丹草杂交的新品种,其粗蛋白和粗脂肪含量丰富,供草期一般为5~10月,南方一年可收割6~8次<sup>[12]</sup>)的投喂,比较分析草鱼的生长性能、肌肉营养成分及经济效益的差异,探索基塘农业模式养殖草鱼的方法,为草鱼肉质的改良提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 基塘饲草种植

试验在佛山市农业科学研究所内水产示范区进行,试验塘总面积1.3 hm<sup>2</sup>,其中水面面积1 hm<sup>2</sup>,塘基面积0.3 hm<sup>2</sup>,利用塘基的空置区域种植果桑,经常露出水面的池塘堤面种植得力高丹草。2018年5月初,草苗长至1 cm时移植至池塘坡面距离塘基水平面50 cm的范围内,条播行距15 cm,种植面积为667 m<sup>2</sup>。

### 1.2 养殖试验设计

供试草鱼购自佛山市南海百容水产良种有限公司, 初始平均体重 770 ( $\pm 11.2$ ) g, 投入 3 个面积相同 (0.147 hm<sup>2</sup>) 的池塘, 每个池塘放养草鱼 610 尾, 搭配鳊鱼 200 ( $\pm 6.5$ ) g30 尾, 鲢鱼 350 ( $\pm 8.3$ ) g50 尾。试验设 3 个处理: 蛹肽蛋白饲料组, 投喂广东丰信饲料有限公司的蛹肽蛋白饲料 (粗蛋白含量 28.0%、粗脂肪含量 3.0%、粗灰分 16.0%, 配方源自广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所); 混合料组, 投喂蛹肽蛋白饲料和高丹草, 每周收割两次高丹草喂鱼; 普通料组, 投喂广东旺海饲料实业有限公司的草鱼料 (粗蛋白含量 29.0%、粗脂肪含量 2.8%、粗灰分 15.0%)。每天 8:00 和 17:00 按鱼体重的 5%~8% 各投喂 1 次, 根据天气状况和鱼的采食情况适当增减投喂量, 保持每个池塘每次投喂饲料时的量一致, 混合料组投喂高丹草时当餐不再投喂饲料。养殖期间池塘水温为 20.6~32.5 °C, 溶氧量为 5.76~7.18 mg/L, 总硬度为 78~96 mg/L, 氨氮含量为 0.08~0.5 mg/L, 亚硝态氮含量为 0.05~0.2 mg/L。

### 1.3 指标测定

本试验在基塘农业模式下种草养鱼, 试验期为 2018 年 4—10 月 (180 d), 统计期间收割的高丹草总质量, 渔获总重和投入饲料的数量及成本。

**1.3.1 生长指标测定** 试验结束, 停止喂食, 使鱼饥饿 24 h, 记录每个池塘的草鱼、鳊鱼、鲢鱼实际起捕总尾数, 称量每个池塘的成鱼总质量, 计算增重率和成活率。

增重率 (WGR, %) = (鱼体末质量 - 鱼体初质量) / 鱼体初质量  $\times 100$ ;

成活率 (SR, %) = (总尾数 - 死亡尾数) / 总尾数  $\times 100$ ;

收入 = 产量  $\times$  单价;

纯收入 = 收入 - (种苗、饲料、人工等投入品) 成本;

特定生长率 (SGR, %/d) = (Ln 终末平均体质量 - Ln 初始平均体质量)  $\times 100$  / 饲养天数。

**1.3.2 草鱼肌肉营养成分分析** 每个处理随机抽取 4 尾草鱼, 采集侧线上方背脊肌肉, 制成 4 个混合样, 样品质量 50 ( $\pm 3.8$ ) g, 得到包括初始组 (投放鱼种前采样) 在内共 16 个样本。肌肉水分含量采用直接干燥法测定, 参考 GB 5009.3-2010; 粗蛋白含量采用凯式定氮法测定, 参考 GB 5009.5-2010; 粗脂肪含量采用索氏抽提法测定, 参考 GB/T 5009.6-2003; 氨基酸测定参照 GB/T 5009.124-2003 的方法进行样品处理, 采用高效液相色谱仪测定鱼肉氨基酸组成; 不饱和脂肪酸测定参照 GB/T 9695.2-2008 的方法进行样品处理, 采用气相色谱仪按峰面积归一化法计算脂肪酸组成。

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析, 当差异显著时 ( $P < 0.05$ ) 进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 投喂不同饲料对草鱼生长性能的影响

从表 1 可见, 不同处理组草鱼初始平均体重相近, 而终末平均体重则出现了显著差异, 投喂蛹肽蛋白饲料组草鱼的增重率 (134.3%) 和特定生长率最高 (0.47%/d); 混合料组草鱼的增重率 (112.2%) 和特定生长率 (0.42%/d) 最低, 从增重率与特定生长率两个指标来看, 均呈现出蛹肽蛋白饲料组 > 普通料组 > 混合料组的显著性差异。3 种饲料处理的草鱼成活率达到 96%, 无显著性差异。

表 1 投喂不同饲料对草鱼生长性能的影响

Table 1 Effects of different feed on growth performance of grass carp

处理 Treatment	初始平均体重 (IMW, g)	终末平均体重 (FMW, g)	增重率 (WGR, %)	特定生长率 (SGR, %/d)	成活率 (SR, %)
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	781.2 $\pm$ 8.3a	1830.6 $\pm$ 23.6a	134.3 $\pm$ 9.2a	0.47 $\pm$ 0.01a	96.5a
混合料组 PP.+JG.Group	765.6 $\pm$ 7.2a	1624.8 $\pm$ 23.1b	112.2 $\pm$ 7.5b	0.42 $\pm$ 0.01b	96a
普通料组 WH.Group	772.3 $\pm$ 11.8a	1703.0 $\pm$ 21.1c	120.5 $\pm$ 8.7c	0.44 $\pm$ 0.01c	95.5a

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示显著差异。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences

## 2.2 投喂不同饲料对草鱼肌肉常规营养成分的影响

初始组草鱼肌肉水分含量(79.3%)最高, 蛹肽蛋白饲料组与混合料组间差异不显著。灰分主要包括各种矿物元素, 决定了鱼类肌肉营养价

值。混合料组草鱼肌肉灰分含量最高(1.83%), 普通料组最低(1.18%)。3个试验组草鱼肌肉的粗蛋白含量均高于初始组(17.7%), 其中混合料组(20.7%)最高。蛹肽蛋白饲料组草鱼肌肉的粗脂肪含量(1.74%)最高, 其他组间差异不显著。

表 2 投喂不同饲料对草鱼肌肉常规营养成分的影响(湿重, %)

Table 2 Effects of different feed on routine nutritional composition of grass carp muscle (wet weight, %)

处理 Treatment	水分 Moisture	粗蛋白 Crude fat	粗脂肪 Crude protein	灰分 Ash
初始组 In. Group	79.3 ± 0.5a	17.7 ± 1.9a	1.28 ± 0.32a	1.70 ± 0.21a
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	77.7 ± 0.3b	19.0 ± 1.1b	1.74 ± 0.26b	1.54 ± 0.18a
混合料组 PP.+JG.Group	76.2 ± 0.7c	20.7 ± 0.86c	1.27 ± 0.28a	1.83 ± 0.13b
普通料组 WH.Group	77.6 ± 0.6b	19.9 ± 0.77bc	1.34 ± 0.32a	1.18 ± 0.27c

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示显著差异。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences.

## 2.3 投喂不同饲料对草鱼肌肉氨基酸含量的影响

本试验检测了不同饲料处理草鱼肌肉中的4种鲜味氨基酸(Asp、Glu、Gly、Ala)含量, 结果(表3)均显示谷氨酸(Glu)含量最高, 天门冬氨酸(Asp)次之。其中混合料组草鱼肌肉的天门冬氨酸含量

(1.60%)、谷氨酸含量(2.70%)、鲜味氨基酸含量(6.37%)组间最高。蛹肽蛋白饲料组与混合料组比较, 天门冬氨酸、谷氨酸和鲜味氨基酸的含量均无显著差异。3种饲料喂养的草鱼肌肉中氨基酸总量均显著高于初始组, 混合料组草鱼的氨基酸总量显著高于其他处理组。

表 3 投喂不同饲料对草鱼肌肉氨基酸含量的影响(湿重, %)

Table 3 Effects of different feed on amino acid contents of grass carp muscle (wet weight, %)

处理 Treatment	天门冬氨酸 Asp*	谷氨酸 Glu*	甘氨酸 Gly*	丙氨酸 Ala*	酪氨酸 Tyr	苯丙氨酸 Phe#	鲜味氨基酸 TDEE	氨基酸总量 TAA
初始组 In. Group	1.39 ± 0.32	2.17 ± 0.57	0.61 ± 0.14	0.84 ± 0.19	0.51 ± 0.11	0.65 ± 0.10	5.01 ± 0.38	13.09 ± 0.22a
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	1.60 ± 0.09	2.49 ± 0.15	0.75 ± 0.04	0.97 ± 0.03	0.58 ± 0.03	0.73 ± 0.04	5.81 ± 0.13	15.00 ± 0.18b
混合料组 PP.+JG.Group	1.76 ± 0.15	2.70 ± 0.25	0.82 ± 0.12	1.09 ± 0.10	0.64 ± 0.03	0.78 ± 0.06	6.37 ± 0.27	16.07 ± 0.26c
普通料组 WH.Group	1.57 ± 0.10	2.45 ± 0.15	0.73 ± 0.27	0.98 ± 0.06	0.57 ± 0.07	0.72 ± 0.06	5.73 ± 0.22	14.71 ± 0.17b

注: “\*”表示鲜味氨基酸, “#”表示必需氨基酸。

Note: “\*” represents delicious amino acid(DAA); “#” represents essential amino acid(EAA).

## 2.4 投喂不同饲料对草鱼肌肉不饱和脂肪酸的影响

本试验检测了不同饲料处理草鱼肌肉中的4种不饱和脂肪酸, 结果(表4)表明, 饲料中的脂肪酸组成和环境因素影响鱼体脂肪酸的组成, 对饱和脂肪酸的影响小, 主要影响不饱和脂肪酸。初始组不饱和脂肪酸的含量(71.07%)显著高于3个试验组, 3个试验组草鱼肌肉油酸(C<sub>18:1</sub>)的含量高于初始组(30.24%)。油酸作为单不饱和

脂肪酸, 可降低低密度脂蛋白及血清胆固醇, 却不降低高密度脂蛋白含量, 对人体有重要的营养和保健作用<sup>[11]</sup>。亚油酸(C<sub>18:2</sub>)因人体自身无法合成或合成很少, 必须从食物中获得, 故被认为是一种必需脂肪酸。由于亚油酸能降低血液胆固醇, 预防动脉粥样硬化而倍受重视。初始组亚油酸的含量高于3个试验组, 混合料组亚油酸的含量最低(16.80%), 有可能是配合饲料中亚油酸的含量高于高丹草所致。

表 4 投喂不同饲料对草鱼肌肉不饱和脂肪酸的影响 (湿重, %)

Table 4 Effects of different feed on unsaturated fatty acid of grass carp muscle(wet weight, %)

处理 Treatment	油酸 * (C <sub>18:1</sub> ) Oleic acid	亚油酸 # (C <sub>18:2</sub> ) Linoleic acid	亚麻酸 # (C <sub>18:3</sub> ) Linolenic acid	花生四烯酸 (C <sub>20:4</sub> ) Arachidonic acid	花生五烯酸 EPA (C <sub>20:5</sub> ) Eicosapentaenic acid	二十二碳五烯 酸 DPA (C <sub>22:5</sub> ) Docosahexaenoic acid	不饱和脂肪酸 Unsaturated fatty acid ( $\Sigma$ MUFA+ $\Sigma$ MUPA)
初始组 In. Group	30.24 ± 2.73	21.53 ± 2.92a	2.48 ± 0.26	2.45 ± 0.37	0.18 ± 0.01	0.92 ± 0.14	71.07 ± 7.20a
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	32.95 ± 2.30	19.33 ± 0.30b	2.56 ± 0.64	2.33 ± 0.41	0.286 ± 0.06	0.85 ± 0.16	66.98 ± 8.13b
混合料组 PP.+JG.Group	33.02 ± 3.30	16.80 ± 2.29c	2.54 ± 0.87	2.73 ± 0.89	0.29 ± 0.07	0.82 ± 0.28	65.48 ± 9.85b
普通料组 WH.Group	34.22 ± 1.60	18.11 ± 1.42b	2.54 ± 0.40	2.53 ± 0.58	0.25 ± 0.03	0.88 ± 0.10	66.07 ± 9.15b

注: \* 表示属于单不饱和脂肪酸  $\Sigma$  MUFA, # 表示属于多不饱和脂肪酸  $\Sigma$  MUPA。

Note: \* represent monounsaturated fatty acid ( $\Sigma$  MUFA), # represent polyunsaturated fatty acid ( $\Sigma$  MUPA).

### 2.5 投喂不同饲料的养殖经济效益比较

3 个池塘的面积大小 (0.147 hm<sup>2</sup>) 和放养密度 (4 160 尾 /hm<sup>2</sup>) 相近, 蛹肽蛋白饲料与普通草鱼料价格均为 4 320 元 /t。清塘时成鱼按市场价计算, 草鱼 12.6 元 /kg、鳊鱼 13 元 /kg、鲢鱼 6 元 /kg, 统计收益 (表 5) 发现, 按等量换算, 高丹

草 (鲜) 对蛹肽蛋白饲料的替代率为 25.8: 1, 与早前相关研究草鱼对饲草的转化利用率为 20~30 一致 [9]; 混合料组的绝对收益虽然比不上蛹肽蛋白饲料组, 但是投入产出比低 (0.941), 获取 1 单位的产值投入成本更低, 可认为利用池塘闲置区域种青养鱼能节省养殖成本。

表 5 不同投喂方式下养殖经济效益对比

Table 5 Comparison of breeding economic benefits under three feeding methods

处理 Treatment	鱼苗重量 Stock weight (kg)	鱼苗成本 (元) Stock cost (Yuan)	饲料消耗量 Feed consumption (kg)	饲料成本 (元) Feed cost (Yuan)	人工 (元) Labor cost (Yuan)
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	450	5400	2290	9892.8	1200
混合料组 PP.+JG.Group	452	5424	1865 (料) + 7638 (草)	8056.8	1600
普通料组 WH.Group	458	5496	2163	9344.2	1200
处理 Treatment	渔获重量 Fish output (kg)	饵料系数 FCR	渔获价值 (元) Fish value(Yuan)	收益 (元 /hm <sup>2</sup> ) Income(Yuan/hm <sup>2</sup> )	投入产出比 ROI
蛹肽蛋白饲料组 PP.Group	1389.5	2.43	17461.4	6603.9	0.945
混合料组 PP.+JG.Group	1272.6	-	16014.8	6368.2	0.941
普通料组 WH.Group	1338.0	2.46	16858.8	5581.4	0.951

## 3 讨论

### 3.1 投喂不同饲料对草鱼生长性能的影响

投喂蛹肽蛋白饲料组的草鱼增重率最高 (134.3%), 高于普通料组 (120.5%), 证明蛹肽蛋白部分替代鱼粉是可行的 [13-15]。普通料粗蛋白含量 (29%) 比蛹肽蛋白饲料 (28%) 高, 但增重率与特定增长率相对低, 可能是由于饲料

蛋白组成的差异所致 [16]。混合料组草鱼的增重率与特定增长率最低, 可见添加牧草对草鱼生长速度的贡献不高, 这与程辉辉等 [5]、陈丽婷等 [9] 的研究结果相同, 可能是饲草中蛋白含量低 (粗蛋白占干重含量 14.07%)、营养结构不均衡, 致使草鱼生长速度慢 [5,9]。混合料组的草鱼体型纤长, 而纯投喂蛹肽蛋白饲料组的草鱼体脂较多, 略显肥胖。有研究指出, 高丹草干样中粗蛋白含

量 6.22%~12.64%，粗脂肪含量 0.96%~2.01%，粗纤维含量 25.61%~34.65%<sup>[17]</sup>。观察发现，草鱼摄食高丹草的叶片和鲜嫩茎秆，弃食老秆部分，鲜草生长至 50 cm 以内收割投喂，草鱼基本上能全食。鱼类对饲料中纤维物质的营养作用表现为刺激肠胃蠕动和刺激消化酶的分泌，从而促进营养物质的消化和吸收，草鱼喜食禾本科植物，对牧草的消化吸收较大部分鱼类要强。因此，草鱼养殖前期主要采用人工配合饲料投喂，草鱼生长速度快，到后期则适当增加青草的投喂，在不影响草鱼生长的情况下能改善鱼肉品质。

### 3.2 投喂不同饲料对草鱼肌肉营养的影响

鱼体肌肉主要营养成分为粗蛋白、粗脂肪和微量元素等，其中氨基酸和脂肪酸含量是评价营养价值的重要指标。混合料组的草鱼肌肉中粗蛋白含量（20.7%）、氨基酸总量（16.07%）、鲜味氨基酸含量（6.37%）在 3 个试验组中最高，粗脂肪含量最低（1.27%），表明在草鱼养殖中采用蛹肽蛋白饲料和高丹草混合投喂的策略能有效改善草鱼肉质。有研究指出，养殖鱼类肌肉松软，水分含量较高，脂肪含量通常高于野生鱼类，而蛋白质含量低于野生鱼类<sup>[18]</sup>。本研究得到相似结果，在草鱼养殖中除投喂人工配合饲料，适当添加青草能达到仿生态养殖的效果。

蛹肽蛋白饲料组草鱼肌肉粗脂肪含量（1.74%）在 3 个试验组中最高，说明持续单独投入蛹肽蛋白饲料容易造成草鱼体脂沉积，而混合投喂高丹草能提高草鱼肌肉粗蛋白的含量，降低粗脂肪的含量。有研究表明，降低草鱼肌肉中粗脂肪含量有助于增强草鱼肌肉的咀嚼性，提升草鱼肌肉品质<sup>[8]</sup>。草鱼肌肉中与鲜味有关的氨基酸是谷氨酸和天门冬氨酸，与甜味相关的是甘氨酸和丙氨酸。蛹肽蛋白饲料组与普通料组草鱼肌肉中鲜味氨基酸的含量无显著性差异，而鲜味氨基酸含量以混合料组的最高（6.37%），这与毕香梅等<sup>[6]</sup>的研究结果相似，与毛东东等<sup>[7-8]</sup>的研究结果有所不同，可能是由于草鱼在不同生长阶段对食物营养的需求不同所致，幼鱼时期对比效果不显著。初始组草鱼肌肉中亚油酸、不饱和脂肪酸含量最高，其他各项营养指标含量均低于 3 个试验组。已有研究表明水生动物的肌肉脂肪酸组成与其生理状况、生存环境、摄食饲料的种类密切相关<sup>[19-21]</sup>，其中以饵料的影响最为明

显<sup>[22-26]</sup>。因此，养殖前期主要投喂人工配合饲料，后期适当增加高丹草的投喂，不会影响草鱼生长，还能改善鱼肉品质。

### 3.3 基塘种养模式下养鱼的效益提升

基塘农业模式下种青养鱼能降低饲料成本，提升草鱼品质。本试验由于养殖密度低，统计收益偏低。投喂新鲜青草或制成草粉预制饲料<sup>[27]</sup>能有效降低养殖成本。按照前人经验，10~15 kg 新鲜牧草能增加 0.5 kg 草鱼产出<sup>[28-29]</sup>，在草鱼主养池塘中利用配合饲料与青草混合投喂，草鱼体型纤长<sup>[30]</sup>，更符合市场的喜好。投喂蛹肽蛋白饲料的草鱼增重率高，生长速度快，后期则以草料改善鱼肉品质，可以探索分阶段分需求制定投喂方案<sup>[31]</sup>，提高基塘种养模式下的养鱼效益。基塘种植可因地制宜，考虑地方优势品种，发展为果基、瓜基、菜基、蔗基等一种或多种混合模式，养殖不同食性不同空间层的经济鱼类，充分发挥基塘农业种养结合的优势。

## 4 结论

摄食蛹肽蛋白饲料的草鱼增重率高，但容易沉积体脂，导致体型肥胖；混合料组的草鱼生长速度慢，但鱼肉粗蛋白含量最高（20.7%），脂肪含量最低（1.27%），肉质更鲜美。基塘农业模式下利用闲置区域种青养鱼，能有效降低饲料成本，改善鱼肉品质。

#### 参考文献 (References) :

- [1] 钟功甫,蔡国雄.我国基(田)塘系统生态经济模式以珠江三角洲和长江三角洲为例[J].生态经济,1987(3):15-20.  
ZHONG G F,CAI G X.Eco-economic Model of the Dike-pond agriculture in the Pearl River Delta and theYangtze Delta[J].*Ecological Economy*,1987(3):15-20.
- [2] 张智敏.珠江三角洲水乡聚落桑园围研究[D].广州:华南理工大学,2016.  
ZHANG Z M. SangYuan Wei:Research on the Hydro-settlement in the Pearl River Delta[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016, China.
- [3] 魏兴璇,王海,刁华涛.佛山市顺德区基塘农业模式的演变与发展潜力[J].佛山科学技术学院学报(自然科学版),2011,29(5):1-7. doi:10.3969/j.issn.1008-0171.2011.05.001.  
WEI X H,WANG H,DIAO H T. A research on the change and potential of the field-pond agriculture in Shunde [J].*Journal of Foshan University ( Natural Science Edition)*,2011,29(5):1-7.doi:10.3969/j.issn.1008-0171.2011.05.001.

- [4] 林媚珍, 冯荣光, 纪少婷. 中山市基塘农业模式演变及景观格局分析[J]. 广东农业科学, 2014, 41(24): 184-189. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2014.24.041.  
LIN M Z, FENG R G, JI S T. Analysis on mode change and landscape pattern of the Dike-pond agriculture in Zhongshan [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(24): 184-189. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2014.24.041.
- [5] 程辉辉, 谢从新, 李大鹏, 肖业红, 田兴, 陈洁, 汤蓉, 亓成龙, 马玲巧. 种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1050-1059. doi:10.11964/jfc.20150709964  
CHENG H H, XIE C X, LI D P, XIAO Y H, TIAN X, CHEN J, TANG R, QI C L, MA L Q. The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass [J]. *Journal of Fisheries*, 2016, 40(7): 1050-1059. doi:10.11964/jfc.20150709964.
- [6] 毕香梅, 郁二蒙, 王广军, 余德光, 龚望宝, 谢骏. 摄食青草和人工配合饲料的草鱼肌肉营养成分分析及比较[J]. 广东农业科学, 2011, 38(1): 132-134. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2011.01.049.  
BI X M, YU E M, WANG G J, YU D G, GONG W B, XIE J. Comparison and analysis of nutrition composition of grass carp raised with grass and artificial feed [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2011, 38(1): 132-134. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2011.01.049.
- [7] 毛东东, 张凯, 欧红霞, 谢骏, 吴垠, 王广军, 余德光, 夏耘. 投喂皇竹草和配合饲料对草鱼生长及肌肉营养成分的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2018, 33(1): 7-13. doi:10.16535/j.cnki.Dlhyxb.2018.01.002  
MAO D D, ZHANG K, OU H X, XIE J, WU Y, WANG G J, YU D G, XIA Y. Effects of hybrid giant napier *Peuissetum siuese* Roxb and formulated feed on growth and nutrient compositions in muscle of grass carp *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2018, 33(1): 7-13. doi:10.16535/j.cnki.Dlhyxb.2018.01.002
- [8] 毛东东, 张凯, 欧红霞, 谢骏, 吴垠, 黄樟翰, 王广军, 余德光, 郁二蒙, 李志斐, 龚望宝, 田晶晶. 2种饲料投喂下草鱼肌肉品质的比较分析[J]. 动物营养学报, 2018, 30(6): 2226-2234. doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2018.06.026.  
MAO D D, ZHANG K, OU H X, XIE J, WU Y, HUANG Z H, WANG G J, YU D G, YU E M, LI Z F, GONG W B, TIAN J J. Comparative analysis on flesh quality of grass carp (*Organophosphate delusive*) fed with two kinds of feeds [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(6): 2226-2234. doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2018.06.026.
- [9] 陈丽婷. 3种优质青饲料对草鱼饲养效果及投喂技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.  
CHEN L T. The effects of 3 qualified forage on feeding value and feeding technology in Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [10] 李文倩. 鳊鱼、草鱼肌肉品质评价及比较[D]. 上海: 上海海洋大学, 2010.  
LI W Q. Evaluation and comparison of flesh quality in *Siniperca chuatsi* (Basilewsky) and grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2010.
- [11] 袁兰, 胡月明, 程家昌. 基塘农业研究概述[J]. 广东农业科学, 2014, 41(5): 38-41, 70. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2014.05.009.  
YUAN L, HU Y M, CHENG J C. Review of dike-pond system [J]. *Guangdong Agricultural Science*, 2014, 41(5): 38-41, 70. doi:10.3969/j.issn.1004-874X.2014.05.009.
- [12] 刘建宁, 石永红, 王运琦, 郭锐, 吴欣明, 郭璞, 张燕, 高新高. 高丹草生长动态及收割期的研究[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 31-37. doi:10.11686/cyxb20110105.  
LIU J N, SHI Y H, WANG Y Q, GUO Y, WU X M, GUO P, ZHANG Y, GAO X Z. Growth dynamics and optimum harvest period of Sorghum hybrid sudangrass [J]. *Journal of Grass Industry*, 2011, 20(1): 31-37. doi:10.11686/cyxb20110105.
- [13] 吕鹏, 潘晔, 王沁芸, 黄勇, 吴燕春, 姚勤, 陈远忠, 陈克平. 蛹肽蛋白在动物饲料中的应用效果[J]. 蚕业科学, 2018, 44(2): 309-314. doi:10.13441/j.cnki.cykx.2018.02.018.  
LYU P, PANY, WANG Q Y, HUANG Y, WU Y C, YAO Q, CHEN Y Z, CHEN K P. Effect of applying silkworm pupa peptides in animal feed. [J]. *Sericulture science*, 2008, 44(2): 309-314. doi:10.13441/j.cnki.cykx.2018.02.018.
- [14] 梅琳, 周慧慧, 麦康森, 徐玮, 何艮. 蛹肽蛋白替代鱼粉对大菱鲂 (*Scophthalmus maximus* L.) 幼鱼生长、饲料利用、消化代谢酶及免疫性能的影响[J]. 渔业科学进展, 2015, 36(3): 85-92. doi:10.11758/yykxjz.20150314.  
MEI L, ZHOU H H, MAI K S, XU W, HE G. Effects of dietary substitution of fishmeal by fermented silkworm pupae on the growth, feed intake, digestion and immunity of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(3): 85-92. doi:10.11758/yykxjz.20150314.
- [15] 梅琳, 周慧慧, 麦康森, 徐玮, 何艮. 蛹肽蛋白作为大菱鲂饲料新型蛋白源的初步评价[J]. 中国饲料, 2014(21): 14-17, 23. doi:10.3969/j.issn.1004-3314.2014.21.005.  
MEI L, ZHOU H H, MAI K S, XU W, HE G. Preliminary evaluation of fermented silkworm pupae protein as a new protein source for turbot feed [J]. *China Feed*, 2014(21): 14-17, 23. doi:10.3969/j.issn.1004-3314.2014.21.005.
- [16] 廖朝兴, 黄忠志. 草鱼种在不同生长阶段对饲料蛋白质需要的研究[J]. 淡水渔业, 1987(1): 1-5.  
LIAO Z X, HUANG Z Z. The Research of feed protein requirements of grass carp at different growth stages [J]. *Freshwater Fisheries*, 1987(1): 1-5.
- [17] 贾汝敏, 张惠霞, 谭谦波, 叶昌辉, 陈三有, 黄银姬, 席嘉宾. 不同生长期高丹草营养成分动态研究[J]. 中国草食动物, 2008(2): 49-51. doi:10.3969/j.issn.2095-3887.2008.02.019.  
JIA R M, ZHANG H X, TAN Q B, YE C H, CHEN S Y, HUANG Y J, XI J B. Growth dynamics and optimum harvest period of sorghum hybrid sudangrass [J]. *China Herbivores*, 2008(2): 49-51. doi:10.3969/j.issn.2095-3887.2008.02.019.

- [18] 陈洁, 李大鹏, 张志敏, 汤蓉, 李莉, 张曦, 肖琛, 孙怡晴, ONXAYVIENG K. 草鱼不同部位肌肉营养成分、肌纤维特性以及脂肪代谢相关基因的表达[J]. 淡水渔业, 2017, 47(2): 107-112. doi:10.3969/j.issn.1000-6907.2017.02.017.
- CHEN J, LI D P, ZHANG Z M, TANG R, LI L, ZHANG X, XIAO C, SUN Y Q, ONXAYVIENG K. Nutritional compositions, muscular fiber properties, and the expression of lipid metabolic related genes in different parts of muscle in *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Freshwater Fishery*, 2017, 47(2): 107-112. doi:10.3969/j.issn.1000-6907.2017.02.017.
- [19] GONZALEZ S, FLICK G J, O KEEFE S F, DUNCAN S E, MCLEAN E, CRAIG S R. Composition of farmed and wild yellow perch (*Perca flavescens*). *J Food Compos Anal*, 2006, 19(6): 720-726. doi:10.1016/j.jfca.2006.01.007.
- [20] GRIGORAKIS K. Compositional and organoleptic quality of farmed and wild gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and factors affecting it: A review [J]. *Aquaculture*, 2007, 272(1-4): 55-75. doi:10.1016/j.aquaculture.2007.04.062.
- [21] GRIGORAKIS K, ALEXIS M N, TAYLOR K D A, HOLE M. Comparison of wild and cultured gilthead sea bream (*Sparus aurata*); composition, appearance and seasonal variations [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2002, 37(5): 477-484. doi:10.1046/j.1365-2621.2002.00604.x.
- [22] 王际英, 苗淑彦, 张利民, 王世信, 柳旭东, 黄炳山, 孙永智. 野生与人工养殖牙鲆鲜鱼不同组织脂肪酸的比较[J]. 水产学报, 2012, 36(5): 748-755. doi:10.3724/SP.J.1231.2012.27464.
- WANG J Y, MAO S Y, ZHANG L M, WANG S X, LIU X D, HUANG B S, SUN Y Z. A comparative study on fatty acid composition in different tissues of the wild and cultured *Paralichthys olivaceus* broodstocks [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(5): 748-755. doi:10.3724/SP.J.1231.2012.27464.
- [23] 韩光明, 王爱民, 徐跑, 吕富, 封功能, 於叶兵, 杨文平. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼体脂沉积及脂肪酸组成的影响[J]. 中国水产科学, 2011, 18(2): 338-349. doi:10.3724/SP.J.1118.2011.00338.
- HAN G M, WANG A M, XU P, LV F, FENG G N, YU Y B, YANG W P. Effects of dietary lipid levels on fat deposition and fatty acid profiles of GIFT, *Oreochromis niloticus* [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2011, 18(2): 338-349. doi:10.3724/SP.J.1118.2011.00338.
- [24] RONCARATI A, SIRRI F, DOMENICO A D, BRAMBILLA G, IAMICELI A L, MELOTTI P, MELUZZI A. Survey of qualitative traits of European sea bass cultivated in different rearing systems [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2010, 112(7): 770-779. doi:10.1002/ejlt.200900286.
- [25] RUEDA F M, LÓPEZ J A, MARTÍNEZ F J, ZAMORA S, DIVANACH P, KENTOURI M. Fatty acids in muscle of wild and farmed red porgy, *Pagrus pagrus* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1997, 3(3): 161-165. doi:10.1046/j.1365-2095.1997.00088.x.
- [26] 程汉良, 蒋飞, 彭永兴, 许星鸿, 董志国, 许祥, 过正乾, 孙加赋, 王假真, 吴光圣. 野生与养殖草鱼肌肉营养成分比较分析[J]. 食品科学, 2013, 34(13): 266-270. doi:10.7506/spkx1002-6630-201313056.
- CHENG H L, JIANG F, PENG Y X, XU X H, DONG Z G, XU X, GUO Z Q, SUN J F, WANG J Z, WU G S. Comparison of nutrient composition of muscles of wild and farmed grass carp, *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Food Science*, 2013, 34(13): 266-270. doi:10.7506/spkx1002-6630-201313056.
- [27] 梁欢, 游永亮, 李源, 赵海明, 刘贵波, 曾兵. 高丹草青贮加工及饲喂利用技术研究进展[J]. 草地学报, 2015, 23(5): 936-943. doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2015.05.005.
- LIANG H, YOU Y L, LI Y, ZHAO H M, LIU G B, ZENG B. Research progress on ensiling and feeding technology of Sorghum-sudangrass Hybrids [J]. *Journal of Grassland*, 2015, 23(5): 936-943. doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2015.05.005.
- [28] 叶华. 池塘主养草鱼最佳饵料投喂模式的研究[J]. 河北渔业, 2010(1): 17-18. doi:10.3969/j.issn.1004-6755.2010.01.009.
- YE H. Feeding strategy of grass carps cultured in a pond [J]. *Hebei Fisheries*, 2010(1): 17-18. doi:10.3969/j.issn.1004-6755.2010.01.009.
- [29] 朱庆红, 李莉. 配合饲料搭配浮萍培育草鱼种高产试验[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(16): 7493-7494, 7511. doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2009.16.075.
- ZHU Q H, LI L. High yields in grass carp juvenile culture were fed with compound feeds and duckweed [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(16): 7493-7494, 7511. doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2009.16.075.
- [30] 郭建林, 马恒甲, 孙丽慧, 沈斌乾, 陈建明, 潘茜, 叶金云. 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, SHEN B Q, CHEN J M, PAN Q Y, YE J Y. 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 Edition*, 2012, 31(6): 503-508.
- [31] 赵慧星. 苏丹草施肥效果及对草鱼生长和品质的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- ZHAO H X. Effect of fertilization on the sudangrass and the growth and quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.

(责任编辑 崔建勋)