

福寿螺对草鱼粪便再利用的可行性研究

欧 芳, 吴 迪, 尹 敏, 王志坚, 金 丽

(西南大学生命科学学院/淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室/水产科学重庆市重点实验室, 重庆 400715)

摘要: 为探究福寿螺 (*Pomacea canaliculate*) 能否有效利用草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 摄食水葫芦 (*Eichhornia crassipes*) 后产生的粪便, 该研究对草鱼粪便、水葫芦饵料处理组福寿螺的生长、体组成、消化酶活力、氮磷富集量等进行比较分析。结果显示: 1) 两组福寿螺体质量均极显著增加 ($P<0.01$), 其中水葫芦组特定增长率 (SGR)、食物转化率 (FCR) 均极显著高于草鱼粪便组 ($P<0.01$); 成活率 (SR) 无显著差异 ($P>0.05$); 2) 两组福寿螺软体部的体组成差异不显著 ($P>0.05$); 3) 水葫芦组的胃淀粉酶活力显著高于草鱼粪便组 ($P<0.05$), 纤维素酶、脂肪酶活力无显著差异 ($P>0.05$); 4) 两组福寿螺均能有效富集氮 (N)、磷 (P) 元素, 且两组间无显著差异 ($P>0.05$)。结果表明福寿螺摄食草鱼粪便不仅能满足螺本身的基本生长需求, 还能间接减轻水体中的 N、P 负荷, 表明在已有的“水体-水葫芦-草鱼”养殖模式中, 可利用福寿螺解决草鱼粪便污染问题。

关键词: 福寿螺; 草鱼粪便; 水葫芦; 生长; 消化酶; 氮磷富集量

中图分类号: S 931.3

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Feasibility study on recycling of grass carp feces by *Pomacea canaliculate*

OU Fang, WU Di, YIN Min, WANG Zhijian, JIN Li

(School of Life Sciences, Southwest University/Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education/Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to study whether apple snail (*Pomacea canaliculate*) can utilize the feces produced by grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) effectively after being fed with water hyacinth (*Eichhornia crassipes*), we analyzed the growth index, body composition, digestive enzyme activity and accumulation of nitrogen and phosphorus in grass carp feces group and water hyacinth bait group, respectively. The results show that: 1) The body mass in the two groups increased very significantly after 35 d ($P<0.01$). Both the specific growth rate (SGR) and food conversion rate (FCR) in water hyacinth group were very significantly higher than those in feces group ($P<0.01$). There was no significant difference in the survival rate (SR) between the two groups ($P>0.05$). 2) The difference in body composition between the two groups of snails was not significant ($P>0.05$). 3) The activity of gastric amylase in water hyacinth group was significantly higher than that in feces group ($P<0.05$), and there was no significant difference in cellulase and lipase activity between the two groups ($P>0.05$). 4) Apple snail accumulated nitrogen and phosphorus elements in both groups without significant difference ($P>0.05$). In summary, the feces of grass carp can meet the basic growth requirements of apple snails and reduce the nitrogen and phosphorus contents in water indirectly. It is suggested that apple snails can be used to reduce the pollution brought by grass carp feces in "water-water hyacinth-grass carp" farming mode.

Key words: *Pomacea canaliculate*; Grass carp feces; *Eichhornia crassipes*; Growth; Digestive enzyme; Nitrogen and phosphorus enrichment

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-11-10

资助项目: 生物学双一流学科建设项目 (5330100045); 重庆市社会事业与民生保障科技创新专项 (cstc2017-shms-zdyfX0039)

作者简介: 欧 芳 (1995—), 女, 硕士研究生, 研究方向为渔业生态环境。E-mail: 1323089178@qq.com

通信作者: 金 丽 (1977—), 女, 博士, 副教授, 从事淡水鱼类研究。E-mail: jinll@swu.edu.cn

福寿螺 (*Pomacea canaliculate*) 隶属于瓶螺科、瓶螺属, 是一种食性杂、耐受性强、生长速度快的水生软体动物^[1]。随着水产养殖业逐渐朝生态可持续方向发展, 充分利用水生植物降低养殖活动对水环境的影响逐渐成为国内外学者关注的焦点^[2-5]。研究表明, 凤眼蓝 (*Eichhornia crassipes*) 生长迅速且根系发达, 相对于空心莲子草 (*Alternanthera philoxeroides*)、轮叶黑藻 (*Hydrilla verticillata*)、香蒲 (*Typha angustata*)、大藻 (*Pistia stratiotes*) 等水生植物能更有效地去除养殖水体中的氮 (N)、磷 (P) 等营养盐^[6-8], 但水葫芦为兼性繁殖, 以无性繁殖为主, 繁殖力极强, 可在短时间内侵占周围水域, 影响水生动植物的生存, 存在潜在的二次污染风险^[9]。草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 为草食性鱼类, 其摄食活动能有效抑制水葫芦疯长^[10-13], 但因水葫芦干物质中纤维素质量分数高达 60%, 草鱼摄食后排出大量粪便, 直接漂浮于水面或沉于水底均易造成水体富营养化, 影响鱼类的生长^[14-15]; 此外, 养殖过程中粪便的处理也是一大难题^[3, 16-17]。吴桃^[18]、陈言峰等^[19]研究表明利用不同物种间的食性差异循环处理养殖粪便, 可富集粪便中的 N、P 元素, 间接净化水体并获取一定的经济效益^[18-19]。

目前, 有关畜禽类粪便资源化利用的研究较多^[20-21], 而关于利用草鱼粪便的研究尚未见报道。传统的降低草鱼粪便污染的方法主要是混养滤食性鱼类^[22], 本研究构建以下养殖体系: 水葫芦 (投喂) → 草鱼 (排出粪便) → 粪便 (投喂) → 福寿螺, 并以直接投喂水葫芦作为对照组, 通过测定福寿螺的

生长、体组成、消化酶活力和 N、P 富集量等指标, 探究福寿螺利用草鱼粪便的可行性, 为进一步探索鱼类养殖粪便的处理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 养殖系统

养殖系统由外部系统和养殖瓶两部分组成 (图 1)。在规格为 250 cm×80 cm×55 cm 养殖缸中放入打孔的养殖隔板及水循环系统形成外部系统; 养殖瓶为底部 10 cm×10 cm, 容积为 1.5 L, 在距瓶口 1/3 处或瓶底打孔的塑料瓶。饲养条件为自然光周期, 水温控制为 27~28 ℃、溶解氧 (DO)>7 mg·L⁻¹、pH 7.5~8.0^[23]。

1.2 实验螺与饵料

实验螺购于重庆市北碚区天生市场, 以草鱼粪便和水葫芦 2 种饵料交叉驯化 1 周后, 选取健康、螺壳无破损、初始螺质量 (7.54±0.18) g 的 60 只成螺, 依据饵料种类分为草鱼粪便组 (实验组) 和水葫芦组 (对照组), 每组 3 个重复, 每个重复 10 只螺。微流水饲养, 饱食投喂 35 d, 投喂量以下一次投喂时有少量剩余为宜, 每次投喂前捞取缸中剩余饵料沥干称质量以统计总摄入量。每天记录投食量、死亡情况。每 3 d 清理各组粪便, 每周更换 2/3 养殖水体。螺质量和饵料用电子天平称量 (精度 0.001 g)^[24-25]。

草鱼粪便: 实验草鱼购于重庆北碚歇马渔场, 选取体格健壮、初始体质量 (289.63±40.94) g、体长 (25.07±1.07) cm 的草鱼 10 尾养于规格为 200 cm×80 cm×60 cm 玻璃缸中。每日 9:00 和 17:00 定时投

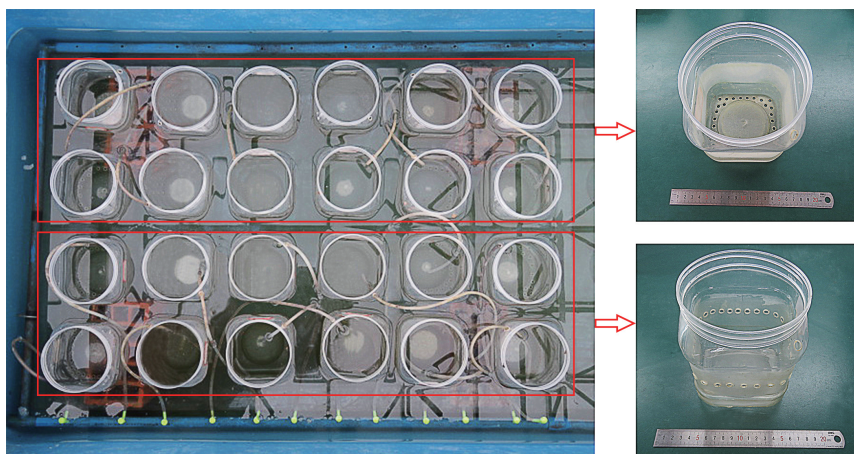


图1 养殖系统

Figure 1 Culture system

喂 400 g 新鲜水葫芦, 待其充分摄食后捞取粪便备用。水葫芦取自实验室养殖池, 投喂前从养殖池中取出去根, 自然沥水 10 min 后用 80 cm×40 cm×40 cm 新型输送带铡草机铡碎两次备用。

福寿螺、草鱼粪便和水葫芦的总氮 (Total nitrogen, TN)、总磷 (Total phosphorus, TP) 质量浓度及主要营养成分检测数据由青岛科创质量检测有限公司测定, 所测样品均为混样。

1.3 样品采集

实验结束后, 每组随机取 3 只螺, 于冰上解剖分离出肝、肠及胃组织, 经液氮速冻后, -80 ℃ 保存作酶学材料。每组另取 4~6 只螺, 去螺壳取软体部, 吸干表面水分, -80 ℃ 保存, 用于福寿螺的 TN、TP 测定。

1.4 成活率及摄食生长指标测定

成活率 (Survival rate, SR)、摄食率 (Feeding rate, FR)、食物转化率 (Food conversion ratio, FCR)、特定生长率 (Specific growth rate, SGR) 计算公式为

$$SR = N_t / N_0 \times 100\% \quad (1)$$

$$FR = 2F / [t(W_t + W_0)] \times 100\% \quad (2)$$

$$FCR = (W_t - W_0) / F \times 100\% \quad (3)$$

$$SGR = (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100\% \quad (4)$$

式中 N_t 为终末只数, N_0 为初始只数, W_0 为初始体质量 (g), W_t 为终末体质量 (g), t 为实验时间 (d), F 为饵料总摄入量 (g)。

1.5 福寿螺消化酶活力测定

从 -80 ℃ 冰箱取出待测样品, 置于冰上解冻。解冻后将样品称质量, 按质量 (g) : 体积 (mL) = 1 : 9 加入匀浆介质, 制成 10% 的组织匀浆液。所得匀浆液用低温超速离心机 (Sigma, USA) 4 ℃, 3 000 r·min⁻¹ 离心 10 min, 取上清。BCA 法检测蛋白浓度后, 根据试剂盒 (南京建成生物工程公司, 南京) 使用说明的操作步骤, 用全波长酶标仪 (Thermo, USA) 或分光光度计 (UV-2450) 检测各样品淀粉酶、脂肪酶、纤维素酶活力。

脂肪酶活力单位定义: 在 37 ℃ 条件下, 酶标仪在波长 580 nm 时, 将每克组织蛋白在反应体系中与底物反应 1 min, 每消耗 1 μmol 底物定义为 1 个酶活力单位。

淀粉酶活力单位定义: 在 37 ℃ 条件下, 紫外分光光度计在波长 660 nm 时测定, 将组织中每毫克蛋白与底物作用 30 min, 水解 10 mg 淀粉定义

为 1 个酶活力单位。

纤维素酶活力单位定义: 按蛋白浓度计算时, 每毫克组织蛋白中的纤维素酶每分钟催化纤维素水解产生 1 μg 还原糖定义为 1 个酶活力单位。

1.6 氮磷富集量计算

实验前、后取全螺测定 TN、TP 含量, 实验后福寿螺单位体质量氮磷富集量 (g·kg⁻¹) 计算公式为: 单位体质量氮磷富集量 = 1 000 × (末 N/P 含量 × 末总质量 - 初 N/P 含量 × 初均质量 × 末总只数) / (末总质量 - 初均质量 × 末总只数)。

1.7 数据统计分析

数据均以 “平均值 ± 标准差 ($\bar{X} \pm SD$)” 表示。用 SPSS 21.0 统计分析软件提供的单因素方差法进行分析 (One-Way ANOVA), 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果

2.1 草鱼粪便和水葫芦的常规营养成分比较

饵料常规营养成分测定结果显示 (表 1), 相对于水葫芦, 草鱼粪便中的 TP、无氮浸出物含量约减少了 1/2, 而粗脂肪含量大幅增加, 其增加量约为水葫芦中粗脂肪的 3.5 倍; 此外, 2 种饵料的营养成分含量无明显差异。初步判断以水葫芦作为草鱼饵料, 水葫芦的糖类是草鱼的主要能源物质, 而其蛋白质、脂肪、矿物质元素等却不易被草鱼吸收; 粪便中粗脂肪含量增加可能是因水葫芦的可溶性纤维在草鱼肠道中与脂肪酸结合, 促进草鱼脂肪代谢所致。

表1 草鱼粪便和水葫芦的常规营养成分

Table 1 Main nutrition components of grass carp feces and water hyacinth			%
组分 Composition	草鱼粪便 Grass carp feces	水葫芦 Water hyacinth	
总氮 Total nitrogen	0.120 0	0.130 0	
总磷 Total phosphorus	0.019 4	0.031 1	
粗蛋白质 Crude protein	0.720 0	0.810 0	
粗脂肪 Crude fat	0.900 0	0.200 0	
粗纤维 Crude fiber	3.900 0	3.470 0	
粗灰分 Crude ash	0.840 0	0.850 0	
无氮浸出物 N-free extract	0.240 0	0.440 0	
干物质 Dry matter	6.600 0	5.800 0	
水分 Moisture	93.400 0	94.230 0	

2.2 2 种饵料饲养效果比较

2.2.1 福寿螺生长情况比较 实验前, 实验组和对照组的螺初始体质量无显著差异 ($P>0.05$); 饱食投喂 35 d 后, 两组福寿螺的体质量均呈现极显著增长 ($P<0.01$), 其中对照组特定生长率极显著高于实验组 ($P<0.01$), 组间成活率无显著差异 ($P>0.05$) 且均在 70% 以上。说明草鱼粪便和水葫芦均可满足福寿螺的基本生长需求, 但实验组的生长效果不及对照组。

两组间福寿螺的摄食率和食物转化率均有极显著差异 ($P<0.01$), 表现为实验组的摄食率显著高于对照组, 而食物转化率却显著低于对照组 (表 2)。实验组摄食率高而食物转化率低, 说明福寿螺虽然可利用草鱼粪便但利用效率较低。

表2 2种饵料饲养的福寿螺生长情况比较
Table 2 Comparison of growth of *P. canaliculate* fed by two kinds of baits

项目 Item	草鱼粪便组 Grass carp feces group	水葫芦组 Water hyacinth group
初均质量 (IBW, g)	7.48±0.26 ^B	7.47±0.17 ^B
末均质量 (FBW, g)	9.27±0.36 ^{Ab}	12.43±0.42 ^{Aa}
特定生长率 (SGR, %·d ⁻¹)	0.61±0.11 ^b	1.47±0.11 ^a
成活率 (SR, %)	77.78±9.72	86.67±5.77
摄食率 (FR, %)	97.77±4.40 ^a	71.47±4.20 ^b
食物转化率 (FCR, %)	0.07±0.01 ^b	0.21±0.18 ^a

注: 同一行数据上标不同小写字母表示组间同一项目具极显著差异 ($P<0.01$); 同一列数据上标不同大写字母表示组内不同项目具极显著差异 ($P<0.01$)

Note: The data with different uppercase superscripts indicate very significant difference of the same project between the groups ($P<0.01$); the data with different lowercase superscripts indicate very significant difference of different projects between the groups ($P<0.01$).

2.2.2 福寿螺软体部体组成比较 营养成分测定结果显示 (表 3), 2 种饵料饲养下福寿螺软体部的营养成分含量无显著差异 ($P>0.05$)。表明与对照组相比, 投喂草鱼粪便并不影响福寿螺的体组成。

2.3 福寿螺肝、肠、胃消化酶活性比较

用 2 种饵料投喂 35 d 后, 两组间各组织脂肪酶和纤维素酶活力无显著性差异 ($P>0.05$); 对照组的肝脏、肠等组织淀粉酶活力与实验组相比无显著性差异 ($P>0.05$), 而对照组的胃淀粉酶活力显著高于实验组 ($P<0.05$, 图 2)。

表3 2种饵料饲养下福寿螺软体部体组成比较

Table 3 Comparison of body composition of *P. canaliculate* fed by two kinds of baits %

组分 Composition	草鱼粪便 Grass carp feces group	水葫芦 Water hyacinth group
粗蛋白质 Crude protein	10.83±0.25	10.60±0.40
粗脂肪 Crude fat	0.30±0.10	0.40±0.10
粗灰分 Crude ash	4.13±0.15	4.00±0.10
无氮浸出物 N-free extract	7.43±0.45	7.40±0.46
干物质 Dry matter	24.07±0.90	23.40±0.96
水分 Moisture	76.20±0.52	76.70±0.53

2.4 福寿螺对水体氮磷的富集

投喂草鱼粪便和水葫芦 35 d 后, 实验组和对照组的福寿螺单位体质量 N 富集量分别为 21 和 16 g·kg⁻¹, 但两组间无显著差异 ($P>0.05$); 草鱼粪便组和水葫芦组的福寿螺单位体质量 P 富集量分别为 0.7 和 1.23 g·kg⁻¹, 但两组间无显著差异 ($P>0.05$)。表明福寿螺摄食草鱼粪便, 与直接摄食水葫芦相似, 均可直接或间接减少养殖水体中的 N、P 含量, 从而产生一定的生态效益。

3 讨论

3.1 草鱼对水葫芦的直接利用效率

本研究中以水葫芦投喂草鱼后, 草鱼粪便中的 TP、无氮浸出物含量与水葫芦组相比均明显减少, 而粗脂肪含量大幅增加。推测 TP 减少可能是由于 P 为鱼类骨骼和鳞片的组成成分, 为鱼类必需的常量元素, 而饲料中的 P 是养殖鱼类的主要磷源所致^[26]。草鱼粪便中的粗脂肪含量升高而无氮浸出物含量降低, 推测是因食物中的膳食纤维促进了脂肪代谢, 并阻碍肠道对脂肪的吸收利用率^[27]。此外, P 也可促进鱼类脂肪代谢, 减少鱼体脂肪沉积^[26]。有研究表明草鱼的主要能源物质是淀粉, 而对脂肪的利用率较低^[28]。提示在以水葫芦作为草鱼饵料时, 尽管水葫芦中可被草鱼利用的营养成分较少, 却促进了草鱼的脂肪代谢, 这为后期水葫芦在水产养殖中的应用提供重要参考。

营养成分测定结果显示, 水葫芦干物质中纤维素含量较高, 约占植物干质量的 1/2。以水葫芦投喂草鱼后, 其粪便中的粗蛋白、粗纤维及矿物质元素含量与水葫芦相比无明显变化, 提示鱼类对水葫芦的蛋白质、纤维素及矿物质元素等成分的利用效

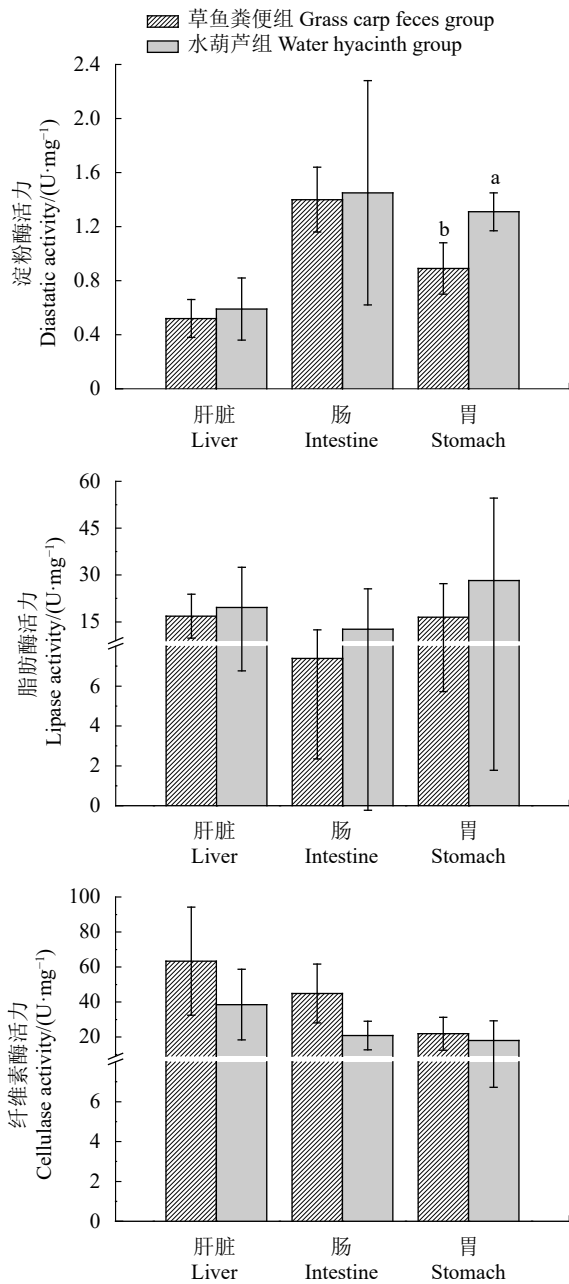


图2 两组消化酶活性比较

Figure 2 Comparison of digestive enzyme activities between two groups

率不高。这可能是因为饵料中纤维素含量较高, 过量的纤维素加速了食糜通过消化道时的速度, 使消化时间缩短, 导致蛋白质和多种营养元素吸收利用率下降^[29]。研究表明, 食物中粗纤维的增多会增加动物饱腹感, 可有效控制动物的采食量, 维持消化系统微生态平衡, 增强机体的免疫力^[30-31]。因此, 在单独使用水葫芦投喂草鱼的实验中, 水葫芦可能主要起增加食后饱腹感、防止肠道疾病、改善肠道健康的作用, 但其营养物质未被草鱼充分利用就排

出。表明草鱼对水葫芦的直接利用效率较低, 对草鱼的生长没有显著贡献, 因此在利用草鱼抑制水葫芦过程中需要添加其他饲料。

3.2 福寿螺对草鱼粪便再利用的应用前景

福寿螺是一种杂食性动物, 食性广, 可摄食包括水生软体动物、水生昆虫、甲壳类、小鱼、植物等, 在极端环境下甚至可摄取水中植物腐烂枝叶来维持生命^[32-34]。本研究表明, 实验组的生长速度显著低于对照组, 摄食量显著高于对照组, 而食物转化率却低于对照组。经 35 d 饲养, 实验组的螺平均体质量从 (7.48±0.26) g 增至 (9.27±0.36) g, 前后差异极显著, 表明投喂草鱼粪便也能基本满足福寿螺的生长需求。此外, 实验组的螺营养成分与对照组无相比显著差异, 表明投喂草鱼粪便并不影响福寿螺的体组成。

本研究在两组福寿螺的肝脏、肠道、胃等组织中均检测到淀粉酶、脂肪酶和纤维素酶, 其中纤维素酶含量最高, 这与吴海洪^[35]、徐建荣等^[36]对福寿螺纤维素酶的研究结果一致。但两组间除胃淀粉酶活性差异显著外, 其余组织中的消化酶活性均无显著性差异。表明 2 种饵料未对福寿螺的消化能力产生明显的影响, 因此福寿螺对草鱼的粪便再利用是可行的。

水葫芦的迅速生长能较好地吸收水体中的 N、P 等富营养元素, 草鱼摄食水葫芦能有效控制水葫芦快速繁殖, 避免造成生态污染^[6-7, 37-39]。草鱼摄食富含纤维的水葫芦可维持鱼体消化系统的微生态平衡, 鱼体可通过消化吸收作用将植物中少部分营养成分转化为体成分, 另一部分以排泄物的形式排到水体, 排泄物中的部分营养物质可被下一营养级再次利用, 减少资源浪费^[40-41]。福寿螺的生命力强, 生长快速, 可作为替代鱼粉的动物蛋白源开发^[42-45]。因此, 福寿螺通过吸收草鱼粪便和水葫芦中的营养物质, 将初级生产量转化为次级生产量并以产品形式带出水体, 在一定程度上减轻了水体的 N、P 负荷。这种方式虽然存在草鱼粪便收集费时、费工等缺点, 但随着新型生态养殖模式的出现, 以及粪便自动分离技术的应用, 利用福寿螺对草鱼粪便再利用具有较好的应用前景。这种方式不仅可以获取螺产品带来一定的经济效益, 还能在一定程度上减轻水体的 N、P 负荷。因此, 利用福寿螺处理草鱼粪便具有一定的可行性。

参考文献:

- [1] 熊洪林, 张娅, 陈嶙, 等. 福寿螺消化系统的性别差异及摄食行为观察 [J]. 重庆师范大学学报 (自然科学版), 2013, 30(4): 21-24.
- [2] 李华. 生态农业园区水产养殖排水水质改善技术研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2011: 32-56.
- [3] 张晨, 张瑜, 曹宇, 等. 养殖鱼类粪便污染的危害、机理及治理方法研究进展 [J]. 大连海洋大学学报, 2017, 32(5): 631-636.
- [4] 史丽娜, 王晓琴, 张万金, 等. 金草鱼搭配鲢鱼池塘鱼菜生态循环养殖技术 [J]. 中国水产, 2019(2): 89-90.
- [5] LAKRA K C, LAL B, BANERJEE T K. Application of phytoremediation technology in decontamination of a fish culture pond fed with coal mine effluent using three aquatic macrophytes[J]. Int J Phytoremediat, 2019, 21(9): 840-848.
- [6] 张伟, 韩士群, 郭起金. 凤眼莲、水花生、鲢鱼对富营养化水体藻类及氮、磷的去除作用 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1037-1041.
- [7] 徐寸发, 张志勇, 秦红杰, 等. 不同生活型水生植物改善滇池草海水体的效果 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 307-311.
- [8] 刘海琴, 邱园园, 闻学政, 等. 4 种水生植物深度净化村镇生活污水厂尾水效果研究 [J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(4): 616-626.
- [9] 张吉鹏. 凤眼莲的生物学特性及其对鄱阳湖湿地生态环境的潜在危害 [J]. 江西畜牧兽医杂志, 2010(6): 28-32.
- [10] 胡廷尖, 李训朗, 王雨辰, 等. 草食性鱼种抑制凤眼莲生长的试验 [J]. 热带农业科学, 2011, 31(9): 56-60.
- [11] 王洪兴, 程红, 孙霞, 等. 湖库大型水生植物过度生长的控制对策 [J]. 农业环境与发展, 2011(2): 69-71.
- [12] 包成荣, 戚正梁, 李倩, 等. “水葫芦-草鱼”生态调控水质模式及其机理探究 [J]. 河北渔业, 2016(8): 69-71.
- [13] 王晓平, 王玉兵, 杨桂军, 等. 不同鱼类对凤眼莲生长以及水质的影响 [J]. 环境工程学报, 2017, 11(4): 1994-2000.
- [14] 戈贤平. 一草带三鲢 [J]. 科学养鱼, 1986(3): 14.
- [15] 张明洋, 马先锋. 要及时清理草鱼排泄物 [J]. 科学养鱼, 1991(5): 20.
- [16] 石广福. 养殖斑点叉尾鲴残饵和粪便对水质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2009: 12-37.
- [17] 黄晓南. 两起由粪便污染造成的鱼类死亡事故分析 [J]. 福建水产, 2013, 35(3): 230-235.
- [18] 吴桃. 滤食性贝类对网箱养鱼的粪便、残饵的摄食效果研究 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 15-28.
- [19] 陈言峰, 胡超群, 任春华. 单一或二元的凡纳滨对虾新鲜养殖废物用于花刺参养殖的研究 [J]. 南方水产科学, 2014, 10(1): 1-8.
- [20] 王红芳. 畜禽粪污治理及资源化利用 [J]. 畜牧兽医科技信息, 2019(7): 42.
- [21] 马亮. 延安市畜禽粪污资源化利用调查及分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 1-7.
- [22] 夏斌. 草鲢复合养殖池塘主要营养要素生物学循环过程的研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013: 8-101.
- [23] 余启锋. 水葫芦的高值化利用及其生态治理 [D]. 福州: 福州大学, 2014: 29-49.
- [24] 尹绍武, 颜亨梅, 王洪全, 等. 饵料种类对福寿螺生长发育的影响 [J]. 中国农学通报, 2000(2): 5-7.
- [25] 郭靖, 章家恩, 张春霞, 等. 利用稻田养萍诱集控制福寿螺危害的效应研究 [J]. 生态科学, 2016, 35(5): 8-14.
- [26] 钟观运, 邵庆均. 磷在鱼类营养中应用的研究进展 [J]. 中国饲料, 2008(16): 4-7.
- [27] 申瑞玲, 程珊珊. 燕麦 β -葡聚糖生理功能研究进展 [J]. 食品与机械, 2007(6): 126-129.
- [28] 雍文岳, 黄忠志, 廖朝兴, 等. 饲料中脂肪含量对草鱼生长的影响 [J]. 淡水渔业, 1985(6): 11-14.
- [29] 吕欣荣, 肖克宇. 纤维素酶及其在水产养殖上的应用 [J]. 北京水产, 2007(4): 14-17.
- [30] BAUMANN D, BILKEI G. Effect of highly fermentable dietary fiber on the development of swine dysentery and on pig performance in a "Pure Culture Challenge Model"[J]. Berl Munch Tierarztl, 2002, 115(1/2): 37-42.
- [31] TUCKER L A, THOMAS K S. Increasing total fiber intake reduces risk of weight and fat gains in women[J]. J Nutr, 2009, 139(3): 576-581.
- [32] KUMLU M, EROLDogan O T, AKTAS M. Effects of temperature and salinity on larval growth, survival and development of *Penaeus semisulcatus*[J]. Aquaculture, 2000, 188(1): 167-173.
- [33] CHOBCHUENCHOM W, BHUMIRATANA A. Isolation and characterization of pathogens attacking *Pomacea canaliculata*[J]. World J Microb Biot, 2003, 19(9): 903-906.
- [34] RAWLINGS T A, HAYES K A, COWIE R H, et al. The identity, distribution, and impacts of non-native apple snails in the continental United States[J]. Evol Biol, 2007, 7(1): 97.
- [35] 吴海洪. 福寿螺纤维素酶的研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2006: 39-44.
- [36] 徐建荣, 程东成, 李波. 福寿螺消化酶的活力测定研究及其酶解效果分析 [J]. 水产养殖, 2007, 28(3): 3-5.
- [37] 胡廷尖, 伍俊, 王雨辰, 等. “水-凤眼莲-鱼”水体富营养物质生态控制模式 [J]. 水产养殖, 2012, 33(8): 1-2.
- [38] 张志勇, 郑建初, 刘海琴, 等. 凤眼莲对不同程度富营养化水体氮磷的去除贡献研究 [J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 152-157.
- [39] 周新伟, 沈明星, 金梅娟, 等. 不同水葫芦覆盖度对富营养水体氮、磷的去除效果 [J]. 江苏农业学报, 2016(1): 97-105.
- [40] 陈少莲, 刘肖芳, 华俐. 鲢、鳙在东湖生态系统的氮、磷循环中的作用 [J]. 水生生物学报, 1991, 15(1): 8-26.
- [41] 李晓洁, 唐敏, 李云, 等. 鲢鳙在长寿湖水生态系统氮磷循环中的作用 [J]. 淡水渔业, 2018, 48(3): 40-46.
- [42] 陈良斌. 一种动物蛋白源——大瓶螺 [J]. 科学养鱼, 1991(2): 24.
- [43] 王润莲, 张政军, 梁沛琼, 等. 虾、蟹、螺副产物的营养价值 [J]. 饲料研究, 2006(6): 61-62.
- [44] 孟凡国. 蚂蟥人工饲料的初步研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 8-18.
- [45] 王海候, 沈明星, 陆长婴, 等. 螺蛳替代商品饲料比例对中华绒螯蟹产量和水质的影响 [J]. 水产科学, 2015, 34(11): 690-695.