

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2018.17043

罗非鱼不同养殖系统对产出效果及异味物质含量的影响

张凯¹, 刘利平¹, 陈桃英¹, 梁勤朗², 吴宗文², 邓棚文², 湛嘉³

1. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 通威股份有限公司, 四川 成都 610041;

3. 宁波检验检疫科学技术研究院, 浙江 宁波 315012

摘要: 对鱼菜共生系统、底排污系统、底排污+鱼菜共生 3 种养殖系统的水质变化和罗非鱼产出效果进行了分析, 并利用微波蒸馏-吹扫捕集-气相色谱质谱联用技术检测了各系统水体中和罗非鱼肌肉中异味物质的含量变化。经过 12 周的养殖实验, 对终重、生物量、特定生长率、饵料系数、增重率等指标进行测量比较, 结果发现, 罗非鱼的产出效果从优到差依次为: 鱼菜共生组、底排污+鱼菜共生组、底排污组、对照组; 底排污+鱼菜共生系统水体中溶解氧在各时期均最高, 其亚硝氮、氨氮含量在各时期均最低; 底排污或鱼菜共生系统均能有效降低养殖水体中异味物质 2-MIB 和 GSM 含量; 对照组罗非鱼肌肉中异味物质含量最高, 2-MIB 和 GSM 分别达到 $(0.67 \pm 0.02) \mu\text{g/kg}$ 和 $(0.870 \pm 0.018) \mu\text{g/kg}$, 而底排污+鱼菜共生组罗非鱼肌肉中异味物质含量在各时期最低, 2-MIB 和 GSM 分别为 $(0.31 \pm 0.02) \mu\text{g/kg}$ 和 $(0.53 \pm 0.042) \mu\text{g/kg}$ 。结果表明, 在罗非鱼精养池塘中, 可通过底排污和鱼菜共生结合, 降低水体中和罗非鱼体内异味物质的累积, 提高其经济价值。

关键词: 罗非鱼; 养殖系统; 异味; 土臭素; 二甲基异莰醇

中图分类号: S96

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2018)01-0108-08

中国的罗非鱼养殖以静水、不排污的池塘精养为主, 鱼类的活动、摄食、排泄都在同一池塘中进行, 这样不仅易造成池塘有毒有害物质累积、水质恶化以及鱼病暴发^[1], 同时也导致了罗非鱼体内积累较高浓度的异味物质, 产生较强的土腥味。

引起鱼类土腥味的最常见物质是二甲基异莰醇(2-methylisoborneol, 2-MIB)和土臭素(geosmin, GSM), 这两类物质是水体中一些藻类以及微生物的代谢产物。2-MIB 和 GSM 在水中的嗅觉阈值分别为 5~10 ng/L 和 1~10 ng/L^[2], 在鱼肉中其嗅觉阈值分别为 0.6 $\mu\text{g/kg}$ 和 0.9 $\mu\text{g/kg}$ ^[3-4]。这些物质对水产品品质造成极大的影响, 大大降低了其食用价值及经济价值^[5]。

水生环境大多数土腥味问题是由蓝藻造成的, 尤其是在富营养化养殖的池塘中^[6]。养殖生物的粪便、残余饵料排入水体中, 导致水中营养盐浓

度增大, 且罗非鱼养殖水温较高, 这为蓝藻的快速生长提供了十分有利的条件^[7], 因此控制池塘水体营养盐的累积成为解决罗非鱼异味问题的关键。底排污技术可以排除池底的残饵粪便, 从源头降低水中营养盐浓度; 水生植物已经广泛应用于养殖池塘无机营养盐的消除, 以限制浮游植物的生长^[8]。

因此, 本研究运用池塘底排污和“鱼菜共生”技术, 分析其对罗非鱼养殖的水质、产出效果及土腥味物质含量的影响, 以探究不同养殖系统对降低罗非鱼肉中异味物质含量的可行性, 为优化罗非鱼的养殖模式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验设计

实验在上海海洋大学滨海养殖基地进行, 罗

收稿日期: 2017-02-13; 修订日期: 2017-04-08.

基金项目: 欧盟委员会第七框架协议项目(222889); 通威股份有限公司合作项目.

作者简介: 张凯(1992-), 男, 专业硕士研究生, 研究方向为鱼类生态养殖技术. E-mail: mkaizhang@sina.com

通信作者: 刘利平, 副教授. E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

非鱼养殖在 12 个 5 m×3 m×1.2 m (长×宽×高) 的水泥池中。分为 4 组: 对照组、鱼菜共生组、底排污组、底排污+鱼菜共生组。罗非鱼放养密度均为 11 尾/m², 规格为(54.54±2.29) g/尾, 蔬菜以 1.5 m×2 m (长×宽) 泡沫板为载体, 种养量为 150 g/m²^[9]。池底从周边向中央倾斜, 池中央为一 2.4 m×0.8 m×0.05 m (长×宽×高) 的集污槽, 集污槽上覆盖网格板, 将罗非鱼隔离, 底部排污管为直径 75 mm 的 PVC 管; 底排污组和底排污-鱼菜共生组定期排污, 每星期排出约 1/10 的水体, 再补充至原水位。每组设 3 个平行。

1.2 实验条件与投饵管理

每个水泥池均有独立的给排水系统, 养殖用水为淡水。采用纳米微孔曝气盘进行底部充气。尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)购自海南省新吉水产科技有限公司, 暂养 2 周后开始实验; 蔬菜(*Ipomoea aquatic* Forsk)选购自当地菜场。罗非鱼商品饲料购买自通威股份有限公司无锡分公司。

实验前对养殖池进行清淤、洗刷, 漂白粉浸泡 24 h 消毒, 清水冲洗后注水, 曝气 1 周后放入养殖对象。从暂养池中随机挑选体色正常、规格一致、活力良好的罗非鱼放入各个养殖池中; 最后放入聚乙烯泡沫板, 移植蔬菜。实验共持续 12 周, 全程充气。实验期间不用药, 每周适当加水, 补充由于蒸发所损失的水量, 保持水深 1 m 左右。

养殖第 8 周前于每天 8: 00、12: 00、16: 00、20: 00 共 4 次投饵, 在养殖 8 周后于 8: 00、12: 00、16: 00 共 3 次投饵, 每池的日饵料投喂量为罗非鱼总重的 3%~5%, 各池每次投喂饲料量保持一致。根据天气、养殖水温和罗非鱼摄食情况, 适当调整投喂量, 并做好记录。

1.3 实验指标的测定及分析

1.3.1 现场水质指标的测定 在第 2、4、6、8、10、12 周定时、定点采集水下约 40 cm 处水样, 每个养殖池的溶氧(DO)、pH、水温(WT)等水质指标进行现场测定, 其中溶氧(DO)采用 SevenGo Pro-SG6 便携式溶氧仪测定, pH、水温采用 HANNA HI98128 防水型 pH/温度测试笔测量。亚硝酸盐氮(NO₂-N)、氨氮(TAN)含量按照国际水质标准方法进行测定^[10]。

1.3.2 生长指标的测定 养殖结束后, 对各池罗非鱼进行计数并称重, 并称取各池蔬菜的体质量; 计算各组罗非鱼的增重率、特定生长率、存活率、净产量和饵料系数, 计算公式如下:

$$\text{增重率(WGR, \%)} = (W_t - W_0) \times 100 / W_0$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = (\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$$

$$\text{存活率(S, \%)} = N_t / N_0 \times 100$$

$$\text{饵料系数} = F_n / (W_t - W_0)$$

式中, W_0 、 W_t 分别为实验开始及结束时养殖罗非鱼总重量(g), t 为养殖持续时间(d), N_0 、 N_t 分别为养殖初始及结束时罗非鱼的尾数(尾), F_n 为饲料投喂总重(kg)。

1.3.3 罗非鱼肌肉和养殖水体中异味物质含量的测定 在养殖第 4、8、12 周时, 于每个养殖池中采集规格相当的罗非鱼 5 尾, 取背部肌肉混合, 于-80℃冰箱中密封冷冻保存, 用于肌肉中异味物质测定。在养殖池四周各取水样 1 L, 深度为水面下 0.5 m, 混合后再从其中取 1 L 并盛满在塑料采集瓶里, -20℃条件下冰箱保存, 用于水样中异味物质分析。

1.3.4 鱼肉和水样中异味物质的检测

(1) 微波蒸馏法提取罗非鱼肌肉中土腥味物质

采用优化的微波蒸馏法提取罗非鱼肌肉中的土腥味物质^[11]。通过载气氮气将气化的异味物质带出, 经冷凝管冷凝后, 收集置于冰水浴中的馏分。

(2) 吹扫捕集法富集土腥味物质

取 5 mL 微波蒸馏液(或者水样)注入吹扫捕集装置中, 富集 2-MIB 与 GSM。吹扫捕集装置的捕集阱为 Trap 9, 以高纯氮气(99.99%)为吹扫载气, 吹扫管座温度为 80℃, 样品温度为 75℃, 吹扫温度 20℃下吹扫 11 min, 干吹时间 0.5 min, 吹扫流速为 40 mL/min; 脱附解析温度为 195℃, 脱附时间为 4 min; 烘焙温度为 215℃, 烘焙时间 10 min。

(3) 气相色谱-质谱联用法检测土腥味物质

将富集的 2-MIB 与 GSM 采用 GC-MS 进行检测。GC-MS 联用的色谱柱型号为 Agilent19091J-433(30 m×0.25 mm×0.25 μm)。不分流进样, 进样口温度为 220℃, 解析 4 min。采用高纯氮气(99.9%)作为检测载气, 进样模式为分流进样, 进样比 3 : 1, 载气流速为 1 mL/min; 程序升温: 起

始柱温设置为 50℃, 保持 1 min; 接着以 20℃/min 速率逐渐提升并最终达到 240℃, 最后以 280℃运行 3 min。离子源温度为 230℃, 传输线温度为 280℃, 电子能量为 70 eV; 溶剂延迟 5 min。采用全扫描模式分别对 2-MIB 和 GSM 两种化合物标准品进行扫描, 确定 2-MIB 的定性特征离子的质荷比 m/z 为 95、108、135; GSM 定性特征离子的质荷比 m/z 为 112, 125, 97。经过比较选择, 两种异味化合物的定量特征离子质荷比分别为 95 与 112, 检测样品时使用选择离子监测模式。

1.4 统计数据与分析方法

数据在 Excel 中进行处理, 用平均值±标准差 ($\bar{x} \pm SD$)表示, 用 SPASS(17.0)软件进行 ANOVA

单因素方差分析, 组间差异采用 Duncan's 进行多重比较, 以 $P<0.05$ 作为显著性差异标准。

2 结果与分析

2.1 不同养殖系统中罗非鱼的产出效果

不同养殖系统产出效果如表 1 所示。从表中可以看出, 比较终重、生物量、特定生长率、饵料系数、增重率等指标, 4 种养殖系统罗非鱼的产出效果从优到差依次为: 鱼菜共生组、底排污+鱼菜共生组、底排污组、对照组(表 1)。鱼菜共生实验组、底排污-鱼菜共生实验组罗非鱼产量最高, 分别为(4.31±0.13) kg/m³ 和(4.14±0.09) kg/m³, 显著高于对照组以及底排污实验组($P<0.05$)。

表 1 各个养殖系统罗非鱼和薺菜产出情况
Tab. 1 Growth performance of tilapia and water spinach cultured in each treatment

实验指标	对照组 control	鱼菜共生组 tilapia-water spinach integrated	底排污组 sewage discharge group	底排污+鱼菜共生组 sewage discharge and tila- pia-water spinach integrated
罗非鱼 tilapia				
初重/(g/尾) initial weight	54.54	54.54	54.54	54.54
终重/(g/尾) final weight	407.47±8.08 ^a	478.57±14.96 ^c	428.27±17.26 ^b	461±10.47 ^c
生物量/(kg/m ³) biomass	3.67±0.07 ^a	4.31±0.13 ^b	3.85±0.16 ^a	4.14±0.09 ^b
特定生长率/(%/d) specific growth rate	2.39±0.02 ^a	2.59±0.04 ^b	2.45±0.05 ^a	2.54±0.03 ^b
增重率/% weight gain rate	5.11±0.12 ^a	6.18±0.22 ^c	5.42±0.26 ^b	5.92±0.16 ^c
存活率/% survival rate	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a	100±0.00 ^a
饵料系数 feed conversion rate	1.19±0.03 ^a	0.99±0.04 ^b	1.13±0.05 ^a	1.03±0.03 ^b
薺菜 water spinach				
净产量/(kg/m ³) net production of water spinach		0.60±0.04 ^a		0.69±0.03 ^b

注: 同行中标有不同字母者表示组间有显著性差异($P<0.05$)。
Note: Values in the same line with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$).

2.2 养殖期间各水质指标变化情况

2.2.1 不同养殖系统中水温、pH、溶解氧变化情况 图 1 为不同养殖系统中, 水温、pH 和溶解氧的变化情况。从图中可见, 养殖期间, 水温在 29.8~34.6℃ 波动, 各组差异不明显($P>0.05$, 图 1a); pH 在 7.00~8.77 波动, 且随着养殖期的延长, 逐步下降, 各组差异不明显($P>0.05$, 图 1b); 溶解氧含量在 6.02~8.06 mg/L 波动, 且随着养殖期的延长, 逐步下降(图 1c); 至养殖后期底排污+鱼菜组的 DO 显著高于其他 3 组($P<0.05$)。

2.2.2 不同养殖系统中水体亚硝氮含量 由图 2 可见, 随着养殖周期的延长, 亚硝氮含量呈逐步增加的趋势, 其中对照组亚硝氮含量大幅升高, 到第 12 周时达到最大值(0.290 mg/L), 显著高于其他 3 组($P<0.05$), 说明通过底排污或鱼菜共生技术都有降低水体中亚硝氮的作用。底排污组和鱼菜共生组之间差异不明显($P>0.05$), 但均与底排污+鱼菜共生组有显著差异($P<0.05$)。

2.2.3 不同养殖系统中水体氨氮含量 从图 3 可以看出, 对照组氨氮含量(最高时达到 1.536 mg/L)

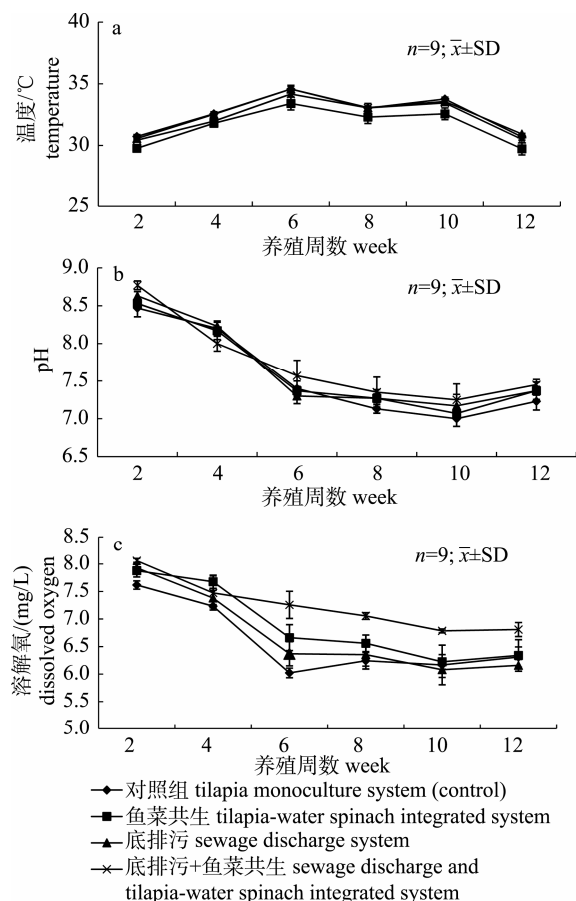


图 1 不同养殖系统中水温(a)、pH (b)和溶解氧(c)变化情况

Fig. 1 Water temperature (a), pH (b) and dissolved oxygen (c) variations in different culture systems

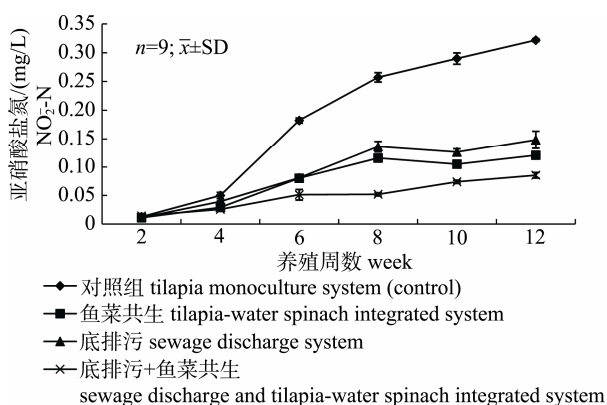


图 2 不同养殖系统中水体亚硝酸盐含量变化情况比较

Fig. 2 Variation of nitrite concentrations in different culture systems

显著高于其他 3 组($P<0.05$), 表明底排污或鱼菜共生系统能有效的降低养殖水体中氨氮的含量。在养殖后期第 12 周, 4 组均差异显著($P<0.05$),

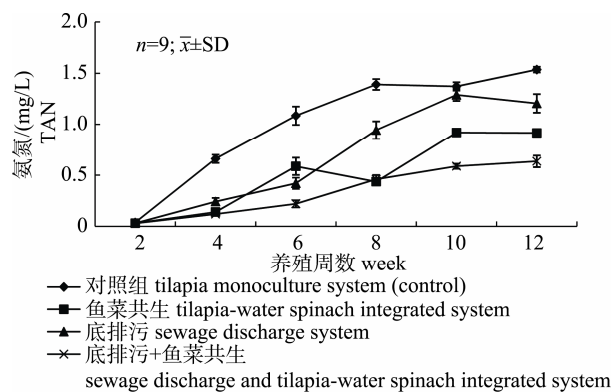


图 3 不同养殖系统中氨氮含量变化情况比较

Fig. 3 Variation of TAN in different culture systems

浓度由高到低依次是对照组、底排污组、鱼菜共生组、底排污+鱼菜共生组。

2.3 不同养殖系统水体中异味物质含量

2.3.1 不同养殖系统水体中异味物质 2-MIB 的含量 随着养殖期的延长, 水体中 2-MIB 的含量不断升高, 对照组中 2-MIB 含量显著高于其他 3 个组($P<0.05$); 在第 12 周, 鱼菜共生组中 2-MIB 的含量显著高于底排污和底排污+鱼菜共生两组($P<0.05$, 图 4)。结果表明, 底排污或鱼菜共生系统能有效降低养殖水体异味物质 2-MIB 的含量, 且底排污对 2-MIB 降低效果更好。

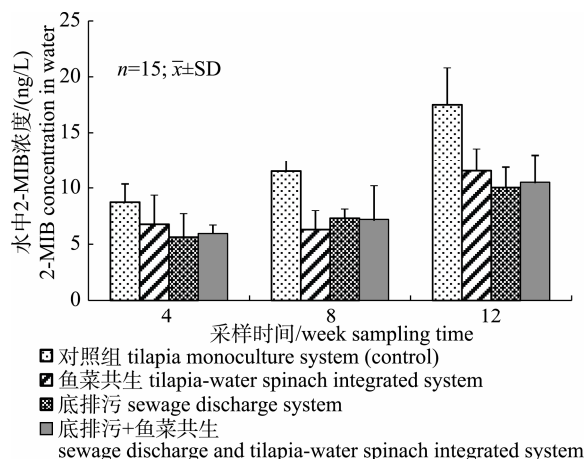


图 4 不同养殖系统水体中异味物质 2-MIB 含量比较

Fig. 4 Variation of 2-methylisoborneol (2-MIB) in water in different culture systems during the trial

2.3.2 不同养殖系统水体中异味物质 GSM 含量

从图 5 可以看出, 对照组中 GSM 的含量显著高于其他 3 组($P<0.05$); 且底排污组中 GSM 的含

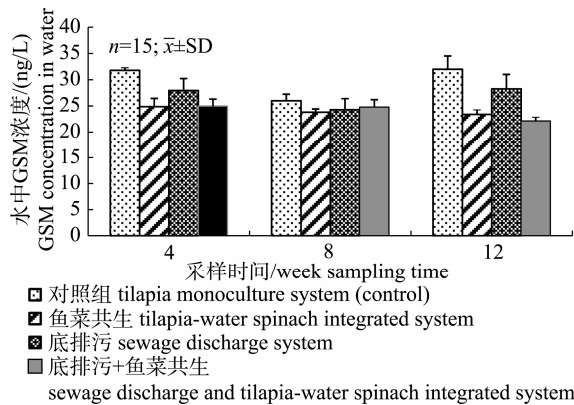


图 5 不同养殖系统水体中异味物质 GSM 含量的比较

Fig. 5 Variation of geosmin (GSM) in water in different culture systems during the trial

量在第 12 周时显著高于鱼菜共生和底排污+鱼菜共生两组($P<0.05$)。结果表明,底排污或鱼菜共生系统能有效降低该系统中养殖水体异味物质 GSM 的含量;且鱼菜共生对 GSM 降低效果更好。图 4 和图 5 的结果表明,鱼菜共生、底排污和底排污+鱼菜共生 3 种养殖模式能有效降低水体中异味物质 2-MIB 和 GSM 的含量。

2.4 不同养殖系统中罗非鱼肌肉异味物质含量

2.4.1 不同养殖系统罗非鱼肌肉中 2-MIB 含量

随着养殖周期延长,对照组、鱼菜共生和底排污组中罗非鱼肌肉中 2-MIB 含量增加,显著高于底排污+鱼菜共生组($P<0.05$),且鱼菜共生和底排污组罗非鱼肌肉中 2-MIB 含量与对照组没有明显差异($P>0.05$,图 6)。

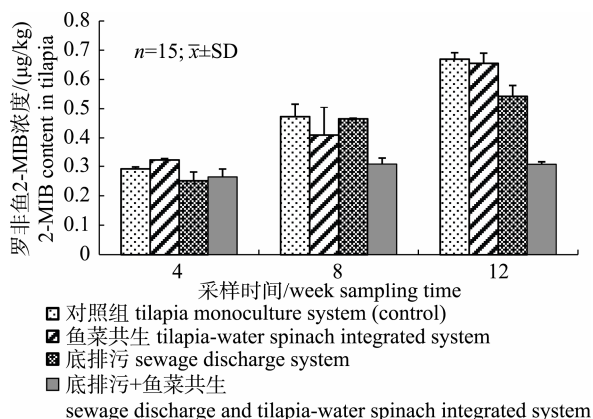


图 6 不同养殖系统罗非鱼肌肉中 2-MIB 含量比较

Fig. 6 Variation of 2-methylisoborneol (2-MIB) content in tilapia flesh in different culture systems during the trial

与同期水体中 2-MIB 含量比较发现,鱼肉中 2-MIB 含量普遍偏高,养殖后期对照组和鱼菜共生组中罗非鱼肌肉中的 2-MIB 含量超过临界值 $0.6 \mu\text{g/kg}$,达到了人类可以察觉的阈值。

2.4.2 不同养殖系统罗非鱼肌肉中 GSM 含量

图 7 比较了不同养殖系统罗非鱼肌肉中 GSM 的含量。随着养殖周期延长,对照组、鱼菜共生和底排污组罗非鱼肌肉中 GSM 含量逐步增加,显著高于底排污+鱼菜共生组($P<0.05$)。

在养殖最后阶段,与同期水体中土腥味物质比较发现,对照组罗非鱼肌肉中 GSM 含量较高,GSM 含量数值接近临界值 $0.9 \mu\text{g/kg}$,达到人类可以察觉的范围。

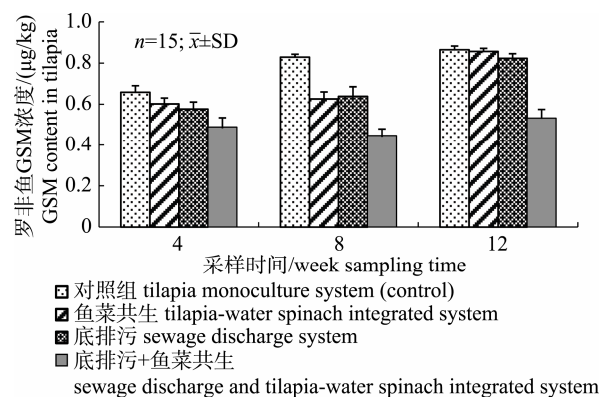


图 7 不同养殖系统罗非鱼肌肉中 GSM 含量比较

Fig. 7 Variation of geosmin (GSM) content in tilapia flesh in different culture systems during the trial

3 讨论

3.1 养殖过程中水质状况分析

本实验期间水温处于罗非鱼的适宜生长范围内。较高水温有利于促进肠道的消化与吸收,促进鱼类的生长^[12],同时也导致水体中产生较高含量的异味物质以及水生生物体内异味物质的累积。吴添天等^[13]的研究表明,较高温度是水体产生异味的主要诱因。Yagi 等^[14]指出,异味物质 2-MIB 和 GSM 通常会出现在 7—10 月期间,尤以 8 月最为严重。本研究中,随着养殖周期的延长,水体中和罗非鱼肌肉中异味物质 2-MIB 和 GSM 的含量均相应增加也证实了这一点。

养殖过程中氨氮和亚硝酸氮含量的积累是限

制高密度养殖的重要因素^[15], 其含量过高损害养殖动物的鳃组织, 影响气体在动物体内的正常运输^[16], 而且会导致各种致病菌大量滋生^[17], 诱发养殖动物发病^[18]。本研究中, 采用底排污或鱼菜共生技术均有效降低了水体中氨氮和亚硝氮水平, 改善了养殖水体质量。本研究也发现, 在亚硝酸和溶氧指标上, 底排污系统和鱼菜共生系统两个实验组之间的差异不明显, 这可能与蔬菜的种养量和种植面积、底排污的频率和效果以及罗非鱼合适放养量都有一定的关系, 这有待在今后的研究中进一步优化。

3.2 养殖系统在提高鱼类产量中的作用

鱼类养殖中, 底泥一方面为池塘中浮游植物的生长提供营养, 改善水质; 另一方面又是异养菌的资源库, 分解作用旺盛, 导致溶解氧不足, 因缺氧或无氧而成为还原态; 底泥同时还是鱼类细菌性疾病的病原库^[19]。采用底排污系统将污泥排出改善水质环境, 可降低养殖风险, 同时种植蔬菜, 吸收水体中的氮磷等, 可控制营养盐浓度^[20], 促进水体中物质循环, 净化水质, 提高养殖鱼类生长速率^[21]。本研究中, 鱼菜共生系统和底排污+鱼菜共生双系统条件下, 罗非鱼的增重率、特定生长率高且饵料系数低, 说明通过底排污和鱼菜共生均对罗非鱼的生长有促进作用。值得注意的是, 鱼菜共生系统单独进行的效果更明显, 这可能是在不换水、不间断增氧和水体充分混合的情况下, 残余饵料和粪便被系统中的微生物分解利用形成悬浮物, 进而被罗非鱼摄食, 实现了饵料的二次利用, 从而降低了饵料系数, 提高了罗非鱼增重率。

3.3 不同养殖系统对改善水体中异味物质的作用

水质影响异味物质的产生及分布^[22-23]。王赛^[24]发现底质影响罗非鱼肉中腥味化合物的含量, 其中藻类、细菌等微生物的变化起关键作用。邱东茹等^[25]发现, 凤眼莲对微囊藻水华产生抑制, 能有效抑制藻类的恶性增长, 改善水质。异味物质是水体中一些藻类以及微生物的代谢产物^[2], 因此不同养殖系统下的养殖生物所含异味物质差异较大。本研究发现, 随着养殖周期的延长, 水体中异味物质的含量在各个养殖系统中均增加, 这

可能是由于养殖后期水体中浮游植物、微生物含量增加所导致的; 本研究同时发现, 在底排污系统和底排污+鱼菜共生系统中, 2-MIB 和 GSM 浓度均最低, 说明带有底排污系统的池塘由于养殖废水的排放, 降低了水体中异味物质的含量。因此, 配备底排污系统或者鱼菜共生系统将有效降低池塘水体中土腥味物质含量。

3.4 不同养殖系统中罗非鱼肌肉异味物质含量比较

鱼类所含异味一般是由环境因素造成的, 主要通过鳃和皮肤吸收以及摄食吸收^[26-28]。如鱼类可通过摄食含有 GSM 或 2-MIB 的蓝藻而出现异味, 可见异味物质来源的主要途径是从水中吸收富集^[29]。因此水体中异味物质的浓度将影响鱼体内异味物质含量。本研究发现, 养殖早期(第4周), 各养殖系统中, 水体和罗非鱼肌肉中 2-MIB 和 GSM 含量均无明显差异, 而在养殖后期(第12周), 底排污+鱼菜共生系统中, 水体和罗非鱼肌肉中 2-MIB 和 GSM 含量均显著低于其他系统, 说明该系统能有效降低养殖生物体内异味物质的累积。分析原因, 这主要是由于系统通过底排污作用, 减少了水体中异味物质的含量; 同时种植蔬菜, 大量吸收了水体中的氮磷, 有效抑制藻类的恶性增长^[25], 包括能产生异味物质的蓝绿藻。蓝藻引起的异味通常与其种群数量呈一致性。鱼体肌肉中的异味物质的浓度取决于对水体中异味物质吸收和体内异味物质净化的相对速率^[30], 罗非鱼通过鳃和皮肤吸收异味物质的量减少, 因此肌肉中所含异味物质较少。

4 结论

通过比较水中溶氧、氨氮和亚硝酸含量和罗非鱼鱼肉中土腥味物质含量, 底排污+鱼菜共生双系统具有较好的养殖效应。养殖系统的区别会对养殖水体内的土腥味物质含量造成影响, 未配备底排污系统或者鱼菜共生系统的池塘水体土腥味较严重。不同系统的养殖池塘对罗非鱼鱼肉中土腥味物质的含量具有一定作用, 随着养殖时间的增加, 底排污+鱼菜共生双系统作用更明显。因此, 在罗非鱼精养池塘中, 可通过底排污和鱼菜

共生结合,降低水体中和罗非鱼体内异味物质的累积,提高其经济价值。

参考文献:

- [1] Liu H L, Huang X H, Li C L, et al. Effect of different concentrations of *Bacillus subtilis* on water quality and disease resistance of tilapia fry[J]. Journal of Aquaculture, 2009, 30(10): 5-9. [刘慧玲, 黄翔鹤, 李长玲, 等. 不同浓度的枯草芽孢杆菌对罗非鱼鱼苗的养殖水体水质及其抗病力的影响[J]. 水产养殖, 2009, 30(10): 5-9.]
- [2] Young W F, Horth H, Crane R, et al. Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants[J]. Water Research, 1996, 30(2): 331-340.
- [3] Persson P E. Sensory properties and analysis of two muddy odour compounds, geosmin and 2-methylisoborneol, in water and fish[J]. Water Research, 1980, 14(8): 1113-1118.
- [4] Robertson R F, Jauncey K, Beveridge M C M, et al. Depuration rates and the sensory threshold concentration of geosmin responsible for earthy-musty taint in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*[J]. Aquaculture, 2005, 245(1-4): 89-99.
- [5] Benanou D, Acobas F, de Roubin M R. Optimization of stir bar sorptive extraction applied to the determination of odorous compounds in drinking water[J]. Water Science and Technology, 2004, 49(9): 161-170.
- [6] Jüttner F. Physiology and biochemistry of odorous compounds from freshwater cyanobacteria and algae[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(11): 69-78.
- [7] Brown S W, Boyd Claude E. Off-flavor in channel catfish from commercial ponds[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1982, 111(3): 379-383.
- [8] Boyd C E. Accumulation of dry matter, nitrogen and phosphorus by cultivated water hyacinths[J]. Economic Botany, 1976, 30(1): 51-56.
- [9] Liu L, Hu Z, Dai X, et al. Effects of addition of maize starch on the yield, water quality and formation of bioflocs in an integrated shrimp culture system[J]. Aquaculture, 2014, 418-419: 79-86.
- [10] American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater[M]. USA: American Water Works Assn, 1981.
- [11] Zhu M, Aviles F J, Conte E D, et al. Microwave mediated distillation with solid-phase microextraction: determination of off-flavors, geosmin and methylisoborneol, in catfish tissue[J]. Journal of Chromatography A, 1999, 833(2): 223-230.
- [12] Musuka C G, Likongwe J S, Kang 'ombe J, et al. The effect of dietary protein and water temperatures on performance of *T. rendalli* juveniles reared in indoor tanks[J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2009, 8(10): 1526-1531.
- [13] Wu T T, Rui M, Zhu H L, et al. Analysis of cyanobacteria odorous compounds and study on influence factor of odor levels in Lake Chaohu[J]. Environmental Science and Technology, 2015, 38(3): 147-151. [吴添天, 芮明, 朱慧雯, 等. 巢湖蓝藻异味成分分析及影响因素研究[J]. 环境科学与技术, 2015, 38(3): 147-151.]
- [14] Yagi M, Kajino M, Matsuo U, et al. Odor problems in lake Biwa[J]. Water Science and Technology, 1983, 15(6-7): 311-321.
- [15] Avnimelech Y. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds[J]. Aquaculture, 2007, 264(1-4): 140-147.
- [16] Li B, Fan Q X, Zhang L, et al. Acute toxic effects of ammonia and nitrite on yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) at different dissolved oxygen levels[J]. Freshwater Fisheries, 2009, 39(3): 31-35. [李波, 樊启学, 张磊, 等. 不同溶氧水平下氨氮和亚硝酸盐对黄颡鱼的急性毒性研究[J]. 淡水渔业, 2009, 39(3): 31-35.]
- [17] Yun L J, Li G, Liu Z W. Preliminary study on the heterotrophic bacteria and autotrophic bacteria in the water body of the juvenile *Trionyx*[J]. Acta Universitatis Medicinae Tongji, 2000, 29(5): 397-399. [运珞珈, 李谷, 刘志伟, 等. 稚鳖养殖水体中异养细菌及自养细菌的初步研究[J]. 同济医科大学学报, 2000, 29(5): 397-399.]
- [18] Yin W L, Shen J Y, Pan X Y, et al. Application effect of nitrobacteria complex preparation on water quality[J]. Journal of Aquaculture, 2010, 31(9): 12-17. [尹文林, 沈锦玉, 潘晓艺, 等. 复合硝化菌制剂对水质改良的应用效果[J]. 水产养殖, 2010, 31(9): 12-17.]
- [19] Cheng Y Y, Wu S G, Zheng Y Z, et al. Microbial diversity in the sediment of a pond mainly stocked with *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Freshwater Fisheries, 2011, 41(6): 43-49. [程莹莹, 吴山功, 郑英珍, 等. 主养草鱼池塘底泥微生物群落多样性研究[J]. 淡水渔业, 2011, 41(6): 43-49.]
- [20] Li M, Wu Y J, Yu Z L, et al. Nitrogen removal from eutrophic water by floating-bed-grown water spinach (*Ipomoea aquatic* Forsk) with ion implantation[J]. Water Research, 2007, 41(14): 3152-3158.
- [21] Qi Z X, Li S D, Zhang M P, et al. Experimental studies on nitrogen and phosphorus budgets of shrimp culture pond[J]. Journal of Fisheries of China, 1998, 22(2): 124-128. [齐振雄, 李德尚, 张曼平, 等. 对虾养殖池塘氮、磷收支的实验研究[J]. 水产学报, 1998, 22(2): 124-128.]
- [22] Parinet J, Rodriguez M J, Sérodes J. Influence of water quality on the presence of off-flavour compounds (geosmin and 2-methylisoborneol)[J]. Water Research, 2010, 44(20): 5847-5856.
- [23] Schrader K K, Davidson J W, Summerfelt S T. Evaluation of the impact of nitrate-nitrogen levels in recirculating aquaculture systems on concentrations of the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and rain-

- bow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. Aquaculture Engineer, 2013, 57: 126-130.
- [24] Wang S. The preliminary study on off-flavor-removal method and impacts of water quality and algal changes on off-flavor generation in tilapia[D]. Guanzhou: Guangdong Ocean University, 2012. [王赛. 水质、藻类变化对罗非鱼异味产生的影响及异味去除初步探讨[D]. 广州: 广东海洋大学, 2012.]
- [25] Qiu D R, Wu Z B, Kuang Q J. Effects of aquatic macrophytes of variots life form on phytoplankton[J]. Chinese Journal of Ecology, 1998, 17(6): 22-27. [邱东茹, 吴振斌, 况琪军. 不同生活型大型植物对浮游植物群落的影响[J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 22-27.]
- [26] Xu L P. Concentrations and sources of 2-MIB & geosmin in freshwater fishponds and the influencing factors[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009. [徐立蒲. 鱼池中二甲基异茨醇和土臭味素的含量、来源及产生影响因素[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.]
- [27] Wang G C, Li L H, Hao S X, et al. Research progress in the mechanism of odor compounds in aquatic product and some relative techniques of detection and analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(5): 401-404, 409. [王国超, 李来好, 郝淑贤, 等. 水产品腥味物质形成机理及相关检测分析技术的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 401-404, 409.]
- [28] Yang Y P, Xiong G Q, Cheng W, et al. Review on formation mechanism, analysis and removal technologies of fishy off-odor[J]. Food Science, 2009, 30(23): 533-538. [杨玉平, 熊光权, 程薇, 等. 水产品异味物质形成机理、检测及去除技术研究进展[J]. 食品科学, 2009, 30(23): 533-538.]
- [29] From J, Hørlyck V. Sites of uptake of geosmin, a cause of earthy-flavor, in rainbow trout (*Salmo gairdneri*)[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1984, 41(8): 1224-1226.
- [30] Dionigi C P, Bett K L, Johnsen P B, et al. Variation in channel catfish *Ictalurus punctatus* flavor quality and its quality control implications[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1998, 29(2): 140-154.

Variations in output and the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in different tilapia cultivation systems

ZHANG Kai¹, LIU Liping¹, CHEN Taoying¹, LIANG Qinlang², WU Zongwen², DENG Pengwen², ZHAN Jia³

1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education; Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Tongwei Group Co. Ltd, Chengdu 610041, China;
3. Ningbo Academy of Inspection and Quarantine of China, Ningbo 315012, China

Abstract: This study compared the effects of four different tilapia cultivation systems (a tilapia-water spinach integrated system, a sewage discharging system, a sewage discharging and tilapia-water spinach integrated system, and a tilapia monoculture system as a control) on the variations in water quality, tilapia production, and off-flavor contents in water and tilapia in June, July, and August 2016. Using gas chromatography and mass spectrometry (GC-MS) based on microwave-assisted distillation followed by purge-and-trap, the off-flavor compounds geosmin (GSM) and 2-methylisoborneol (2-MIB) were determined in water and tilapia tissue. The results showed that production in the tilapia-water spinach integrated system was the highest among the systems examined ($P < 0.05$). The contents of ammonia nitrogen and nitrite in the sewage discharging and tilapia-water spinach integrated system were significantly lower compared with the control group [(0.67±0.02) µg/kg and (0.870±0.018) µg/kg]. In addition, the concentrations of 2-MIB and GSM in the muscle of tilapia in the sewage discharging and tilapia-water spinach integrated system [(0.31±0.02) µg/kg and (0.53±0.042) µg/kg] were significantly lower than those in the control group [(0.67±0.02) µg/kg and (0.870±0.018) µg/kg, respectively]. These results indicate that the sewage discharging and tilapia-water spinach integrated system reduced the accumulation of off-flavor compounds in water and tilapia muscle in an intensive tilapia farming system.

Key words: tilapia; cultivation system; off-flavor; geosmin; 2-methylisoborneol

Corresponding author: LIU Liping. E-mail: lp-liu@shou.edu.cn