

# 新会柑汁发酵物对水产养殖尾水的净化效果研究

李义勇<sup>1,2</sup>, 陈柏忠<sup>2</sup>, 曾嘉佳<sup>3</sup>, 吴振强<sup>1</sup>

(1. 华南理工大学生物科学与工程学院, 广东 广州 510006; 2. 广东新宝堂生物科技有限公司, 广东 江门 529101;

3. 华南师范大学环境学院, 广东 广州 510631)

**摘要:** 该研究以一种农业废弃物新会柑汁(直接使用或离心后使用)作为 3 种微生物菌剂(利生源、酵之源、乳丁宝)的天然培养基, 并将发酵物用于去除水产养殖尾水中的 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 以未投加发酵物的养殖尾水作对照组。对比发现, 经离心柑汁发酵培养的利生源发酵物, 对模拟尾水的净化效果最好, TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率分别可达到 82.5% 和 98.7%, 而对照组无去除效果。将该最优处理剂进一步用于去除草鱼和罗非鱼池塘尾水中的 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$ , 发现去除速率均明显加快, 其中罗非鱼池塘尾水的氮指标达到了淡水池塘养殖水排放要求(SC/T 9101—2007)二级标准。

**关键词:** 新会柑汁、微生物菌剂、发酵物、净化、养殖尾水

**中图分类号:** Q952 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-2091(2020)10-0005-06

我国作为水产养殖大国, 向全球供应了约 60% 的水产品。随着水产养殖业的发展, 养殖尾水的排放愈发严重<sup>[1]</sup>。我国大多数水产养殖基地的条件落后, 缺少现代化设备, 导致未经处理的养殖尾水直接排入水体, 使其发生富营养化, 破坏自然环境的生态平衡, 甚至影响人类健康<sup>[2]</sup>。目前, 处理养殖尾水的技术有物理法、化学法和生物法。较之物理和化学法, 生物法不会对环境造成二次污染, 而且处理成本更低廉, 是养殖尾水净化的主流技术<sup>[3-4]</sup>。

添加微生物菌剂是生物法中最常用的<sup>[5]</sup>, 将微生物菌剂直接投加到养殖尾水中, 不需要额外的设备或工艺, 还可提高水产养殖物的免疫力和产量, 与其他生物法相比具有经济高效、操作简单等优点<sup>[6]</sup>, 所以利用微生物菌剂净化养殖尾水具有良好的应用前景。但是, 由于微生物菌剂需要频繁添加, 导致投加量大和使用费偏高, 给养殖户造成一定的经济负担。微生物菌剂产品的主要生产成本为培养基<sup>[7]</sup>。若能够利用农业废弃物作为天然培养基扩培微生物菌剂, 则不仅可使农业废弃物得到充分利用, 还能够获得廉价、有效的发酵物。将之用于养殖尾水净化, 可显著减少微生物菌剂消耗量, 节省养

殖户投入。

新会柑作为“广东三宝”之一, 现有种植面积已超 6 667  $\text{hm}^2$ , 果品年产量达 230 000 t。新会柑的果皮被用于加工制作陈皮, 而果肉是副产物, 因口感酸涩、果核多、且不耐存放而被随意丢弃, 不仅浪费资源, 还污染环境<sup>[8]</sup>。该课题组前期研究发现, 新会柑果肉及果汁营养丰富, 可以满足微生物的全部生长需求。截至目前, 已有研究人员对新会柑肉和柑汁进行食品开发<sup>[10-14]</sup>, 但鲜有将柑汁开发成微生物菌剂天然培养基的报道。该研究利用柑汁作为天然培养基, 扩培 3 种微生物菌剂, 并用于净化养殖尾水。不仅可以为柑汁等农业废弃物的处置提供一种新思路, 还可获得廉价、有效的发酵品, 为养殖尾水净化提供新的解决方案。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

**1.1.1 培养基** 取下脚料柑肉 1 000 g, 榨汁。将柑汁分成两组, 分别是经 2 000  $\text{r/min}$ 、10 min 离心组和未离心组, 并分别置于 4  $^{\circ}\text{C}$  冰箱保存, 用作微生物菌剂发酵的天然培养基。

**1.1.2 菌剂** 购买自广州市致合生物科技有限公司的 3 种商品化净水菌剂, 分别是利生源(主要成

资助项目: 广州市科技计划项目-产学研协同创新重大专项(201604046011)

作者简介: 李义勇(1983—), 男, 华南理工大学在读博士。研究方向: 发酵工程。E-mail: yueguangzhuying@126.com

分为硫化氢氧化细菌、类球红细菌、多种超耐低氧芽孢杆菌等复合菌)、酵之源(主要成分为进口复合乳酸菌、酵母菌、超低耐氧芽孢杆菌等)、乳丁宝(主要成分为乳酸菌和乳丁宝菌等)。

1.1.3 模拟尾水 参照文献配制<sup>[15]</sup>。

1.1.4 池塘尾水 取自广州市钟落潭镇的一个草鱼池塘和一个罗非鱼池塘,位于北纬 23°21'29"、东经 113°27'26"。将取回的水样置于 4℃冰箱保存,3 d 内用完。主要水质指标如表 1 所示。

表 1 鱼塘尾水指标

	总氮(TN)/(mg·L <sup>-1</sup> )	氨氮(NH <sub>3</sub> -N)/(mg·L <sup>-1</sup> )	pH 值
草鱼池塘	9.74	7.37	7.21
罗非鱼池塘	8.69	8.22	7.06

## 1.2 柑汁发酵物对模拟尾水的净化效果研究

1.2.1 柑汁扩培微生物菌剂 将 3 种微生物菌剂分别以 1:10 的质量体积比加入装有 50 mL 柑汁的洁净锥形瓶中,置于 28℃、150 r/min 恒温振荡器中培养 3 d。同时设置未添加微生物菌剂的柑汁组(即自然发酵)。

1.2.2 发酵物对模拟尾水的净化 将以上 4 组发酵物以 1‰体积比投加到盛有 4 L 模拟尾水的洁净塑料桶中,培养 25 d。同时设置未投加任何发酵物的模拟尾水作为对照组。在发酵物加入尾水后立刻取样测定,作为 TN 和 NH<sub>3</sub>-N 的初始浓度,每 3 d 测定 1 次。每组做 3 个平行实验。通过对比,从 4 组发酵物中筛选出最优处理剂进行后续实验。

## 1.3 最优处理剂对池塘尾水的净化

将最优处理剂以 1‰比例投加到盛有 20 L 鱼塘尾水的洁净塑料桶中,培养 7 d。同时设置未投加最优处理剂的池塘尾水作为对照组。在处理剂加入尾水后立刻取样测定,作为 TN 和 NH<sub>3</sub>-N 的初始浓度,每 3 d 测定 1 次。每组做 3 个平行实验。据此,确定最优处理剂对池塘尾水的净化效果。

## 1.4 分析方法

NH<sub>3</sub>-N 测定采用纳氏试剂比色法<sup>[16]</sup>,TN 测定采用碱性过硫酸钾氧化紫外分光光度法<sup>[17]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 柑汁发酵物对模拟尾水的净化效果

2.1.1 未离心组柑汁的发酵物 对模拟尾水净化效果经过 25 d 的处理,未离心柑汁的发酵物对模拟

尾水中 TN 的去除效果如图 1 所示。与对照组相似,受到开放环境因素影响,4 种发酵物处理组的 TN 也表现出波动变化。除了柑汁自然发酵物,其他 3 种发酵物处理组的 TN 总体呈下降趋势,尤其是利生源发酵物处理组的下降趋势十分明显。在 25 d 时,利生源发酵物处理组的 TN 去除率达 73.0%。另外,酵之源与乳丁宝发酵物处理组的 TN 去除效果较一致,且对 TN 去除率均高于对照组及柑汁自然发酵物处理组,说明添加了微生物菌剂的发酵物方可有效促进模拟尾水的 TN 去除。

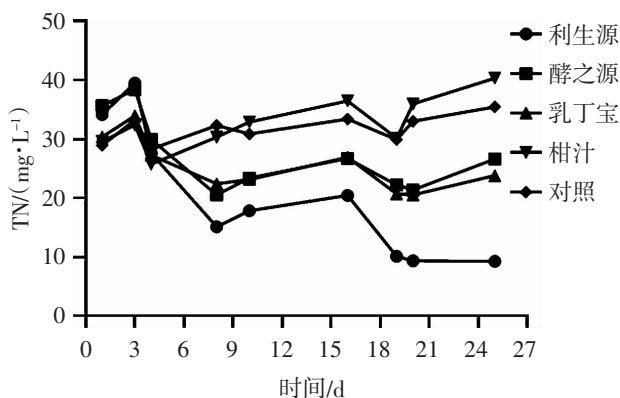


图 1 未离心柑汁的发酵物对模拟尾水 TN 去除效果

与 TN 去除效果相似(见图 2),4 种发酵物处理组的 NH<sub>3</sub>-N 也表现出波动变化。除了柑汁自然发酵物,其他 3 种发酵物处理组的 NH<sub>3</sub>-N 总体呈下降趋势,尤其是利生源发酵物处理组的下降趋势十分明显。在 25 d 时,利生源发酵物处理组的 NH<sub>3</sub>-N 去除率达 88.7%。另外,酵之源与乳丁宝发酵物处理组的 NH<sub>3</sub>-N 去除效果较一致,且对 NH<sub>3</sub>-N 去除率均高于对照组及柑汁自然发酵物处理组,说明添加了微生物菌剂的发酵物方可有效促进模拟尾水的 NH<sub>3</sub>-

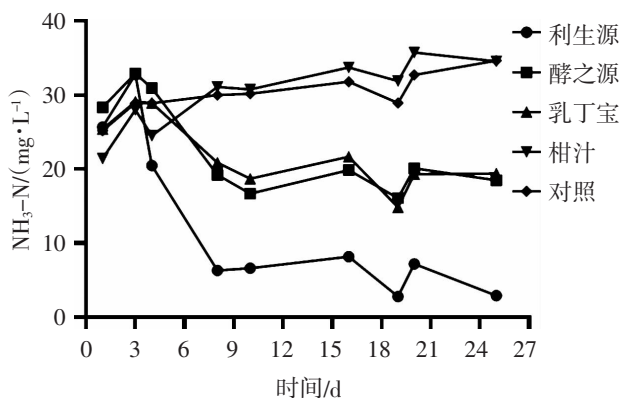


图 2 未离心柑汁的发酵物对模拟尾水 NH<sub>3</sub>-N 去除效果

N 去除。

2.1.2 离心组柑汁的发酵物 对模拟尾水净化效果经过 25 d 的处理,离心柑汁的发酵物对模拟尾水中 TN 的去除效果如图 3 所示。与未离心组柑汁的发酵物处理 TN 效果较一致,且 TN 去除效果有一定的提高,尤其是利生源发酵物处理组的 TN 去除率进一步提高到 82.5%,提高了 1.21 倍,说明离心柑汁较之未离心柑汁更适合于发酵,其发酵物对 TN 的去除效果更理想。该结果与作者的预期一致,因为柑汁中容易被微生物利用的是溶解性营养物,颗粒性营养物的可利用性差,伴随进入到养殖尾水中会增加营养负荷,影响净水效果,因此通过离心(或自然沉降或八层纱布过滤)等手段去除柑汁中的颗粒物是有利的。

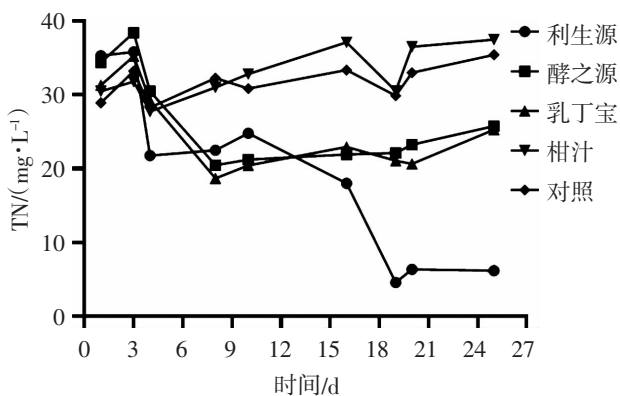


图 3 离心柑汁的发酵物对模拟尾水 TN 去除效果

与未离心组柑汁的发酵物处理  $\text{NH}_3\text{-N}$  效果较

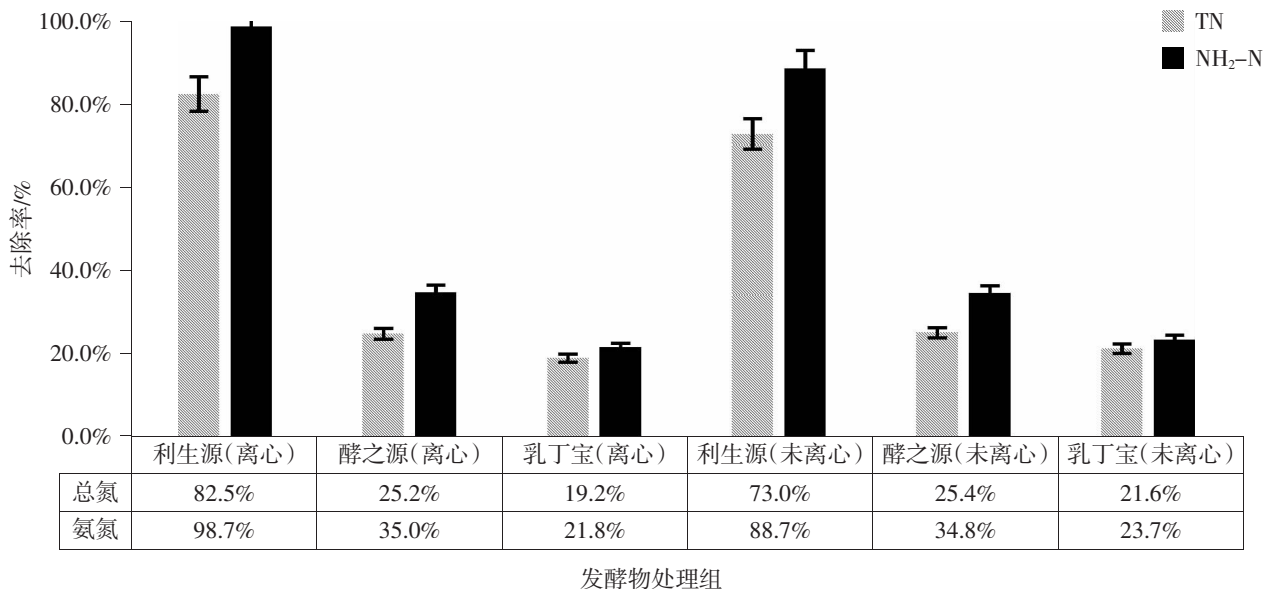


图 5 柑汁(离心与未离心)发酵物对模拟尾水的净化效果比较

一致(图 4),离心组柑汁的发酵物对模拟尾水中  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果有一定的提高,尤其是利生源发酵物处理组的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率进一步提高到 98.7%,提高了 1.11 倍,说明离心柑汁较之未离心柑汁更适合于发酵,其发酵物对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果更理想。该结果也符合作者预期。

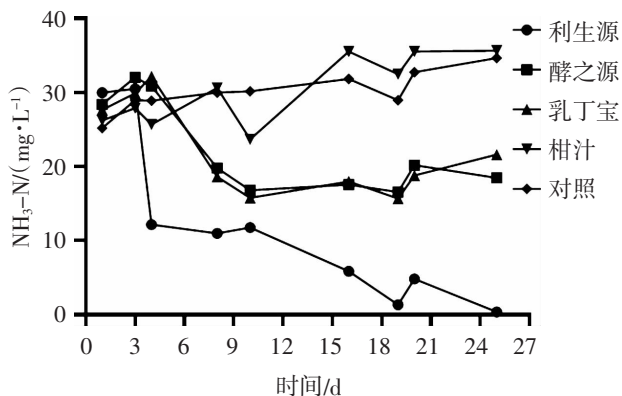


图 4 离心柑汁的发酵物对模拟尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果

2.1.3 离心组与未离心组柑汁的发酵物 对模拟尾水净化效果比较参见对照组,柑汁自然发酵物处理组对模拟尾水未表现出净化效果,因此这里只讨论其他 3 种发酵物对模拟尾水的净化效果。图 5 直观地对比了 3 者对 TN 和  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果,可见无论是离心组还是未离心组的柑汁,均以利生源发酵物的处理效果最好,醇之源次之,乳丁宝再次之;同时,离心柑汁的利生源发酵物的处理效果优于未离心柑汁的。因此,确定离心柑汁的利生源发酵物

为最优处理剂,用于后续的池塘尾水处理。

## 2.2 最优处理剂对池塘尾水的净化效果

2.2.1 最优处理剂对池塘尾水 TN 的净化效果 经过 7 d 的处理,利生源发酵物对两种池塘尾水中 TN 的去除效果如图 6 所示。较之未加菌鱼塘尾水的对照组,加菌后鱼塘尾水 TN 浓度有所上升,因为发酵物自身带入了一定的营养,但随后会逐步下降,且下降趋势更明显。在第 7 d 时,加菌罗非鱼池塘尾水 TN 去除率为 61%,高于未加菌组的 29%;此时

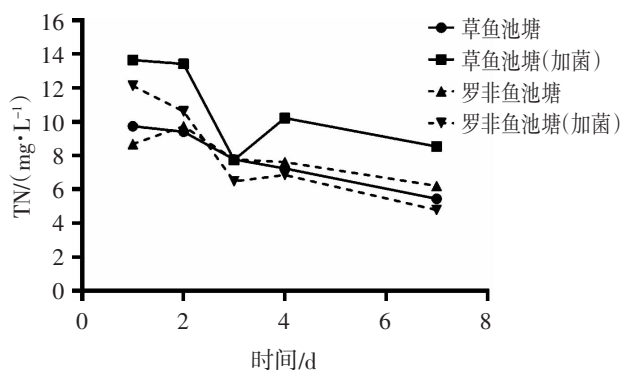
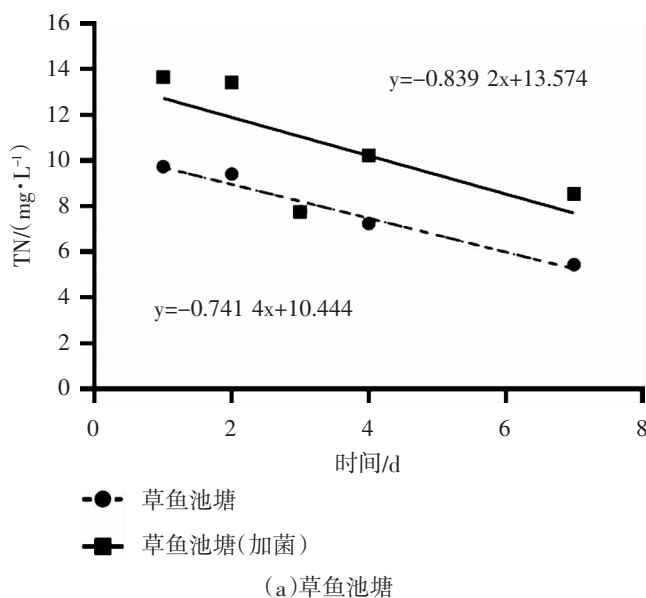
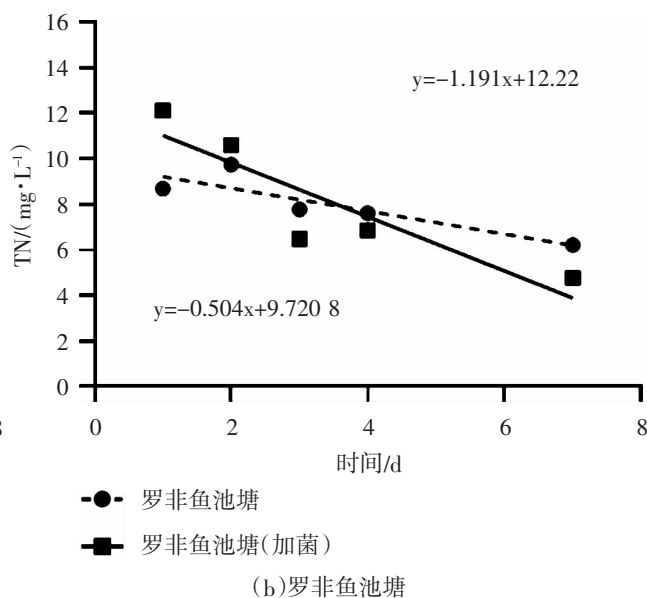


图6 利生源发酵物对鱼塘尾水 TN 的去除效果



(a)草鱼池塘



(b)罗非鱼池塘

图7 鱼塘尾水 TN 浓度与时间的理论关系

2.2.2 最优处理剂对池塘尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的净化效果 经过 7 d 的处理,利生源发酵物对两种池塘尾水中  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果如图 8 所示。与 TN 相比,加菌对鱼塘尾水中的  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除效果更为明显。两种池塘尾水的  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度均近乎呈直线下降趋势,且加菌组在第 4 天即趋于平衡,而未加菌的至第 7 天时仍

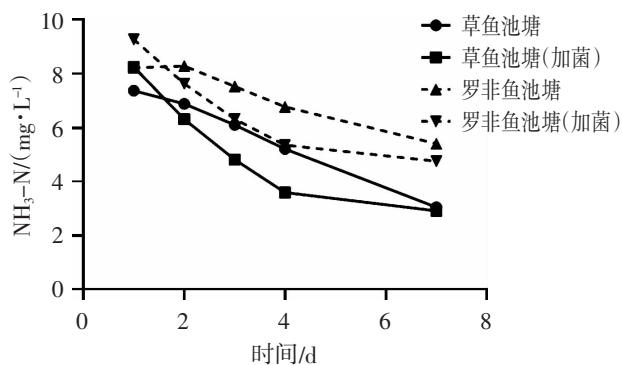
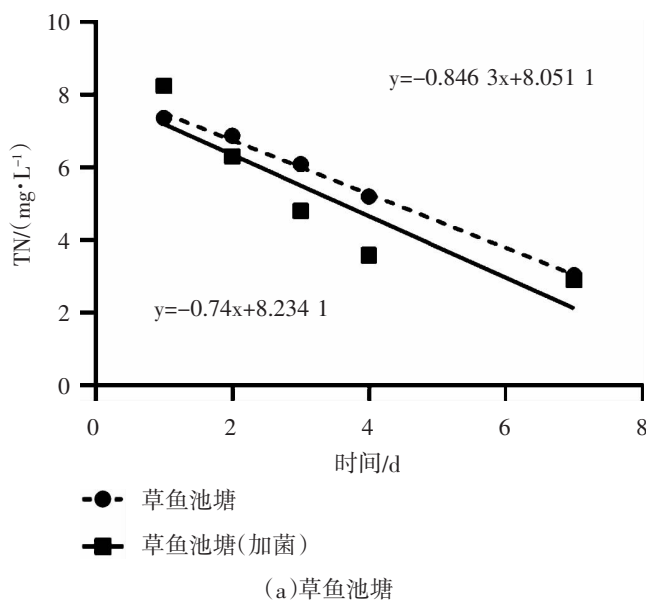
TN 浓度为 4.78 mg/L,已达到淡水池塘养殖水排放要求(SC/T 9101—2007)二级标准<sup>[18]</sup>。另外,在第 7 天时,加菌草鱼池塘的去除率为 37%,较之对照组未表现出明显效果,但继续降解趋势仍十分明显。

考虑到外源微生物进入池塘水体后需要一定时间适应后才能真正发挥作用,这里对图 6 中的数据线性拟合,得到图 7,其直线斜率代表着 TN 降解速率。经对比发现:加菌草鱼池塘尾水 TN 去除速率为 0.839 2 mg/(L·d),高于未加菌组的 0.741 4 mg/(L·d);加菌罗非鱼池塘尾水 TN 去除速率为 1.191 mg/(L·d),明显高于未加菌组的 0.504 mg/(L·d)。按此 TN 降解速率计算可知,若要使草鱼池塘 TN 浓度也达到 SC/T 9101—2007 的二级标准值 5.0 mg/L,则未加菌草鱼池塘在理论上需历时 10.2 d,而加菌后的仅需历时 7.3 d,可缩短见效期 2.9 d;若要使罗非鱼池塘 TN 浓度进一步达到 SC/T 9101—2007 的一级标准值 3.0 mg/L,则未加菌罗非鱼池塘在理论上需历时 13.3 d,而加菌后的仅需历时 7.7 d,可缩短见效期 5.6 d。可见,对于两种池塘尾水,投加利生源发酵物均有利于加速 TN 去除进程。

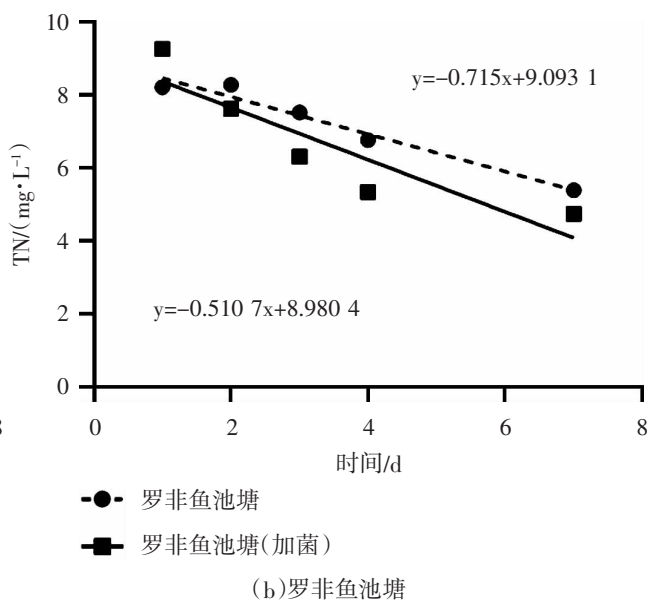
未达到平衡。在第 7 天时,加菌草鱼池塘尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除率为 65%,高于未加菌组的 59%;加菌罗非鱼池塘尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除率为 49%,高于未加菌组的 34%。

同样,对图 8 中的数据线性拟合,得到图 9,其直线斜率代表着  $\text{NH}_3\text{-N}$  降解速率。经对比发现:加



图8 利生源发酵物对鱼塘尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果

(a)草鱼池塘



(b)罗非鱼池塘

图9 鱼塘尾水  $\text{NH}_3\text{-N}$  浓度与时间的理论关系

论有:

(1)较之柑汁自然发酵,添加了微生物菌剂的发酵物方可有效地促进模拟尾水的TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除。

(2)离心柑汁较之未离心柑汁更适合于发酵,其发酵物对TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除效果更理想。

(3)无论是离心组还是未离心组的柑汁发酵物,均以利生源发酵物对TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的处理效果最好,酵之源次之,乳丁宝再次之。

(4)以离心柑汁的利生源发酵物为最优处理剂,可加速池塘尾水TN和 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除进程,其中罗非鱼池塘尾水氮指标达到了淡水池塘养殖水排放要求(SC/T 9101—2007)二级标准。

## 参考文献:

[1] 张峰峰,周可,谢凤行,等. 农业农村部水产健康养殖示范

菌草鱼池塘尾水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除速率为 $0.8463 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$ ,高于未加菌组的 $0.74 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$ ;加菌罗非鱼池塘尾水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除速率为 $0.715 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$ ,明显高于未加菌组的 $0.5107 \text{ mg}/(\text{L}\cdot\text{d})$ 。可见,对于两种池塘尾水,投加利生源发酵物均有利于加速 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除进程。

## 3 结论

该研究利用一种农业废弃物新会柑汁作为天然培养基,扩培利生源、酵之源、乳丁宝等3种微生物菌剂,并用于净化养殖尾水净化,获得的主要结

场(县)创建情况分析[J]. 中国水产,2018(5):32-35.

[2] 乔卫龙,张辉,徐向阳,等. 水产养殖废水及固体废弃物处理的研究进展[J]. 工业水处理,2019,39(10):26-31.

[3] 傅红梅,曾维农,付新梅. 水产养殖废水污染危害及其处理技术研究[J]. 农业与技术,2020,40(1):126-127.

[4] 吴卫飞,谢丽凤. 养殖废水处理技术进展[J]. 资源节约与环保,2019(9):90-91.

[5] 许育新. 水产养殖废水生物处理技术研究进展[J]. 浙江农业科学,2019,60(8):1306-1310.

[6] 唐伟,张远,王书平,等. 微生物菌剂在水体修复中的应用进展[J]. 环境工程技术学报,2019,9(2):151-158.

[7] 常素云. 微生物菌剂的规模化培养技术[D]. 天津:天津大学,2007.

[8] 梁浩虹,黄志锋,赵烈. 新会柑产业发展优势分析[J]. 乡村科技,2017(24):26-27.

[9] 陈炯,李辰,容启仁,等. 新会陈皮及其副产物的研究进展

[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(6): 65-67.

[10] 梁姚顺. 柑肉综合开发利用的思路与方法探讨[C]. 广东省食品学会. 广东省食品学会第六次会员大会暨学术研讨会论文集. 广东省食品学会: 广东省食品学会, 2012: 206-210.

[11] 白卫东, 赵文红, 钱敏, 等. 新会柑果汁饮料工艺的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(10): 56-58.

[12] 任文彬, 赵文红, 白卫东, 等. 新会柑果汁脱苦工艺的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(3): 45-47.

[13] 刘晓艳, 白卫东, 梁桂彩. 新会柑脱苦工艺研究[J]. 食品工业科技, 2008(6): 200-202.

[14] 白卫东, 赵文红, 陈颖茵, 等. 新会柑果醋的研究[J]. 中国

调味品, 2006(8): 12-15.

[15] Schryver P. D., Verstraete W. Nitrogen removal from aquaculture pond water by heterotrophic nitrogen assimilation in lab-scale sequencing batch reactors[J]. Bioresource Technology, 2009, 99(3): 1162-1167.

[16] 环境保护部. 氨氮的测定-纳氏试剂分光光度法. HJ 535-2009[S]. 2009.

[17] 环境保护部. 水质 TN 的测定-碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法. HJ 636-2012[S]. 2012.

[18] 淡水池塘养殖水排放要求. SC/T 9101-2007[S]. 2007.

(收稿日期: 2010-07-28)

## Purification effect of the Xinhui Citrus juice culture on the aquaculture tail water

Li Yiyong<sup>1,2</sup>, Chen Baizhong<sup>2</sup>, Zeng Jiajia<sup>3</sup>, Wu Zhenqiang<sup>1</sup>

(1.School of Biology and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2.Guangdong Xinbaotang Biological Technology Co. Ltd., Jiangmen 529101, China; 3.School of Environment, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** The Xinhui citrus juice, as an agricultural waste, with or without centrifugation was taken as the culture medium for three kinds of microbial preparations (named Lishengyuan, Jiaozhiyuan, and Rudingbao), and the cultures were used for the removal of TN and  $\text{NH}_3\text{-N}$  in aquaculture tail water. The tail water without culture addition was taken as control. After comparison, it showed that Lishengyuan culture with the uncentrifuged citrus juice had the best purification effect of the simulated tail water with removal rates of 82.5% and 98.7% for TN and  $\text{NH}_3\text{-N}$  respectively. The optimal Lishengyuan culture was further used to remove the TN and  $\text{NH}_3\text{-N}$  in the tail water from the grass carp pond and the tilapia pond, and it revealed that the removal efficiencies were improved, and the nitrogen index of the tail water from the tilapia pond had achieved secondary standard of the requirement for water discharge from freshwater aquaculture pond (SC/T 9101-2007).

**Key words:** Xinhui citrus juice; microbial preparations; culture; purification; aquaculture tail water

