

基于固着藻类反应器的生态沟渠构建

陶玲^{1,2}, 李谷^{2*}, 李晓莉², 林玉良³, 张世羊²

(1. 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081; 2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 荆州 434000;
3. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070)

摘要: 为使池塘循环水养殖系统中人工湿地出水更加满足养殖水质要求, 在长×宽×深为 150 m×0.5 m×0.6 m 的养殖池塘排水沟内借助固着藻类反应器原理设计构建了生态沟渠, 研究了生态沟渠对人工湿地出水溶氧恢复状况及深度净化效果。研究结果显示, 人工湿地出水溶氧经过生态沟渠后显著提高至 4.41~7.91 mg/L, pH 值显著提高 ($P < 0.05$)。在 150 m 长度范围内, 生态沟渠水中溶氧量随着沟渠长度的增加呈线性增加的趋势 ($P < 0.05$)。生态沟渠对人工湿地出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 I_{Mn} 和 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 等具有进一步去除效果, 去除率分别达 19.46%、13.38% 和 31.09%, 对总大肠菌群的去除率范围在 12.5%~78.13%。上述结果表明基于固着藻类反应器的生态沟渠能使人工湿地出水溶氧低的状况得到改善, N、P 等物质得到进一步去除, 可以作为与人工湿地配套的水回用系统。

关键词: 水, 净化, 溶氧, 固着藻类, 池塘养殖

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.01.048

中图分类号:

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-01-0297-06

陶玲, 李谷, 李晓莉, 等. 基于固着藻类反应器的生态沟渠构建[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 297-302.

Tao Ling, Li Gu, Li Xiaoli, et al. Construction of an ecological ditch based on periphyton reactor [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 297-302. (in Chinese with English abstract)

0 引言

生态沟渠净化技术是近几年发展起来的一种占地面积小, 运行和建设费用低的高效水质净化技术, 已被广泛应用于农业面源污染、生活污水等水质净化领域。研究表明生态沟渠对水稻田面源污染中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TN 和 TP 都有着较强的降解能力^[1]。沟渠式生物接触氧化组合系统处理模拟村庄面源污水, COD 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的平均去除率分别达到 85% 和 79%^[2]。构建在太湖流域的生态拦截型沟渠系统对农田径流中 TN、TP 的去除效果分别达到 48.36% 和 40.53%^[3]。当前我国池塘养殖面临着养殖设施老化, 养殖水质恶化, 养殖水源被污染及水资源紧缺等问题, 应用高效、低耗的水质净化工艺进行池塘养殖水质调控和养殖废水循环利用已经非常迫切。我国现有养殖池塘大都设置有进排水沟渠, 可就地进排水沟渠改造成生态沟渠净化设施, 对池塘养殖废水进行净化循环利用, 投资少, 无需另外占地, 经济可行, 且目前未见相关研究报道。

固着藻类广泛存在于自然界水体中, 通过吸收代谢利

用、吸附和络合等过程去除水体污染物质, 具有生物量大, 水质响应灵敏, N、P 去除效果好, 藻类细胞回收利用价值高等优点, 适合用作废水生物处理出水的深度处理^[4]。国外已利用固着藻类去除小型污水处理厂出水中的细菌和营养物质^[5]。本研究结合现有养殖池塘进排水沟渠的具体情况, 在池塘循环水养殖系统中的人工湿地出水端构建了独特的基于固着藻类反应器的生态沟渠, 拟通过沟渠中形成的固着藻膜净化系统, 使池塘养殖废水经过人工湿地净化后, 在生态沟渠中进行复氧和深度净化, 更加满足养殖水质要求, 以期在我国传统池塘养殖设施升级改造中对进排水沟渠的构建提供借鉴, 为池塘生态工程修复技术的推广应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 生态沟渠构建

该生态沟渠为一条与潜流人工湿地相配套的生态沟渠, 池塘养殖尾水经动力提升进入人工湿地, 人工湿地出水流经生态沟渠, 再回流进入养殖池塘, 由此形成水循环养殖系统。该沟渠为原有养殖池塘的排水沟渠就地改造而成, 为水泥表面, 断面为长方形, 大小为 150m×0.5m×0.6m。沟渠底部平放一种用木栅固定的聚乙烯格网, 不另外人工接种任何生物, 由人工湿地出水中藻类在沟渠中的聚乙烯格网上自然固着, 逐渐形成固着藻膜, 即固着藻反应器。沟渠末端设置跌水装置(图 1), 即在沟渠末端的出水口上设置出水闸板, 出水闸板外侧出水口连接跌水板, 跌水板的另一侧设置与鱼池连通的溢流堰, 水流经溢流堰后进入池塘, 出水口、跌水板、溢流堰与池塘呈阶梯状设置。由此, 水从沟渠末端形成

收稿日期: 2010-05-25 修订日期: 2010-12-03

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(NYCYTX-49), 中国水产科学研究院淡水渔业研究中心基本科研业务费, 农业科技成果转化资金项目(2008GB23260394)资助。

作者简介: 陶玲(1981-), 女, 四川什邡人, 助理研究员, 研究方向: 池塘生态与养殖工程。湖北省荆州市江汉北路 41 号 中国水产科学研究院长江水产研究所, 434000。E-mail: taoling002sf@hotmail.com

*通信作者: 李谷(1967-), 男, 湖北荆州人, 研究员, 博士, 研究方向: 池塘生态工程。湖北省荆州市江汉北路 41 号 中国水产科学研究院长江水产研究所, 434000。Email: ligu667@yahoo.com

跌水状态回流池塘。其中,出水闸板可以调节沟渠中的水位和流速,跌水板起曝气增氧作用,溢流堰起控制水流同时拦截脱落死亡的固着藻类的作用。

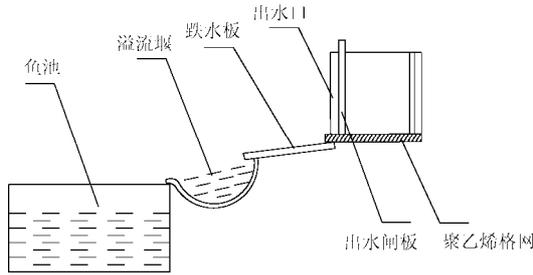


图1 生态沟渠末端跌水装置示意图

Fig.1 Schematic of waterfall facility constructed at the end of ecological ditch

1.2 样品采集与分析

1.2.1 水样的采集与分析

本文主要考察了 2009 年 6~7 月生态沟渠中的固着藻类生长情况及养殖废水经人工湿地净化后的出水在沟渠中的溶氧恢复情况及深度净化效果。将未铺设聚乙烯格栅时的沟渠作为对照沟渠,分别在 3 种不同流速下,每天上午 10:00,沿流程即人工湿地出水口(设定为沟渠 0 m)、沟渠长度 30、60、90、120、150 m 及跌水进塘处分别测定沟渠水中的溶解氧(DO)、pH 值及电导率。沟渠中藻类膜形成后,为比较不同光照条件下沟渠的复氧效果,分别在一天当中的 10:00、12:00、14:00 及 16:00 沿流程测定沟渠水中的 DO 值、pH 值、电导率。此后,每 7d 在上午 10:00 沿流程测定沟渠水中的 DO 值、pH 值及电导率,并取沟渠进出水水样,测定其中 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、高锰酸盐指数(I_{Mn})、 PO_4^{3-} -P、总大肠菌群数等指标,测定方法参照《水和废水监测分析方法》^[6]。沟渠中水流速度采用 LGY-II 型智能流速仪测定,DO 值、pH 值、电导率等指标使用奥利龙水质在线分析仪测定。

1.2.2 固着藻类的采集与分析

随机选择 3 块聚乙烯网格,并随机在每个格栅上选取 6 个 10 cm×10 cm 样方,用采样刀仔细刮下样方内聚乙烯格栅表面的固着藻类。将每块格栅上的 3 个样方的藻类样品混合后放入置于 250 mL 去离子水中,混合摇匀后添加 4% 的福尔马林液保存为定性样品,吸取适量样品,置于 40 倍显微镜下参考《中国淡水藻类:系统、分类及生态》^[7]进行类鉴定,一般鉴定到属或种。每块格栅上的另外 3 个样方的藻类样品混合后放入采样瓶作为藻类生物量样品。固着藻类生物量的计算方法:取藻类样品分别在 105℃ 烘箱中干燥 15 min,随后将温度降至 65℃ 再烘 5~6 h,至 2 次质量之差 ≤ 0.002 g。

1.3 数据统计与分析

采用 spss13.0 软件进行数据统计。对沟渠水中 DO 值随沟渠长度变化趋势的数据进行直线回归分析,并用协方差分析方法对在不同流速下的回归直线进行比较,对不同光照强度下沟渠复氧效果的数据和沟渠进出水中 pH 值和电导率变化的数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 生态沟渠的复氧效果

2.1.1 水流速度和沟渠长度对沟渠复氧效果的影响

溶解氧是池塘养殖环境中最重要的环境因子之一,溶氧不足会出现养殖鱼类摄食强度和饲料消化率低、生长缓慢、抗逆性下降等现象。为使人工湿地出水中较低的溶氧在生态沟渠中快速恢复后再进入养殖池塘,主要考察了沟渠长度和沟渠中水流速度对沟渠复氧效果的影响。直线回归分析结果显示在 150 m 的长度范围内,水流速度分别为 22、10、4 cm/s 时,沟渠水中的溶氧量均随沟渠长度的增加呈线性增加趋势,沟渠的长度每增加 30 m,沟渠水中复氧量分别增加 0.294、0.248、0.189 mg/L (图 2)。表明沟渠的长度是影响沟渠自然复氧的重要因素,构建沟渠时可适当增加沟渠的长度以获得更高的复氧量。水流速度对生态沟渠降解营养物和有机物的净化效果有重要影响^[8]。对 3 种流速下回归直线进行协方差分析,结果表明 3 种流速下的回归直线存在显著差异($P<0.05$),沟渠的复氧量大小排序为 22cm/s>10cm/s>4cm/s。流速过高会使废水在沟渠中的停留时间减短,不利于污染物的沉淀转化。因此,在满足沟渠中固着藻类正常生长和较高复氧量的前提下,达到一定的氮磷去除效果,固着藻类膜形成后保持沟渠中水流流速为 10 cm/s。

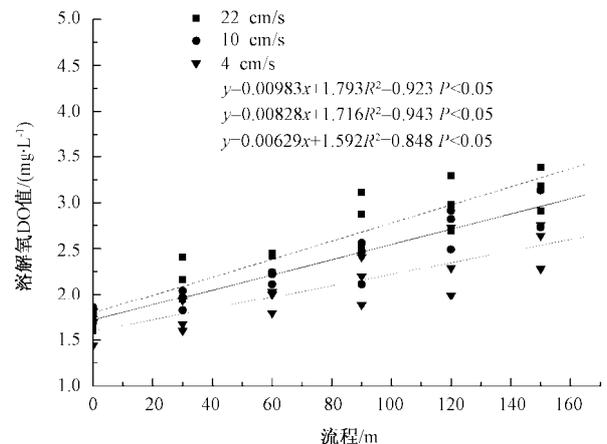


图2 不同流速下沟渠沿流程的复氧效果
Fig.2 Reoxygenation effect of ditch under different flow speeds

2.1.2 光照强度对生态沟渠复氧效果的影响

在晴天 10:00、12:00、14:00 和 16:00,相应的太阳辐射强度分别为 65 000、95 000、76 000、50 000 lx 时,沟渠水中溶氧沿流程的变化见图 3。可以看出基于固着藻类的生态沟渠对人工湿地出水的复氧效果在一天当中与太阳辐射强度变化一致,其中,中午 12:00 增加幅度最高,此时沟渠出水中溶氧增加了 6.08 mg/L,达到 7.91 mg/L;在 16:00 溶氧增加幅度最小,增加量为 3.62 mg/L,达到 5.22 mg/L。方差分析结果表明各时间点沟渠出水中溶氧量均显著比对照沟渠高($P<0.05$)。表明固着藻类膜形成后大大提高了沟渠的复氧能力,相比于沟渠的大气复氧效果,固着藻类膜光合放氧作用使生态沟渠的复氧效

果提高了 16%~40%。生态沟渠中的固着藻类充分利用了太阳的光能转化为对池塘水质有益的溶氧，起到复氧的效果，是一种节能且环保的净化措施。同时从图中可以看出，水从沟渠末端流经跌水装置后溶氧量提高大于 1 mg/L，表明在构建生态沟渠时可以充分利用池塘与沟渠的高度落差，在沟渠末端设置跌水装置提高最终进入池塘水中的溶氧。

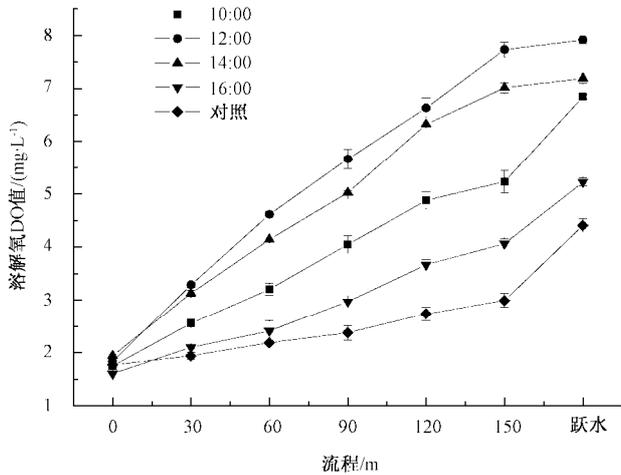


图 3 不同光照强度下 DO 沿生态沟渠流程的变化

Fig. 3 Variation in DO along ecological ditch under different light intensities

2.1.3 pH 值和电导率在生态沟渠中的变化

pH 值和电导率沿沟渠流程的变化见图 4，可以看出人工湿地出水的电导率在沟渠中随流程的增加变化幅度较小，一直在 425 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 上下波动。而 pH 值随沟渠流程的延长显著提高，从进水的 6.6 显著上升到了出水的 7.6

($P < 0.05$)。固着藻类进行光合作用消耗大量的二氧化碳，导致水中的碳酸盐平衡被破坏，pH 值上升最终呈碱性，高 pH 值对污水有很好的杀菌作用^[9]，这有助于减少池塘中有害细菌的滋生，改善养殖池塘的微生物环境。

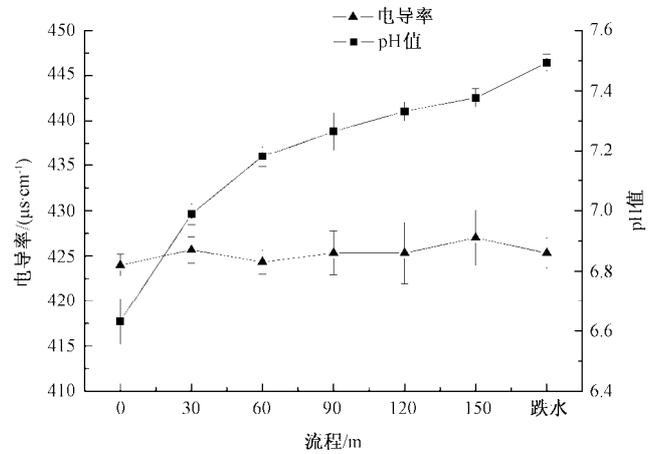


图 4 pH 值和电导率沿生态沟渠流程的变化

Fig.4 Variation in pH value and electrical conductivity along ecological ditch

2.2 生态沟渠的净化效果

2.2.1 生态沟渠对 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 I_{Mn} 和 PO_4^{3-} -P 的去除效果

养殖废水中的 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 I_{Mn} 和 PO_4^{3-} -P 等污染物在经过人工湿地净化后，以较低的浓度进入生态沟渠，经净化后的沟渠出水中 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 I_{Mn} 和 PO_4^{3-} -P 的平均浓度分别为 0.009、0.37、3.7 和 0.14mg/L (图 5)，去除率分别达到 -2.08%、19.46%、13.38% 和 31.09% (表 1)。

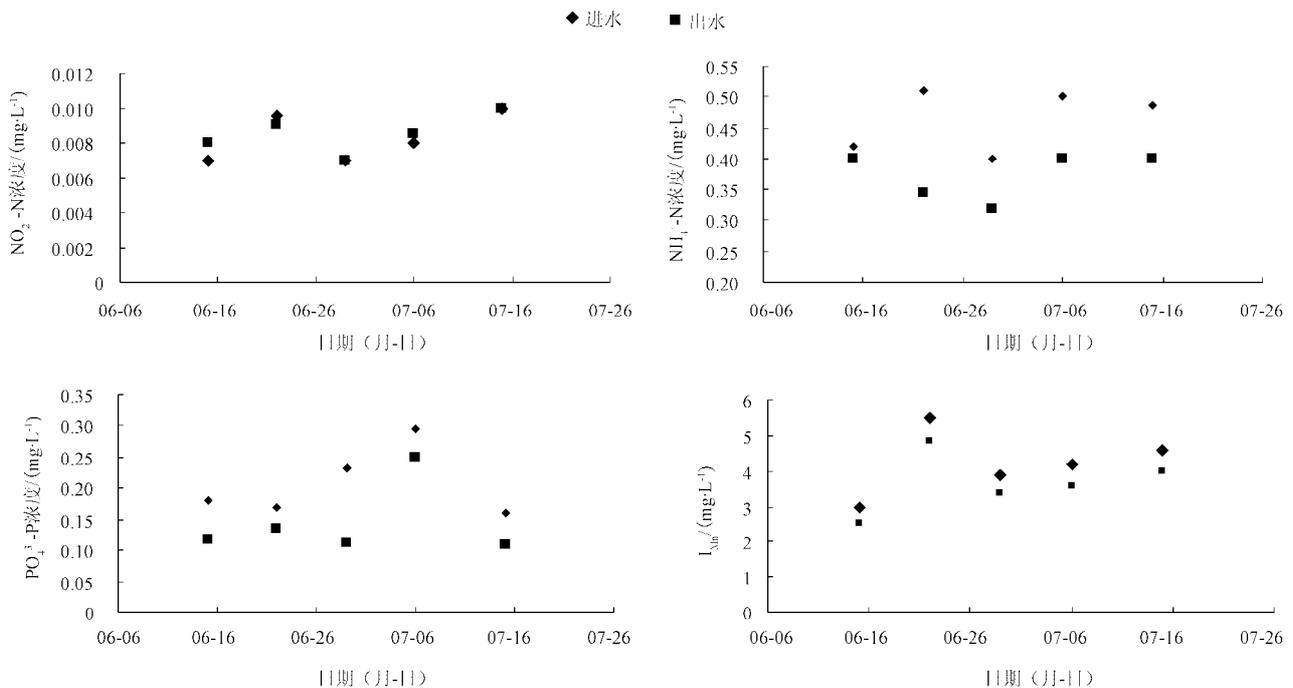


图 5 沟渠进出水中 NO_2^- -N、 NH_4^+ -N、 I_{Mn} 和 PO_4^{3-} -P 浓度变化

Fig.5 Variation in concentrations of NO_2^- -N, NH_4^+ -N, I_{Mn} and PO_4^{3-} -P at inlet and outlet

表 1 生态沟渠对 NO₂⁻-N、NH₄⁺-N、I_{Mn} 和 PO₄³⁻-P 的去除效果
Table 1 Removal rate of NO₂⁻-N, NH₄⁺-N, I_{Mn} and PO₄³⁻-P by ecological ditch

项目	NO ₂ ⁻ -N	NH ₄ ⁺ -N	I _{Mn}	PO ₄ ³⁻ -P
进水/(mg·L ⁻¹)	0.008±0.001	0.46±0.03	4.2±0.20	0.21±0.03
出水/(mg·L ⁻¹)	0.009±0.001	0.37±0.03	3.7±0.18	0.14±0.03
去除率/%	-2.08±3.34	19.46±4.38	13.38±0.85	31.09±6.45

周丛藻类系统对受污染景观河道水体中 TN、NH₄⁺-N 去除率分别可达 30% 和 50% 以上^[10]。周丛藻类在白天所进行的固氮酶硝化作用是水体 NH₄⁺-N 浓度下降、NO₂⁻-N 浓度增加的重要原因^[11-12]。本研究中生态沟渠表现出较好的 NH₄⁺-N 去除效果，这与固着藻类的硝化作用有关，同时 NH₄⁺-N 的去除还可能通过沟渠中水流带动的大气挥发、沟渠中沉积物的吸附作用，及沟渠中微生物的硝化作用而去除。本研究中 I_{Mn} 去除效果较低，这可能是由于藻类在光照条件下的合成代谢作用不是直接以有机碳源为营养物质，而是以 CO₂ 为碳源。同时沟渠对 PO₄³⁻-P 的去除率达到 31.09%，这与况琪军等得出的以丝状藻类为主的藻类群落对于可溶性无机态磷的吸收效果较为明显^[13] 的研究结果一致。固着藻类生态沟渠能去除对池塘养殖有害的 NH₄⁺-N，并进一步削减进入池塘的 N、P 等营养负荷，有利于防止池塘蓝藻爆发。

2.2.2 生态沟渠对总大肠菌群的净化效果

对生态沟渠进出水中总大肠菌群数等进行了连续监测，其中沟渠进水中总大肠菌群数变化范围较大，达到 64~1600 MPN/100 mL，经过净化后的沟渠出水中总大肠菌群数减少为 56~540 MPN/100 mL，去除率范围为 12.5%~78.13%。小型污水处理厂三级出水经固着藻类膜系统净化后总大肠菌群数低于 10 000 CFU/100 mL^[5]，其研究结果同时表明藻类的光合作用形成的 pH 值升高能提高细菌去除的反应常数，是细菌去除的重要原因。本研究结果中 pH 值在生态沟渠中的升高可能是其去除的原因之一，同时固着藻类生态沟渠中可能形成了以固着藻类为核心的藻-菌共生系统，有益微生物繁殖生长从而抑制了大肠杆菌等有害微生物的繁殖。

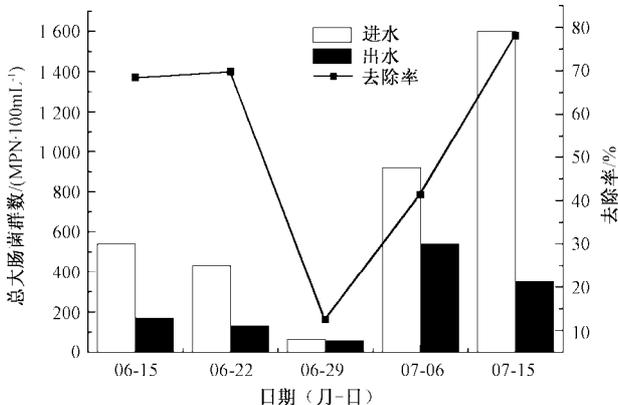


图 6 生态沟渠对总大肠菌群的净化效果

Fig.6 Purification effect of ecological ditch on total coliform group

2.3 生态沟渠中藻类的种类组成

在沟渠底部放置聚乙烯格网的 15 d 后即可在网表面观察到色泽鲜绿的新生藻丝，20 d 后可见浓绿的固着藻膜覆盖在网表面。对固着藻类进行鉴定，共检测出藻类 58 个种类，分别隶属 4 门 27 属，主要由硅藻和绿藻种类组成，占藻类种类总数的 80% (见图 7)，与河流中固着藻类的种类组成较为一致。其中优势属为异极藻 (*Gomphonema* sp.)、水绵 (*Spirogyra* sp.)、刚毛藻 (*Chadophorasle* sp.)、水网藻 (*Hydrodictyon* sp.)，固着藻类膜的生物量达到 0.17~0.25 kg/m² (干质量)。人工湿地出水中的藻类经过在聚乙烯网格上的自然选择和附着，形成了物种丰富的固着藻类群落。这为降解和吸收水体中的各种污染物提供了物质基础，且硅藻和绿藻不易产生毒性分泌物，具有生态安全性。30 d 后观察到固着藻类膜表面的藻丝颜色由绿色变深并成团脱落于水中，同时格网上则继续生长新的藻丝体。生态沟渠中这种老化藻类膜的脱落和新膜的形成过程，使沟渠中的固着藻类可以自然的更替，而老化死亡的藻类膜随水流移动到沟渠末端跌水装置的溢流堰滤网处，此时通过人工捞取可使其从水中分离，这相比于其它脱氮除磷工艺，更高效、简便地彻底将已固定在固着藻类中的氮、磷等营养从系统中去除并回收利用。

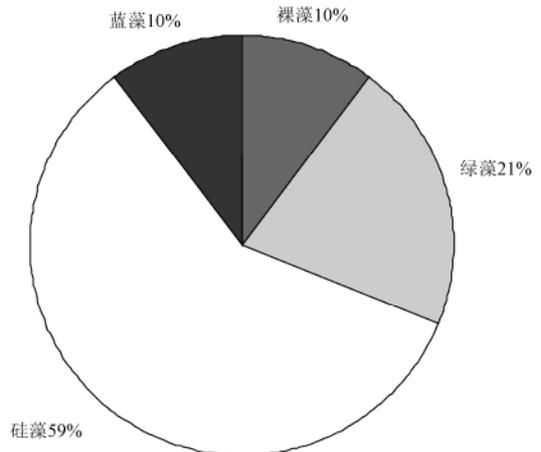


图 7 生态沟渠中藻类的种类组成

Fig.7 Algal species composition in ecological ditch

大型固着藻类对水华藻类的抑制作用已有较多报道^[14-15]，刚毛藻对水华微囊藻的抑制率达 99.63%^[16]。固着藻类在生长过程中产生的代谢分泌物或与其共生的微生物可能是产生抑制作用的主要原因^[17]。在试验期间观察到经生态沟渠处理循环的养殖池塘在养殖期间从未发生蓝藻水华，而对照池塘从 7~9 月发生了严重蓝藻水华。很可能的原因之一就是沟渠中生长的固着藻类如水网藻、水绵等分泌的抑藻物质沿沟渠中水流源源不断地输入到池塘中，从而抑制了池塘中蓝藻等有害微藻的生长。

3 结论

1) 固着藻类生态沟渠使人工湿地出水中溶氧显著提高至 4.41~7.91 mg/L。在 150 m 的长度范围内，沟渠水

中溶氧量随沟渠长度的增加呈线性增加趋势。在试验 3 种水流速度变化范围内, 沟渠的复氧量大小排序为 $22 \text{ cm/s} > 10 \text{ cm/s} > 4 \text{ cm/s}$ 。沟渠末端跌水装置使溶氧提高大于 1 mg/L 。固着藻类生态沟渠利用水流动力和太阳辐射能量对人工湿地出水进行复氧, 是一种节能且环保的净化措施。在构建生态沟渠时可提高水流速度和沟渠长度, 同时充分利用池塘与沟渠间的高度落差, 在沟渠末端设置跌水装置以提高最终进入池塘的水中溶氧。

2) 固着藻类生态沟渠对人工湿地出水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 I_{Mn} 、 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 等物质具有深度净化效果, 去除率分别达到 19.46%, 13.38%, 31.09%, 对总大肠菌群的去除率范围为 12.5%~78.13%。固着藻类生态沟渠去除了 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 等有害物质, 并进一步削减进入池塘的营养负荷, 有利于防止池塘蓝藻爆发。

3) 人工湿地出水中藻类在生态沟渠中自然固着形成了稳定的固着藻类群落, 种类主要为绿藻和硅藻, 老化藻类膜的脱落和新膜的生长形成自然的更替, 老化死亡藻膜可通过人工捞取从水中去除, 使已固定在藻类中的 N、P 等营养物质从系统中彻底去除并回收利用。

4) 本文仅研究了 2009 年 6~7 月试验数据, 但在试验期间生态沟渠中固着藻类生长良好, 沟渠净化效果稳定, 已表现出了对人工湿地出水较好的复氧和深度净化效果。固着藻类生态沟渠净化系统集增氧、净化为一体, 与人工湿地组合形成厌氧-好氧的养殖废水处理工艺, 使池塘养殖废水净化回用后满足养殖用水要求, 是一项低成本、高效率的池塘水质净化生态工程技术, 在当前我国的池塘改造中具有一定的应用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 陈海生, 王光华, 宋仿根, 等. 生态沟渠对农业面源污染物的截留效应研究[J]. 江西农业学报, 2010, 22(7): 121—124.
Chen Haisheng, Wang Guanghua, Song Fanggen, et al. Retention and removal effects of ecological ditch on agricultural non-point source pollutants[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2010, 22(7): 121—124. (in Chinese with English abstract)
- [2] 周婷, 袁世斌, 张小平, 等. 沟渠式生物接触氧化法对有机物和氨氮的去除研究[J]. 环境污染与防治, 2008, 6: 41—44.
Zhou Ting, Yuan Shibin, Zhang Xiaoping, et al. Study on the removal of COD and ammonia nitrogen by biological contact oxidization pond[J]. *Environmental Pollution and Control*, 2008, 6: 41—44. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨林章, 周小平, 王建国, 等. 用于农田非点源污染控制的生态拦截型沟渠系统及其效果[J]. 生态学杂志, 2005, 24(11): 1371—1374.
Yang Linzhang, Zhou Xiaoping, Wang Jianguo, et al. Ecological ditch system with interception function and its effects on controlling farmland non-point pollution[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(11): 1371—1374. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈重军, 韩志英, 朱荫涓, 等. 周丛藻类及其在水质净化中的应用[J]. 应用生态学报, 2009, 20(11): 2820—2826.
Chen Chongjun, Han Zhiying, Zhu Yinmei, et al. Periphyton and its application in water purification[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(11): 2820—2826. (in Chinese with English abstract)
- [5] Schumacher G, Sekoulov I. Improving the effluent of small wastewater treatment plants by bacteria reduction and nutrient removal with an algal biofilm[J]. *Water Science and Technology*, 2003, 48(2): 373—380.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类: 系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] 卢少勇, 张彭义, 余刚, 等. 生态沟渠处理农田排灌水的研究[J]. 环境污染与防治: 网络版, 2004, 26(5): 400—400.
Lu Shaoyong, Zhang Pengyi, Yu Gang et al. Research of ecological ditch for agriculture irrigation and drainage water treatment [J]. *Environmental Pollution and Control: Internet Edition*, 2004, 26(5): 400—400. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张彦浩, 邢丽贞, 孔进, 等. 附着藻类床去除城市污水的氮、磷[J]. 中国给水排水, 2007, 23(9): 48—52.
Zhang Yanhao, Xing Lizhen, Kong Jin, et al. Research on removal of phosphorus and nitrogen in municipal wastewater by attached algal Bed[J]. *China Water and wastewater*, 2007, 23(9): 48—52. (in Chinese with English abstract)
- [10] 梁霞, 李小平, 史雅娟. 周丛藻类水质处理系统中氮、磷污染物去除效果研究[J]. 环境科学学报, 2008, 28(4): 695—704.
Liang Xia, Li Xiaoping, Shi Yajuan. Nutrient removal from contaminated river water using a periphyton water treatment system[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(4): 695—704. (in Chinese with English abstract)
- [11] Rodrigo V, Eberto N. Seasonal changes in periphyton nitrogen fixation in protected tropical wetland [J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(3): 367—372.
- [12] Stewart W D P, Sampaio M J, Isiehei A O, et al. Nitrogen fixation by soil algae of temperate and tropical soils[A]. In: D bereiner B, Hollaender R. Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics[C]. New York: Plenum, 1978, 41—63.
- [13] 况琪军, 马沛明, 刘国祥, 等. 大型丝状绿藻对 N、P 去除效果研究[J]. 水生生物学报, 2004, 28(3): 323—326.
Kuang Qijun, Ma Peiming, Liu Guoxiang, et al. Study on the removal efficiency of nitrogen and phosphorus by filamentous green algae[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2004, 28(3): 323—326. (in Chinese with English abstract)
- [14] 周杰, 王晓琼, 裴国风. 丝状绿藻种植水对栅藻和微囊藻生长的影响[J]. 中南民族大学学报: 自然科学版, 2008, 27(3): 32—35.
Zhou Jie, Wang Xiaoqiong, Pei Guofeng. Effects of filamentous green algae culture water on growth Of *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus*[J]. *Journal of South-Central University for Nationalities: Natural*

- Science Edition, 2008, 27(3): 32—35. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘德启, 由文辉, 李敏, 等. 利用水网藻对微藻的抑制作用净化源水[J]. 中国给水排水, 2004, 20(10): 14—17.
Liu Deqi, You Wenhui, Li Min, et al. Source water purification through inhibition effect of *H. reticulatum* on micro-algae[J]. China Water and wastewater, 2004, 20(10): 14—17. (in Chinese with English abstract)
- [16] 况琪军, 凌晓欢, 马沛明, 等. 着生刚毛藻处理富营养化湖泊水[J]. 武汉大学学报理学版, 2007, 53(2): 213—218.
Kuang Qijun, Ling Xiaohuan, Ma Peiming, et al. Treatment of eutrophication lake water by attached *Cladophora oligoclona*[J]. Journal of Wuhan University: Natural Science Edition, 2007, 53(2): 213—218. (in Chinese with English abstract)
- [17] 马军, 雷国元. 水绵 (*Spirogyra*) 的除磷特性及其对微藻生长的抑制作用[J]. 环境科学学报, 2008, 28(3): 476—483.
Ma Jun, Lei Guoyuan. Characteristics of phosphorus removal and growth inhibition of micro-algal species by *Spirogyra* [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(3): 476—483. (in Chinese with English abstract)

Construction of an ecological ditch based on periphyton reactor

Tao Ling^{1,2}, Li Gu^{2*}, Li Xiaoli², Lin Yuliang³, Zhang Shiyang²,

(1. Freshwater Fisheries Research Center of Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Jingzhou 434000, China;

3. Fisheries College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: To make the effluent of constructed wetlands in a pond recirculating aquaculture system satisfy aquaculture requirement, a 150m in length, 0.5m in width and 0.6m in depth ecological ditch was constructed on the basis of the periphyton reactor theory. The reoxygenation and deep purification effect of the ditch on the effluent of constructed wetlands was explored in this study. The results showed that the level of dissolved oxygen (DO) in the effluent of constructed wetlands increased to a range of 4.41-7.91 mg/L and pH value increased significantly by flowing though the ecological ditch ($P < 0.05$). DO level in the water of ecological ditch increased linearly with the length of the ditch within the range of 150 m ($P < 0.05$). The ecological ditch deeply purified $\text{NH}_4^+\text{-N}$, I_{Mn} and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ in the effluent of the constructed wetlands with removal rate of 19.46%, 13.38% and 31.09%, respectively. The total coliform group was also eliminated with removal rate fluctuating between 12.5% and 78.13%. These results indicated that the ecological ditch based on periphyton reactor could increase DO level and further reduce N、P content of the effluent from the constructed wetlands. The ecological ditch can be used as a matching water reuse system of constructed wetlands.

Key words: water, purification, dissolved oxygen, periphyton, pond aquaculture