

促沉装置净化稻田径流排水中面源污染物的效果研究

付子轼^{1,2}, 孙会峰^{1,2}, 周胜^{1,2*}, 张继宁^{1,2}, 张鲜鲜^{1,2}, 王从^{1,2}

(1.上海市农业科学院 生态环境保护研究所, 上海 201403;

2.上海低碳农业工程技术研究中心, 上海 201415)

摘要:【目的】研究促沉净化装置对稻田径流排水中主要面源污染物的去除效果, 探寻适合农田径流排水的原位处理技术。【方法】于2015年在上海市奉贤区青村镇种源研发基地内选取5块稻田, 在每块田的排水口处修建一套容积约为1.9 m³的促沉净化装置, 内部用多面空心球和沸石按1:2的体积比进行填充, 在外围用沸石填充, 分析每套装置进出水中的固体悬浮物、总氮和总磷的质量浓度。【结果】在整个稻季中, 使用促沉净化装置对稻田径流排水中的固体悬浮物、总氮和总磷均具有较好的去除效果, 其平均去除率分别达到61%、33%和34%。该装置对固体悬浮物或总磷的去除率与其质量浓度之间存在显著的对数正相关关系, 即质量浓度越高, 其去除率也越高; 但对总氮的去除率与其质量浓度之间则呈一定程度的线性负相关关系。【结论】促沉净化装置对稻田径流排水中主要面源污染物均有较好的去除效果, 使用促沉净化装置可在不影响流速的情况下, 有效降低径流排水中污染物的质量浓度, 改善周边水体环境, 维护水体生态系统平衡稳定。

关键词: 促沉净化; 总氮; 总磷; 面源污染; 排水; 稻田

中图分类号: S276.7⁺4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2020207

OSID:



付子轼, 孙会峰, 周胜, 等. 促沉装置净化稻田径流排水中面源污染物的效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(2): 111-117.

FU Zishi, SUN Huifeng, ZHOU Sheng, et al. Efficacy of a Sedimentation-boosting and Purifying Device for Decontaminating Pollutants in Surface Runoff from Paddy Field[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(2): 111-117.

0 引言

【研究意义】在农业生产过程中, 长期大量的不合理使用化肥, 极易导致农田污染物(固体悬浮物、氮和磷等养分)通过地表径流排水进入周边水体, 从而产生面源污染问题^[1-2], 而农田径流排水中的氮、磷等营养元素是自然水体中水生植物和藻类的直接营养源^[3-4]。太湖流域以稻麦轮作复种为主要的作物种植模式, 拥有耕地面积143万hm², 其中水田面积约占85%, 是我国重要的水稻生产区之一。在该种植模式下, 氮肥的年均施用量(以纯氮计)为600~675 kg/hm², 但当季利用率仅为20%~25%^[5]; 磷肥的年均施用量(以P₂O₅计)也达到120 kg/hm²^[6], 而当季利用率一般也仅为10%~25%^[7]。同时, 由于生产技术落后, 水稻生产过程中不仅耗肥多、肥料利用率低,

而且不合理的灌溉导致耗水量巨大^[8-9], 水分生产率低, 氮、磷等污染物的排水负荷量相对较高^[10]。另外, 太湖地区降雨量丰富, 且季节分布不均, 全年降雨量大多集中在稻季, 并多发强降雨天气^[11], 极易导致土壤黏粒等固体悬浮物、氮和磷等养分经农田径流排水进入水体, 进而加大水体的污染风险。因此, 有效削减农田面源污染成为当今水体污染治理与生态修复中的主要任务之一。

【研究进展】源头减量通常被认为是减少农田径流排水中面源污染负荷、降低水体污染风险最有效的方法之一, 常用的技术有肥料运筹优化技术^[12-13]、作物轮作制度优化技术、缓控释肥等新型肥料^[14]和生物质炭等土壤改良剂^[15]的运用等。除了运用以上技术方法外, 采取农业工程措施也可实现对农田面源污染物的控制减排。农田面源污染物大部分随降雨径流或人工排水进入水体, 在其进入水体前, 通过建立生态拦截系统, 可有效阻断径流排水中污染物进入水体, 即“污染物质的生态拦截技术”, 也成为控制面源污染物的重要技术手段^[16]。杨林章等^[17]运用污染物质的生态拦截技术, 对农田径流排水中总氮、总磷的去除效

收稿日期: 2020-04-13

基金项目: 上海市科技兴农推广项目(沪农科推字(2013)第1-1号); 上海市科委基础研究重点项目(12JC1407900)

作者简介: 付子轼(1974-), 男, 副研究员, 主要从事农业面源污染控制研究。E-mail: fzs@foxmail.com

通信作者: 周胜(1971-), 男, 研究员, 主要从事低碳农业与环境生态工程研究。E-mail: zhous@263.net

果分别达到 48% 和 41%。朱金格等^[18]在太湖流域建立的生态沟-湿地复合系统能有效减少农田径流排水的总氮、总磷质量浓度分别达 60% 和 61%。【切入点】目前的生态沟渠拦截技术是通过通过对现有农田沟渠进行生态化改造,使其在污染发生区域进行直接拦截和净化,但此技术可能无法满足瞬时大流量、污染物质量浓度高时的处理要求,且占地面积较大,建设维护成本较高。【拟解决的关键问题】本研究构建以多面空心球和沸石为填充材料的稻田径流排水悬浮物促沉装置,对因灌溉、降雨等因素产生的稻田径流排水进行净化,并评价该装置对面源污染物(固体悬浮物、总氮和总磷)的去除效果。因此本研究选取农户实际种植的田块进行试验,使试验更接近于实际应用情况,以期能为长三角地区或类似平原河网区的推广应用提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地点位于上海市奉贤区青村镇钱忠村的青村种源研发基地(30°53'N, 121°32'E),隶属于奉贤

区农业技术推广中心。该地点土壤质地为砂质壤土,耕作层(0~15 cm)的土壤有机质量 12.8 g/kg,全氮量 0.84 g/kg,全磷量 0.8 g/kg,全钾 22.9 g/kg, pH 值(土水比 1:2.5) 7.9。该区域属于北亚热带季风气候,年均气温 16 °C 左右,年均降水量在 1 200 mm 左右,其中约 60% 的降水量集中在 5—9 月的汛期。试验时间为 2015 年,年均气温 16.6 °C,年降水量 1 551 mm,稻季降水量为 867 mm。

1.2 试验设计

在研发基地内,选取 5 块平整田地作为试验用地,每块约 0.313 hm²。因试验在大田中进行,故每块地的小稻品种、插秧收获日期及施肥情况等都有所差异,具体情况见表 1。所有地块均采用机插秧,行株距为 30 cm×14 cm,有机肥(N、P、K 质量比 1.5:0.6:1.9)全部做底肥(4 月 22 日)施用,其中 4 号和 5 号地块在 5 月 26 日增施 375 kg/hm² BB 肥(N、P、K 质量比 24:8:10)做底肥,尿素(含 N46%)和缓释肥(N、P、K 质量比 24:8:12)在 6 月 9 日、11 日、19 日、29 日、7 月 16 日、8 月 8 日和 8 月 15 日做追肥施用。

表 1 各试验地块的水稻品种、插秧收获日期和施肥量

Table 1 Rice varieties, transplanting date, harvest date and fertilizers application rates in each experimental plot

田块序号	水稻品种	插秧日期	收获日期	施肥量/(kg hm ⁻²)			
				有机肥	尿素	缓释肥	BB 肥
1	花优 14	20150604	20151111	3 750	150.0	720	262.5
2	花优 14	20150604	20151111	3 750	150.0	600	262.5
3	花优 14	20150604	20151111	3 750	150.0	600	262.5
4	交源优 69	20150605	20151111	7 500	262.5	0	900.0
5	金农香粳 1267	20150605	20151028	7 500	262.5	0	900.0

在每块试验地的排水口处修建一套促沉净化装置,共计 5 套。图 1 显示的是该装置的俯视图和纵剖面图。本装置为半径为 1 m 的半圆柱体结构,总高度为 1.2 m,其中埋入地下 1 m,地面以上高 0.2 m,总容积约为 1.9 m³。直径边与田埂平齐,圆弧边朝向稻田。主体框架为钢筋混凝土板型构造,圆弧边部分是由 6 块长 1.2 m,宽 0.5 m,厚 4 cm 的混凝土板合围而成,且每块板上部留有 2 个直径 5 cm 的进水孔(各孔距离长边 12.5 cm,宽边 32.5 cm);直径边部分则是由 3 块长 1.2 m,宽 0.65 m,厚 4 cm 的混凝土板直接拼接而成,且在中间混凝土板上部留有一个直径 16 cm 的孔(距离长边 32.5 cm,宽边 32.5 cm)用于安置排水管道。在这个半圆柱体中间位置竖向放置 1 根长 1.5 m,外径 21 cm、内径 20 cm 的 PPR 排水管(上端用适合的盖子盖住),排水管的管壁打孔若干个以有利于水快速进入管内。在距竖直排水管顶部

82.5 cm 的位置开直径 16 cm 的孔,并水平插入 1 根长 1.2 m,外径 16 cm、内径 15 cm 的横向 PPR 排水管,穿过中间混凝土板的孔洞延伸到排水渠中。在横向 PPR 排水管的末端通过 1 个 PVC 弯头连接 1 根长 0.7 m,外径 16 cm、内径 15 cm 的竖向 PPR 排水管进行排水,不需要排水时,排水管保持竖向;需要排水时,则转动该排水管进行排水。主体框架搭建完成后,在外围挖一条深 20 cm,宽 30 cm 的沟,在沟的外侧用已打孔的挡泥板(即控根板)进行固定。挡泥板的总高度为 40 cm,其中埋入土面以下 20 cm。

在装置内部空间用多面空心球和沸石 2 种材料,按照 1:2 的体积比进行填充;在外围(混凝土板与挡泥板之间)用沸石填充。其中多面空心球直径为 2.5 cm,比表面积≥118 m²/m³,孔隙率≥0.47 m³/m³;沸石粒径为 3~5 cm,堆积密度≥0.7 g/cm³,动态水吸附≥20%~22%,改性后对磷的吸附容量可达 10~22 mg/g。

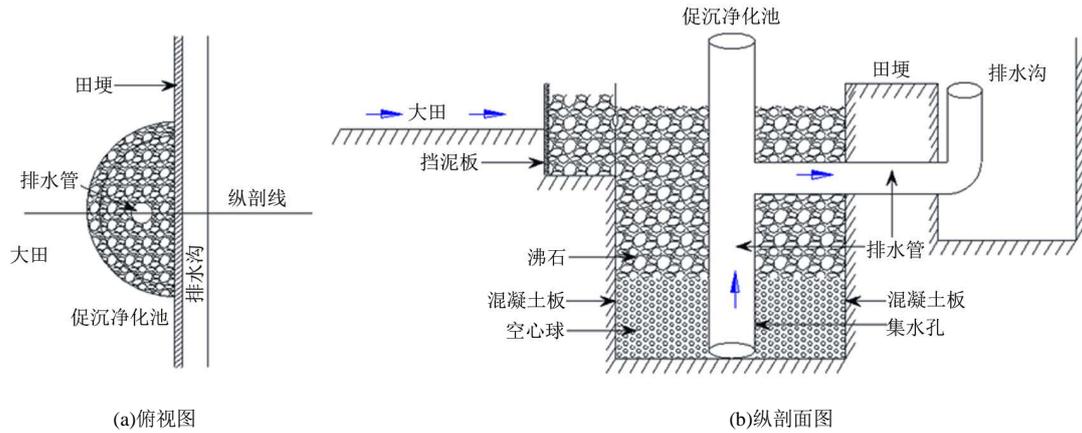


图 1 促沉净化装置示意

Fig.1 The aerial view (a) and longitudinal diagram (b) of sedimentation-promoting and purification device

1.3 样品采集与测定

田间需要排水时,转动竖向排水口,待排水 10~20 min、水流稳定后,在挡泥板外围 0.5 m 范围内采集稻田水样作为净化前的水样,而在排水管出口采集的水样作为净化后的水样。本稻季共取样 7 次,均为雨后被动排水,日期分别为 6 月 23 日、29 日、7 月 1 日、6 日、12 日、8 月 25 日和 9 月 30 日。在 7 次采样过程中,除第 1 次(6 月 23 日)距最近一次施肥(6 月 19 日)仅有 4 d 和第 2 次(6 月 29 日)采样后施肥外,其余各次取样日期距最近施肥日期均大于 7 d。

水样中固体悬浮物、总氮和总磷的质量浓度分别采用重量法、过硫酸钾氧化-紫外分光光度法、钼蓝比色法进行分析测定。

1.4 统计分析

采用 SPSS26.0 软件,对水样中的固体悬浮物、总氮和总磷的质量浓度分别进行配对样本 T 检验分析,置信区间百分比为 95%。采用 Microsoft Excel 2019 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 固体悬浮物、总氮和总磷的去除效果

促沉净化装置的使用对稻田径流排水的固体悬浮物有良好的去除效果(图 2,图中 ns 表示处理间在 $P=0.05$ 水平上没有显著差异; *和**分别表示处理间在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平上差异显著。),平均去除率达 61%,最高可到 92%。由此推断,应用促沉净化装置可有效减小径流排水的浑浊程度(固体悬浮物是引起水体浑浊的主要物质),降低对周边水体的污染风险。在整个稻季,径流排水(净化前)中固体悬浮物的质量浓度大体呈前低后高的趋势(图 2)。与稻季前期相比,中后期径流排水中较高的固体悬浮物质量浓度可能与较多的藻类等物质有关。促沉净化装置对

固体悬浮物的去除率有较大起伏,变化幅度从 32% 到 92%;虽然只有 2 次样品(7 月 1 日和 8 月 25 日)的去除率差异性统计达到显著水平,但 7 次经装置净化后的固体悬浮物质量浓度均低于净化前质量浓度,且有 4 次样品去除率(46%、69%、65%和 92%)明显高于 7 月 1 日的去除率(35%),可能是由于试验地块为生产大田,试验装置所选工况复杂,不同装置间去除率的变异系数较大导致。

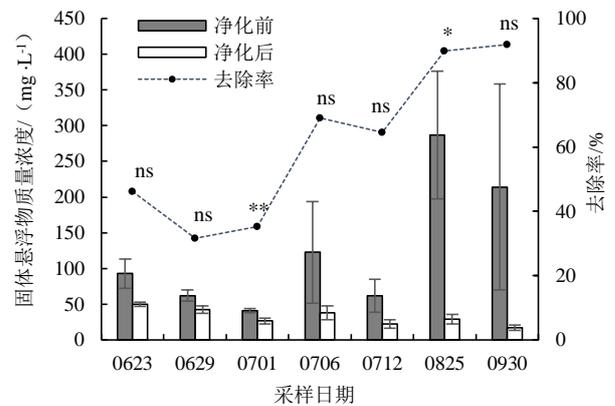


图 2 固体悬浮物的去除效果

Fig.2 Removal efficiency of suspended solids

与固体悬浮物质量浓度相反,稻田径流排水中总氮和总磷的质量浓度在整个稻季呈前高后低的趋势(图 3)。在稻季前期氮磷肥的施用直接引起径流排水中较高的总氮和总磷的质量浓度;但随着水稻生长进程的推进,氮磷等养分被转化、吸收、利用及其他形式的损失,导致稻季中后期径流排水中的总氮和总磷的质量浓度较低。

促沉净化装置对稻田径流排水中总氮和总磷的去除率分别为 16%~56%(平均 33%)和 10%~48%(平均 34%)。经统计分析得出,在 6 月 29 日、7 月 6 日、12 日和 9 月 30 日经促沉净化装置净化前和净化后的总氮质量浓度间差异显著。促沉净化装置对径流排水中总磷的去除效果较为稳定,尽管只有 3 次(6 月 29

日、7月1日和7月6日) 的去除率差异性分析达到

显著水平, 但有6次的去除率达到30%以上。

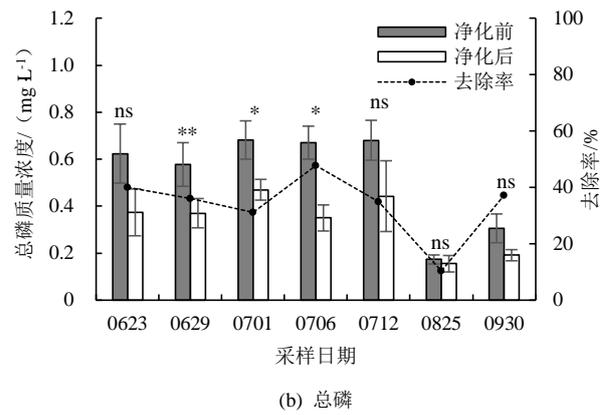
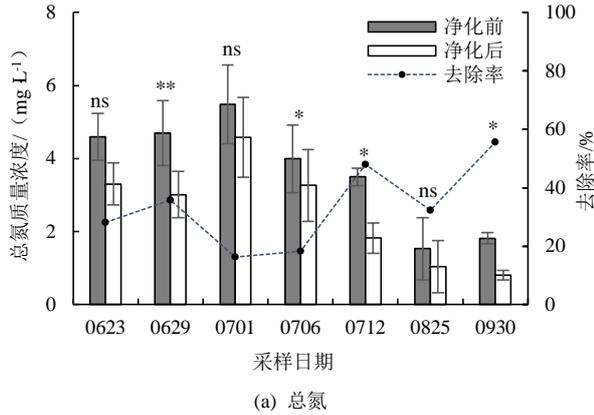


图3 总氮和总磷的去除效果

Fig.3 Removal efficiencies of total nitrogen and phosphorus

将整个稻季所有采样日期内, 经促沉净化装置净化前和净化后的固体悬浮物、总氮或总磷质量浓度进行统计分析, 结果显示净化前和净化后的固体悬浮物、总氮或总磷质量浓度间均有显著差异 (图4, 图中**和***分别表示经装置净化前、后的固体悬浮物、总氮或总磷质量浓度在 $P=0.01$ 和 $P=0.001$ 水平上差异显著), 这表明促沉净化装置对稻田径流排水中的固体悬浮物、总氮和总磷均有良好的去除效果。

着而形成生物膜^[19], 加上土壤黏粒等物质在缝隙中的累积, 其孔隙率会相对有所减小, 可能会提高装置对固体悬浮物的去除率。

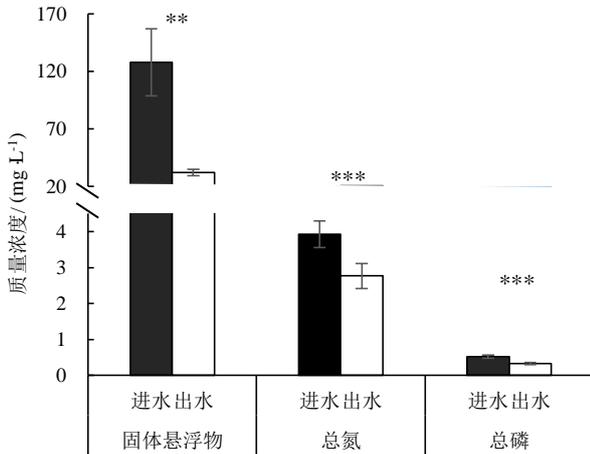


图4 整个稻季固体悬浮物、总氮和总磷的去除效果

Fig.4 Removal efficiencies of suspended solids, total nitrogen and phosphorus in whole season

2.2 固体悬浮物、总氮和总磷的去除率与质量浓度的关系

促沉净化装置对固体悬浮物的去除率与净化前固体悬浮物质量浓度之间存在显著的对数正相关关系 ($P<0.05$, 图5), 即在一定的固体悬浮物质量浓度范围内, 该装置的去除率随着质量浓度的增加而逐步提高。在稻季前期, 填充材料的整体孔隙率在短时间内相对固定且较高, 因此, 当含有较低质量浓度的固体悬浮物的径流排水通过促沉净化装置时, 该装置对固体悬浮物的去除率并不高; 随着时间的延长, 到稻季中后期, 填充材料的表面由于藻类及微生物等附

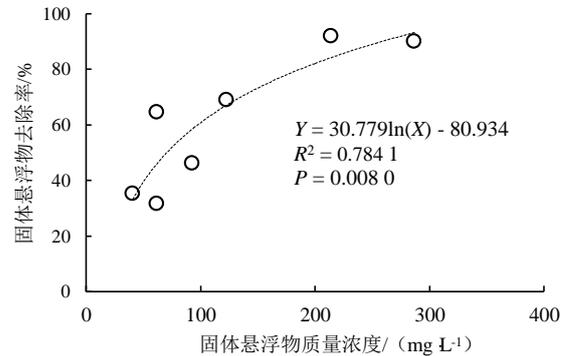


图5 固体悬浮物的去除率与质量浓度的关系

Fig.5 The correlation between the removal efficiencies and the concentrations of suspended solids

促沉净化装置对径流排水中总氮的去除率与总氮质量浓度呈线性负相关关系 ($P>0.05$, 图6(a)). 在本试验中, 稻田径流排水中可溶性铵态氮和硝态氮在整个稻季的平均质量浓度分别占总氮质量浓度的53%和17%。可溶性铵态氮是稻田径流排水中无机氮素的主要形态, 其质量浓度在整个稻季呈前高后低的趋势, 尤其在稻季初期, 径流排水中可溶性铵态氮的质量浓度占总氮的70%以上。因此, 稻季初期促沉净化装置去除的总氮主要以可溶性铵态氮为主。然而, 在稻季中后期, 随着铵态氮质量浓度的迅速降低, 其平均质量浓度仅占总氮质量浓度的30%左右。因此, 稻季中后期促沉净化装置去除的总氮则可能以固体悬浮物形式存在的氮素为主, 这个阶段固体悬浮物的质量浓度较高且该装置对固体悬浮物的去除率也较高(图2)。

促沉净化装置对径流排水中总磷的去除率与总磷质量浓度呈显著的对数正相关关系 ($P<0.05$, 图6(b)), 这与固体悬浮物的规律一致(图5)。一般认为颗粒态磷是稻田磷素径流排水损失的主要形式^[20],

而颗粒态物质又是固体悬浮物的重要组成部分。因此控制好稻田径流排水中固体悬浮物的质量浓度即可

实现对总磷质量浓度的有效把控。

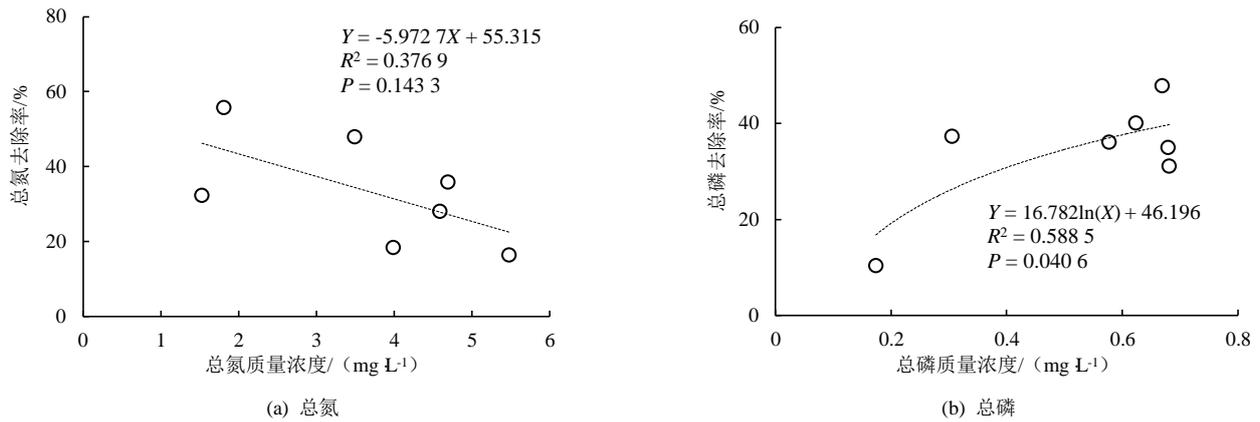


图 6 总氮和总磷的去除率与质量浓度的关系

Fig.6 The correlations between the removal efficiencies and the concentrations of TN or TP

3 讨论

促沉净化装置对农田径流排水中固体悬浮物、氮磷等营养物质的去除是装置构造与内部填料共同作用的结果。通过空间结构设计改变农田径流排水路径,和直接排水相比,增加径流排水在迁移路径上的滞留时间,促进颗粒态污染物的沉降。同时,通过在装置内部的填料布设,进一步实现对污染物的拦截、过滤和沉淀。本装置中选用的填料主要有 2 种:沸石和多面空心球。其中沸石表面粗糙,比表面积大,吸附能力强,属于轻质滤料^[21],利用沸石能有效去除径流排水中的泥沙、藻类等固体悬浮物。多面空心球是由内含半扇形叶片的 2 个半球合成的球形结构,2 个半球的扇形叶片相互错开,径流水在流经多面空心球时由于 2 个半球不同叶片彼此间的遮蔽效应而产生较大的阻力,流速进一步减缓,有利于颗粒态污染物的沉降。即使是强降雨条件下的瞬间大流量排水进入装置,填充材料同样能发挥促沉降和吸附功能。

促沉净化装置对总氮和总磷的去除效果与填充材料对固体悬浮物的拦截作用、沸石对养分的吸附属性及表面形成生物膜对养分的转化利用有关。该装置对稻田径流排水中总氮和总磷的去除率(分别为 33% 和 34%)明显低于生态沟渠的去除效率(分别为 48%~64% 和 41%~70%)^[18],但要优于仅经过轻度改造的排水沟渠^[22]。这可能是由于稻田径流排水在流经不同处理系统时的滞留时间长短有关。径流排水通过促沉净化装置时,由于滞留时间相对较短,填充材料及其表面形成的生物膜并不能更多地吸附、转化利用氮、磷等养分;相反,这些养分在生态沟渠内的滞留时间相对较长,加上水生植物对氮、磷等养分的吸收利用,最终导致促沉净化装置对稻田径流排水中总氮和总磷的去除率低于生态沟渠。然而,相对于生态沟

渠,促沉净化装置能够实现对稻田径流排水中污染物的原位处理,且设计施工简单,占用空间小,建造和运行维护成本低廉。可与生态沟渠配合使用,更高效地减少稻田径流排水中面源污染物的质量浓度,降低周边水体污染风险。

在稻季初期,径流排水中总氮质量浓度较高,一方面,促沉净化装置内填充材料的孔隙率相对较高,且由于养分在装置内的滞留时间短,填充材料不能高效地发挥作用;另一方面,总氮主要以铵态氮等水溶态氮为主,较易流失,致使该装置对总氮的去除率相对偏低;在稻季中后期,径流排水中总氮质量浓度较低,随着促沉净化装置内填充材料的孔隙率相对有所减小,对固体悬浮物的拦截效果较好,加上生物膜的形成可实现对养分的吸附、转化或利用,造成该装置对总氮有较好的去除效果。

4 结论

在水稻生产过程中,使用促沉净化装置对径流排水中固体悬浮物、总氮和总磷的平均去除率分别为 61%、33% 和 34%。在一定的质量浓度范围内,稻田径流排水中固体悬浮物和总磷的质量浓度越高,促沉净化装置对其去除率越高。相反,促沉净化装置对径流排水中较低质量浓度的总氮具有较好的去除效果,但对高质量浓度的总氮的去除效果不理想。

在实际运用中,该装置可与生态沟渠搭配使用,更高效地降低稻田径流排水中面源污染物的质量浓度,改善水体环境。

参考文献:

- [1] 张瑜芳,张蔚榛,沈荣开,等. 淹灌稻田的暗管排水中氮素流失的试验研究[J]. 灌溉排水, 1999, 18(3): 12-16.

- ZHANG Yufang, ZHANG Weizhen, SHEN Rongkai, et al. Experimental study of leaching losses of nitrogen in effluent from drained paddy rice field[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 1999, 18(3):12-16.
- [2] 杨林章, 施卫明, 薛利红, 等. 农村面源污染治理的“4R”理论与工程实践-总体思路与“4R”治理技术[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(1): 1-8.
- YANG Linzhang, SHI Weiming, XUE Lihong, et al. Reduce-Retain-Reuse-Restore technology for the controlling the agricultural non-point source pollution in countryside in China: General countermeasures and technologies[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1):1-8.
- [3] SIRPAR LEHTINEN, TIMO TAMMINEN, ROBERT PTACNIK, et al. Phytoplankton species richness, evenness, and production in relation to nutrient availability and imbalance[J]. *Limnology and Oceanography*, 2017, 62(4): 1 393-1 408.
- [4] 孟顺龙, 裘丽萍, 胡庚东, 等. 氮磷比对两种蓝藻生长及竞争的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(7): 1 438-1 444.
- MENG Shunlong, QIU Liping, HU Gengdong, et al. Effect of nitrogen and phosphorus on growth and competition of two blue-green algae[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(7): 1 438-1 444.
- [5] 杨林章, 孙波, 刘健. 农田生态系统养分迁移转化与优化管理研究[J]. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 441-445.
- YANG Linzhang, SUN Bo, LIU Jian. Progress in translocation and transformation of nutrients in agroecosystems and its optimized management[J]. *Advances in Earth Science*, 2002, 17(3): 441-445.
- [6] 朱文彬, 汪玉, 王慎强, 等. 太湖流域典型稻麦轮作农田稻季不施磷农学及环境效应探究[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(6):1 129-1 135.
- ZHU Wenbin, WANG Yu, WANG Shenqiang, et al. Agronomic and environmental effects of P fertilization reduction in rice-wheat rotation field in Taihu Lake Region of Southeast China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(6): 1 129-1 135.
- [7] 王庆仁, 李继云. 论合理施肥与土壤环境的可持续性发展[J]. *环境科学进展*, 1999, 2(2): 116-124.
- WANG Qingren, LI Jiyun. Sustainable development of rational fertilization and soil environment[J]. *Advances in Environmental Science*, 1999, 2(2): 116-124.
- [8] 何海兵, 杨茹, 廖江, 等. 水分和氮肥管理对灌溉水稻优质高产高效调控机制的研究进展[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(2): 305-318.
- HE Haibing, YANG Ru, LIAO Jiang, et al. Research advance of high-yielding and high efficiency in resource use and improving grain quality of rice plants under water and nitrogen managements in an irrigated region[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(2): 305-318.
- [9] 杨斌, 陈潇, 张永健, 等. 太湖流域水稻节水减排灌溉技术应用分析[J]. *中国水利*, 2018(7): 55-57.
- YANG Bin, CHEN Xiao, ZHANG Yongjian, et al. Application of water-saving irrigation technologies and pollution control in paddy fields of Taihu Basin[J]. *China Water Resources*, 2018(7): 55-57.
- [10] 许怡, 吴永祥, 王高旭, 等. 小区和田块尺度下水稻不同灌溉模式的节水减污效应分析[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(5): 60-66.
- XU Yi, WU Yongxiang, WANG Gaoxu, et al. Impact of irrigation methods on saving water and alleviating pollutant at different scales in paddy field[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(5): 60-66.
- [11] 秦建国. 太湖地区 2015 年主汛期雨情展望及后期对比分析: 以无锡站为例[J]. *江苏水利*, 2019, 269(8): 14-20.
- QIN Jianguo. Prospect of rainfall in the main flood season of Taihu Lake Region in 2015 and comparative analysis in the later period—take Wuxi Station as an example[J]. *Jiangsu Water Resources*, 2019, 269(8): 14-20.
- [12] QIAO Jun, YANG Linzhang, YAN Tingmei, et al. Nitrogen fertilizer reduction in rice production for two consecutive years in the Taihu Lake area[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 146:103-112.
- [13] CAO Yansheng, SUN Huifeng, LIU Yaqin, et al. Reducing N losses through surface runoff from rice-wheat rotation by improving fertilizer management[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, 24:4 841-4 850.
- [14] LI Pengfei, LU Jianwei, WANG Yang, et al. Nitrogen losses, use efficiency, and productivity of early rice under controlled-release urea[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2018, 251: 78-87.
- [15] LI Yuanyuan, ZHANG Fengbao, YANG Mingyi, et al. Impacts of biochar application rates and particle sizes on runoff and soil loss in small cultivated loess plots under simulated rainfall[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 649: 1 403-1 413.
- [16] 杨林章, 冯彦房, 施卫明, 等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21(1): 96-101.
- YANG Linzhang, FENG Yanfang, SHI Weiming, et al. Review of the advances and development trends in agricultural non-point source pollution control in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(1): 96-101.
- [17] 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): 1 371-1 374.
- 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):1 371-1 374.
- [18] 朱金格, 张晓姣, 刘鑫, 等. 生态沟-湿地系统对农田排水氮磷的去除效应[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(2): 405-411.
- ZHU Jinge, ZHANG Xiaojiao, LIU Xin, et al. Removal of nitrogen and phosphorus from farmland drainage by ecological ditch-wetland system[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2019, 38(2): 405-411.
- [19] 于凤娥, 叶志平, 吴晓熾, 等. 沸石对富营养化池塘水的处理[J]. *非金属矿*, 2007, 30(5): 57-59.

- YU Feng'e, YE Zhiping, WU Xiaoyan, et al. Treatment of Eutrophication Pond Water by Zeolite[J]. *Non-Metallic Mines*, 2007, 30(5): 57-59.
- [20] 闫大伟, 梁新强, 王飞儿, 等. 稻田田面水与排水径流中胶体磷流失贡献及流失规律[J]. *水土保持学报*, 2019, 33(6): 47-53.
- YAN Dawei, LIANG Xinqiang, WANG Feier, et al. Contribution of colloidal phosphorus loss in runoff of paddy surface water and drainage[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2019, 33(6): 47-53.
- [21] 张冬梅, 王承智, 黄相国. 天然沸石及其应用进展研究[J]. *环境保护科学*, 2008, 34(1): 30-32, 41.
- ZHANG Dongmei, WANG Chengzhi, HUANG Xiangguo. Study on natural zeolite and its applied progress[J]. *Environmental Protection Science*, 2008, 34(1): 30-32, 41.
- [22] 刘方平, 向爱农, 才硕, 等. 南方稻田灌排系统生态整治效应分析[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(4): 116-121.
- LIU Fangping, XIANG Ainong, CAI Shuo, et al. Improving contaminant attenuation by ecologically innovating irrigation and drainage system at paddy field in Southern China[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2019, 38(4): 116-121.

Efficacy of a Sedimentation-boosting and Purifying Device for Decontaminating Pollutants in Surface Runoff from Paddy Field

FU Zishi^{1,2}, SUN Huifeng^{1,2}, ZHOU Sheng^{1,2*}, ZHANG Jining^{1,2}, ZHANG Xianxian^{1,2}, WANG Cong^{1,2}

(1. Shanghai Academy of Agricultural Science, Shanghai 201403, China;

2. Shanghai Engineering Research Centre of Low-carbon Agriculture, Shanghai 201415, China)

Abstract: 【Background】 The catchment of Tai lake is one of the most important rice production basins in China and rice-wheat rotation is its dominant cultivation. However, excessive use of water and fertilizers has led to nutrient loss and eutrophication. Since precipitation in the catchment is high and most of it fall during the rice growth season, nutrients leaching with runoff into rivers is one of the main non-point source of pollutants in the catchment. 【Objective】 The objective of this paper is to present a sedimentation-boosting and purifying device and study its efficiency for in situ removing the pollutants in runoff from rice fields. 【Method】 The experiment was conducted in 2015 at five paddy fields in Qingcun town, Fengxian district of Shanghai. A set of sedimentation-promoting and purifying devices each with a volume of 1.9 m³ were installed at the outlet of the drainage system in each field. The device was filled with plastic polyhedron hollow balls and zeolite at a volumetric ratio of 1 : 2 in its inside part, and its outside part was filled with zeolite. During the experiment, we measured the concentrations of suspended solids, total nitrogen and total phosphorous in both inflow and outflow of the device. 【Result】 The removal efficiencies of the suspended solids, total nitrogen and phosphorous by the device during the rice growth season were 61%, 33% and 34%, respectively. The removal efficiency of suspended solids and total phosphorus by the device was positively correlated with their concentrations in the inflow in a logarithmic form, while the removal efficiency of total nitrogen was negatively correlated to its concentration in the inflow. 【Conclusion】 The sedimentation-promoting and purifying device can effectively remove main pollutants in the runoff from the paddy fields. It can thus improve the aquatic ecosystem without affecting the drainage from the paddy fields.

Key words: sedimentation-promoting and purifying device; total nitrogen; total phosphorus; non-point source pollution; surface runoff; paddy field

责任编辑: 赵宇龙