

不同植物配置的生态沟渠对农田排水中氮磷的去除效果

张友德, 田文凤, 张甜甜, 徐欣, 许玲* (安徽新宇环保科技股份有限公司, 安徽合肥 230000)

摘要 针对农业面源污染的现状,通过设计5种植物配置试验,研究不同植物配置的生态沟渠对农田排水中氮磷的去除效果,筛选出最佳的植物配置组合。结果表明,5种植物配置均对农田排水中的氮磷具有拦截净化效果。对TN(总氮)的去除效果表现为苦草+金鱼藻+伊乐藻(35.60%~38.73%)>苦草+伊乐藻(34.67%~36.27%)>苦草+金鱼藻(33.20%~35.53%)>苦草(33.73%~34.73%)>土壤空白(29.87%~31.20%)。对TP(总磷)的去除效果表现为苦草+金鱼藻(64.00%~65.00%)>苦草+伊乐藻(59.33%~60.67%)>苦草+金鱼藻+伊乐藻(49.33%~53.67%)>苦草(48.33%~52.00%)>土壤空白(42.00%~42.67%)。多种植物组合种植的生态沟渠对农田排水中氮磷具有较好的去除效果。

关键词 农田排水;生态沟渠;植物配置;总氮;总磷

中图分类号 X71 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2023)10-0043-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.10.010



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Removal Effect of Nitrogen and Phosphorus in Farmland Drainage by Ecological Ditches with Different Plant Configurations

ZHANG You-de, TIAN Wen-feng, ZHANG Tian-tian et al (Anhui Xinyu Environmental Sci-Tech Co., Ltd., Hefei, Anhui 230000)

Abstract Aiming at the urgent situation of agricultural non-point source pollution, five plant configurations were designed to study the effect of ecological ditches with different plant configurations on nitrogen and phosphorus removal in farmland drainage, and the optimal plant configurations were selected. The results showed that all the five plant configurations could intercept and purify nitrogen and phosphorus in farmland drainage. The removal efficiency of total nitrogen was *Vallisneria natans* + *Ceratophyllum demersum* + *Eloдея nuttallii* (35.60%–38.73%) > *Vallisneria natans* + *Eloдея nuttallii* (34.67%–36.27%) > *Vallisneria natans* + *Ceratophyllum demersum* (33.20%–35.53%) > *Vallisneria natans* (33.73%–34.73%) > Soil blank (29.87%–31.20%). The removal efficiency of total phosphorus was *Vallisneria natans* + *Ceratophyllum demersum* + *Eloдея nuttallii* (49.33%–53.67%) > *Vallisneria natans* + *Eloдея nuttallii* (59.33%–60.67%) > *Vallisneria natans* + *Ceratophyllum demersum* + *Eloдея nuttallii* (49.33%–53.67%) > *Vallisneria natans* (48.33%–52.00%) > soil blank (42.00%–42.67%). The ecological ditch planted with multiple plants has a better removal effect on nitrogen and phosphorus in farmland drainage.

Key words Farmland drainage; Ecological ditch; Plant configuration; Total nitrogen; Total phosphorus

随着我国农业的快速发展,农业面源污染由于污染量大、范围广、治理难度大,一直以来未受到重视,也尚未采取有效的治理措施,导致其所占比重越来越大,已成为水环境污染的主要问题之一^[1]。农业面源污染主要来源于农村生活污染源、种植业污染源、养殖业污染源等,其中种植业面源污染难以控制^[2]。在我国传统种植业中,为保证农作物产量相对稳定,单位面积施肥量大,但普遍利用率偏低,因此造成大量未被吸收的氮磷组分在农田灌溉排水或降雨时被冲刷出来,并随着农田径流经沟渠进入河流或湖泊,导致水体富营养化。自然排水沟渠由于其土质常年裸露,拦截去除降雨径流中氮磷的能力有限,而生态沟渠由自然排水沟渠及其内部种植的植物组成,通过沟渠拦截径流和泥沙,氮、磷污染物可被植物滞留和吸收,从而实现生态拦截净化氮磷的目的^[3-5]。目前,在防控农业面源污染方面,将自然排水沟渠改造为生态沟渠已得到广泛应用^[6]。

沉水植物种类繁多,是生态沟渠的重要组成部分,选择合适的沉水植物对提高生态沟渠的拦截净化能力具有重要意义。而单一植物的吸收净化能力有限,不同植物对不同污染物的去除效果也不相同,因此发挥多种植物的协调作用至关重要。考虑到生态沟渠内实际的水流情况,笔者拟选择生态沟渠内种植多种沉水植物,通过不同植物配置组合,考察

蓄水静态条件下生态沟渠对模拟农田排水中总氮(TN)和总磷(TP)的去除效果,筛选出最佳植物配置方案,分析其去除机理,旨在为生态沟渠的植物种植和处理农田排水提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计 试验进水采用纯水、尿素和磷酸二氢钾配制的模拟农田排水,水质指标:TN(总氮) 15.00 mg/L、TP(总磷) 3.00 mg/L。植物种植选用梯形PVC长方体种植箱,对箱体侧壁不进行相关处理,箱底部铺20 cm厚度的种植土壤。为去除土壤中残留的氮磷,在试验前15 d向每个种植箱中加入自来水,并保持在土壤上方2~3 cm深度,试验期间换水3次^[7]。经5、10、15、20和25 cm多次水位试验,综合考虑光照、能见度、水底底泥扰动等因素,选择水深5 cm作为试验水位。试验过程中需不断补水,以保持水位不变。

1.2 试验植物配置方案 苦草、金鱼藻和伊乐藻具有较好的耐氮氮性能,同时有研究表明其去除氮磷的效果也较好,故选择这3种沉水植物作为试验植物^[8-10]。该试验所选用的苦草、金鱼藻和伊乐藻均为生长状态良好、植株大小基本相同的植株材料,将植株种苗清洗干净、称重后,种植于各种种植箱内^[11]。栽种密度为25株/m²,植物覆盖率为20%~30%。待植物生长稳定后,适应箱内环境后,将配制好的模拟农田排水注入种植箱中。植物生长期间,需及时除去杂草幼苗和水草带入的浮萍。对3种试验植物进行不同配置设计,并设置土壤空白对照组。配置①:苦草;配置②:苦草+金鱼藻;配置③:苦草+伊乐藻;配置④:苦草+金鱼藻+伊乐藻;配置⑤:

基金项目 2021年安徽省科技重大专项(202103a06020011)。

作者简介 张友德(1982—),男,安徽寿县人,高级工程师,硕士,从事生态环境治理与修复研究。*通信作者,硕士,从事生态环境治理与修复研究。

收稿日期 2022-07-05

土壤空白。

1.3 水样采集 试验共 30 d, 分别在植物种植后的第 1、3、6、10、13、15、20、25、30 天采集水样。采样后, 对水样进行过滤, 测定水样中的 TN、TP, 计算不同植物配置处理后的污染物去除率。

1.4 水样测定方法 水样中的 TN 含量采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法 (HJ 636—2012) 测定; TP 含量采用碱性过硫酸法消解, 钼酸铵分光光度法 (GB/T 11893—89) 测定。

2 结果与分析

2.1 不同植物配置的生态沟渠对农田排水中 TN 的去除效果 由图 1 可知, 随着天数的增加, 5 个处理模拟农田排水中的 TN 均不断降低, 在降至最低后基本上保持稳定。在进水第 1 天时, 模拟农田排水中 TN 含量与初始配水浓度相比保持不变。此时沉水植物处于生长初期, 生长量较小, 去除 TN 能力较弱。进水第 3 天 TN 含量开始降低, 在第 3~6 天及第 10~13 天去除 TN 的速率相对较快。在这段时间, 水生植物进入生长旺盛期, 生物量增大, 去除农田排水中 TN 的能力要显著高于生长初期。在进水 13~15 天, 模拟农田排水中 TN 含量缓慢降低, 但变化趋势不明显, 趋于稳定状态; 在进水第 15~30 天, TN 含量偶有波动, 但变化幅度较小。这段时间内, 几种植物均已进入生长稳定期, 去除 TN 的效果基本上保持稳定。存在小幅度波动可能是由于土壤中吸附的氮释放出来, 对模拟农田排水的 TN 去除效果造成影响。分析结果显示, 沉水植物对 TN 的去除效率与植物的生长周期有关, 处于生长旺盛期的沉水植物具有较好的 TN 去除效果, 而处于生长初期、稳定期和衰亡阶段的沉水植物, 其去除污染物的效率降低。因此, 在生态沟渠内种植沉水植物时应考虑到植物的生长周期规律, 使其可以充分发挥生长旺盛期去除污染物的能力, 从而更高效地去除农田排水中的 TN, 减少面源污染。

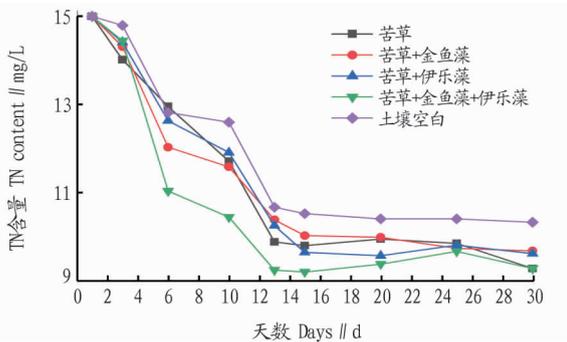


图 1 不同植物配置对 TN 的去除效果

Fig.1 TN removal effect of different plant configurations

在进水第 15 天后, 5 种植物配置 TN 含量的变化范围分别为苦草 9.27~9.94 mg/L、苦草+金鱼藻 9.67~10.02 mg/L、苦草+伊乐藻 9.56~9.80 mg/L、苦草+金鱼藻+伊乐藻 9.19~9.66 mg/L、土壤空白 10.32~10.52 mg/L, TN 去除率的变化范围分别为 33.73%~34.73%、33.20%~35.53%、34.67%~36.27%、35.60%~38.73%和 29.87%~31.20%。比较 5 种植物

配置处理下模拟农田排水 TN 的去除能力, 表现为苦草+金鱼藻+伊乐藻>苦草+伊乐藻>苦草+金鱼藻>苦草>土壤空白。分析可知, 不同植物配置下的生态沟渠对农田排水的 TN 去除率平均在 30%~40%, 其中试验植物苦草+金鱼藻+伊乐藻效果较好。

从图 1 可以看出, 单一种植苦草的 TN 去除效果低于种植多种植物, 但 TN 去除效果也不差。苦草是长势较为高大、根系发达的沉水植物, 处理农田排水时对 TN 有较好的去除效果, 有利于拦截净化污染物。与单一种植苦草相比, 种植苦草+金鱼藻+伊乐藻的 TN 去除效果更好。三者组合种植能进一步增加生态沟渠的生物量, 提高去除农田排水中 TN 的能力, 去除污染物的效果显著。混合种植方式既能增加生物量, 又可提高生物多样性, 能增强生态系统的稳定性, 提高生态沟渠的观赏价值, 是较合适的生态沟渠拦截污染物的种植方式。此外, 部分沉水植物会受到温度和季节的影响, 去除污染物的效果会降低。因此, 可以通过种植不同的植物配置, 来增强生态沟渠的拦截污染物效果, 降低农田排水中的污染物。

与土壤空白对照组相比, 沉水植物可增强生态沟渠中土壤内部的微生物活性, 提高农田排水的 TN 去除效果。水中的氮元素可被沉水植物吸收合成植物蛋白质和有机氮, 是植物生长过程中必不可少的物质^[12]。在生态沟渠系统内, 沉水植物去除农田排水中 TN 的主要途径为植物组织及根际微生物吸收、根系滞留及根际周围硝化反硝化等作用。生态沟渠中植物的网状根系不仅可促进植物直接吸收农田排水中的可溶性氮, 还可通过其生命活动改变根系周围的微环境, 影响 TN 的去除效果。由于沉水植物根系对生态沟渠中的底泥具有穿透作用, 还可以在底泥和土壤中形成许多微小的空隙或气室, 降低了底泥和土壤的封闭性, 增强了底泥和土壤的疏松度, 可以加速氮元素进入土壤的速度, 减少 TN 含量^[13-14]。

2.2 不同植物配置的生态沟渠对农田排水中 TP 的去除效果 由图 2 可知, 不同植物配置处理下农田排水中的 TP 含量均随着天数的增加而不断降低, 在第 15 天后基本上趋于稳定状态。第 1 天进水时, 农田排水中的 TP 含量基本无变化。进水第 1~3 天时, 苦草、金鱼藻和伊乐藻进入生长旺盛期, 去除 TP 的能力大大提高, TP 含量大幅降低, 其中土壤空白处理的 TP 含量降低 17.97%, 苦草+伊乐藻处理的 TP 含量降低 43.07%。在第 3~15 天, 不同植物配置下模拟农田排水中 TP 含量降低的速率相对较快, 其中苦草+金鱼藻处理降低速率最快。进水时间为第 15~30 天几种植物均进入生长稳定期, 模拟农田排水中的 TP 含量基本上保持平稳, 存在小幅波动, 但变化幅度较小。存在波动可能是由于植物的某些部分衰败凋落后被微生物分解, 会将植物吸收的营养物质以有机态的形式再次释放到水体中, 引起 TP 含量的变化^[15]。

在进水第 15 天后, 不同植物配置处理后模拟农田排水的 TP 去除效果均达到最佳, TP 含量的变化范围为苦草 1.44~1.55 mg/L、苦草+金鱼藻 1.05~1.08 mg/L、苦草+伊乐

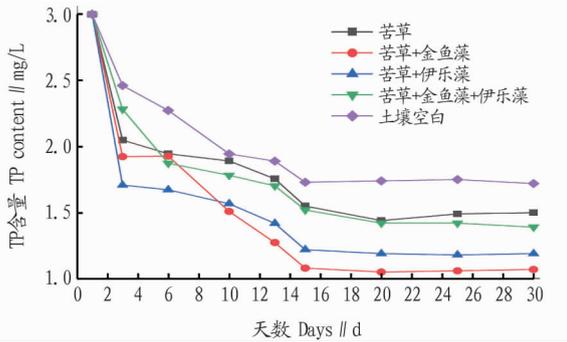


图2 不同植物配置对 TP 的去除效果

Fig.2 TP removal effect of different plant configurations

藻 1.18~1.22 mg/L、苦草+金鱼藻+伊乐藻 1.39~1.52 mg/L、土壤空白 1.72~1.74 mg/L, TP 去除率的变化范围为 48.33%~52.00%、64.00%~65.00%、59.33%~60.67%、49.33%~53.67% 和 42.00%~42.67%。比较不同植物配置处理的模拟农田排水的 TP 去除效果,表现为苦草+金鱼藻>苦草+伊乐藻>苦草+金鱼藻+伊乐藻>苦草>土壤空白。通过分析可知,不同植物配置下的生态沟渠对模拟农田排水的 TP 去除率在 40%~65%,其中试验植物苦草+金鱼藻去除 TP 的效果较好。由以上分析可知,种植多种植物的生态沟渠对农田排水中污染物的去除能力高于种植单一植物和无植物的沟渠系统。

磷是沉水植物必需的营养元素,农田排水中的无机磷可被沉水植物吸收利用来合成卵磷脂、核酸等。沉水植物对磷的拦截净化具有重要作用。一是植物吸收,生态沟渠中沉水植物的网状根系不仅可促进农田排水中可溶性磷和滞留颗粒态磷被植物直接吸收,还可通过根系的生命活动改变土壤周围的微环境,从而影响 TP 的去除效率;二是以磷酸盐形式沉降并固结在土壤底泥上,由于其自身吸收可在植物根系区域产生浓度梯度,打破底泥-水界面的平衡,促进磷在界面进行交换,提高磷进入底泥的速度^[16-17]。

3 结论

(1) 不同植物配置的生态沟渠对农田排水具有一定的净化作用,对 TN 的去除效果表现为苦草+金鱼藻+伊乐藻 (35.60%~38.73%)>苦草+伊乐藻 (34.67%~36.27%)>苦草+金鱼藻 (33.20%~35.53%)>苦草 (33.73%~34.73%)>土壤空白 (29.87%~31.20%),其中苦草+金鱼藻+伊乐藻去除 TN 的

效果最好。

(2) 比较不同植物配置处理模拟农田排水的 TP 去除效果,表现为苦草+金鱼藻 (64.00%~65.00%)>苦草+伊乐藻 (59.33%~60.67%)>苦草+金鱼藻+伊乐藻 (49.33%~53.67%)>苦草 (48.33%~52.00%)>土壤空白 (42.00%~42.67%),其中苦草+金鱼藻去除 TP 的效果最好。

(3) 综上,沉水植物可以促进氮磷的迁移与吸收,且通过自身生长还可截留一部分氮磷。生态沟渠可以通过种植多种沉水植物来提高去除氮磷污染物的效果,降低农田排水中的氮磷污染物。不同植物配置的生态沟渠是一种可行的适宜治理农田排水中氮磷污染的模式,可以为防治农业面源污染提供参考依据。

参考文献

- [1] 金聪颖,韩建华,刘文政,等.不同植物配置的生态沟渠对稻田氮磷养分流失拦截效果分析[J].天津农林科技,2020(3):4-5,7.
- [2] 王鹏波.农村环境保护规划环境影响评价研究:以兰州市农村地区为例[D].兰州:兰州大学,2010.
- [3] 乔斌.农田生态沟渠对稻田降雨径流氮磷的去除实验与模拟研究[D].天津:天津大学,2016.
- [4] 张树楠,肖润林,余红兵,等.水生植物刈割对生态沟渠中氮、磷拦截的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(8):1066-1071.
- [5] 文炯,石敦杰,荣湘民,等.不同拦截植物对小流域农田排水沟渠氮磷消纳效果差异研究[J].作物研究,2019,33(4):309-314,326.
- [6] 田昌,陈敏,周旋,等.生态沟渠对小流域农田排水中氮磷的拦截效果研究[J].中国土壤与肥料,2020(4):186-191.
- [7] 张进权.农田生态沟渠氮磷拦截关键技术研究[D].镇江:江苏大学,2020.
- [8] 南楠,张波,李海东,等.洪泽湖湿地主要植物群落的水质净化能力研究[J].水土保持研究,2011,18(1):228-231,235.
- [9] 黄蓉,杨文斌,程俊杰,等.菹草和伊乐藻对水-沉积物界面磷迁移转化的影响[J].环境科学研究,2019,32(7):1204-1212.
- [10] 刘凤茹,雒翠,张扬,等.沉水植物水生态修复作用及应用边界条件[J].安徽农业科学,2021,49(9):66-69,94.
- [11] 刘晓波,高奇英,朱文君,等.苦草与金鱼藻对水体污染物的去除效果[J].给水排水,2018,44(S2):82-88.
- [12] 高天霞,李毅,郭婷,等.人工湿地系统改善滇池入湖水水质[J].净水技术,2011,30(2):28-32.
- [13] 王战.多介质生态沟渠对寒旱地区富营养化水体净化效果的研究[D].包头:内蒙古科技大学,2020.
- [14] 汤显强,李金中,李学菊,等.7种水生植物对富营养化水体中氮磷去除效果的比较研究[J].亚热带资源与环境学报,2007,2(2):8-14.
- [15] 朱晓瑞,张春雪,郑向群,等.天津地区生态沟渠不同植物配置对氮磷去除效果研究[J].环境科学与防治,2020,42(2):170-175.
- [16] 张燕,阎百兴,刘秀奇,等.农田排水沟渠系统对磷面源污染的控制[J].土壤通报,2012,43(3):745-750.
- [17] 宋常吉,李强坤,崔恩贵.农田排水沟渠调控农业非点源污染研究综述[J].水资源与水工程学报,2014,25(5):222-227.