

# 农田面源污染全流程控制技术体系的构建及其应用

陈昌仁<sup>1</sup>, 季俊杰<sup>2</sup>, 邵光成<sup>3</sup>, 冯 骞<sup>4</sup>

(1. 江苏省水旱灾害防御调度指挥中心, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省河道管理局, 江苏 南京 210029;  
3. 河海大学 农业工程学院, 江苏 南京 210098; 4. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:**从农田(源头)—沟渠(过程)—水塘/湿地(末端),构建了“控制灌排—生态沟渠—仿生增氧人工湿地”农田面源污染全流程控制技术。通过控制灌排、基于基底功能强化的沟渠生态化改造、多功能仿生增氧湿地构建等单元治理技术耦合,形成了农田面源污染治理技术体系,并在南京市八卦洲街道PY农业园区进行了中试示范研究。研究表明:全流程耦合技术能有效降低面源排水的污染物质量浓度,示范区面源排水中主要污染物 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、 $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 质量浓度降幅均超过20%以上,实现了污染负荷的高效削减。研究结果为乡村振兴中农田面源污染的有效削减和防控提供了重要的技术支撑。

**关键词:**控制灌排;生态沟渠;仿生增氧人工湿地;农业面源污染

**中图分类号:**X52 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2022)02-0026-03

## Construction and application of the whole process control technology system of farmland non-point source pollution

CHEN Changren<sup>1</sup>, JI Junjie<sup>2</sup>, SHAO Guangcheng<sup>3</sup>, FENG Qian<sup>4</sup>

(1. Flood and Drought Disaster Prevention and Control Center of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;  
2. River Course Bureau of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China;  
3. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
4. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** From the farmland (source), ditch (process), pond/wetland (end), the whole process control technology of farmland non-point source pollution was constructed, which was described as “control irrigation and drainage-ecological ditch-bionic oxygenated artificial wetland”. Through coupling irrigation and drainage control, ecological transformation of ditching based on enhanced base function, construction of multi-functional bionic oxygenated wetland and other unit treatment technologies, the farmland non-point source pollution control technology system was formed, and a pilot study was conducted in PY Agricultural Park, Baguzhou Street, Nanjing city. The results show that the whole process coupling technology can effectively reduce the pollutant concentration in the non-point source drainage, and the main pollutants in the non-point source drainage in the demonstration area, permanganate index, ammonia nitrogen, total nitrogen and total phosphorus concentration, all decreased by more than 20%, realizing the efficient reduction of pollution load. The results provide important technical support for effective reduction and prevention and control of farmland non-point source pollution in rural revitalization.

收稿日期:2021-10-18

基金项目:江苏省水利科技项目(2016040)

作者简介:陈昌仁(1976—),男,高级工程师,博士,主要从事工程管理、水土保持、防汛抗旱工作,E-mail:njmoyu@126.com

**Key words:** control irrigation and drainage; ecological ditch; bionic oxygenated artificial wetland; agricultural non-point source pollution

近年来,随着农业种植中大量使用化肥、农药,农田面源污染问题正成为影响农村水环境质量改善的困难因素。目前,考虑到农田区域污染治理工作的特点,人工湿地、生态塘、生态沟渠等生态工程是农田面源污染控制中应用较多的技术<sup>[1-3]</sup>。这些技术和工程在农田面源污染治理中应用,取得了一定成效,降低了面源排水的污染负荷<sup>[4]</sup>,对区域环境质量改善提供了重要支撑。但研究也表明,农田面源灌排时段较为集中、生态工程处理负荷低、水肥资源循环利用有限等问题,也制约着农田面源污染控制技术水平的发展和技术能力的提升。特别是围绕农田面源污染形成的“源头—过程—末端”全流程,尚未形成体系完整、实施方便、效能优良的农村面源污染控制耦合技术体系。

本文从农田面源污染在乡村振兴和生态文明建设战略中的重要意义出发,围绕农田面源污染物形成、输送到排放的全过程,开展技术研究。针对稻田施肥期水肥流失问题,研发控制灌排技术;围绕传统沟渠污染净化能力薄弱的难题,研发基于缓释氧的新型功能材料,与水生植物配合,提升生态沟渠面源污染的过程截纳效果;针对末端受纳湿地/塘系统水力负荷低、净化效果弱的问题,建立新型仿生增氧人工湿地技术,强化湿地自净能力,并输送清洁排水回用。通过“源头—过程—末端”全流程的生物生态耦合集成技术体系的构建,实现农田区域面源污染高效削减,有效提升水资源的利用效率,为乡村振兴和农村区域生态文明建设保驾护航。

## 1 体系构建

农田排水是稻田氮磷进入受纳水体的源头,而农田排出的水体,经过沟渠输送和末端塘/湿地系统的截纳,既可以积蓄部分水量回用于农田,又可以有效削减部分氮磷营养物质<sup>[5]</sup>。本文提出的农田面源污染全流程控制技术体系,就是在面源产生、输送到排出的全过程,通过各自的强化,形成耦合系统,达到面源污染负荷高效削减的目标。该技术体系由稻田控制灌排、沟渠生态化改造与功能强化、仿生增氧人工湿地建设3个技术单元耦合组成。

### 1.1 稻田控制灌排

在面源产生的源头,主要围绕稻田系统水肥使用优化、灌排设施改造2个方面研发控制灌排技术。通过田埂加高(通常15~20 cm)适度增加淹水深度,在保障作物产量的基础上,减少稻田排水次数与总量。此外,根据水稻需水、需肥特性,制定以水调肥、以水促肥的水肥调控模式,制定科学合理的水肥施用方案,从源头减少氮磷营养流失量。

### 1.2 沟渠生态化改造与功能强化

针对目前常用生态沟渠多依靠植物净化而污染降解能力不足的问题,一方面通过筛选净污、耐淹能力强、养护简便的植物组合,提高生态沟渠对面源排水的净化效果;另一方面研发具有水体强化净化能力的缓释氧功能材料,铺设于生态沟渠底部,强化生态沟渠功能。通过协同水生植物与功能材料,在面源排水输送过程中进一步提升污染物的降解效果。

### 1.3 仿生增氧人工湿地建设

针对农村常见塘/湿地系统水力负荷低、自净能力弱、氮磷截流效果受温度季节影响大等难题,围绕多介质功能填料定向研发、湿地潮汐流运行方式优化、仿生增氧技术功能强化,建设多功能仿生增氧生态塘/人工湿地<sup>[6-7]</sup>。湿地中填充能够强化微生物胞外电子传递的铁碳或锰砂类多介质功能材料,同时加装结构简单、运维方便的管式仿生增氧装备,在高速潮汐流运行方式下,对排放进入塘/湿地的面源排水进行最终净化。通过上述3个方面的集成耦合,显著提升塘/湿地系统的净化效能。

“控制灌排—生态沟渠—仿生增氧人工湿地”面源污染全流程控制技术体系的组成和工作原理如图1所示。稻田是面源污染的源头净化单元,生态沟渠是过程净化单元,仿生增氧人工湿地则为末端处理单元,耦合形成集成体系<sup>[8-10]</sup>。相较于目前常用的单一方法面源污染控制系统来说,本文提出的集成系统组成简单、改造方便、成本低廉、效果优良。生物生态技术的联合作用,有效提升了其环境适应能力,保障了面源污染物的净化效果,具有较好的应用推广前景。

## 2 在农田面源污染治理中的应用

为考察农田面源污染全流程控制技术体系应

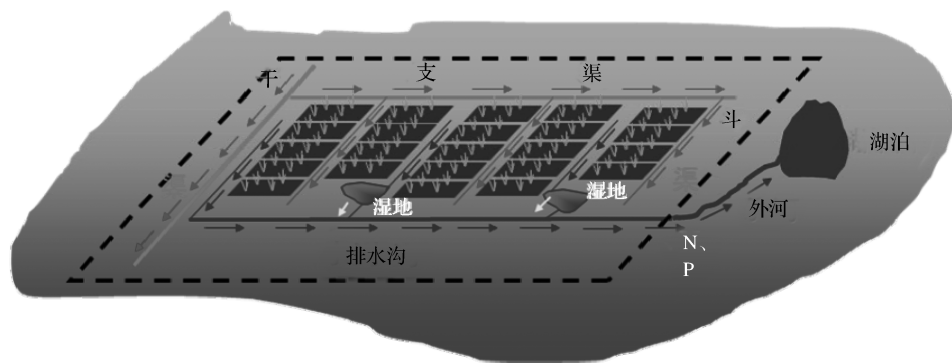


图1 “控制灌排—生态沟渠—仿生增氧人工湿地”体系

用成效,课题组在南京市八卦洲街道 PY 农业园建设了示范工程,开展了技术应用。

### 2.1 示范区域概况

示范区域位于南京市八卦洲街道 PY 农业园。八卦洲街道隶属于江苏省南京市栖霞区北部,与六合区、浦口区组成南京江北新区,面积 56 km<sup>2</sup>,是长江中的第三大岛,有“江中绿岛”和“中国芦蒿第一乡”之称。PY 农业园区位于八卦洲东北角,北靠长江。园区面积约 0.08 km<sup>2</sup>。园区主要由耕地区(果园、菜地)和休闲区(汇水塘)等部分组成。园区农业用水主要从跃进河支流引入,经耕地(菜地、果园)灌溉后,再通过园区排水沟渠进入园区汇水塘,进而经处理后回用。超出回用的部分由涵洞排入小江河。

### 2.2 建设运行状况

示范工程针对 PY 农业园区的面源污染状况,在耕地区域通过测土配方,实施了科学的氮磷控释方案,同时加高了田埂高度约 15 cm,减少耕地区域外排水量的同时,削减氮磷污染负荷。在耕地区域的灌排沟渠段开展生态化改造和功能强化,通过在生态沟渠中搭配种植鸢尾、铜钱草、狐尾藻等挺水、浮水、沉水植物(3 类植物配置密度均为 4 株/m<sup>2</sup>),提升植物根系对污染物的吸附;在沟渠底部铺砌约 3 mm 的缓释氧功能材料基层,进一步提高沟渠水体中溶解氧质量浓度,与水生植物协同作用,在输送过程净化灌溉排水。在园区排水汇入的水塘,建设仿生增氧人工湿地,结合新型湿地功能材料应用,对园区灌溉排水进行末端强化处理,部分回用的同时,减少园区外排水量和污染负荷。

### 2.3 效果监测与分析

为考察农田面源全流程控制技术体系的应用效果,在园区用水、排水通道上,依次设置了 4 处水质监测断面,通过定期监测,获得区域技术应用前后水质的变化情况。监测指标主要包括:

COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP。水质指标的监测均采用国标方法。

图 2(a)表明了示范工程建成前(2017 年 3—6 月)的水质监测结果。从图 2(a)中可以看出,示范工程建成前,4 个监测断面 COD<sub>Mn</sub> 在 10~15 mg/L, NH<sub>3</sub>-N 在 5~10 mg/L, TN 在 12~20 mg/L, TP 在 0.2~1.2 mg/L。按照《地表水环境质量标准》(GB3838—2002),采用单因子指标评价<sup>[6]</sup>,水体均属于劣 V 类,主要超标因子为 TN 和 TP。此外,随着园区用水过程推进,排水中污染物质量浓度也逐渐增加。以 2017 年 6 月份的监测数据为例,4 个断面 NH<sub>3</sub>-N 距 V 类水的超标倍数分别为 8.7 倍、8.6 倍、7.6 倍、6.2 倍。2017 年 7 月示范工程建成后,监测断面的水质指标出现了明显好转(图 2(b))。与 2017 年 6 月的监测值相比,4 个断面的 COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 均值分别为 8.6 mg/L、6.29 mg/L、12.93 mg/L、0.72 mg/L,相比 2017 年 6 月,同比分别下降 11.08%、9.33%、16.69% 和 11.38%。2017 年 8—10 月,4 个断面的水质持续改善。至 2017 年 10 月时,4 个断面的 COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN、TP 均较 2017 年 6 月下降了 28.93%、27.35%、31.69% 和 27.47%。园区外排水量,较示范工程实施前,也下降了约 20%。

示范工程的监测结果证实了“控制灌排—生态沟渠—仿生增氧人工湿地”面源污染全流程控制技术体系,对农田面源污染具有良好的污染削减和减排效果,为技术推广和应用提供了重要的支撑。

## 3 结 论

本研究在现有面源污染控制技术的基础上,从“源头—过程—末端”全流程出发,结合单项技术的研发和改进,依托耕地氮磷控释、耕地蓄水增长、水生植物配合缓释氧材料改造生态沟渠、湿地仿生增氧等一系列化学、生物、生态技术,构建了“控制灌

(下转第 43 页)

督工作的实践与思考[J]. 水利建设与管理, 2020 (3):64-65.

[2] 肖生明. 新时期水利工程项目质量监督管理的分析[J]. 工程建设与设计, 2020(12):240-241.

[3] 黄卓. 水电工程质量监督信息化管理[J]. 能源管理, 2020(9):100-101.

[4] 陈成植. 青海省水利工程质量监督管理存在问题与对策[J]. 中国农村水利水电, 2020(11):212-213.

(上接第28页)

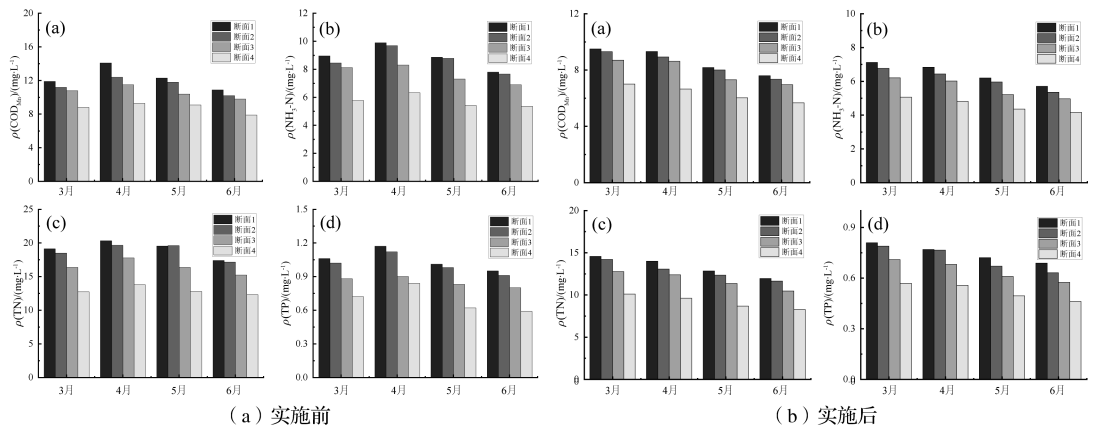


图2 2017年示范工程实施前后水质对比

排—生态沟渠—仿生增氧人工湿地”农田面源污染全流程控制技术体系。

该技术体系在南京某农业园区应用,削减了COD、氮、磷等污染物负荷20%以上,生态、环境效益显著,展现出良好的应用推广前景,为农业园区面源污染控制提供了重要技术支撑,为乡村振兴保驾护航。

参考文献:

[1] 朱兆良,孙波,杨林章,等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. 科技导报, 2005, 23(4):47-51.

[2] 王一格,王海燕,郑永林,等. 农业面源污染研究方法与控制技术研究进展[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(1):25-33.

[3] 王思如,杨大文,孙金华,等. 我国农业面源污染现状与特征分析[J]. 水资源保护, 2021, 37(4):140-147.

[4] 陈丽娜,韩龙喜,谈俊益,等. 基于多断面水质达标的河网区点面源污染负荷优化分配模型[J]. 水资源

保护, 2021, 37(6):128-134.

[5] 王沛芳,娄明月,钱进,等. 农田退水净污湿地对污染物的净化效果及机理分析[J]. 水资源保护, 2020, 36(5):1-10.

[6] 张树楠,肖润林,刘锋,等. 生态沟渠对氮、磷污染物的拦截效应[J]. 环境科学, 2015, 36(12):4516-4522.

[7] 刘礼祥,刘真,章北平,等. 人工湿地在非点源污染控制中的应用[J]. 土木工程与管理学报, 2004, 21(1):40-43.

[8] 何元庆,魏建兵,胡远安,等. 珠三角典型稻田生态沟渠型人工湿地的非点源污染削减功能[J]. 生态学杂志, 2012, 31(2):394-398.

[9] 王梁,陈守越. 江苏省农村地表水功能区水环境因子指标评价与空间分析[J]. 中国农业资源与区划, 2014, 35(2):18-23.

[10] 刘奇鑫,王昌全,李冰,等. 成都平原氮磷化肥施用强度空间分布及影响因素分析[J]. 环境科学, 2021, 42(7):3555-3564.