

我国生态沟渠控制农业面源污染研究进展

张兆鑫^{1,2,3,4,5*}, 赵倩玉^{1,2,3,4,5}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地整治重点实验室, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁵陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

收稿日期: 2024年10月9日; 录用日期: 2024年11月5日; 发布日期: 2024年11月12日

摘要

随着经济的发展, 点源污染逐渐被重视和得到治理, 使得面源污染在环境污染中所占的比例越来越大, 我国农业面源污染已成为当前环境污染的重要影响因素, 制约农业可持续发展和危害农村生态环境。本文通过对国内外关于典型农业面源污染控制技术——生态沟渠进行系统梳理, 并重点阐述了生态沟渠控制对农业面源污染的影响机制和控制效果评估的发展方向, 以期为生态文明建设和农业面源污染防控提供借鉴。明确生态沟渠控制农业面源污染的影响机制, 建立多尺度下生态沟渠对农业面源污染的控制效果评估, 是全面落实流域生态保护和高质量发展重要讲话重要指示精神、全面打好污染防治攻坚战的具体体现。

关键词

农业面源污染, 生态沟渠, 净化机理, 运行效果

Research Progress of Ecological Ditches to Control Agricultural Non-Point Source Pollution in China

Zhaoxin Zhang^{1,2,3,4,5*}, Qianyu Zhao^{1,2,3,4,5}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Key Laboratory of Land Reclamation Engineering, Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁵Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

*通讯作者。

Received: Oct. 9th, 2024; accepted: Nov. 5th, 2024; published: Nov. 12th, 2024

Abstract

With the development of economy, point source pollution has been gradually paid attention to and controlled, which makes the proportion of non-point source pollution in environmental pollution more and more large. China's agricultural non-point source pollution has become an important factor affecting the current environmental pollution, restricting the sustainable development of agriculture and endangering the rural ecological environment. This paper systematically combs the typical agricultural non-point source pollution control technology at home and abroad—ecological ditch, and focuses on the development direction of the impact mechanism of ecological ditch control on agricultural non-point source pollution and the control effect assessment, so as to provide references for the construction of ecological civilization and the prevention and control of agricultural non-point source pollution. Clarifying the mechanism of ecological ditches to control the impact of agricultural non-point source pollution and establishing the evaluation of the control effect of ecological ditches on agricultural non-point source pollution at a multi-scale is the concrete embodiment of fully implementing the spirit of the important speech and the important directive on the ecological protection and high-quality development of the river basin, and comprehensively fighting the battle of pollution prevention and control.

Keywords

Agricultural Non-Point Source Pollution, Ecological Ditch, Purification Mechanism, Operation Effect

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的发展，点源污染逐渐被重视和得到治理，使得面源污染在环境污染中所占的比例越来越大，我国农业面源污染已成为当前环境污染的重要影响因素，制约农业可持续发展和危害农村生态环境。中国是一个农业大国，农田面积仅占世界的 7%，但要养活世界 22% 的人口；施用肥料和农药是确保农作物稳产、高产与优产的重要手段，中国肥料、农药的单位面积用量分别是世界平均水平的 2.5~3.0 倍和 2.0~2.5 倍。与此同时，中国肥料、农药的利用率也低于世界平均水平：全球氮肥(N)、磷肥(P)、农药利用率分别为 30%~60%、10%~20% 和 50%~60%，而中国分别为<35%、5%~10% 和<40%。在“高投入、高产出”的集约化农业发展模式下，农田中施用的过量化肥随降雨径流流失已成为中国农业面源污染的主要来源。研究表明，大量施用于田间的 N、P 及农药会通过雨水冲刷、径流、淋溶渗漏等方式进入地表水或地下水，造成水体富营养化、生物多样性减少等生态风险，农田径流中流失的氮、磷等营养物负荷占我国农业面源污染总负荷量的 60% 以上[1]。自 2006 年开始，共有 14 年发布的中央一号文件中都可以明确看到“农业面源污染”的字样，加强面源污染的治理不仅关系到社会主义新农村建设，也关系到经济发展和美丽乡村建设。因此，开发农田面源污染的减控技术对生态修复具有重要的意义。

国务院及相关部委相继发布了《水污染防治行动计划》《全国农业可持续发展规划(2015~2030 年)》等一系列政策文件，并提出全面加强农业面源污染的防治工作。目前，国内外农田面源污染的减控技术主要分为源头控制、末端控制和过程控制。其中，过程控制具有处理效果好、管控方便、投入低等优势，

已成为了当下控制面源污染的主要技术之一。过程控制技术主要有生态沟渠、植被缓冲带、人工湿地等。其中，生态沟渠是在原农田沟渠中种植具有净化功能的植物，构建独特的水 - 底泥 - 植物 - 微生物多介质系统。与植被缓冲带、人工湿地等相比，生态沟渠运行费用更低且占地更少(仅占农田面积的 3%)，在中国土地资源紧张的国情下有很好的推广应用前景。在江浙等地区水稻田中，生态沟渠已得到充分应用。

目前，针对生态沟渠对农业面源污染控制的研究已成为国内外热点，但国外起步较早，对生态沟渠的研究较为系统，国内目前的研究与国外相比还存在较大差距。基于此，本文通过国内外关于生态沟渠的构建及运行效果进行系统梳理，并重点阐述了生态沟渠的发展方向，为生态文明建设和农业面源污染防控提供借鉴。

2. 生态沟渠简介

作为农田灌排单元的关键环节，农田沟渠系统是农业面源污染物的汇聚地，又是污染物迁移转化并最终汇聚到地表水体的通道。径流流失、农田排水和地下渗漏等是农业流域氮、磷营养盐流失的主要途径，而径流和农田排水中的氮、磷营养盐主要通过沟渠系统向外界环境中迁移和输出。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[2]。与传统自然沟渠不同，生态沟渠通过生态改造，包括增设湿生植被、多级拦水坝及节制闸等方式，在满足农田排涝防渍的前提下，能够减缓径流流速，促进颗粒物的沉淀，增强植物对污染物的吸收，最终实现农田退水中污染物的有效拦截[3]。

3. 生态沟渠的构造及运行效果

生态沟渠是对传统农田排水沟渠系统的升级与改造，它通过土壤 - 微生物 - 植物形成生态链平衡系统，并利用其新陈代谢协同降解农田排水中的有机物、氮、磷等污染物，同时辅助脱氮除磷装置，拦截转化池，底泥污染捕获系统等功能性设备，进一步提高农田排水中污染物的拦截效果。生态沟渠具有独特的植物 - 底泥 - 微生物系统，兼具沟渠和湿地的双重特征。生态沟渠中磷的迁移转化过程十分复杂，包括植物吸收、沉积物吸附和微生物降解等过程，沉积物的吸附作用是生态沟渠中磷的重要去除机制，在酸性条件下，沉积物对磷的吸附与铝、铁化合物有关；在碱性条件下，沉积物对磷的吸附受到钙、镁化合物的影响，而植物吸收和微生物降解的磷形态为 PO_4^{3-} [4]。这些去除机制通常直接或间接地受到多种因素的影响，例如沟渠本身的构造特征、植被类型、环境因子等多重因素。

植被是生态沟渠的重要组成部分，水生植物(特别是沉水植物)的种植能为生态沟渠提供重要的生物功能，可有效降低水流速度、增加化学滞留时间、增加养分耗散，从而为生态沟渠中污染物的去除提供更好的条件。同样地，生态沟渠中的微生物在截留和净化氮磷污染物中起着重要作用，微生物同化以及与根系相关的细菌的硝化/反硝化等作用是去除农田径流中污染物的主要途径。植物可以为附生细菌的生长提供基质和表面，与微生物的功能多样性、生物量和活性密切相关；它们还为反硝化过程提供可降解的有机物[5]。生态沟渠中水生植物 - 菌藻 - 微生物系统的污染物净化能力主要体现在其中植物、微生物等形成协同作用，从而实现了氮、磷等污染物的降解。生态沟渠对于农田径流中的污染物具有较高的拦截效果，研究表明，与传统的排水沟(分别为 14.9% 和 12.21%)相比，生态沟渠对总氮(54.8%)和总磷(51.1%)的处理率明显更高[6]。同时，在传统沟渠对 TN 和 TP 的去除率分别达到 35.7% 和 47.9%，生态沟渠对 TN 和 TP 的去除率分别达到 42.8% 和 52.6% [7]。通过细质土壤基质、大生物量的植物和生态渗透性水坝的组合对原有沟渠进行加固，构建的生态沟渠对 TN、TP、氨氮(AN)和硝态氮(NN)的去除率分别提高至 58.1%、56.5%、56.8% 和 54.2%。因此，将现有的排水沟渠改造成生态沟渠，对减轻农业

面源污染有重要意义。

4. 结论

针对生态沟渠控制农业面源污染现状方面，现有研究多以实验室阶段为主，对于生态沟渠控制农业面源污染的实际运行经验不足。因此，在生态沟渠控制农业面源污染方面，需要开展生态沟渠控制对农业面源污染的影响机制研究，为生态沟渠的净化机理及工艺参数的建立完备体系；在实际运行方面，可以考虑建立多尺度下生态沟渠对农业面源污染的控制效果评估，以保证生态沟渠能有效控制氮磷流失造成的污染。基于此，明确生态沟渠控制对农业面源污染的影响机制，建立多尺度下生态沟渠对农业面源污染的控制效果评估，是实现农业面源污染控制的关键手段，是保障我国生态文明建设的必需要素。

基金项目

陕西省土地工程建设集团内部科研项目(DJNY2024-22)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国生态环境部, 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国农业农村部. 第二次全国污染源普查公报[R]. 2020.
- [2] Zhang, J., Yan, M., Lu, X. and Wang, T. (2024) Nutrient Removal Performance from Agricultural Drainage by Strengthening Ecological Ditches in Hilly Areas. *Agricultural Water Management*, **291**, Article ID: 108623. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108623>
- [3] Nifong, R.L. and Taylor, J.M. (2021) Vegetation and Residence Time Interact to Influence Metabolism and Net Nutrient Uptake in Experimental Agricultural Drainage Systems. *Water*, **13**, Article 1416. <https://doi.org/10.3390/w13101416>
- [4] 秦沂樟, 白静, 赵健, 等. 生态沟渠磷拦截效应对不同因子的响应特征[J]. 农业工程学报, 2022, 38(z1): 122-130.
- [5] 王志荣, 庄海峰, 郑良燕, 等. 生态沟渠对农田排水中菌群组分、耐药基因谱及氮磷浓度的影响[J]. 环境化学, 2022, 41(9): 3055-3064.
- [6] 程浩淼, 季书, 葛恒军, 等. 生态沟渠对农田面源污染的消减机理及其影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2022, 38(21): 42-52.
- [7] Shen, Y., Hou, S., Hu, S., Miao, Y., Cui, H. and Zhu, H. (2024) Water Purification Capacity of Ecological Ditch: A Systematic Review and Meta-Analysis of Influencing Factors. *Ecological Engineering*, **204**, Article ID: 107280. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2024.107280>