

# 现代种植业污染防控技术研究进展

覃晓茜<sup>1,2\*</sup>, 唐春明<sup>1</sup>, 尹志红<sup>1</sup>, 朱联东<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>武汉大学, 资源与环境科学学院, 湖北 武汉

<sup>2</sup>随州维克昇检测有限公司, 湖北 随州

收稿日期: 2021年12月7日; 录用日期: 2022年1月11日; 发布日期: 2022年1月18日

## 摘要

种植业面源污染成为我国农村地区环境污染的主要来源, 有效控制种植业面源污染, 是保护土壤与水资源, 促进种植业可持续发展的必然要求。本文针对我国种植业面源污染特点, 主要介绍了我国种植业面源污染防治的主要技术研究进展并对农业可持续性发展进行了展望。

## 关键词

种植业, 面源污染防治, 研究进展

# Research Progress of Pollution Prevention and Control Technology in Modern Planting Industry

Xiaoxi Qin<sup>1,2</sup>, Chunming Tang<sup>1</sup>, Zhihong Yin<sup>1</sup>, Liandong Zhu<sup>1#</sup>

<sup>1</sup>School of Resources and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan Hubei

<sup>2</sup>Suizhou Weikesheng Testing Co., LTD., Suizhou Hubei

Received: Dec. 7<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 11<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 18<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Non-point source pollution of planting industry has become the main source of environmental pollution in rural areas in China. Effective control of non-point source pollution of planting industry is an inevitable requirement for the protection of soil and water resources and promotion of the

\*第一作者。

#通讯作者。

**sustainable development of planting industry. Based on the characteristics of non-point source pollution in China's planting industry, this article mainly introduces the main research progress of non-point source pollution prevention and control technologies in China's planting industry, and provides prospects for the sustainable development of agriculture.**

## Keywords

**Planting Industry, Non-Point Source Pollution Control, Research Progress**

Copyright © 2022 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. 前言

农业面源污染相较于点源而言，污染成分复杂，在时空范围上分布较广，且具有较大的不确定性，因此，防控难度更大。目前，随着乡村振兴以及建设美丽中国等各项工作的逐步推进，防控农业面源污染已经显得愈发重要。在我国农业污染防治工作中，种植业的面源污染防治是一项重要的工作内容[1]。

《第二次全国污染源普查公报》表明，种植业总氮和总磷排放量分别占农业源排放量的 51% 和 36%。作为农业面源污染中的重要一环，种植业污染越来越引发关注。现阶段，我国对农业面源污染的控制和管理相对来说较为成熟，主要是以“源头控制 - 传输过程阻断控制 - 生态修复”为主要的应对思想，因地制宜地进行污染防治[2]。源头控制主要是从农药化肥使用等方面进行控制，从源头上实现农药和化肥的减量使用。传输过程阻断控制主要是在地表径流过程中对污染物进行拦截。生态修复技术主要对汇集的污水进行生物修复，从而减少农业面源污染的风险。本文重点论述了现代种植业污染防治技术研究进展。

## 2. 种植业污染来源

种植业污染来源包括农药化肥的施用及农作物固体废物的产生等。农药化肥的施用是引发农业生产污染的主要来源，在进行农事活动的过程中，施用的农药量过多，施用的化肥中氮磷的含量过高等均会对农村的土壤及水体环境造成污染。更严重的是，长期施用大量的农药化肥，会导致土壤结构遭到破坏，并使得土壤的养分需求失衡。此外，残留在土壤中的化肥农药还容易通过淋洗、挥发或径流冲洗等途径汇入水体中，造成水体污染，引发一系列环境问题。

农村种植业造成的面源污染已经成为水体污染的主要污染源之一。污染的主要成分包括化学需氧量、氨氮、总氮和总磷等，非点源氮、磷已成为国内重要流域水体富营养化的主要影响因素。种植业污染负荷与分布特征受多种因素的影响与控制，主要包括自然因素和人为因素。其中，自然因素又包括降雨、地形、地貌、土壤状况等不可调控的因素，人为因素则有土地利用方式、农药化肥的施用、农田灌溉方式等可调控因素。目前，针对种植业的污染来源以及污染负荷与分布特征的复杂性，可通过源头控制、阻断传输过程以及生态修复等有效措施对种植业污染进行防控。

## 3. 源头控制

### 3.1. 测土配方施肥技术

配方施肥是一项针对作物对肥料的吸收规律差异、土壤理化性质及肥料自身的释放效应，在分析土壤性质及农田施肥试验的基础上，均衡地施用有机和无机肥的技术，这对农作物的生长以及土壤污染防

治都有显著的正面效果。不同农作物在生长过程中所需的常量及微量元素并不同,通过配方施肥技术可确定每种肥料的施用数量、施用时期和施用方法,达到精准施肥促进农作物生长、增产的目的。测土配方施肥包含3个方面的内容:测土、配方以及合理施肥。精准探明土壤的肥力状况,通过使用测试、诊断和田间试验等技术获取土壤状况数据,系统科学地对农作物施用肥料。通常而言,肥料施加在农作物的根部附近,在施肥的过程中,肥料一般需要进行预处理,如有结块现象,则应打碎、过筛后再施用。此外,不同的肥料之间可以先混合堆沤,例如:磷肥和有机肥在施用前进行混合堆沤,土壤肥力会得到有效提高,增产效果会更显著[3]。配方施肥通过平衡各种营养成分的供给,满足不同时期作物的需要,在提高了肥料的利用率的基础上减少施肥量,从而使各污染元素向环境中的流失率降低,继而达到减轻农业面源污染的目标。

### 3.2. 施肥平衡技术

施肥平衡技术是一项能使农作物养分利用效率和产量提高的关键技术,主要包括肥料中养分和养分形态的平衡以及土壤养分和植株内养分的平衡等方面的内容[4]。在充分地使用肥料资源的基础上,施肥平衡技术可使作物产量提高并改善其品质,达到生产成本降低与经济效益提高的双重目标。除此之外,应用施肥平衡技术,可促进土壤肥力的恢复与提高,进一步预防环境污染,这是实现农业可持续发展的一项重要措施。

在施肥种类方面,无机肥占我国农田肥料总投入氮素的70%~75%,磷肥占60%~65%,钾肥占10%~15%,微量元素占5%以下[5]。无机肥可供极少量微量元素,少部分钾,大部分磷和绝大多数氮素。而有机肥则供应了少部分磷素,大部分钾素和绝大部分微量元素。实现农作物的可持续生产,并不能依赖施加某类单一肥料,而需无机肥与有机肥配合施用。在此基础上使土壤的理化性质得到改善,从而提高土壤肥力,并使作物产量提高。无机肥与有机肥配合施用是改善土壤氮素有效性并最终达到肥料减量使用的最佳选择,也有利于面源污染的防控。

### 3.3. 区域性农田养分管理技术

区域性农田养分管理技术,主要通过优化化肥用量,恒量监控,增施微量元素,改进施肥方式和灌溉方式等措施,实现科学地管理农田养分的目的。根据农作物的分区推荐施肥,可以平衡土壤中的养分含量,使肥料结构得到优化,从而促进肥料利用以及农作物品质和产量的提高,这对于农田生态环境的改善,农业生产的可持续发展都具有重要的意义[6]。此外,在农田管理过程中,还可以通过建立水肥一体化的浇水、施肥系统来减少农业面源污染。结合农作物不同的生长阶段,在灌溉的环节中,往灌溉水中添加适当肥料,使其充分溶化后将混合后的液体喷洒于植物根系附近,有利于植物更好地吸收养分。液体类型和水溶性的肥料适用于此方法。在灌溉方式的选择上,可采用滴灌或渗灌技术,让作物更容易吸收营养物质,降低肥料的流失率。根据土壤养分空间分布的情况,利用先进的现代化信息技术和数据库技术进行土壤养分管理,实施作物“分区平衡施肥”,可以达到化肥施用与农作物高效生产的最优化,并减少农业种植过程中带来的污染。

### 3.4. 微生物农药技术

微生物农药是指一类用来防控有害生物(例如虫害、病害、鼠害)的生物基农药,它的有效成分通常包括真菌、细菌、病毒、原生动物或转基因微生物等[7]。微生物农药菌剂由原始药物和助剂组成。助剂是农药中除有效成分之外的辅助成分,包括载体和表面活性剂等,有提高制剂的物化性质,并保护其中的微生物农药活性成分等作用。微生物农药的有效成分是活体微生物,具有颗粒大、疏水性强等特点,但

这些特性导致微生物农药的悬浮性和润湿性等理化性质较差，且不易兑水施用。此外，活体微生物容易受加工条件和环境因素的影响而失活，故微生物农药需要添加助剂改善特性[8]。微生物农药菌剂的加工技术分为5个步骤：预混合，粉碎，再混合，研磨和后混合。在使用时，将微生物农药菌剂粉碎至一定程度的细度，用水稀释至田间所需浓度，形成稳定的可喷雾悬浮液，施用后可在控制对象上实现较大的均匀覆盖范围。微生物农药由于具有高的选择性，因此并不会对人、农作物和其他动植物产生危害，这些特性在绿色无公害的食品生产、环境保护以及促进优质农业的可持续发展等方面都起到了重要的作用。

## 4. 传输过程阻断控制

### 4.1. 水土保持耕作技术

水土保持耕作技术是对耕地实行少耕或免耕，用残留根茬或作物秸秆覆盖地表，以减少风力或水力对耕地的侵蚀作用，提高抗旱能力和土壤肥力的先进耕作技术。对农作物来说，土壤是一类很重要的环境介质，但是随着不断的种植，不断的施肥，会造成土壤水土流失、土层变薄、土质退化等环境问题，其中水土保持耕作技术是解决这方面问题的有效措施。水土保持耕作技术可有效地提高土壤墒情，改善土壤理化性质，增强保持水土能力，并培肥地力，从而减少环境污染并提高作物产量。依托于相应的生物技术及农业机械，通过不断地应用水土保持耕作技术，可在保护土壤环境的同时，提高农作物产量并实现绿色农业的可持续发展。

### 4.2. 生态拦截技术

生态拦截技术是指通过在受保护的流域或土地内建立有机结合的具有一定拦截能力的植被系统，对污染物进行拦截从而达到防治污染目的的一项技术，有植物篱、缓冲带等多种形式[9]。其核心理念为在防止外源污染物进入治理水域的前提下，对水域内水体污染物进行降解修复，逐步达成修复目标并保持水体生态平衡。每隔一定距离沿等高线在坡地、农耕地种植速生、存活能力强的多年生灌木、乔木或草本植物，采用一行或多行混种的种植形式，形成植物篱，可在对污染物进行拦截的同时，防治水土流失，改善农田生态环境，提高单位土地生产能力和经济效益以及增加农林复合经营系统的稳定性。对于河岸缓冲带的设计，它的宽度由周围土壤特性和邻近地区5~50 m内的景观条件决定[10]。吉国强等[11]利用由不同植被配置的缓冲带研究了水体污染物的含量变化，取得了缓冲带可去除水体中80%的氮的研究结论。生态拦截技术是一项绿色可持续的农业面源防治技术。

### 4.3. 病虫害防治技术

坚持预防为主，注重农业防治，减少病虫害的发生。通过在育苗期、定植期、生长期对作物进行合理的施用农药，可使得生态条件有利于农作物生长，而抑制病虫害发生，进而达到控病的目的。对于一些农作物的种子，在播种前可通过对种子消毒进行控病，如番茄种子经过温汤浸种的方法消毒后，可有效预防溃疡病、叶霉病和早疫病。另外，如果种植环境为大棚种植，可覆盖地膜，以及适当的降低棚内湿度，以达到抑制病菌生长的效果。此外，对于一些特定的农作物，进行果实套袋操作，可以在防治病虫害的同时提高果实的质量，并能减少农药残留。孟焕文等[12]的研究结果表明，番茄套袋可以改变袋内的微环境，提高温度，湿度，减少光照，果实产量有所增加，品质有所改善。

### 4.4. 废弃物厌氧发酵处理技术

对于农业种植过程中产生的废弃物，厌氧发酵是一种科学的处理方法。厌氧发酵是指在缺氧密闭的发酵池中，利用种类繁多的厌氧发酵微生物分解转化各种有机废弃物，产生沼气的过程。该过程通常分

液化、产酸和产甲烷三个阶段。厌氧发酵可以在改善农村生活环境的同时产生能源，其中的沼液、沼渣可以当成一种农业生产资料，代替部分化肥和农药。每百千克沼渣相当于 6 kg 硫酸铵，10 kg 普通过磷酸钙和 2.5 kg 硫酸钾[13]。对于农业种植废弃物，采用厌氧发酵技术进行处理是一种防控农业面源污染和固体废物资源化的高效途径。

## 5. 生态修复

### 5.1. 人工湿地

湿地泛指暂时或者长期覆盖水深不超过 2 m 的低洼池及低潮时水深不超过 6 m 的沿海地区。根据湿地形成的条件可以把湿地分为自然湿地和人工湿地。人工湿地主要是利用耐水植物和土壤的化学、物理和生物作用及其协同作用，通过过滤、根系截留、吸附、吸收、植物光合作用以及输氧作用，增强微生物分解污染物的能力，以达到对污水的高效净化。人工湿地净化水体的能力比自然湿地强，为自然湿地功能的模拟和加强。其构筑过程主要为在经常处于饱和状态的土壤上按一定的规律种植特定的水生植物(如芦苇、香蒲等)，将污水有效投配到其中，并让污水沿一定方向流动，即可达到去除水中污染物的效果[14]。人工湿地具有投资费用少，能耗低，且效果显著等优点，可以对面源污染物进行拦截和削减，提高对污染物的去除效率，是我国农田面源污染的主要末端控制技术之一。

### 5.2. 生物氧化塘

生物氧化塘是一类自然池塘经人工改造后形成的具有降解水中污染物能力的净化系统，具有设置构造简易，污水处理效果好，管理维护简便，且节省能源等优点。经过在氧化塘内较长时间的停留、贮存以及微生物的代谢活动和菌藻与水生生物的综合作用，污水中有机污染物和其他污染物质可得到降解和去除[15]。生物氧化塘虽主要利用微生物天然净化能力来实现水体净化，但它也可以借助人工曝气，投加高效菌种，培育合适的水生生物等措施进行功能强化。在处理废水时，生物氧化塘内部的食物链得到延长，微生物和水生动植物可以构成具有多样性的生态系统促进微生物与水生动植物的相互协作，从而增强去除污染物的能力。

### 5.3. 生态沟渠

生态沟渠系统是一类集污染物截留沉淀、植物吸收和微生物降解等多项去除功能于一体的生态体系，主要包括生态出水沟和由依次串联的消纳池和多级湿地单元构成的生态塘。自然生态沟渠系统能够有效的截留降雨径流，达到削减降雨途径中的面源污染的效果。有研究表明，我国太湖，滇池等流域建造的生态沟渠对农田径流中的 TN 去除率达 50%~60%，TP 去除率达 40%~55%，在应用初期取得了良好的污染物防治效果[16]。生态沟渠能有效减少污染物随降雨的流失率，对农业产生的污染控制有着显著的处理效果。

### 5.4. 生态浮床

人工搭建、组合一些能漂浮于水面的材料，构筑不同的供动植物和微生物繁衍栖息的模型，以无土栽培技术为基础，在模型上种植一些水生植物，组成生态浮床。利用水生植物根茎的吸收附着作用与水体自净能力，通过一系列生物化学作用去除有机污染物，减少水中的碳、氮和磷的含量，从而促进水体的生态循环和修复。相较于物理、化学等传统治理污染水体的方法，利用植物生态浮床技术修复水体具有良好的景观功能、美化水域、有效增加绿化面积、提高生物浮床周围的生物多样性等诸多优点[17]。对于生态浮床的研究和开发，首先要根据具体的水环境选择合适的水生植物，再确定浮床的基本框架以及

植物栽培基质。将生态浮床技术应用于农业面源污染治理，一方面可修复水体环境，另一方面可提供观赏价值，美化农村环境。

### 5.5. 土地处理系统

土地处理系统是指通过蒸发、土壤的过滤和吸附作用以及土壤间微生物的代谢与有机物的生物降解作用等将污水中污染物分解的处理技术[18]。污水中的氮、磷等污染物质，在被处理的同时，还可作为养分被植物吸收。目前应用较多的有快速渗滤处理系统、慢速渗滤处理系统、地下渗滤系统以及复合系统等。快速渗滤系统是将污水有控制地投配到具有良好渗滤性的土壤表面，利用过滤、沉淀、氧化还原和硝化、反硝化等作用在污水下渗过程中净化污水。快速渗滤系统对 COD 处理效果较好，但是对 N、P 去除效果较差。慢速渗滤系统是将污水投配到生长有植被的土壤表面，废水中的污染物在流经地表土壤—植物系统时可得到充分净化。地下渗滤系统主要通过将污水有控制地投配到距地表一定深度(约 0.5 m)且具有一定构造和良好扩散性能的土层中，使污水在土壤的渗滤和毛细管浸润作用下，向周围运动以得到净化。土地处理系统净化污水过程简单，构筑成本及运行费用较低，在管理维护方面也较为简便。

## 6. 小结

种植业面源污染的防控是一项具有长期性、社会性和系统性的工作，仍需要投入较大的人力物力。目前，我国农业生态环境治理正处于发展阶段。要做好种植业面源污染防控工作，首先应注重从源头上控制，严格控制农药化肥的施用和产生的废水的排放，其次，应结合生态综合治理的方法，对农业垃圾、废水以及土壤污染进行治理，将农业面源污染防治作为推动农村生态环境发展的重点工作，以提高土壤生产力并保持和提高土壤肥力，促进农业生产的可持续发展。

## 基金项目

国家重点研发计划项目课题：田园综合体生态环境治理技术集成与示范(编号：2019YFD1101303)。

## 参考文献

- [1] 张纪兵, 刘明庆. 积极推进种植业面源污染防治和监管工作[N]. 中国环境报, 2021-04-12(003).
- [2] 芦静, 徐振, 丁兴民, 等. 浅谈农田面源 N,P 污染现状及其控制技术[J]. 青岛理工大学学报, 2016, 37(4): 97-103.
- [3] 路铨. 磷肥的高效施用技术[J]. 黑龙江科技信息, 2010(35): 273.
- [4] 涂攀峰, 张承林, 胡克纬, 等. “4B”平衡施肥技术及其推广应用[J]. 中国农技推广, 2019, 35(6): 11-14.
- [5] Wang, J.W., et al. (2020) A Meta-Analysis of the Effects of Organic and Inorganic Fertilizers on the Soil Microbial Community. *Journal of Resources and Ecology*, 11, 298-303. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2020.03.007>
- [6] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入, 输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20): 4207-4229.
- [7] 李琦, 杨晓玫, 张建贵, 等. 农用微生物菌剂固定化技术研究进展[J]. 农业生物技术学报, 2019, 27(10): 1849-1857.
- [8] 刘振华, 邢雪琨. 微生物农药助剂研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2016, 35(8): 2109-2113.
- [9] 吴迪民, 莫彩芬, 柯杰, 陈红兵, 许峰. 农业面源污染生态拦截系统构建技术研究[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2019, 37(4): 12-18.
- [10] 张建春, 彭补拙. 河岸带及其生态重建研究[J]. 地理研究, 2002(3): 373-383.
- [11] 吉国强, 韩伟宏, 赵国斌. 不同缓冲带植物在滨岸缓冲带中的作用[J]. 山西农业科学, 2011, 39(8): 850-852.
- [12] 孟焕文, 程智慧, 刘涛, 等. 果实套袋对番茄果实发育和品质的影响[J]. 西北农业学报, 2004(1): 59-61.
- [13] 陈羚, 邹永杰, 董保成. 农业设施种植废弃物厌氧集中处理适用性研究[J]. 中国沼气, 2018, 36(6): 32-35.
- [14] 梁嘉晋, 董申伟. 分散式农村生活污水处理技术[J]. 广东化工, 2009, 36(7): 168-169.

- 
- [15] 吴景文. 城市水环境治理生物修复技术[J]. 农技服务, 2017, 34(19): 143.
- [16] Yao, J.-T. (2012) Study on Intercept Method for Nitrogen and Phosphorus in Ecological Ditches Pond. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, **24**, 58-60.
- [17] 陈月芳, 张宇琪, 冯惠敏, 刘哲, 刘铮. 微生物耦合铁碳微电解强化水生植物浮床对农村生活污水的深度处理[J]. 环境工程学报, 2020, 14(11): 3007-3020.
- [18] 毛燕芳. 农村生活污水处理现状与技术进展[J]. 上海水务, 2015, 31(2): 39-41.