DOI：10.19789/j.1004-9398.2025.02.008
文献引用：杨纪新，程珊珊，刘玲花，等．我国农村黑臭水体污染成因及治理现状[J]．首都师范大学学报（自然科学版），2025，46(2)：52-60.
YANG J X，CHENG S S，LIU L H，et al. Causes and governance status of black and odorous water bodies in rural areas of China[J]. Journal of Capital Normal University（Natural Science Edition），2025，46(2)：52-60.

我国农村黑臭水体污染成因及治理现状*

杨纪新[1,2#]，程珊珊[1,2#]，刘玲花[2**]，王学东[1]

（1. 首都师范大学资源环境与旅游学院，北京　100048；
2. 中国水利水电科学研究院，北京　100038）

摘要：农村水体黑臭污染对广大农村地区居民的正常生产生活及身体健康产生影响，是美丽乡村建设的障碍。农村黑臭水体的形成和发展过程相对复杂，受限于农村客观物质条件的缺乏及农村水体自身条件的薄弱，农村水体黑臭污染治理工作难以迅速推进产生成效。基于此，本文对我国农村黑臭水体的形成原因及污染和治理现状等内容加以总结，并结合农村环境特点对农村水体黑臭发生过程进行分析，以期为今后农村黑臭水体污染整治工作的开展提供助力。

关键词：农村；黑臭水体污染；治理
中图分类号：X52　　**文献标志码**：A

Causes and treatment status of black and odorous water pollution in rural areas of China*

YANG Jixin[1,2#]，CHENG Shanshan[1,2#]，LIU Linghua[2**]，WANG Xuedong[1]

（1. College of Resource Environment and Tourism，Capital Normal University，Beijing　100048；
2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research，Beijing　100038）

Abstract：The black and odorous water pollution in rural areas of China can affect the normal production，livelihoods，and health of rural residents. This problem also hinders the construction of beautiful rural areas. The formation and development of black and odorous water pollution in rural areas is relatively complex，hampered by the lack of objective material conditions in rural areas，and the inherent weaknesses of rural water bodies. Consequently，the efforts to combat black and odorous water pollution in rural areas face challenges in making swift progress and achieving tangible results. This article provides an overview of the factors contributing to the formation of rural black and odorous water pollution in China，along with a summary of the current state of pollution and control measures，and analyzes the development process of black and odorous water pollution with the specific environmental characteristics of rural areas. Aims to provide assistance for the future governance of rural black and odorous water pollution.

收稿日期：2023-04-24
* 国家重点研发计划项目（2019YFD1100205）
# 第一作者
** 通信作者：lhliu@iwhr.com

Keywords:rural areas;black and odorous water pollution;treatment
CLC:X52 **DC**:A

0 引 言

近年来,我国社会取得整体性发展,迈向城市化的步伐不断加快。但与此同时,在我国农村地区的经济发展及乡村建设中伴随着为求增产、增效、增收而忽视生态环境,造成环境破坏的不良现象,农村黑臭水体问题也由此产生[1]。研究表明,农村地区各方面现实条件的相对落后使得排污严重、治污困难的现象仍普遍存在,农村水环境污染程度亦有愈发加重的趋势[2-3]。在农村居民的生产生活过程中,来自耕地利用、畜禽养殖等农业生产过程及居民日常生活活动等途径的污染物,可向周边各个环境介质不断输送,并在人为改造环境的过程中导致一定范围内气候、水文及土壤结构等环境特征的变化,严重时或可使区域陆地生态系统遭受破坏,于农村水体而言,过量污染物的输入将使其无法实现自净,可继而引发水体黑臭污染现象[4]。当前,我国农村水体的污染形势严峻,存在着广泛分布、数量众多的农村黑臭水体,农村水污染问题既可对广大农村地区人民的利益产生损害,又可对农村居民的健康产生威胁[5]。但农村水体黑臭问题仍缺乏充分关注,评价体系仍相对杂乱,水体黑臭治理及研究方面存在着“重城市、轻农村”的现象[6-7]。基于此,本文对我国农村黑臭水体的污染现状、成因机制及相关处理处置措施展开综述,以期在一定程度上为后续农村黑臭水体治理工作的开展及美丽乡村建设提供助力。

1 黑臭水体特征及农村黑臭水体的评判

1.1 黑臭水体的特征

由于水体的环境容纳量有限,当污染物浓度超过水体自净能力时,就易引发黑臭污染现象[8]。黑臭水体具有令人不快的颜色和恶臭,对居民生活、社会风貌、乡村与城市建设及区域生态系统等各个方面均可产生负面干扰。其形成机制较为复杂,水质自发生变化至形成黑臭的过程受污染输入、时节温度及水中各物质的化学组成等诸多因素的影响[9]。同时,黑臭水体普遍存在富营养化现象,各类污染物在水体中相互作用不仅可使水体溶氧降低,还会引发二次污染,导致水质进一步恶化[10]。

出现黑臭现象的水体,普遍具有以下特点[11-13]:(1)水体各项水质指标异常,呈现低溶解氧(dissolved oxygen,DO)含量、较低pH等特点,且水体氧化还原电位(oxidation-reduction potential,ORP)将处在较低状态,形成还原条件;(2)水体呈富营养化状态,氮、磷等营养物质及各类有机物含量升高,水中各类细菌、真菌及藻类大量繁殖,黑臭严重时可致水生生物大量死亡,水域生态环境退化,生态系统崩溃;(3)水体水动力条件不足,循环性及流动性较差,且水体复氧率低下,并伴随有不同程度的水温升高现象。

1.2 农村黑臭水体的评判

农村黑臭水体依据我国生态环境部于2019年印发的《农村黑臭水体治理工作指南(试行)》(以下简称《指南(试行)》)[14]所述,是指各个县(市、区)下辖行政村和(或)社区等范围内颜色明显异常或散发浓烈(难闻)气味的水体,且若某一水体经人为感官特征识别确有明显异味或颜色异常(如发黑、发黄、发白等),或经公众评议认定其气味或颜色确有异常,即可视该水体为黑臭水体。但该识别方法的主观性较强,因此可选择综合参考《指南(试行)》中所规定的农村黑臭水体监测指标阈值及我国住房和城乡建设部于2015年发布的《城市黑臭水体整治工作指南》[15]中针对城市黑臭水体污染程度的分级标准,后而对农村黑臭水体各水质指标进行评价。综合参考上述指南得出的农村黑臭水体监测标准见表1。

表1 农村黑臭水体监测标准

黑臭程度	监测指标		
	透明度/cm	溶解氧质量浓度/(mg·L^{-1})	氨氮质量浓度/(mg·L^{-1})
轻度黑臭	25[a]~10[a]	0.2~2.0	8.0~15.0
重度黑臭	<10[a]	<0.2	>15.0

注:[a]水深不足25 cm时,该指标按水深的40%取值。

2 我国农村黑臭水体的污染现状及形成原因

2.1 我国农村黑臭水体的污染现状

当前,我国农村水环境仍面临着较大的污染输入压力,数量众多、分布广泛的农村黑臭水体使得黑臭治理工作进展仍较为缓慢。2018年,我国农村地区共计排放农村生活污水约4.1×10^{11} m^3,仅有少

部分污水得到了适当处理[16]。同时,在我国有超过90.0%的自然村缺乏健全的排污治污设施,且截至2020年12月,全国约有8 000余处农村水体存在黑臭现象,有74.5%的行政村未完成生活污水治理[17]。就农村黑臭水体的空间分布而言,我国农村黑臭水体主要集中在华北及华南地区,分别占统计总数的37.8%及34.5%;在水体面积方面,数据显示,全国农村黑臭水体水域总面积达68.5 km^2,平均面积为8 279 m^2[5]。

2.2 农村黑臭水体的成因概况

农村地区处在农业生产一线,农业及农村生活污染产生的风险将在农村地区所具有的村落位置分散、无序,基础设施不健全及截污治污能力薄弱等弱点的放大作用下,对农村居民的生产生活安全产生威胁,并对农村水体黑臭治理工作产生一定阻碍。相较于人口密集、工业发达的城市建成区,农村因其人口聚集地附近的工业企业数量较少,使得人类工业活动所产生的外来污染对农村水体的影响相对较小[18]。但近年来,在城镇化进程中,由于城市面积不断扩大、工业区域不断扩增,高污染产业多有从城市向周边城乡结合地带或村庄转移的趋势,使得农村地区的污染暴露风险及农村居民环境健康风险不断增加[19]。

农村黑臭水体的形成通常与水体内源性污染的释放、外源性污染的输入及水体的固有缺陷等因素有关[20],其形成原因如图1所示,可包括:(1)农村水体的条件限制。如水中原有的或受纳的杂质较多不能进行充分的水体交换、基础水质较差等;(2)水体污染。包括内源污染和外源污染。内源污染为水体底泥和周边土壤污染物释放及水生动植物腐败分解产生污染。外源污染有农村当地和他域外来2种,如当地农业废水、农村生活杂排水[21](农村居民家庭厨房、洗衣、清洁和洗浴产生的污水)及厕所污水的排放,居民生活垃圾和(或)垃圾渗滤液产生的污染排放及农作物秸秆等生物质进入水体后发生腐败变质所产生的污染释放等。他域外来污染的输入包括,邻近村庄或位于城乡结合部的各类型工厂直接排放的废水、废气所产生的污染或间接通过地表和(或)地下径流及其他污染迁移途径产生的污染输入等。

2.3 外源及内源性污染对农村水体的影响

我国当前仍需应对废水总量大、废水处理处置工作任务重的压力,各个污染源对水环境的污染贡献仍需警惕。就农村水体的特点而言,其需面临农业生产、畜禽及水产养殖等活动所产生的污染压力,农业面源污染的排放及农村居民生活源污染的排放是导致农村小流域水体出现水体黑臭现象的重要原因[22]。

在外源污染方面,就农村水环境的污染形势而言,农业源污染及农村生活源污染无疑是引发农村水体问题的重要因素[23]。例如,贵州省截至2022年的农村黑臭水体统计数据[24]表明,在该省现存的126条农村黑臭水体中,近70%的水体黑臭的外源因素为农村生活污水的排放;同样地,河南省农村黑臭水体的主要污染来源也为农村生活污染及农业污染[25]。我国部分地区的农业源污染负荷较大、总量较多,且来自农业源的化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、氨氮、总氮(total nitrogen, TN)及总磷(total phosphorus, TP)等污染物在相应区域或流域内的地表水及底泥等环境介质中存在较高污染负荷[26-28]。农业面源污染的发生可导致农村水体、土壤和大气的交叉污染,引发农村水体黑臭,严重时更可致使环境退化,农村生态环境质量及农业绿色发展仍受农业面源污染威胁的现状亟待进一步重视与改善[29]。同时,考虑到我国现有约2.5×10^6个自然村,农村居民生产生活垃圾及污水的

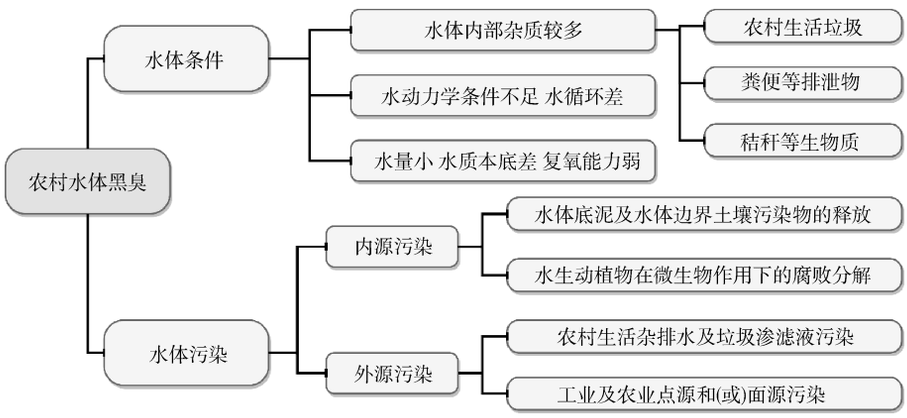


图1 农村黑臭水体成因概述

产出总量庞大,广泛、大量而无序的农村生活源污染排放势必影响农村水体健康[30]。

《2021年中国生态环境统计年报》有关废水污染物的统计数据显示,在全国范围所调查的工业源、农业源、生活源和集中式污染治理设施排放源中,农业源与生活源这2个排放源总计排放出的COD、氨氮、TN及TP,分别可占上述4类污染排放源排放相应污染指标总量的98.3%、97.9%、95.8%及99.1%[31],各个废水污染指标对应农业源、生活源及工业源的具体排放量如表2所示。

表2　2021年我国各污染源主要废水污染物排放情况

单位:万t

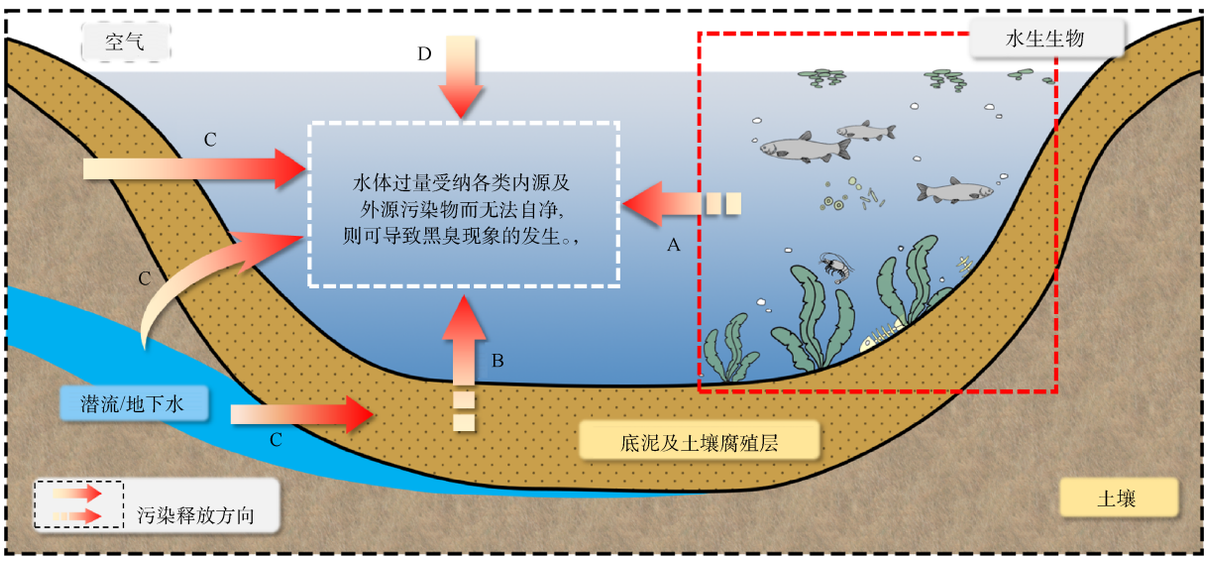
污染来源	污染排放量			
	COD	氨氮	TN	TP
农业源	1 676.0	26.9	168.5	26.5
生活源	811.8	58.0	138.0	7.0
工业源	42.3	1.7	10.0	0.3

注:COD为化学需氧量;TN为总氮;TP为总磷。

由此可见,农业源及生活源污染对我国水环境的污染贡献较大。此外,由于农村区域生态和农村居民活动具有一定的特殊性,污染的产生与排放还具有随机性、分散性等特点,污染物普遍含有较高含量的氮、磷等元素,并具有监管层面的困难性,可对农村地区产生污染胁迫[32]。

在外源及内源性污染物的输入及迁移转化方面,水体污染受纳过程如图2所示。对于农村水体可能受纳的外源性污染物,农村相较城市受工业污染胁迫程度相对较低,水体受纳的外源污染主要来自于农业点、面源污染及农村居民生活污染。同时,考虑到农村水体大部分为封闭式的小型水域,水体自净能力受各种条件限制,因此对农村水体产生不利影响的主要因素以农业生产过程及农村居民活动过程所产生的污染排放为主,如含有化肥农药的农业灌溉废水的排放、集中式养殖业产生的养殖废水的排放、农村居民在日常生活中产生的生活杂排水等[33]。值得注意的是,几乎所有水体都将面临粪便排放所产生的影响,无论是未经改造的农村旱厕产生的排放,还是农田耕作的粗放过程中粪肥的不当施用,均可使农村水体受到粪污影响[34]。上述污染经由径流等过程最终进入农村水体,使水体逐步富营养化而形成黑臭。

此外,内源污染的产生与释放同样影响着黑臭水体的形成。对于内源性污染,在相关典型黑臭河道的研究中,Liang等[35]的研究认为,黑臭水体中悬浮的黑色物质可能直接来源于某些异质微生物的大量繁殖,而此类微生物的繁殖依靠于汇入河道中的大量有机碳。同时,氮、磷及各类有机物进入受纳水体后,在沉积作用下可积累于水体底泥,进而可形成内部污染源使污染物由底泥向水体缓释,可自下而上污染水体[36]。Feng等[37]的研究表明,水生动植物残体、浮游生物的分解代谢产物等有机污染物可导致黑色水华暴发,并可使水体的有机负荷升



注:A为水体内部污染因素的释放(水生生物腐败分解、微生物作用);B为底泥或基质土壤内部污染的释放;C为外源性污染经土壤或地下水扩散迁移至水体或留存于土壤内部;D为外源污染经大气扩散沉降至水体。

图2　水体污染受纳过程

高,有机物分解耗氧而成的缺氧环境也有助于硫酸盐还原菌和铁还原菌的生长并进一步致使水体发臭。此外,Rixen等[38]的研究表明,河道沿岸土壤淋溶出的溶解性有机物可影响河流中氧浓度,进而导致河流富营养化,使河流颜色发黑的主要原因之一。

2.4 致黑、致臭物质组成

近年来,诸多学者进一步探究细化了我国水体中致黑、致臭污染物的组成及引起此类物质产生的主要原因。水体发黑发臭,一般源于人们日常生产、生活产生的污染输入及水体内水生生物的死亡,含硫化合物和可溶性深色土壤腐殖质等物质的分解腐败等,臭味一般来源于微生物厌氧分解水中有机物而产生的氨气、硫醇、硫化氢和胺类等具臭物质及某些藻类腐败分解释放的具臭有色溶解性有机物[39]。

Song等[10]针对北京东沙河黑臭污染物的空间分布及来源识别的研究表明,该黑臭河段呈严重富营养化,水中所含致黑臭物质经检测为II型芳香蛋白、黄腐酸及腐植酸等可溶性有机物。对于引发黑臭的主要物质,Song等[10]与Wang等[40]的研究均表明水体变黑与水中硫化物及Fe^{2+}浓度的升高相关。上覆水中的金属硫化物如硫化亚铁(FeS)、硫化锰(MnS)、二甲基硫及某些藻类代谢产物如β-紫罗兰酮等均可散发恶臭,同时,水体发黑与S、Fe、Mn、Cu等元素在水中沉积物及上覆水中的积累有关。卢信等[41]的研究也表明,含硫有机物确有致臭作用,尤以不同类型的硫醚如二甲基二硫醚(DMDS)及二甲基三硫醚(DMTS)等为黑臭水体主要的致臭物质。

对于致黑、致臭物质的形成原因,Chen等[12]的研究证实,水体中铁还原杆菌和硫循环杆菌等菌类的存在是水体发生黑臭现象的关键微生物因素。同时,Liang等[42]在对于河流变黑变臭的研究中发现,较高的有机负荷会使水中的DO迅速耗尽,厌氧环境将促进某些厌氧微生物如蛋白质分解菌及硫酸盐还原菌等的生长繁殖。硫化物、碳水化合物、脂肪酸及蛋白质在此类菌的作用下可加速分解并产出有机胺(如尸胺、腐胺)等具臭含氮化合物,导致水体发生黑臭。此外,Cao等[43]对水体发臭现象的研究结果与Liang等[42]的结论相符,其对水体发臭现象机理的分析亦表明,除含硫化合物外,其他外源有机污染物可在水体中降解形成胺类物质,或在梭状芽孢杆菌、放线菌及类杆菌等微生物的作用下分解产生β-环状柠檬醛、β-紫罗兰酮等物质,从而产生恶臭。

3 我国农村黑臭水体的治理现状及目标

3.1 我国农村黑臭水体的治理现状

我国近年来虽对水体黑臭问题给予了充分重视并铺开了治理工作,但在针对农村水体黑臭问题的相关研究及治理工作方面相较于城市黑臭河道治理的重视及推进程度仍有欠缺,尚需进一步探索。

对于城市黑臭水体,我国城市水体黑臭治理情况见图3。参考全国城市黑臭水体整治监管平台[44]出具的黑臭污染态势数据,随着我国黑臭水体治理及管控工作的开展,截至2021年12月31日,在全国已被认定的地级及地级以上城市建成区的2 914个黑臭水体中,已有2 355个水体实现了黑臭治理,仍有559处黑臭水体处在治理状态,黑臭水体认定数量以广东(526个)、江苏(419个)、安徽(228个)、湖北(214个)及湖南(184个)5省居多。此外,依据生态环境部公布的相关调度信息[45],截至2022年7月,我国仍有91个县级城市排查出了220条黑臭河道,水体黑臭现象仍未得到完全治理,且已完成治理的水体仍需进一步巩固治理成效。

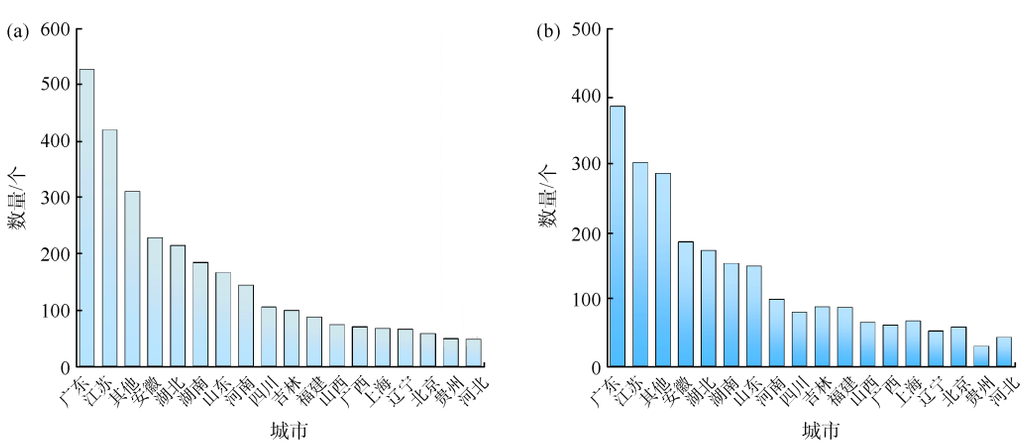


图3 我国地级及地级以上城市建成区黑臭水体认定及治理数量

(a)黑臭水体认定数量;(b)已完成黑臭水治理的水体数量

在农村黑臭水体治理情况统计方面,生态环境部环境发展中心的研究数据显示,截至2021年第三季度,我国各地共计实现了447处较大面积农村黑臭水体的治理,其中东部地区实现治理的农村黑臭水体数量为256个,完成数量较多[5]。但与城市黑臭水体治理及统计情况不同的是,当前我国仍缺乏较为完备的农村黑臭水体底数数据及广大农村地区黑臭水体分布情况的统计资料,农村黑臭水体治理情况统计数据同样尚存在一定空白。同时,由于农村居民生产生活习惯相对粗放、环境保护意识相对不足且缺乏环境知识学习,使得农村地区的环境污染问题难以根治,治理成效难以长期维持。此外,考虑到农村地区受限于基础设施建设的滞后性,难以铺开全面而完善的环境治理工作,在一定程度上阻碍了农村黑臭水体治理工作的开展。这一现状表明,我国在针对农村地区生活污水的治理及针对农村水体黑臭现象的整治方面仍需巩固提升,农业农村污染治理依然是我国生态环境保护工作中的一项短板,仍需进一步提升对农村水污染现状的关注[46]。

3.2 我国农村黑臭水体的治理目标

近年来,我国针对农村黑臭水体污染问题出台了一系列相关政策、规划及整治技术指南等指导性文件,并对治理工作的开展制定了现实方案及远景目标,对农村黑臭水体污染问题的重视程度不断提升。相关政策及规划见图4。

依据国家政策信息,在我国“十三五”建设时期,生态环境部2018年11月7日印发的《农业农村污染治理攻坚战行动计划》中就已明确了“梯次推进农村生活污水治理,管控生活污水乱排放现象”的政策[47]。“十四五”计划期间,国务院分别发布于2021年11月8日及2021年11月12日的《关于深入打好污染防治攻坚战的意见》与《“十四五”推进农业农村现代化规划》也指出,要持续打好城市黑臭水体治理攻坚战及农业农村污染治理攻坚战,加强农业农村和工业企业的污染防治,并要求各地以县级区域为基本单元,以乡镇政府驻地和中心村为重点,推进农村生活污水治理(包括因地制宜地推进农村厕所革命),使较大面积的农村黑臭水体得到基本消除以改善农村人居环境[48-49]。同样地,在2022年1月19日,我国生态环境部、农业农村部和住房和城乡建设部联合水利部及国家乡村振兴局印发的《农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021—2025年)》明确要求,到2025年,我国新增完成8万个行政村的环境整治,使农村生活污水治理率达到40.0%,并基本消除较大面积农村黑臭水体[50]。农村黑臭水体的整治工作正继续展开。

4 农村黑臭水体的治理方法

多年来,众多学者探索并应用了各种治理方法以应对水体黑臭现象。蔡婧等[51]在2008年便运用物理、生物技术联用的方法,通过构筑生态护坡来防止径流污染迁移,截断水体外源污染输入;Luan等[52]研究了改良型生物膜反应器净化农村污水的应用可行性,并证实生物膜反应器出水中COD、总悬浮固体及氮素的含量可达到农村污水处理要求;袁欢庆等[53]分析了黑臭水体生物生态处理技术的作用,表明微生物修复技术可在强化黑臭污水处理的同时辅助修复及构建水体生物群落,以达到提升水体复氧率、降低水中氨氮质量浓度的修复目标;Wang等[54]利用化学方法,向西安护城河黑臭河段投加CaO_2以改变底泥微生物的群落结构,抑制了底泥污染物的释放,改善了水中DO和ORP环境;赵远哲等[55]利用生物滤池技术,选用椰壳生物炭等新型填料以便于微生物附着生长,促进了滤池系统脱氮,对低污染程度、低碳氮比农村污水进行了良好处理;张飞剑等[56]则对潮汐流人工湿地装置净化模拟农村黑臭水体进行了研究,探讨了不同污染负荷下系统对模拟黑臭水体的净化效果,并证实该方法

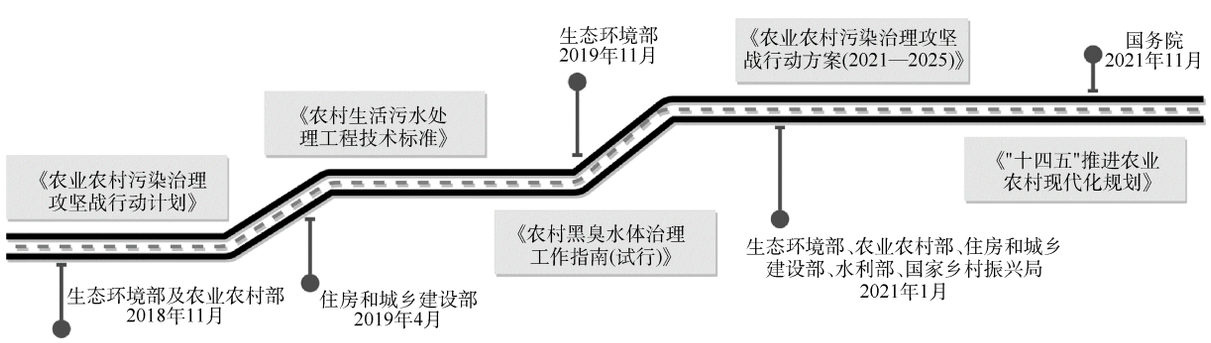


图4 农村黑臭水体污染相关重点政策

对水中COD、NH_3-N、TN及TP具有良好的净化效果。除上述学者进行的研究之外,在针对水体黑臭现象所做的一系列除黑、去臭的整治工作中,已探索并发展了诸多有助于消除黑臭污染、解决水体环境问题的方法,相关治理方法如表3所示,按不同技术特点可主要分为物理、化学及生物生态等方法。

对于农村黑臭水体的治理策略,需要明确在各类污染治理工作中,消除或控制源头污染是施行其他治污手段的前提[57],农村水体黑臭污染的减少与消除应是一个集源头封锁、过程控制、系统修复、持续监测和主动保护于一体的整体性治理工作。因此,在减少或消除农村水体黑臭现象的工作中,施行预防为主、防治结合的污染治理模式,是进行水体黑臭污染治理,并保证治理成效的前提,同样地,在采取诸多原位治理技术的同时,还需实现村镇周边工业企业污染排放的降低,监管并减少农业面源污染物及其他各类外源污染的产生,并进一步倡导居民实现垃圾的分类回收、生活污水的减排,推行绿色、健康的生活方式和低碳、环保的清洁生产模式,以从源头减少或消除水体黑臭。

表3 农村黑臭水体相关治理方法概述

治理技术	治理方法	原理	优势	缺点
物理	人工曝气[58]	人为改善水体条件,提高水体含氧量及复氧率,增强水体自净能力	工程简单,可有效降低水中COD、TN等的浓度	工程能耗较大,扰动水体会增加底泥污染风险
	底泥疏浚[59]	人工挖除水体污染底泥,减少水体底泥内源污染释放	工程简单,水质改善较快	不能完全去除底泥中致黑臭污染物及微生物,黑臭易反复
化学	混凝及氧化法等[60]	投加化学药剂(混凝剂及氧化剂)以改善水体条件,去除污染物	处理较为迅速有效,操作简便	或可引入外来污染并引发二次污染,威胁水生生物的生存
生物	微生物修复[61-63]	利用微生物吸收及分解代谢水中污染物,从而净化水质	安全、有效,不易对水环境产生影响	修复周期较长,易受气候条件影响,黑臭易反复
	水生动植物修复[61-63]	利用水生动植物吸收及截留水中污染物、富集重金属等		
生态	人工湿地及生态浮岛[64]	人工构建生态系统,应用生态学原理利用生态系统的结构和功能去除水中污染物	修复污染的同时具备景观属性,可增加生物多样性	修复周期不定,系统需定期维护且易受气候条件影响

5 结束语

由于对水体黑臭问题的重视程度及开展水体黑臭污染治理的工作力度在近年来不断加深,我国针对地级及地级以上城市黑臭水体的整治工作已获较大成效。但在农业农村污染治理、农村黑臭水体污染治理方面,我国广大农村地区因受留存的各种现实条件的限制,减缓了农村污染治理工作进度,使农村水体黑臭现象仍较为普遍,农村黑臭水体整治工作仍需继续展开。因此,在今后的工作中,需进一步依照国家要求,重视农村水体黑臭污染现象,并在充分考虑农村水体污染现实背景的基础上,实现防止“返黑”“返臭”长效机制的建立,使环境问题实现从污染源头阻断,到实地污染治理,再到治理成效维持、环境持续向好的系统性转变,使农村黑臭水体污染问题实现系统性解决。

参 考 文 献

[1] 杨世明.农村黑臭水体的形成因素及治理探讨[J].资源节约与环保,2021(9):91-92.

[2] CAPODAGLIO A G, IORIS A A R. Integrated, decentralized wastewater management for resource recovery in Rural and Peri-Urban Areas[J]. Resources, 2017,6(2):22.

[3] LIU Y S,LI Y H. Revitalize the world's countryside[J]. Nature,2017,548(7667):275-277.

[4] DING X W,LIU L. Long-term effects of anthropogenic factors on nonpoint source pollution in the upper reaches of the Yangtze River[J]. Sustainability, 2019, 11(8): 2246-2246.

[5] 崔艳智,贾小梅,黄亚捷,等.农村黑臭水体治理现状、问题及对策建议[J].中国环境管理,2022,14(3):54-59.

[6] 丁世刚,付腾飞.城乡结合部黑臭水体成因及治理对策[J].中国资源综合利用,2020,38(5):86-88.

[7] 刘红茹,王阵阵,王信增,等.北方地区农村黑臭水体成因及治理对策研究[J].环境科学与管理,2022,47(6):15-18+39.

[8] 李彬辉,梅立永,闵野,等.黑臭水体的形成机理分析[J].广东化工,2020,47(22):87-89.

[9] WANG L, YU L Q, XIONG Y, et al. Study on the governance of black-odor water in Chinese cities[J]. Journal of Cleaner Production,2021,308:127290.

[10] SONG C, LIU X L, SONG Y H, et al. Key blackening and stinking pollutants in Dongsha River of Beijing: Spatial distribution and source identification[J]. Journal

of Environmental Management,2017,200:335-346.
[11] SHEN Q S, ZHOU Q L, SHANG J G, et al. Beyond hypoxia: occurrence and characteristics of black blooms due to the decomposition of the submerged plant Potamogeton crispus in a shallow lake[J]. Journal of Environmental Sciences,2014,26(2):281-288.
[12] CHEN C, YANG X N, LUO H L, et al. Linking microbial community and biological functions to redox potential during black-odor river sediment remediation [J]. Environmental Science and Pollution Research International,2020,27(32):40392-40404.
[13] ZHANG Y L, SHI K, LIU J J, et al. Meteorological and hydrological conditions driving the formation and disappearance of black blooms, an ecological disaster phenomena of eutrophication and algal blooms [J]. Science of the Total Environment, 2016, 569/570: 1517-1529.
[14] 生态环境部办公厅.关于印发《农村黑臭水体治理工作指南(试行)》的通知[EB/OL].(2019-11-7)[2022-7-14].https://www.h2o-china.com/news/299403.html.
[15] 住房和城乡建设部、生态环境部.关于印发城市黑臭水体整治工作指南的通知[EB/OL].(2015-8-28)[2022-7-14]. https://www. mohurd. gov. cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201509/20150911_224828.html.
[16] HUANG Y S, LI P, LI H, et al. To centralize or to decentralize? A systematic framework for optimizing rural wastewater treatment planning [J]. Journal of Environmental Management,2021,300:113673.
[17] 李松.加快推进农村生活污水治理 补齐农村人居环境突出短板[EB/OL].(2021-12-14)[2022-7-14].https://new.qq.com/omn/20211214/20211214A02JNN00.html.
[18] 邓元,李丽,杨晓梅,等.农村黑臭水体的成因及治理策略[J].广东化工,2022,49(2):77-78.
[19] ZHANG X, SUN F, YANG J, et al. Situation and treatment methods of ecological and environmental problems during the process of urbanization in rural areas of China[J]. Nature Environment and Pollution Technology,2021,20(4):1781-1787.
[20] 刘晓玲,徐瑶瑶,宋晨,等.城市黑臭水体治理技术及措施分析[J].环境工程学报,2019,13(3):519-529.
[21] 住房和城乡建设部.关于发布国家标准《农村生活污水处理工程技术标准》的公告[EB/OL].(2019-4-9)[2022-7-14]. https://www. mohurd. gov. cn/gongkai/fdzdgknr/tzgg/201909/20190911_241761.html.
[22] 张瑞,姚建华,孔德峰,等.农村小流域黑臭水体治理探讨[J].资源节约与环保,2021(11):87-89+99.
[23] 段先月,唐朝春,吴庆庆,等.农村污水现状及处理技术研究进展[J].水处理技术,2018,44(9):27-31.
[24] 陆勇.贵州省农村黑臭水体现状及治理对策[J].农村经济与科技,2023,34(12):20-23.
[25] 王莉,刘萌硕,李亭亭,等.河南省农村黑臭水体污染现状及污染特征研究[J].河南师范大学学报(自然科学版),2022,50(6):52-61.
[26] ZHAO S Y, WANG D D, WANG Y L, et al. Current status and integrated pollution control of black and odorous water bodies in Dongxinkai river basin of China [J]. Applied Ecology and Environmental Research, 2019,17(6):14475-14486.
[27] 郭利京,黄振英.淮河生态经济带农业面源污染空间分布及治理研究[J].长江流域资源与环境,2021,30(7):1746-1756.
[28] 葛小君,黄斌,袁再健,等.近20年来广东省农业面源污染负荷时空变化与来源分析[J].环境科学,2022,43(6):3118-3127.
[29] 翟紫剑,苏航,孟令玺.农业面源污染的危害与治理[J].生态经济,2021,37(6):9-12.
[30] 李怀正,金伟,张文灿,等.我国农村生活污水综合治理研究[J].中国工程科学,2022,24(5):154-160.
[31] 生态环境部.2021年中国生态环境统计年报[EB/OL].(2023-01-18)[2023-4-14]. https://www. mee. gov. cn/hjzl/sthjzk/sthjtjnb/202301/t20230118_1013682.shtml.
[32] YI X S, LIN D X, LI J H, et al. Ecological treatment technology for agricultural non-point source pollution in remote rural areas of China[J]. Environmental Science and Pollution Research,2021,28(30):40075-40087.
[33] 李金印,王骊.农村小流域黑臭水体治理探讨[J].城市道桥与防洪,2021(3):102-103+112.
[34] PARUCH L, PARUCH A M. Cross-tracking of faecal pollution origins, macronutrients, pharmaceuticals and personal care products in rural and urban watercourses [J]. Water Science and Technology,2021,83(3):610-621.
[35] LIANG Z W, FANG W W, LUO Y K, et al. Mechanistic insights into organic carbon-driven water blackening and odorization of urban rivers[J]. Journal of Hazardous Materials,2021,405:124663.
[36] YIN H, WU Y. Factors affecting the production of volatile organic sulfur compounds (VOSCs) from algal-induced black water blooms in Eutrophic Freshwater Lakes [J]. Water Air and Soil Pollution, 2016, 227(9):356.
[37] FENG Z, FAN C, HUANG W, et al. Microorganisms and typical organic matter responsible for lacustrine "black bloom"[J]. Science of the Total Environment, 2014,470/471:1-8.
[38] RIXEN T, BAUM A, SEPRYANI H, et al. Dissolved oxygen and its response to eutrophication in a tropical

black water river [J]. Journal of Environmental Management,2010,91(8):1730-1737.
[39] MIAO S, LYU H, XU J, et al. Characteristics of the chromophoric dissolved organic matter of urban black-odor rivers using fluorescence and UV-visible spectroscopy [J]. Environmental Pollution, 2021, 268: 115763.
[40] WANG G F, LI X N, FANG Y, et al. Analysis on the formation condition of the algae-induced odorous black water agglomerate [J]. Saudi Journal of Biological Sciences,2014,21(6):597-604.
[41] 卢信,冯紫艳,商景阁,等.不同有机基质诱发的水体黑臭及主要致臭物(VOSCs)产生机制研究[J].环境科学,2012,33(9):3152-3159.
[42] LIANG Z W, SIEGERT M, FANG W W, et al. Blackening and odorization of urban rivers: a bio-geochemical process [J]. Fems Microbiology Ecology, 2018,94(3):fix180.
[43] CAO J X,SUN Q,ZHAO D H,et al. A critical review of the appearance of black-odorous waterbodies in China and treatment methods [J]. Journal of Hazardous Materials,2020,385:121511.
[44] 住房和城乡建设部.城市黑臭水体整治监管平台[EB/OL].(2021-12-31)[2022-7-14]. https://www. hcstzz.com/.
[45] 生态环境部.全国县级城市黑臭水体排查情况公示[EB/OL].(2022-09-22)[2023-4-14]. https://www.mee. gov. cn/ywdt/gsgg/gongshi/gsq/202209/t20220922_994697.shtml.
[46] 苏克敬.系列解读(6)深入打好农业农村污染治理攻坚战 促进乡村生态振兴[EB/OL].(2021-11-15)[2022-7-14].http://www.mee.gov.cn/zcwj/zcjd/202111/t20211115_960409.shtm.
[47] 生态环境部、农业农村部.关于印发农业农村污染治理攻坚战行动计划的通知[EB/OL].(2018-11-7)[2022-7-14].http://www.mee.gov.cn/xxgk 2018/xxgk/xxgk03/201811/t20181108_672959.html.
[48] 新华社.中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见[EB/OL].(2021-11-8)[2022-7-14].http://www.mee.gov.cn/zcwj/zyygwj/202111/t20211108_959456.shtml.
[49] 国务院.关于印发“十四五”推进农业农村现代化规划的通知[EB/OL].(2021-11-12)[2022-7-14].http://www.mee.gov.cn/zcwj/gwywj/202202/t20220211_969049.shtml.
[50] 生态环境部、农业农村部、住房和城乡建设部、水利部、国家乡村振兴局.《农业农村污染治理攻坚战行动方案(2021—2025年)》[EB/OL].(2021-1-19)[2022-7-14].https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202201/t20220129_968575.html.
[51] 蔡婧,李小平,陈小华.河道生态护坡对地表径流的污染控制[J].环境科学学报,2008(7):1326-1334.
[52] LUAN Y, QIU C, LI Y, et al. A highly packed biofilm reactor with cycle cleaning for the efficient treatment of rural wastewater[J]. Water,2021,13(3):369.
[53] 袁欢庆,张建恒,曹晓丽,等.黑臭水体治理方法的研究进展及对策[J].环境工程,2023,41(增刊2):1-5.
[54] WANG W H, WANG Y, FAN P, et al. Effect of calcium peroxide on the water quality and bacterium community of sediment in black-odor water [J]. Environmental Pollution,2019,248:18-27.
[55] 赵远哲,杨永哲,王海燕,等.新型填料A/O生物滤池处理低碳氮比农村污水脱氮[J].环境科学,2020,41(5):2329-2338.
[56] 张飞剑,彭云清,章茹.潮汐流人工湿地处理南方农村黑臭水体实验研究[J].水处理技术,2022,48(4):114-118+123.
[57] YU L T, TANG Z Y, JI J J, et al. Discussion on urban black odor water body treatment and long-term management and maintenance [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 428: 012010.
[58] ZHU L, LI X, ZHANG C, et al. Pollutants' release, redistribution and remediation of Black Smelly River Sediment based on re-suspension and deep aeration of sediment [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2017,14(4):374.
[59] 蒋伟,赵永国,陈瑞华,等.黑臭河道底泥特征分析及处理工艺筛选[J].环境监测管理与技术,2019,31(3):64-67.
[60] SUN Y, YU I K M, TSANG D C W, et al. Multifunctional iron-biochar composites for the removal of potentially toxic elements, inherent cations, and hetero-chloride from hydraulic fracturing wastewater [J]. Environment International,2019,124:521-532.
[61] 吴林林.黑臭河道净化试验研究及综合治理工程应用[D].上海:华东师范大学,2007.
[62] 钱嫦萍,王东启,陈振楼,等.生物修复技术在黑臭河道治理中的应用[J].水处理技术,2009,35(4):13-17.
[63] 李广胜,雷利荣.曝气复氧+微生物菌剂修复黑臭河道工程试验[J].环境工程,2018,36(4):34-36+169.
[64] 宁梓洁,王鑫.黑臭水体治理技术研究进展[J].环境工程,2018,36(8):26-29+73.

(责任编辑:李拓宇)