

梁文伯, 徐佳莹, 杨小丽, 等. 农村生活污水研究热点及主题演进的可视化分析[J]. 净水技术, 2023, 42(4): 14-22, 78.

LIANG W B, XU J Y, YANG X L, et al. Visualization analysis of research hotspots and thematic evolution for rural domestic wastewater treatment[J]. Water Purification Technology, 2023, 42(4): 14-22, 78.

农村生活污水研究热点及主题演进的可视化分析

梁文伯¹, 徐佳莹¹, 杨小丽^{1,*}, 侯中科¹, 宋海亮²

(1. 东南大学土木工程学院, 江苏南京 211189; 2. 南京师范大学环境学院, 江苏南京 210023)

摘要 农村生活污水治理是我国农村人居环境改善工作中非常重要的部分, 我国学者针对农村生活污水进行了多方位的研究。为了全面地了解这一领域的研究进展, 分析农村生活污水研究的主题演进与热点话题, 利用 CiteSpace 进行了文献计量网络分析。结果表明, 根据年度发文量, 我国农村生活污水的研究可以分为 3 个阶段。作者与机构分析显示, 影响力较大的作者与研究机构多集中在长三角地区。关键词时区分析结果表明, 本领域的核心是农村生活污水的处理, 同时也涉及污水收集、资源化利用等相关内容。经过二十多年的发展, 我国农村生活污水的相关研究深度拓展明显, 基于“灰黑分离”和“资源化”等相关内容的研究可以在未来更好地解决前端污水收集难度大、末端资源化利用途径不清晰的问题。研究利用可视化手段分析了我国农村生活污水的研究进展, 预测了该领域的研究方向, 为推进农村污染治理提供了理论依据。

关键词 农村生活污水 文献计量学 CiteSpace 可视化 中国知网

中图分类号: X799 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2023)04-0014-10

DOI: 10.15890/j.cnki.jsjs.2023.04.003

Visualization Analysis of Research Hotspots and Thematic Evolution for Rural Domestic Wastewater Treatment

LIANG Wenbo¹, XU Jiaying¹, YANG Xiaoli^{1,*}, HOU Zhongke¹, SONG Hailiang²

(1. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China;

2. School of Environment, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Abstract The treatment of rural domestic wastewater is a critical part of China's rural living environment improvement. Substantial efforts of Chinese scholars have been devoted to this theme. The study's prime objectives are to investigate the progress, trends and themes, and provide a comprehensive mapping of the field of rural domestic wastewater. The study utilizes the CNKI database to search, filter, and extract the published article. The results indicate that the research development of rural domestic wastewater can be divided into three phases based on the annual publications. The institutions with the highest number of contributions are from Yangtze River Delta region according to the analysis of authors and institutions. The keywords timezone analysis suggests that the most articles are focus on the purification of rural domestic wastewater, with several other contents such as wastewater collection and recycling utilization. After more than 20 years of development, the research on rural domestic wastewater at home developed rapidly. The research based on "gray-black separation" and "recycling utilization" can solve the difficulty of wastewater collection and energy recycling in the future. This paper provides the past, the present and the potential future of this specific topic by visualization means and serves as an orientation and theoretical basis for promoting rural pollution control.

Keywords rural domestic wastewater bibliometrics CiteSpace visualization CNKI

2007 年夏天, 太湖流域蓝藻暴发^[1], 农村生活污水作为污染源之一受到了广泛重视。2008 年, 李

[收稿日期] 2022-04-11

[基金项目] 江苏省重点研发计划项目(BE2021619); 国家重点研发计划(2019YFD1100205)

[作者简介] 梁文伯(1995—), 男, 硕士, 主要从事农村生活污水处理研究工作, E-mail: bowenlueng@outlook.com。

[通信作者] 杨小丽, 女, 博士生导师, 研究方向为水污染控制、水环境生态修复、新兴污染物控制, E-mail: yangxiaoli@seu.edu.cn。

克强总理召开了全国农村环境保护工作电视电话会议,提出了“全面加强农村环境保护各项政策措施,努力开创农村环境保护新局面”^[2],从此农村生活污水的治理提上日程。2021年作为“十四五”的开局之年,“十四五”规划纲要中提出“要开展农村人居环境整治提升行动,以乡镇政府驻地和中心村为重点梯次推进农村生活污水治理”^[3]。

农村生活污水主要来源于厨房污水、生活洗涤、沐浴污水以及厕所污水^[4]。厨房污水中含有纤维素、淀粉、糖、脂肪和蛋白质等有机物^[5];生活洗涤、沐浴污水中含有大量含磷洗涤剂、人体皮肤分泌物和毛发等污染物;厕所污水中的有机物、氮、磷污染物远高于其他环节污染物排放量^[6]。一般农村生活污水中氮、磷浓度较高,污染物成分简单,极少含有毒有害物质,可生化性较强^[7]。

目前,农村生活污水主要存在前端收集率低、中端处理难度大和末端资源化利用路径不清晰等问题。

农村地形地貌复杂,人口分布相对分散,农村生活污水的收集难度远大于城市污水。与此同时,农村经济发展相对落后,排水管网建设不健全,污水收集率低^[8]。农村生活污水排放一般集中在白天短时间内,夜间排水量少,甚至断流,水量波动大,此外,排放量还与季节变化有关,呈现夏秋多、冬春少的特点。农村生活污水处理难度较大,处理效果不稳定^[9]。我国农村污水资源化利用尚处于起步阶段,利用途径不清晰,利用水平低下^[10]。且我国农村区域广阔,不同地区发展水平和质量存在着较大差异,使农村污水资源化难以全面落实。

农村生活污水治理工作对水环境保护和人民健康至关重要,国内众多学者在该研究领域已取得较为丰富的研究成果。为了更好地了解当前农村生活污水探究过程中涉及的研究问题,掌握该研究领域的研究现状和发展方向,该文借助科学可视化软件CiteSpace,对中国学术期刊网络出版总库(知网,CNKI)收录的文献进行系统的可视化呈现与演进分析,以期较为全面地梳理我国农村生活污水的研究进展。本文分析2001年—2021年的研究成果,明确农村生活污水这一领域的研究热点与前沿话题,分析该领域未来发展的趋势,为农村生活污水的治理提供技术基础与理论研究。

1 数据来源及研究方法

为保证原始数据的权威性与代表性,该文以CNKI核心为来源数据库进行高级检索,文献类型选择为期刊,并在文献分类目录中选择“基础科学”“工程科技I辑”“工程科技II辑”“农业科技”4个目录。本次检索时间设置为2001年—2021年,以“农村生活污水”作为主题进行检索,选择“核心期刊”,且取消“中英文拓展”。通过对检索结果的标题与摘要的查阅,剔除部分不相符文献,最终筛选出563篇相关文献。

文献计量学对掌握某一科学领域研究概况具有重要作用,借助CNKI导出的检索结果进行基于计量学原理的分析。利用Excel、Origin软件对文献结构进行相关指标的分析与作图;利用CiteSpace绘制作者共现图谱来反映作者之间的联系;利用CiteSpace对关键词进行可视化分析,探究农村生活污水领域的研究热点及主题演进。

2 结果与分析

2.1 文献结构

2.1.1 文献年代分布

根据统计结果,在2001年—2021年,在CNKI中共收录563篇关于“农村生活污水”的核心期刊文献,绘制发文量的时间序列变化如图1所示。

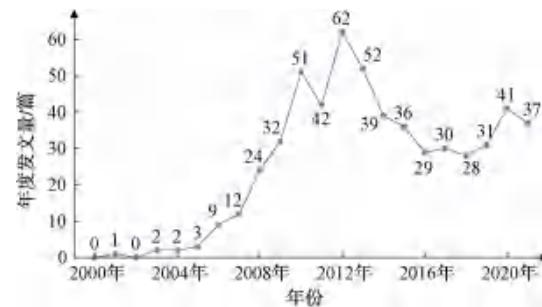


图1 农村生活污水研究发文量时间序列变化

Fig. 1 Variation of Time Series for Published Research Papers on Rural Domestic Wastewater

依据年发文量的走势,可将我国农村生活污水的研究分为3个阶段,即萌芽探索期、快速发展期、稳定波动期。

第一阶段为萌芽探索期(P1),时间为2001年—2005年,5年内共有8篇文献发布,年平均发文量为1.6篇。

第二阶段为快速发展期(P2),在2006年—2013年,随着水环境污染情况的日益严峻,各地对

于农村生活污水治理的关注也越来越多,致使众多研究人员开始关注这一领域,并产出了相应成果。在这一时期,年发文量从2006年的9篇跃升至2012年的最高点(62篇),呈现快速增长态势,年均增长率达到了约37.94%。虽然2013年的发文量有所下降,但是52篇的发文量仍处于高位。该阶段共发文284篇,约占到统计数据的50.44%。

第三阶段为稳定波动期(P3),时间为2014年—2021年。针对农村生活污水的治理进入常态化阶段,此阶段中,关于“农村生活污水”的发文量呈现波动稳定的状态,相比2012年的峰值有所下降,8年间平均发文量约为33.88篇。其中,2018年

发文量最少,为28篇;2021年发文量最多,为41篇。该阶段的发文量共计271篇。

2.1.2 主要作者及研究机构

根据普赖斯定律(Price Law)^[11],核心作者发文数 m 必须满足 $m \approx 0.749\sqrt{n_{\max}}$,其中 n_{\max} 为发文量最多的研究者发表的论文数。经计算,在本研究的情境下, $n_{\max} = 15$,核心作者的发文量应满足 $m \approx 2.90$ 。考虑到研究需要,将发文量在3篇及以上的作者视为核心作者,共计96位,因篇幅限制,表1列出了16位发文量不低于6篇的核心作者。这部分作者共发表80篇核心期刊论文,约占论文总量的14.21%。

表1 我国农村生活污水部分核心作者(发文量不低于6篇)
Tab. 1 Core Authors of Rural Domestic Wastewater at Home (No Less than 6 Papers)

序号	发文量	作者(机构)
1	15	吕锡武(东南大学)
2	12	李先宁(东南大学)
3	10	郑正(复旦大学)
4	9	何少林(同济大学)、黄翔峰(同济大学)
5	8	李旭东(同济大学)、吴迪(天津市农业资源与环境研究所)、周琪(同济大学)
6	7	高贤彪(天津市农业资源与环境研究所)、裴亮(中国科学院)、张亚雷(同济大学)
7	6	陈广(同济大学)、黄治平(农业农村部)、罗兴章(南京大学)、夏训峰(中国环境科学研究院)、杨殿海(同济大学)

进一步利用CiteSpace软件对本文检索的563篇文献进行作者共现分析,以此对农村生活污水研究领域内合作关系的密切程度进行可视化呈现。在CiteSpace软件,选择“author”作为分析因子,利用Top 50作为分析参数,生成作者合作知识图谱,共生成1853个节点和4329条连线。每1个节点代表1位作者,节点大小表示该作者的发文数量,节点之间的连线表示作者间存在合作关系,连线的粗细代表作者间合作关系的密切程度。该文选取作者共现次数大于等于3次的作者进行共现分析,共计103位学者,可视化结果如图2所示。从图中可知,目前出现了4组核心作者群:吕锡武-李先宁作者群、郑正作者群、何少林-黄翔峰作者群与吴迪-高贤彪作者群。

为了解我国“农村生活污水”的主要研究力量,还需要进一步对核心机构进行统计分析。根据研究需要,整理出发文量排名前20的机构,按照发文量大小进行排序,依次为同济大学(34篇)、东南大学(29篇)、中国环境科学研究院(22篇)、北京科技大

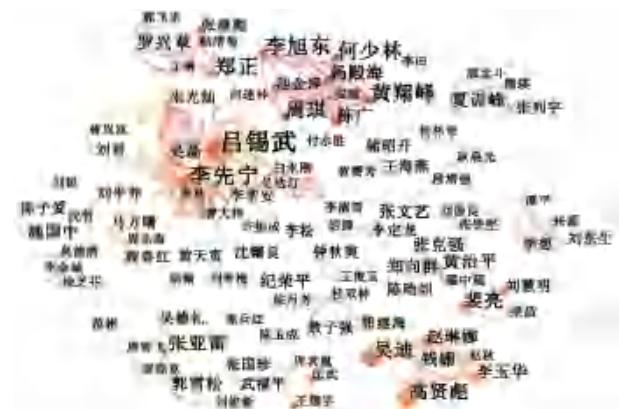


图2 农村生活污水研究作者合作网络图谱

Fig. 2 Authors Collaboration Network in Rural Domestic Wastewater Research

学(12篇)、中国科学院生态环境研究中心(11篇)、南京大学(11篇)、常州大学(10篇)、华南环境科学研究所(10篇)、苏州科技大学(10篇)、中国科学院南京土壤研究所(10篇)、复旦大学(9篇)、中国农业农村部沼气科学研究所(9篇)、重庆大学(8篇)、河海大学(8篇)、清华大学(8篇)、江苏省住房与城

乡建设厅(7篇)、天津市农业资源与环境研究所(7篇)、扬州大学(7篇)、中国环境保护部南京环境科学研究所(7篇)和中国科学院地理科学与资源研究所(7篇)。这些机构的总发文量为236篇,约占本次调研文献数量的41.92%。

2.2 研究热点及主题演化

关键词是对一项研究在主题、内容和范畴层面的高度概括,对高频关键词进行分析,可以直观地呈现该研究领域的热点主题。根据前文对于“农村生活污水”相关研究的时间划分,对所分析的文献进行分阶段的关键词共现分析,整理出各阶段出现频次较高的关键词。

利用CiteSpace软件,设置时间切片为4年,设置起始年份为2001年,终止年份为2021年,共形成6个切片,根据年份两两成为一组,依次代表3个不

同发展阶段。选择“keyword”,利用Top 50分析参数,对文献的关键词进行分析,设置关键词共现阈值为2,达到阈值标准的关键词共有120个,最终得出关键词时区图谱(图3)。其中,图中结点的数量表示出现的关键词个数,节点和字号的大小与关键词的中心度和共现次数有关,节点之间的连线表示关键词之间存在关联,连线越粗说明关键词之间关联越紧密。同时,连线的颜色也反映了相关关键词同时出现的时间。图3可以从时间维度上清晰呈现“农村生活污水”研究的阶段性热点与发展脉络。萌芽探索期共出现10个达到阈值标准的关键词,快速发展期关键词出现最多,共有72个,进入稳定波动期后,共出现37个。整体图形大致呈纺锤状,其中生活污水、人工湿地、污水处理、脱氮除磷和处理技术等关键词字体与节点均相对较大,出现频率大于20次。



图3 我国农村生活污水研究关键词时区图

Fig. 3 Keywords Timezone Analysis of Rural Domestic Wastewater Research

3 讨论

3.1 文献年代分布分析

根据CNKI年度发文量分析,我国对于农村生活污水的研究大体可以分为3个阶段:萌芽探索期(2001年—2005年)、快速发展期(2006年—2013年)和稳定波动期(2014年—2021年)。国

内第一篇关于农村生活污水的中文核心文献发表于2001年;从2006年起,论文发表数量逐年递增,且增速较快,2012年我国对于农村生活污水的研究达到顶峰,当年发表了62篇中文核心文献;此后从2014年起,发文量进入了相对稳定的阶段,呈现波动态势。

3.2 作者与机构分析

通过对农村生活污水作者和机构进行分析,东南大学的吕锡武教授、李先宁教授与复旦大学的郑正教授都是我国农村生活污水这一研究领域的高产作者,发文量均在 10 篇以上。通过作者合作网络分析可知,作者合作关系图谱的密度仅为 0.002 7,且所有作者的中心度均为 0,图谱整体相对分散,多数研究者局限于同一研究机构、同一导师的局部合作,基本不存在跨区域合作,暂未形成密度较大的合作网络。从图 2 可以看出,目前出现了 4 组核心作者群:以吕锡武与李先宁为首的作者群^[4,12-13],主要以太湖流域农村地区的生活污水作为研究对象,对不同工艺的脱氮除磷效率、氮磷资源化利用的相关内容展开研究,并开展了多处示范工程;郑正作者群^[14-15]对“蚯蚓生态滤池”这一处理工艺进行研究;以何少林、黄翔峰为首的作者群^[16-17]主要研究高效藻类塘在农村生活污水处理中的应用;吴迪-高贤彪作者群^[18-19]则主要以生物膜处理工艺作为研究对象,研究其在滨海农村生活污水处理中对污染物的去除效果。

发文机构分析结果显示,“农村生活污水”主要的研究力量大致可以分为 3 类:地方高校(同济大学、东南大学等)、国家及地方科研院所(国家环境科学研究院、华南环境科学研究所等)、政府管理机构(江苏省住房和城乡建设厅)。分析发文量前 20 的机构,除中国环境科学研究院、北京科技大学、华南环境科学研究所、重庆大学、清华大学等 10 所研究院所之外,其余 10 所机构都集中在长三角地区。同时结合核心作者分析,16 位发文量不低于 6 篇的核心作者中有 11 位来自长三角地区高校。由此可知,对于“农村生活污水”进行研究的机构主要集中在长三角区域,除了与科研院所本身的科研实力有关之外,与长三角地区水系众多、村落密布的地理条件也有很大关系,同时也受相应的政策影响^[20]。

3.3 关键词共现时区分析

关键词共现分析的可视化结果显示,生活污水、人工湿地、污水处理、脱氮除磷和处理技术等字体与节点都比较大,表明它们的共现频次较高,可以得出农村生活污水研究领域的核心内容一直围绕农村生活污水的处理展开。除此之外,我国农村生活污水这一话题的研究还涵盖着农村生活污水收集、资源化利用等多个方面,部分关键词则关注农村生活污

水治理工程的设计、建设、管理、运维和评价等相关内容。该文将结合关键词共现分析的结果,从以上几个方面,探讨我国农村生活污水的主题演进。下文中,关键词后面括号中的两个数字表示出现的频率和首次出现的阶段。例如,无动力(6/P1)表示关键词“无动力”首次出现在 P1,即在萌芽探索阶段,此关键词在时区分析中出现了 6 次。

3.3.1 农村生活污水收集

在关于农村生活污水研究的萌芽探索期,大部分研究采用无动力(6/P1)收集,利用地势地形敷设管线,尽量考虑自流排水,减少污水在收集过程中的能量消耗,降低维护难度。

进入稳定波动期之后,随着研究的深入,有学者认为有必要根据不同来源将农村生活污水进行分离处理,提出了“灰黑分离(4/P3)”的理论。在农村生活污水的分类中,黑水主要来源于冲厕污水,污水量小,但有机物浓度高、可生化性好^[21];灰水(2/P3)主要是厨房污水、洗涤及沐浴污水的混合污水,污水量大、污染浓度低^[22]。刘玲花等^[23]提出了两种灰黑分离的方案。第一种方案较为简单,黑水与灰水分别通过不同的管道系统进行收集;第二种方案则在第一种方案的基础上,将黑水中的尿液与粪便进一步分离,从而将农村生活污水分为 3 类:粪便污水、尿液与灰水。近年来,新出现了农村生活污水-真空负压源分离收集技术,虽然相比无动力收集建设费用较高,但对地形适应性强、运行成本低,且尿液、粪便分别收集处理之后可产生较高的生态价值,未来的应用前景十分广阔^[24-26]。

3.3.2 农村生活污水处理

经过多年的研究,我国学者对农村生活污水处理模式的研究日益深入。在萌芽探索期,研究集中在农村生活污水概念和常规处理工艺。从快速发展期开始,有学者借鉴美国、日本等发达国家的生活污水处理模式,对人口规模小、污水处理规模小或地形较为复杂的村落,提出采用分散收集、分散处理(8/P2)的方式^[27-28];而在人口密集、污水排放量大,但城镇排水管网无法覆盖的区域,则建议通过管网进行集中收集,再排至污水处理系统集中处理(2/P3);还有一部分村镇可铺设污水管网或距离市政排水管网较近的区域,可以直接接入城市污水处理厂统一处理。

由图 3 可知,与农村生活污水处理相关的处理

效果、去除率和处理技术等关键词出现次数较多。而作为污染物和污水处理效果的评价指标,脱氮除磷(35/P2)、氨氮(10/P2)、总磷(5/P2)、有机物(5/P2)等内容也受到了广泛关注。

农村生活污水因进水不连续、含油量较大等特性,在进入主要处理设备前一般需要进行预处理,化粪池(4/P2)、格栅、沉砂池、调节池等设施为常见的预处理手段。

在主体处理阶段,我国农村生活污水的处理工艺可以大致分为生物处理、生态处理和组合处理这3类。其中,常见的生物处理工艺有生物膜(12/P1)、生物滤池(9/P2)、滴滤池(3/P2)、生物滤塔(2/P2)和生物转盘(3/P2)等。生态处理(5/P2)是人工强化的自然净化系统,利用土壤-植物(动物)-微生物复合生态系统的物理、化学和生物特性降解污水中的污染物,回收利用污水中的水肥资源。生态处理设备一般建设费用低、能耗低,且具有一定的景观效果,但出水水质易受气候的影响,且占地面积大。人工湿地(80/P1)、稳定塘(7/P2)、土地处理(3/P2)、生态槽(2/P2)和生态沟渠(3/P3)是常见的生态处理工艺。组合工艺(5/P2)可以分为生物+生物处理组合、生态+生态处理组合和生物+生态处理组合,其中生物+生态处理占比最多^[29]。生物+生态组合工艺在前半段通过微生物去除有机物和部分营养物质,后续生态处理阶段通过复合生态系统进一步脱氮除磷,这一模式可充分发挥两种工艺的优势,提高污水处理系统的稳定性和出水水质。

从萌芽探索期开始,人工湿地就得到了广泛关注,研究和应用最为普遍^[30]。快速发展期后,针对人工湿地的结构和布水方式等开始深入研究。湿地植物(9/P2)作为人工湿地的重要组成部分,可直接利用植物吸收(2/P2)污水中的氮、磷物质;同时植物根系错综复杂,可以为微生物提供附着场所,强化微生物去除有机物的能力,植物根系有利于形成较好的缺氧-好氧微环境,进而促进脱氮^[31]。此外,研究还发现,垂直流(2/P2)人工湿地因其独特的构型可以承受较高的水力负荷,同时有着较高的污染物去除效率,得到越来越多的研究和应用。

进入快速增长期之后,研究者们还开始通过改进填料、调节曝气等手段来提高污水处理工艺效率,特别是进入稳定波动期,这些研究内容开始更加丰富精细。沸石(2/P2)、复合填料(2/P3)和建筑废

砖(2/P3)等填料可以为微生物提供大量生长空间,同时可以吸附污水中的磷,弥补微生物和植物对于总磷去除能力不足的短板^[32-34]。间歇曝气(3/P2)能够降低污水处理的运行成本,提高污水处理效率^[35];而跌水充氧(2/P2)、多级跌水(3/P3)的应用,能够强化生物处理阶段的硝化效果,同时降低曝气能耗^[36-37]。

此外,在稳定波动期中,一体化(2/P3)污水处理设备的研究和应用变得广泛^[38],其中净化槽(3/P3)作为日本具有代表性的分散污水处理技术,对我国部分地区有着较大的借鉴意义^[39]。

3.3.3 农村生活污水资源化利用

农村生活污水具有较好的可生化性,如果仅经过处理之后就直接排放,会造成大量资源浪费。而从污水中提取其他资源和能源,进行资源化回用,不仅可以减少水污染、保障水生态安全,还可以优化供水结构、增加水资源供给。

资源化(2/P3)一词出现较晚,但在快速发展期,部分学者已对农村生活污水在户用沼气(2/P2)工程中的应用进行了研究。针对分散式处理后的农村生活污水,可根据出水水质,用于农田灌溉(2/P3)、养殖业或景观环境植物灌溉。针对集中处理的农村生活污水,目前常见的资源利用手段主要有沼气工程^[40]和蔬菜型人工湿地^[41-42]。此外,在能做到农村生活污水灰黑分离收集的地区,可规模化地对黑水进行收集,采用肥料化处理工艺制成新型有机肥料,并回用于水、旱田作物。

3.3.4 农村生活污水处理实际工程

除以上关键词外,其余的部分关键词则围绕农村生活污水的工程建设展开。从萌芽探索期起,研究者主要关注污水处理设施的设计(2/P1)。进入快速发展期,长三角地区率先建设了一批示范工程(7/P2)^[43-44],此后根据相关政策的指引,全国各地纷纷开始了农村生活污水治理设施的建设。在处理设施后期的运行与维护过程中,由于资金缺乏和专业人员配备不足等问题,污水处理设施得不到合理的管理与维护,部分研究者^[45-46]为了解决相应的问题,对于污水治理设施的管理(8/P2)模式进行了研究。与此同时,优选(4/P2)、指标体系(2/P2)、评价(2/P3)等关键词的出现,表明针对污水治理工程相关评价的研究也开始增多,目前常见的农村生活污水处理模式综合评价方法有模糊评价法、层次分

析法和灰色关联法等。

关键词时区分析表明,我国农村生活污水的研究萌芽探索阶段、快速发展阶段和稳定波动阶段这3个阶段中各自具有不同的研究重点。在萌芽探索阶段,主要研究是对“农村生活污水”概念的界定,并尝试开发一些污水处理技术;快速发展阶段涌现出多种农村生活污水处理的工艺,学者重点研究不同的处理工艺下对污染物的去除效率,这个阶段生物-生态组合工艺的研究受到了广泛关注,对于工程实例的研究也在该阶段得到了发展;在快速发展期和稳定波动期,除了对于处理工艺的基础研究外,研究者们还尝试调节曝气条件和改进填料,强化污水处理设施对污染物的去除能力,而“灰黑分离”“资源化”等关键词的出现表明,部分学者开始关注农村生活污水的前端收集和末端资源化利用,研究深度有了明显拓展。

4 结论

本研究利用可视化知识图谱 CiteSpace,直观地呈现了我国农村生活污水研究的整体脉络和发展阶段,同时尝试对该领域的潜在热点与发展趋势进行探讨。研究得出以下主要结论。

(1)根据年度发文量,农村生活污水研究可分为3个阶段,即萌芽探索期(2001年—2005年)、快速发展期(2006年—2013年)和稳定波动期(2014年—2021年)。农村生活污水处理发展速度快、相关研究具备一定的广度与深度,这与我国对于农村人居环境的重视、乡村振兴战略的实施有关。

(2)以同济大学、东南大学和中国环境科学研究院为代表的多所高校和研究院所对农村生活污水开展了深入研究,涌现出了一批该领域的专家学者。其中,长三角的研究机构和学者在这一领域最为活跃,发文量最多的20所机构有10所位于长三角地区,发文量前16位的作者有11位作者来自于长三角地区高校。

(3)农村生污水相关研究在不同阶段有不同的研究重点,但农村生活污水处理一直是农村生活污水的核心研究内容,大量文献针对处理工艺的研究和污染物的去除展开了研究。经过3个发展阶段之后,我国农村生活污水的相关研究深度拓展明显,部分学者开展了基于“灰黑分离”“资源化”等的研究。未来的农村生活污水研究方向可以整合不同评价指

标体系和方法,更好地解决前端污水收集难度大、末端资源化利用途径不清晰的问题。

参考文献

- [1] 秦伯强,王小冬,汤祥明,等.太湖富营养化与蓝藻水华引起的饮用水危机——原因与对策[J].地球科学进展,2007,22(9):896-906.
QIN B Q, WANG X D, TANG X M, et al. Drinking water crisis caused by eutrophication and cyanobacterial bloom in Lake Taihu: Cause and measurement[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(9): 896-906.
- [2] 新华社.李克强出席全国农村环境保护工作电视电话会议[EB/OL].(2008-07-24)[2022-04-11].http://www.gov.cn/jrzq/2008-07/24/content_1055149.htm.
Xinhuanet. Li Keqiang attends national television and telephone conference on rural environmental protection work [EB/OL]. (2008-07-24) [2022-04-11]. http://www.gov.cn/jrzq/2008-07/24/content_1055149.htm.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府.中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要[EB/OL].(2021-3-13)[2022-03-19].http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
The Central People's Government of the People's Republic of China. The 14th Five-Year Plan for national economic and social development of the People's Republic of China and outline of the vision for 2035 [EB/OL]. (2021-3-13) [2022-03-19]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.
- [4] 程方奎,巩子傲,汪思宇,等.农村生活污水低耗资源化处理工艺应用[J].东南大学学报(自然科学版),2020,50(6):1076-1083.
CHENG F K, GONG Z A, WANG S Y, et al. Application of low-consumption resource-recovery process for rural domestic sewage treatment [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2020, 50(6): 1076-1083.
- [5] 刘晓慧.安徽省农村生活污水成分特征与排放规律研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
LIU X H. The characteristics of constituent and emissions on rural wastewater in Anhui province[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2016.
- [6] 杨蕾,于振江,刘洁,等.光催化自清洁膜的发展现状及其在厕所污水处理中的应用展望[J].净水技术,2021,40(3):33-41.
YANG L, YU Z J, LIU J, et al. Development status of photocatalytic self-cleaning membranes and application prospect in toilet wastewater treatment [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(3): 33-41.
- [7] 翟建宇.农村生活污水就地资源化利用试验研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2019.

ZHAI J Y. Study on the technology of resource utilization of rural domestic sewage on the spot [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2019.

[8] 严程. 农村生活污水全收集难点及对策研究[J]. 给水排水, 2019, 55(8): 23-26.

YAN C. Countermeasures about complete sewage collection of rural domestic wastewater[J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 55(8): 23-26.

[9] 郑孜文, 张莹, 李志刚. 惠州市惠城区农村生活污水处理现状、问题及对策[J]. 给水排水, 2016, 52(s1): 52-55.

ZHENG Z W, ZHANG Y, LI Z G. Status quo, problems and countermeasures of rural domestic sewage treatment in Huicheng District, Huizhou City [J]. Water & Wastewater Engineering, 2016, 52(s1): 52-55.

[10] 付浩, 阎海, 邱长浩. 人口密集地区农村生活污水治理若干问题探讨[J]. 给水排水, 2020, 56(9): 9-14.

FU H, LÜ H, QIU C H. Discussion on several problems of rural domestic sewage treatment in densely populated areas[J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(9): 9-14.

[11] PRICED J D S. Little science, big science [M]. Manhattan: Columbia University Press, 1963.

[12] 吕锡武. 可持续发展的农村生活污水生物生态组合治理技术[J]. 给水排水, 2018, 54(12): 1-5.

LÜ X W. Biological-ecological combined technology for sustainable development of rural domestic sewage treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(12): 1-5.

[13] 周超群, 吴磊, 李先宁, 等. 用于农村污水安全灌溉的新型氮磷无机化反应器的实验研究[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1443-1450.

ZHOU C Q, WU L, LI X N, et al. A novel nitrogen and phosphorus inorganic reactor to process rural sewage for safe irrigation[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(7): 1443-1450.

[14] 郭飞宏, 汪龙眠, 张继彪, 等. 蚯蚓生态滤池对农村生活污水的深度净化效果[J]. 环境工程学报, 2012, 6(3): 714-718.

GUO F H, WANG L M, ZHANG J B, et al. Study of earthworm ecology filter for rural sewage purification[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2012, 6(3): 714-718.

[15] 方彩霞, 罗兴章, 郭飞宏, 等. 蚯蚓生态滤池对生活污水中氮的去除作用[J]. 环境科学, 2010, 31(2): 352-356.

FANG C X, LUO X Z, GUO F H, et al. Nitrogen removal in earthworm ecofilter treating domestic wastewater [J]. Environmental Science, 2010, 31(2): 352-356.

[16] 黄翔峰, 何少林, 陈广, 等. 高效藻类塘系统处理农村污水脱氮除磷及其强化研究[J]. 环境工程, 2008, 26(1): 7-10, 2.

HUANG X F, HE S L, CHEN G, et al. Enhancement of nutrient removal from domestic wastewater with HRAP in rural areas[J]. Environmental Engineering, 2008, 26(1): 7-10, 2.

[17] 李旭东, 周琪, 黄翔峰, 等. 高效藻类塘系统处理太湖地区农村生活污水[J]. 水处理技术, 2006, 32(6): 61-64.

LI X D, ZHOU Q, HUANG X F, et al. Treatment of rural domestic sewage by highly effective algal pond in Taihu Lake area [J]. Technology of Water Treatment, 2006, 32(6): 61-64.

[18] 赵琳娜, 吴迪, 高贤彪. 日光型厌氧好氧-体化技术在农村生活污水处理中的应用[J]. 环境工程, 2012, 30(s2): 73-75.

ZHAO L N, WU D, GAO X B. The application of sunlight type anoxia-oxidation integration technology in rural domestic sewage treatment [J]. Environmental Engineering, 2012, 30(s2): 73-75.

[19] 吴迪, 高贤彪, 钱姗, 等. 厌氧-局部循环供氧生物膜技术的脱氮特性[J]. 中国给水排水, 2013, 29(5): 15-18.

WU D, GAO X B, QIAN S, et al. Nitrogen removal with anaerobic and local circulating oxygen-supply biofilm [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(5): 15-18.

[20] 江苏省人民政府. 江苏省太湖水污染治理工作方案的通知 [EB/OL]. (2007-09-10) [2022-04-11]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2007/9/10/art_46143_2543733.html. Jiangsu Province Government. Notice on the implementation plan for Taihu Lake water pollution control in Jiangsu Province [EB/OL]. (2007-09-10) [2022-04-11]. http://www.jiangsu.gov.cn/art/2007/9/10/art_46143_2543733.html.

[21] RANDALD G, NAIDOO V. Urine: The liquid gold of wastewater[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2018, 6(2): 2627-2635. DOI: 10.1016/j.jece.2018.04.012.

[22] SHAIKH I N, AHAMMED M M. Quantity and quality characteristics of greywater: A review [J]. Journal of Environmental Management, 2020, 261: 110266. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110266.

[23] 刘玲花, 张盼伟, 王启文. 基于源分离的农村分散式生活污水处理技术[J]. 水利水电技术, 2019, 50(6): 196-202.

LIU L H, ZHANG P W, WANG Q W, et al. Source separation-based rural decentralized domestic wastewater treatment technology[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2019, 50(6): 196-202.

[24] 方祖磊, 胡立锋, 雷凯荣, 等. 溧阳市农村生活污水收集系统案例分析与探讨[J]. 给水排水, 2021, 57(3): 68-73.

FANG Z L, HU L F, LEI K R, et al. Analysis and discussion on collection system of village sewage treatment about Liyang [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(3): 68-73.

[25] 张建明, 王雷, 刘兴哲, 等. 室外负压排水技术在北方山区农村污水收集处理工程中的应用[J]. 给水排水, 2018, 54(6): 24-28.

ZHANG J M, WANG L, LIU X Z, et al. Application of outdoor

negative pressure drainage technology in rural sewage collection and treatment engineering in northern mountainous area [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 54(6): 24-28.

[26] 贾海峰,王军,张健,等.居住区负压源分离系统与传统排水系统的比较[J].中国给水排水,2014,30(11):131-134.

JIA H F, WANG J, ZHANG J, et al. Comparison between vacuum source separation eco-sanitation system and traditional drainage system in a residential area [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(11): 131-134.

[27] OTIS R J. Decentralized wastewater treatment: A misnomer[C]. Orlando: On-Site Wastewater Treatment: Proceedings of The Eighth National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems, 1998: 21-26.

[28] FUNAMIZU N. Current status of wastewater technologies for small communities in Japan [C]. Beijing: Water Infrastructure for Sustainable Communities: China and the World, 2010.

[29] 谢林花,吴德礼,张亚雷.中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):865-870.

XIE L H, WU D L, ZHANG Y L. Analysis and evaluation of China's rural domestic sewage treatment technology [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(10): 865-870.

[30] 林卉,姜忠群,冒建华.人工湿地在农村生活污水处理中的应用及研究进展[J].中国农业科技导报,2020,22(5):129-136.

LIN H, JIANG Z Q, MAO J H. Application and research of constructed wetlands in rural wastewater treatment [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2020, 22(5): 129-136.

[31] 裴亮,孙莉英.水生植物在人工湿地处理农村生活污水中的应用研究[J].中国农村水利水电,2014(10):26-29.

PEI L, SUN L Y. The application of aquatic plants in constructed wetland system for treatment of rural domestic sewage [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(10): 26-29.

[32] 陈兵红.沸石固定化细胞处理农村生活污水中氨氮效果研究[J].环境科学与技术,2009,32(7):132-135.

CHEN B H. Biodegradation effect of ammonia nitrogen in rural domestic wastewater by immobilized cells with zeolite [J]. Environmental Science & Technology, 2009, 32(7): 132-135.

[33] 陈咄圳,华进程,郑向群,等.以建筑废砖为填料的人工湿地对农村生活污水的净化效果[J].环境工程,2017,35(9):35-39.

CHEN P Z, HUA J C, ZHENG X Q, et al. Purifying effects of rural sewage using constructed wetlands with building waste brick as filler [J]. Environmental Engineering, 2017, 35(9): 35-39.

[34] 谢冬冬,冯洪波,潘增锐,等.碳酸钙和铁碳复合填料去除农村生活污水中的磷[J].中国给水排水,2020,36(7):93-96.

XIE D D, FENG H B, PAN Z R, et al. Removal of phosphorus in rural sewage by calcium carbonate and iron-carbon composite filler [J]. China Water & Wastewater, 2020, 36(7): 93-96.

[35] 李玲,周北海,马方曜,等.一体式A/O接触反应器处理农村生活污水启动研究[J].水处理技术,2013,39(3):77-80.

LI L, ZHOU B H, MA F S, et al. Study on the startup of integrated A/O biofilm reactor for rural domestic wastewater treatment [J]. Technology of Water Treatment, 2013, 39(3): 77-80.

[36] 钟秋爽,王俊玉,付卫国.厌氧-多级跌水新型人工湿地处理农村生活污水研究[J].给水排水,2013,49(9):42-45.

ZHONG Q S, WANG J Y, FU W G. Study on treatment of rural domestic sewage by anaerobic-multistage cascade new artificial wetland [J]. Water & Wastewater Engineering, 2013, 49(9): 42-45.

[37] 熊仁,谢敏,冯传禄,等.厌氧+跌水曝气+人工湿地组合工艺处理农村生活污水[J].环境工程学报,2019,13(2):327-331.

XIONG R, XIE M, FENG C L, et al. Rural domestic sewage treatment by a combined process of anaerobic tank, drop-aeration and constructed wetland [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2019, 13(2): 327-331.

[38] 李昀婷,石玉敏,王俭.农村生活污水一体化处理技术研究进展[J].环境工程技术学报,2021,11(3):499-506.

LI Y T, SHI Y M, WANG J. Research progress on integrated treatment technologies of rural domestic sewage [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2021, 11 (3): 499-506.

[39] 于钢,唐毅,郝晓伟,等.日本净化槽技术在农村生活污水处理中的应用[J].环境工程学报,2013,7(5):1791-1796.

YU G, TANG Y, HAO X W, et al. Application of Japanese johkasou technology in treatment of rural domestic sewage [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2013, 7 (5): 1791-1796.

[40] 王俞薇,顾科菲,朱筱洁,等.沼气池与人工湿地净化农村生活污水的效果[J].浙江农业科学,2010(5):1091-1093.

WANG Y W, GU K F, ZHU X J, et al. Effect of biogas digester and constructed wetland on purification of rural domestic sewage [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2010 (5): 1091-1093.

[41] 查晓.源头分离的农村生活污水处理组合工艺系统研究[D].南京:东南大学,2021.

ZHA X. Research on bio-eco treatment system for domestic wastewater in rural area based on source separation [D]. Nanjing: Southeast University, 2021.

(下转第 78 页)

[6] 王海亮,周云,孙坚伟,等. 二次供水常见水质问题及防治技术[J]. 净水技术, 2010, 29(4): 71-74.
WANG H L, ZHOU Y, SUN J W, et al. Common water quality problems and control technology for secondary water supply[J]. Water Purification Technology, 2010, 29(4): 71-74.

[7] 王强,赵月朝,屈卫东,等. 1996—2006年我国饮用水污染突发公共卫生事件分析[J]. 环境与健康杂志, 2010(4): 328-331.
WANG Q, ZHAO Y C, QU W D, et al. Investigation of drinking water contamination incidents in China during 1996—2006[J]. Journal of Environment and Health, 2010(4): 328-331.

[8] 毛青,陈盛达,李树平,等. 叠压供水与市政管网水力作用模拟与分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(13): 62-66.
MAO Q, CHEN S D, LI S P, et al. Simulation and analysis of hydraulic interaction of pressure-superposed water supply and municipal pipe network [J]. China Water and Wastewater, 2019, 35(13): 62-66.

[9] 王欢欢,刘书明,姜帅,等. 无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析[J]. 环境科学, 2013, 34(1): 163-168.
WANG H H, LIU S M, JIANG S, et al. Hydraulic simulation and safety assessment of secondary water supply system with anti-negative pressure facility[J]. Environmental Science, 2013, 34(1): 163-168.

[10] 李礼,李玉仙,王敏,等. 管垢差异对水源切换后铁释放程度的影响及其黄水风险判断[J]. 给水排水, 2016, 52(s1): 273-277.
LI L, LI Y X, WANG M, et al. The iron release rules of the pipes with different scale when water source switch and red water risk prediction[J]. Water and Wastewater Engineering, 2016, 52(s1): 273-277.

[11] 肖贵勇,崔宝荣,邓慧伶,等. 北京市丰台区2003~2009年二次供水水质检测结果分析[J]. 现代预防医学, 2011, 38(14): 2703-2705.
XIAO G Y, CUI B R, DENG H L, et al. Analysis of the monitoring results of the secondary water quality in Fengtai District of Beijing from 2003 to 2009 [J]. Modern Preventive Medicine, 2011, 38(14): 2703-2705.

[12] 王芸,张琨,王绍华,等. 2013—2015年北京市西北部山区3种类型饮用水水质分析[J]. 职业与健康. 2016, 32(23): 3261-3263.
WANG Y, ZHANG K, WANG S H, et al. Analysis on water quality of three types of drinking water in northwest mountainous area of Beijing from 2013—2015 [J]. Occupation and Health, 2016, 32(23): 3261-3263.

[13] 李相宜,赵蓓,游晓旭,等. 供水管道管材的特性及应用综述[J]. 净水技术, 2021, 40(7): 52-59.
LI X Y, ZHAO B, YOU X X, et al. General review of characteristics and application for water supply pipeline materials [J]. Water Purification Technology, 2021, 40(7): 52-59.

[14] 乔森,陆桥君. 一起生活饮用水污染蜡样芽孢杆菌的检测与分析[J]. 江苏预防医学, 2019, 30(6): 679-680.
QIAO M, LU Q J. Detection and analysis of bacillus cereus in a drinking water pollution [J]. Jiangsu Journal of Preventive Medicine, 2019, 30(6): 679-680.

(上接第22页)

[42] 李甲琳,陈桂顶,杨忠莲,等. 水培蔬菜与潜流湿地组合工艺净化农村生活污水尾水[J]. 净水技术, 2019, 38(10): 94-100, 123.
LI J L, CHEN G D, YANG Z L, et al. Tail water purification of rural sewage by combined processes of hydroponic vegetables and subsurface flow wetland [J]. Water Purification Technology, 2019, 38(10): 94-100, 123.

[43] 张文艺,罗鑫,刘明元,等. 常州市武进区农村生活污水处理示范工程[J]. 中国给水排水, 2012, 28(12): 75-78.
ZHANG W Y, LUO X, LIU M Y, et al. Rural domestic sewage treatment demonstration project in Wujin District, Changzhou City [J]. China Water & Wastewater, 2012, 28(12): 75-78.

[44] 郭迎庆,黄翔峰,张玉先,等. 太湖地区农村生活污水示范工程处理工艺的选择[J]. 中国给水排水, 2009, 25(4): 6-9.
GUO Y Q, HUANG X F, ZHANG Y X, et al. Selection of treatment process for rural domestic sewage demonstration project in Taihu Lake region [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(4): 6-9.

[45] 曲波,谭学军,顾俊,等. 县(市)域农村污水处理设施集约化运行管理方式与应用[J]. 中国给水排水, 2016, 32(22): 34-38.
QU B, TAN X J, GU J, et al. Intensive operation management of sewage treatment facilities in rural areas in one county territory [J]. China Water & Wastewater, 2016, 32(22): 34-38.

[46] 陈锐,崔贤程,黄天寅,等. 分散式农村生活污水处理设施统一管理模式研究——以平望镇为例[J]. 给水排水, 2020, 56(9): 15-19, 59.
CHEN R, CUI X C, HUANG T Y, et al. Research on unified management mode of decentralized rural domestic sewage treatment facilities: A case study of Pingwang Town [J]. Water & Wastewater Engineering, 2020, 56(9): 15-19, 59.