

中国农村生活污水处理技术研究进展

王园园, 刘增进

(华北水利水电大学 水利学院, 郑州 450000)

摘要:在农村污染状况日益严峻的背景下,分析中国污水处理技术发展现状,探索适宜污水处理技术,对提升生活污水治理率、推动农村人居环境整治、建设宜居美丽乡村具有重要意义。采用 Meta 分析方法,对近年来农村生活污水处理技术研究及专利公开情况进行统计学分析。总结国内农村常用生活污水处理技术现状,分析中国农村污水处理技术对主要污染指标的去除效果,统计农村污水处理技术专利申请情况,为农村生活污水治理提供参考性价值,为实现农村可持续发展奠定基础。

关键词:农村生活污水;处理技术;研究进展

中图分类号:X703 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2022)01-0273-06

当前,环境污染状况日益严重,已成为亟待解决的热点问题。伴随着城乡二元制被打破,更多资源开始向农村地区流动,污染也呈现出从城市向农村迅速扩散的趋势^[1-2]。近年来,中国农村地区生活污水排放量逐年递增,但大部分仍采取的是粗狂排放的模式,缺乏有效治理或治理水平不高。当前的污染状况严峻,而治理基础薄弱,在处理技术缺乏、群众意愿不高和国家政策倾斜等现状下,未能有效处理的生活污水排放对生态环境产生了严重的影响^[3-4]。农村地区的环境污染主要体现在沟塘水体污染、人居环境恶化和生态遭到破坏等方面^[5-6]。

根据《2019 年中国城乡建设统计年鉴》公布的数据:农村地区生活污水整体治理水平不高,全国进行污水处理的乡有 3 156 个,得到治理的乡仅占 33.3%,总体处理能力仅有 $80.11 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。农村生活污水治理与城市情况不同,农村地区的处理技术、排放标准、管理水平等尚无明确的标准,针对不同的环境,笼统地采用某一种污水处理模式并不科学。因此,通过综述农村污水处理技术的研究动态,探索农村生活污水处理技术及处理模式,有助于促进农村污水治理事业的发展,推动区域水体环境的整治和改善。

本文以农村污水处理技术的研究状况及相应的处理效果、出水标准、适宜条件为基础,探索污水处理技术与农村的适用性和匹配模式,综合考虑地

区环境因素的影响,以期得到因地制宜的农村污水处理技术。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文的数据来源于中国知网(CNKI)近 20 年来关于农村生活污水处理技术的相关文献,共计 185 篇,分别选取了进出水质、污染物去除率以及达到的出水标准,进行了归纳分类与统计学分析。专利信息来源于中国专利信息网有关农村生活污水处理专利的研究情况,统计了历年专利申请公开信息、专利区域统计信息、专利技术布局信息等。

1.2 数据处理

采用 Meta 分析方法,对近年来农村生活污水处理技术研究和专利公开情况进行了综合分析;采用 SPSS 进行数据分析,采用 Origin 进行绘图。

2 中国农村生活污水处理技术研究进展

2.1 国内外常用农村污水处理技术

目前国内外应用的农村生活污水处理技术众多,种类繁多,按照工艺单元可分为生物处理技术、生态处理技术和组合处理技术。生物处理技术主要利用各类微生物在厌氧或好氧条件下进行的代谢活动和生物化学反应来分解吸收污水中的有机物、氮和磷,达到处理污水的效果^[7]。该技术常用的方法有生物滤池法、厌氧-好氧法(A/O)法、序批式活性污泥(SBR)法和生物转盘等方法。生态处理技术是利用土壤-植物-微生物复合系统共

收稿日期:2021-09-13

作者简介:王园园(1996—),女,河北邯郸人,华北水利水电大学水利学院,硕士研究生,研究方向为水环境与水生态。

同作用的原理,通过过滤、吸收和分解作用使污水得到净化,常用的生态处理技术有人工湿地、土壤渗滤系统、稳定塘等^[8-9]。组合处理技术是在单级工艺无法满足处理要求时,采用的多种工艺结合的处理技术^[10],其组合类型分为生物+生物、生物+生态、生态+生态的组合,可发挥各工艺优势,

提高出水水质。

根据国内外农村生活污水处理的实际应用情况来看,采用的主要是厌氧沼气池技术、土地渗滤技术、人工湿地技术、稳定塘技术、生物滤池以及生物+生态组合工艺 6 类。不同处理技术的应用范围及优缺点见表 1^[11-22]。

表 1 农村生活污水主要处理技术

技术	处理效果	运行费用	占地	适用范围	优点	缺点
厌氧沼气池技术 ^[11]	处理效果一般、受原料影响较大	基本无运行成本	较小	经济欠发达、规模小、人口居住分散的村庄	有机物去除率高、卫生效果好、可获得优质燃气	发酵原料缺乏、秸秆由于难以消化,必须预先经过堆沤才有利于沼气发酵
土壤渗滤技术 ^[12-13]	BOD ₅ 、TP > 80%, COD、TN 去除率大约在 60% 左右	0.02~0.2	小	适用于气候相对稳定的地区	处理费用低、运行维护简单,对有机物和氨氮处理效果好	污水处理能力有限,长期处于地下,系统氧气不足处理能力会削弱
人工湿地技术 ^[14,22]	COD、BOD ₅ 、SS、TP> 80%, TN 约为 50%	0.05~0.1	较大	地势平坦、坡地、居住相对集中的村庄	建造和运行成本低、管理维护简单、可提供和间接提供效益 ^[15]	占地面积大、易受病虫害影响、植物越冬问题 ^[16]
稳定塘技术	COD> 70%, BOD ₅ 、TSS、氨氮处理效果较好、脱氮除磷效果差	0.05	较大	经济欠发达、水资源短缺、规模小具有天然池塘的村庄	结构简单、建设运行成本低、可实现污水回用及再用、适应能力和抗冲击能力强 ^[17]	占地面积大、受气候影响大、易产生臭味和滋生蚊蝇
生物滤池 ^[18]	处理效果好	较高	较小	人口居住较为分散的农村地区	处理效果非常好、不受季节影响、不产生二次污染、抗冲击负荷能力强	运行成本较高、需要有一定的技术能力 ^[19]
生物+生态组合工艺	处理效果优异、可达到一级 A 排放标准 ^[20]	较高	较大	污水成分复杂、经济条件较好的农村	处理效果好、环境适应性强、处理能力和抗冲击负荷能力强 ^[21]	建设运行成本较高、需要一定的技术能力

2.2 中国农村生活污水处理技术研究现状

2.2.1 农村生活污水处理技术分类

通过文献调研,收集了 2000—2020 年共计 185 篇有关农村生活污水处理技术研究的文献。分析可知,生物+生态组合工艺是中国农村生活污水处理的主要研究方向,其中人工湿地和生物滤池技术在中国农村生活污水处理实践中发挥了重要的作用(图 1、图 2)。

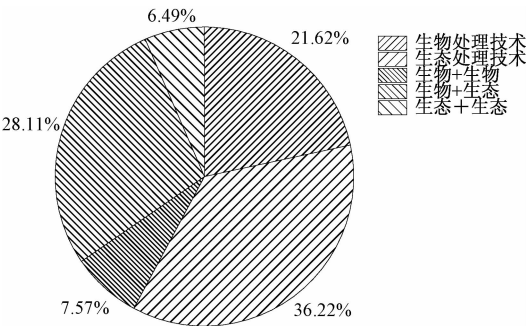


图 1 农村生活污水处理技术

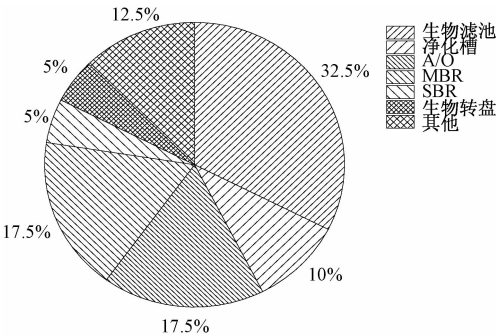


图 2 生物处理技术类别

在近 20 年的农村生活污水处理技术研究中,生物处理、生态处理和组合处理技术的占比分别为 22%、36%和 42%。生物处理技术主要采用生物滤池、MBR 和净化槽,占比分别为 33%、18%和 17%。生态处理技术主要采用人工湿地和土壤渗滤系统,其次采用的是稳定塘(图 3),应用占比分别为 37%、28%和 18%。组合工艺主要采用以生物处理与生态处理相结合的方式,共有 52 项研究采用了生物+

生态组合方式,占全部组合工艺的 66.7%。统计了农村生活污水处理的各类技术,人工湿地共出现了 53 次。土壤渗滤出现了 33 次,由此可见,农村生活污水处理技术的研究更加倾向于具有低成本、易管理并能够充分发挥农村土地优势的技术。

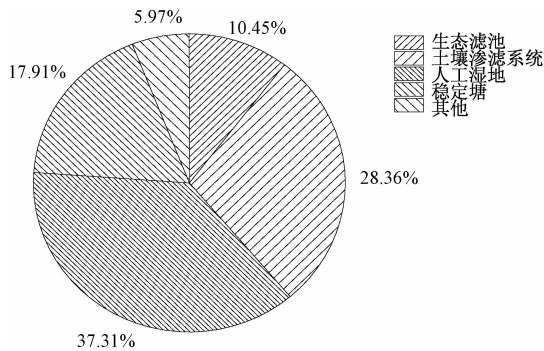


图 3 生态处理技术类别

2.2.2 污染指标去除效果分析

通过对 185 项研究中的 COD、氨氮、TN 和 TP 去除率进行统计学分析,发现在 185 项研究中,COD、氨氮、TN、TP 分别提供了 151、138、117、107 个数据,考核率分别为 81.6%、74.6%、63%、57.8%。由此可见,农村生活污水处理技术研究中,更加倾向于考核有机物和氨氮的去除效果,研究中常将 COD 去除效果作为衡量工艺处理能力的标准。

从图 4 中可以看出,现有的研究中:COD 的去除率普遍大于 70%,处理率主要集中在 80%~90%,相对频率达到了 35%,有 50% 以上的设施 COD 去除率达到了 80.22%,75% 以上的设施 COD 去除率达到了 71%,约有 20% 的设施 COD 去除率能够达到 90% 以上,整体去除水平很高;氨氮的去除率优于其他指标,超过 80% 的占比较大,相对频率达到了 69.5%,有 50% 以上的设施氨氮去除率达到了 82%,75% 以上的设施氨氮去除率为 68.5%,30% 的设施对氨氮去除率可以达到 90% 以上;TN 的去除效果较弱,50% 以上的设施处理效果仅为 67.4%,75% 的设施处理效果能够达到 56%,仅有 10% 的设施对 TN 的去除效果能够达到 90% 以上;而 TP 的去除效果比 TN 要好,但不如 COD 和氨氮,50% 以上的设施处理效果可达到 79.1% 以上,75% 的设施处理效果可达到 61.5%,约有 19.7% 的设施 TP 去除率能够达到 90% 以上。

从上述的分析中可以看出,现有的农村污水处理技术对 TN 的去除效果明显比 COD、氨氮、TP 差,去除 TN 较为困难。因此,如何提升 TN 的去除效果是目前污水处理技术需要攻克的重点问题和难点问题,也是提高出水水质、控制排放标准的关键。

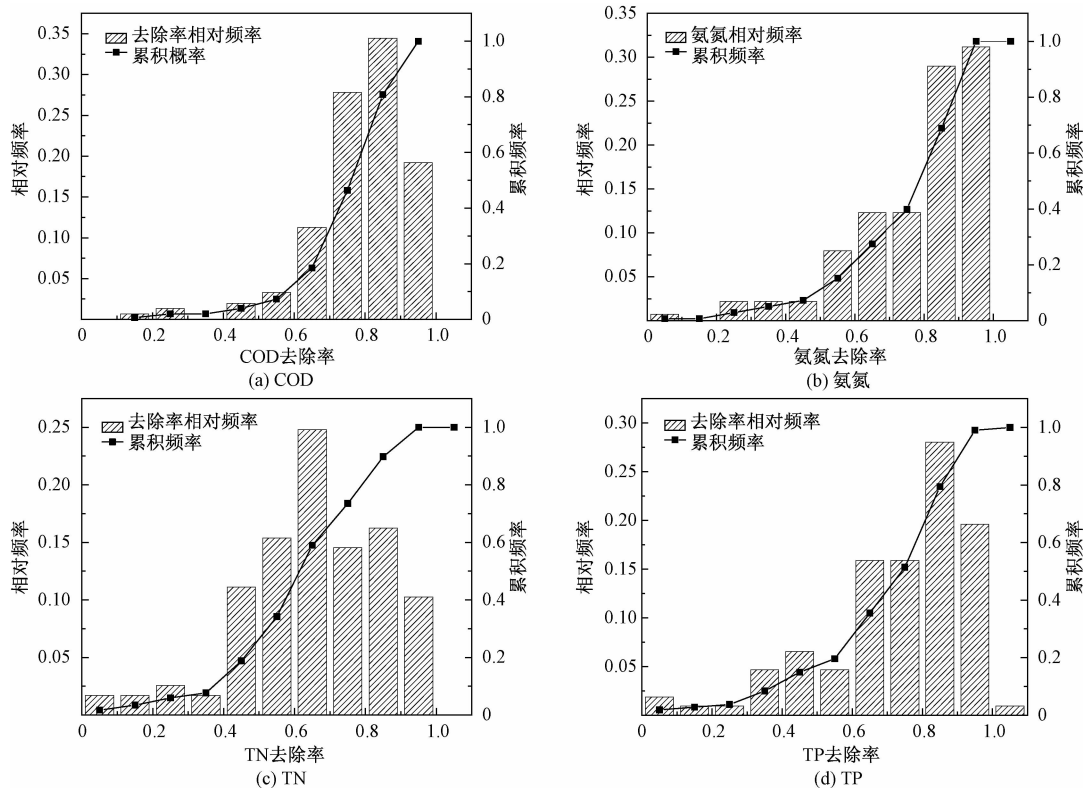


图 4 污染指标去除率累积曲线

2.2.3 出水指标达标效果分析

185 项研究中共有 147 项给定了具体出水水质或确定了出水标准,采用《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)对所述文献的出水水质进行分类,出水水质达到的标准占比如图 5 所示。从图中可以看出,各类指标中,COD 的出水达标率最好,其次是 TN、氨氮和 TP。这些研究中的出水水质表现良好,大部分出水都能达到一级 A 或一级 B 标准,这可能与大部分研究是改进工艺有关。结合前述结论,TN 在较低去除率下,出水水质达到一级 A 的比例却很高,这可能是研究中的进水含氮量较小的原因导致。从图中可以看出,现有的技术条件下农村污水处理的水质想要稳定达到一级 A 的出水标准还具有一定的难度,仍需要继续探索和改进。

2.3 农村污水处理技术专利申请公开情况

专利申请趋势侧面反映了专利技术的发展历程,从其申请量变化中可以了解各阶段技术创新情况。从图 6 中可以看出,中国有关农村污水处理技术的专利申请及公开量呈现逐年递增的趋势,从

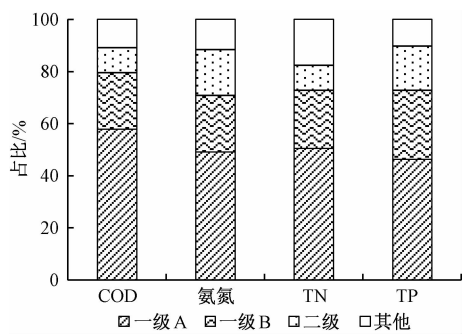


图 5 出水水质标准占比

2006 年开始,截至目前申请已公开专利 696 件,并在 2019 年达到了申请量的阶段性顶峰,该年专利申请量 157 件。图 7 反映了中国各省份专利公开数量,体现了各地区农村生活污水处理技术创新工作的进展状况^[23]。从图中可以看出江苏、浙江、广东一带是中国农村生活污水处理专利研发的重要地区,这与江浙地区较早的农村环境连片整治工作有关,该地区的污水治理工作处于中国农村的领先地位,其在建设和改造环境的过程中已展开了较多的探索^[24-25]。

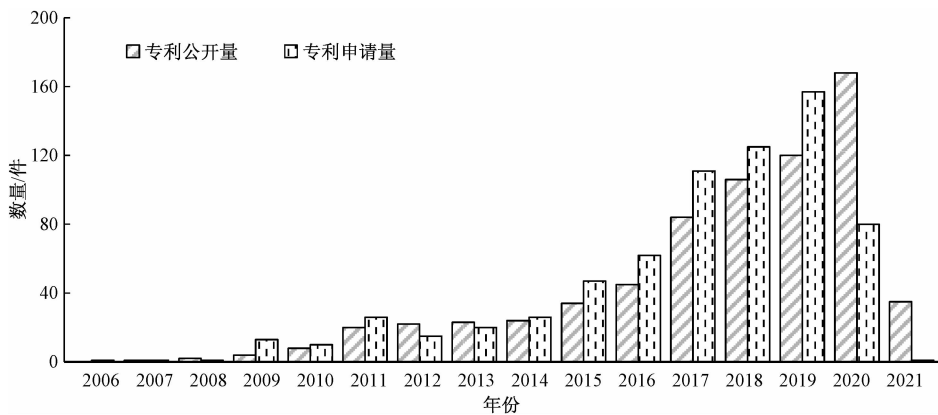


图 6 专利总体趋势

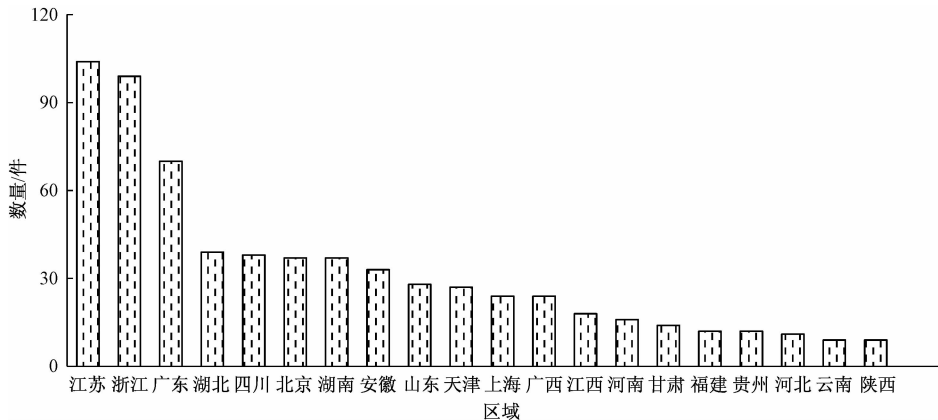


图 7 专利区域统计

通过对专利技术布局进行统计分析,有助于了解当前专利检索领域的技术分布状况,从而找到专利技术申请热点与空白点,帮助我们了解目前农村生活污水处理的重点研发方向以及研究薄弱点。从专利技术布局(图 8)来看,中国农村生活污水处理领域内的专利申请主要集中于 C02F9/14、C02F3/30 上,而关于 C02F3/34 和 C02F9/08 的申请量较少。根据 IPC 国际专利分类规则,C02F9/14 表示至少有一个生物处理步骤,C02F3/30 表示厌氧和好氧工艺,C02F3/34 表示以利用微生物为特征,C02F9/08 表示至少有一个物理处理步骤。由此可知,中国农村生活污水处理的专利创新点主要集中在生物处理方向上,这与农村的污水处理技术主要采用人工湿地和土壤渗滤的观点是一致的。城镇污水处理厂在采用活性污泥法、膜法等方法的同时还会采用物理沉降、吸附、化学处理等物理化学方法,但该方法在农村地区明显不适用。

当前农村污水处理专利中对氨氮去除的重视程度要高于总氮,但现有的研究表明提升 TN 的去除效果是需要攻克的重点问题和难点问题^[23]。由于农村地区的特殊情况(存在氮、磷等营养物质回用灌溉),对于生活污水中氮、磷的去除应结合出水的用途分别处理。在实现保护处理污水、整治乡村环境的同时,尽可能地实现营养物质的资源化利用。

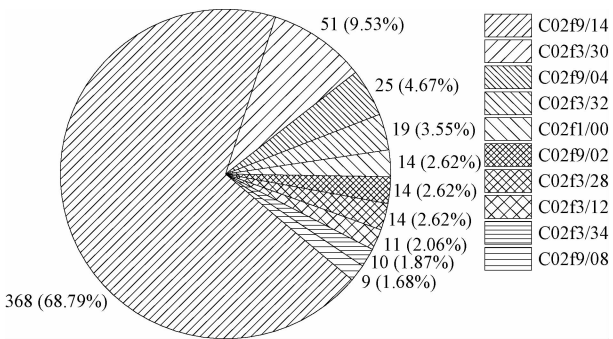


图 8 专利技术布局分析

3 结论与建议

1)中国农村地区应采取因地制宜、低成本、易管理且能够充分发挥农村土地优势的生活污水处理技术,重点可考虑人工湿地和生物滤池技术,目前生物+生态组合工艺是中国农村生活污水处理的主要研究方向。

2)现有农村生活污水处理技术研究中,重点关注有机物和氨氮的去除效果,忽略了总氮去除率低的问题,因此如何提升 TN 的去除效果是目前污水处理技术需要攻克的重点问题和难点问题,也是提

高出水水质、控制排放标准的关键。

3)中国农村生活污水处理专利创新点主要集中在人工湿地和土壤渗滤等生物处理方向上。但考虑到农村地区存在氮、磷等营养物质回用灌溉的情况,应结合出水的用途对生活污水中氮、磷的去除分别处理,在实现处理污水的同时,尽可能地实现营养物质的资源化利用。

参考文献

[1] 莫欣岳,李欢,杨宏,等.新形势下我国农村水污染现状、成因与对策[J].世界科技研究与发,2016,38(5):1125-1129.

[2] 郑玄,杨琳.新型城镇化背景下农村生态治理对策研究[J].农业经济,2019(8):27-29.

[3] 王丽君,夏训峰,朱建超,等.农村生活污水处理设施水污染物排放标准制订探讨[J].环境科学研究,2019,32(6):921-928.

[4] 付文凤,姜海,房娟娟.农村水污染治理的农户参与意愿及其影响因素分析[J].南京农业大学学报(社会科学版),2018,18(4):119-126.

[5] 侯京卫,范彬,曲波,等.农村生活污水排放特征研究述评[J].安徽农业科学,2012,40(2):964-967.

[6] 杨枝茂.水质污染对农业经济的影响及治理[J].农业经济,2017(10):19-21.

[7] PAL P. Biological treatment technology[J]. Industrial Water Treatment Process Technology,2017:65-144.

[8] JIA X J. Discussion of the developments of domestic wastewater ecological treatment in rural Area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2011.

[9] 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.

[10] XUE K,YANG Y L,LI J. Research development of fenton oxidation and its combined technology in substation wastewater treatment[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,2019,267(4):42159-42159.

[11] 朱荣.农村户用沼气工程闲置的原因及对策[J].现代农业科技,2020(17):152-153.

[12] CASTILLO G,MENA M P,DIBARRART F,et al. Water quality improvement of treated wastewater by intermittent soil percolation. [J]. Water Science & Technology,2001,43(12):187-190.

[13] HO G,MATHEW K,NEWMAN P. Water quality improvement of treated wastewater by soil percolation[R]. Water Research Foundation of Western Australia,1983.

[14] 高困.农村生活污水人工湿地处理技术研究[J].节能,2020,39(9):90-91.

[15] HENCH K R,BISSONNETTE G K,SEXSTONE A J,et al. Fate of physical,chemical,and microbial contaminants in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands[J]. Water Research,2003,37(4):

- 921-927.
- [16] MHLUM T,STLNACKE P. Removal efficiency of three Cold-Climate constructed wetlands treating domestic wastewater: Effects of temperature, seasons, loading rates and input concentrations[J]. Water Science and Technology,1999,40(3):273-281.
- [17] SILVA S A,DE OLIVEIRA R,SOARES J,et al. Nitrogen removal in pond systems with different configurations and geometries[J]. Water Science & Technology, 1995,31(12):321-330.
- [18] TEONG J,HIDAKA T,TSUNO H,et al. Development of biological filter as tertiary treatment for effective nitrogen removal: Biological filter for tertiary treatment [J]. Water Research,2006,40(6):1127-1136.
- [19] JIN-WOO J, TAIRA H, HIROSHI T. Treatment performance and operational parameters of biofilter for tertiary treatment of sewage using biofiltration model[J]. Journal of Japan Society on Water Environment,2005,28(9):581-588.
- [20] MASSOUD M A,TARHINI A,NASR J A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries[J]. Environ Manage,2009,90(1):652-659.
- [21] QINGLIANG Z,HUIYUAN Z,KUN W,et al. Removal and transformation of organic matters in domestic wastewater during lab-scale chemically enhanced primary treatment and a trickling filter treatment[J]. Journal of Environmental Sciences (China),2013,25(1):59-68.
- [22] HE L H. Study on the effect of constructed wetland technology on rural domestic sewage[J]. Contemporary Chemical Industry,2019.
- [23] 彭澍晗,董凌霄,张亚雷,等. 农村生活污水处理技术专利研究进展[J]. 环境工程,2018,36(4):1-5.
- [24] 阮晓卿,蒋岚岚,陈豪,等. 江苏不同地区典型农村生活污水处理适用技术[J]. 中国给水排水,2012,28(18):44-47.
- [25] 姜海,李成瑞,梁永红,等. 农村生活污水治理难题与对策研究:以江苏太湖地区为例[J]. 农业环境与发展,2013,30(2):1-6.

Research Progress of Rural Domestic Wastewater Treatment Technology in China

WANG Yuanyuan, LIU Zengjin

(College of Water Resources, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In the context of the increasingly serious pollution situation in rural areas, it is important to analyze the current situation of sewage treatment technology development in China and explore suitable sewage treatment technologies to improve the rate of domestic sewage treatment, promote rural habitat improvement and build a livable and beautiful countryside. Using Meta analysis method, statistical analysis is conducted on the research and patent disclosure of rural domestic wastewater treatment technology in recent years. The current situation of common domestic domestic rural domestic sewage treatment technology is summarized, the removal effect of China's rural sewage treatment technology on the main pollution indexes is analyzed, and the patent application of rural sewage treatment technology is counted, in order to provide a reference value for rural domestic sewage treatment and lay the foundation for achieving sustainable rural development.

Keywords: rural domestic sewage; treatment technology; research progress