农业资源与环境学报 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

基于CiteSpace的农村生活污水处理研究进展与趋势可视化分析

李厚禹, 张春雪, 马晓敏, 陈昢圳, 蒯伟, 郑向群, 徐艳

引用本文:
李厚禹,张春雪,马晓敏,陈圳,蒯伟,郑向群,徐艳. 基于CiteSpace的农村生活污水处理研究进展与趋势可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 326–336.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0763

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

关于“十四五”农村生活污水治理的思考
贾小梅, 于奇, 王文懿, 赵芳, 董旭辉
农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 623–626 https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0133

巢湖流域厌氧-土壤净化床工艺处理农村生活污水生态补偿标准测算
丁健, 吴晓斐, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 郑宏杰
农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 584–591 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0205

CAST一体化设备处理农村生活污水工况研究
杨大川, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 丁健
农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 575–583 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0142

太湖流域农村生活污水处理技术模式调查和分析——以江苏省为例
张亚平, 王海芹, 印杰, 管永祥, 龙珍
农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 483–491 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0002

宁波地区4种典型农村生活污水处理工艺污染物去除率比较分析
周金波, 包薇红, 罗艳, 李洋, 金树权
农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 492–498 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0124

关注微信公众号，获得更多资讯信息

李厚禹, 张春雪, 马晓敏, 等. 基于CiteSpace的农村生活污水处理研究进展与趋势可视化分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(2): 326-336.

LI H Y, ZHANG C X, MA X M, et al. Visualization of research progress and trends in rural domestic sewage based on CiteSpace[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(2): 326-336.

开放科学OSID

基于CiteSpace的农村生活污水处理研究进展与趋势可视化分析

李厚禹[1], 张春雪[1], 马晓敏[2], 陈昢圳[1], 蒯伟[1], 郑向群[1*], 徐艳[1*]

(1.农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2.中国农业科学院农业信息研究所, 北京 100081)

摘　要:农村生活污水处理是农村人居环境整治的重点任务之一。本研究基于CiteSpace对2000—2020年Web of Science(WOS)数据库中农村生活污水研究领域的研究论文进行科学计量可视化分析。结果表明,在国际上,近5年农村生活污水领域研究论文累积发表186篇,数量呈持续增长趋势,正处于"成长期",受到国内外学者的重视。基于关键词出现频率的共现与聚类分析可得,该领域研究进程中的高频关键词为"constructed wetland""performance""removal""system""nitrogen",中国知网中文文章的高频词研究内容与其一致,主要热点话题为"nitrogen removal""constructed wetland""water quality"。对农村生活污水研究关键词从时区角度分析,并结合文章引用、关键词(包括)突发检测,发现农村生活污水未来研究将聚焦在利用人工湿地、土壤渗滤系统去除污染物,优化与研发农村生活污水处理工艺(植物、温度、组合工艺等),同时需加大污水沉积物的研究力度。本研究分析了农村生活污水处理领域可视化的进展和发展趋势,预测了该领域未来的研究方向,为推进农村环境污染治理提供了理论依据。

关键词:CiteSpace;农村生活污水;可视化;人工湿地;处理工艺;污水沉积物

中图分类号:X799.3　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:2095-6819(2022)02-0326-11　　**doi**: 10.13254/j.jare.2020.0763

Visualization of research progress and trends in rural domestic sewage based on CiteSpace

LI Houyu[1], ZHANG Chunxue[1], MA Xiaomin[2], CHEN Peizhen[1], KUAI Wei[1], ZHENG Xiangqun[1*], XU Yan[1*]

(1. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191, China; 2. Agricultural Information Institute of CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Rural domestic sewage treatment is one of the vital tasks of rural environmental renovation. Herein, the research articles in the field of rural domestic sewage research from 2000 to 2020 in the Web of Science(WOS) were visualized in an analysis of scientometrics based on CiteSpace. Globally, 186 research articles have been published in the field of rural domestic sewage in the past five years, and the number continues to increase. This field is in the "growth" stage, attracting attention from scholars globally. A co-occurrence and clustering analysis of the frequency of keywords was performed. High-frequency keywords in the research of rural domestic sewage treatment were found to be "constructed wetland" "performance" "removal" "system", and "nitrogen". The content of high frequency words in Chinese articles from the Chinese National Knowledge Infrastructure was consistent with WOS. The main topics were "nitrogen removal" "constructed wetland", and "water quality". The analysis of the time zone and the article references, and keywords with bursts suggested that the research on rural domestic sewage treatment focused on using constructed wetlands, multi-soil-layering to remove

收稿日期:2020-12-19　　**录用日期**:2021-01-20

作者简介:李厚禹(1994—),男,山东临沂人,博士研究生,从事水环境生态研究。E-mail:357643948@163.com

***通信作者**:郑向群　E-mail:zhengxiangqun@126.com;徐艳　E-mail:xuyan@aepi.org.cn

基金项目:中国农业科学院创新工程所级重点项目(2020-cxgczdrw-zxq)

Project supported: Innovation Engineering Project of CAAS(2020-cxgczdrw-zxq)

contaminants, optimization and development of technology (including plants, temperature, combination, etc.), and exploring the environmental problems which are going to happen with sewage sediment in the future. This paper provides a visualization of research progress and trends in rural domestic sewage, predicts the research content in the future, and provides a theoretical basis to promote rural environmental renovation.

Keywords: CiteSpace; rural domestic sewage; visualization; constructed wetlands; treatment technology; sewage sediment

农村污水治理是巩固脱贫成效、实施乡村振兴、全面建成小康社会的重要环节[1]，也是农村人居环境整治的主攻方向之一[2]。由于农村生活污水具有产生量大、范围广、处理率低、氮磷排放负荷高等特点，处理不当将直接影响农村饮用水源安全及环境质量[3-4]。在我国农村，每年产生的生活污水量约为70亿t，占全国污水排放总量的50%以上。然而，与城市污水处理率（高达91.97%）相比，我国农村污水处理率仅为13%~34%[5]。这是由于在农村污水处理的技术路线上，现阶段未有较大突破，大多仍然沿用城市污水处理的思路，其不适用于相对分散的村庄和农户[6]。因此，亟需因地制宜做好农村生活污水处理，提高农村生活污水处理效率，促进农村人居环境整治工程的顺利实施。

为了有效处理与利用农村生活污水，需要对农村生活污水处理研究领域进行全面分析与掌握，进一步明确该领域的研究方向。然而，目前的研究主要集中在农村生活污水中氮磷的处理等方面，而关于农村生活污水中典型污染物的消控、污水自身与周边环境作用产生的效益以及生活污水处理成本效益评估等方面研究尚少。为综合探究农村生活污水处理工艺、性能、效果、效应等问题，需明确当前农村生活污水治理研究进展与发展趋势，全面梳理农村生活污水领域所涉及的研究问题，抓住问题主线，掌握该领域的研究现状与未来发展方向，从而提高农村生活污水处理理论研究与实际应用的融合度，有效提高处理效果。CiteSpace是一个信息可视化分析程序，用于科学地分析文献数据及其所包含的潜在信息[7]。文献数据包括标题、作者、从属关系、期刊、关键词以及引用信息等，根据数据特性可以产生引文网络、共现网络和文献耦合[8]。这些分析可以识别文献中的模式，显示热点话题的演变，识别里程碑研究的影响，分析文章和参考文献之间的关系[9]。现阶段，部分学者通过文献计量手段对研究进行分析，从而快速了解某些领域研究进展。张晓晗等[10]基于CiteSpace明确了国内乡村振兴研究热点为“乡村振兴战略”“乡村生活”“农业农村现代化”“产业兴旺”4个主题。封亮等[11]则基于CiteSpace V可视化分析了乡村生态文明研究的知识图谱，提出了乡村生态文明研究在今后应注重解决短板问题，全面协调研究。因此，对于农村生活污水研究领域的全方位分析也可通过CiteSpace实现。

综上所述，本研究从文献数据计量角度出发，基于CiteSpace对农村生活污水处理领域的研究论文进行可视化分析，概述农村生活污水研究现状，明确该领域的研究热点与前沿，同时分析该领域未来的发展趋势与问题焦点，为农村生活污水污染治理提供理论依据与技术基础。

1 数据采集与分析

1.1 数据收集

为明确国际学术领域对农村生活污水处理研究的热点与未来发展趋势，本研究分析的数据为Web of Science核心数据集（Web of Science Core Collection，WOSCC）的科学引文索引（Science Citation Index，SCI），WOSCC包含的文献内容具有时间跨度长、条目数量多和质量高的特点，为视觉分析中原始数据的可靠性提供了有力保障[12]。文献检索的具体方式如下：

①搜索关键词：Topic=((domestic near/1 sewage* or domestic near/1 wastewater* or domestic near/1 effluent* or domestic near/1 “waste water*” or domestic near/1 waste-water*) and (“rural*” or “village*”) or (“sewage*” or “wastewater*” or “waste water*” or “waste-water*” or “effluent*”) and (rural near/1 domestic* or village near/1 domestic*))，数据库检索将收集在标题、摘要或关键词中包含以上关键词的已发表文章。

②文章类型选取：Document type=article。YAO等[13]认为，只有经过同行评审的原始论文数据，才能代表科学发展。因此，数据选取时考虑了WOSCC中不同文档类型元数据的完备程度，仅保留“ARTICLE”。

③文献时间跨度：Timespan=2000-2020。数据检索时间截至2020年11月17日，部分新发表的文献存在Web of Science未登记的现象。

完成检索后导出符合条件的检索记录，记录内容

包括全记录和引用的文献，导出格式为“.txt”，以备后续分析。此外，为保证检索数据的完整性，对一些相近含义的主题词设定命令语句人工检索，以此验证检索结果。在去除重复文章后，检查文章内容，发现9篇按上述方法未检出的研究论文，并补充记录，最终确定了330篇英文文章为研究对象。

同时对中国知网数据库（China National Knowledge Infrastructure database，CNKI）的中文文献进行精确检索，与WOSCC数据库英文文献比较分析高频关键词，并结合WOS分析未来研究热点。具体检索式如下：主题=农村生活污水 or 题名=农村生活污水 AND 年 Between（2000，2020） AND EI收录刊=Y OR 核心期刊=Y OR CSCD期刊=Y（精确匹配）。对检索结果进行人工验证，去除政策、通知等文章，最终确定490篇中文文章用于本研究。

1.2 数据分析软件与算法

本研究采用Origin 2019基于农村生活污水文章发表数量绘制累计柱状图，并分别对文章发表总量、中文文章发表量与英文文章发表量进行线性拟合。基于CiteSpace（5.7.2R）文献计量分析软件对农村生活污水研究文献进行可视化分析。数据分析所使用的分析方法均参照文献[7]，设置如下：

①2000—2020年的时间切片，每切片为1年；

②节点类型（Node type）包括国家、机构、类别、作者、关键词；

③在协作网络和共现网络分析中，将各个时间段内所提取对象的数量设定为Top N per slice，从每个切片中为国家、机构、类别、作者和关键词选择了最常被引用或出现的项目，Top N=50，其含义为提取每个时间切片内的对象的数量。

④为获得清晰的网络视图，需要使用Pathfinder来消除冗余繁琐或视觉效果较差的链路[14]。Pruning=pathfinder and pruning sliced networks。其他设置保持默认设置。

2 结果与讨论

2.1 农村生活污水处理的研究概述

2.1.1 研究论文发表数量

为了分析农村生活污水研究领域的研究历程，对历年的发表文章数量进行了归纳分析，结果如图1所示。观察收集的数据发现，2003年文章发表的总数量首次出现显著增加的情况，相较于2002年增加了3.5倍。2004—2006年文章发表数量稳定，每年4篇。随后，2007年出现第二次大幅度上涨，较2006年增加2.25倍。2007—2020年该领域文章发表整体呈持续增长趋势，2007—2020年累计文章发表量较2000—2006年累计发表量增加10.69倍。此外，76.97%的文章（254篇）于2011—2020年发表，其中47.58%的文章（186篇）于2016—2020年发表。该现象体现了农村生活污水研究的新颖性。值得注意的是，本研究的数据收集日期是2020年12月1日，部分在2020年分类的后续出版物不包括在此数据集中，在此情况下，2020年的文章发表数量为34篇，高于2019年的28篇。而在过去20年间，该领域发表文章增长量最大的时间段为2014—2015年，增加了11篇。由此可见，2020年农村生活污水研究领域文章的发表可能达到了前所未有的增加量，再一次证实了该领域的研究热度以及国际学者的重视程度。

2.1.2 研究国家与机构

为了进一步了解国家之间的协作模式，CiteSpace在其他设置不变的情况下，节点类型更改为“国家”，生成如图2所示的农村生活污水研究领域内世界各国协作关系网络。该共现网络共有20个节点、8条相关链路，网络密度为0.042 1。这一结果表明，强有力的合作关系发生在该领域的研究群体中，并且各国之间产生的紧密联系以中国为中心，中国与英国、美国、澳大利亚、加拿大以及日本有较为密切的合作联系。同时，中国为该领域论文发表量最高的国家，累积发文量高达152篇，占该领域发表总量的46.06%。其次为印度（22篇）、加拿大（20篇）、美国（18篇）和巴西（16篇），分别占比6.67%、5.45%、6.06%、4.85%。由此可见，中国在该领域的文章发表数量远高于世界其他国家，说明中国在这一主题领域的研究处于世界

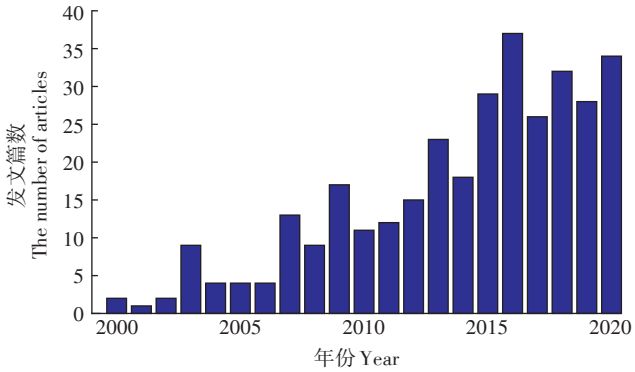

图1 2000—2020年农村生活污水文章发表数量与趋势

Figure 1 The number and trend of articles on rural domestic sewage

前列。

图3所示为农村生活污水处理领域的研究组织之间协作关系。该共现网络共有32个节点、17条相关链路，网络密度为0.034 3，说明农村生活污水研究领域的研究机构之间的联系合作较少。此外，研究机构之间的联系与地域分布相关。从国内区域看，北京地区的中国科学院、中国科学院大学与北京林业大学之间形成协作网络，而华东地区的复旦大学与南京大学联系较为密切；从全球范围看，同处于土耳其的Ondokuz Mayis University与Giresun University之间存在密切联系。表1展示了农村生活污水领域文章发表数量前10的研究机构。中国科学院的文章发表量最多，共45篇，占比13.64%，其次是中国科学院大学和浙江大学，均有11篇论文，占比均为3.33%。文章发表量前10的机构中，9个是中国的科研机构，文章发表贡献达31.51%。而唯一的国外机构“University of Regina”（里贾纳大学）排名第9位，发文数量占比仅为1.82%。这意味着农村生活污水研究领域受到中国及其科研机构的高度关注。这一方面是由于我国农村经济蓬勃发展，农村厕所革命、美丽乡村等一系列新农村建设政策措施有力推进；另一方面，农村生活污水排放量日益增加，而农村污水处理设施建设严重滞后，我国农村地区水环境污染问题日趋严重，从而引发了国内学者的高度重视[15]。

2.1.3 研究领域与期刊来源

表2给出了农村生活污水研究领域文章发表量排名前5的学科门类，其中生态环境科学228篇（69.09%）、工程技术129篇（39.09%）、水资源95篇（28.79%）、科技及其他专题23篇（6.97%）、农业22篇（6.67%）。各学科存在一定的交叉性，共现类别分析

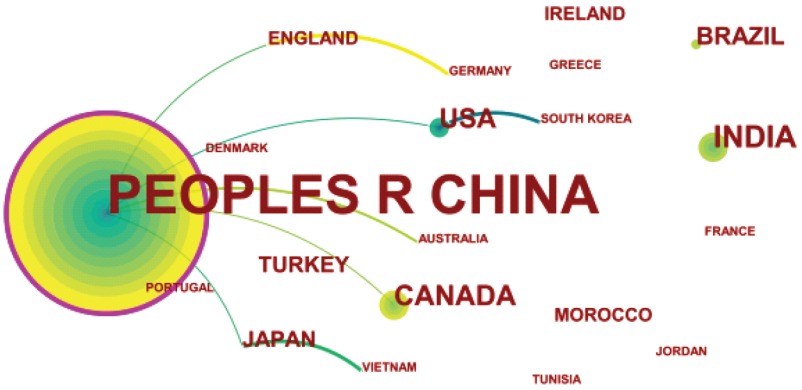

图2 国家协作网络分析

Figure 2 The collaboration network of countries

图3 组织机构协作网络分析

Figure 3 The collaboration network of institutions

表1 文章发表量排名前10位的研究机构

Table 1 Top 10 institutes with largest number of publications

序号 Number	研究机构 Institute	发文篇数 Number of articles	占比 Proportion/%
1	中国科学院 Chinese Academy of Sciences	45	13.64
2	中国科学院大学 University of Chinese Academy of Sciences	11	3.33
3	浙江大学 Zhejiang University	11	3.33
4	东南大学 Southeast University	10	3.03
5	同济大学 Tongji University	8	2.42
6	北京师范大学 Beijing Normal University	7	2.12
7	重庆大学 Chongqing University	6	1.82
8	南京大学 Nanjing University	6	1.82
9	里贾纳大学 University of Regina	6	1.82
10	复旦大学 Fudan University	5	1.52

常被用于研究跨学科联系，通过构建学科相关网络揭示不同学科类别之间的内在联系[16]。如图4所示，主题类别共现网络包括26个节点、70条链路，表明农村生活污水处理研究处于多学科交叉的领域，涉及生态环境科学、工程学、农学、地质学、生物学等学科。该协作网络的网络密度为0.215 4，说明研究农村生活污水的学科之间联系紧密。前三类学科分别是生态环境科学、环境科学、工程技术。这三个主要学科作为媒介出现，连接了许多不同的学科类别，包括生态学、生物多样性保护、环境研究、气象大气科学、工程、农业和水资源等，表明该主题的研究需要不同学科领域共同努力联合开展。在各学科领域中，发表农村生活污水研究主题文章数量排名前10的期刊（表3）中，*Science of the Total Environment*、*Bioresource Technology*、*Journal of Cleaner Production*、*Water Research* 均为国际权威期刊，这也说明了国际重要学术交流平台对农村生活污水研究主题的重视。

表2 文章发表量排名前5位的研究领域

Table 2 Top 10 subject categories with largest number of publications

序号 Number	研究领域 Subject category	记录 Record	占比 Proportion/%
1	生态环境科学 Environmental sciences ecology	228	69.09
2	工程技术 Engineering	129	39.09
3	水资源 Water resources	95	28.79
4	科技及其他专题 Science technology & other topics	23	6.97
5	农业 Agriculture	22	6.67

图4 研究领域共现网络可视化

Figure 4 The visualization of the co-occurring subject categories network

2.2 农村生活污水的研究热点

出版物的关键词可以用来总结论文的主要内容，提炼论文中有用的信息，如目标、方法和观点[17]。而关键词的频率分析是研究与给定领域相关联的热点话题和发展的关键[18]。因此，一个研究领域基于关键词频率的共现分析可以帮助识别该研究热点，如果发现在众多的文献中反复出现某一个或某几个关键词，那么这些关键词所表征的主题就是该领域的研究热点[19-20]。为了分析使用频率较高的关键词及其网络映射，将CiteSpace运行节点类型更改为“Keyword”，结果如图5所示。该共现网络共有162个节点、502条相关链路，网络密度为0.038 5，说明关键词之间的联系虽然较多，但关联并不紧密，这可能是由于关键词之间存在不同的模块区别，使得关键词整体联系变弱。关键词频率排名前5位为“constructed wetland”“performance”“removal”“system”“nitrogen”，频率分别

表3 农村生活污水领域文章发表量前10位的出版物

Table 3 Top 10 journals of the number of rural domestic sewage published articles

序号 Number	出版物 Journal	发文篇数 Number of articles	占比 Proportion/%
1	*Water Sciences and Technology*	28	8.49
2	*Ecological Engineering*	27	8.18
3	*Science of the Total Environment*	18	5.46
4	*Environmental Science and Pollution Research*	16	4.85
5	*Desalination and Water Treatment*	14	4.24
6	*Bioresource Technology*	10	3.03
7	*Environmental Monitoring and Assessment*	10	3.03
8	*Journal of Cleaner Production*	9	2.73
9	*Water*	9	2.73
10	*Water Research*	7	2.12

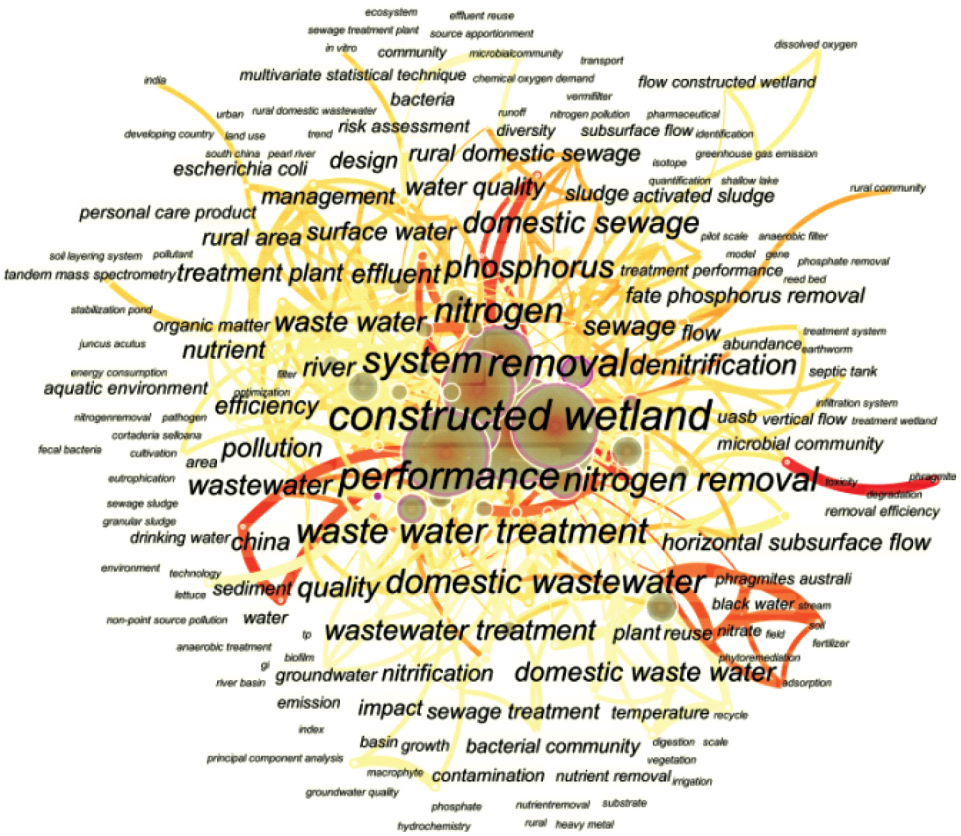

图5 关键词共现分析（WOS）

Figure 5 Co-occurrence analysis of keywords（WOS）

为83、56、53、42、38次。这说明2000—2020年以上5个方面为农村生活污水领域研究热点。同时，与CNKI数据库中文文章的关键词共现关系（图6）比较发现，中文文章高频关键词为“人工湿地”“脱氮除磷”“潜流人工湿地”“污水处理”“处理模式”，与英文文献高频关键词研究内容具有一致性，这可能是中国及中国科研机构在该领域的发文数量处于世界前列的缘故。

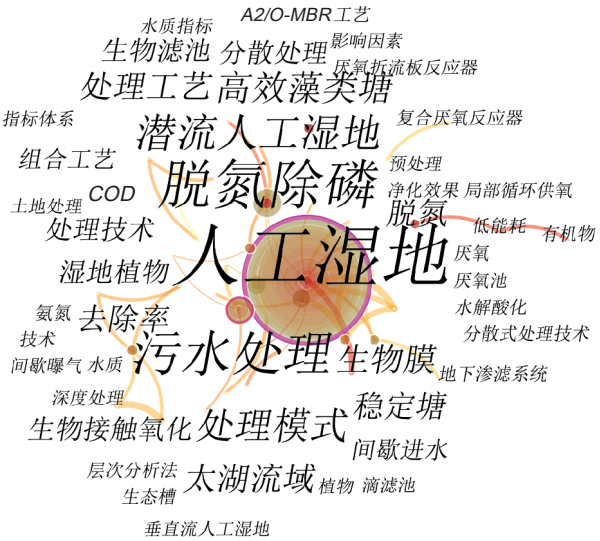

图6 关键词共现分析（CNKI）

Figure 6 Co-occurrence analysis of keywords（CNKI）

为了探究各研究内容在农村生活污水领域发展中的热度与重要程度，进一步根据关键词的频率和中心性对关键词进行排列，两种排序结果的前5名在表4列出，在此之前，为捕捉有效热点，除去“农村生活污水”“生活污水”“污水”此类相似关键词。其中，中心性（Centrality）是对网络中一个节点影响力的度量，具有高中介中心性值的关键词和主题表明其对农村生活污水领域研究进展的影响较大，且该部分非关键词在连接其他几个研究主题时发挥重要作用。表4显示了基于频率和中心性的显著差异，其中检索数据集中关键词“constructed wetland”出现频率最高（83次），“performance”次之（56次），其后是“removal”（53次）、“system”（42次）和“nitrogen”（38次）。另一方面，“performance”显示中心性值最高，为0.19。其他关键词中心性得分为0.14~0.15，这表明该部分词语在农村生活污水研究进程中被广泛讨论，且在研究领域的各类主题和概念的联系中发挥积极作用。

根据关键词共现分析，进一步对共现关键词信息进行聚类，从而形成了如图7所示的8个聚类簇，以期更好地呈现农村生活污水研究的主题。聚类效果判定是以关键词间连线、图谱信息模块性（Modularity Q，Q）以及图谱轮廓系数（Sihouette，S）为标准，连线越多，Q值越大说明聚类效果越好，当Q>0.3时，图谱信息模块性显著，S值大于0.5则表示聚类结果较合理[11]。YE等[21]的研究中也提到，聚类分析汇中的S通常用于衡量聚类的内部同质性，其介于0和1之间，该值越高表明形成的聚类越有效，并且对象在其自身的聚类中匹配性越好。图7中具有模块性的关键词聚类Q值为0.517 4，平均轮廓为0.821 6，表明聚类结果适合用于分析。图中数字标号的顺序代表各热点话题在该领域的重要程度。由图7可知，农村生活污水研究领域近20年期间的前3位的热点研究内容为#0 nitrogen removal、#1 treatment wetlands以及#2 water quality，其后为#3 principal component analysis、#4 wastewater、#5 vermifilter、#6 temperature以及#7 grey water。因此，农村生活污水研究领域的主要热点包括以下7个：①氮素的去除；②人工湿地处理工艺；③水体质量；④基于数学模型（如Principal component analysis，PCA）探究污水处理性能；⑤生物滤池处理工艺；⑥温度对农村生活污水处理的影响；⑦灰水处理。需要注意的是，不同的热点话题包含多个关键词，在农村生活污水处理研究的进程中，热点关键词是随时间不断变化的，因此需要进一步探究农村生活污水研究热点在时间上的变化，并据此分析该领域的研究前

表4 频率与中心值排名前5的关键词

Table 4 The frequency and centrality of keywords at top 5

序号 Number	关键词 Keyword	频率 Frequency	序号 Number	关键词 Keyword	中心性 Centrality
1	constructed wetland	83	1	performance	0.19
2	performance	56	2	removal	0.15
3	removal	53	3	nitrogen	0.15
4	system	42	4	quality	0.15
5	nitrogen	38	5	constructed wetland	0.14

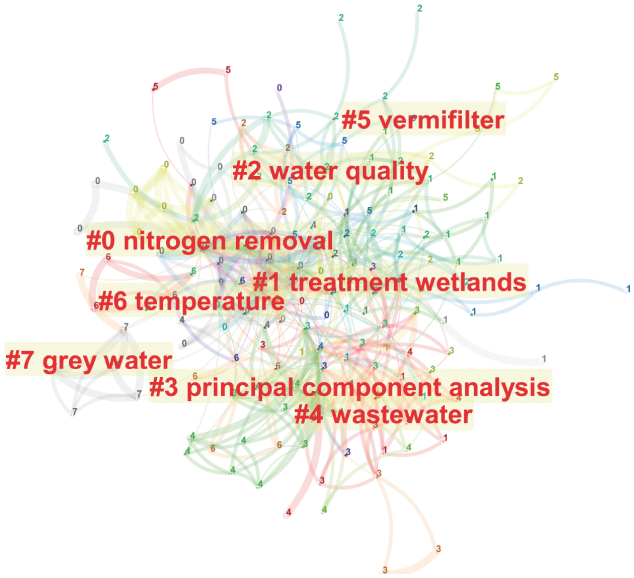

图7 关键词共现聚类分析

Figure 7 Co-occurrence cluster analysis of keywords

沿与研究趋势。

2.3 农村生活污水处理的研究前沿与趋势

2.3.1 农村生活污水处理的研究前沿

在CiteSpace分析中，时区（Timezone）图是一种从时间跨度上显示知识演进的视图，用来分析时间序列下某一领域的研究脉络和热点变迁[22]。本研究对检索数据集中的关键词数据进行计算，并展示时区图，表示农村生活污水研究进程中使用的流行学术短语，以此表明该领域不同阶段的研究前沿。如图8所示，早在2003年，关键词“removal”就出现在相关文章中，这表明最早的农村生活污水研究与污染物的去除密切相关。2005年，首次出现了该领域的处理工艺关键词“constructed wetland”。2007年“nitrogen”“performance”也相继成为了流行学术短语。在20年的研究进程中，“removal”“constructed wetland”“performance”以及“nitrogen”与大量高频关键词产生共现关系，贯穿该领域的整个时区，这表明以上4个研究内容在农村生活污水研究进程（2000—2020年）中始终是研究前沿。而在2018—2020年，“bacterial community”“temperature”“sediment”成为频率较高的关键词，诸多学者对这3个研究方向进行了大量的研究。综上所述，当前对于农村生活污水的研究前沿主要为氮素等污染物的去除、人工湿地处理工艺、农村生活污水处理系统与效能的优化、农村生活污水处理过程中微生物群落的变化、农村生活污水沉积物中的环境问题以及温度对农村生活污水处理的影响等6个方面。

2.3.2 农村生活污水处理的研究趋势

短时间内激增的突发术语或具有高引用频数的关键词可以用来判断领域的发展趋势和未来研究方向。类似地，文章及研究领域的突发引用也可作为研究前沿和趋势的评判指标，关键词和文章的引用突发情况见表5和表6。蓝色线条表示时间间隔，红色线条表示突发关键词的周期，红色线条的端点表示每个

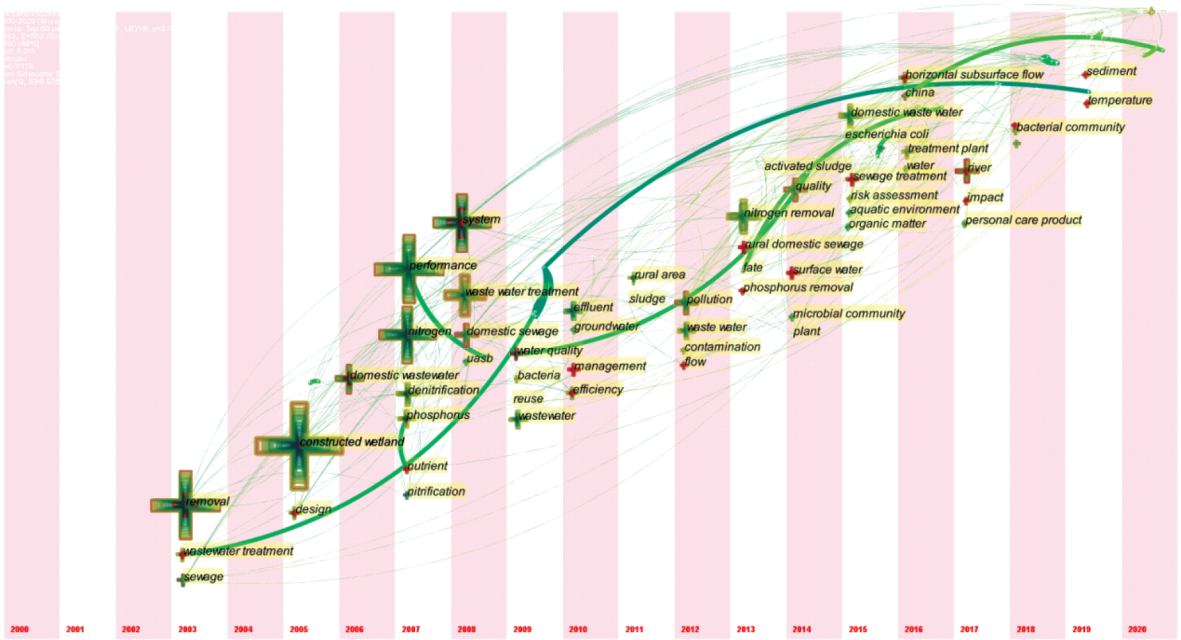

图8 关键词的时区视图

Figure 8 Timezone view of popular keywords

表5 近3年突发关键词

Table 5 Keywords with bursts in the last three years

序号 Number	关键词 Keywords	强度 Strength	2000—2020年	数据库 Database
1	horizontal subsurface flow	2.33		WOS
2	river	3.44		WOS
3	*Phragmites australi*	2.28		WOS
4	sediment	2.72		WOS
5	temperature	2.26		WOS
6	潜流人工湿地	2.78		CNKI
7	脱氮除磷	1.70		CNKI

表6 近3年突发引用文章

Table 6 Cation articles with bursts in the last three years

序号 Number	参考文献 DOI References DOI	强度 Strength	2000—2020年
1	10.1016/j.ecoleng.2016.02.036	2.52	
2	10.3390/ijerph120303362	2.52	
3	10.3808/jei.201500328	2.42	
4	10.1016/j.scitotenv.2018.06.331	3.69	
5	10.1016/j.scitotenv.2018.05.184	2.75	

突发时段的开始和结束[23]。由表5可知，近3年发表的英文文章的突发关键词包括“horizontal subsurface flow”“river”“*Phragmites australi*”“sediment”“temperature”。其中，“river”的突发强度最大，为3.44，其相关的文章内容主要关注农村生活污水及其沉积物（包含氮磷等营养元素、内分泌干扰物以及抗生素耐药基因等）流入河流后产生的环境效应，以及如何消减污水与沉积物中的污染物[24-30]。以上结果表明，关于农村生活污水处理的研究未来可能集中在：①利用人工湿地工艺，尤其是水平潜流人工湿地工艺处理污水；②利用植物（以黄河三角洲芦苇为主要种类代表）处理污水；③农村生活污水沉积物产生的环境效应；④温度（季节性）对农村生活污水处理的作用效果。而近3年中文文章包括两个突发关键词，其一为“潜流人工湿地”，与英文文章的突发关键词一致；其二为“脱氮除磷”。王田天等[31]设计了一种改良款AAO一体化设备用于农村生活污水脱氮除磷。李发站等[32]根据倒置A^2/O的基本原理，设计C-CBR一体化生物反应器，其对农村生活污水总氮、总磷平均去除率分别为50.1%和60.3%。凌琪等[33]发现向A^2/O-动态膜生物反应器投加改性粉煤灰对农村生活污水的氮磷去除具有强化作用，去除率分别提高22.1%和4.64%。王翔宇等[34]则采用A^2/O+潜流人工湿地处理农村生活污水，总氮、总磷的去除率分别为85.88%、91.56%。由此可见，采用一体化、组合式工艺脱氮除磷仍是农村生活污水处理的重要目标之一。

表6中列出了近3年突发引用文章，LATRACH等[35]发现多介质土壤渗滤系统（Multi-soil-layering，MSL）和砂滤器的结合为农业废水再利用提供了一个很好的替代选择。HO等[36]探究了MSL利用颗粒活性炭、沸石、膨胀黏土聚集体及牡蛎壳对污染物的去除效果。AN等[37]描述了MSL系统的处理机制，以及MSL系统的设计和操作过程，同时也提出，今后应重点探讨过程优化、温度影响以及新兴污染物去除等方面的内容，这与上文关键词突发的分析结果一致。SONG等[38]的研究通过交互因子分析探讨了MSL系统对农村生活污水中总氮、有机物、总磷和氨氮的处理能力，并建立了一个逐步聚类推理模型，用于理解MSL系统中污染物去除的复杂过程。KUMWIMBA等[39]梳理了植物种类、堰、生物膜和基质选择等对污水中污染物去除的影响，并探究可能的去除机制。综合以上结果可发现，近年来，突发引用文章中所研究的内容主要以MSL系统为主，重点关注如何利用该系统提高农村污水中污染物的去除率，以及如何优化污水处理系统的工艺参数。这与突发关键词的研究目的一致，均为污染物的去除，但引入了新的工艺体系。值得注意的是，通过表中线条颜色可发现，SONG等[38]的文章发表于2018年，发表后迅速成为突发引用文章，也说明了该文章的研究内容为当前所亟需的。同时，该文章的引用突发强度为3.69，是农村生

活污水研究进程中突发引用强度最高的文章，这说明该文章所研究的MSL系统对农村生活污水中总氮、有机物、总磷和氨氮的处理可能成为该领域未来研究热点。

综上所述，农村生活污水处理研究的未来趋势将是利用MSL系统、人工湿地去除污染物，研发与优化农村生活污水处理工艺（如植物、温度、工艺组合等）。与此同时，农村生活污水沉积物中污染物的赋存、消控等问题也日益受到关注。

3 结论

（1）近年来，在农村生活污水处理研究领域，无论从文章发表数量、研究机构分布还是从国家间的协作关系分析，中国均处于优势地位，这可能与我国大力推进农村人居环境整治、实施乡村振兴战略有关。

（2）农村生活污水研究进程中，人工湿地污水处理工艺、氮素等营养物质的去除以及污水处理系统工艺的设计与效能问题始终是该领域的研究热点，同时也反映了农村生活污水处理研究中，污染物的消控、污水处理工艺性能与效果的优化以及外界环境因素对农村污水处理的影响为该领域亟需解决的问题。

（3）今后的农村生活污水处理研究，可能聚焦于以人工湿地、土壤渗透系统为主的处理工艺对污水中氮素、耐药基因等污染物的去除，结合主成分分析等数学模型对农村生活污水处理工艺系统与效能进行优化，同时注重农村生活污水处理过程中微生物群落的变化、污水中沉积物可能产生的环境问题以及温度对处理效果的影响等方面。

参考文献：

[1] 方达，朱彬. 农村污水治理助推乡村振兴战略[J]. 环保科技，2020，26(3)：12-15. FANG D, ZHU B. The propelling effort of rural sewage treatment in rural revitalization strategy[J]. *Environmental Protection and Technology*, 2020, 26(3)：12-15.

[2] 余运红. 人居环境综合整治背景下农村生活污水处理工艺的选择[J]. 中国资源综合利用，2019，37(5)：61-63. YU Y H. Selection of rural domestic sewage treatment process under the background of comprehensive improvement of human settlements environment[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2019, 37(5)：61-63.

[3] LI X, LI Y Y, LÜ D Q, et al. Nitrogen and phosphorus removal performance and bacterial communities in a multi-stage surface flow constructed wetland treating rural domestic sewage[J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 709：136235.

[4] CHENG J H, TANG X Y, LIU C. Occurrence and distribution of antibiotic resistance genes in various rural environmental media[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(23)：29191-29203.

[5] 住房与城乡建设部. 2016年城乡建设统计年鉴[EB/OL]. (2017-08-18)[2021-01-19]. http://www.mohurd.gov.cn/xytj/tjzljsxytjgb/jstjnj/index.html. Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Urban and rural construction statistical yearbook 2016[EB/OL]. (2017-08-18)[2021-01-19]. http://www.mohurd.gov.cn/xytj/tjzljsxytjgb/jstjnj/index.html.

[6] 吴欣尔，李继云，樊瑜，等. 分散式农村生活污水脱氮新工艺及机理研究[J]. 给水排水，2020，46(9)：20-25. WU X E, LI J Y, FAN Y, et al. Study on new process and mechanism of decentralized rural domestic sewage denitrification[J]. *Water & Wastewater Engineering*, 2020, 46(9)：20-25.

[7] 李杰，陈超美. CiteSpace：科技文本挖掘及可视化[M]. 北京：首都经济贸易大学出版社，2016，78-85. LI J, CHEN C M. CiteSpace：Technology text mining and visualization[M]. Beijing：Capital University of Economics & Business Press, 2016：78-85.

[8] NAJMI A, RASHIDI T H, ABBASI A, et al. Reviewing the transport domain：An evolutionary bibliometrics and network analysis[J]. *Scientometrics*, 2017, 110(2)：843-865.

[9] LOPES A P V B V, DE CARVALHO M M. Evolution of the open innovation paradigm：Towards a contingent conceptual model[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 132：284-298.

[10] 张晓晗，刘瑞峰，马恒运. 基于CiteSpace的国内乡村振兴研究热点及趋势可视化分析[J]. 中国农业资源与区划，2020，41(7)：40-50. ZHANG X H, LIU R F, MA H Y. A visual analysis of hotspots and development trend of domestic rural revitalization using CiteSpace approach[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(7)：40-50.

[11] 封亮，王淑彬，唐海鹰，等. 乡村生态文明研究知识图谱：基于CiteSpace V可视化分析[J]. 生态与农村环境学报，2021，37(2)：137-144. FENG L, WANG S B, TANG H Y, et al. Knowledge map of rural ecological civilization research based on CiteSpace V visualization analysis[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37(2)：137-144.

[12] 陈玉光，丁堃，刘盛博. 基于CiteSpace Ⅱ的专利知识可视化的实现机制及其应用[J]. 情报学报，2010，29(4)：63-670. CHEN Y G, DING K, LIU S B. Realization mechanism of patent knowledge visualization based on CiteSpace Ⅱ and its application[J]. *Journal of the China Society for Scientific and Technical Information*, 2010, 29(4)：663-670.

[13] YAO Q, LYU P H, YANG L P, et al. Current performance and future trends in health care sciences and services research[J]. *Scientometrics*, 2014, 101(1)：751-779.

[14] SONG J B, ZHANG H L, DONG W L. A review of emerging trends in global PPP research：Analysis and visualization[J]. *Scientometrics*, 2016, 107(3)：1111-1147.

[15] 郭伟杰，陈磊，李鲁丹，等. 农村生活污水处理现状及对策建议——以浙江省永康市为例[J]. 中国水利，2020，21：68-70. GUO W J, CHEN L, LI L D, et al. Present situation and countermeasures of domestic sewage treatment in rural area：A case study on Yongkang City of Zhejiang Province[J]. *China Water Resources*, 2020, 21：68-70.

[16] HUANG L, ZHOU M, LÜ J, et al. Trends in global research in forest carbon sequestration: A bibliometric analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 252:119908.

[17] TIAN X, GENG Y, SARKIS J, et al. Trends and features of embodied flows associated with international trade based on bibliometric analysis[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 131:148-157.

[18] WANG Z H, ZHAO Y D, WANG B. A bibliometric analysis of climate change adaptation based on massive research literature data[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 199:1072-1082.

[19] GUZMÁN M V, CHEN C M. CiteSpace: A practical guide for mapping scientific literature[M]. Hauppauge: Nova Science, 2016.

[20] 傅柱, 王曰芬, 陈必坤. 国内外知识流研究热点:基于词频的统计分析[J]. 图书馆学研究, 2016, 14:2-12, 21. FU Z, WANG Y F, CHEN B K. Research focus of knowledge flow at home and abroad: Statistical analysis based on word frequency[J]. *Researches in Library Science*, 2016, 14:2-12, 21.

[21] YE N, KUEH T B, HOU L S, et al. A bibliometric analysis of corporate social responsibility in sustainable development[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 272:122679.

[22] 谢洪明, 杨浩. 大数据在商业中的研究态势与前沿热点——基于科学知识图谱的文献计量分析[J]. 科技与经济, 2019, 32(5):42-46. XIE H M, YANG H. Research trends and hot spots of big data in business: Bibliometric analysis based on scientific knowledge map [J]. *Science & Technology and Economy*, 2019, 32(5):42-46.

[23] ZHOU X D, ZHAO G H. Global liposome research in the period of 1995—2014: A bibliometric analysis[J]. *Scientometrics*, 2015, 105 (1):231-248.

[24] CHENG J H, TANG X Y, LIU C. Occurrence and distribution of antibiotic resistance genes in various rural environmental media[J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(23): 29191-29203.

[25] YU Q Q, LIU R, CHEN J J, et al. Electrical conductivity in rural domestic sewage: An indication for comprehensive concentrations of influent pollutants and the effectiveness of treatment facilities[J]. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2019, 143:104719.

[26] ZHOU Z C, FENG W Q, HAN Y, et al. Prevalence and transmission of antibiotic resistance and microbiota between humans and water environments[J]. *Environment International*, 2018, 121(2):1155-1161.

[27] JONG M C, SU J Q, BUNCE J T, et al. Co-optimization of sponge-core bioreactors for removing total nitrogen and antibiotic resistance genes from domestic wastewater[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 634:1417-1423.

[28] ZHU H Q, LU X W, DAI H L. Surface-flow constructed wetlands dominated by *Cladophora* for reclaiming nutrients in diffuse domestic effluent[J]. *Chemosphere*, 2018, 195:524-530.

[29] LIU D, WU S M, XU H Z, et al. Distribution and bioaccumulation of endocrine disrupting chemicals in water, sediment and fishes in a shallow Chinese freshwater lake: Implications for ecological and human health risks[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2017, 140:222-229.

[30] DUBBER D, GILL L W. Suitability of fluorescent whitening compounds(FWCs) as indicators of human faecal contamination from septic tanks in rural catchments[J]. *Water Research*, 2017, 127:104-117.

[31] 王田天, 周伟, 刘兴, 等. 改良AAO一体化设备处理农村生活污水的研究[J]. 中国给水排水, 2018, 34(7):75-79. WANG T T, ZHOU W, LIU X, et al. Nitrogen and phosphorus removal from rural domestic sewage using modified AAO integrated process[J]. *China Water & Wastewater*, 2018, 34(7):75-79.

[32] 李发站, 张帅, 张建, 等. C-CBR一体化生物反应器处理农村生活污水研究[J]. 山东大学学报(工学版), 2018, 48(1):124-130. LI F Z, ZHANG S, ZHANG J, et al. Study on C-CBR integrated bioreactor for treatment of rural domestic sewage[J]. *Journal of Shandong University(Engineering Science)*, 2018, 48(1):124-130.

[33] 凌琪, 张睿, 伍昌年, 等. 改性粉煤灰强化A^2/O-DMBR处理农村生活污水[J]. 水处理技术, 2016, 42(8):96-99. LING Q, ZHANG R, WU C N, et al. Study on rural domestic wastewater treatment by adding modified fly ash in A^2/O-DMBR[J]. *Technology of Water Treatment*, 2016, 42(8):96-99.

[34] 王翔宇, 熊鸿斌, 匡武. 微动力A^2O+潜流人工湿地工艺处理农村生活污水[J]. 中国给水排水, 2015, 31(16):80-84. WANG X Y, XIONG H B, KUANG W. Combined process of solar micro-power A^2O and subsurface-flow constructed wetland for treatment of rural domestic sewage[J]. *China Water & Wastewater*, 2015, 31(16): 80-84.

[35] LATRACH L, OUAZZANI N, MASUNAGA T, et al. Domestic wastewater disinfection by combined treatment using multi-soil-layering system and sand filters(MSL-SF): A laboratory pilot study[J]. *Ecological Engineering*, 2016, 91:294-301.

[36] HO C C, WANG P H. Efficiency of a multi-soil-layering system on wastewater treatment using environment-friendly filter materials[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015, 12(3):3362-3380.

[37] AN C J, MCBEAN E, HUANG G H, et al. Multi-soil-layering systems for wastewater treatment in small and remote communities[J]. *Journal of Environmental Informatics*, 2016, 27(2):131-144.

[38] SONG P, HUANG G H, AN C J, et al. Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 644:536-546.

[39] KUMWIMBA M N, MENG F G, ISEYEMI O, et al. Removal of non-point source pollutants from domestic sewage and agricultural runoff by vegetated drainage ditches(VDDs): Design, mechanism, management strategies, and future directions[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 639:742-759.