

刘秉涛,张亚龙. 村镇生活污水处理中存在的问题及分类处理方法[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):239-243.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.062

村镇生活污水处理中存在的问题及分类处理方法

刘秉涛,张亚龙

(华北水利水电大学 环境与市政工程学院,河南郑州 450045)

摘要:介绍了我国当前村镇生活污水处理的现状,详细阐述了村镇生活污水处理过程中存在的主要问题。以河南省为例,结合村镇的基础设施,经济情况,生活污水的水质、水量及环境敏感度,提出对污水进行分类处理,即集中处理和分散处理、生态处理和微生物处理方法,并对每种处理单元进行分类和讨论。

关键词:村镇生活污水;存在的问题;分类处理;集中处理;分散处理;生态处理;微生物处理;小型一体化装置

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0239-04

近年来,随着经济的发展,村镇地区生活污水的排放量越来越大,但相应的污水处理设施建设跟不上经济发展的速度。据推算,农村每年产生的生活污水总量约 90 亿 t,并且在不断增加,造成了村镇地区的河流湖泊和地下水的严重污染,水体富营养化等问题越来越严重。目前,国家对农村污水处理的示范性工程主要集中在北上广、江浙等经济发达地区,中西部地区虽然也在积极探索适宜的农村污水治理工艺,但经济发展仍然是主要的制约因素^[1]。现行的城市污水处理技术可以达到出水标准,但污水的处理成本较高,不适合村镇地区。因此,当前开发投资少、运行费用低的污水处理技术成为目前村镇污水处理发展的关键^[2]。

村镇生活污水包含了建制镇政府所在地的污水和村庄的污水,因此规模变化幅度大,地区差异明显。很多村庄常住人口仅有数百人,每天生活污水排放量在数十立方米范围内。村镇地区居民分布广且分散,生活污水的水量、成分、污染物浓度与村镇地区的生活水平、生活习惯等有关^[3]。村镇地区的生活污水有机物含量较高,可生化性好,水质水量波动大,基本不含重金属等有毒有害物质^[4],其水质指标为:生化需氧量(BOD_5) 180~320 mg/L,化学需氧量(COD) 265~520 mg/L,悬浮物(SS)浓度 90~225 mg/L,氨态氮(NH_3-N)浓度 20~60 mg/L,总氮(TN)浓度 25~80 mg/L,总磷(TP)浓度 1.5~5.0 mg/L。

1 村镇生活污水处理存在的主要问题

1.1 技术路线不合理

虽然都是生活污水,但村镇与城市不同,村镇的人口规模小和居住分散、污水水量小、日变化系数大、水质水量随地区差异性大,使得在村镇生活污水处理项目中不能照搬城市污水处理工程的设计选型经验。但是在实际工程中,很多设计单位或设计人员不考虑现实情况,敷衍了事直接照搬,把村镇污水当成了缩小规模的城市污水处理工程来做,结果项目建

成后不能运行或长期稳定运行。目前,在村镇污水处理领域尚没有规范的技术规程,不同乡镇之间采用的处理工艺相差甚远,导致同一地区乡镇间的污水处理工艺各有不同。应因地制宜,根据村镇的功能、人口、地形地貌、地质特点、气候、排放要求和经济水平等,通过技术经济分析和比较,选择简单、经济、有效的处理技术。

1.2 设计规模过大

村镇地区居住人口常发生较大变化,体现在青年人外出务工现象普遍,使得污水产生量与居住人口不一致,污水流量的季节性变化特别显著。大多数村民使用井水,厨房和卫生间没有完善的水池和下水管道,洗完的水洒在院子路边,所以收集较为困难。化粪池大多数是无底化粪池,要进行改建,或者粪水用来浇菜,厕所排水很难收集。这些都会影响到污水处理站的设计规模,但在实际设计时,设计单位或者设计人员没有考虑现实情况,导致某些村镇生活污水处理工程设计规模远超当地实际污水产生量,污水处理厂(站)超低负荷运行甚至间歇性运行,没有取得良好的环境效益和经济效益。在实际工程设计中,应充分结合村镇居民的生活习惯、居住人口的变化特点,合理设计污水处理厂(站)的规模。

1.3 厂网建设不同步

村镇地区管网建设落后并且建成后管网的收集率不高,特别是一些自然村居民产生的生活污水因无管道无法外排,使得一部分污水处理设施建成后无法正常运行,达不到设计要求的运行条件。虽然目前已有许多村镇建有农村新型社区,但社区的入住率低,建成的污水处理设施也无法正常运行。因此,有必要制定村镇污水收集管网的设计、施工及运行管理的规程,以保证污水处理设施的正常运行。

1.4 施工质量不合格

大多数村镇生活污水处理项目规模较小,资质较高的大型施工企业参与意愿不高,导致村镇生活污水项目的实际施工队伍水平参差不齐,工程质量不合格,构筑物和设备跑冒滴漏严重,直接影响项目运行。

1.5 运营监管措施不到位

目前我国农村污水处理设施主要有 3 种运营模式:(1)建设单位负责运营;(2)专业运营公司负责运营;(3)村委会负责运营。实际运行中,由于村委会缺乏专业技术人员指导,

收稿日期:2016-10-29

基金项目:河南省重大科技专项(编号:161100310700)。

作者简介:刘秉涛(1964—),男,河南郑州人,博士,教授,主要从事水处理理论与技术研究。E-mail:liubingtiao@ncwu.edu.cn。

其负责运营的设施出水基本不能达标。同时,由建设单位和专业运营公司负责的污水设施也存在出水水质不达标的问题。大多数农村污水处理设施只是在建成验收时进行进出水水质的测量,而对后期的运行维护措施监管不到位,使得一些设施建成后基本无法正常运行,只是在检查时开启。因此,处理设施的维护是非常重要的,应尽快制定农村污水处理设施的运营监管政策,以使污水处理设施能正常运行^[5]。

1.6 资金不足导致停用

市县各级政府负责工程建设和设备购买安装,运行维护的费用需要当地村镇筹备。而大多数村镇财政都比较困难,无法落实运营经费,建好的污水处理设施只好停运或闲置。在城市生活污水和工业废水双重治理的压力下,国家财政也很难顾及村镇的污水治理领域^[1]。因此,建立村镇污水处理设施运行资金保障机制,是当前农村污水处理的迫切任务。

2 村镇生活污水分类处理

2.1 处理方式上“集中处理+分散处理”

按照是否有管网收集,村镇生活污水的处理可分为集中处理和分散处理。集中处理与城市生活污水类似,集中处理的服务范围广、处理水量大、需要居民参与的程度低^[6];但集中处理需要大量铺设污水管道,污水管网的建设费用一般占工程总费用的 50% 以上,在村镇等人口密度较小的地方管网所占的费用将会更高^[7]。因此,集中式污水处理模式在村镇等地区的应用受到很大的限制。分散处理的方式是由于村镇人口密度小且不集中,污水收集管网建设费用高,且建成后的污水管道也可能因为水量小产生沉积导致堵塞。所以村镇生活污水还可以在居民家中或居民点小范围收集后进行直接处理,呈分散处理状态。

近年来,分散式污水处理模式在发达国家迅速发展。日

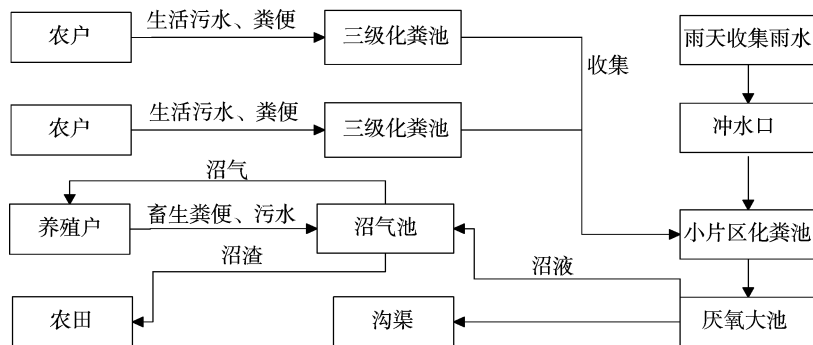


图1 农村生活污水雨污分流净化处理流程

2.2 处理技术上“因地制宜,经济适用”

具体处理技术可以分为 3 种情况:经济较发达、基础设施完善、环境敏感度高的村镇生活污水处理技术;村镇规模大、环境敏感度较高的村镇生活污水处理技术;村镇规模较小、环境敏感度一般的村镇生活污水处理技术,可以采用组合工艺及集成技术,尽量满足处理工艺简短,设备简单,维护需求低,出水水质稳定。

2.2.1 人工湿地 人工湿地是在构筑物内中填充有利于微生物附着和植物生长的介质(砾石、沸石、钢渣等),地表种植芦苇、美人蕉、菖蒲等水生植物,污水沿一定方向流过人工湿地,在微生物、土壤和植物的联合作用下得到净化。按结构不

同从 1977 年开始,实行农村生活污水分散处理计划,对不同类型的小型一体化污水分散处理设施进行了研究,后来开发的净化槽技术在分散式生活污水处理中得到了广泛应用。1987 年,美国国会通过了清洁水法的修正案,增补了非点源污染的控制大纲,同时美国国家环境保护局还于 2002 年出版了分散污水处理系统应用手册。目前,美国至少 1/4 的人口是由分散式污水处理系统提供生活污水处理服务的^[8]。澳大利亚已有 12% 的居民采用化粪池进行村镇生活污水处理^[9]。德国从 2003 年起实施“分散市镇基础设施系统”项目研究,利用膜生物反应器净化偏远村镇生活污水^[10]。可见,分散式污水处理模式在发达国家发展迅速。

我国于 20 世纪 80 年代开始,对分散式污水处理模式同样进行了探索和实践,如在太湖流域农村生活污水开展了“厌氧水解+跌水充氧接触氧化+生态塘+折板潜流式人工湿地组合技术”,“初沉池+蚯蚓生态滤池+潜流式人工湿地组合技术”及“厌氧发酵+生态土壤处理系统+蔬菜种植组合技术”为核心的示范工程建设,并且取得了良好的有机物降解和脱氮除磷效果^[11]。

分散型污水处理模式可以与集中型污水处理模式相结合,如在广东省揭阳市近年来大力推动农村污水处理,采用“雨污分流”+无动力厌氧处理技术(图 1)。要求各家各户都建设 1 个三级化粪池,粪渣在此沉淀,之后通过铺设排污管网把各家各户的污水收集到一起进行集中处理,管网采用 PVC 管材,并且对污水和雨水进行分流,已有 678 个村建设了“雨污分流”工程。系统无动力消耗,零成本运营,节省耕地,并且可以快速改变地下水水质,出水可以达到 GB 5084—2005《农田灌溉水质标准》、GB 18918—2016《城镇污水处理厂污染物排放标准》。农村环境卫生得到了进一步的整治。

同可将其分为表面流、潜流和垂直流 3 种类型,并各具优缺点。其中,用于农村生活污水处理的主要是表面流和潜流 2 种形式人工湿地^[12]。人工湿地污水处理系统具有建设成本低、出水水质好、维护简单、几乎没有运行费用、生态环境良好等优点(表 1)。我国于 1987 年在天津首次建成占地 6 hm²、处理规模为 1 400 m³/d 的芦苇床湿地工程,其后该技术在我国得到了快速发展。目前,国内利用该技术处理小城镇污水、农村污水及面源污水的成功实例颇多,同济大学在上海市崇明区采用强化预处理—高负荷人工湿地处理生活污水,处理规模为 3 000 m³/d,主要指标达到一级 A 排放标准。孙亚兵等对自动增氧型潜流人工湿地处理农村生活污水的研究表

明, COD、NH₃ - N、TP 进水浓度分别在 132. 4 ~ 392. 6、21. 58 ~ 50. 26、3. 60 ~ 13. 17 mg/L 范围内变化时, COD、NH₃ - N、TP 的去除负荷随着进水浓度的升高而增大, 其最高

去除负荷分别为 226. 38、44. 40、10. 44 kg/(hm² · d), 相应的去除率分别为 89. 45%、88. 93%、90. 25%, 且系统有较强的抗冲击负荷能力^[13]。

表 1 人工湿地的比较

湿地类型	运行管理	氧源	水力负荷	处理能力	低温处理效果	卫生条件
表面流人工湿地	简单	表面充氧	较低	一般	一般	易孳生蚊蝇
水平潜流人工湿地	相对复杂	植物根系传输, 充氧不足	较高	对 COD、重金属等效果好	较好	少有恶臭与蚊蝇现象
垂直流人工湿地	相对复杂	垂直充氧	较高	对氨氮去除能力高	好	易孳生蚊蝇

2.2.2 土地处理系统 土地处理是将经过预处理的污水投配到地面下一定距离, 在渗透性良好的地层中, 通过土壤的毛细力、重力的作用下使得污水扩散运动, 通过土壤物理截留、物化吸附、化学反应、生物降解、动植物的作用而被净化的处

理系统。污水土地处理系统根据污水的投配方式及处理对象的不同, 可以分为慢速渗滤(SR)、快速渗滤(RI)、地表漫流(OF)和地下渗滤(UG)系统 4 种类型(表 2)。

表 2 土地处理系统的工艺特征

处理过程	污染物去除效率(%)				工艺需求		土建费用(元/cap)
	BOD ₅	N	P	大肠菌群(CFU/100 mL)	土地(m ² /cap)	能源(W/cap)	
慢速渗滤	94 ~ 99	65 ~ 95	75 ~ 99	> 99	10 ~ 50	~ 0	82 ~ 165
快速渗滤	86 ~ 98	10 ~ 80	30 ~ 99	> 99	1 ~ 6	~ 0	41 ~ 124
地表漫流	85 ~ 95	10 ~ 80	20 ~ 50	> 99	1 ~ 6	~ 0	41 ~ 124
地下渗滤	90 ~ 98	10 ~ 80	> 90	> 99	> 20	~ 0	< 200

土地渗滤系统建设容易, 基建投资少, 维护管理简单, 运行费用低, 实际应用可免提升。该技术设在地下, 能保证冬季稳定运行, 不产生臭气, 便于污水就地处理和回用, 该技术在国内外得到广泛应用。郑彦强等对地下渗滤系统处理农村生活污水的研究结果显示, 对 COD、总磷、氨态氮、总氮、悬浮物在正常运行时出水平均浓度均满足城镇污水综合排放标准的一级 A 标准, 并且可以经受一定的负荷变化^[14]。该技术在国内外也得到了广泛的应用, 如日本已建成地下渗滤系统 20 000 余套; 俄罗斯制定了工艺流程及相应的技术规范。澳大利亚发展了“FILLTER”的高效污水灌溉系统。我国对土壤渗滤处理系统日益重视, 在江浙、滇池和太湖等地区村镇污水的治理

工作中, 较为广泛地应用了该技术^[15-17]。但存在堵塞现象, 并且对土质的要求较高, 如土质通透性能、活性、水力负荷、处理效率等。因此, 应开发更加经济合理的人工滤料来达到更好的处理效果。

2.2.3 稳定塘 稳定塘是一种利用天然净化能力对污水进行处理的构筑物总称, 主要利用菌藻共同作用处理废水中的有机污染物和营养物质。分为好氧塘、兼性塘和厌氧塘(表 3)。目前, 全世界已经有近 60 个国家在使用稳定系统, 德国和法国分别有各类稳定塘 3 000、2 000 余座, 而美国也有各类稳定塘上万座。我国有关稳定塘的研究始于 20 世纪 50 年代末, 目前该技术几乎遍布全国各个地区(表 4)。

表 3 不同稳定塘运行结果比较

类别	处理效果	运行监管	适用性
好氧塘	降解有机物速率快, 但处理水中含有大量藻类	投资省, 运行管理方便, 运行费用低	适合处理溶解性有机物; 效果较好, 多用于二级处理后的出水
兼性塘	耐冲击负荷较强, 效果好, 可能有臭味, 夏季经常出现漂浮污泥层	监管方便, 运行费用低	应建在无遮蔽, 通风好的宽敞区域, 既可处理城市污水, 也可处理石油化工、印染、造纸等工业废水
厌氧塘	有机负荷高, 耐冲击负荷较强	占地省, 运行维护费用低	一般作为预处理设施, 对高温、高浓度的有机废水有良好的处理效果

表 4 稳定塘去除污染物机理

污染物类别	去除机理
有机物	稀释、沉淀和絮凝、厌氧微生物、好氧微生物、浮游生物和水生植物的作用, 使得有机物得到降解 ^[18]
氮	生物同化吸收、氨态氮的吹脱、生物沉淀以及硝化/反硝化 ^[19]
磷	有机磷在微生物作用下分解氧化, 菌藻及其他生物吸收无机磷合成新细胞, 以及可溶性磷与不可溶性磷之间的转化等 ^[20]

在对稳定塘进行改良的过程中, 出现了许多新型塘, 包括高效藻类塘、水生植物塘和养殖塘、高效复合厌氧塘、超深厌氧塘、生物滤塘等塘型。如同济大学在太湖考察了高效藻类塘(high rate algae pond, HRAP)处理农村污水的效果, 水力停留时间为 8 d, 该系统对 COD_{Cr}、TN、TP 的平均去除率分别为 69. 4%、41. 7%、45. 6%, 该工艺对 NH₃ - N 的处理效果很好, 平均去除率达到了 90. 8%, 具有良好的脱氮除磷效果^[21-23](图 2)。研究人员还开发了许多组合塘工艺, 与传统生物法

组合的 UNITANK 工艺 + 生物稳定塘、水解酸化 + 稳定塘工艺和折流式曝气生物滤池 + 稳定塘工艺等, 各类塘型组合的多级串联塘、生态综合塘、高级综合塘系统等。

2.3 小型一体化污水处理装置

一体化污水处理装置技术起源于日本, 在日本被称为净化槽技术。日本的净化槽主要在排水管网不能覆盖、污水无法纳入集中处理设施进行统一处理的偏远地区推广使用。净化槽与城市污水管网系统、农业村落排水设施、社区污水处理

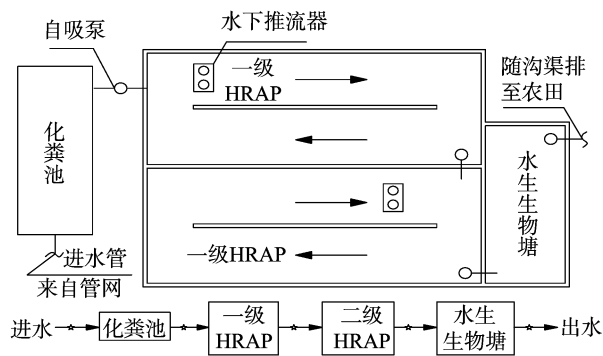


图2 高效藻类塘系统以及流程

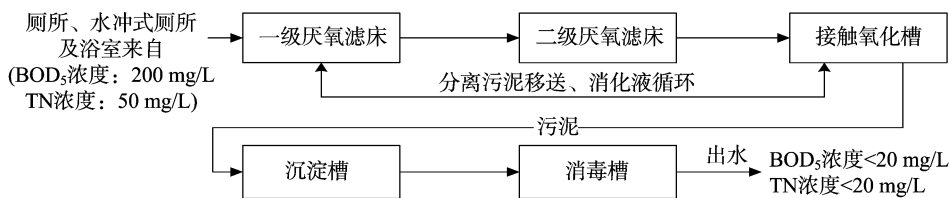


图3 合并处理净化槽的工艺流程

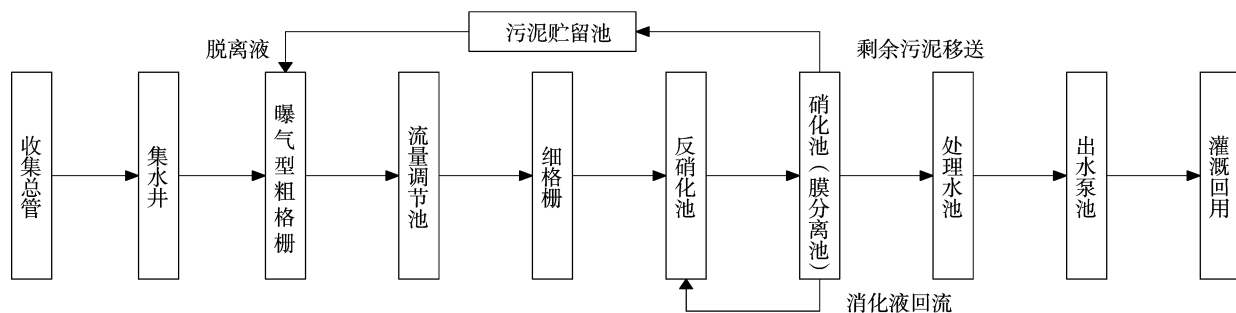


图4 净化槽处理系统工艺流程

在 1 个反应系统内实现对 COD、BOD₅、氨态氮、总磷和悬浮物的有效去除,处理出水达到 GB 18918—2002《城镇污水处理厂污染物排放标准》规定的一级 A 标准^[26]。

净化槽等一体化污水处理装置投资少、见效快,可以实现污水的就地处理和达标排放,在排水管网不能覆盖的地区推广使用,可以减少地表水的污染负荷,是治理分散型生活污水的有效方法。深度处理设施还可以实现污水的就地处理、就地回用,有利于解决缺水地区的用水问题。

3 结语

随着环境问题的加剧,村镇地区的生活污水和工业废水已成为环境的主要污染源,村镇地区已成为污水治理的新阵地。由于社会经济发展水平以及地域的差异,不同类型村镇的村委会和镇(乡)政府以及当地居民对生活污水处理的意愿呈多样化,不同流域的排放标准、村镇周围的水体环境敏感度也有差别,因此开发适合于村镇地区污水处理的技术时,应遵循“因地制宜,经济适用,维护简单”的原则。随着污水处理进程的推进,村镇地区污水处理产生的污泥也日益增多,应加快研发适合村镇的分散型污泥处理处置方法与技术政策,避免出现城市污水处理厂的污泥处理处置问题在村镇污水处理中重复出现。

设施等共同构成日本四大污水处理系统。净化槽技术在治理日本的分散型生活污水、实现环境保护目标方面发挥了重要作用。

净化槽的发展经历了单独处理净化槽、合并处理净化槽、深度处理净化槽等几个阶段。单独处理净化槽为仅处理粪便的净化装置,随着经济的发展,已经禁止生产和安装^[24]。合并处理净化槽既能处理粪便又能处理生活杂排水,出水 BOD₅ < 20 mg/L, TN 浓度 < 20 mg/L 以下(图 3),通过安装合并处理净化槽可以实现生活污水的就地处理达标排放^[25]。

目前深度处理净化槽技术已经非常成熟,出水可以达到 BOD₅ < 10 mg/L, TN 浓度 < 10 mg/L, TP 浓度 < 1 mg/L 的水平(图 4)。采用浸没式平板膜组件,依靠先进的 MBR 工艺,

参考文献:

- [1] 王兴科, 万红友, 孟冬花, 等. 村镇生活污水处理适宜技术分析[J]. 环保科技, 2011, 17(3): 37-41.
- [2] 薛媛, 武福平, 李开明, 等. 农村生活污水处理技术应用现状[J]. 现代化农业, 2011(4): 41-44.
- [3] 张列宇, 王晓伟, 席北斗, 等. 分散性农村生活污水处理技术研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [4] 谭学军, 张惠锋, 张辰. 农村生活污水收集与处理技术现状及进展[J]. 净水技术, 2011, 30(2): 5-9, 13.
- [5] 赵辉. 村庄污水处理案例集(续一)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [6] Kivaisi A K. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries; a review[J]. Ecological Engineering, 2001, 16(4): 545-560.
- [7] Go E, Demir I. Cost analysis of alternative methods for wastewater handling in small communities[J]. Journal of Environmental Management, 2006, 79(4): 357-363.
- [8] Chen J M. 美国管理分散污水处理系统的政策和经验[J]. 中国给水排水, 2004, 20(6): 104-106.
- [9] Ahmed W, Neller R, Katouli M. Evidence of septic system failure determined by a bacterial biochemical fingerprint method[J]. Journal

赵 刚,申双和,褚荣浩. 江苏省倒春寒发生程度评估[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):243-247.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.063

江苏省倒春寒发生程度评估

赵 刚,申双和,褚荣浩

(南京信息工程大学应用气象学院,江苏南京 210044)

摘要:选取江苏省 13 个典型代表站 1961—2015 年 3、4 月逐日平均气温资料,分析江苏省倒春寒发生次数变化特征和倒春寒期间最大降温幅度、持续时间和最低日平均气温,结合主成分分析法构建倒春寒评估模型,探讨江苏省倒春寒发生程度。结果表明,55 年来,倒春寒发生次数整体呈下降趋势,且 20 世纪 60 年代发生次数最多;倒春寒发生期间最大降温幅度各站点间差异较小,整体呈上升趋势;最低日平均气温整体呈下降趋势,且江苏盱眙和盐城下降趋势明显;倒春寒持续时间整体呈上升趋势,但增幅不大。本研究运用构建的倒春寒评估模型对江苏 13 个代表站点近 55 年发生过程进行评估,结果表明,江苏省倒春寒等级发生频率整体呈轻级 > 中级 > 重级,且以 1962 年发生程度最为严重。

关键词:江苏;倒春寒;发生程度;主成分分析;评估模型;持续时间;发生频率

中图分类号: S426 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0243-05

农业是人类生存的基础,农业的发展状况直接影响着国民经济全局的发展^[1]。影响农业生产的自然灾害因素有很多,倒春寒则是其中之一^[2]。倒春寒是指初春气温回升比较快,但是在春季后期的气温比正常年份气温偏低的一种现象^[3]。3 月初至 4 月底正值冬小麦的返青期和拔节期,此时若发生倒春寒会导致冬小麦叶片受冻,造成穗部空壳,从而导致减产,给农业生产带来危害,如 1986 年 3 月云南省受强冷

空气影响,导致该年小麦相对气象产量减产 35.88%,滇中部分区域颗粒无收,属严重减产年份;2013 年晋南地区由于倒春寒的发生,给处于孕穗期的小麦造成巨大伤害,导致小麦明显减产,且灾后的补救措施既消耗财力,又消耗人力^[4]。因此,本研究对江苏省倒春寒近 55 年发生程度进行评估具有重要的意义^[5]。对于倒春寒的指标和发生规律,曾有一些学者进行过研究,如夏建等通过对各地倒春寒指标的对比,制定了适合江苏无锡的倒春寒标准:3 月中旬至 4 月下旬之间连续 10 d 平均气温低于常年平均值 1.5℃或以上,且其间的 10 d 平均气温仍须低于前 10 d 的平均气温^[6];吴增福等根据江苏省气候特征得出倒春寒指标,发现江苏省在 20 世纪 90 年代前倒春寒发生次数有减少趋势,90 年代后又出现增加趋势^[7];强玉华利用 <11℃ 的负有效积温表征倒春寒过程强

收稿日期:2016-11-08

基金项目:公益性行业(气象)科研专项(编号:GYHY201506018)。

作者简介:赵 刚(1992—),男,江苏昆山人,硕士研究生,主要从事生态与农业气象研究。E-mail:675796287@qq.com。

通信作者:申双和,教授,博士生导师,主要从事农业气象与生态环境气象研究。E-mail:yqzhr@nuist.edu.cn。

of Applied Microbiology,2005,98(4):910-920.

[10] Wilderer P A. Sustainable water management in rural and periurban areas: what technology do we need to meet the UN millennium development goals [J]. Water Science and Technology, 2005, 51(10):1-6.

[11] 李先宁,吕锡武,孔海南,等. 农村生活污水处理技术与示范工程研究[J]. 中国水利,2006(17):19-22.

[12] 林建光,于 峰,黄媛媛. 农村分散式生活污水的现状与适合的处理技术[J]. 西南给排水,2012,34(6):28-30.

[13] 孙亚兵,冯景伟,田园春,等. 自动增氧型潜流人工湿地处理农村生活污水的研究[J]. 环境科学学报,2006,26(3):404-408.

[14] 郑彦强,卢会霞,许 伟,等. 地下渗滤系统处理农村生活污水的研究[J]. 环境工程学报,2010,4(10):2235-2238.

[15] 郑展望,徐 甦,周联友. 土壤毛管渗滤系统在浙江湖州某区新农村示范工程中的应用[J]. 污染防治技术,2007,20(3):64-67.

[16] 魏才使,吴为中,陶 淑,等. 多级土壤渗滤系统处理滇池入湖河水的研究[J]. 中国给水排水,2010,26(9):104-107,111.

[17] 张洪玲,邹 俊,陈 昕. 多级土壤渗滤系统处理太湖流域农村生活污水的工程研究[J]. 安徽农业科学,2011,39(9):5178-5180.

[18] 曹 蓉,王宝贞,王 琳,等. 东营的生态塘污水处理系统[J]. 中国给水排水,2003,19(增刊1):153-155.

[19] Silva S A, Oliverira R D, Soares J. Nitrogen removal in pond systems with different configurations and geometries[J]. Water Science and Technology, 1995, 31(12):321-330.

[20] 张 巍,许 静,李晓东,等. 稳定塘处理污水的机理研究及应用研究进展[J]. 生态环境学报,2014,23(8):1396-1401.

[21] 陈 广,黄翔峰,安 丽,等. 高效藻类塘系统处理太湖地区农村生活污水的中试研究[J]. 给水排水,2006,32(2):37-40.

[22] 黄翔峰,闻 岳,何少林,等. 高效藻类塘对农村生活污水的处理及氮的迁移转化[J]. 环境科学,2008,29(8):2219-2226.

[23] Zhou Q, He S L, He X J, et al. Nutrients removal mechanisms in high rate algal pond treating rural domestic sewage in East China [J]. Water Science and Technology, 2006, 6(6):43-50.

[24] 刘兰岚,郝晓雯. 日本的分散式污水处理设施[J]. 安徽农业科学,2011,39(27):16714-16715,16749.

[25] 康 缙. 日本小型合并处理净化槽的性能初探[J]. 贵州环保科技,2002,8(3):26-28,31.

[26] 干 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.