

流溪河从化段面源污染来源分析及总量估算

尹庆¹, 聂毅¹, 田松², 徐瑞萍¹, 胡明¹

(1. 广州城建职业学院; 2. 广州市城规规划设计院有限公司, 广州 510925)

摘要: 流溪河是广州市的重要水源地, 随着流域内点源污染的有效控制, 面源污染已成为流溪河从化段主要的污染物来源。本文分析流溪河从化段的面源污染种类, 采用输出系数法估算主要污染物的源头产生总量与各来源的贡献率。结果表明, 在流溪河从化段, 主要的面源污染来源是农村生活源、城镇生活源、农作排放、园地排放及禽畜养殖业。针对各类污染源的污染物排放强度, 应采取适当的面源污染源头控制措施。

关键词: 流溪河从化段; 面源污染来源; 输出系数法

中图分类号: X524 文献标识码: A 文章编号: 1008-9500(2022)10-0158-06

DOI:10.3969/j.issn.1008-9500.2022.10.045

Source Analysis and Total Estimate of Non-point Source Pollution in Conghua Section of Liuxi River

YIN Qing¹, NIE Yi¹, TIAN Song², XU Ruiping¹, HU Ming¹

(1. Guangzhou City Construction College; 2. Guangzhou City Construction Engineering Planning & Designing Institute Co., Ltd., Guangzhou 510925, China)

Abstract: Liuxi River is an important water source in Guangzhou City, with the effective control of point source pollution in the basin, non-point source pollution has become the main source of pollutants in the Conghua section of the Liuxi River. This paper analyzes the types of non-point source pollution in the Conghua section of the Liuxi River, and uses the output coefficient method to estimate the total amount of major pollutants produced at the source and the contribution rate of each source. The results show that in the Conghua section of the Liuxi River, the main non-point source pollution sources are rural living sources, urban living sources, agricultural emissions, garden emissions and livestock breeding. Appropriate control measures for non-point source pollution sources should be taken according to the pollutant emission intensity of various pollution sources.

Keywords: Conghua section of Liuxi River; non-point source pollution source; output coefficient method

广州市饮用水水源地主要分布在西江航道、东江北干流和沙湾水道。流溪河作为西江航道的支流, 是广州市流域面积最大且唯一的全流域河流, 位于广州市西北部, 流经从化、花都、白云三区。作为广州市重要的饮用水水源, 流溪河全长为 171 km, 全流域面积约为 2 300 km²[1]。作为江村、石门、西村三个水厂的取水水源, 流溪河所供自来水占广州市自来水供应总量的比重曾达到惊人的 60%, 目前也基本维持

在 30% 左右 [2]。随着流溪河流域内点源污染的有效控制, 面源污染已成为流溪河从化段主要的污染物来源。目前, 流溪河从化段的水质基本符合广东省地表水环境功能区划要求, 总体水质较好。吕田、良口、温泉三镇所辖河段长期可稳定保持Ⅱ类水质, 城郊街道、街口街道、江浦街道、太平镇所辖河段长期可稳定保持在Ⅲ类水质以上 [3], 水质总体情况基本符合广州市对水源地的相关要求。为保证流溪河从化段水质

收稿日期: 2022-08-16

基金项目: 广东省教育厅 2021年度广东省普通高校特色创新类项目“广州北部山区农田生态沟渠改造适用乡土水生植物群落调研与应用研究”(2021KTSCX354)。

作者简介: 尹庆(1986—), 女, 四川广安人, 讲师。研究方向: 生态植物景观设计与景观生态化改造。

安全和广州市供水安全,有必要了解流溪河上游段主要污染物的源头产生总量及各来源的贡献率,进而根据分析结果有针对性地制定和实施适宜的源头污染控制措施。

1 流溪河从化段水环境现状

流溪河发源于广州市从化区吕田镇桂峰山,其主河段自上游起依次流经从化区吕田镇、良口镇、温泉镇、城郊街道、街口街道、江浦街道、太平镇,后进入白云区,最后汇入珠江。流溪河从化段长度约为 117 km,约占流溪河全长的 68.42%;流域面积约为 1 580 km²,约占总流域面积的 68.69%。流溪河从化段流域基本覆盖从化区除鳌头镇部分区域之外的所有区域,但从支流分布上看,增城区的派潭镇、小楼镇部分区域也属于流溪河从化段流域。因此,流溪河从化段流域面积基本与从化区面积相当。由于流溪河是从化区唯一的大型河流,区内几乎所有的自然村与社区都分布于河道两侧,因此流溪河从化段也承受了区内几乎所有的水污染负荷。

水质污染产生的原因既可能是源头产污超量,也可能是扩散过程净化不足^[4]。污染物总量消减方式主要有源头控制、过程拦截及末端修复三类。这三类措施共同作用,自源头排起,随着径流输移对污染物进行消解^[5]。从整体上看,若流溪河从化段流域能够长期保持现状,则水质污染问题并不足虑。但从广州城市建设的角度来看,随着广州城区的扩张,以往花都区、白云区所承担的农业生产将逐步北移至从化区,从化区农业产业升级、乡村旅游开发等近年来逐步加快^[6];从自然地质条件来看,流溪河流域山区多坡地、多雨水,但土壤层浅薄,不易容纳过多水和养分^[7],同时随着乡村基础排水设施的完善,堰塘与排水沟渠硬化处理、弯河道拉直等措施也使污染物入河量呈增大趋势。若过多依靠过程拦截这类措施,则极易造成小流域或微流域内水质污染。这种局部污染不仅影响小流域水域生态安全,也不利于美丽乡村建设。

从面源污染物进入江河的过程来看,面源污染排放具有随机性、多源性、多途径等特点,特别是在流域尺度上,具有极为显著的多元复合污染特征^[4]。从以往经验来看,面源污染治理应以预防为主,治理为辅,源头控制是面源污染治理的最有效途径^[8-9]。因此,流域范围的面源污染治理首先应溯源,对面源污染进行定量分析,再选用适宜的措施进行消减,做到源清流清。

2 流溪河从化段面源污染来源

从排出途径来看,流溪河从化段污染类型可分为点源污染与面源污染。吕田镇、良口镇经济以农业为主,区域内无大型工业企业和规模化的禽畜养殖场,分布有少量淡水鱼养殖场,但受广州市饮用水源保护区相关条例限制,养殖强度不高。温泉镇经济也以农业为主,无大型工业企业和规模化的禽畜养殖场,但区域内分布着多处大中型温泉养生度假酒店,其排出的污水有别于一般的村镇生活污水,含有较高比例的温泉洗浴和餐饮废水,具有污染物浓度低且水质水量变化大的水质特征。城郊街道、街口街道、江浦街道作为从化区的三个中心街道,地理位置接近,构成了从化主城区,该区域人口较为集中,城镇化程度最高;城郊街道还拥有明珠工业园这一生产企业较为集中的产业园,但区域内的生活污水排放与企业排污基本实现了污水处理厂集中处理后达标排放,没有较为明显的点源污染;三个街道也是农业用地条件较好的区域,村落分布比较集中,基本实现了固体生活垃圾无害化处理,农村生活污水基本纳入城市污水管道。太平镇作为最靠近广州市主城区的一个镇,该镇工业企业分布较多,区域内有从化经济开发区等几个较为集中的产业园,由于地形条件较好,该镇农业生产以集约化的蔬菜种植为主。

随着多座大型污水处理厂的建成,目前,从化区 6 个主要污水处理厂的污水处理能力已达到 11.7 万 t/d (4 270.5 万 t/a),年实际污水处理量已达到 3 468.11 万 t。流域内工业源污染排放已基本实现 100% 集中处理,城镇生活源污水也已实现 91% 的集中处理。随着后续新建的两座污水处理厂投入使用,从化区点源污染问题将进一步得到解决,而点源污染的有效控制使得面源污染所导致的流溪河从化段水污染问题逐渐凸显。

总的来说,流溪河从化段流域内,沿河或沿支流分布有大量分散的村落。近年来,随着新农村建设的推进,当地基本实现了固体生活垃圾无害化处理,但生活污水、散养禽畜排泄物等还是普遍直排入河。林地、果林、旱田、水田交混存在,使得流域内在雨洪期有较为明显的随水土流失析出的面源污染物,在枯水期也存在一定程度的面源污染析出^[7]。研究表明,流溪河从化段基本呈现面源污染特征^[10-11]。

与广州市的几个主城区相比,从化区面积较大,人口密度较低,农田园地以低强度农业生产为主,这

是流溪河从化段水质保持的正向影响因素，尤其是复杂的河道和大量的滩涂以类似湿地的方式消解了大量面源污染；从化区几乎所有人口聚集区集中分布在流溪河及相关支流附近，各类污染极易直排入河，这又是流溪河从化段水质保持的反向影响因素。各种因素综合作用下，流溪河从化段面源污染的形成主因、治理难点等很难通过直观的定性描述进行分析。

农田面源污染主要来源于农业生产，仅靠工程防控、技术拦截等技术不能从根本上解决，源头控制是一种较为符合流溪河从化段自然特点的面源污染治理措施。因此，有必要细化流溪河从化段流域的面源污染来源，估算主要污染物的源头产生总量和各来源的贡献率，确定流溪河从化段各类面源污染的主要产生途径、强度和贡献率，并从源头消减角度讨论各类适用的就地消减措施，防止流溪河从化段面源污染问题恶化。

3 流溪河从化段的主要面源污染物估算

3.1 主要污染物种类

根据 2021 年生态环境部颁布的《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》（简称《手册》），水体面源污染来源主要分为农业源与生活源两大类。农业源污染中，种植业面源污染可分为农作面源污染与园地面源污染，根据养殖种类，养殖业面源污染主要分为生猪、奶牛、肉牛、肉鸡、蛋鸡、水产养殖等类别。生活源污染可分为城镇生活源污染和农村生活源污染。主要污染物种类可分为化学需氧量（COD_{Cr}）、总氮（TN）、氨氮（NH₃-N）和总磷（TP）等。

3.2 污染物总量估算方法

面源污染估算方法主要分为经验统计法和机理模型法两大类^[12]。经验统计法又可细分为输出系数法和源强系数法^[13]；机理模型法则主要分为 SWAT 模型、HSPF 模型和 AnnAGNPS 模型等^[14]。经验统计法主要通过研究区域内土地利用方式、人口、养殖业、种植业等基础数据来计算流域污染负荷总量，对基础数据的要求较低，在对流域面积较大的集水区进行估算时，准确度较高^[12]。机理模型法是通过分析水循环过程中降水、径流、蒸发等因素，描述流域内不同用地条件下面源污染物的一系列迁移过程，定量分析面源污染物迁移机理并建立相应模型追溯各类污染物的来源。模型分析过程对各类基础数据的准确度和详细度要求极高，如气温、日照、降水和蒸发等，同时需要水文资料、水质监测记录等进行校正^[14]。

目前，若使用机理模型法估算流溪河从化段污染负荷，则存在流域面积过大、所需基础数据严重不足的问题。因此，本研究拟采用输出系数法，从生活源、种植业源和养殖业源对流溪河从化段面源污染负荷进行核算。计算方法主要以《手册》为准，最终折算数据单位为 t/a。同时，本文主要研究目的在于从源头估算面源污染物排放量，入河系数统一取 1，不做折减。

3.3 基础数据来源

流溪河从化段相关基础数据来源于广州市统计局、广州市水务局、从化区统计局等公开的年鉴、公报及相关统计文献资料。各类产污系数、排污系数、折污系数及计算方法等主要根据《手册》及相关统计文献资料确定。本研究以 2019 年为基准年，以输出系数法为基础，对流溪河从化段面源污染的主要来源、污染物总量和贡献率进行综合分析。

3.3.1 生活源污染负荷估算主要数据

据统计，2019 年，流溪河从化段流域内城镇居民常住人口为 29.30 万人，单位用水量为 290.0 L/（人·d），折污系数根据《手册》取 0.89，如表 1 所示。流域内污染问题较为严重的点源污染中，工业源污染排放已实现 100% 集中处理，城镇生活源污水已实现 91% 的集中处理。流溪河从化段流域内，农村常住人口为 35.65 万人，生活污水排放系数及折污系数根据《手册》及其他相关资料确定，从化区 71.50% 的村实施生活污水集中处理或部分集中处理，如表 2 所示。从综合去除率来看，化学需氧量为 64%，氨氮为 53%，总氮为 46%，总磷为 48%。

表 1 从化区城镇居民生活污水排放系数

指标名称	单位	排放系数
用水量	L/（人·d）	290.0
折污系数	无量纲	0.89
化学需氧量	mg/L	285.0
氨氮	mg/L	28.3
总氮	mg/L	39.4
总磷	mg/L	4.1

表 2 从化区农村居民生活污水排放系数

指标名称	单位	排放系数
用水量	L/（人·d）	225.1
折污系数	无量纲	0.90
化学需氧量	mg/L	79.14
氨氮	mg/L	42.28
总氮	mg/L	3.79
总磷	mg/L	5.56

3.3.2 种植业污染负荷估算主要数据

根据《手册》及其他相关资料，合理确定污染排放（流失）系数，如表 3 所示。据统计，2019 年，从化区农作物种植面积为 31 412 hm²，园地种植面积为 26 932 hm²。

表 3 种植业污染排放系数

指标名称	农作排放系数 / (kg/hm ²)	园地排放系数 / (kg/hm ²)
氨氮	1.465	1.403
总氮	11.554	12.995
总磷	1.619	0.822

3.3.3 禽畜养殖业污染负荷估算主要数据

从化区禽畜养殖的主要种类包括生猪、奶牛、肉牛和肉鸡等，禽畜总量计算以 2019 年末存栏量 + 出栏量为准。同时，从化区养殖业以养殖户为主，因此参考禽畜养殖户排污系数进行计算。根据《手册》及其他相关资料，确定禽畜养殖业的排污系数，如表 4 所示。

表 4 禽畜养殖业排污系数

参数名称	化学需氧量	氨氮	总氮	总磷
生猪排污系数 / (kg/ 头)	6.361 5	0.085 6	0.443 6	0.102 8
奶牛排污系数 / (kg/ 头)	144.972 8	0.247 3	5.257 1	1.689 3
肉牛排污系数 / (kg/ 头)	130.040 6	0.200 0	5.409 7	0.555 3
肉鸡排污系数 / (kg/ 羽)	0.085 6	0.000 3	0.006 6	0.001 6

3.3.4 水产养殖业污染负荷估算主要数据

从化区水产养殖以淡水鱼为主，2019 年，从化区水产养殖总产量为 8 149 t，根据《手册》及其他相关资料，确定水产养殖业的排污系数，如表 5 所示。

表 5 水产养殖业排污系数

序号	指标名称	排污系数
1	化学需氧量 / (kg/t)	13.468
2	氨氮 / (kg/t)	0.462
3	总氮 / (kg/t)	2.689
4	总磷 / (kg/t)	0.522

4 结果分析

4.1 化学需氧量

经估算，流溪河从化段面源污染化学需氧量排放总量约为 6 698.05 t/a，各污染源贡献率如图 1 所示，由高至低的排序为：农村生活源（44.55%）> 生猪养殖（17.06%）> 禽类养殖（12.58%）> 城镇生活源（11.88%）> 奶牛养殖（9.83%）> 肉牛养殖（2.47%）> 水产养殖（1.64%）。种植业基本没有化学需氧量排放。化学需氧量主要来自农村生活源、城镇生活源、生猪养殖、禽类养殖和奶牛养殖，其总贡献率超过 90%，其中农村生活源的贡献率最高。

4.2 总氮

经估算，流溪河从化段面源污染总氮排放总量约为 1 502.23 t/a，各污染源总氮贡献率如图 2 所示，由高至低的排序为：农村生活源（32.09%）> 农作排放（24.16%）> 园地排放（23.30%）> 城镇生活源（7.32%）> 生猪养殖（5.31%）> 禽类养殖（4.32%）> 奶牛养殖（1.59%）> 水产养殖（1.46%）> 肉牛养殖（0.46%）。总氮主要来自农村生活源、农作排放和园地排放，三者的总贡献率超过 80%。

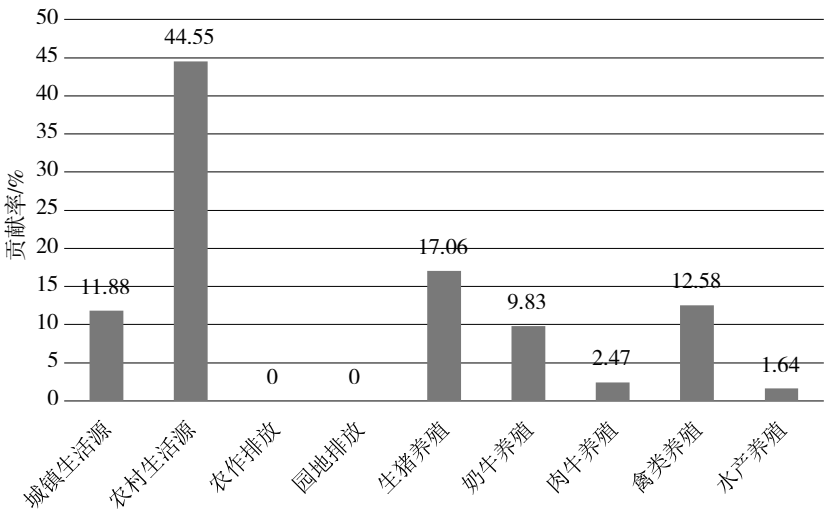


图 1 化学需氧量贡献率

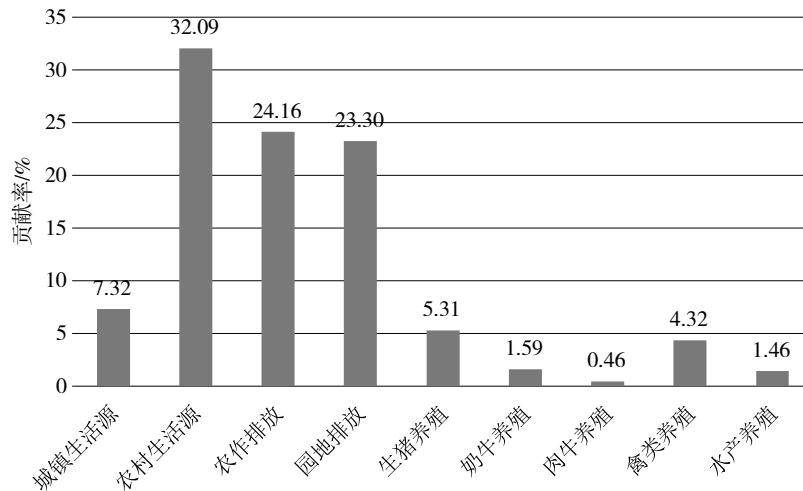


图 2 总氮贡献率

4.3 氨氮

经估算，流溪河从化段面源污染氨氮排放总量约为 1 502.23 t/a，各污染源总氮贡献率如图 3 所示，由高至低的排序为：农村生活源（55.31%）>城镇生活源（14.24%）>水产养殖（11.73%）>农作排放（8.31%）>园地排放（6.82%）>生猪养殖（2.78%）>禽类养殖（9.15%）>奶牛养殖（0.20%）>肉牛养殖（0.05%）。农村生活源对流溪河从化段氨氮的贡献率明显偏高，超过总量的一半，城镇生活源、水产养殖、农作排放和园地排放的贡献率也有一定占比。上述五项占比超过 90%。

4.4 总磷

经估算，流溪河从化段面源污染总磷排放总量约为 1 502.23 t/a，各污染源总磷贡献率如图 4 所示，由高至低的排序为：农作排放（28.39%）>农村生活源

（26.72%）>园地排放（12.36%）>生猪养殖（10.31%）>禽类养殖（8.79%）>城镇生活源（6.39%）>奶牛养殖（4.28%）>水产养殖（2.37%）>肉牛养殖（0.39%）。总磷贡献中，农作排放、农村生活源和园地排放是流溪河从化段的主要来源，三者总贡献率超过 60%。

5 结论

面源污染是影响流溪河从化段水质安全的主要风险。面源污染源识别和排放量估算是加强风险管理和实现风险辨认的有效途径。本文通过风险辨认对流溪河从化段面源污染源及贡献率进行定量分析，以总贡献率 80% 以上为标准来综合判断面源污染来源，有效评估风险。经前期综合分析，目前，流溪河从化段内，化学需氧量排放主要来自农村生活源、生猪养殖、禽

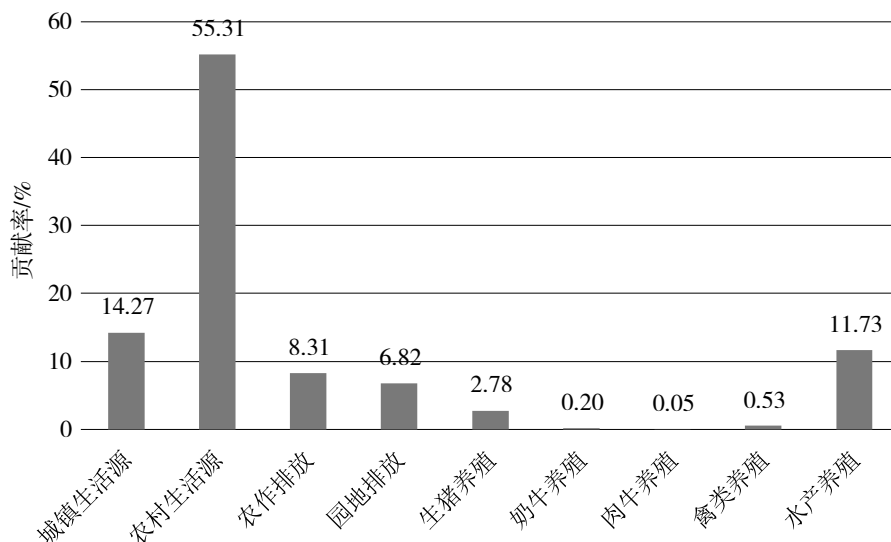


图 3 氨氮贡献率

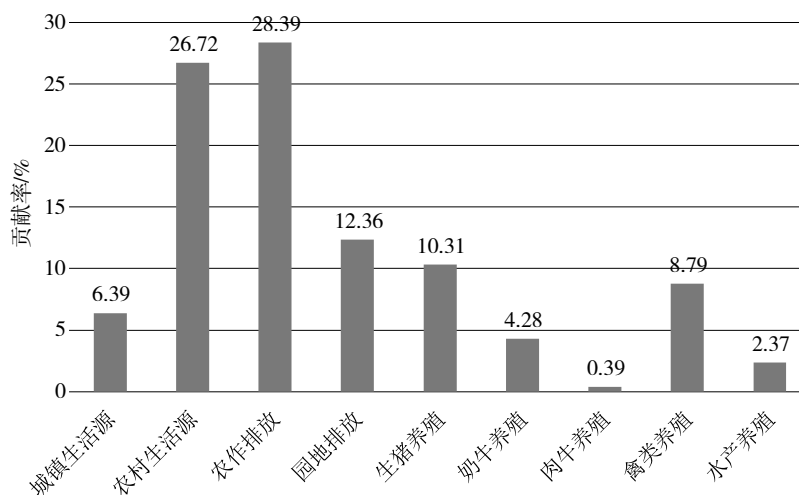


图 4 总磷贡献率

类养殖和城镇生活源,总贡献率为 86.07%;总氮排放主要来自农村生活源、农作排放、园地排放和城镇生活源,总贡献率为 86.87%;氨氮排放主要来自农村生活源、城镇生活源和水产养殖,总贡献率为 81.31%;总磷排放主要来自农作排放、城镇生活源、园地排放和禽类养殖,总贡献率为 86.57%。控制和减少面源污染物入河量是流溪河从化段水质管理的最重要任务。不同的面源污染防治措施对污染物具有不同的处理效率和处理成本,如人工湿地和化学处理等^[15]。在进行面源污染源头削减时,要确定各类源头减量措施的最佳费效比,建立各类措施工程量与其成本和减排能力的关系^[5],因地制宜地进行设计与实施。

参 考 文 献

- 焦自美,张俊帆,姚亦锋,等.论我国城市河流科学管理:流溪河规划管理探讨[J].水土保持研究,2005(1):178-181.
- 陈建军,吴尔璠.流溪河水源保护 20 年[J].广州环境科学,2002(3):41-42.
- 宁晓伟,韩 艳,唐玲玲,等.2001—2020 年广州市流溪河从化段水质变化研究[J].广东化工,2021(15):112-115.
- 陈学凯,刘晓波,彭文启,等.程河流域非点源污染负荷估算及其控制对策[J].环境科学,2018(1):77-88.
- 邬建红.水源区非点源氮污染的定量溯源、分类减排与景观格局调控研究[D].杭州:浙江大学,2021:15-16.
- 叶晓琪.基于功能视角的城市农业空间格局及其优化对策研究[D].广州:广州大学,2018:12-13.
- 张贻科.广州北部山区农业土地利用方式与水资源氮素含量的关系[J].生态环境学报,2013(5):870-872.
- FAN Z, LIN S, ZHANG X, et al. Conventional flooding irrigation causes an overuse of nitrogen fertilizer and low nitrogen use efficiency in intensively used solar greenhouse vegetable production[J]. Agricultural Water Management, 2014(10):11-19.
- QI D, WU Q, ZHU J. Nitrogen and phosphorus losses from paddy fields and the yield of rice with different water and nitrogen management practices[J]. Scientific Reports, 2020(1):1-12.
- 肖 乡,胡丹心.流溪河从化段水质现状及污染趋势分析[J].广州化工,2011(6):127-128.
- 卓泉龙,林罗敏,王 进,等.广州流溪河氮磷浓度的季节变化和空间分布特征[J].生态学杂志,2018(10):3100-3109.
- 薛利红,杨林章.面源污染物输出系数模型的研究进展[J].生态学杂志,2009(4):755-761.
- 罗 娜,樊 霆,郭 彬,等.基于输出系数法的苕河流域面源污染负荷估算[J].合肥学院学报(综合版),2021(2):78-84.
- 张秋玲.基于 SWA 模型的平原区农业非点源污染模拟研究[D].杭州:浙江大学,2010:21-22.
- 葛铭坤.我国面源污染治理理论和措施研究综述[J].水利规划与设计,2020(3):24-28.