

刘 征, 刘 洋, 赵旭阳, 等. 饮用水源保护区农业面源污染评价——以河北省平山县为例[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 360–363.

饮用水源保护区农业面源污染评价 ——以河北省平山县为例

刘 征¹, 刘 洋^{2,3}, 赵旭阳¹, 马璐敏¹

(1. 石家庄学院资源与环境科学学院, 河北石家庄 050035; 2. 河北师范大学附属中学, 河北石家庄 050011;

3. 河北师范大学, 河北石家庄 050024)

摘要:面源污染由于涉及范围广、控制难度大, 目前已成为影响水体环境质量的重要污染源。平山县是河北省石家庄市地表水源保护区所在地, 水体质量保护尤为重要。针对石家庄市平山县面源污染的现状调查, 采用流失系数法、排泄系数法、人均产污系数法, 分别对农田径流、畜禽养殖和农村生活产生的面源污染潜在负荷容量进行了计算; 对农田径流污染空间分异评价; 最后将 HJ-1 遥感影像解译, 进行了农田径流污染与土地利用关系研究。研究结果表明: 平山县畜禽养殖为主要的污染源; 平山县总氮污染潜在负荷量从平山县西侧向东侧逐渐增加, 其主要分布在平山镇、回舍镇和岗南镇, 而分布在岗南水库周围的西柏坡镇和孟家庄镇总氮污染负荷较小; 平山县主要以低矮灌木级草地和林地为主, 耕地分散, 主要集中在县域东侧, 是引起农田径流的主要原因。从畜禽养殖方面入手, 实行畜禽粪便无害化、资源化利用, 是解决畜禽粪便污染的根本措施。本研究为河北省太行山山区乃至全国山区农业面源污染评价提供思路, 为平山县农业面源污染治理提供理论基础。

关键词:饮用水源保护区; 面源污染; 潜在负荷容量; 空间分异; 土地利用

中图分类号: X144; X71 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0360-04

面源污染(non-point source pollution, NPSP)也称非点源污染, 是指溶解的和固体的污染物在降水或融雪的冲刷作用下, 从非特定地点通过径流过程汇入受纳水体(包括河流、湖泊、水库和海湾等)并引起有机污染、水体富营养化或有毒有害等其他形式的污染^[1]。美国《清洁水法修正案》对面源污染的定义为: 污染物以广义的、分散的、微量的形式进入地表或地下水体。面源污染成为国际环境问题研究的主流领域, 而农业面源污染是目前水体污染中最大的问题之一^[2-6]。目前我国农业面源污染问题非常严峻, 已经给水体、土壤和空气带来了日益严重的危害^[7]。

国外面源污染研究起步于 20 世纪 60 年代。美、英、日等一些发达国家率先开展面源污染研究, 20 世纪 70 年代以后在世界各地逐渐受到重视。20 世纪 80 年代, 农业面源污染研究蓬勃发展。到 20 世纪 90 年代, 新的污染物成为研究热点。尤以美国研究面源污染的历史较长, 是世界上少数几个对点源和面源污染进行全国性系统控制研究的国家之一^[8-9]。我国的面源污染研究始于 20 世纪 80 年代的湖泊富营养化调查, 真正意义上的面源污染研究是北京城市径流污染研究, 之后相继在上海、杭州、苏州、长沙、南京、成都等城市开展了城市面源污染研究^[9-11]; 与此同时, 农村面源污染研

究先后在于桥水库、珠海前山河流域、滇池、太湖、巢湖、晋江流域、东江流域等地方开展^[12-13]。目前我国还没有自主的系统技术, 处于分散的尝试引入国外特别是美国模型的阶段。20 世纪 90 年代以来, 农药、化肥污染的宏观特征、影响因素研究和黑箱经验统计模型模式在农业面源污染研究中占据了重要地位。将面源污染负荷模型与 3S(GIS、GPS、RS)技术结合, 与水质模型对接用于流域水质管理成为面源研究的新生长点。目前我国的面源污染往往局限于狭义的面源污染研究; 研究内容涉及面源污染负荷评价、模型介绍及模型与 GIS 结合技术等; 研究参与人员极少, 且存在阶段性和孤立性, 还未形成体系, 更未深入到管理、政策的研究^[14]。

本研究针对石家庄市饮用水源保护区平山县面源污染的现状调查, 采用流失系数法、排泄系数法、人均产污系数法, 分别对农田径流、畜禽养殖和农村生活产生的面源污染潜在负荷容量进行计算和评价, 分析其空间分布特征, 与土地利用情况进行相似性分析, 并提出合理建议。

1 材料与方法

1.1 数据源

考虑到影像的可获得性、影像本身的质量和文章的创新性, 本研究所采用的数据主要为研究区 2010 年中国环境一号卫星遥感影像。遥感影像成像时间为 2010 年 7 月 15 日, 分辨率均为 30 m。辅助资料为石家庄市 2010 年 Landsat ETM 遥感影像、地球系统科学数据共享网 2005 年已分类矢量数据、石家庄市 2000 年地形图和石家庄地区土地利用现状图, 并结合 2010 年 5 月实地勘察和调研数据; 查阅平山县 2000 年年鉴, 国家环保总局推荐的畜禽排泄系数和城镇生活源产排污系数手册等相关资料; 采用现场调查, 调查统计平山县的

收稿日期: 2013-10-29

基金项目: 河北省自然科学基金(编号: D2010001952); 河北省科技计划(编号: 2237126D-3)。

作者简介: 刘 征(1979—), 女, 河北邯郸人, 硕士, 讲师, 主要从事生态环境遥感研究。E-mail: liuzheng111_1979@163.com。

通信作者: 赵旭阳, 男, 河北井陉人, 教授, 主要从事区域研究与开发研究。E-mail: log2008@163.com。

化肥施用情况,以及粪便、污水产生和处理情况。

1.2 研究方法

1.2.1 农业面源潜在负荷计算

1.2.1.1 农田径流污染潜在负荷 在农田种植业方面,采用流失系数法估算化肥产生农田径流的面源污染潜在负荷。由过量施用化肥所导致的农田径流总氮、总磷潜在负荷按下述公式进行计算:

总氮(总磷)潜在负荷 = 氮(磷)施用(折纯)量 × 化肥流失系数 (1)

根据国家环保部污染源普查推荐数据,选取研究区的不同种植作物的地下淋溶和地表径流定位监测点数据。氮、磷肥料的流失系数:夏收粮食、秋收粮食氮地表径流系数为 0.95,磷为 0.38;棉花、油料氮地表径流系数为 0.95,磷为 0.38;蔬菜氮地表径流系数为 0.67,磷为 0.44。

1.2.1.2 畜禽养殖污染潜在负荷 本研究使用排泄系数法进行计算畜禽养殖污染潜在负荷。由畜禽养殖产生的污染物潜在负荷量计算公式如下:

畜禽养殖污染物潜在负荷量 = 畜禽养殖数 × 污染物排泄系数 × 粪便中污染物平均含量 × 未处理粪便的比例 (2)

采用国家环境保护总局自然生态保护司编写的《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策》中推荐的畜禽粪便排泄系数及畜禽粪便中污染物平均含量(表 1)。

表 1 国家环保总局推荐的畜禽排泄系数

| | | kg/[头(羽)·年] | | | | |
|------|-----|-------------|------|-----|------|-----|
| 畜禽种类 | 排泄物 | 粪便量 | COD | 氨氮 | 总氮 | 总磷 |
| 猪 | 粪 | 300 | 52.0 | 3.1 | 5.9 | 3.4 |
| | 尿 | 495 | 9.0 | 1.4 | 3.3 | 0.5 |
| 牛 | 粪 | 7 300 | 31.0 | 1.7 | 4.4 | 1.2 |
| | 尿 | 3 620 | 6.0 | 3.5 | 8.0 | 0.4 |
| 羊 | 粪 | 100 | 17.3 | 1.0 | 2.0 | 1.1 |
| | 尿 | 165 | 3.0 | 0.5 | 1.1 | 0.2 |
| 鸡 | 粪 | 6 | 45.0 | 4.8 | 9.8 | 5.4 |
| 鸭 | 粪 | 6 | 46.3 | 0.8 | 11.0 | 6.2 |

1.2.1.3 农村生活污染潜在负荷 采用人均产污系数法计算由农村生活污水导致的污染潜在负荷,计算公式如下:

农村生活污染潜在负荷 = 农业人口数 × 人均产污系数 × 未处理生活污水比例。 (3)

由农村生活污水导致的农村生活面源污染潜在负荷的计算,采用国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室制定的《城镇生活源产排污系数手册》中关于城镇生活污水中污染物含量的调查数据。根据研究区调查情况,人均生活污水量为 60 L/d,则修正后的参数:COD 为 4.49 kg/(人·年),氨氮为 1.1 kg/(人·年),总氮为 1.37 kg/(人·年),总磷为 0.12 kg/(人·年)。

2 结果与分析

2.1 研究区概况

石家庄市地表水源保护区地表水源包括岗南水库水源地和黄壁庄水库水源地,是北京市后备水源地。总面积为 4 372.21 km²。主要分布在平山县和井陘县大部分地区,见

图 1。

平山县位于河北省西部太行山东麓,地理位置为 113°31′~114°51′E,38°09′~38°45′N。平山县西与全国煤炭基地山西省接壤,东距省会石家庄市 30 km,距首都北京 260 km,是国家批准的环京津、环渤海开放县之一。地貌繁杂,地势包括平原、丘陵、低山、中山、亚高山等,海拔 120~2 281 m,高矮悬殊;属暖温带半湿润季风大陆性气候,年平均气温 12.7℃,多年平均降水量 609 mm。平山县全境总面积为 2 648 km²,其中山地 1 920 km²。境内干流滹沱河由西向东横贯全境,长达 110 km,12 条支流呈扇形分布,全县共有 5 km² 以上河流 79 条,俗有“八山一水一分田”之称。平山县辖 23 个乡镇,717 个行政村,共计 47.5 万人。

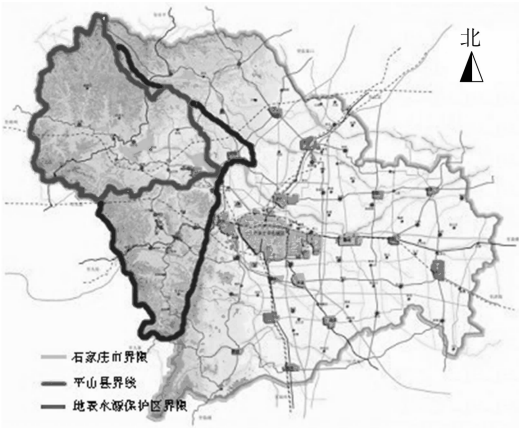


图 1 研究区地理位置

平山县是河北省省会石家庄市较重要的县域之一,是石家庄地表水源保护区所在地,也是中国革命圣地——西柏坡所在地。近年来,随着平山县经济的快速发展,人类活动对生态环境影响的深度和广度不断加大,出现了生态环境恶化以及水资源、土地资源、能源紧缺等一系列新问题。

2.1.1 研究区面源污染现状调查

2.1.1.1 农作物种植情况 平山县主要播种作物包括夏粮、秋粮、棉花、油料和蔬菜,其中以粮食种植为主。农作物种植面积:夏粮 16 592 hm²、秋粮 19 219 hm²、棉花 621 hm²、油料 3 596 hm²、蔬菜 3 950 hm²。施用化肥和有机肥,并以化肥为主。施用的化肥包括尿素、磷酸氢二铵、硫酸钾、氮磷钾复合肥、硫酸锌等。平山县每年化肥施用量:氮肥 15.6 万 t、磷肥 2.90 万 t、钾肥 15.9 万 t、复合肥 70.3 万 t。

2.1.1.2 畜禽养殖情况 平山县畜禽养殖业发达,主要饲养生猪和鸡。畜禽养殖以相对集中的养殖为主,并且规模化程度逐渐加重,养殖模式为农村居民养殖。集中养殖模式主要有以下 3 种:规模化的畜禽养殖厂,其具有法人主体和规模化的养殖场所和设施;二是以公司模式运作的农户散养,其具有法人主体,但仍为分散型农户养殖;三是集中区域的农户散养,其不具备法人主体,但将散养型的农户集中到了一个固定的区域内。除上述 3 种集中养殖模式外,平山县还有约 10% 的牲畜有散养模式养殖。平山县养猪 12.52 万头、牛 2.12 万头、羊 5.5 万只、鸡 121.7 万羽、鸭 0.76 万羽。

2.1.1.3 农业人口及农生活污染排放情况 平山县总人口 47.5 万人,其中农业人口 40.6 万人,农业人口占总人口

85.37%。根据调查,平山县目前仅有 5% 的村落建有污水排污系统,其他村落的污水仍随意排放。尽管平山县几乎全部人类尿用于还田和沼气制造,粪便在堆积放置过程中仍会给周围环境带来面源污染隐患,在降雨、降雪的冲刷下,容易形成径流进入河道水体,造成水体的污染。

2.2 平山县面源污染潜在负荷

农业面源污染的主要原因有农作物污染、畜禽粪便污染和农村生活产生的垃圾 3 方面。针对平山县农业面源污染的实际状况,本研究确定化学需氧量(COD)、氨氮、总氮和总磷为研究的主要污染影响因子。由于农田径流产生的 COD 和氨氮含量几乎为零,可以忽略不计,仅计算农田径流产生的总氮和总磷。

2.2.1 农田径流污染潜在负荷 化肥中复合肥的氮、磷含量,依据调查结果按复合肥折纯量的 50%、30% 计算,将复合肥中氮、磷与平山县氮肥、磷肥施用量累加,计算出平山县氮肥、磷肥施用量。平山县氮肥平均施用量 435 kg/hm²,磷肥平均施用量 114 kg/hm²。化肥施用量要求按折纯量计算数量。折纯量是指把氮肥、磷肥、钾肥分别按含氮、含五氧化二磷、含氧化钾的百分之一百成分进行折算后的数量。本研究通过计算定义折纯量为 1.1236%。根据公式(1)计算得出平山县农田径流面源污染潜在负荷,见表 3。

2.2.2 畜禽养殖污染潜在负荷 平山县畜禽养殖粪便产生量见表 2,根据调查,平山县畜禽粪便的未处理率为 40%。依据公式(2),计算平山县畜禽养殖面源污染潜在负荷见表 3。

表 2 平山县畜禽养殖粪便产生量

| 类型 | 产生量(t) | | | | |
|----|--------|--------|------|------|------|
| | 猪 | 牛 | 羊 | 鸡 | 鸭 |
| 粪 | 37.56 | 154.76 | 5.50 | 7.30 | 0.46 |
| 尿 | 61.97 | 76.74 | 9.08 | | |

2.2.3 农村生活污染潜在负荷 根据现场调研情况,除去在排放过程中蒸发、渗漏以及跟随人类尿用于沼气制造外,平山县未处理的生活污水比例为 90%。依据公式(3),计算出平山县农村生活面源污染潜在负荷,见表 3。

表 3 污染因子污染潜在负荷量汇总

| 类别 | COD | 氨氮 | 总氮 | 总磷 |
|------|-------|------|------|------|
| 农田径流 | | | 2.61 | 0.12 |
| 畜禽养殖 | 13.09 | 1.17 | 2.56 | 0.82 |
| 农村生活 | 1.64 | 0.40 | 0.50 | 0.04 |
| 合计 | 12.03 | 1.57 | 5.67 | 0.99 |

在各污染因子中,COD 污染潜在负荷量较大,在 COD 负荷量组成方面,以畜禽养殖为主。由于平山县鼓励畜禽养殖业,各类畜禽的养殖量逐年增加,猪是平山县重点扶植的养殖种类。同时从畜禽粪便污染含量的分析上看,猪的粪便污染含量最高,猪养殖量增加带动平山县全县畜禽养殖所产生的粪便量也大幅增长;农村生活污染负荷量方面,由于农村人口平稳增长,而且随着农村城镇化,农业人口会维持在相对稳定的水平甚至还会下降,因此农村生活产生的农业面源污染基本稳定或略有下降趋势。氨氮的污染潜在负荷容量仍以畜禽养殖为主。

在各污染源总氮、总磷潜在负荷量比例方面,以农田径流

和畜禽养殖为主,农村生活所占的比例较小。农田径流产生农业面源污染负荷量受耕地面积与化肥施用量双重影响。由于平山县鼓励畜禽养殖业,畜禽养殖产生的总氮潜在负荷量也占主要地位。

2.3 平山县农田径流污染空间分异评价

查阅平山县年鉴,得到平山县各乡镇夏粮、秋粮、棉花、油料、蔬菜的播种面积,采用流失系数法,计算得到各乡镇总氮、总磷污染潜在负荷量,采用 GIS 软件,得到总氮、总磷污染负荷分布如图 2、图 3 所示。

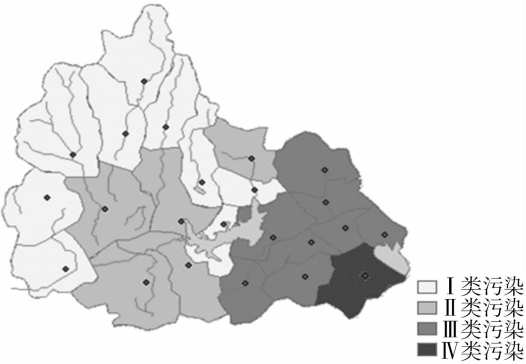


图2 平山县总氮污染负荷空间分布

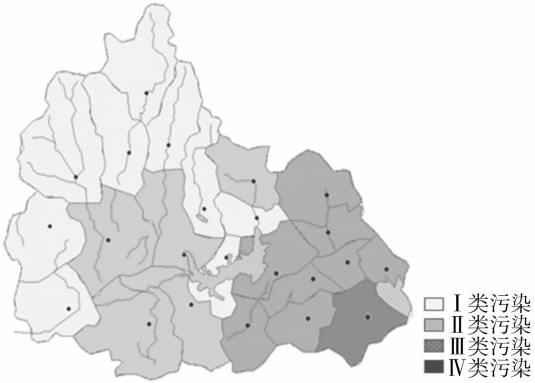


图3 平山县总磷污染负荷空间分布

图 2 类别划分中,Ⅰ类 17 762 ~ 31 676 t,Ⅱ类 31 677 ~ 62 944 t,Ⅲ类 62 945 ~ 173 950 t,Ⅳ类 173 951 ~ 424 700 t,程度依次增加,图中显示平山县总氮污染潜在负荷量从平山县西侧向东侧逐渐增加,主要分布在平山镇、回舍镇和岗南镇,而分布在岗南水库周围的西柏坡镇和孟家庄镇总氮污染负荷较小。图 3 类别划分中,Ⅰ类 1 862 ~ 3 321 t,Ⅱ类 3 322 ~ 6 598 t,Ⅲ类 6 599 ~ 18 218 t,Ⅳ类 18 219 ~ 51 148 t,总磷的情况与总氮相似,仍以平山镇、回舍镇和岗南镇为主,引起上述结果的主要原因是夏粮和秋粮所产生的污染潜在负荷量较大,在上述乡镇中,平山镇的夏粮和秋粮播种面积最大,油料、棉花和蔬菜较其他乡镇数量也多,所以平山镇总氮、总磷污染潜在负荷量处于领先地位。

2.4 平山县农田面源污染与土地利用关系研究

根据 2007 年 8 月 5 日正式颁布执行的《土地利用分类》国家标准,将研究区土地划分为 6 种一级利用类型,分别为建设用地、林地、耕地、低矮灌木及草地、水域、未利用地。采用

遥感信息与地学信息相结合,室内判读和野外调查相结合的方法,运用 ERDAS IMAGINE 和 ArcGIS 软件,通过图像预处理、图像判读,采用监督分类方法对图像进行分类,并对解译好的影像进行土地利用变化检测、分类后处理和精度评价。在分类数据图像中随机产生 100 个点,完全覆盖于图像中,与可清晰目视判别地类的原图像进行对比,由此得出分类的精度评定报告。结果表明该图的 Kappa 指数为 0.79,达到最低允许判别精度 0.7 的要求。平山县土地利用情况见图 4。

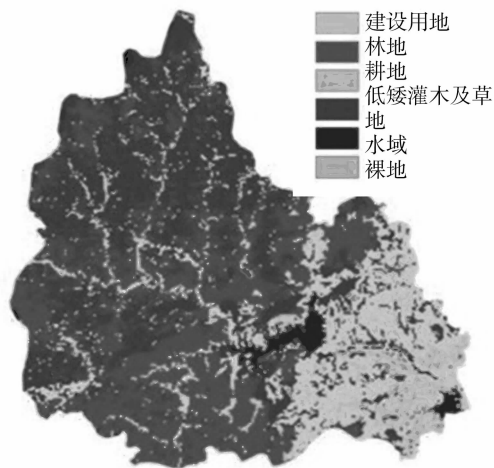


图4 平山县土地利用现状

平山县全县总面积为 2 648 km²,其中耕地 331.79 km²、林地 939.25 km²、草地 780.1 km²、水域 45.28 km²、建设用地 149.08 km²。平山县为山区县,主要以低矮灌木及草地和林地为主,林地占 35.47%,草地占 25.46%,耕地分散,主要集中在县域东侧,这是引起农田径流的主要原因。林地的扩大使土壤侵蚀减少,进一步降低农田污染物径流量。土地利用及多样性导致生物地球化学循环、水文过程和景观动态过程的变化,土地利用和管理的变化影响着农业面源污染。因此应根据气候、土壤类型以及作物对养分的吸收规律,科学推测作物需肥量中氮、磷、钾要素配比,适时适量施肥,以提高肥料的经济效益,减少化肥在土壤中的淋失和污染。

3 结论与讨论

土地利用及多样性导致生物地球化学循环、水文过程和景观动态过程的变化,土地利用管理的变化影响着农业面源污染。

平山县农业面源污染在 COD 负荷量和氨氮负荷量组成方面,以畜禽养殖为主;在总氮、总磷污染潜在负荷量组成方面,农村径流和畜禽生活占主要地位;从 3 种农业面源污染来源来看,畜禽养殖为主要的污染源。

平山县总氮污染潜在负荷量从平山县西侧向东侧逐渐增加,主要分布在平山镇、回舍镇和岗南镇,而分布在岗南水库周围的西柏坡镇和孟家庄镇总氮污染负荷较小。

平山县主要以低矮灌木及草地和林地为主,耕地分散,主要集中在县域东侧,是引起农田径流的主要原因。林地的扩大使土壤侵蚀减少,进一步降低农田污染物径流量。

从畜禽养殖方面入手,实行畜禽粪便无害化、资源化利用,是解决畜禽粪便污染的根本措施。加强源头管理、过程监控及提高粪便及污水处理设施普及率和使用率,有助于从整体上减少平山县农业面源污染。

参考文献:

- [1] 郭鸿鹏,朱静雅,杨印生. 农业非点源污染防治技术的研究现状及进展[J]. 农业工程学报,2008,24(4):290-295.
- [2] Thomas T, Segerson K, Braden J. Issues in the design of incentive schemes for nonpoint source pollution control[J]. Nonpoint Source Pollution Regulation: Issues and Analysis Economics, Energy and Environment, 1994, 3: 1-37.
- [3] 肖新成,何丙辉,倪九派,等. 农业面源污染视角下的三峡库区重庆段水资源的安全性评价——基于 DPSIR 框架的分析[J]. 环境科学学报,2013,33(8):2324-2331.
- [4] Mrian W H. Environmental policies[J]. Environmental and Resource Economics, 2001, 20: 1-26.
- [5] Helfand G E, House B W. Regulating nonpoint source pollution under heterogeneous conditions[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1995, 77(4):1024-1032.
- [6] James S S, Richard D H, David G A. Research issues in nonpoint pollution control[J]. Environmental and Resource Economics, 1998, 11(3/4):571-585.
- [7] 尚丽丽. 农业面源污染研究的文献综述[J]. 农村经济与科技, 2012, 23(2):13-16.
- [8] 黄绍平,姚月华,吴常青,等. 我国农业面源污染研究进展[J]. 现代农业科技, 2011(11):264-265.
- [9] 张维理,冀宏杰, Kolbe H, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 II. 欧美国农业面源污染状况及控制[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1018-1025.
- [10] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7):1008-1017.
- [11] Jameison D G, Fedra K. The "water ware" decision support system for river basin planning: Conceptual design of hydrology[J]. Journal of Hydrology, 1996(177):163-175.
- [12] Winlge W, Illiam L, Poeter E, et al. UNCERT: geostatistics, uncertainty analysis and visualization software applied to groundwater flow and contaminant transport modeling[J]. Computers & Geosciences, 1999, 25(4):365-376.
- [13] Sovan L, Mrritu G, Jeanluc G. Predicting stream Nitrogen concentration from watershed features using neuralnet works[J]. Water Research, 1999, 33(16):3469-3478.
- [14] 邓雄. 农业非点源污染的研究进展、存在的问题及发展[J]. 中山大学学报:自然科学版, 2007, 46(增刊):244-247.