

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心
■ 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.10
第41卷 第10期

目次

青岛春节期间大气污染特征及烟花燃放一、二次贡献分析	方天歌, 姚小红, 孟赫, 陈春强 (4345)
基于在线观测的天津市 PM _{2.5} 污染特征及来源解析	肖致美, 徐虹, 李立伟, 李鹏, 元洁, 唐邈, 杨宁, 郑乃源, 陈魁 (4355)
2017~2018年北京大气 PM _{2.5} 中水溶性无机离子特征	李欢, 唐贵谦, 张军科, 刘琴, 闫广轩, 程萌田, 高文康, 王迎红, 王跃思 (4364)
北京南部城区 PM _{2.5} 中碳质组分特征	董贵明, 唐贵谦, 张军科, 刘琴, 闫广轩, 程萌田, 高文康, 王迎红, 王跃思 (4374)
成都市冬季3次灰霾污染过程特征及成因分析	冯小琼, 陈军辉, 尹寒梅, 徐雪梅, 熊文朋, 梅林德, 钱骏, 刘政 (4382)
南京北郊黑碳气溶胶分布特征及来源	谢锋, 林煜棋, 宋文怀, 鲍孟盈, 章炎麟 (4392)
2019年10~12月京津冀及周边“2+26”城市重污染减排效果评估	朱媛媛, 高愈霄, 汪巍, 鲁宁, 许荣, 刘冰, 李健军 (4402)
保定市大气污染变化趋势及特征	苟银寅, 张凯, 李金娟, 吕文丽, 竹双, 黎洁, 何珊珊, 郑悦, 支敏康 (4413)
郑州市 VOCs 组分排放清单及其臭氧生成潜势	卢轩, 张瑞芹, 韩跃钢 (4426)
郑州市少数民族运动会期间 O ₃ 及 VOCs 污染特征的演变和评估	赵金帅, 于世杰, 王楠, 马双良, 王维思, 尹沙沙, 李一丹, 张栋, 张瑞芹 (4436)
我国木器涂料及汽车涂料中挥发性有机物特征	柯云婷, 孙宇航, 成海荣, 刘锐源, 黄皓旻, 范丽雅, 叶代启 (4446)
典型脱硫工艺对燃煤锅炉烟气颗粒物的影响	张进生, 吴建会, 吕瑞鹤, 宋丹林, 黄凤霞, 张裕芬, 冯银厂 (4455)
不同居民燃煤炉具大气污染物排放差异性及减排分析	张熠晨, 薛陈利, 刘杰, 钟连红, 薛亦峰 (4462)
天津市 2017 年移动源高分时空分辨率排放清单	刘庚, 孙世达, 孙露娜, 金嘉欣, 房键旭, 宋鹏飞, 王婷, 吴琳, 毛洪钧 (4470)
四川省基于第二次污染源普查数据的人为源大气污染源排放清单及特征	徐晨曦, 陈军辉, 李媛, 何敏, 冯小琼, 韩丽, 刘政, 钱骏 (4482)
抗大气复合污染的城市森林植物初步筛选	李品, 卫妍妍, 冯兆忠 (4495)
宝鸡市绿植叶片重金属空间分布及污染特征	张军, 梁青芳, 高煜 (4504)
潮汕地区入海河流及水生生物中 PPCPs 分布特征及风险评估	秀措, 王尘辰, 吕永龙, 陆轶峰, 王聪, 张梦, 曹祥会 (4514)
泉州山美水库及入库河流沉积物中多溴二苯醚的时空分异和降解分析	韩文亮, 刘豫, 冯凯文 (4525)
长江上游典型山地农业小流域浅层地下水硝态氮时空变异特征及影响因素	江南, 周明华, 李红, 李子阳, 章熙峰, 朱波 (4539)
沱江流域典型农业小流域氮和磷排放特征	王宏, 徐娅玲, 张奇, 林超文, 翟丽梅, 刘海涛, 蒲波 (4547)
基于 DPeRS 模型的海河流域面源污染潜在风险评估	冯爱萍, 王雪蕾, 徐逸, 黄莉, 吴传庆, 王昌佐, 王洪亮 (4555)
降水空间异质性对非点源关键源区识别面积变化的影响	高晓曦, 左德鹏, 马广文, 徐宗学, 胡小红, 李佩君 (4564)
硅藻群落指示的近 50 年来大理西湖湖泊生态系统演变规律	张晨雪, 徐敏, 董一凡, 王荣, 方凤满 (4572)
海陆交互带土壤及河流沉积物中镉含量及形态分布特征	王芳婷, 陈植华, 包科, 赵信文, 孟宪萌, 黄长生 (4581)
内蒙古河套灌区排水干沟微塑料赋存特征及质量估算	王志超, 杨帆, 杨文焕, 李卫平, 杨建林, 秦一鸣, 李河 (4590)
透水/不透水格局特征对汇水单元径流污染的影响	姜智绘, 廖云杰, 谢文霞, 李佳, 房志达, 赵洪涛, 李叙勇 (4599)
铁铜双金属有机骨架 MIL-101(Fe, Cu) 活化双氧水降解染料性能	梁贺, 刘锐平, 安晓强, 刘会娟 (4607)
纳米 Cu ⁰ @Fe ₃ O ₄ 活化 PMS 降解对-硝基苯酚的协同反应机制	石清清, 蒲生彦, 杨犀 (4615)
紫外活化过硫酸盐降解水中三氯蔗糖动力学和机制	余韵, 陆金鑫, 吕贞, 彭明国, 徐彬焜, 杜尔登, 郑璐 (4626)
污水生物处理工艺低温下微生物种群结构	尚越飞, 王申, 宗倪, 杜海洲, 张鑫, 齐嵘, 杨敏 (4636)
不同 DN 与 PN-ANAMMOX 耦合工艺处理中晚期垃圾渗滤液的微生物群落分析	陆明羽, 李祥, 黄勇, 殷记强, 方文烨 (4644)
全程自养颗粒污泥快速启动及混合营养型脱氮性能分析	齐泽坤, 王建芳, 钱飞跃, 刘雨馨, 乔伟, 李小蝶 (4653)
不同低碳氮比废水中好氧颗粒污泥的长期运行稳定性	袁强军, 张宏星, 陈芳媛 (4661)
潮土细菌及真菌群落对化肥减量配施有机肥和秸秆的响应	吴宪, 王蕊, 胡荷, 修伟明, 李刚, 赵建宁, 杨殿林, 王丽丽, 王欣奕 (4669)
不同轮作模式下作物根际土壤养分及真菌群落组成特征	孙倩, 吴宏亮, 陈阜, 康建宏 (4682)
酒糟生物炭短期施用对贵州黄壤氮素有效性及细菌群落结构多样性的影响	张萌, 刘彦伶, 魏全全, 苟久兰 (4690)
稻油不同轮作模式对农田甲烷和氧化亚氮排放的影响	陈友德, 赵杨, 高杜娟, 罗先富, 崔婷, 童中权, 吴家梅 (4701)
解淀粉芽孢杆菌生物有机肥防控土壤氨挥发	杨亚红, 薛莉霞, 孙波, 张宝, 庄绪亮, 庄国强, 白志辉 (4711)
外源磷对镉胁迫下水稻生长及镉累积转运的影响	霍洋, 仇银燕, 周航, 胡雨丹, 邓鹏辉, 魏宾斌, 辜娇峰, 刘俊, 廖柏寒 (4719)
水稻不同生育期 As 胁迫下 As 累积关键生育期	邓鹏辉, 蔡雅琴, 周航, 刘雅, 杨文俊, 辜娇峰, 廖柏寒 (4726)
铅锌矿区玉米中重金属污染特征及健康风险评价	周艳, 万金忠, 李群, 黄剑波, 张胜田, 龙涛, 邓绍坡 (4733)
浙江省台州市电子垃圾拆解地多溴联苯醚浓度水平分布特征和迁移趋势	魏抱楷, 柳晨, 王英, 金军 (4740)
重庆市酉阳县南部农田土壤重金属污染评估及来源解析	王锐, 邓海, 严明书, 何忠库, 周皎, 梁绍标, 曾琴琴 (4749)
重庆市畜禽粪便及菜田土壤中四环素类抗生素生态风险评价	彭秋, 王卫中, 徐卫红 (4757)
《环境科学》征订启事 (4435) 《环境科学》征稿简则 (4445) 信息 (4606, 4625, 4732)	

基于 DPeRS 模型的海河流域面源污染潜在风险评估

冯爱萍¹, 王雪蕾^{1*}, 徐逸¹, 黄莉¹, 吴传庆¹, 王昌佐¹, 王洪亮²

(1. 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100094; 2. 北京四维智联科技有限公司, 北京 100094)

摘要: 运用 DPeRS (diffuse pollution estimation with remote sensing) 模型对海河流域面源污染物的空间分布特征和污染来源进行遥感像元尺度解析, 结合地表水质评价标准, 构建了面源污染潜在风险分级方法, 评估了海河流域面源污染潜在风险。结果表明: 污染量上, 海河流域总氮 (TN)、总磷 (TP)、氨氮 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) 和化学需氧量 (COD) 面源污染排放负荷分别为 429.2、25.7、288.3 和 1 017.0 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$, 入河量分别为 2.5 万 t、1 597.2 t、1.7 万 t 和 6.6 万 t; 污染类型上, 农田径流是海河流域最主要的氮磷型 (TN、TP 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$) 面源污染源, 对于 COD 指标, 城镇生活是首要污染类型, 其次为畜禽养殖; 空间分布上, 海河流域中部和南部地区面源污染负荷较高, 此区域也是该流域面源污染高风险集中分布区, 氮磷型面源污染高风险区域分布相对较为集中, 化学需氧量型则较为零散; 海河流域有 36% 以上的区域存在氮磷型面源污染风险, 有 2.94% 的区域存在化学需氧量型面源污染风险。

关键词: 面源污染; 风险评估; DPeRS 模型; 遥感; 海河流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301 (2020) 10-4555-09 DOI: 10.13227/j.hjks.201912077

Assessment of Potential Risk of Diffuse Pollution in Haihe River Basin Based Using DPeRS Model

FENG Ai-ping¹, WANG Xue-lei^{1*}, XU Yi¹, HUANG Li¹, WU Chuan-qing¹, WANG Chang-zuo¹, WANG Hong-liang²

(1. Ministry of Ecology and Environment Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Beijing 100094, China; 2. Beijing AutoAi Technology Co., Ltd., Beijing 100094, China)

Abstract: Considering the Haihe River Basin as an example, the DPeRS model was used to analyze the spatial distribution characteristics and pollution sources of the diffuse pollution by remote sensing pixel scale. Combined with the evaluation standard of surface water quality, a potential risk grading method for diffuse pollution was constructed to assess the potential risk of diffuse pollution in Haihe River Basin. The results showed that, in 2016, the diffuse discharge loads of total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), and chemical oxygen demand (COD) were 429.2, 25.7, 288.3, and 1 017.0 $\text{kg}\cdot\text{km}^{-2}$, respectively, with the amount of river entry being 2.5×10^4 ton, 1 597.2 ton, 1.7×10^4 ton, and 6.6×10^4 ton in Haihe River Basin, respectively. Farmland runoff is the most important source of diffuse pollution of TN, TP and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in the Haihe River Basin. For COD index, urban life is the primary type of pollution, followed by livestock. The diffuse pollution is relatively severe in the central and southern areas of Haihe River Basin, and this area is also a high-risk concentrated distribution area of diffuse pollution in the basin. The distribution of high-risk areas of nitrogen-phosphorus diffuse pollution are relatively concentrated, and the chemical oxygen demand is relatively scattered. More than 36% of the Haihe River Basin has a nitrogen-phosphorus diffuse pollution risk, and 2.94% of the area has a chemical oxygen demand diffuse pollution risk.

Key words: diffuse pollution; risk assessment; DPeRS model; remote sensing; Haihe River Basin

随着我国社会经济结构转型升级的不断发展, 流域土地利用格局发生剧烈变化, 加之化肥和农药的大量投入、生活垃圾排放、水土流失等多重因素, 使得流域面源污染不断增加^[1]。在来自工业和城市生活污水的点源污染得到有效控制后, 面源污染逐步成为水体污染的首要污染源^[2]。控制及治理面源污染的关键是识别面源污染重点控制区^[3], 而开展面源污染的负荷估算及风险评估研究是识别面源污染重点控制区的前提条件。模型模拟是目前国际上面源污染评估的主流方式, 国内外学者在面源污染负荷估算方面的研究多采用 SWAT 模型^[4]、AnnAGNPS 模型^[5]、输出系数模型^[6]、HSPF 模型^[7]和 SPARROW 模型^[8]等方法, 但不同模型的应用条

件会受到流域自身特征和输入数据的限制; 对于面源污染风险评估研究, 主要有多因子综合评价法^[9]、磷指数法^[10]、输出风险模型法^[11]和分布式面源污染模型评价法^[12]等。目前尚无面源污染风险等级的划分标准, 常以一定风险概率值为间隔划分等级区间, 风险等级越高表明面源污染的可能性越大^[13]。

海河流域是我国水资源最为短缺和水污染最为

收稿日期: 2019-12-11; 修订日期: 2020-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41871346); 国家重点研发计划项目 (2016YFD0800903); 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2017ZX07302003)

作者简介: 冯爱萍 (1988 ~), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为流域尺度面源污染评估, E-mail: fengaiaping1108@126.com

* 通信作者, E-mail: wxlbnu@163.com

严重的流域,文献[14]指出全国七大流域中仅海河流域为重度污染.我国学者在海河流域开展了大量面源污染相关的研究工作,包括不同类型农业面源污染负荷量估算与分析^[15~17]、面源污染关键源区识别^[18]、面源污染控制策略分析^[19]、面源污染风险格局识别^[20]、总氮流失评价^[21]和氮磷面源污染空间特征遥感解析^[22]等研究,但鲜有学者提及面源污染潜在风险分级评估标准.

综合对比国内外面源污染评估模型^[23,24],遥感分布式面源污染评估模型(diffuse pollution estimation with remote sensing, DPeRS)在模型结构、运行条件和模拟指标等方面具有较大的管理应用优势^[22].DPeRS模型以栅格像元为空间计算单元,与SWAT模型的水文响应单元(HRU)相比,在确保模拟精度的前提下大大地提高了面源污染模拟的空间分辨率^[25];同时DPeRS模型耦合了定量遥感模型和生态水文过程模型,弥补了无资料区域模型估算的不足;且DPeRS模型的相关参数设置为开放模式,可根据参数丰富度进行重新架构,同时可依据管理需求完成不同时空尺度的面源污染量评估.此外,DPeRS模型实现了遥感像元尺度的面源污染负荷空间可视化,直观提供了面源污染管控的“关键区域”,与传统总量减排计算方法相比,实现了由“点”到“面”的突破,为合理制定面源污染防治方案提供了技术支撑^[22].

综上,本研究采用DPeRS面源污染评估模型,对海河流域TN、TP、 NH_4^+-N 和COD面源污染排放负荷进行了空间估算,分析了流域面源污染空间分布特征,识别了各指标的主要污染类型,并结合空间入河系数估算了海河流域面源污染入河量,结合地表水质评价标准,构建了面源污染潜在风险分级方法,进而评估了海河流域面源污染潜在风险,以期为海河流域面源污染防控及地表水质管理提供参考依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

海河流域处于我国华北地区,属于温带东亚季风气候,地势呈现西北高东南低分布,包括高原、山地和平原3种地貌类型,流域面积约为32万 km^2 ,山区占58.7%,涵盖海河、滦河和徒骇马颊河3大水系,流域地跨8个省份,包括北京市、天津市、河北省大部,山西省东部及北部,山东和河南两省北部,以及辽宁省和内蒙古自治区的小部分地区,涉及37个地市和337个县级行政区.海河流域地理位置和行政区划见图1.



图1 研究区位置示意

Fig. 1 Map of study areas

1.2 主要数据库

本文采用DPeRS模型估算海河流域面源污染量,该模型运行需要的主要数据库包括海河流域月降水量、土地利用类型、月植被覆盖度、坡度坡长、土壤类型和农田氮磷表观平衡量等,所有数据均统一转换为空间分辨率为1km的栅格数据,数据介绍具体如下.

(1)土地利用类型和月植被覆盖度数据 利用MOD13A2的NDVI数据产品,采用监督分类的最大似然法进行流域土地利用分类信息提取,采用最大最小值定量反演算法^[26]进行流域植被覆盖度反演.

(2)月降水量数据 在中国气象数据网站下载海河流域相关的国家级气象站的降水量数据,以DEM作为协变量,利用薄板样条滑动平均法进行降水量的空间插值^[27],得到流域月降水量空间插值数据.

(3)坡度坡长数据 基于DEM高程数据,利用ArcGIS软件功能模块计算海河流域坡度,应用ls_cal.aml程序^[28]计算流域坡长.

(4)土壤类型 来自国家基础信息数据1:100万土壤类型数据.

(5)农田氮磷表观平衡量 以中国县域统计年鉴、中国农村统计年鉴和地方统计年鉴为基础,数字化2016年海河流域分县城镇和乡村人口、水田和旱地面积、氮磷肥施用量、各类农作物播种面积及产

量、各类水果产量、各类畜禽存栏/出栏量等 50 多个指标数据,采用输入输出法^[29]核算农田氮磷表观平衡量。

此外,代入模型的人口和畜禽粪便的垃圾累积率和处理率等参数在已有资料调研的基础上参考污染源普查数据来综合确定。

1.3 面源污染评估模型方法

本研究采用基于“二元结构”原理构建的 DPeRS 模型对海河流域面源污染负荷进行月尺度空间估算,DPeRS 模型是对大尺度模型^[30]的全面升级,该模型算法以遥感数据为驱动,空间计算单元为影像栅格,综合考虑流域水文特征、土地利用方式和土壤分布特征等确定模型参数。DPeRS 模型包括农田径流型、农村生活型、畜禽养殖型、城镇生活型和水土流失型这 5 个污染类型,溶解态和颗粒态两种污染物形态,具体包括总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₄⁺-N)和化学需氧量(COD)这 4 个污染指标。溶解态面源污染物即表明面源污染物具有水溶性,可随地表径流发生迁移,整个过程受水循环控制,污染来源主要是农田生产过程中施用的肥料(TN、TP),城镇生活和农村生活中非集中处理和排放的生活垃圾、生活污水污染,以及散养和集中养殖过程中未集中处理的畜禽粪便污染(TN、TP、NH₄⁺-N和 COD)等;颗粒态面源污染物即通过附着在土壤颗粒体而实现迁移运动的污染元素(TN 和 TP),其过程与水土流失密切相关。DPeRS 模型核心算法详见文献[31]。

1.4 面源污染潜在风险阈值确定

本研究基于 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD 的地表水环境质量标准限值(见表 1)和中国地表水资源量数据(数据来源为中国水资源公报),假设点源和面源对水质的影响各占一半的前提下,构建了面源污染潜在风险评估标准,评估阈值详见表 2。具体计算公式为:

$$C_{NPS} = M_{total} \times 0.5 / A_{total}$$
$$M_{total} = C_{standard} \times Q_{water} \times 10^5$$

式中, C_{NPS} 是面源污染物浓度的潜在风险评估标准限值,kg·km⁻²; M_{total} 为水体污染物总量,kg; A_{total} 为我国国土的近似面积,此处取值 9 600 000 km²; $C_{standard}$ 为水质指标浓度的标准限值,mg·L⁻¹; Q_{water} 为地表水资源量,亿 m³,此处取值 25 911.74 亿 m³,为 2000~2015 年中国地表水资源量的均值,10⁵ 为单位转换系数。

当 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD 面源污染入河负荷小于等于 II 级潜在风险阈值时,定义为无风险;当面源污染入河负荷大于 II 级且小于等于 III 级潜在

风险阈值时,定义为低风险;当面源污染入河负荷大于 III 级且小于等于 IV 级潜在风险阈值时,定义为中风险;当面源污染入河负荷大于 IV 级且小于等于 V 级潜在风险阈值时,定义为较高风险;当面源污染入河负荷大于 V 级潜在风险阈值时,定义为高风险。

表 1 地表水环境质量标准限值¹⁾/mg·L⁻¹
Table 1 Standard limit of surface water environmental quality/mg·L⁻¹

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
总磷	0.02 (0.01)	0.1 (0.025)	0.2 (0.05)	0.3 (0.1)	0.4 (0.2)
总氮	0.2	0.5	1	1.5	2
氨氮	0.15	0.5	1	1.5	2
化学需氧量	15	15	20	30	40

1) 括号内数据为湖库中的限制

表 2 面源污染潜在风险评估标准限值/kg·km⁻²
Table 2 Standard value limit for potential risk assessment of diffuse pollution/kg·km⁻²

指标	I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级
总磷 ¹⁾	2.0	8.4	16.9	27.0	40.5
总氮	27.0	67.5	135.0	202.4	269.9
氨氮	20.2	67.5	135.0	202.4	269.9
化学需氧量	2 024.4	2 024.4	2 699.1	4 048.7	5 398.3

1) 总磷浓度取值参考地表水环境质量标准限值中总磷浓度的均值

2 结果与讨论

2.1 海河流域面源污染物排放特征分析

采用 DPeRS 模型对 2016 年海河流域面源污染排放负荷进行空间估算,结果表明:污染量上,海河流域 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD 面源污染排放负荷分别为 429.2、25.7、288.3 和 1 017.0 kg·km⁻²,排放量分别为 13.6 万 t、8 152.3 t、9.2 万 t 和 32.3 万 t;空间分布上,海河流域中部和南部地区面源污染排放负荷相对较高,北部地区污染负荷较低,TN、TP 和 NH₄⁺-N 表现为北京市南部、天津市大部、河北段中南部、山西段北部、河南和山东段等地区面源污染较重,COD 表现为北京和天津市的中南部、河北段南部和东部、河南段等区域的零散分布,海河流域面源污染排放负荷的空间分布详见图 2。海河流域面源污染空间统计结果表明,河南和山东段面源污染排放负荷均超过流域平均水平,北京市和天津市除 TP 外,其余 3 个指标面源污染排放负荷均超过流域平均水平;河北段、山西段、河南段和山东段 TN、TP 和 NH₄⁺-N 面源污染排放量相对较高,北京市、天津市、河北段、河南段和山东段 COD 面源污染排放量较为突出,海河流域各段面源污染排放量的统计信息见表 3。

基于 DPeRS 模型估算结果,分别对海河流域五

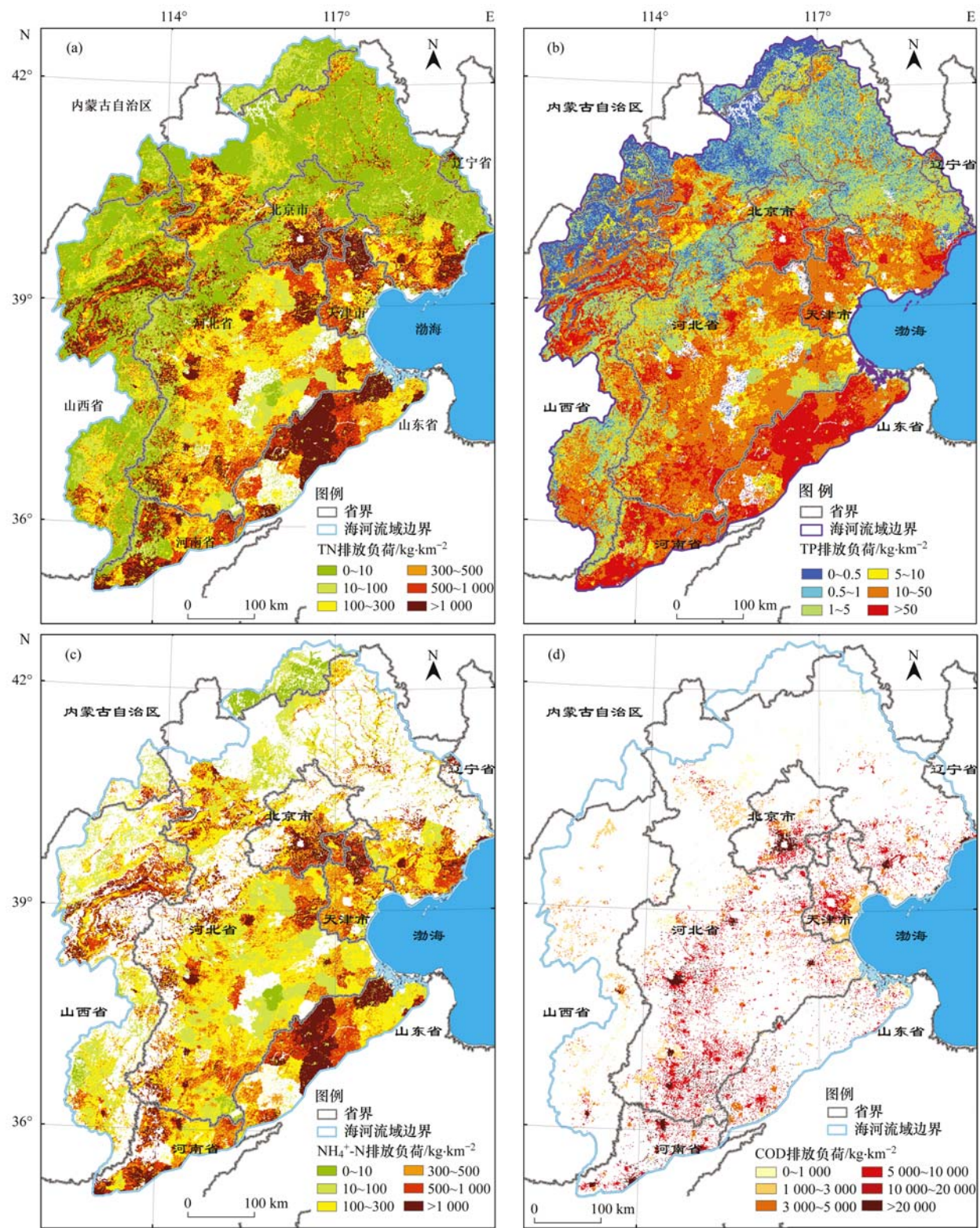


图2 海河流域面源污染排放负荷的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of diffuse discharge loads of Haihe River Basin

大类型(农田径流型、农村生活型、畜禽养殖型、城镇生活型和水土流失型)面源污染量进行空间统计分析.结果表明:农田径流是海河流域氮磷型(TN、TP和NH₄⁺-N)面源污染的首要污染源,其中,城镇生活是氮型(TN和NH₄⁺-N)面源污染的次要污染类型,畜禽养殖和城镇生活是TP的次要污染类型;对

于COD指标,城镇生活是首要污染类型,其次为畜禽养殖.海河流域不同类型面源污染排放情况详见表4.由此可见,控制海河流域的面源污染,应从农业生产方面着手,提高肥料利用率,有效降低土壤养分盈余,同时也需关注畜禽养殖和城镇生活引起的化学需氧量型面源污染.

表 3 海河流域面源污染排放量统计
Table 3 Discharge of diffuse pollution in Haihe River Basin

区域	TN		TP		NH ₄ ⁺ -N		COD	
	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t
北京市	469.1	7 683.9	22.0	360.1	366.4	6 000.9	2 692.7	44 103.2
天津市	685.9	7 871.6	31.0	356.1	463.5	5 319.4	1 518.9	17 432.3
河北段	317.8	55 360.3	17.6	3 070.1	216.5	37 707.1	1 005.6	175 177.5
山西段	352.8	20 834.7	26.0	1 534.5	227.6	13 441.5	254.0	14 997.1
内蒙古段	72.2	1 006.9	3.7	51.2	43.6	608.3	0.1	1.3
辽宁段	518.1	846.1	12.2	19.9	325.4	531.3	11.7	19.1
山东段	1 151.7	30 213.1	63.9	1 677.1	737.7	19 351.8	1 207.6	31 680.1
河南段	859.1	12 381.1	75.2	1 083.4	590.9	8 516.5	2 726.2	39 290.5
流域总计	429.2	136 197.6	25.7	8 152.3	288.3	91 476.8	1 017.0	32 2701.3

表 4 海河流域不同类型面源污染排放情况
Table 4 Discharge of different types of diffuse pollutants in Haihe River Basin

类型	TN		TP		NH ₄ ⁺ -N		COD	
	排放负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	排放负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	排放负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	排放负荷 /kg·km ⁻²	总量/t
农田径流型	399.1	126 641.8	20.7	6 573.6	252.5	80 107.3	—	—
畜禽养殖型	0.8	260.1	2.2	711.9	0.2	61.4	401.1	127 258.8
农村生活型	4.0	1 260.5	0.3	88.4	3.8	1 209.4	65.9	20 903.8
城镇生活型	23.7	7 515.4	1.7	527.0	31.8	10 097.8	550.0	174 524.6
水土流失型	2.2	684.6	1.1	356.8	—	—	—	—

2.2 海河流域面源污染物入河量估算

基于海河流域 2016 年各指标面源污染排放量,结合当年该流域空间入河系数,估算了海河流域各指标面源污染入河量.结果表明:海河流域 TN、TP、

NH₄⁺-N 和 COD 面源污染入河负荷分别为 79.6、5.0、53.8 和 209 kg·km⁻²,入河量分别为 2.5 万 t、1 597.2 t、1.7 万 t 和 6.6 万 t,流域各段面源污染入河量特征与排放规律类似,空间统计结果详见表 5.

表 5 海河流域面源污染入河量统计
Table 5 Inflow of diffuse pollution in Haihe River Basin

类型	TN		TP		NH ₄ ⁺ -N		COD	
	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t	负荷 /kg·km ⁻²	总量/t
北京市	92.6	1 516.5	4.5	73.3	69.7	1 141.5	463.1	75 84.7
天津市	126.6	1 453.5	5.8	66.9	90.4	1 037.5	449.5	5 158.7
河北段	61.2	10 663.1	3.5	617.6	41.9	7 292.5	212.6	37 038.1
山西段	56.0	3 304.1	4.8	282.0	36.0	2 126.2	44.4	2 623.7
内蒙古段	4.2	59.2	0.2	2.6	2.6	36.0	0.0	0.1
辽宁段	57.5	93.9	1.7	2.8	35.6	58.1	1.3	2.2
山东段	225.9	5 925.0	13.3	349.7	144.6	3 793.5	244.2	6 407.2
河南段	156.5	2 255.5	14.0	202.3	109.1	1 572.6	519.8	7 491.1
流域总计	79.6	25 270.9	5.0	1 597.2	53.8	17 058.0	209.0	66 305.8

2.3 海河流域面源污染潜在风险评估

基于海河流域 2016 年四指标(TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD)面源污染入河负荷空间分布结果,根据各指标面源污染潜在风险评估标准限值(表 3),评估了海河流域面源污染潜在风险.结果表明:整体上,海河流域面源污染高风险区主要分布在流域中部和南部区域,其中,氮型(TN 和 NH₄⁺-N)面源污染高风险区域主要位于北京市中南部、天津市北部和中部、河北段中部和南部、山西段中北部、河南段和山东段

等地区,磷型(TP)面源污染在北京市和山西段的中部、河南段和山东段的部分区域、河北段的零星区域风险较高,北京市和天津市的中南部、河北段的南部,以及河南段等地区存在化学需氧量型(COD)面源污染高风险的零星分布,海河流域各指标面源污染潜在风险空间分布见图 3.

对海河流域面源污染潜在风险的空间分布结果进行统计分析,结果表明:对于 TN 指标,海河流域有 37.9% 的区域存在面源污染风险,且超过 10% 的

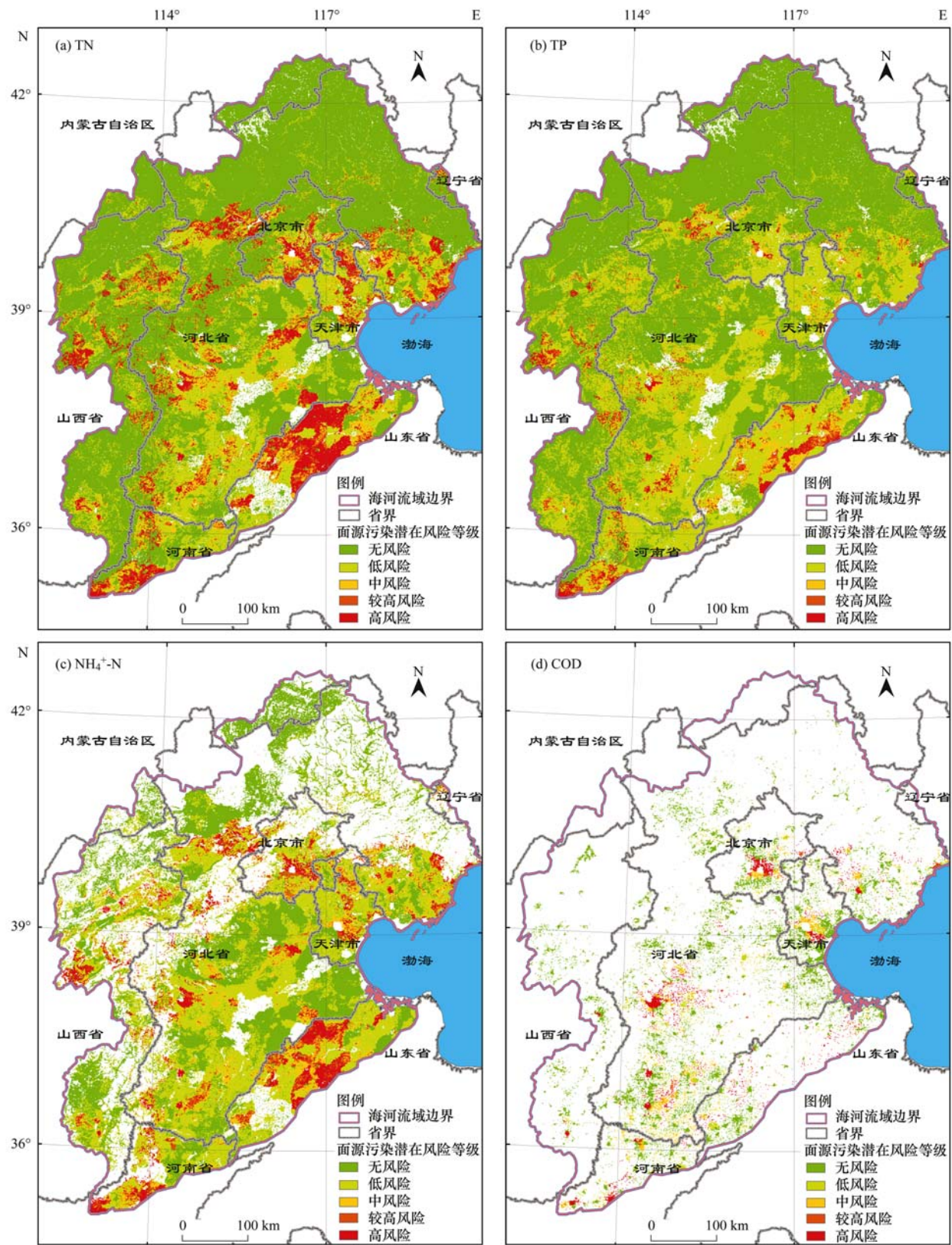


图3 海河流域面源污染潜在风险空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of potential risk of diffuse pollution in Haihe River Basin

区域面临较高及以上风险,其中,有24 610 km² 区域处于高风险水平,约占流域总面积的7.8%;对于TP指标,海河流域有39.6%的区域存在面源污染风险,且3.6%的区域面临较高及以上风险,其中,有

6 076 km² 区域处于高风险水平,约占流域总面积的1.9%;对于NH₄⁺-N指标,海河流域有36.8%的区域存在面源污染风险,且6.7%的区域面临较高及以上风险,其中,有13 752 km² 区域处于高风险

水平,约占流域总面积的 4.3%;对于 COD 指标,海河流域有 3.0% 的区域存在面源污染风险,且 1.3% 的区域面临较高及以上风险,其中,有 2 770 km² 区域处于高风险水平,约占流域总面积的 0.9%,海河流域各指标面源污染潜在风险面积统计信息详见表 6.

表 6 海河流域面源污染潜在风险面积统计

面源污染 风险等级	TN		TP		NH ₄ ⁺ -N		COD	
	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%	面积/km ²	面积占比/%
无风险	181 384	57.2	178 471	56.3	74 432	23.5	18 767	5.9
低风险	69 699	22.0	102 600	32.4	81 915	25.8	2 154	0.7
中风险	16 238	5.1	11 389	3.6	13 706	4.3	3 210	1.0
较高风险	9 543	3.0	5 449	1.7	7 548	2.4	1 189	0.4
高风险	24 610	7.8	6 076	1.9	13 752	4.3	2 770	0.9

2.4 结果对比分析

面源污染模型是面源污染量化的最直接有效的途径,模型评估方法多样,所需数据繁杂,利用模型进行模拟的过程中存在来自面源污染本身、模型结构和参数以及数据来源等方面的不确定性,导致输出结果具有一定的差异^[32].

朱梅等^[15]利用输出系数法对 2007 年海河流域种植业面源污染负荷量进行估算,得出海河流域地表径流型总氮和总磷流失量分别为 51 966 t 和 7 976 t;王道芸^[33]将 InVEST 模型与 GIS 技术相结合,采用修正的 DNR 模型对海河流域氮磷污染负荷进行定量估算,2015 年农田面源污染匹配模式产生的总氮和总磷输出量分别为 3.49 万 t 和 0.81 万 t,单位面积总氮和总磷输出量分别为 2.41 kg·hm⁻² 和 0.56 kg·hm⁻²;DPeRS 模型估算的 2016 年海河流域农田径流型总氮和总磷排放量分别为 12.7 万 t 和 0.7 万 t,排放负荷分别为 399.1 kg·km⁻² 和 20.7 kg·km⁻²;对比发现,除了总氮排放量在数量级上有所差异,其他指标数值在数量级上均是一致的,这与模型方法、数据源、模拟时间等因素有关.

此外,朱梅等^[17]采用输出系数法核算的 2007 年海河流域畜禽养殖 COD 排放量为 36 万 t,DPeRS 模型估算的 2016 年海河流域畜禽养殖型 COD 排放量为 12.7 万 t,研究结果在数量级上是一致的.

在面源污染风险评估方面,孔佩儒等^[20]采用最小累积阻力模型识别了海河流域面源污染风险格局,表明海河流域有超过 40% 的区域面临高风险,表现为中南部平原地区以及山区河谷地带的集中分布,与本文评估的海河流域面源污染潜在风险空间分布大体一致.

3 结论

(1)基于 DPeRS 模型的面源污染模拟结果表明,2016 年海河流域 TN、TP、NH₄⁺-N 和 COD 面源污染排放负荷分别为 429.2、25.7、288.3 和

1 017.0 kg·km⁻²,排放量分别为 13.6 万 t、8 152.3 t、9.2 万 t 和 32.3 万 t,入河量分别为 2.5 万 t、1 597.2 t、1.7 万 t 和 6.6 万 t;海河流域氮磷面源污染主要来自农田径流;对于 COD 指标,城镇生活是首要污染类型,其次为畜禽养殖.

(2)面源污染排放负荷的空间分布特征表明,海河流域中部和南部地区面源污染排放负荷较为突出,其中,TN、TP 和 NH₄⁺-N 具体表现为北京市南部、天津市大部、河北段中南部、山西段北部、河南和山东段等区域面源污染排放负荷较为突出,COD 表现为北京市和天津市的中南部、河北段南部和东部、河南段等区域的零散分布,此外,河北段面源污染物排放量及入河量最为突出.

(3)面源污染潜在风险空间分布结果表明,海河流域面源污染潜在风险较高的地区主要分布在流域中部和南部区域,其空间分布与海河流域面源污染排放负荷的空间分布类似,氮磷型面源污染高风险区域相对较为集中,化学需氧量型则较为零散;海河流域有 36% 以上的区域存在氮磷型面源污染风险,有 2.94% 的区域存在化学需氧量型面源污染风险.

参考文献:

[1] 欧阳威,蔡冠清,黄浩波,等.小流域农业面源氮污染时空特征及与土壤呼吸硝化关系分析[J].环境科学,2014,35(6):2411-2418.
Ouyang W, Cai G Q, Huang H B, et al. Temporal-spatial distribution of agricultural diffuse nitrogen pollution and relationship with soil respiration and nitrification [J]. Environmental Science, 2014, 35(6): 2411-2418.
[2] 欧阳威,黄浩波,蔡冠清.巢湖地区无监测资料小流域面源磷污染输出负荷时空特征[J].环境科学学报,2014,34(4):1024-1031.
Ouyang W, Huang H B, Cai G Q. Temporal and spatial characteristics of diffuse phosphorus pollution in the watershed without monitoring data at Chaohu Lake [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, 34(4): 1024-1031.
[3] Peng W, Ouyang W, Hao F H, et al. Combined impacts of precipitation and temperature on diffuse phosphorus pollution loading and critical source area identification in a freeze-thaw area

- [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **553**: 607-616.
- [4] Ouyang W, Yang W X, Tysklind M, *et al.* Using river sediments to analyze the driving force difference for non-point source pollution dynamics between two scales of watersheds[J]. *Water Research*, 2018, **139**: 311-320.
- [5] 边金云, 王飞儿, 杨佳, 等. 基于 AnnAGNPS 模型四岭水库小流域氮磷流失特征的模拟研究[J]. *环境科学*, 2012, **33**(8): 2659-2666.
- Bian J Y, Wang F E, Yang J, *et al.* Simulation of nitrogen and phosphorus loss in Siling Reservoir watershed with Ann AGNPS[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(8): 2659-2666.
- [6] 谢经朝, 赵秀兰, 何丙辉, 等. 汉丰湖流域农业面源污染氮磷排放特征分析[J]. *环境科学*, 2019, **40**(4): 1760-1769.
- Xie J C, Zhao X L, He B H, *et al.* Analysis of the characteristics of nitrogen and phosphorus emissions from agricultural non-point sources on Hanfeng Lake Basin[J]. *Environmental Science*, 2019, **40**(4): 1760-1769.
- [7] Chang C L, Li M Y. Predictions of diffuse pollution by the HSPF model and the back-propagation neural network model[J]. *Water Environment Research*, 2017, **89**(8): 732-738.
- [8] 徐敏, 陈岩, 赵琰鑫, 等. 流域空间属性关联模型 (SPARROW 模型) 理论方法与应用案例[M]. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- [9] 刘建昌, 严岩, 刘峰, 等. 基于多因子指数集成的流域面源污染风险研究[J]. *环境科学*, 2008, **29**(3): 599-606.
- Liu J C, Yan Y, Liu F, *et al.* Risk assessment and safety evaluation using system normative indexes integration method for non-point source pollution on watershed scale[J]. *Environmental Science*, 2008, **29**(3): 599-606.
- [10] Zhang W W, Ma Y H, Lu Q, *et al.* Nutrient loss from farmland: research on and application of phosphorus index method[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2015, **16**(2): 262-265, 271.
- [11] 荆延德, 张华美. 基于 LUCC 的南四湖流域面源污染输出风险评估[J]. *自然资源学报*, 2019, **34**(1): 128-139.
- Jing Y D, Zhang H M. Risk assessment of non-point source pollution output in Nansihu Lake Basin based on LUCC[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, **34**(1): 128-139.
- [12] Ouyang W, Xu X T, Hao Z C, *et al.* Effects of soil moisture content on upland nitrogen loss[J]. *Journal of Hydrology*, 2017, **546**: 71-80.
- [13] 方广玲, 香宝, 杜加强, 等. 拉萨河流域非点源污染输出风险评估[J]. *农业工程学报*, 2005, **31**(1): 247-254.
- Fang G L, Xiang B, Du J Q, *et al.* Risk assessment of non-point source pollution export in Lasahe basin[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, **31**(1): 247-254.
- [14] 中华人民共和国生态环境部. 2016 中国环境状况公报[R]. 北京: 环保部, 2017.
- [15] 朱梅, 吴敬学, 张希三. 海河流域种植业非点源污染负荷量估算[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(10): 1907-1915.
- Zhu M, Wu J X, Zhang X S. Estimation on non-point source pollution loads of crop farming in Hai Basin[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, **29**(10): 1907-1915.
- [16] 邱斌, 李萍萍, 钟晨宇, 等. 海河流域农村非点源污染现状及空间特征分析[J]. *中国环境科学*, 2012, **32**(3): 564-570.
- Qiu B, Li P P, Zhong C Y, *et al.* Characteristics and spatial distribution of the rural non-point source pollution in Haihe River Basin[J]. *China Environmental Science*, 2012, **32**(3): 564-570.
- [17] 朱梅, 吴敬学, 张希三. 海河流域畜禽养殖污染负荷研究[J]. *农业环境科学学报*, 2010, **29**(8): 1558-1565.
- Zhu M, Wu J X, Zhang X S. Pollutants loads of livestock and poultry breeding in Hai Basin, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, **29**(8): 1558-1565.
- [18] 焦永杰, 周滨, 刘红磊, 等. 流域面源污染关键区快速识别方法的研究与应用——以海河干流流域为例[J]. *安徽农业科学*, 2017, **45**(11): 50-54.
- Jiao Y J, Zhou B, Liu H L, *et al.* Research and application of rapid identification methods of critical area for non-point pollution of watershed -taking Haihe River Basin as an example[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, **45**(11): 50-54.
- [19] 李屹, 周滨, 刘红磊, 等. 海河干流流域暴雨径流非点源污染负荷解析与控制策略[J]. *安全与环境学报*, 2018, **18**(1): 230-235.
- Li Y, Zhou B, Liu H L, *et al.* Analysis of the non-point source pollution load from the storm runoff and its control strategy for Haihe River trunk stream, Tianjin[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2018, **18**(1): 230-235.
- [20] 孔佩儒, 陈利顶, 孙然好, 等. 海河流域面源污染风险格局识别与模拟优化[J]. *生态学报*, 2018, **38**(12): 4445-4453.
- Kong P R, Chen L D, Sun R H, *et al.* Identification and optimized simulation of non-point source pollution risk patterns in the Haihe River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(12): 4445-4453.
- [21] 孙然好, 陈利顶, 王伟, 等. 基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价[J]. *环境科学*, 2012, **33**(6): 1784-1788.
- Sun R H, Chen L D, Wang W, *et al.* Correlating landscape pattern with total nitrogen concentration using a location-weighted sink-source landscape index in the Haihe River Basin, China[J]. *Environmental Science*, 2012, **33**(6): 1784-1788.
- [22] 冯爱萍, 吴传庆, 王雪蕾, 等. 海河流域氮磷面源污染空间特征遥感解析[J]. *中国环境科学*, 2019, **39**(7): 2999-3008.
- Feng A P, Wu C Q, Wang X L, *et al.* Spatial character analysis on nitrogen and phosphorus diffuse pollution in Haihe River Basin by remote sensing[J]. *China Environmental Science*, 2019, **39**(7): 2999-3008.
- [23] Adu J, Kumarasamy M V. Assessing non-point source pollution models: a review[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2018, **27**(5): 1913-1922.
- [24] Ouyang W, Gao X, Wei P, *et al.* A review of diffuse pollution modeling and associated implications for watershed management in China[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, **17**(6): 1527-1536.
- [25] Wang X L, Wang Q, Wu C Q, *et al.* A method coupled with remote sensing data to evaluate non-point source pollution in the Xin'anjiang catchment of China[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, **430**: 132-143.
- [26] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A, Plaza A, *et al.* Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: case study of PROBA/CHRIS data over an agricultural area[J]. *Sensors*, 2009, **9**(2): 768-793.
- [27] 刘志红, Li L T, McVicar T R, 等. 专用气候数据空间插值软件 ANUSPLIN 及其应用[J]. *气象*, 2008, **34**(2): 92-100.
- Liu Z H, Li L T, McVicar T R, *et al.* Introduction of the professional interpolation software for meteorology data: ANUSPLIN[J]. *Meteorological Monthly*, 2008, **34**(2): 92-100.

- [28] 符素华, 刘宝元, 周贵云, 等. 坡长坡度因子计算工具[J]. 中国水土保持科学, 2015, **13**(5): 105-110.
Fu S H, Liu B Y, Zhou G Y, *et al.* Calculation tool of topographic factors[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2015, **13**(5): 105-110.
- [29] Wang X L, Feng A P, Wang Q, *et al.* Spatial variability of the nutrient balance and related NPSP risk analysis for agro-ecosystems in China in 2010 [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, **193**: 42-52.
- [30] 郝芳华, 杨胜天, 程红光, 等. 大尺度区域非点源污染负荷计算方法[J]. 环境科学学报, 2006, **26**(3): 375-383.
Hao F H, Yang S T, Cheng H G, *et al.* A method for estimation of non-point source pollution load in the large-scale basins of China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2006, **26**(3): 375-383.
- [31] 王雪蕾, 蔡明勇, 钟部卿, 等. 辽河流域非点源污染空间特征遥感解析[J]. 环境科学, 2013, **34**(10): 3788-3796.
Wang X L, Cai M Y, Zhong B Q, *et al.* Research on spatial characteristic of non-point source pollution in Liaohe River Basin [J]. Environmental Science, 2013, **34**(10): 3788-3796.
- [32] 郝改瑞, 李家科, 李怀恩, 等. 流域非点源污染模型及不确定分析方法研究进展[J]. 水力发电学报, 2018, **37**(12): 54-64.
Hao G R, Li J K, Li H E, *et al.* Advances in research of watershed non-point source pollution models and uncertainty analysis methods [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2018, **37**(12): 54-64.
- [33] 王道芸. 基于 InVEST 模型的海河流域农业面源污染负荷估算[D]. 南昌: 东华理工大学, 2019.
Wang D Y. Estimation of agricultural non-point source pollution load in Haihe River Basin based on InVEST model [D]. Nanjing: East China University of Technology, 2019.



CONTENTS

Analysis of Pollution Characteristics and Primary, Secondary Contributions of Firework Burnings in Qingdao During the Spring Festival	FANG Tian-ge, YAO Xiao-hong, MENG He, <i>et al.</i> (4345)
Characterization and Source Apportionment of PM _{2.5} Based on the Online Observation in Tianjin	XIAO Zhi-mei, XU Hong, LI Li-wei, <i>et al.</i> (4355)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM _{2.5} in Beijing During 2017-2018	LI Huan, TANG Gui-qian, ZHANG Jun-ke, <i>et al.</i> (4364)
Characteristics of Carbonaceous Species in PM _{2.5} in Southern Beijing	DONG Gui-ming, TANG Gui-qian, ZHANG Jun-ke, <i>et al.</i> (4374)
Characteristics and Formation Mechanism of Three Haze Pollution Processes in Chengdu in Winter	FENG Xiao-qiong, CHEN Jun-hui, YIN Han-mei, <i>et al.</i> (4382)
Distribution Characteristics and Source of Black Carbon Aerosols in the Northern Suburbs of Nanjing	XIE Feng, LIN Yu-chi, SONG Wen-huai, <i>et al.</i> (4392)
Assessment of Emergency Emission Reduction Effect During the Heavy Air Pollution Episodes in Beijing, Tianjin, Hebei, and Its Surrounding Area ("2+26" Cities) from October to December 2019	ZHU Yuan-yuan, GAO Yu-xiao, WANG Wei, <i>et al.</i> (4402)
Variational Trend and Characteristics of Air Pollution in Baoding City	GOU Yin-yin, ZHANG Kai, LI Jin-juan, <i>et al.</i> (4413)
Emission Inventory of VOCs Components in Zhengzhou and Their Ozone Formation Potential	LU Xuan, ZHANG Rui-qin, HAN Luo-kai (4426)
Evolution and Evaluation of O ₃ and VOCs in Zhengzhou During the National Traditional Games of Ethnic Minorities Period	ZHAO Jin-shuai, YU Shi-jie, WANG Nan, <i>et al.</i> (4436)
Characteristics of Volatile Organic Compounds in Wood Coatings and Automotive Coatings in China	KE Yun-ting, SUN Yu-hang, CHENG Hai-rong, <i>et al.</i> (4446)
Influence of Typical Desulfurization Process on Flue Gas Particulate Matter of Coal-fired Boilers	ZHANG Jin-sheng, WU Jian-hui, LÜ Rui-he, <i>et al.</i> (4455)
Investigation on the Emission Difference of Air Pollutants from Common Residential Coal Stoves and Suggestions for Emission Reduction	ZHANG Yi-chen, XUE Chen-li, LIU Jie, <i>et al.</i> (4462)
Mobile Source Emission Inventory with High Spatiotemporal Resolution in Tianjin in 2017	LIU Geng, SUN Shi-da, SUN Lu-na, <i>et al.</i> (4470)
Emission Inventory and Characteristics of Anthropogenic Air Pollution Sources Based on Second Pollution Source Census Data in Sichuan Province	XU Chen-xi, CHEN Jun-hui, LI Yuan, <i>et al.</i> (4482)
Preliminary Screening for the Urban Forest Against Combined Air Pollution	LI Pin, WEI Yan-yan, FENG Zhao-zhong (4495)
Spatial Distribution and Pollution Characteristics of Heavy Metals in Plant Leaves in Baoji City	ZHANG Jun, LIANG Qing-fang, GAO Yu (4504)
Distribution Characteristics and Risk Assessment of PPCPs in Surface Water and Aquatic Organisms in Chaoshan Coastal Area along the South China Sea	XIU Cuo, WANG Chen-chen, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (4514)
Spatiotemporal Differentiation and Degradation Analysis of Polybrominated Diphenyl Ethers in Sediments of Shanmei Reservoir and Its Inflowing River, Quanzhou, China	HAN Wen-liang, LIU Yu, FENG Kai-wen (4525)
Spatial-temporal Variations and the Regulators of Nitrate Status in Shallow Groundwater of the Typical Mountainous Agricultural Watershed in the Upper Reaches of the Yangtze River	JIANG Nan, ZHOU Ming-hua, LI Hong, <i>et al.</i> (4539)
Emission Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Typical Agricultural Small Watershed in Tuojiang River Basin	WANG Hong, XU Ya-ling, ZHANG Qi, <i>et al.</i> (4547)
Assessment of Potential Risk of Diffuse Pollution in Haihe River Basin Based Using DPeRS Model	FENG Ai-ping, WANG Xue-lei, XU Yi, <i>et al.</i> (4555)
Impact of Spatial Heterogeneity of Precipitation on the Area Change in Critical Source Area of Non-point Sources Pollution	GAO Xiao-xi, ZUO De-peng, MA Guang-wen, <i>et al.</i> (4564)
Sedimentary Diatom Records Reveal the Succession of Ecosystem in Lake Xihu, Dali over the Past 50 Years	ZHANG Chen-xue, XU Min, DONG Yi-fan, <i>et al.</i> (4572)
Content and Distribution of Cadmium in Soil and Fluvial Sediments in the Sea-Land Interaction Zone	WANG Fang-ting, CHEN Zhi-hua, BAO Ke, <i>et al.</i> (4581)
Occurrence Characteristics and Quality Estimation of Microplastics in Drainage Ditches in Hetao Irrigation District of Inner Mongolia	WANG Zhi-chao, YANG Fan, YANG Wen-huan, <i>et al.</i> (4590)
Influence of Pervious/Impervious Pattern on Runoff and Pollution in Parcel-based Catchment	JIANG Zhi-hui, LIAO Yun-jie, XIE Wen-xia, <i>et al.</i> (4599)
Activating Efficiency of Iron-copper Bimetallic Organic Framework MIL-101 (Fe, Cu) Toward H ₂ O ₂ for Degradation of Dyes	LIANG He, LIU Rui-ping, AN Xiao-qiang, <i>et al.</i> (4607)
Synergistic Reaction Mechanism of Cu ⁰ @Fe ₃ O ₄ Activated PMS for Degradation of <i>p</i> -nitrophenol	SHI Qing-qing, PU Sheng-yan, YANG Xi (4615)
Kinetics and Mechanism of Sucralose Degradation in Water Using UV-activated Persulfate Process	YU Yun, LU Jin-xin, LÜ Zhen, <i>et al.</i> (4626)
Microbial Community Structure for Sewage Wastewater Treatment Plants in Winter	SHANG Yue-fei, WANG Shen, ZONG Ni, <i>et al.</i> (4636)
Microbial Community Analysis of Different DN and PN-ANAMMOX Coupling Modes for Mature Landfill Leachate Treatment	LU Ming-yu, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4644)
Analysis of Rapid Start-up and Mixed Nutritional Nitrogen Removal Performance of Complete Autotrophic Granular Sludge	QI Ze-kun, WANG Jian-fang, QIAN Fei-yue, <i>et al.</i> (4653)
Long-term Stability of Aerobic Granular Sludge Under Low Carbon to Nitrogen Ratio	YUAN Qiang-jun, ZHANG Hong-xing, CHEN Fang-yuan (4661)
Response of Bacterial and Fungal Communities to Chemical Fertilizer Reduction Combined with Organic Fertilizer and Straw in Fluvio-aquic Soil	WU Xian, WANG Rui, HU He, <i>et al.</i> (4669)
Characteristics of Soil Nutrients and Fungal Community Composition in Crop Rhizosphere Under Different Rotation Patterns	SUN Qian, WU Hong-liang, CHEN Fu, <i>et al.</i> (4682)
Effects of Short-term Application of Moutai-flavor Vinasse Biochar on Nitrogen Availability and Bacterial Community Structure Diversity in Yellow Soil of Guizhou Province	ZHANG Meng, LIU Yan-ling, WEI Quan-quan, <i>et al.</i> (4690)
Effects of Different Rotation Patterns of Oil-Rice on Methane and Nitrous Oxide Emissions in Rice Fields	CHEN You-de, ZHAO Yang, GAO Du-juan, <i>et al.</i> (4701)
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> Biofertilizer Mitigating Soil Ammonia Volatilization	YANG Ya-hong, XUE Li-xia, SUN Bo, <i>et al.</i> (4711)
Effects of Exogenous Phosphorus on Rice Growth and Cadmium Accumulation and Transportation Under Cadmium Stress	HUO Yang, QIU Yin-yan, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (4719)
Key Stage of As Accumulation in Rice Under As Stress at Different Growth Stages	DENG Peng-hui, CAI Ya-qin, ZHOU Hang, <i>et al.</i> (4726)
Heavy Metal Contamination and Health Risk Assessment of Corn Grains from a Pb-Zn Mining Area	ZHOU Yan, WAN Jin-zhong, LI Qun, <i>et al.</i> (4733)
Polybrominated Diphenyl Ether in E-waste Dismantling Sites in Taizhou City, Zhejiang Province: Concentration, Distribution, and Migration Trend	WEI Bao-kai, LIU Chen, WANG Ying, <i>et al.</i> (4740)
Assessment and Source Analysis of Heavy Metal Pollution in Farmland Soils in Southern Youyang County, Chongqing	WANG Rui, DENG Hai, YAN Ming-shu, <i>et al.</i> (4749)
Ecological Risk Assessment of Tetracycline Antibiotics in Livestock Manure and Vegetable Soil of Chongqing	PENG Qiu, WANG Wei-zhong, XU Wei-hong (4757)