

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

HUANJING KEXUE

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业VOCs排放特征及管控对策

孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金



制药



喷涂



橡胶

京津冀

长三角

珠三角

■ 主办 中国科学院生态环境研究中心

■ 出版 科学出版社



2021年3月

第42卷 第3期

Vol.42 No.3

目次

经济快速发展区场地污染特征、源-汇关系与管控对策专辑

我国经济快速发展区工业 VOCs 排放特征及管控对策 孟博文, 李永波, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 周喜斌, 李金灵, 苏贵金 (1023)

长江经济带湖北省人为源 VOCs 排放清单及变化特征 代伶文, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 黄利宏 (1039)

经济快速发展区六氯丁二烯的来源与分布特征 陶誉铭, 孟晶, 李倩倩, 史斌, 苏贵金, 郭立新 (1053)

近 20 年中国表层土壤中多环芳烃时空分布特征及源解析 马妍, 程芦, 阮子渊, 史鹏飞, 路超君, 运晓彤, 李璐嫣, 徐雁秋, 史怡 (1065)

电子废物拆解区微塑料与周围土壤环境之间的关系 柴炳文, 尹华, 魏强, 卢桂宁, 党志 (1073)

焦化场地内外土壤重金属空间分布及驱动因子差异分析 顾高铨, 万小铭, 曾伟斌, 雷梅 (1081)

典型石化工业城市土壤重金属源解析及空间分布模拟 孙雪菲, 张丽霞, 董玉龙, 朱林宇, 王政, 吕建树 (1093)

多功能区工业园土壤和地表灰尘重金属污染及生态风险差异分析 曾伟斌, 顾高铨, 万小铭, 雷梅 (1105)

龙岩市某铁锰矿区土壤重金属地球化学空间分布特征与来源分析 王蕊, 陈楠, 张二喜, 李小赛 (1114)

基于全周期场地概念模型的场地环境精准调查应用案例 李培中, 吴乃瑾, 王海见, 张骥, 荣立明, 李翔, 魏文侠, 宋云 (1123)

造纸厂土壤中短链和中链氯化石蜡的污染特征和风险评估 张佩萱, 高丽荣, 宋世杰, 乔林, 徐驰, 黄帝, 王爽, 蒋思静, 郑明辉 (1131)

典型再生铜冶炼厂周边土壤中 PCDD/Fs、PCBs 和 PCNs 的污染特征及健康风险评估 胡吉成, 郭静, 许晨阳, 金军 (1141)

柠檬酸与磷共存对土壤吸附镉的影响 宋子腾, 左继超, 胡红青 (1152)

两种能源草田间条件下对镉和锌的吸收累积 郑瑞伦, 石东, 刘文菊, 孙国新, 侯新村, 胡艳霞, 朱毅, 武菊英 (1158)

钒钛磁铁矿尾矿库复垦土地及周边土壤-玉米重金属迁移富集特征 孙厚云, 卫晓锋, 孙晓明, 贾凤超, 李多杰, 李健 (1166)

盐胁迫下八宝景天不同生态型对土壤中 Cd 积累特征 郭俊梅, 杨俊兴, 杨军, 万小铭, 孟晓飞, 陈同斌, 何孟轲, 周小勇, 徐铁兵 (1177)

水分条件对生物炭钝化水稻土铅镉复合污染的影响 汤家庆, 张绪, 黄国勇, 胡红青 (1185)

壳聚糖改性生物炭对水稻土甲基汞生成及其稻米积累的影响 杨雪玲, 王明星, 徐国敏, 王定勇 (1191)

铬污染对土壤细菌群落结构及其构建机制的影响 于皓, 安益君, 金德才, 靳拓, 王兴润 (1197)

研究报告

COVID-19 疫情期间京津冀大气污染物变化及影响因素分析 赵雪, 沈楠驰, 李令军, 武高峰, 陶静, 赵文吉 (1205)

2020 年初疫情管控对山东省空气质量影响的模拟 刘厚凤, 徐薇, 魏敏, 隋潇, 许鹏举, 李明燕, 张美根 (1215)

南京北郊 PM_{2.5} 中有机组分的吸光性质及来源 尚玥, 余欢, 茅宇豪, 王成, 谢鸣捷 (1228)

西安市大气棕碳污染特性及发色团种类 陈前, 陈庆彩 (1236)

淄博市道路尘细粒子携带金属元素的来源与健康风险评价 郭清源, 白雯宇, 赵雪艳, 郭丽瑶, 王敬华, 耿春梅, 王晓雨, 王静, 杨文, 白志鹏 (1245)

北京市控制 PM_{2.5} 污染的健康效益评估 杜沛, 王建州 (1255)

西宁市大气污染来源和输送季节特征 刘娜, 余晔, 马学谦 (1268)

青岛近海不同污染过程下大气颗粒态氮磷浓度分布特征 袁刚, 祁建华, 丁雪 (1280)

基于走航监测的长三角工业园区周边大气挥发性有机物污染特征 王红丽, 高雅琴, 景盛翱, 楼晟荣, 胡馨遥, 安静宇, 吴宇航, 高伟, 朱亮, 黄成 (1298)

山地型城市冬季大气重污染过程特征及成因分析 刘伟诚, 牛月圆, 吴婧, 闫雨龙, 胡冬梅, 邱雄辉, 彭林 (1306)

兰-白城市群主要大气污染物网格化排放清单及来源贡献 王文鹏, 王占祥, 李继祥, 高宏, 黄韬, 毛潇萱, 马建民 (1315)

2012~2019 年北京市储油库 VOCs 去除及排放水平变化监测分析 华岚英, 崔彤, 李金香, 邹本东, 杨妍妍, 程刚 (1328)

生活垃圾无害化处理大气污染物排放清单 马占云, 姜显聪, 任佳雪, 张阳, 冯鹏, 高庆先, 孟丹 (1333)

长江口邻近海域表层沉积物中的细菌藎多醇及对低氧区的响应判别 尹美玲, 段丽琴, 宋金明, 张乃星 (1343)

鄱阳湖流域水体和水产品中苯酚的暴露特征及人体健康风险评估 徐倩云, 艾舜豪, 高祥云, 王晓南, 刘征涛, 赵师晴, 葛刚, 李霖 (1354)

衡水湖湿地水环境质量时空变化特征及污染源分析 刘魏魏, 郭子良, 王大安, 张曼胤, 张余广 (1361)

丹江口水库及其入库支流水体中微塑料组成与分布特征 潘雄, 林莉, 张胜, 翟文亮, 陶晶祥, 李丹文 (1372)

金盆水库暴雨径流时空演变过程及水质评价 黄诚, 黄廷林, 李扬, 李楠, 齐允之, 司凡, 华逢耀, 赵凌云 (1380)

汛期暴雨径流对饮用水水库溶解性有机质 (DOM) 光谱特征的影响 李程遥, 黄廷林, 温成成, 梁伟光, 林子深, 杨尚业, 李凯, 蔡晓春 (1391)

苏州古城区河道碳氮磷类污染物的分布特征 白冬锐, 张涛, 陈坦, 王洪涛, 金曦, 郑凯旋, 李忠磊, 杨婷, 金军 (1403)

娘子关泉群水化学特征及成因 唐春雷, 赵春红, 申豪勇, 梁永平, 王志恒 (1416)

过氧化钙重塑底泥对水中磷酸盐的吸附作用 徐楚天, 李大鹏, 王子良, 吴宇涵, 许鑫澎, 黄勇 (1424)

亚热带丘陵区绿狐尾藻人工湿地处理养猪废水氮磷去向 王丽莎, 李希, 李裕元, 张满意, 吴金水 (1433)

紫外/亚硫酸盐高级还原工艺加速降解水中难降解含碘造影剂 刘子奇, 仇付国, 赖曼婷, 李津, 董慧岭, 强志民 (1443)

太阳能热活化过硫酸盐降解染料罗丹明 B 的效能 马萌, 许路, 金鑫, 金鹏康 (1451)

一步法 La@MgFe₂O₄ 的制备及其吸附水中磷的性能 白润英, 宋博文, 张彧, 郝俊峰, 刘建明, 刘宇红 (1461)

工程规模长填龄渗滤液膜生物-纳滤组合设施各单元污染物去除效能 邵立明, 邓樱桃, 仇俊杰, 吕凡, 章骅, 何晶晶 (1469)

ANAMMOX 培养物中硫酸盐型氨氧化生物转化机制 毕贞, 董石语, 黄勇 (1477)

不同季节城市污水处理厂微生物群落特性 贺赞, 李魁晓, 王佳伟, 王慰, 樊鹏超, 陈行行, 王军静 (1488)

麻黄碱在斑马鱼体内的器官特异性蓄积及毒代动力学 殷行行, 郭昌胜, 邓洋慧, 邱紫雯, 张艳, 滕彦国, 徐建 (1496)

内蒙古白云鄂博矿区土壤稀土元素污染特征及评价 王哲, 赵莹晨, 骆逸飞, 郑春丽, 卞园, 张光宇 (1503)

广西典型岩溶区农田土壤-作物系统 Cd 迁移富集影响因素 马宏宏, 彭敏, 郭飞, 刘飞, 唐世琪, 杨峰, 张富贵, 周亚龙, 杨柯, 李括, 刘秀金 (1514)

超顺磁性纳米材料对镉污染稻田土壤微生物和酶的影响 方丹丹, 张立志, 王强 (1523)

水分管理与施硅对水稻根表铁膜及砷镉吸收的影响 陈佳, 赵秀兰 (1535)

四环素类抗生素对土壤-生菜系统的生物效应及其迁移降解特性 王卫中, 迟苏琳, 徐卫红 (1545)

地膜覆盖对菜地垄沟 CH₄ 和 N₂O 排放的影响 熊维霞, 江长胜, 赵仲婧, 曾唯, 胡曼利, 涂婷婷, 陈俊江, 郝庆菊 (1559)

对比研究生物炭和秸秆对麦玉轮作系统 N₂O 排放的影响 唐占明, 刘杏认, 张晴雯, 李贵春 (1569)

流域水生态空间管控下生境监测方法概述 阴琨, 刘海江, 王光, 金小伟 (1581)

《环境科学》征订启事 (1151) 《环境科学》征稿简则 (1342) 信息 (1402, 1415, 1580)

流域水生态空间管控下生境监测方法概述

阴琨, 刘海江, 王光, 金小伟*

(中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 生境被认为是区域内为水环境中生物提供生存和生长环境的物理、化学和生物特征, 是水生态空间中支持和维持生物及其生态功能的重要空间. 生境特征对阐释流域生态系统的结构和功能具有重要意义. 然而, 生境具有空间和时间尺度的异质性以及空间自相关性, 尤其是大时空尺度下其生态功能的维持具有更加复杂的机制和过程. 这决定了表征和阐释生境特征是极其困难的, 特别是表征大时空尺度下的特征. 尽管现有研究提出诸多涉及不同尺度的生境监测方法, 但对实现长期跟踪多尺度下流域生境整体变化仍缺少成熟的方法. 本文从生境的概念、生境监测的目的和意义引出生境的特点及生境监测对流域水生态环境管控的重要性, 归纳了主流生境监测方法的特点及主要差异, 综述了生境监测中关键的科学问题(如空间尺度、区域范围、特征参数和数据信息获取方法等), 提出我国现阶段生境监测核心内容的建议, 以期为流域生态空间管控下生境监测的应用和研究提供借鉴.

关键词: 生境监测; 生态空间; 异质性; 空间尺度; 流域

中图分类号: X83 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2021)03-1581-10 DOI: 10.13227/j.hjkk.202007287

Overview on Habitat Monitoring Methods Under Watershed Ecological Space Management

YIN Kun, LIU Hai-jiang, WANG Guang, JIN Xiao-wei*

(China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: Habitat consist of the physical, chemical, and biological features that support the survival and growth of aquatic organisms, and the maintenance of biological processes and ecological function. However, habitat is spatially and temporally heterogeneous and displays spatial autocorrelation, mean that at large spatial scales, the maintenance of ecological function is complex. Consequently, it is difficult to characterize and interpret habitat characteristics, especially over large space-time scales. Although a wide variety of habitat monitoring methods have been proposed, there is still lack of well-developed methods for long-term tracking and monitoring of habitat changes at the watershed scale. Here, the characteristics of watershed habitats and the importance of monitoring in environmental management were explored based on the concept, purpose, and significance of habitat monitoring. Several monitoring methods were summarized and compared, and the key scientific limitations and requirements of habitat monitoring (e.g., spatial scale, survey scope, characteristic parameters, data acquisition, etc.) evaluated. Based on this, key aspects for successful habitat monitoring in China are proposed as baseline information for the research and application of habitat monitoring for watershed-scale ecological space management.

Key words: habitat monitoring; ecological space; heterogeneity; spatial scales; watershed

生态空间是指以提供生态系统服务为主要目标的地域范围^[1], 包含多种空间区域, 流域的生态空间是相互耦合的. 水体作为具有流动性和可再生性的资源, 其形成、迁移和转化依赖一定的介质载体和场所, 这些介质和场所构成了水生态空间, 空间内的土壤、植被等都是重要的物理介质^[2]. 各类物理介质呈现的特征形成了物理生境, 其被定义为区域内为水环境中生物提供生存和生长环境的物理、化学和生物特征^[3]. 图1显示了流域水生态空间内不同尺度下的生境特征. 物理生境特征对流域水生态研究中阐释生态系统的结构和功能, 特别是分析生物和非生物要素的构成及其交互作用具有重要意义, 其状态对于流域水生态空间功能的发挥至关重要. 物理生境的评价则是利用地貌形态等研究方法表征物理空间区域的特征、解释空间异质性及特殊物理特征的过程^[4,5]. 随着对生境研究的深入, 这种特征

不仅仅体现在空间尺度上, 也表现在时间尺度上, 它可以解释为由流量动态变化和河道结构相互作用引起的水文、形态的动态交互过程, 并在不同的空间和时间尺度上体现^[6,7]. 空间和时间上的变化性决定了表征和阐明生境特征极其复杂和困难.

生境监测的研究起始于上 20 世纪 90 年代初, 对生境的定义、生境监测评估的目的、阐释的核心问题予以探讨^[3-5]. 继而, 于 20 世纪 90 年代末到本世纪初, 欧美发达国家根据各自对流域水体保护相关法令的要求, 开发了国家生境监测评估的技术导

收稿日期: 2020-07-29; 修订日期: 2020-09-07

基金项目: 长江生态环境保护修复联合研究项目(2019-LHYJ-01-0301); 国家自然科学基金项目(41977364); 北京市优秀人才培养项目; 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07302-001)

作者简介: 阴琨(1982~), 女, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为生物完整性及水生态监测评价, E-mail: yinkun@cnemc.cn

* 通信作者, E-mail: jinxiw@cnemc.cn

则^[8-15]. 但由于不同空间尺度下生境特征的生态意义仍未得以清晰阐释, 特征参数和评价标准的确定仍存在诸多困难, 所以对长期跟踪流域的生境变化仍缺少统一和成熟的方法. 随着对生境研究的深入, 以及对流域水生态管控需求的提升, 更多对生境监测方法和基础问题的研究成为关注热点. 基于大尺度的流域水生态空间管控将对生境监测相关研究提

出更多的挑战, 特别是对更大空间尺度(中到大尺度)、长时间跨度下的生境特征和监测方法, 以及针对特定河流类型(如大型河流、城市型河流、间歇性河流)监测评价方法的研究. 因此, 本文通过系统综述生境监测的目的意义、方法概况以及重要科学问题, 以期对流域生态空间管控下流域生境监测的应用和研究提供借鉴.

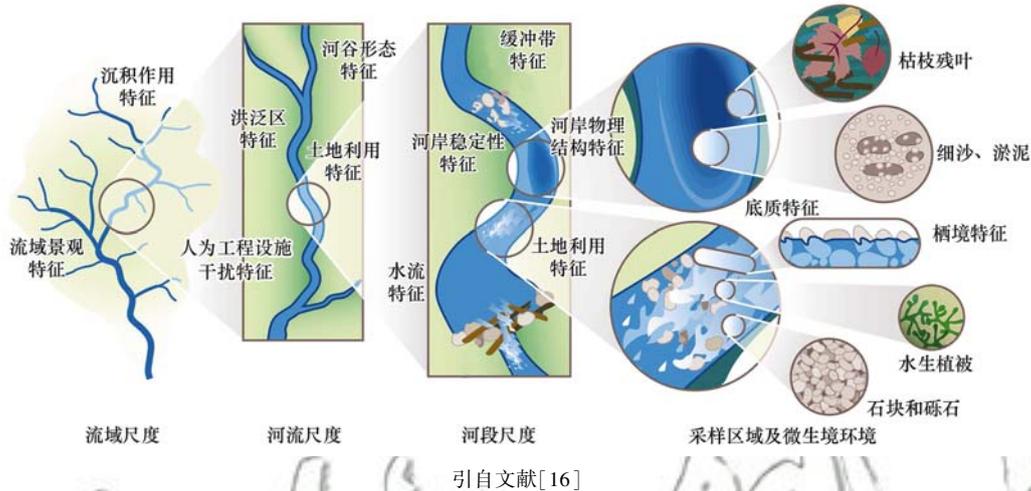


图 1 水生态空间内不同尺度下的生境特征

Fig. 1 Feature of habitat in watershed ecological space at different spatial scales

1 生境监测的目的和意义

生境是流域水资源迁移、转化和发生的重要空间和载体, 这些构成了水生态空间^[2]. 生境作为流域水生态的一项关键构成要素^[17,18], 决定了水生态参照环境^[19], 在流域生态功能的维系和发挥中起到非常重要的作用, 这种作用体现在各空间范围生境介质功能的耦合上. 生境具有提供生物栖息地、维持生物多样性、维持生物物种多样性和结构组成、构成生态廊道的重要生态功能^[20-22]. 其对于稳定河道至河岸带复合生态系统、维系其生态功能、实现物质和能量交换、发挥水源涵养和水质净化的缓冲功能也起到关键作用, 并参与流域生态景观构成^[20-22]. 同时, 生境也是分析退化河岸带生态系统和退化河流状态, 评估河岸带生态系统重建效果的重要要素^[23].

由于管理目标差异和服务对象不同, 各国生境监测方法的目的存在诸多差异, 这也直接决定了生境参数的特殊性和差异性. 欧盟标准委员会 CEN (European Committee for Standardization) 颁布生境监测方法的目的是管理自然状态的位点和具重要保护意义的位点, 确定可能导致水生态状况退化的生境因素; 在位点和河段尺度进行环境影响评估, 在流域尺度评估流域管理和修复措施的效果; 并注重水资源的可持续利用及对流域水体自然属性的监管和

保护^[8-10]. 英国河流生境调查 RHS (river habitat survey)^[11]提出的目的为评估河流生境的自然属性是否受到破坏和干扰, 河流结构是否保持自然状态. 澳大利亚以溪流状态指数 ISC (index of stream condition)^[12]和物理生境评估导则 AusRivAS-PAP (Australian river assessment system: physical assessment protocol)^[13]为主的生境评估方法是为建立河流状态的基准, 为国家自然资源的管理提供资料数据及评估人为管理和修复等措施效果而制定, 同样侧重维持河流的自然状态和天然属性. 美国环境监测评估计划中河流评估方法 EMAP-NRSA (environmental monitoring and assessment program: national rivers and streams assessment)^[14]和生物快速评价 RBP (rapid bio-assessment protocols)^[15]两项方法中生境要素监测的目的侧重评估河流中支撑水生生物的栖息地生境状态, 识别影响水生生物的生境因素. 我国目前尚无成熟的生境监测和评估的方法体系, 开展生境监测评估的目的值得思考. 由于不同国家人口因素, 土地和水等空间资源的利用度存在巨大差异, 河流及其周边受到人为干扰的强度和范围也有明显区别. 中国的河流保护在权衡城市发展需求时, 面临的压力是巨大的, 因此相对维持河流自然属性和自然状态的目的, 以维持河流重要的生态服务功能, 监控功能的退化状况为重心更为迫切.

2 生境监测方法概况

已有报道的生境监测和调查方法众多,涉及多空间要素的方法超过 50 种^[24],被广泛采用的主流方法来自欧盟^[9,10]、英国^[11,25]、澳大利亚^[12,13]和美国^[14,15,26]等国家。大量的研究阐释了诸多生境监测的关键内容,如生境基础理论^[27-30]、生境特征参数^[31,32]、生境的生态功能和生态影响^[33-35]、岸边缓冲带宽度^[36-42]、监测评估方法^[43,44]和特定类型河流的生境监测^[45,46]为国家方法的开发奠定了基础,各类方法的特征信息见表 1,西班牙 RQI (riparian quality index)^[47]和瑞典 RHS (river habitat survey)^[48]等方法由于仅针对单一生境介质或特定类型的河流,不在此做分析。

各方法特征参数的类别多以空间范围划分,如河道、河岸、岸边带、洪泛区和流域等(如 CEN、AusRivAS),或以参数要素属性划分,如物理结构、水文、水质和生物(如 ISC、RHS 和 GeoRHS);而一些方法则不作分类,如 EMAP-NRSA^[14]、RBP^[15]和 NWHI^[26]。分析参数提供的信息,英国 GeoRHS^[25]和澳大利亚 AusRivAS-PAP^[13]的特征参数最丰富,含 70 项以上信息,至少涵盖 10 项要素类别,如流量及变化情况、纵向连通性、水体汇入排出特征和人为工程设施阻断性等水文要素,河流物理形态、河道平面特征、侵蚀状况和河流沉积作用等河道物理形态要素,河岸及岸边带组成和岸边带宽度等物理结构要素,以及洪泛区生境特征等。其中,流量变化和水体汇入排出特征等水文要素,河岸物理组成和洪泛区生境特征在美国的 EMAP-NRSA^[14]和 RBP^[15]方法

中很少涉及。此两类方法在特征参数数量上也相对较少,仅 10 余项,这与两种方法更倾向于栖息地状态评估有关。

涵盖的空间尺度上,已有报道的 50 多种生境监测方法中仅 40% 涉及较大尺度的生境特征^[21]。欧盟、英国和澳大利亚生境监测的尺度相对更广,涵盖小尺度至中大尺度 4 级空间范围;美国主流的 3 项方法仍集中在河段尺度以下,主要以采样区域为主,这与美国生境调查更倾向于快速调查,并伴随生物调查同时开展有关,所以其生境调查尺度与生物采样范围更吻合。美国另一项生境调查导则,物理生境监测策略 PHAMS (physical habitat monitoring strategy) 调查河段、河流及流域景观不同空间尺度的要素,针对河段修复效果评估^[23],而非综合监测和评估生境状态。不同尺度的数据质量也不尽相同,大尺度下特征数据主要通过数据库获取定量数据,数据质量高。特定河段和区域尺度的特征利用遥感获取定量数据,如河岸带植被斑块度、植被垂直结构、河流横向和纵向的变化、河流的连通性、自然岸线率、洪泛区宽度、土地利用和河谷类型等,数据质量也比较高,GeoRHS^[25]和 AusRivAS-PAP^[13]已将遥感作为一项重要的监测手段。小尺度的监测方法主要利用人工沿河道和河岸进行现场观测和调查获取数据,用目测和简单测量的方法获取定性半定量的生境数据,数据质量相对较低,很多数据不能支撑生境问题的深度分析。而目前 60% 的生境调查方法仍基于小尺度下快速现场观测方法开展,如瑞典 RCE^[48]、英国 RHS^[11]、美国 RBP^[15]和澳大利亚 ISC^[12]都采用目测定性半定量的小尺度调查方法。

表 1 主流生境监测方法的特征信息

Table 1 Features of dominant physical habitat monitoring methods

方法	国家	空间尺度	调查空间区域	特征参数	现场调查范围
CEN ^[8,9]	欧盟	采样区域-微生境、河段-区域尺度和区域-流域尺度	河道、河岸及岸边带和河漫滩/洪泛区	10 项类别和 26 项参数	纵向 100 m ~ 1 km
RHS ^[11]	英国	采样区域-微生境	河道、河岸和岸边带	15 项类别和 70 多项参数	纵向 500 m, 岸边横向 50 m
GeoRHS ^[25]		河段-区域尺度和区域-流域尺度	河道、河岸及岸边带和河漫滩/洪泛区	11 项类别和 110 多项参数	
AusRivAS-PAP ^[13]	澳大利亚	采样区域-微生境、河段-区域尺度和区域-流域尺度	河道、河岸及岸边带和河漫滩/洪泛区	变量: 7 项类别和 26 项参数; 应变量: 10 项类别和 66 项参数	纵向为河宽 10 倍
ISC ^[12]		采样区域-微生境、河段尺度	河道和河岸及岸边带	5 项类别和 19 项参数	纵向 430 m, 岸边横向 40 m
EMAP-NRSA ^[14]		采样区域-微生境	河道和河岸及岸边带	10 项类别	纵向为河宽 40 倍或 150 m ~ 4 km, 岸边横向 10 m
RBP ^[15]	美国	采样区域-微生境	河道和河岸及岸边带	10 项参数	纵向 100 m、500 m 或为河宽 40 倍
NWHI ^[26]		采样区域-微生境	河道和河岸及岸边带	7 项参数	纵向 2 km, 岸边横向 10 m

数据和信息的利用分析中一些方法仅作定性描述和记录,不进行记分或评价;绝大多数主流方法

会以评价指数或特征参数评分方式对生境状态进行定量评估,如 RBP^[15]、ISC、NWHI 和 CEN 15843; 模型

方法会在此基础上进一步实现对生境变化的预测,如 AusRivAS-PAP,且评分标准都基于建立的参照状态而确定^[11~13,48].评估的准确性将依赖区域参照状态的可获得性和历史信息的积累情况.对于无法获取参照状态的生境评估,应侧重时间尺度趋势变化的跟踪和评价,或利用已有同类型河流的记分方法进行参照记分,以调查区域可获得的最佳生境状态建立相对评价标准.

3 生境监测中的科学问题

生境监测研究的核心围绕其空间和时间异质性开展,现有诸多方法的主要差异集中在监测的空间尺度、区域范围、表征生境状态的特征参数和数据信息获取方式这4个方面.

3.1 空间尺度

由于河流是一个自然空间结构,河流物理生境在空间上存在很强的异质性,所以空间尺度的确定是生境监测面临的一项关键问题,现有方法生境监测范围包含从小尺度到中大尺度,即流域尺度、区域尺度、河段尺度和采样区域及微生境4个尺度.受限于数据获取方式和对人员专业性的要求,大多数现有方法对生境的调查只基于河段以下尺度(如,采样范围和微生境)开展,包含中-大尺度上生境特征信息的方法十分有限,很少数的方法重视流域尺度下特征数据的收集^[24].其中,小尺度的微生境体现了采样区域内样点范围的特征,构成底栖动物和藻类等重要生物类群栖息的基本空间单元,与区域内生物群落密切相关,是绝大多数主流方法重点监测的尺度范围.然而,几类国际主流方法在生境监测的空间尺度上仍存在差异,CEN、GeoRHS和AusRivAS-PAP涉及更为广泛的尺度,从小尺度到中大尺度,涵盖了区域-流域尺度的生境特征,如河谷形态、流域内汇入流出特征、流域平均坡度和洪泛区特征等;EMAP-NRSA和RBPs的监测尺度则集中于采样区域,这种差异源于监测目的和数据获取方式的不同.从方法发展趋势看,监测的空间范围由小尺度向中大尺度拓展,趋向于多空间尺度特征的监测.英国在RHS基础上对其进行了补充,开发出GeoRHS方法,纳入遥感和流域尺度数据收集的方法将监测尺度从小尺度拓展到区域和流域中大尺度;澳大利亚继ISC方法,开发出AusRivAS-PAP方法,以实现除溪流外各类型河流的生境评估,更全面预测河流、溪流物理干扰因素的发生,并从更广的尺度上分析河流生境的变化过程.

基于空间异质性特征,不同的生境因素对生态功能的作用和影响表现在不同的空间尺度,具有很

高的空间依赖性^[49].单一尺度的特征因素可解释的生境干扰影响、以及生境变化过程都非常有限,或只得到片面的结论,如分析河段尺度生境特征,需要监测河谷和河网结构此类中尺度参数^[24].目前采用的一些特征参数,如邻近土地利用、岸边缓冲带、洪泛区、人为工程设施(堰坝、闸坝和水库)和景观格局^[50]等参数的空间跨度大,采样区域到流域不同尺度下特征与河流生态系统的关系和影响存在差异.景观格局对河流水体净化的影响河岸带尺度比流域尺度更明显^[51];土地利用特征对水质的净化作用上高等级河流优于低等级河流^[52],流域和区域尺度上植被分布格局对非点源污染输出和消减的贡献也存在差异^[53];洪泛区作为一个独特的生境范围也具有高度的空间异质性,在不同尺度下衡量洪泛区的特征,所表征的生态功能和状态也将指示不同的意义.这些研究表明生境监测基于不同的尺度开展是非常必要的.从各国方法发展的趋势看,监测空间将由前期小尺度向中大尺度拓展,更多吸纳河段-区域尺度和区域-流域尺度的特征信息,这些大尺度的参数可以用来确定河流基本类型特征,而河流特征的确定对于河流生态分区以及建立生境评估标准都很关键.欧盟CEN^[8,9]中包涵地形、河流级别、流域汇入流出的水文特征、流域沉积转运特征和坡度等特征参数,并利用地形、河道形态特征以及侵蚀沉积过程特征来确定河流基本类型,这项生境监测的基本工作依赖的是流域或区域大尺度特征参数的获取;更重要的是,这些大尺度特征将有利于分析和解决流域尺度上的生境问题,如生态流量的保持、景观斑块化和洪泛区退化等问题.监测尺度的丰富度,获取各尺度的信息量,对于解决与空间异质性相关的生境问题非常关键,而不同参数的尺度都应基于分析和描述的生态功能和生境过程的尺度而确定.

3.2 区域范围

河流水资源各生态空间是相互嵌合的,生境作为维系流域生态功能的重要要素,生态作用的发挥体现为围绕河流的水域陆域各个区域的耦合作用.因此,生境监测的区域应该更多地涵盖各个空间区域:河道、河岸、岸边带、洪泛区(江河两岸和湖周海滨易受洪水淹没的区域)、相邻陆向区和流域内景观区等.

河道、河岸和岸边带是目前绝大多数生境方法均包含的范围,这些区域的特征更容易通过人工现场调查的方法获取.其中,河道还细分为横向区域、纵向区域和垂直区域,如水岸交界带特征、河道内水生植被、河道剖面形态、河道蜿蜒度和河床底质都表征不同空间方向的特征.河道向外横向延伸的河岸

及岸边带缓冲区,即河水陆地交界处直至河水影响消失为止的地带^[54],是与河道有直接联系的重要生态过渡带,具有独特的空间结构和生态功能^[22].其可提供生物栖息地、形成生态廊道、缓冲和净化水体、涵养水源、提供景观资源^[55-57].在确保河岸带生态功能正常发挥并确定监测范围时,重点要划定岸边缓冲带宽度,加拿大^[58]、澳大利亚^[40,59]和美国^[38,39,60]等国家基于不同保护对象和目标研究给出了河流岸边带宽度推荐值.保护目标的不同则决定了缓冲带宽度的差异,重要的保护目标包括消减污染物、减少河岸侵蚀、提供水生生物栖息地、为生物提供营养和食物来源、提供陆生生物栖息地和防洪安全等,其中消减污染物,实现水质净化和保护重要水生生物是更为侧重的生态功能.对于污染物的消减,推荐宽度在 5~30 m,有些研究表明考虑长期去除效果,宽度应增加到 50 m^[39,60],保护底栖动物及鱼类多样性,宽度值为 10~50 m^[39,60];要实现陆生动物的保护,缓冲带宽度应达到 200 m 和 500 m 甚至更广^[58],这在大部分生态资源利用紧张的流域难以实现,但针对有特定生物保护目标的敏感区域仍然需要考虑放宽缓冲带宽度.

洪泛区是河流系统一个重要的空间环境,是生物多样性富集区和高生产力的生态系统区^[61],反映着河段-区域,甚至更大尺度下的生境和生态功能状态,对于维持河流-洪泛区整体空间环境的生态环境稳定性起着重要作用.通过洪泛作用维系生物多样性、物质能量交换、湿地、恢复河道生态环境以及保持洪泛区有效宽度^[25],同时保持与邻近陆地区域的生态联系^[62].而现有很多方法仍缺少对洪泛区特征的监测,如 RBP、ISC 和 NWHI,导致难以对河流-洪泛区整体环境的生态问题进行分析,如流域生物多样性丧失和河流生态系统退化等.我国水生生态系统退化的一个重要原因,就是扩张的城市和农业活动,及修筑堤坝等水利设施直接导致全国范围内洪泛区的消失及区域内生物多样性的衰退,继而引发生态环境退化.有数据显示,长江中下游有超过 80% 的洪泛区湿地已经丧失^[63],对于洪泛区的监测将为解决水生生态系统退化的问题提供有价值的信息.相邻陆向区和流域内景观区的特征则提供了流域大尺度下分析生态问题的关键信息,土地利用类型、景观破碎度、斑块密度、景观主导类型和景观异质性等特征参数与流域整体生态功能的维持及水体净化能力发挥密切相关^[53,64],澳大利亚 AusRivAS-PAP 方法中土地利用特征已对流域和采样区域 2 个范围分别做了考虑^[21].但是,目前大尺度区域的监测仍很少涉及,而这些区域特征对于从流域尺度评估生态整体状况及

实现流域水质净化等生态功能至关重要.

另一项重要的生境区域特征体现为不同河流类型和河流区段的生境存在天然的差异性.河流从上游河源到下游河口的发育中形成了上、中、下游生境的天然异质性,体现在水文节律、河谷形态和河流形态等不同的生境特征上,对流域生境的监测需要根据各河流区段出现的自然特征建立参数和评估标准.同时,不同类型的河流,如山地型、平原河网型和河口型,城市型和非城市型等,由于地理环境或者生态空间利用程度的不同,呈现不同的生境特征.目前,针对城市型河流的生境监测,英国已经于 2003 年推出了相关国家监测技术导则,针对性的建立典型城市型河流生境的调查评估方法,针对城市河流生境特征的研究也受到诸多学者关注^[65].

3.3 特征参数

生境特征参数用于阐释和表征物理空间异质性和生境过程,以及对生物多样性、生物群落组成和结构和生态功能产生的干扰影响^[24].生境过程和生态功能具有空间尺度和时间尺度的异质性,涉及复杂的机制和作用过程,不同空间尺度下各生境特征的意义还难以说明,特别是大空间尺度下^[66].所以,要全面表征河流的生境过程和生态功能难度很大,这也是至今多种生境方法难以形成标准特征参数的重要因素.但基于对小尺度下河流物理和水文作用过程的研究,很多生境参数的意义和作用已经明确.这些参数对于确定河流生境类型、了解重要的生态功能和过程信息、分析对生物群落的影响有很大贡献,而且在各类方法中采用频率高,重要性和适用性更强.表 2 中归纳了其中部分重要生境参数在各类主流生境监测方法中的采用情况.其中,河岸稳定性、河道底质、人为工程设施、河岸带缓冲区植被结构、水流类型及流量流速特征、相邻土地利用情况、大型树木等植物残体和河道内植被特征,这些参数在 67% 的欧盟国家生境监测方法及 62% 的北美和澳大利亚生境监测方法中均已采用^[24],在主流的几类方法中 60% 以上的方法已将其纳入监测.

高频率采用的参数中,河道底质和河道内植被特征反映水生生物(如底栖动物和大型水生植物)的栖境质量和结构特征^[67],参与河道内物质和能量交换^[68],对分析河流河道内生态功能有重要表征作用,是可反映微生境特性的一类重要指标.以欧盟、英国和澳大利亚为代表的 CEN、RHS、GeoRHS 和 AusRivAS-PAP 这 4 类方法已在生境监测中纳入此项指标.河岸带植被缓冲区对水陆生态系统间的物质、能量、信息和生物流动发挥着重要作用,特别在消减陆向污染物净化河流水质方面,缓冲带的植被

结构和覆盖率是影响净化效果的关键因素^[69]。河岸稳定性是反映河岸环境对水质和水生生物影响的重要特征参数。河岸稳定性较差时岸带土壤、泥沙会大量进入水体,造成河流污染物输入,动植物粪便、面源营养盐、农药、油类、金属及其他化学污染物会直接影响水环境,会干扰原有河流水体的物质能量平衡关系^[70]。泥沙等颗粒会增加浊度,影响鱼类和昆虫等水生生物的呼吸功能,继而干扰其生活和习性。然而,对于自然侵蚀性河流,一定程度的河岸侵蚀状态则是确保下游生态系统物质来源的重要基础。基于维持河流生态服务功能的目的,确定河岸稳定性和侵蚀性的评估标准至关重要。人为工程影响、流量管控以及土地利用分别反映水文特征中河流连通性、流量调控变化特征及沉积物的迁移特征,是分析较大尺度下生境改变,特别是水文要素变化的重要指标。欧盟各国 83% 的生境调查方法已纳入人为工程设施影响和流量调控相关参数^[24],如 CEN 14614、RHS 和 GeoRHS; 对于流域尺度与欧盟各国有明显差异的北美国家、澳大利亚和中国,应更加关注对人为工程设施(堰坝、闸坝、人工湖、水利发电和堤坝护岸等)的影响,以及调水和大坝控水泄洪等重要水文改变的监测,从更大尺度上关注河流水文生境特征。水流特征、流量流速反映包括河流连通性在内的水文压力,可表征水文压力对水生生物和沉积物迁移转化的影响。人为干扰对流量和水文节律的改变会增加河流的深度、减少河流的流速、降低河流深度和速度的变异性,对大型河流的生境会产生更显著的影响。年均和日均流量特征、年均流量变异性、流量季节差异性和封水期流速已被主流方法采纳。水文要素监测中,生态流量是一项非常重要的参数,虽然以上讨论的生境方法较少设置生态流量指标,但是其对大尺度下河流生态系统功能的维持至关重要,特别是河流形态、生物栖息地、河流水体自净、流域景观的维持^[71]。各国针对不同阶段关注的生态问题对生态流量给予不同的定义,目前我国现阶段生态流量是指为了维系水生态系统的结构和功能,需保留在河湖内符合水质要求的流量及其过程^[72]。在高强度的水资源利用状态下,为实现河湖水生生态系统结构功能有效维持,及平衡水生态资源利用和保护,将生态流量纳入生境监测体系,并开展其估算和评估方法研究,建立重要生态系统指示物与生态流量间的响应关系是极为迫切的。

另一部分使用频率相对较低的参数,如洪泛区特征、河岸物质结构、岸边缓冲带宽度和水生生物等,对于反映大尺度生境过程或解释河流特定生态功能仍非常重要。洪泛区的特征,如宽度、与河道的

连通性、洪泛区的保有率等与维持河流-洪泛区整体空间环境及其独特的生态功能有密切的联系,英国特针对洪泛区的监测评估发展出 GeoRHS 方法,用于在已有 RHS 信息基础上补充大尺度洪泛区特征参数,然而美国几项主要方法 EMAP-NRSA、RBP 和 NWHI 尚未采用。河岸物质结构是另一项重要的特征参数,物理结构的差别使河岸透水性、土壤微生物构成、河岸植被构成产生差异,最终影响和改变河岸区域生态功能的发挥,影响体现在对污染物的消减和截留能力的变化,继而影响河流水体净化功能。岸边缓冲带宽度是一项对于河流和湖泊水体非常重要的物理生境特征,缓冲带包含了水域区、河岸区和相邻土地这 3 个空间区域,粗木残体和岸边水生植物、河岸草丛灌木以及相邻陆向区的开阔植被区都是缓冲带的重要组成部分^[73]。缓冲带涵养水源、进化水体和降低路岸侧向影响等生态功能的发挥与以上空间区域构成的缓冲带宽度有直接联系,获取宽度数据将有助于从岸边带这个空间区域分析生境状态及压力因素。水生生物则是生境状态保持的重要衡量指标,一些生物(如,大型沉水植物)同时也是其他生物的栖境。英国、澳大利亚和美国已将河道或河岸生物作为生境的一个特征参数进行分析,ISC 采用大型底栖动物的数量和结构指标^[12],AusRivAS-PAP 和 EMAP-NRSA 采用河道鱼类、藻类和底栖动物的出现度^[13,14],RHS 记录调查区内动物、鸟类、昆虫及其他生物类群数据^[11],生物信息的纳入是对利用物理生境特征分析生态功能的一项重要补充。相较河道底质、人为工程设施、流量流速和河道内植被状态等河道内生境信息,以上这些参数更多表征了河道外空间区域的生境特征,而且在河流生态系统的维持中发挥特定的功能,在重点生物多样性保护区和生态保护区应纳入其生境重点监测的特征参数,并对监测方法和开展的空间范围予以研究。另一类表征中大尺度特征的特征参数,如河谷形态和沉积作用特征,有助于确定河流的生境类型和对河流进行分级及分区,在欧盟 WED 及其监测方法中都明确提出对于这两项大尺度参数的监测要求,这类参数的监测是建立生境监测方法的重要基础工作^[8,74]。

要全面表征河流的生境过程和生态功能的难度很大,除以上所述重要参数外,涉及不同生态功能、不同空间尺度、不同要素领域的特征参数量仍非常庞大,这些参数都纳入并不现实。目前澳大利亚和英国的方法已涵盖百余种参数,监测及数据获取的成本和难度较大,引入冗余度分析^[26],去除表征重复信息的指标,保留生态信息更丰富的参数,是建立生境监测指标的一项可取的方法。

表 2 部分重要生境参数在各类主流方法中的采用情况
Table 2 Adoption of some important physical habitat parameters in dominant methods

采用情况	特征参数	采用的方法	国家
高频率采用	河岸稳定性 河道底质 人为工程设施影响、调水和流量管控 河岸带缓冲区植被结构 水流类型、流量流速特征(采样区域及微生境-流域尺度)	CEN、RHS、GeoRHS、EMAP-NRSA、RBPB、AusRivAS-PAP 和 ISC	欧盟、英国、美国和澳大利亚
	土地利用情况(采样区域-流域尺度)	CEN、RHS、GeoRHS、EMAP-NRSA、RBPB 和 AusRivAS-PAP	欧盟、英国、美国和澳大利亚
	大型树木等植物残体	CEN、RHS、AusRivAS-PAP、ISC 和 NWHI	欧盟、英国、澳大利亚和美国
	河道内水生植被特征	CEN、RHS、GeoRHS、AusRivAS-PAP 和 NWHI	欧盟、英国、澳大利亚和美国
低频率采用	水生生物	RHS、EMAP-NRSA、AusRivAS-PAP 和 ISC	英国、美国和澳大利亚
	河岸的物质结构	CEN、RHS 和 GeoRHS	欧盟和英国
	缓冲带宽度(采样区域及微生境-区域尺度)	GeoRHS、AusRivAS-PAP、ISC 和 NWHI	英国、澳大利亚和美国
	洪泛区宽度、连通性、保有率等特征(河段-区域尺度)	CEN、GeoRHS 和 AusRivAS-PAP	欧盟、英国和澳大利亚
	河谷形态(河段-区域尺度)	GeoRHS 和 AusRivAS-PAP	英国和澳大利亚
	水体汇入排出特征(区域-流域尺度)	GeoRHS 和 AusRivAS-PAP	英国和澳大利亚
	沉积作用特征(区域-流域尺度)	CEN、GeoRHS 和 AusRivAS-PAP	欧盟、英国和澳大利亚

3.4 数据和信息的获取方法

不同尺度生境特征参数的获取依赖不同的数据获取方法,遥感、无人机、现场调查和数据收集是现有获取生境数据的几种手段,数据质量与数据获取方式密切相关。遥感仍是中大尺度下获取生境数据的主要手段,如河流连通性、河道蜿蜒度、自然岸线率、洪泛区特征和景观格局等特征。遥感可获得较高质量的生境数据,如 AusRivAS-PAP、GeoRHS 和 CEN 都大量采用遥感监测数据,但是数据采集无法避开云雾干扰、获取成本过高和分辨率不足仍是遥感技术至今未能解决的弊端,这也是目前绝大多数的方法中小尺度下仍基于人工现场调查方法开展生境监测的重要因素^[24]。主流的生境监测方法仍非常依赖人工现场调查方式,如 AusRivAS-PAP 中 70% 的参数都通过野外现场调查获取,不可否认人工野外调查方法是获取小尺度河道、河岸和岸边带信息的重要方法,但目前人工野外调查是基于人工目测和有限测量的方法,沿河岸和河道获取不同采集单元的生境特征数据,在数据空间代表性、数据质量和获取便捷性上存在难以规避的缺点。受开展方式的局限,各类生境方法现场调查的河段基本在 1 km 范围内^[24],大型河流最多也不超过 4 km(表 1),在有限的空间距离采集的数据对于河段特征的代表性会较低^[26]。按照河流特征的空间异质性划分,河段通常在几十公里^[20],甚至上百公里,较低的数据代表性难以支撑准确分析。同时,数据以定性和半定量为主,定量数据的缺失使得难以对生境特征做准确的分析,数据的可利

用度较低。人工方法基于目测方式获取数据,受主观因素影响非常大;野外工作效率低,通常一天仅能完成 1~2 个点位。因此,以这种方式开展整个流域范围的生境调查将是非常庞大的工作量。

针对河段以下尺度,无人机技术给生境监测提供了一项新方法,可以弥补遥感空间分辨率低和访问周期长的缺点^[75,76],同时弥补人工野外调查效率低、数据质量和数据代表性差的缺陷。无人机搭载的不同类型的摄像机、传感器可获取高分辨率的近地面数据信息^[77,78],这项技术已经在生境监测、物种多样性和群落结构监测、河岸带植被结构监测中受到很高的关注,这类数据将为人们研究和解释一些生态学中的重大科学问题提供重要的支持^[79]。无人机除可获取定量和半定量数据外,还可以采集近地面的图像信息,图像信息作为直观分析和跟踪生境变化的重要信息,对于中长期跟踪和评估生境状态的变化具有很高的价值。澳大利亚 ISC 在采集数据信息的同时采集河段的河岸生境 3D 图像,绘制全国范围河流单河段的图像信息,以直观跟踪生境的变化趋势^[12],德国于 2001 年绘制出国家河流生境地图^[80],图像信息已经成为生境监测信息的一个必要组成。综上所述,多项监测技术的联合是生境监测方法的发展趋势,遥感技术的采用有效实现了大尺度生境特征的监测,无人机技术的发展也将作为生境调查技术的有力补充,这使得生境监测中覆盖更多的特征参数,并获取高利用率、高质量数据信息变得更容易实现。

4 展望

由于生境过程和生态功能的发挥都表现出很强的空间尺度和时间尺度异质性,使其具有非常复杂的维系机制和作用过程,不同空间尺度下生境特征的生态意义仍难以阐明,而这直接影响到不同空间尺度和范围下特征参数的确定。同时,相对于生物类群和水质,不同时间尺度(中期和长期)的监测和评估中,生境仍然缺少方法学上的充分研究,形成科学、通用的生境监测评估方法还存在诸多问题。而且,多数生境特征都展现区域性特征,各类基于区域特异性的河流建立的生境方法并不能被其他区域直接采用,针对各流域本身生境特征的研究是科学进行生境监测的基础,也是流域生境监测的关键。对于阐释空间和时间尺度上生境异质性中目前缺少的基础研究还有很多,大量涉及水文学、化学和生物学相关的基本问题仍未被揭示。而阻碍进行中长期及大尺度研究的原因则是,早期对于生境相关的调查研究都是基于现场调查,缺少中长期时间尺度和区域流域尺度的足够数据积累,支撑在区域或者更大空间尺度开展生境特征比对分析的数据也极为有限,这造成很多影响生态功能的关键生境特征并未被关注或评估标准难以确定,特别是大尺度下的生境特征。因此,阐释生境空间、时间尺度异质性对维持和发挥水生态功能影响的相关研究应该得到持续地关注。

目前,生境监测正在由小尺度向大尺度发展,并从单一尺度向多尺度过渡,生境特征将来也将关注空间尺度上的不同层级,关注更大空间尺度上的变量,基于多空间尺度的生境监测是评估生境状态和流域生态功能的发展趋势。我国在现阶段构建生境监测体系,应以维持流域生态系统的生态服务功能,监控功能的退化状况为重心,不过度关注河流自然属性和自然状态的维持和恢复。监测要素应涵盖水文特征,如生态流量特征、年均流量变化和流量季节差异性特征等;水环境特征,包括水体浊度、pH、透明度和典型污染物类型等;河道物理形态结构和水文特征,如河岸稳定性状态、河道底质构成、河道内栖境多样性、人为水利设施影响、水体连通性及阻断性和干涸断流比例等;河岸带和陆向区特征,如土地利用情况、河岸缓冲带宽度、植被多样性、景观破碎度和洪泛区变化特征等;水生生物状态,如水生植被多样性和分布特征及重要生物类群出现度等多要素指标。参数体现从流域尺度到微观生境尺度的特征,部分指标应从多个尺度进行监测评估,如土地利用情况、河岸缓冲带、植被多样性、破碎度和洪泛区变化特征。同时,参数应表征河道、河岸、岸边

带、洪泛区、相邻陆向区和流域内景观区多个区域空间的关键变化。对于城市发达度高、人口密集的区域应该根据城市发展和生态资源利用的特点单独确定监测指标,更侧重调水和流量调控等水文变化、土地利用压力和生态修复效果的监测和评估。

在生境监测的后续研究中,基于河流类型确定岸边带宽度、基于不同河流类型确定生境特征参数、发展与景观生态学研究方法的融合、建立生境评估标准都应是研究的重点。为支撑流域生态空间管控,生境监测仍有很多科学问题有待阐释。因此,更大空间和长时间尺度下生境特征和生态功能的相关研究应该是目前及以后一段时间内流域水生态的一个重点和热点。

参考文献:

- [1] 孔令桥,王雅晴,郑华,等. 流域生态空间与生态保护红线规划方法——以长江流域为例[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 835-843.
Kong L Q, Wang Y Q, Zheng H, *et al.* A method for evaluating ecological space and ecological conservation redlines in river basins: A case of the Yangtze River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(3): 835-843.
- [2] 邓伟,严登华,何岩,等. 流域水生态空间研究[J]. 水科学进展, 2004, 15(3): 341-345.
Deng W, Yan D H, He Y, *et al.* Study on ecological storeroom of water in the watershed[J]. *Advances in Water Science*, 2004, 15(3): 341-345.
- [3] Jowett I. Instream flow methods: a comparison of approaches[J]. *Regulated Rivers: Research & Management*, 1997, 13(2): 115-127.
- [4] Smith R L. *Ecology and field biology*[M]. New York: Harper Collins, 1990. 10-25.
- [5] Butler D R. *Zoogeomorphology: animals as geomorphic agents*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 5-35.
- [6] Maddock I. The importance of physical habitat assessment for evaluating river health[J]. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 373-391.
- [7] Ward J V. The four-dimensional nature of lotic ecosystems[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1989, 8(1): 2-8.
- [8] Boon P J, Holmes N T H, Raven P J, *et al.* Developing standard approaches for recording and assessing river hydromorphology: the role of the European Committee for Standardization (CEN)[J]. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems*, 2010, 20(S1): S55-S61.
- [9] UNE-EN 14614- 2005, Water quality-Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers[S].
- [10] UNE-EN 15843- 2010, Water quality-Guidance standard on determining the degree of modification of river hydromorphology[S].
- [11] Environment Agency. *River habitat survey in Britain and Ireland: Field survey guidance manual (2003 Version)*[R]. London: Environment Agency, 2003.
- [12] Ladson A R, White L J. *An index of stream condition: reference manual (second edition)*[R]. Melbourne: Department of Natural Resources and Environment, 1999. 7-34.
- [13] Parsons M, Thoms M, Norris R. *Australian river assessment system; monitoring river health initiative technical report no 22-Australian river assessment system: AusRivAS physical assessment protocol*[R]. Canberra: Environment Australia, 2002. 1-39.
- [14] EPA-841-B-17- 003b, National rivers and streams assessment

- 2018/19; Field operations manual non-wadeable[S].
- [15] EPA 841-B-99-002, Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers; periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish, second edition[S].
- [16] The Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). Stream corridor restoration: Principles, processes and practices [R]. Washington: U. S. Department of Agriculture, 2001.
- [17] 阴琨, 王业耀. 水生态环境质量评价体系研究[J]. 中国环境监测, 2018, **34**(1): 1-8.
Yin K, Wang Y Y. Research on assessment system of national river basin water eco-environmental quality [J]. Environmental Monitoring in China, 2018, **34**(1): 1-8.
- [18] 金小伟, 王业耀, 王备新, 等. 我国流域水生态完整性评价方法构建[J]. 中国环境监测, 2017, **33**(1): 75-81.
Jin X W, Wang Y Y, Wang B X, et al. Methods development for monitoring and assessment of ecological integrity of surface waters in China[J]. Environmental Monitoring in China, 2017, **33**(1): 75-81.
- [19] 阴琨, 李中宇, 赵然, 等. 生物完整性在时间尺度趋势分析中的偏差和校正研究——以松花江流域为例[J]. 湖泊科学, 2020, **32**(5): 1473-1483.
Yin K, Li Z Y, Zhao R, et al. On the generation and correction of deviation of biological integrity assessment for time-scale trend analysis: a case study of Songhua River Basin [J]. Journal of Lake Sciences, 2020, **32**(5): 1473-1483.
- [20] 郭怀成, 黄凯, 刘永, 等. 河岸带生态系统管理研究概念框架及其关键问题[J]. 地理研究, 2007, **26**(4): 789-798.
Guo H C, Huang K, Liu Y, et al. A conceptual framework of riparian ecosystem management and its key problems [J]. Geographical Research, 2007, **26**(4): 789-798.
- [21] 吴传庆, 殷守敬, 王楠, 等. 河流物理生境遥感监测研究与应用分析[J]. 环境监控与预警, 2019, **11**(5): 28-32.
Wu C Q, Yin S J, Wang N, et al. Research and application of remote sensing monitoring of river physical habitats [J]. Environmental Monitoring and Forewarning, 2019, **11**(5): 28-32.
- [22] 岳隽, 王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望[J]. 地理科学进展, 2005, **24**(5): 33-40.
Yue J, Wang Y L. Progresses and perspectives in the study of riparian zone[J]. Progress in Geography, 2005, **24**(5): 33-40.
- [23] Jones K L, O'Daniel S J, Beechie T J, et al. Physical habitat monitoring strategy (PHAMS) for reach-scale restoration effectiveness monitoring[R]. Virginia: U. S. Geological Survey, 2015. 4-13.
- [24] Fernández D, Barquín J, Raven P J. A review of river habitat characterisation methods: indices vs. characterisation protocols [J]. Limnetica, 2011, **30**(2): 217-234.
- [25] Branson J, Hill C, Hornby D D, et al. A refined geomorphological and floodplain component; River habitat survey (GeoRHS)[R]. Bristol: Environment Agency, 2005. 16-24.
- [26] Wilhelm J G O, Allan J D, Wessell K Y, et al. Habitat assessment of non-wadeable rivers in Michigan [J]. Environmental Management, 2005, **36**(4): 592-609.
- [27] Karr J R, Schlosser I J. Water resources and the land-water interface[J]. Science, 1978, **201**(4352): 229-234.
- [28] Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, et al. An ecosystem perspective of riparian zones: Focus on links between land and water[J]. BioScience, 1991, **41**(8): 540-551.
- [29] Richard T T. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions [J]. Journal of Environment Quality, 1997, **26**(3): 918.
- [30] Wang X. Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context [J]. Journal of Environmental Management, 2001, **61**(1): 25-36.
- [31] Raven P J, Holmes N T H, Naura M, et al. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the U. K. [J]. Hydrobiologia, 2000, **422-423**: 359-367.
- [32] Zaharia L, Ioana-Toroimac G, Moro? anu G A, et al. Review of national methodologies for rivers' hydromorphological assessment: a comparative approach in France, Romania, and Croatia [J]. Journal of Environmental Management, 2018, **217**: 735-746.
- [33] Tealdi S, Camporeale C, Ridolfi L, et al. Modeling the impact of river damming on riparian vegetation [J]. Journal of Hydrology, 2011, **396**(3-4): 302-312.
- [34] Tabacchi E, Lambs L, Guilloy H, et al. Impacts of riparian vegetation on hydrological processes [J]. Hydrological Processes, 2000, **14**(16-17): 2959-2976.
- [35] Pusey B J, Arthington A H. Importance of the riparian zone to the conservation and management of freshwater fish: a review [J]. Marine and Freshwater Research, 2003, **54**(1): 1-16.
- [36] Dindaroğlu T, Reis M, Akay A E, et al. Hydroecological approach for determining the width of riparian buffer zones for providing soil conservation and water quality [J]. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, **12**(1): 275-284.
- [37] Dosskey M G, Schultz R C, Isenhardt T M. How to design a riparian buffer for agricultural Land [R]. Agroforestry Notes, 1997. 1-4.
- [38] Blinn C R, Kilgore M A. Riparian management practices: a summary of state guidelines [J]. Journal of Forestry, 2001, **99**(8): 11-17.
- [39] Hawes E, Smith M. Riparian buffer zones; functions and recommended widths [R]. New Haven: Yale School of Forestry and Environmental Studies, 2005. 3-11.
- [40] Hansen B, Reich P, Lake S, et al. Minimum width requirements for riparian zones to protect flowing waters and to conserve biodiversity: a review and recommendations [R]. Melbourne: Monash University, 2010. 5-13.
- [41] Clinton B D, Vose J M, Knoepp J D, et al. Can structural and functional characteristics be used to identify riparian zone width in southern Appalachian headwater catchments [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2010, **40**(2): 235-253.
- [42] Tilak A S, Burchell II M R, Youssef M A, et al. Field testing the riparian ecosystem management model on a riparian buffer in the North Carolina upper coastal plain [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2014, **50**(3): 665-682.
- [43] Leigh C, Gippel C J. Ecological health assessment of large freshwater rivers, lakes and reservoirs; Study design options, sampling methods and key Issues. Australia-China Environment Development Partnership, River Health and Environmental Flow in China [R]. Brisbane: International Water Centre, 2011.
- [44] Shields Jr F D, Knight S S, Cooper C M. Use of the index of biotic integrity to assess physical habitat degradation in warmwater streams [J]. Hydrobiologia, 1995, **312**(3): 191-208.
- [45] Gurnell A, Shuker L, Wharton G. Urban river survey manual [R]. London: University of London, 2016. 8-21.
- [46] Gurnell A, Shuker L, Wharton G. URS classifications and indices [R]. London: University of London, 2015. 16-20.
- [47] Del Tánago M G, De Jalón Lastra D G. Riparian quality index (RQI): a methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones [J]. Limnetica, 2011, **30**(2): 235-254.
- [48] Raven P J, Holmes N T H, Dawson F H, et al. Quality assessment using River Habitat Survey data [J]. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, **8**(4): 477-499.
- [49] 赵军. 平原河网地区景观格局变化与多尺度环境响应研究 [D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
Zhao J. Landscape pattern change and its environmental response across multiple spatial scales in tidal plain [D]. Shanghai: East

- China Normal University, 2008.
- [50] 刘怡娜, 孔令桥, 肖懿, 等. 长江流域景观格局与生态系统水质净化服务的关系[J]. 生态学报, 2019, **39**(3): 844-852.
Liu Y N, Kong L Q, Xiao Y, *et al.* Relationships between landscape pattern and ecosystem water purification service in the Yangtze River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39**(3): 844-852.
- [51] Johnson L, Richards C, Host G, *et al.* Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems[J]. *Freshwater Biology*, 1997, **37**(1): 193-208.
- [52] Detenbeck N E, Elonen C M, Taylor D L, *et al.* Region, landscape, and scale effects on lake superior tributary water quality [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2004, **40**(3): 705-720.
- [53] 岳隼, 王仰麟, 李贵才, 等. 不同尺度景观空间分异特征对水体质量的影响——以深圳市西丽水库流域为例[J]. 生态学报, 2007, **27**(12): 5271-5281.
Yue J, Wang Y L, Li G C, *et al.* The influence of landscape spatial difference on water quality at differing scales: a case study of Xili reservoir watershed in Shenzhen city[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **27**(12): 5271-5281.
- [54] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报, 1996, **7**(4): 439-448.
Chen J Q. Riparian vegetation characteristics and their functions in ecosystems and landscapes[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, **7**(4): 439-448.
- [55] Baschak L A, Brown R D. An ecological framework for the planning, design and management of urban river greenways[J]. *Landscape and Urban Planning*, 1995, **33**(1-3): 211-225.
- [56] Paine L K, Ribic C A. Comparison of riparian plant communities under four land management systems in southwestern Wisconsin [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, **92**(1): 93-105.
- [57] Kuglerová L, Ågren A, Jansson R, *et al.* Towards optimizing riparian buffer zones: ecological and biogeochemical implications for forest management [J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, **334**: 74-84.
- [58] Lee P, Smyth C, Boutin S, *et al.* Quantitative review of riparian buffer width guidelines from Canada and the United States[J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, **70**(2): 165-180.
- [59] Price C, Lovett S, Lovett J. *Managing riparian widths* [R]. Canberra: Land and Water Australia, 2005. 2-24.
- [60] Wenger S. A review of the scientific literature on riparian buffer width, extent and vegetation[R]. Georgia: Institute of Ecology, University of Georgia, 1999. 6-28.
- [61] 翟金良, 邓伟, 何岩. 洪泛区湿地生态环境功能及管理对策[J]. 水科学进展, 2019, **14**(2): 203-208.
Zhai J L, Deng W, He Y. Flood-plain wetland ecoenvironmental functions and its management countermeasures[J]. *Advances in Water Science*, 2003, **14**(2): 203-208.
- [62] 翟金良, 何岩, 邓伟, 等. 河流—洪泛区环境系统特征的初步研究[J]. 水土保持通报, 2006, **26**(3): 34-40.
Zhai J L, He Y, Deng W, *et al.* Preliminary study on main characteristics of river-floodplain environmental system [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2006, **26**(3): 34-40.
- [63] 陈宜瑜, 常剑波. 长江中下游泛滥平原环境结构改变与湿地丧失[A]. 见: 陈宜瑜. 中国湿地研究[C]. 长春: 吉林科学技术出版社, 1995. 153-160.
- [64] 万荣荣, 杨桂山. 太湖流域土地利用与景观格局演变研究[J]. 应用生态学报, 2005, **16**(3): 475-480.
Wan R R, Yang G S. Changes of land use and landscape pattern in Taihu Lake Basin[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, **16**(3): 475-480.
- [65] Tsai C W, Young T, Warren P H, *et al.* Riparian thermal conditions across a mixed rural and urban landscape[J]. *Applied Geography*, 2017, **87**: 106-114.
- [66] Raven P J, Holmes N T H, Vaughan I P, *et al.* Benchmarking habitat quality: observations using River Habitat Survey on near-natural streams and rivers in northern and Western Europe[J]. *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems*, 2010, **20**(S1): S13-S30.
- [67] 张俊, 朱伟, 操家顺, 等. 水体底质异质性对沉水植物生长的影响[J]. 水资源保护, 2006, **22**(4): 44-46.
Zhang J, Zhu W, Cao J S, *et al.* Effects of heterogeneity of sediments on growth of submerged macrophytes [J]. *Water Resources Protection*, 2006, **22**(4): 44-46.
- [68] 范成新. 湖泊沉积物-水界面研究进展与展望[J]. 湖泊科学, 2019, **31**(5): 1191-1218.
Fan C X. Advances and prospect in sediment-water interface of lakes: a review[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, **31**(5): 1191-1218.
- [69] 饶良懿, 崔建国. 河岸植被缓冲带生态水文功能研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2008, **6**(4): 121-128.
Rao L Y, Cui J G. Research advances on the eco-hydrological functions of riparian buffer [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, **6**(4): 121-128.
- [70] Clark E H. The off-site costs of soil erosion[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1985, **40**(1): 19-22.
- [71] 刘苏峡, 夏军, 莫兴国, 等. 基于生物习性和流量变化的南水北调西线调水河道的生态需水估算[J]. 南水北调与水利科技, 2007, **5**(5): 12-17, 21.
Liu S X, Xia J, Mo X G, *et al.* Estimating ecological instream flow requirements for the donating rivers in the western route south-to-north water transfer project in China based on the relationship between the life habit and flow variation[J]. *South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2007, **5**(5): 12-17, 21.
- [72] 彭文启. 生态流量五个关键问题辨析[J]. 中国水利, 2020, **897**(15): 20-25.
Peng W Q. The identification of five key issues of ecological flow [J]. *China Water Resources*, 2020, **897**(15): 20-25.
- [73] Verry E S, Hornbeck J W, Dolloff C A. *Riparian management in forests of the continental eastern United States*[M]. Washington, DC: Lewis Publishers, 2000. 128-137.
- [74] Matoušková M. Assessment of the river habitat quality within European Water Framework Directive: application to different catchments in the Czech republic[J]. *Sborník České Geografické Společnosti*, 2008, **113**(3): 223-236.
- [75] 张志明, 徐倩, 王彬, 等. 无人机遥感技术在景观生态学中的应用[J]. 生态学报, 2017, **37**(12): 4029-4036.
Zhang Z M, Xu Q, Wang B, *et al.* Applications of unmanned aerial vehicles remote sensing technology in landscape ecology [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37**(12): 4029-4036.
- [76] 胡健波, 张健. 无人机遥感在生态学中的应用进展[J]. 生态学报, 2018, **38**(1): 20-30.
Hu J B, Zhang J. Unmanned aerial vehicle remote sensing in ecology: advances and prospects [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, **38**(1): 20-30.
- [77] Chase J M, Leibold M A. Spatial scale dictates the productivity-biodiversity relationship[J]. *Nature*, 2002, **416**(6879): 427-430.
- [78] Schiffman R. Drones flying high as new tool for field biologists [J]. *Science*, 2014, **344**(6183): 459.
- [79] Zhang J, Hu J B, Lian J Y, *et al.* Seeing the forest from drones: testing the potential of lightweight drones as a tool for long-term forest monitoring[J]. *Biological Conservation*, 2016, **198**: 60-69.
- [80] Kamp U, Binder W, Holz K, *et al.* River habitat monitoring and assessment in Germany[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, **127**: 209-226.

CONTENTS

Industrial Emission Characteristics and Control Countermeasures of VOCs in Chinese Rapid Economic Development Areas	MENG Bo-wen, LI Yong-bo, MENG Jing, <i>et al.</i>	(1023)
VOCs Emission Inventory and Variation Characteristics of Artificial Sources in Hubei Province in the Yangtze River Economic Belt	DAI Ling-wen, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1039)
Sources and Distribution Characteristics of HCBd in Rapid Economic Development Areas	TAO Yu-ming, MENG Jing, LI Qian-qian, <i>et al.</i>	(1053)
Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soil of China (2000-2020): Temporal and Spatial Distribution, Influencing Factors	MA Yan, CHENG Lu, RUAN Zi-yuan, <i>et al.</i>	(1065)
Relationships Between Microplastic and Surrounding Soil in an E-Waste Zone of China	CHAI Bing-wen, YIN Hua, WEI Qiang, <i>et al.</i>	(1073)
Analysis of the Spatial Distribution of Heavy Metals in Soil from a Coking Plant and Its Driving Factors	GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, ZENG Wei-bin, <i>et al.</i>	(1081)
Source Apportionment and Spatial Distribution Simulation of Heavy Metals in a Typical Petrochemical Industrial City	SUN Xue-fei, ZHANG Li-xia, DONG Yu-long, <i>et al.</i>	(1093)
Heavy Metal Contents of Soil and Surface Dust and Its Ecological Risk Analysis in a Multifunctional Industrial Park	ZENG Wei-bin, GU Gao-quan, WAN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1105)
Geochemical Patterns and Source Analysis of Soil Heavy Metals in an Iron and Manganese Ore Area of Longyan City	WANG Rui, CHEN Nan, ZHANG Er-xi, <i>et al.</i>	(1114)
Application Case of Accurate Site Investigation with Life-Cycle Conceptual Site Model Development	LI Pei-zhong, WU Nai-jin, WANG Hai-jian, <i>et al.</i>	(1123)
Levels and Risk Assessment of Short and Medium-Chain Chlorinated Paraffins in Soil from Paper Mill Area	ZHANG Pei-xuan, GAO Li-rong, SONG Shi-jie, <i>et al.</i>	(1131)
Characterization and Health Risks of PCDD/Fs, PCBs, and PCNs in the Soil Around a Typical Secondary Copper Smelter	HU Ji-cheng, WU Jing, XU Chen-yang, <i>et al.</i>	(1141)
Effect of Citric Acid and Phosphorus Coexistence on Cadmium Adsorption by Soil	SONG Zi-teng, ZUO Ji-chao, HU Hong-qing, <i>et al.</i>	(1152)
Uptake and Accumulation of Cadmium and Zinc by Two Energy Grasses; A Field Experiment	ZHENG Rui-lun, SHI Dong, LIU Wen-ju, <i>et al.</i>	(1158)
Bioaccumulation and Translocation Characteristics of Heavy Metals in a Soil-Maize System in Reclaimed Land and Surrounding Areas of Typical Vanadium-Titanium Magnetite Tailings	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, SUN Xiao-ming, <i>et al.</i>	(1166)
Cd Accumulation Characteristics in Different Populations of <i>Hytololephium spectabile</i> Under Salt Stress	GUO Jun-mei, YANG Jun-xing, YANG Jun, <i>et al.</i>	(1177)
Effect of Water Regimes on Pb and Cd Immobilization by Biochar in Contaminated Paddy Soil	TANG Jia-qing, ZHANG Xu, HUANG Guo-yong, <i>et al.</i>	(1185)
Effects of Chitosan-modified Biochar on Formation of Methylmercury in Paddy Soils and Its Accumulation in Rice	YANG Xue-ling, WANG Ming-xing, XU Guo-min, <i>et al.</i>	(1191)
Effects of Chromium Pollution on Soil Bacterial Community Structure and Assembly Processes	YU Hao, AN Yi-jun, JIN De-cai, <i>et al.</i>	(1197)
Analysis of Changes and Factors Influencing Air Pollutants in the Beijing-Tianjin-Hebei Region During the COVID-19 Pandemic	ZHAO Xue, SHEN Nan-chi, LI Ling-jun, <i>et al.</i>	(1205)
Impact of Pollutant Emission Reduction on Air Quality During the COVID-19 Pandemic Control in Early 2020 Based on RAMS-CMAQ	LIU Hou-feng, XU Wei, WEI Min, <i>et al.</i>	(1215)
Light-absorbing Properties and Sources of PM _{2.5} Organic Components at a Suburban Site in Northern Nanjing	SHANG Yue, YU Huan, MAO Yu-hao, <i>et al.</i>	(1228)
Pollution Characteristics and Chromophore Types of Brown Carbon in Xi'an	CHEN Qian, CHEN Qing-cai, <i>et al.</i>	(1236)
Source and Health Risk Assessment of PM _{2.5} -Bound Metallic Elements in Road Dust in Zibo City	GUO Qing-yuan, BAI Wen-yu, ZHAO Xue-yun, <i>et al.</i>	(1245)
Health Benefit Assessment of PM _{2.5} Pollution Control in Beijing	DU Pei, WANG Jian-zhou, <i>et al.</i>	(1255)
Seasonal Characteristics of Air Pollutant Sources and Transport Pathways in Xining City	LIU Na, YU Ye, MA Xue-qian, <i>et al.</i>	(1268)
Concentrations and Patterns of Atmospheric Particulate Nitrogen and Phosphorus During Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region	YUAN Gang, QI Jian-hua, DING Xue, <i>et al.</i>	(1280)
Characterization of Volatile Organic Compounds (VOCs) Using Mobile Monitoring Around the Industrial Parks in the Yangtze River Delta Region of China	WANG Hong-li, GAO Ya-qin, JING Sheng-ao, <i>et al.</i>	(1298)
Characteristics and Cause Analysis of Heavy Air Pollution in a Mountainous City During Winter	LIU Zhuo-cheng, NIU Yue-yuan, WU Jing, <i>et al.</i>	(1306)
Gridded Emission Inventories of Major Criteria Air Pollutants and Source Contributions in Lan-Bai Metropolitan Area, Northwest China	WANG Wen-peng, WANG Zhan-xiang, LI Ji-xiang, <i>et al.</i>	(1315)
VOCs Removal and Emission Monitoring of Beijing Bulk Gasoline Terminals in 2012-2019	HUA Lan-ying, CUI Tong, LI Jin-xiang, <i>et al.</i>	(1328)
Emission Inventory of Air pollutants for the Harmless Treatment of Municipal Solid Waste	MA Zhan-yun, JIANG Yu-cong, REN Jia-xue, <i>et al.</i>	(1333)
Response of Bacteriophage-polysylls to Hypoxic Conditions in the Surface Sediments of the Yangtze Estuary and Its Adjacent Areas	YIN Mei-ling, DUAN Li-qin, SONG Jin-ming, <i>et al.</i>	(1343)
Human Health Risk Assessment of Phenol in Poyang Lake Basin	XU Qian-yun, AI Shun-hao, GAO Xiang-yun, <i>et al.</i>	(1354)
Spatial-Temporal Variation of Water Environment Quality and Pollution Source Analysis in Hengshui Lake	LIU Wei-wei, GUO Zi-liang, WANG Da-an, <i>et al.</i>	(1361)
Composition and Distribution Characteristics of Microplastics in Danjiangkou Reservoir and Its Tributaries	PAN Xiong, LIN Li, ZHANG Sheng, <i>et al.</i>	(1372)
Temporal and Spatial Evolution of Storm Runoff and Water Quality Assessment in Jinpen Reservoir	HUANG Cheng, HUANG Ting-lin, LI Yang, <i>et al.</i>	(1380)
Influence of Storm Runoff on the Spectral Characteristics of Dissolved Organic Matter (DOM) in a Drinking Water Reservoir During the Flood Season	LI Cheng-yao, HUANG Ting-lin, WEN Cheng-cheng, <i>et al.</i>	(1391)
Distribution Characteristics of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Bearing Pollutants in the Ancient Town Rivers of Suzhou	BAI Dong-rui, ZHANG Tao, CHEN Tan, <i>et al.</i>	(1403)
Chemical Characteristics and Causes of Groups Water in Niangziguan Spring	TANG Chun-lei, ZHAO Chun-hong, SHEN Hao-yong, <i>et al.</i>	(1416)
Adsorption Behavior of Phosphate by CaO ₂ Remolded Sediment	XU Chu-tian, LI Da-peng, WANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1424)
Nitrogen and Phosphorus Removal in Surface Flow Constructed Wetland Planted with <i>Myriophyllum elatinooides</i> Treating Swine Wastewater in Subtropical Central China	WANG Li-sha, LI Xi, LI Yu-yuan, <i>et al.</i>	(1433)
Accelerated Degradation of Aqueous Recalcitrant Iodinated Contrasting Media Using a UV/SO ₃ ²⁻ Advanced Reduction Process	LIU Zi-qi, QIU Fu-guo, LAI Man-ting, <i>et al.</i>	(1443)
Degradation of Dye Rhodamine B by Solar Thermally Activated Persulfate	MA Meng, XU Lu, JIN Xin, <i>et al.</i>	(1451)
One-step Preparation of Lanthanum-Magnesium Ferrite and Its Phosphate Adsorption Capacity in Aqueous Solutions	BAI Run-ying, SONG Bo-wen, ZHANG Yu, <i>et al.</i>	(1461)
Pollutant Removal Efficiency of Different Units Along a Mature Landfill Leachate Treatment Process in a Membrane Biological Reactor-Nanofiltration Combined Facility	SHAO Li-ming, DENG Ying-tao, QIU Jun-jie, <i>et al.</i>	(1469)
Biological Conversion Mechanism of Sulfate Reduction Ammonium Oxidation in ANAMMOX Consortia	BI Zhen, DONG Shi-yu, HUANG Yong, <i>et al.</i>	(1477)
Microbial Community Structure of Waste Water Treatment Plants in Different Seasons	HE Yun, LI Kui-xiao, WANG Jia-wei, <i>et al.</i>	(1488)
Organ-Specific Accumulation and Toxicokinetics of Ephedrine in Adult Zebrafish (<i>Danio rerio</i>)	YIN Xing-xing, GUO Chang-sheng, DENG Yang-hui, <i>et al.</i>	(1496)
Characteristics and Evaluation of Soil Rare Earth Element Pollution in the Bayan Obo Mining Region of Inner Mongolia	WANG Zhe, ZHAO Ying-chen, LUO Yi-fei, <i>et al.</i>	(1503)
Factors Affecting the Translocation and Accumulation of Cadmium in a Soil-Crop System in a Typical Karst Area of Guangxi Province, China	MA Hong-hong, PENG Min, GUO Fei, <i>et al.</i>	(1514)
Effects of Superparamagnetic Nanomaterials on Soil Microorganisms and Enzymes in Cadmium-Contaminated Paddy Fields	FANG Dan-dan, ZHANG Li-zhi, WANG Qiang, <i>et al.</i>	(1523)
Effects of Water Management and Silicon Application on Iron Plaque Formation and Uptake of Arsenic and Cadmium by Rice	CHEN Jia, ZHAO Xiu-lan, <i>et al.</i>	(1535)
Biological Effect of Tetracycline Antibiotics on a Soil-Lettuce System and Its Migration Degradation Characteristics	WANG Wei-zhong, CHI Sun-lin, XU Wei-hong, <i>et al.</i>	(1545)
Effect of Plastic Film Mulching on Methane and Nitrous Oxide Emissions from the Ridges and Furrows of a Vegetable Field	XIONG Wei-xia, JIANG Chang-sheng, ZHAO Zhong-jing, <i>et al.</i>	(1559)
Effects of Biochar and Straw on Soil N ₂ O Emission from a Wheat Maize Rotation System	TANG Zhan-ming, LIU Xing-ren, ZHANG Qing-wen, <i>et al.</i>	(1569)
Overview on Habitat Monitoring Methods Under Watershed Ecological Space Management	YIN Kun, LIU Hai-jiang, WANG Guang, <i>et al.</i>	(1581)