DOI: 10.5846/stxb202101040026

王飞飞,钱灵颖,丁升,曹文志,陈能汪,周克夫.基于陆海统筹的九龙江-厦门湾海岸生态过渡带综合监测体系构建.生态学报,2021,41(11): 4271-4277.

Wang F F, Qian L Y, Ding S, Cao W Z, Chen N W, Zhou K F.Constructing integrated monitoring system in Jiulong River-Xiamen Bay coastal complex ecotone based on land and sea coordination. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(11):4271-4277.

基于陆海统筹的九龙江-厦门湾海岸生态过渡带综合 监测体系构建

王飞飞,钱灵颖,丁 升,曹文志*,陈能汪,周克夫

厦门大学滨海湿地生态系统教育部重点实验室,厦门大学环境与生态学院,厦门 361102

摘要:海岸带是陆地和海洋之间的生态过渡带,生态保护和开发利用矛盾突出。而生态与环境监测是海岸带环境污染治理与生态保护的重要基础,是海岸带可持续发展的关键。在分析目前海岸带监测存在的问题基础上,以九龙江-厦门湾为研究对象,通过遥感和生物监测、标准衔接、采样和分析仪器以及在线监测系统研发等技术集成,构建了从污染源、环境质量到生态系统以及 景观层次的一体化综合生态监测体系。该体系基于常规监测,建立了基于生态系统的河流-河口(近海)生物、水体和沉积物的 生态环境一体化监测;探索制定了适用于九龙江河口不同盐度区的营养盐基准/标准系列推荐值;基于营养盐污染入海总量控 制目标,构建了河流入海污染物通量在线监测系统;通过遥感监测和实地调查相结合,实现了从关键生态系统到景观的海岸带 综合生态监测。基于综合监测体系,构建了兼顾陆海的河口湾区域生态安全评价指标体系,实现区域生态系统可持续发展或生态安全的动态评价。因此,通过上述系统的集成,成功实现了从陆域(流域)到河口(近海)一体化综合生态监测,可为海岸带地 区的生态质量改善、污染防治、主要污染物排放总量控制、生态安全评价、生态保护与修复等提供科学支撑。 关键词;陆海统筹;海岸生态过渡地带;综合监测体系;九龙江-厦门湾

Constructing integrated monitoring system in Jiulong River-Xiamen Bay coastal complex ecotone based on land and sea coordination

WANG Feifei, QIAN Lingying, DING Sheng, CAO Wenzhi^{*}, CHEN Nengwang, ZHOU Kefu Key Laboratory of the Ministry of Education for Coastal and Wetland Ecosystems, College of the Environment and Ecology, Xiamen University, Xiamen 361102, China

Abstract: Since coastal zone is the transitional ecotone between land and sea, where the contradiction between ecological protection economic development and resource utility is sharp, an ecological and environmental monitoring network is extremely important for local environmental pollution control and ecological protection, and it is also fundamental to sustainable development in coastal zones. Taking the Jiulong River and adjacent Xiamen Bay in southeast China as a demonstrative area for land and sea coordination and to overcome the inadequacy of the current conventional monitoring systems, this study established an integrated ecological monitoring network in the Jiulong River-Estuary continuum and nearshore areas for comprehensively monitoring both local environmental factors and ecological ecosystems based on the current conventional monitoring systems. This network was performed through combination of monitoring using remote sensing and biological techniques, bridging gaps of water quality standards between territorial and adjacent sea, comprehensive field samplings and invents of innovative measuring equipment, and setup of online observation system. The

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502901);国家自然科学基金项目(41771500)

收稿日期:2021-01-04; 修订日期:2021-04-05

^{*}通讯作者 Corresponding author.E-mail: wzcao@ xmu.edu.cn

integrated monitoring network was capable of management and measurement from pollutant sources, environmental quality, crucial ecosystems, and landscape levels. This firstly constructed integrated-monitoring system component is ecosystembased and incorporated organism, water, and sediments monitoring for this river-estuary-bay continuum. Secondly, a series of nutrient criteria/standard including dissolved inorganic nitrogen and soluble reactive phosphorus for the different estuarine salinity segments in the estuary were proposed. Thirdly, targeting at the objective of total pollutant discharge controlling between land and sea, an online pollutant fluxes monitoring system between the interfaces of the Jiulong River and its estuary were constructed. On the basis of combination of dynamic monitoring using remote sensing observations and field investigations, as the fourth step, an ecological monitoring system was also established. Then based on the above four monitoring systems and observed results, an ecological indicator system including parameters from coastal lands, estuarine and nearshore areas for rapid evaluating regionally ecological security was proposed. This indicator system was then applied to dynamically evaluate regionally ecological security and sustainable development for the Jiulong River and Xiamen Bay. Finally, the above several monitoring systems have been integrated and successfully applied in the areas across from territorial (watershed) to estuarine (nearshore) areas, and from management and measurement of pollutant sources, environmental quality, crucial ecosystems, and to landscape levels. Therefore, this integrated monitoring network would significantly facilitate environmental quality improvement, pollution control, total pollutant discharge control, ecological protection, ecological security evaluation, and restoration in coastal areas from the perspective of scientific support.

Key Words: land and sea coordination; coastal ecotone; integrated monitoring system; Jiulong River-Xiamen Bay

海岸带是连接陆地与海洋生态系统的生态过渡地带,是地球上最为复杂且生产力最高的生态系统之一, 也是人类活动较为剧烈的区域,生态保护和开发利用矛盾突出。海岸带聚集着山水林田湖草生命共同体的几 乎所有重要生态系统类型,该区域占陆域国土不到 30%,却承载着全国 40%以上的人口,创造着 70%以上的 国民生产总值,在经济社会发展和生态文明建设全局中具有重要战略地位^[1]。然而,随着人类活动高强度的 开发利用以及全球气候剧烈变化,近岸海域生态系统近年来已经愈发脆弱,污染和富营养化等问题突出^[2-3]。 目前的研究多将陆域和河口(近海)生态系统割裂进行研究,很难揭示两者之间的联系以及污染物在陆海之 间迁移和相互影响过程。陆海统筹已经上升到国家重大战略,需要将陆地与海洋作为一个整体来考虑。特别 在湾区生态过渡带开展精确有效的监测是落实陆海统筹战略和构建海岸带生命共同体以及实现海岸带生态 保护与可持续发展的关键。

生态与环境监测是生态保护的基础^[4]。目前,海岸带综合监测在部分区域已开展了一些研究。自 1985 年以来,美国切萨皮克湾构建了水质和生物统筹监测计划,包含兼顾陆海的景观、湿地、水质以及生物系列监 测指标,旨在通过评估保障海湾生态系统的健康^[5-6]。地中海沿岸地区根据跨学科讨论的结果,提出了在地 中海海岸带开展包括地貌学、动植物区系、能源生产、管理和综合保护、地理和景观、文化遗产和环境资产等的 综合监测计划^[7]。在美国新泽西州的海岸带区域构建了一个综合的长期生态系统观测站,其目的是对沿岸 水域进行快速环境评估,并做出实时预测^[8]。总之,此类综合监测系统通常构建于陆海相互作用的人口密集 的河口-海湾区域,并关注陆地(河流流域)的生态影响,可直接服务于生态环境快速评估和管理决策。

因此,本文以闽三角城市群的九龙江-厦门湾为例,通过分析目前海岸带监测存在的问题,通过国家重点 研发计划项目的实施,在常规监测的基础上,尝试构建基于陆海统筹的海岸生态过渡带综合监测体系,以期为 闽三角城市群海岸带的生态安全和可持续发展提供保障。

1 研究区域概况

九龙江是福建省的第二大河流,流域面积 14087 km²,由北溪、西溪、南溪组成,最终汇入厦门海域。其中,北溪下游入海口附近的江东库区是厦门市和漳州市主要的集中式饮用水水源地。厦门湾是典型的亚热带

半封闭型港湾,与台湾海峡相望,岸线曲折,地形复杂, 主要受黑潮、南海暖流、闽浙沿岸水和西侧九龙江口径 流的影响^[9]。厦门湾不仅是地理位置优越的天然良 港,而且生态资源类型多样,分布着红树林、河口、沙滩 等重要资源;海洋物种丰富,拥有白海豚、白鹭、文昌鱼、 中华鲎等国家级珍稀物种。九龙江-厦门湾海岸带分布 着多种重要生态系统类型,并面临着生态缓冲能力有 限、系统复杂且演替趋势不明等挑战,而九龙江河流输 送所带来的污染是厦门湾的主要污染来源^[10-11]。

因此,本文依托国家重点研发计划"闽三角城市群 生态安全保障及海岸带生态修复技术",针对九龙江-厦 门湾的生态安全状况,在常规环境监测的基础上,通过 遥感和生物监测、标准衔接、采样和分析仪器以及在线



监测系统研发等技术集成,开展兼顾陆海的综合监测体系构建研究。

2 海岸带生态监测存在的主要问题

2.1 陆域和海域水体环境功能区和监测不衔接

目前,地表水功能区划与海洋功能区划或近岸海域环境功能区划存在不衔接或空间上的交叉重叠。陆域 地表水功能区划没有考虑与海域功能区划的约束与衔接,海域功能区划没有考虑到河流淡水和海水相互汇合 和混合区域等生态问题^[12],将造成管理上的混乱或矛盾。此外,地表水监测指标包含总氮、总磷和氨氮等指 标,但海水水质的营养盐监测指标为无机氮、非离子铵和活性磷酸盐等,无法对水质评价进行直接对比,造成 陆海水环境管理上的不衔接。监测点布设不合理,监测频次不对应,以及缺少生物监测等问题也导致常规监 测对海岸带综合管理的支撑作用远远不够。

2.2 河口湾区水质标准尚未制定

河口是连接陆地生态系统和海洋生态系统的主要通道,在控制河口和近海水体营养状况以及全球营养盐 循环的过程中扮演着十分重要的角色^[13-15]。由于河口处于河流-近海的过渡状态,地表水和海水现行的水质 标准并不适用于河口生态环境,而我国尚未制定针对河口区域的相关基准或标准,一定程度上很难客观评价 河口湾区的环境与生态状况。

2.3 河海界面营养盐入海通量动态监测不足

由于绝大多数沿海生态系统污染物约 70%—80%来自于陆域,其中河流径流输入是海洋污染物的重要来 源^[16,17]。氮磷等营养盐的输送被认为是河口和沿海生态系统污染和富营养化的主要威胁^[18]。河流营养盐 入海通量不仅是是维护河口乃至近海生态系统的重要生源要素,也是决定陆源污染物入海总量的关键要素。 入海通量的动态监测研究对深入分析营养盐变化特征、调控机制及实现入海总量控制目标具有重要意义。随 着人类活动强度的增加,河流向近海输送营养盐的浓度、通量以及结构组成也发生了较大地改变^[19-20],但其 动态监测体系尚未建立。

2.4 海岸带关键生态系统监测缺乏

常规监测缺乏对海岸生态过渡带关键生态系统的监测,而红树林是九龙江-厦门湾海岸带的重要生态系统。全球红树林面积不到热带森林的1%,但是地球上生物多样性和生产力最高的生态系统之一,也是服务功能较高的生态系统,具有抵御风浪、保护海岸、净化水质、固碳储碳、调节气候、维持生物多样性、保护水产种质资源、生态旅游、科学研究等诸多重要生态功能。然而该类关键生态系统动态监测的缺失,导致无法系统地了解其生态系统结构和生态服务功能的动态变化。

4273

3 基于陆海统筹的九龙江-厦门湾综合生态监测体系构建

针对海岸带环境质量改善和生态安全提升目标,遵循生态系统整体性特点,本文在常规监测的基础上,从 生物、要素、生态系统到景观不同层面,尝试建立了可反映陆地-近海生态系统反馈响应关系的海岸带综合监 测体系,完善了海岸带关键生态系统的动态监测以及河流入海主要污染物的通量监测,并探索建立了衔接陆 域-河口-近海水环境主要营养盐的基准/标准,为保障海岸带生态系统安全、实现海岸带生态系统精准监管提 供支撑。



图 2 九龙江-厦门湾海岸带综合监测体系构建

Fig.2 Constructing integrated environmental and ecological monitoring system in Jiulong River-Xiamen Bay coastal areas

3.1 建立了河流-河口(近海)水环境与生态的一体化监测系统

3.1.1 生物监测

生物监测可通过监测自然界生物个体、种群、群落等对环境质量及其变化的反应来指示水质现状、污染程度及其发展趋势^[21]。浮游植物分布的丰度、种类组成和多样性是水体营养状态的重要证据。通过对九龙江 北溪水体浮游植物监测,开展其群落结构及多样性研究,构建了具备多闸坝特色的河流生态系统健康评价综 合指标体系^[22]。中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)是造成厦门筼筜湖和近海赤潮的主要海洋藻类之一^[23]。 利用单克隆抗体制备出的快速检测胶体金试纸条产品,可以快速检测海水中肋骨条藻是否存在及其密度,并 有效地应用于厦门湾赤潮监测和预警。通过上述监测在陆域(河流)和近海实现了一体化的藻类监测和 评价。

3.1.2 水环境关键指标的序列监测

采用人工采样和改进的新型自动采样器,进一步优化河流、河口、湾区水质监测站位,构建了九龙江-厦门 湾营养盐、重金属、农药、多环芳烃、抗生素、个人护理用品等污染物的动态监测网络体系。除地表水和海水水 质标准中监测的营养盐外,同时监测了硝态氮、亚硝态氮、有机氮、溶解态磷、颗粒磷、有机磷和无机磷浓度等 其他重要指标,可以全面反映和评估不同水体生态系统的污染和营养水平。而重金属、有机污染物、新污染物 等环境健康危害因素的监测,有助于提高水环境风险防控和突发事件应急监测能力。此外,该监测体系为九 龙江北溪饮用水水源地锰污染物溯源^[24],以及河流-河口生态系统健康评价和九龙江流域水资源承载力等研 究的开展提供了支撑。

3.1.3 沉积物关键指标监测

在九龙江沿程、重要水源地(江东库区)以及河口构建了包含沉积物粒径、总氮、总碳、卤代咔唑、重金属 含量和赋存状态等指标的监测体系,并采用地累积指数、污染负荷指数、潜在生态风险指数、次生相与原生相 分布比值四种方法,开展了沉积物重金属风险评估,并定量分析了重金属的潜在来源,为江东库区以及河口水 体和沉积物的重金属污染溯源与防治提供科学依据。而卤代咔唑(Polyhalogenated carbazoles, PHCs)等指标 的监测^[25]为河流-河口沉积物有机污染物风险评价和水环境新污染物控制提供了支撑。

3.2 探讨了九龙江河口营养盐的基准和标准

利用 30 多年九龙江河口赤潮暴发和营养盐的研究积累,根据盐度、水文、沉积物等特征将九龙江河口划 分为 3 个不同的生态系统分区,以赤潮发生作为河口生态系统功能崩溃的阈值,根据频数累积法和赤潮数据 的混合模型法,建立基于生态系统的营养盐溶解无机氮和溶解活性磷基准值计算方案^[26],并建立了适应我国 海洋环境监测现行框架的基准/标准值确定方法。根据河口生态系统响应反馈关系,尝试给出了九龙江河口 不同分区的营养盐标准推荐值。该标准推荐值的建立,实现了地表水环境和海水水质标准在咸淡水混合区的 陆海衔接,为我国其他河口营养盐基准/标准值的确定提供了借鉴。

3.3 研发了河流-河口关键系统界面营养盐污染通量实时监测系统

以九龙江-厦门湾营养盐污染入海总量控制为目标,组织研发了九龙江-厦门湾生态系统界面主要污染物 入海通量在线监测系统。该系统实现了流量和主要污染物实时动态同步监测^[27-31],在此基础上形成了高时 间精度的河流入海营养盐通量数据^[32],有助于开展九龙江流域主要污染物的溯源分析,实现陆源入海污染物 排海监管以及实施流域-河口-海湾一体化管理,为实现污染物以海洋生态系统承载力为基准的陆源污染物总 量控制(以海定陆)提供重要支撑。

3.4 建立了陆域-海湾关键生态系统一体化综合监测体系

3.4.1 红树林生态系统监测

九龙江口红树林湿地是重要的海岸带生境,是鹭类的栖息地和繁殖地,以及迁徙水鸟等的重要停歇地和 越冬地,林下丰富的底栖动物又为鸟类等高等动物提供充足的食物来源^[33]。通过遥感监测分析了九龙江口 红树林空间分布和地上生物量的动态变化^[34:35],估算了红树林潜在生态系统服务价值(海岸保护、碳固定、营 养去除和重金属去除)及空间变异性^[36]。实地调查了红树林生态系统鸟类种类、数量,以及大型底栖动物的 数量、栖息密度和生物量等,开展了红树林湿地生态系统的脆弱性评估,为红树林生态系统的保护及修复奠定 基础。

红树林生态系统监测体系的建立有助于分析湿地生态系统的功能现状和存在问题,提出湿地重要物种如 鸟类的生境恢复措施。同时水鸟和大型底栖动物的监测数据可用于评估滨海湿地的生态修复效果,促进海岸 带湿地生物多样性的提高及珍稀鸟类的保护。

3.4.2 重要物种保护区监测

文昌鱼是国家二级保护动物,作为一种特殊的大型底栖动物,可以作为表征海洋生态系统健康程度的有效指标^[37]。通过对厦门珍稀海洋物种国家级自然保护区的文昌鱼及其他大型底栖动物物种数、栖息密度、生物量、多样性指数、均匀度指数和丰度指数的监测^[38],分析文昌鱼群落特征及其栖息环境的时空变化,为近岸海域生态环境的保护提供了科学依据。

3.5 开展了海岸带生态景观的系统监测

利用遥感技术构建了多源、多尺度影像的生态遥感和无人机遥感重点监测相结合的体系,主要分析了海

岸带重要生态功能区如森林、农田景观以及红树林的演变特征和生态服务价值的动态变化^[36,39],并从不同景观的面积变化、类型转移和空间格局上探讨其演变特征与驱动机制^[40]。该监测体系已在海岸带湾区的生态保护红线区、重点生态功能区、自然保护区、生物多样性保护优先区等重点区域开展了基于中分辨率卫星遥感数据的生态系统质量及其变化监测、基于地面高光谱的生态系统质量监测以及基于无人机遥感数据的重点监测等。根据海岸带湾区景观的重要性以及目标需求,实现了多源、多尺度影像的景观监测体系。

3.6 构建了兼顾陆海的河口湾区域生态安全评价指标体系

基于构建的综合监测体系数据,采用"压力-状态-响应"(PSR)概念模型,筛选具有河口湾区特色的生态 系统评价指标,构建了兼顾陆海的多尺度、多层次生态系统评价指标体系,包含陆地和河口海湾的特色物种、 种群、群落、生态系统等指标,从生态系统健康、可持续性、生物多样性、服务功能等多维度,实现对海岸带湾区 生态安全的综合动态评价,可有效评估湾区的生态安全状况,促进海岸带生态保护和可持续发展。

4 结论

本研究以九龙江-厦门湾为研究对象,在常规监测的基础上,构建了基于陆海统筹的涵盖生物-要素-生态 系统-景观不同层次的海岸带综合生态监测体系。该体系主要包括建立了河流-河口(近海)水环境与生态的 一体化监测,探索制定了适用于九龙江河口的营养盐基准/标准系列推荐值。并基于主要污染入海总量控制 目标,构建了河流入海污染物通量在线监测系统,实现了海岸带从关键生态系统到景观的综合监测。在上述 综合监测的基础上,构建了兼顾陆海的湾区生态安全评价指标体系,实现了区域生态安全的动态快速评价,评 价结果可直接服务于管理,实现陆海生态环境监测、评价与综合管理的衔接,保障海岸生态过渡带复杂生态系统的可持续发展。

构建的海岸生态过渡带综合监测体系,实现了从陆域(流域)到河口(近海),从污染源、环境质量到生态 系统以及景观层次的一体化综合监测,同时实现了宏观与微观融合、陆地与海洋生态系统兼顾、质量与通量并 举、人工与自动监测相互补充、快速动态评价与综合管理相衔接,可为生态环境质量改善、污染防治、主要污染 物排放总量控制、生态安全评价、生态保护与修复等提供科学支撑,实现基于生态系统的"从流域到海洋"综 合治理。

参考文献(References):

- [1] 王焰新, 甘义群, 邓娅敏, 谢先军. 海岸带海陆交互作用过程及其生态环境效应研究进展. 地质科技通报, 2020, 39(1): 1-10.
- [2] Strokal M, Yang H, Zhang Y C, Kroeze C, Li L L, Luan S J, Wang H Z, Yang S S, Zhang Y S. Increasing eutrophication in the coastal seas of China from 1970 to 2050. Marine Pollution Bulletin, 2014, 85(1): 123-140.
- [3] Ma Z J, Melville D S, Liu J G, Chen Y, Yang H Y, Ren W W, Zhang Z W, Piersma T, Li B. Rethinking China's new great wall. Science, 2014, 346(6212): 912-914.
- [4] 陈善荣,陈传忠.科学谋划"十四五"国家生态环境监测网络建设.中国环境监测,2019,35(6):1-5.
- 5 Boesch D F. Measuring the health of the Chesapeake Bay: toward integration and prediction. Environmental Research, 2000, 82(2): 134-142.
- [6] Tango P J, Batiuk R A. Chesapeake Bay recovery and factors affecting trends: long-term monitoring, indicators, and insights. Regional Studies in Marine Science, 2016, 4: 12-20.
- [7] Tekken V, Costa L, Kropp J P. Assessing the regional impacts of climate change on economic sectors in the low-lying coastal zone of mediterranean East Morocco. Journal of Coastal Research, 2009, SI56: 272-276.
- [8] Schofield O, Bergmann T, Bissett P, Grassle J F, Haidvogel D B, Kohut J, Moline M, Glenn S M. The long-term ecosystem observatory: An integrated coastal observatory. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2002, 27(2): 146-154.
- [9] 鲍晶晶. 厦门湾及邻近海域地形地貌研究[D]. 厦门: 国家海洋局第三海洋研究所, 2011.
- [10] Cao W Z, Hong H S, Yue S P. Modelling agricultural nitrogen contributions to the Jiulong River estuary and coastal water. Global and Planetary Change, 2005, 47(2/4): 111-121.
- [11] Wu G J, Cao W Z, Huang Z, Kao C M, Chang C T, Chiang P C, Wang F F. Decadal changes in nutrient fluxes and environmental effects in the Jiulong River Estuary. Marine Pollution Bulletin, 2017, 124(2): 871-877.
- [12] 杨静. 陆海统筹, 监测评价怎么衔接. 中国生态文明, 2019, (4): 29-31.
- [13] Trimmer M, Nedwell D B, Sivyer D B, Malcolm S J. Nitrogen fluxes through the lower estuary of the river Great Ouse, England: the role of the bottom sediments. Marine Ecology Progress Series, 1998, 163: 109-124.

- [14] Ogilvie B, Nedwell D B, Harrison R M, Robinson A, Sage A. High nitrate, muddy estuaries as nitrogen sinks: the nitrogen budget of the River Colne estuary (United Kingdom). Marine Ecology Progress Series, 1997, 150(1/3): 217-228.
- [15] Nedwell D B, Trimmer M. Nitrogen fluxes through the upper estuary of the Great Ouse, England: the role of the bottom sediments. Marine Ecology Progress Series, 1996, 142(1/3): 273-286.
- [16] 王辉, 栾维新, 康敏捷. 辽河流域社会经济活动的 COD 污染负荷. 地理研究, 2013, 32(10): 1802-1813.
- [17] Su S L, Li D, Zhang Q, Xiao R, Huang F, Wu J P. Temporal trend and source apportionment of water pollution in different functional zones of Qiantang River, China. Water Research, 2011, 45(4): 1781-1795.
- [18] Billen G, Garnier J. River basin nutrient delivery to the coastal sea: assessing its potential to sustain new production of non-siliceous algae. Marine Chemistry, 2007, 106(1/2): 148-160.
- [19] Syvitski J P M, Vörösmarty C J, Kettner A J, Green P. Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. Science, 2005, 308(5720): 376-380.
- [20] Wu G J, Cao W Z, Wang F F, Su X L, Yan Y Y, Guan Q S. Riverine nutrient fluxes and environmental effects on China's estuaries. Science of The Total Environment, 2019, 661; 130-137.
- [21] Markert B, 王美娥, Wünschmann S, 陈卫平. 环境质量评价中的生物指示与生物监测. 生态学报, 2013, 33(1): 33-44.
- [22] Lin L, Wang F F, Chen H, Fang H, Zhang T Y, Cao W Z. Ecological health assessments of rivers with multiple dams based on the biological integrity of phytoplankton: A case study of North Creek of Jiulong River. Ecological Indicators, 2020, 121: 106998.
- [23] 邹晓梅,林广发,陈志彪. 闽三角海域赤潮发生的时空特征. 海洋科学, 2018, 42(11): 111-117.
- [24] 陈能汪,王德利,鲁婷,王芬芳,姜艳,林国辉,庄马展.九龙江流域地表水锰的污染来源和迁移转化机制.环境科学学报,2018,38 (8):2955-2964.
- [25] Zhou W X, Huang X W, Lin K D. Analysis of polyhalogenated carbazoles in sediment using liquid chromatography-tandem mass spectrometry. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 170: 148-155.
- [26] Liu B L, Cao W Z, Huang Z, Chen W H, Chen H H, Liu L S. Developing nutrient criteria for the Jiulong River Estuary, Southeast China. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 37(2): 1-13.
- [27] Deng Y, Li P C, Fang T Y, Jiang Y Y, Chen J X, Chen N W, Yuan D X, Ma J. Automated determination of dissolved reactive phosphorus at nanomolar to micromolar levels in natural waters using a portable flow analyzer. Analytical Chemistry, 2020, 92(6): 4379-4386.
- [28] Ma J, Li P C, Chen Z Y, Lin K N, Chen N W, Jiang Y Y, Chen J X, Huang B Q, Yuan D X. Development of an Integrated Syringe-Pump-Based Environmental-Water Analyzer (*iSEA*) and application of it for fully automated real-time determination of ammonium in fresh water. Analytical Chemistry, 2018, 90(11): 6431-6435.
- [29] Li P C, Deng Y, Shu H L, Lin K N, Chen N W, Jiang Y, Chen J X, Yuan D X, Ma J. High-frequency underway analysis of ammonium in coastal waters using an integrated syringe-pump-based environmental-water analyzer (*i*SEA). Talanta, 2019, 195: 638-646.
- [30] Fang T Y, Li P C, Lin K N, Chen N W, Jiang Y Y, Chen J X, Yuan D X, Ma J. Simultaneous underway analysis of nitrate and nitrite in estuarine and coastal waters using an automated integrated syringe-pump-based environmental-water analyzer. Analytica Chimica Acta, 2019, 1076: 100-109.
- [31] 郭宜君,林松,张宇,李钦胜,俞晓牮,徐晓辉,孙海信,陈能汪.河口温流参数的声学实时监测研究. 厦门大学学报:自然科学版, 2016,55(6):876-880.
- [32] Gao X J, Chen N W, Yu D, Wu Y Q, Huang B Q. Hydrological controls on nitrogen (ammonium versus nitrate) fluxes from river to coast in a subtropical region: Observation and modeling. Journal of Environmental Management, 2018, 213: 382-391.
- [33] 韦江玲,孙仁杰,刘文爱,李蕾藓.广西山口红树林湿地鸟类多样性研究.亚热带资源与环境学报,2020,15(1):1-10.
- [34] Wang M, Cao W Z, Guan Q S, Wu G J, Jiang C, Yan Y Y, Su X L. Potential of texture metrics derived from high-resolution PLEIADES satellite data for quantifying aboveground carbon of *Kandelia candel* mangrove forests in Southeast China. Wetlands Ecology and Management, 2018, 26 (5): 789-803.
- [35] Wang M, Cao W Z, Guan Q S, Wu G J, Wang F F. Assessing changes of mangrove forest in a coastal region of Southeast China using multitemporal satellite images. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 207: 283-292.
- [36] Wang M, Cao W Z, Jiang C, Yan Y Y, Guan Q S. Potential ecosystem service values of mangrove forests in southeastern China using high-resolution satellite data. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2018, 209: 30-40.
- [37] Shi J H, Li G X, Wang P. Anthropogenic Influences on the Tidal Prism and Water Exchanges in Jiaozhou Bay, Qingdao, China. Journal of Coastal Research, 2011, 27(1): 57-72.
- [38] 陈丙温,蔡立哲,饶义勇,李文君,陈昕韡,傅素晶,彭文晴,郑斌.底质细化对厦门潮下带文昌鱼栖息地大型底栖动物群落的影响.海 洋与湖沼,2020,51(3):494-505.
- [39] 林金煌,吴思佳,陈文惠,程瑞彤,陈增文.闽三角地区森林景观及其生态服务价值遥感动态监测.福建师范大学学报:自然科学版, 2018,34(6):78-85.
- [40] 黄智洵,王飞飞,曹文志.耦合生态系统服务供求关系的生态安全格局动态分析——以闽三角城市群为例.生态学报,2018,38(12): 4327-4340.