

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2022.01.006

引用格式:张景,陈国光,张定源,等.基于陆海统筹理念的闽江口生态格局探讨[J].华东地质,2022,43(1): 61-71.(ZHANG J, CHEN G G, ZHANG D Y, et al. Study on the ecological pattern of Minjiang Estuary based on the concept of land-sea coordination[J]. East China Geology, 2022, 43(1): 61-71.)

基于陆海统筹理念的闽江口生态格局探讨

张景,陈国光,张定源,王冲,张洁,牛晓楠,吴佳瑜

(中国地质调查局南京地质调查中心,江苏 南京 210016)

摘要:湾区的区位优势与产业集群优势明显,是人类活动最集中的区域。在快速城市化进程下,作为海陆交互作用的频繁地带,闽江口的生态环境问题较突出。基于福建省资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价成果,针对闽江口生态服务功能区和生态问题风险区内的重要生态要素单元开展了1:5万环境地质调查,以陆海统筹理念为指导,在“双评价”指南的基础上结合湾区实际,增加了沿海山体、沙质岸线防护林、无人低覆被率海岛等多项生态保护重要性评价指标,建立了湾区陆海统筹双评价方法技术体系并完成了闽江口生态保护重要性评价,为湾区城市群走绿色高质量发展新道路提供了理论支持和基础支撑。研究表明:沿海第一道山体是湾区重要的生态保护屏障,对沿海城市抵御台风和沙化侵蚀起到了不可替代的作用;海岛关乎国家海洋权益,面积越小、植被覆盖越差、离岸越远的无人岛屿,生态安全风险越高;海岸带处于陆海交互的连接带,是沿海城市发展的重点区,也是连接陆、海生态斑块的关键区,相对陆域,生态系统更脆弱;岩性为中粗粒花岗岩的沿海裸岩,是水土流失的高发区,也是岸线淤积的风险区。

关键词:陆海统筹;湾区;生态格局;闽江口;双评价

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2022)01-061-11

近年来,由于城市化带来的经济增长和人口聚集,我国东部沿海地区的生态格局发生了巨大变化,直接影响了生物地球化学循环、水文循环、生物多样性及生态系统服务,并对社会经济产生了深远影响^[1]。长期以来,沿海城市的城市规划管理以“重陆域、轻海域”的传统理念为主,向海发展仅仅停留在向海要地^[2],海陆分割的规划管理模式导致沿海城市在生态环境保护上没有将海陆视作一体,导致对海域生态环境保护的重视不够。

湾区是人类活动的密集区和产业集群的发达区,是未来发展潜力最大的区域,也是经济发展与生态保护冲突最集中的区域^[3-4]。根据闽东北、闽西南两大经济协作区发展规划^[5],福建省将构建区域发展大格局,重点建设环闽江口、环三都澳、湄洲湾、泉州湾、厦门湾、东山湾六大湾区,闽江口湾区作为福州都市圈的核心区,已逐渐成为全省的商贸金融中心、科技信

息中心和闽台经贸中心,是福建省外资投入最集中、发展活力最强的区域之一,在都市圈发展格局中发挥着关键作用。湾区产业的快速发展对闽江口的生态环境治理能力与治理水平提出了更高要求。

本文以福建省闽江口为研究区,通过调查和分析闽江口生态地质条件和生态地质问题,比对历年来土地利用现状等基础调查数据,在资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价(以下简称“双评价”)指南的基础上建立了基于陆海统筹理念的生态保护重要性评价方法技术体系,探索陆海统筹理念下湾区生态格局优化的解决路径与基本策略,旨在优化湾区生态保护安全格局,为湾区城市群走绿色高质量发展新道路提供科学支持和基础支撑。

1 研究区概况及生态建设成就

闽江口湾区处于海峡西岸经济区的核心地带,

* 收稿日期:2021-08-05 修订日期:2022-01-19 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“福建省资源环境承载力综合调查评价(编号:DD20190301)”项目资助。

第一作者简介:张景,1982年生,男,高级工程师,硕士,主要从事生态地质调查及双评价工作。Email: zjhfut@163.com。

涵盖福州市中心城区及其下辖福清市、连江县、罗源县、平潭综合试验区全域及附近海域。地理位置: $119^{\circ}03'19''\sim 119^{\circ}58'53''E$ 、 $25^{\circ}20'2''\sim 26^{\circ}38'37''N$, 研究区总面积 $8\,615\text{ km}^2$, 其中陆域面积 $5\,662\text{ km}^2$, 海域面积 $2\,953\text{ km}^2$ 。闽江口位于中亚热带和南亚热带交接处, 临江濒海, 地域宽广, 特殊的地理位置导致复杂多样的生态环境, 是各类动物、植物的天堂^[6]。

湾区近年来以福州“山、水、城”的地理格局为骨架, 通过建设环城绿带和湖库水网体系, 打通了重要山水廊道, 同时大力推进湿地、林地、山体生态修复工程, 打造了生物多样性重要功能节点, 逐步构建了体系完善、功能完备的“显山露水”式生态格局。由于城镇化进程持续推进和社会经济的高速发展, 湾区局部区域存在一定程度的生态安全风险。

2 闽江口生态环境问题

2.1 沙质岸线侵蚀与防护林退化

受海面上升、河口物源减少及围填海工程等影响, 沿岸流局部水动力发生了很大改变, 闽江口沙质岸线大多处于受侵蚀状态。此外, 沙质岸线在波浪、潮汐、风暴潮等影响下, 顺着平原地带长驱直入, 对农田、公路、居民的生活环境造成影响。

沿海防护林在防灾抗灾、护岸固沙、维护生态、美化景观等方面发挥着重要作用, 是沿海生态安全的重要防线^[7]。但闽江口局部地区沿海防护林分布不完整、不连续、林带老化、更新不良, 特别在外界风沙灾害侵扰和不合理人类活动干扰等诸多消极因素影响下, 沿海防护林呈现分布范围进一步缩小、部分防护林带出现断带缺口、防护林不断后退等问题。

2.2 外来物种入侵已影响河口生态系统

闽江口湿地、生物岸线、自然物种资源丰富, 是能流和物流交汇的重要聚散地^[8]。由于特殊的地理位置, 闽江口生态系统是融淡水生态系统、海水生态系统、咸淡水混合生态系统、潮滩湿地生态系统、河口岛屿和沙洲湿地生态系统为一体的复杂系统。闽江口生态系统与海洋环境、生物群落多样性、海水环流、海潮和入海河流之间有紧密联系。近年来, 闽江口互花米草呈现快速蔓延趋势, 影响海水交换能力, 枯死的茎叶变成海漂垃圾, 导致海水水质下降^[9]。外来物种的侵入, 使沿海环境和水产养殖业受到一系列威胁, 闽江口生物岸线存量明显较少。

2.3 水土流失和岸线淤积已威胁岸线生态系统

一直以来, 各种沿海重大工程不断威胁着海岸生态环境态势。填海工程改变了海水的运动特性, 降低了湾内水动力条件, 引起泥沙冲淤和污染物迁移规律的变化(如平潭岛南西侧吉钓村湾口), 对航运、防洪和生态系统造成不良影响。大规模的沿海人类工程会不同程度地导致沿岸植被覆盖率降低, 而海岸带由于地理位置特殊, 受风力侵蚀和水力侵蚀双重影响, 极易诱发水土流失, 而水土流失又会加重岸线淤积程度。岸线淤积导致沿海湿地滩涂植物大量消失, 降低了区域生物多样性功能, 严重威胁岸线生态系统^[10-11]。

2.4 无人岛屿消亡风险

海岛是壮大海洋经济、拓展发展空间的重要依托, 是保护海洋环境、维护生态平衡的重要平台, 是捍卫国家权益、保障国防安全的战略前沿^[12]。福建是海洋大省, 海岛众多, 但个别海岛特别是无居民海岛的开发利用却存在“无序、无度、无偿”的现象。闽江口的部分无居民海岛也出现了若干改变海岛地貌和形态的人类活动。近年来, 国家陆续出台海岛开发和保护的相关政策, 改变海岛不合理开发利用现状。

3 数据来源及评价方法

3.1 数据来源

水土流失、海岸侵蚀淤积、岸线沙化等数据来源于闽江口 1:5 万环境地质调查第一手资料, 经 ACRGIS 数字化处理获得, 海岛调查数据来自福建 908 专项调查成果; 蒸散发数据来自中科院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心平台(<https://www.resdc.cn/>); DEM 数据来源于 ALOS PALSAR RTC 数据集产品。

3.2 评价方法

国土空间按功能类型分为生产开发空间和生态保护空间两类^[13], 其中生态保护空间的合理划定是关系经济社会高质量发展、可持续发展的基础。建设人与自然和谐共生的现代化社会, 必须把生态保护摆在更加突出的位置, 科学合理规划城市的生态空间、生产空间、生活空间, 处理好城市生产生活和生态环境保护的关系。双评价的本质是通过分析资源环境禀赋特征, 识别和构建合理的国土空间

安全格局,既保障生态服务功能,又保障生活和生产需求。闽江口生态保护重要性评价基于生态服务功能与生态敏感性两方面(图 1),涉及陆域和海域,其评价模型为

$$EF_i = \text{Max}(E_i, F_i), \quad (1)$$

式中: E_i 表示生态服务功能评价价值, F_i 表示生态敏感性评价价值, i 表示陆域和海洋组成的空间主体。

$$E_i = \text{Max}(e_i^1, e_i^2, e_i^3, e_i^4), \quad (2)$$

式中: e_i^1 表示生物多样性维护功能, e_i^2 表示水源涵养功能, e_i^3 表示水土保持功能, e_i^4 表示海岸防护功能。

$$F_i = \text{Max}(f_i^1, f_i^2, f_i^3), \quad (3)$$

式中: f_i^1 表示水土流失敏感性, f_i^2 表示海岸侵蚀脆弱性, f_i^3 表示海岛消亡敏感性。

取 E_i (生态系统服务功能)和 F_i (生态敏感性)评价结果的较高等级作为生态保护重要性等级的初判结果。生态系统服务功能极重要区和生态极敏感区加权求和确定为生态保护极重要区,其余重要区和敏感区加权求和确定为生态保护重要区。另外作为湾区(市级)生态评价,在生态格局层面应体现与省级评价的继承和衔接,在生态功能和风险层面应体现对省级评价的发展和细化。

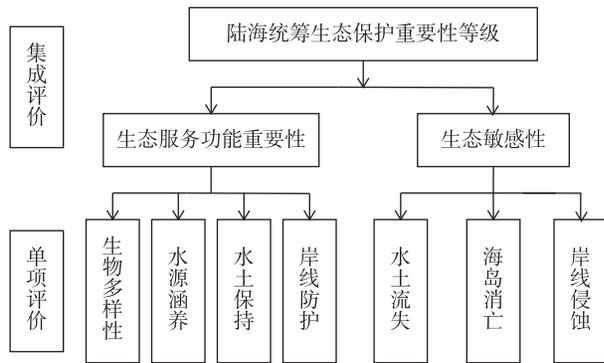


图 1 陆海统筹生态保护重要性评价技术流程图

Fig. 1 Technique flowchart of land-sea ecological protection evaluation system

4 评价结果

陆海统筹理念下湾区生态保护重要性评价重点是构建区域生态安全格局,在陆海全域评价水源涵养、水土保持、生物多样性维护、海岸防护等生态系统服务功能的重要性等级,以及水土流失、海岛消亡、海岸侵蚀等生态脆弱性等级,从而识别陆海生态保护的核⼼区[13]。其中水源涵养、水土保

持、生物多样性维护、海岸防护等生态系统服务功能越重要,水土流失、海岸侵蚀、海岛消亡等生态脆弱性越高,且生态系统完整性、生态廊道连通性越好的区域,生态保护重要性等级越高。

生物多样性、水源涵养、水土保持、海岸侵蚀四项指标的评价思路与资源环境承载力和国土空间开发适宜性评价指南[14](以下简称“双评价”指南)基本一致,此处不再赘述。本文重点介绍海岸防护功能、水土流失敏感性、海岛消亡敏感性等指标的评价思路和过程。

4.1 生物多样性评价

生物多样性保护功能重要性陆域和海域均按生态系统层次、物种层次和遗传层次 3 个层次进行评价。其中生态系统层次将珊瑚礁、红树林、重要滩涂以及浅海水域、重要河口、特别保护海岛等需要优先保护的区域作为高级重要区;物种层次将珍稀物种保护区作为高级重要区;遗传层次将重要的水产种质资源保护区作为高级重要区。具有一般保护价值的物种区域作为中级重要区,其余作为低级重要区(图 2)。

4.2 水源涵养功能评价

水源涵养量(TQ)的计算模型为

$$TQ = \sum_i^j (P_i - R_i - ET_i) \times A_i \times 10^3, \quad (4)$$

式中: P_i 为降雨量,mm; R_i 为地表径流量,mm; ET_i 为蒸散发量,mm; A_i 为*i*类生态系统面积,km²;*i*为研究区第*i*类生态系统类型;*j*为研究区生态系统类型数。将累积水源涵养量最高的前 50%区域确定为水源涵养高级重要区,在此基础上,结合大江大河源头区、饮用水源地等边界进行修正完善。闽江口水源涵养重要区主要集中于西北部森林、草地、湿地、灌丛等生态系统质量较高的区域,这些区域地表径流量相对较小,水源涵养功能相对较高(图 3)。

4.3 水土保持功能评价

通过生态系统类型、植被覆盖度和地形特征的差异,评价生态系统土壤保持功能的相对重要程度。一般森林、灌丛、草地生态系统土壤保持功能相对较高,植被覆盖度越高、坡度越大的区域,水土保持功能重要性越高。将坡度 $\geq 25^\circ$ 且植被覆盖度 $\geq 80\%$ 的森林、灌丛和草地确定为水土保持高级重要区;在此范围外,将坡度 $\geq 15^\circ$ 且植被覆盖度 \geq

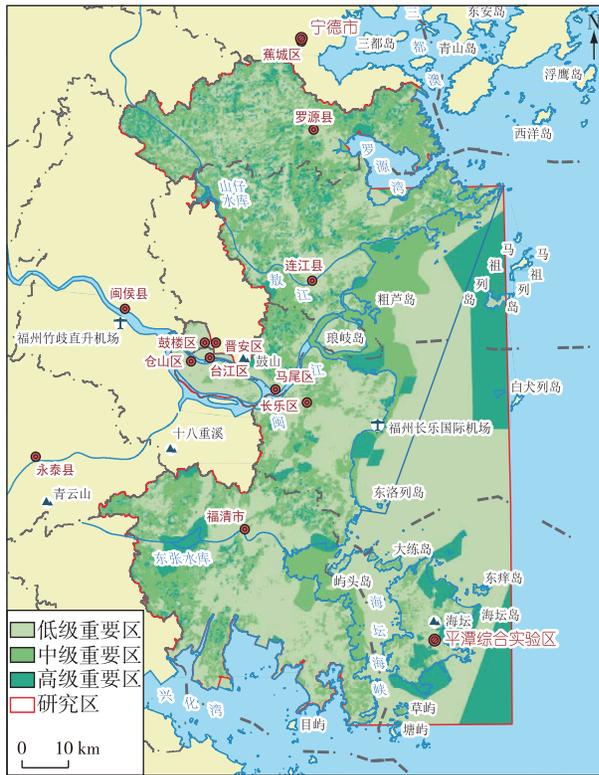


图2 闽江口生物多样性保护功能重要性等级图
Fig. 2 Importance level map of biodiversity protection in Minjiang Estuary



图3 闽江口水源涵养功能重要性等级图
Fig. 3 Importance level map of water conservation in Minjiang Estuary

60%的森林、灌丛和草地确定为水土保持中级重要区。同时结合水土保持相关规划和专项成果,对结果进行适当修正。闽江口水土保持重要区主要集中在西北部植被覆盖茂密的山地、林区(图4)。

4.4 岸线防护功能评价

“双评价”指南^[14]将岸线防护功能重要性定义为:识别沿海防护林、红树林等生物防护区域以及基岩、砂质海岸等物理防护区域,将完整性、原真性高的区域作为极重要区。指南中岸线防护功能重要区的标准主要为红树林、省级和国家级防护林以及其他完整性、原真性高的物理防护区。

本次野外调查发现,沿海砂质岸线靠陆域一侧常种植针叶林(以木麻黄、马尾松为主),通过对比分析福建省第三次国土调查数据和森林资源二类调查数据,其中部分区域针叶林并不属于沿海防护林,生态保护级别相对较低,近年来由于缺乏管护存在不同程度的退化现象。即便如此,这些区域的针叶林易成活、抗风沙的特性使其在对抗沙化蔓延的过程中仍起到了重要屏障作用。沿海城市风沙

相对较大,且时有台风侵袭,山体对于城区防风固沙、抵御台风等自然灾害起到了重要的保护和调节作用,沿海城市有山体屏障保护的区域和其他空旷区生态环境差异较大^[15]。基于此,本次评价工作提出扩大沿海防护林和物理防护区的识别范畴,提高砂质岸线周边针叶林种和沿海山体的生态保护等级,建立完备的海岸防护体系。

4.4.1 砂质岸线防护林

根据福建省第三次国土调查数据提取林地图斑和公路图斑,以离沿海岸线最近的公路图斑为界,向海岸方向筛选林地图斑,再用筛选出的林地图斑与砂质岸线矢量图斑叠加,得到沙化风险区的林地图斑,以此作为砂质岸线防护林评价结果(图5)。闽清县、长乐区沿岸的砂质岸线和基岩岸线交替展布,故砂质岸线防护林零星分布;罗源湾湾口处和平潭岛北岸以砂质岸线为主,砂质岸线防护林相对连片。

4.4.2 沿海山体

基于DEM做坡度分析得到坡度栅格数据,同时做焦点分析得到周围高差栅格 Range。按照坡度

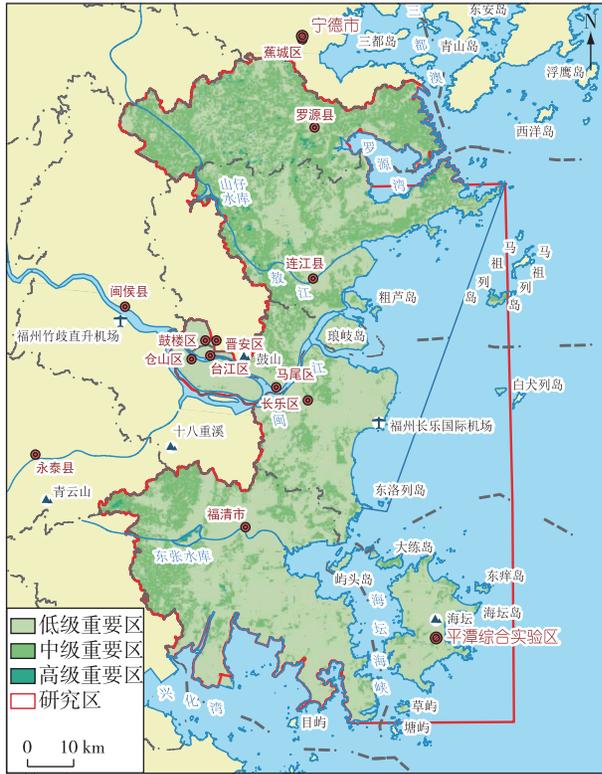


图 4 闽江口水土保持功能重要性等级图

Fig. 4 Importance level map of water and soil conservation in Minjiang Estuary



图 5 闽江口砂质岸线防护林分布图

Fig. 5 Distribution of sandy coastline shelterbelt around Minjiang Estuary

>25°, 高差 > 30 m (Slope > 25 ∩ Range > 30 ∩ Mount) 的山体筛选指标, 得到较明显的山体栅格 Mount1。根据闽江口岸线整体方向, 影响陆域的海风主要风向为偏东风、偏南风, 对近海 62 处监测点的风向数据进行插值, 得到风向栅格数据 WindD, 筛选出对海风起显著阻挡作用 (WindD ∩ Mount1) 的山体 Mount2。对岸线做缓冲区 (Buffer), 筛选山体中靠近海岸的区域 (Buffer ∩ Mount1), 得到初步的沿岸山体防护区。最后结合遥感影像对初选山体进行修正得到沿岸山体防护区 (图 6)。连江县和罗源县东部沿岸山体屏障连片度较好, 其余各区由于地形相对平缓, 沿岸山体零星展布。

4.4.3 岸线防护功能重要性评价

将沿海防护林、红树林、砂质岸线防护林等生物防护区及近岸山体等物理防护区作为极重要区, 将基岩、砂质海岸按完整性、原真性的高低分为极重要区和重要区, 集成形成海岸防护功能重要性评价结果 (图 7)。由图 7 可知, 闽江口的海岸防护功

能重要区主要集中于罗源湾湾口、平潭岛及长乐机场以南, 包括砂质岸线防护林、近岸山体屏障和一些原真性高的基岩、砂质岸线。

4.5 水土流失敏感性评价

根据中华人民共和国生态环境部 (原环境保护部) 发布的《全国生态功能区划 (修编版)》^[16] 要求, 福建省级双评价选取降水侵蚀力、土壤可蚀性、地形起伏度和地表植被覆盖度四类评价指标, 以福建省 2015 年实际已发生水土流失的区域作为训练样本点, 利用机器学习方法中的 softmax regression 回归模型^[17], 与上述四类数据因子建立线性回归模型, 计算全省水土流失敏感性等级。Softmax regression 回归模型原理如下: 假设有 m 个训练样本 $\{(X^{(1)}, y^{(1)}), (X^{(2)}, y^{(2)}), \dots, (X^{(m)}, y^{(m)})\}$, 对于 Softmax regression 算法, 样本有 k 个类别, 即 $y^{(i)} \in \{1, 2, \dots, k\}$ 。Softmax regression 回归主要是估算对于输入样本 $X^{(i)}$ 属于每一类别的概率, 所以 Softmax regression 回归的假设函数如下:



图6 闽江口沿岸山体分布图

Fig. 6 Hills distributed around Minjiang Estuary



图7 闽江口岸线防护功能重要性等级图

Fig. 7 Importance level map of Minjiang Estuary coastal protection function

$$h_{\theta}(x^{(i)}) = \begin{bmatrix} P(y^{(i)} = 1 | X^{(i)}; \theta) \\ P(y^{(i)} = 2 | X^{(i)}; \theta) \\ \vdots \\ P(y^{(i)} = k | X^{(i)}; \theta) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sum_{j=1}^k e^{\theta_j^T X^{(i)}}} \begin{bmatrix} e^{\theta_1^T X^{(i)}} \\ e^{\theta_2^T X^{(i)}} \\ \vdots \\ e^{\theta_k^T X^{(i)}} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

式中, $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_k \in^{n+1}$ 是模型的参数, 乘以 $\sum_{j=1}^k e^{\theta_j^T X^{(i)}}$ 是为了使概率在 $[0, 1]$ 且概率之和为 1。因此, 对于每个样本估计其所属类别的概率为

$$P(y^{(i)} = j | X^{(i)}; \theta) = \frac{e^{\theta_j^T X^{(i)}}}{\sum_{l=1}^k e^{\theta_l^T X^{(i)}}}, \quad (6)$$

将模型应用到水土流失敏感性分析中, X 对应降雨侵蚀力、土壤可蚀性、地形起伏度、植被覆盖度图层中的每个像素; y 对应历史发生水土流失 10 000 个样本点相应像素位置的等级值, 利用模型进行参数估计, 得到 θ , 进而计算得到福建省全省水土流失敏感性等级。

本次调查发现, 在福建省级水土流失评价为水土流失一般敏感区的部分沿岸地块(如平潭岛北西侧院苑山一带), 水土流失现象较严重, 土地、植被等生态系统遭破坏, 雨水冲刷后大量泥沙下泄, 一定程度加剧了岸线淤积, 对沿海生态环境产生较大威胁。进一步研究发现, 该区岩石的岩性主要为中粗粒花岗岩, 岩体结构松散、透水性强、抗侵蚀能力差, 有水土流失隐患。水土流失成因模式与南京地质调查中心在长汀县水土流失区提出的中(粗)粒花岗岩分布区水土流失成因模式相似^[18]。另外, 沿海局部地区植被覆盖率较低, 特殊的地理位置使其受风化侵蚀作用较内陆更强烈, 水土流失更易发生, 而水土流失往往又加剧了湾区岸线淤积的风险。

基于此, 本次水土流失敏感性评价加入植被覆盖率和岩性评价指标, 把沿海岸线植被覆盖率较低且岩性为中粗粒花岗岩的区块纳入水土流失敏感区, 另追溯岸线淤积区周边及上游植被覆盖度较低的区域, 提升其水土流失风险等级, 在此基础上结合原省级水土流失敏感区综合形成陆海统筹理念

下的水土流失敏感性等级图(图 8)。由图 8 可知,罗源县松山镇城关林场西部、连江县下官乡下官村、福清市镜洋镇大新林场、平潭岛流水镇东美村、岚城乡中南村等地水土流失敏感度高,应重点关注。



图 8 闽江口水土流失敏感性等级图

Fig. 8 Sensitivity level map of soil and water loss in Minjiang Estuary

4.6 海岛消亡敏感性评价

福建是海洋大省,海岛资源丰富、区位特殊,是海洋经济和社会发展的重要依托。随着沿海城市经济快速发展和海洋资源开发利用的持续推进,一些海岛特别是无居民海岛生态破坏严重,甚至整岛灭失^[19]。福建的海岛多为无居民海岛,大多面积狭小,生态系统构成单一,生物多样性功能脆弱,结构稳定性较差。1990—2010 年,福建无居民海岛已消失 100 余个,不断消亡的海岛资源已经对国家的海洋权益造成严重影响。

基于此,根据收集的海岛调查数据资料建立海岛自然属性数据库,调取植被覆盖度、海岛面积、居民情况、离岸距离等属性字段,依据植被覆盖度越少,面积越小、离岸距离越远、居民越少,海岛消亡敏感性越高的评价逻辑,按自然断点法对海岛进行

综合评价分级,形成海岛消亡敏感性等级图(图 9)。由图 9 可知,闽江口研究区有 42 个低覆被率无人岛,其中面积最大的为小沙屿,面积最小的为丧屿礁,仅 536 m²。

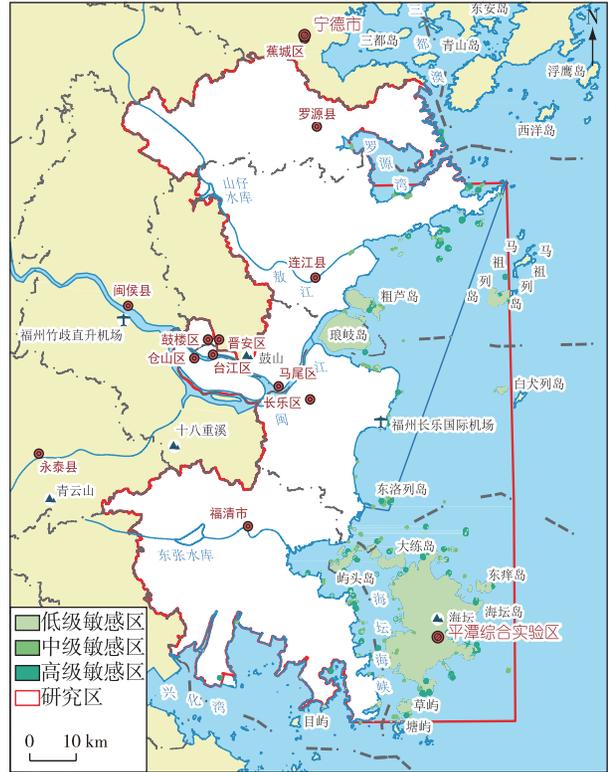


图 9 闽江口海岛消亡敏感性等级图

Fig. 9 Sensitivity level map of island extinction in Minjiang Estuary

4.7 岸线侵蚀敏感性评价

岸线侵蚀敏感性评价建议基于海岸地貌类型及利用现状、风暴潮最大增水、平均波高等自然因素指标以及海岸侵蚀速率等动态因素指标,原则上砂质、淤泥质岸线受侵蚀风险最高。本次调查发现,岸线侵蚀程度和侵蚀风险与水深、流速、风力等因素也密切相关。水越深、流速越快、风力越强的区域岸线侵蚀程度要远远大于其他区域。

基于此,根据岸线类型、湾区水深及沿岸流速、风力等数据开展岸线侵蚀敏感性评价。原则上砂质、淤泥质岸线侵蚀风险最高,自然岸线风险中等,人工岸线和基岩岸线风险最低。水深、流速和风力按自然断点法分成高、中、低三级,综合形成岸线侵蚀敏感性等级图(图 10)。闽江口岸线侵蚀风险最高的区域主要集中于长乐和平潭,其中长乐沿岸多

为砂质岸线,平潭沿岸局部为淤泥质岸线且风浪较大,岸线侵蚀风险较高。



图 10 闽江口岸线侵蚀敏感性等级图

Fig. 10 Sensitivity level map of coastal erosion in Minjiang Estuary

4.8 闽江口陆海统筹生态保护重要性集成评价

取生物多样性维护功能重要性、水源涵养功能重要性、水土保持功能重要性和海岸防护功能重要性四项指标集成得到生态服务功能重要性评价结果。取水土流失敏感性、海岸侵蚀脆弱性和海岛消亡敏感性三项指标集成得到生态脆弱性评价结果。取生态服务功能重要性和生态脆弱性评价结果的最高级,集成并连片化处理得到陆海统筹生态保护重要性评价结果(图 11)。闽江口总面积 8 615.12 km²,经评价,共有 1 699.10 km² 为陆海统筹理念下湾区生态保护的极重要区,占比 19.72%,其中陆域面积 952.2 km²,海域面积 746.9 km²,均为湾区生态服务功能和生态敏感性最重要的核心区。

5 讨论与建议

闽江口具有典型的山海城市特征,湾区的生态格局呈现以山体、水系、海岸带及海岛构成的“网-

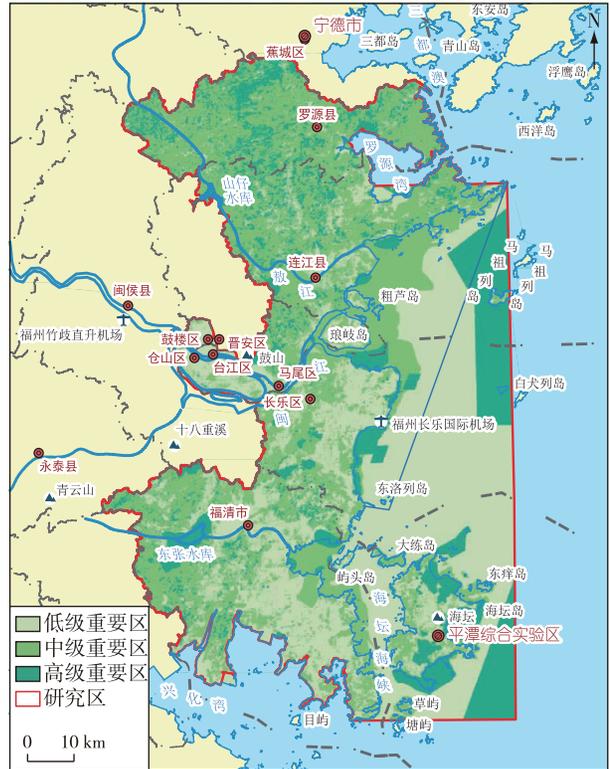


图 11 闽江口陆海统筹生态保护重要性等级图

Fig. 11 Importance level map of land-sea ecological protection in Minjiang Estuary

带-点”型生态系统,生态保护重要区主要分布于西部和沿海山区林地、长乐和连江砂质岸线侵蚀区、罗源湾和平潭岛南岸水土流失及岸线淤积区以及近海无人低覆被海岛区,其中砂质岸线和无人岛屿是湾区重要的生态敏感区,山体、林地和水系为湾区重要的生态功能区。

5.1 鼓山、石竹山、董奉山、凤贵山、灵石山等组成的湾区生态屏障

山体一定程度上维护了湾区生态平衡,从生物学角度来看,山体因其地势起伏变化的地理特征,为动植物提供了生境差异,造成了动植物的垂直分带,提升了生物多样性等级,促进了城市与山地生态系统的良性循环。沿海山体在抵御台风和沙化侵蚀中起到了不可替代的作用,是沿海城市抵御自然灾害的重要生态屏障。山体持续调节城市微气候,对改善城市热岛效应有积极作用。湾区应严格控制山体开发,保护以山体为背景的城市风貌,打造以山体、林地为核心的生态服务功能重要节点。

5.2 闽江(乌龙江)、敖江及城市内河组成的湾区生态廊道

闽江(乌龙江)、敖江及城市内河基本串联了湾区各类生态服务功能重要节点和大型生态斑块,是湾区各类生态单元的连接通道,也是湾区物质和能量流动与交换最频繁的区域之一,是典型的生态交互区。湾区应利用现有山水格局构建城市绿廊体系,以河流交汇点作为重要生态节点,以廊道交汇点作为重要生态跳岛,打造网状生态通道。

5.3 长乐、平潭、罗源湾等岸线生态敏感区

海岸带处于陆海交互的连接带,是沿海城市发展的重点区,也是连接陆、海生态斑块的关键区。海岸带由于其特殊的地理位置,受风化侵蚀作用较内陆更剧烈,生态系统脆弱性较内陆更高,岩性为中粗粒花岗岩的沿海裸岩,是水土流失的高发区,也是岸线淤积的风险区。长乐区、平潭岛、罗源县、连江县沿岸有一定的岸线侵蚀、水土流失和岸线淤积风险,对易造成湾区水土流失和岸线淤积的区域应执行更严格的生态安全保护措施,将“三线一单”作为海岸带、滨海湿地、海域和海岛等生态敏感区综合治理的重要制度,从源头上减少人类活动对环境的污染和破坏。

5.4 低覆盖无人岛等生态风险区

海岛关乎国家海洋权益,闽江口的小沙屿、横膝礁岛、石湖岛、蛤沙青屿等无人岛植被覆盖度低,面积小、生态安全风险较高,容易自然消亡,需要加强生态保护、开展生态修复。海岛的开发利用应遵循先评估再规划的基本原则。对具有海洋权益、国家安全、人文遗迹等重要价值,或为珍稀动植物主要栖息地、生物多样性较高的岛屿,应建立海岛生态自然保护区。对离岸较近,且周边海域具有矿产资源、旅游资源等开发价值的海岛,应首先考虑海岛生态系统的承载力,做到适度开发与利用。

6 结论

通过对陆海生态问题的识别、对陆海风险冲突原因的剖析和对陆海统筹评价方法的探索,基本厘清了闽江口生态保护的核心理念,湾区的生态保护格局与省级的“两山一海”中的“一山一海”保持一致,并在岸线和海岛等生态敏感区进一步完善和细化了生态保护的关键区位,评价方法和结果体现了

湾区(市级)评价对省级评价成果的继承。

(1)陆地与海洋在开发用途、开发方式、资源禀赋特征上均存在较大差异,湾区发展应基于以海定陆、生态优先的陆海统筹基本原则,而陆海统筹评价工作也应基于以海定陆、生态优先的评价原则。首先研究和明确海洋、陆地的生态功能重要区和生态敏感区,这是湾区生态保护的核心。其次针对海洋生态问题进行追本溯源,研究和分析海洋开发及资源利用时产生的生态风险,对造成海洋生态风险和生态敏感的海域、陆域加以保护,以期不断完善和优化湾区生态系统,最终达到湾区高质量绿色发展的战略目标。

(2)闽江口的山体和水系是湾区重要的生态屏障和生态廊道,构成了湾区基本的生态架构。海岸带由于其特殊的地理位置,生态系统脆弱性较内陆更高,易发生岸线侵蚀或淤积,是湾区的生态敏感区。植被覆盖率低、离岸远的无人岛屿,生态安全风险高,容易自然消亡,造成海洋权益损失,是湾区的生态脆弱区。

(3)湾区应利用现有山水格局构建城市生态网络体系,以山体、水系、海岸带和海岛打造“网-带-点”型湾区生态系统。以河流交汇点作为重要生态节点,以廊道交汇点作为重要生态跳岛,对有侵蚀、淤积风险的岸线和有消亡风险的岛屿开展生态地质调查、生态修复和监测。对生态脆弱区和敏感区执行更严格的生态安全保护措施,制定并落实陆海生态保护综合治理制度,从源头上减少人类活动对环境的污染和破坏。

参考文献

- [1] 王文静,韩宝龙,郑华.粤港澳大湾区生态系统格局变化与模拟[J].生态学报,2020,40(10):3364-3374.
WANG W J, HAN B L, ZHENG H. Evolution and simulation of ecosystem patterns in Guangdong-Hong Kong-Macau Bay Area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(10): 3364-3374.
- [2] 张强.陆海统筹导向下的湾区生态环境协同治理策略——以福建省环三都澳区域为例[J].安徽农业科学,2020,48(23):108-112.
ZHANG Q. Cooperative Governance Strategies for the Bay Area Co-environment under the Guidance of Land-Sea Coordination Taking the Sandu' ao Ring Area of Fujian Province as an Example [J]. Anhui Agric Sci, 2020, 48 (23): 108-112.

- [3] 修晨,肖荣波,陈三雄,等.国内外主要湾区生态系统特征、修复理论与技术模式[J].生态学报,2020,40(23):8377-8391.
XIU C, XIAO R B, CHEN S X, et al. Ecosystem characteristics, theory and technology modes of ecological restoration in the main bay areas at domestic, and abroad[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(23):8377-8391.
- [4] 张景,陈国光,张定源,等.福建省区位优势度与区域经济相关性分析[J].华东地质,2020,41(3):288-293.
ZHANG J, CHEN G G, ZHANG D Y, et al. Analysis on the correlation between location advantage and regional economy in Fujian Province[J]. East China Geology, 2020, 41(3):288-293.
- [5] 金一初.推进两大协同发展区建设构建高质量发展新格局[J].海峡通讯,2019,882(2):8-9.
JIN Y C. Promote the construction of two coordinated development zones and build a new pattern of high-quality development [J]. Strait Communications, 2019, 882(2):8-9.
- [6] 林文波.闽江河口湿地生态服务功能价值评估[J].防护林科技,2016,154(7):69-89.
LIN W B. Evaluation of Ecological Service Function Value of Wetland in Minjiang Estuary[J]. Protection Forest Science and Technology, 2016, 154(7):69-89.
- [7] 张巧,黄义雄,文华英,等.福建平潭岛沿海防护林综合生态效益评价[J].西南林业大学学报,2015,35(2):63-67.
ZHANG Q, HUANG Y X, WEN H Y, et al. Assessment on Comprehensive Ecological Benefit of the Main Coastal Shelterbelt in Pingtan Island[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2015, 35(2):63-67.
- [8] 周亮进,涂燕玉,宗永昌.闽江河口湿地生物多样性及其保护[J].生态科学,2006,25(4):330-334.
ZHOU L J, TU Y Y, SONG Y C. The biodiversity of wetland and its prevention measures in Min River Estuary[J]. Ecological Science, 2006, 25(4):330-334.
- [9] 王杰,孙志高,何涛,等.闽江口互花米草淤积作用对其自身和短叶茳芏残体分解及硫养分释放的影响[J].生态学报,2019,39(10):3631-3642.
WANG J, SUN Z G, HE T, et al. Effects of siltation by *Spartina alterniflora* invasion on decomposition of and sulfur release by *S. alterniflora* and *Cyperus malaccensis* in tidal marshes of the Min River Estuary[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(10):3631-3642.
- [10] 李汉英,张红玉,王霞,等.海洋工程对砂质海岸演变的影响——以海南万宁日月湾人工岛为例[J].海洋环境科学,2019,38(4):575-581.
LI H Y, ZHANG H Y, WANG X, et al. Influence on the sandy coast evolution of the ocean engineering—A case study of artificial Riyue island, Wanning city, Hainan Island [J]. Marine Environmental Science, 2019, 38(4):575-581.
- [11] 曹超,吴承强,蔡峰,等.钦州湾外湾水下地形地貌特征及沉积物来源[J].应用海洋学学报,2020,39(3):378-388.
CAO C, WU C Q, CAI F, et al. Characteristics of submarine topography geomorphology and sediments sources in outer Qinzhou Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2020, 39(3):378-388.
- [12] 冷悦山,孙书贤,王宗灵,等.海岛生态环境的脆弱性分析与调控对策[J].海岸工程,2008,27(2):58-64.
LENG Y S, SUN S X, WANG Z L, et al. Vulnerability Analysis of Island Ecological Environment and Regulating Measures[J]. Coastal Engineering, 2008, 27(2):58-64.
- [13] 樊杰.地域功能-结构的组织途径——对国土空间规划实施主体功能区战略的讨论[J].地理研究,2019,38(10):2373-2387.
FAN J. Spatial organization pathway for territorial function-structure: Discussion on implementation of major function zoning strategy in territorial spatial planning[J]. Geographical Research, 2019, 38(10):2373-2387.
- [14] 自然资源部.资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)[S].2020.
Ministry of Natural Resources. Guidelines for the Evaluation of the Carrying Capacity of Resources and the Environment and the Suitability of Land and Space Development(Trial)[S].2020.
- [15] 张文浩,王润生.浅析自然山体对城市形态的影响——以山东省青岛市为例[J].四川建筑,2019,39(1):51-53.
ZHANG W H, WANG R S. A brief analysis of the influence of natural mountains on urban form—taking Qingdao, Shandong Province as an example [J]. Sichuan Architecture, 2019, 39(1):51-53.
- [16] 环境保护部,中国科学院.全国生态功能区划(修编版)[S].2015.
Ministry of Environmental Protection, Chinese Academy of Sciences. National Ecological Function Zoning(Revised version) [S].2015.
- [17] 刘慧,赵荣彩,王琦.监督学习模型指导的函数级编译优化参数选择方法研究[J].计算机工程与科学,2018,40(6):957-968.
LIU H, ZHAO R C, WANG Q. A function-level compiler

- optimization parameter selection method based on supervised learning model[J]. *Computer Engineering & Science*, 2018, 40(6):957-968.
- [18] 陈国光,刘红樱,陈进全,等.福建长汀县水土流失的地质影响因素和防治对策[J].*水文地质工程地质*, 2020, 47(6):26-33.
CHEN G G, LIU H Y, CHEN J Q, et al. Geological Influencing Factors of Soil and Water Loss in Changting County, Fujian and Countermeasures [J]. *Hydrogeology Engineering Geology*, 2020, 47(6):26-33.
- [19] 姬厚德,罗美雪,杨顺良,等.无居民海岛保护和利用规划中开发空间的确定方法[J].*海洋通报*, 2016, 35(1):16-20.
JI H D, LUO M X, YANG S L, et al. Methods for determining the development space in the conservation and utilization planning of uninhabited islands[J]. *Marine Science Bulletin*, 2016, 35(1):16-20.

Study on the ecological pattern of Minjiang Estuary based on the concept of land-sea coordination

ZHANG Jing, CHEN Guoguang, ZHANG Dingyuan, WANG Chong, ZHANG Jie,
NIU Xiaonan, WU Jiayu

(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China)

Abstract: The Bay Area, the most concentrated area of human activities, has obvious advantages of location and industrial clusters. As a frequent interaction zone between sea and land, the ecological environmental problems in this region are particularly prominent under rapid urbanization process. Based on the evaluation results of resource and environment carrying capacity and suitability of territorial space development in Fujian Province, we have conducted 1:50 000 geological environment survey of important ecological elements within the ecological service function zone and ecological problem risk zone in Minjiang Estuary. Guided by the concept of Land-Sea Coordination, we added such important evaluation indexes of ecological protection in “Double Evaluation” in accordance with the reality of the Bay Area as coastal hills, sandy coastline shelterbelt and uninhabited low cover-rate island. A “Double Evaluation” method and technology system for Land-Sea Coordination in the Bay Area has been established, and the ecological conservation importance of Mingjiang Estuary evaluated. The ecological security development pattern of Mingjiang Estuary has thus been constructed, which will provide theoretical and basic support for the green and high-quality development of the Bay Area urban agglomeration. Our research indicates that: The first mountain in the coastal area is an important ecological protection shield for the Bay Area, playing an irreplaceable role in the coastal cities’ resistance to typhoons and desertification erosion; Islands are related to national maritime rights and interests. The smaller the area, the worse the vegetation coverage, and the farther the uninhabited islands are from offshore, the higher the ecological security risk will be. The coastal zone is where land and sea interact. It is a significant area for the development of coastal cities, and also a key area connecting ecological patches of land and sea. Its ecosystem is more fragile than that of land area, so more stringent ecological security protection measures should be implemented for areas prone to soil erosion and shoreline siltation. Coastal bare rock with medium-coarse-grained granite lithology is a high-prone area of soil erosion and a risk area of shoreline siltation.

Key words: land-sea coordination; the Bay area; ecological pattern; Minjiang Estuary; Double Evaluation