

迁都背景下的自然保护地生态风险解析：以婆罗洲为例

Ecological Risks to Protected Areas under Capital Relocation: A Case Study of Borneo

刘俊伶 钱丽源* 杜璇 陈心妍

LIU Junling, QIAN Liyuan*, DU Xuan, CHEN Xinyan

摘要

婆罗洲是全球生物多样性热点和重要的碳汇区，对气候调节和生物多样性保护具有不可替代的作用。2019年，印度尼西亚将首都迁至婆罗洲的努山塔拉，加剧了该区域的生态碎片化，削弱了碳汇功能。以印度尼西亚迁都为切入点，结合遥感分析数据、森林生物量监测等方法，分析婆罗洲自然保护区的现状、土地利用变化及森林生物量。研究发现，迁都加剧了努山塔拉地区的土地利用变化，使周边保护区地表森林生物量显著下降，揭示出区域森林生态系统对人为干扰的高度敏感性，也暴露了生态管理的缺陷与挑战。最后基于巴西、澳大利亚和缅甸的迁都案例与研究成果，针对性地提出了优化环境评估机制，构建分级缓解框架，提升自然保护区连通性，及推动绿色基础设施建设等多层次策略。

Abstract

Borneo is a global biodiversity hotspot and an essential carbon sink, playing a critical role in climate regulation and ecological conservation. In 2019, Indonesia announced the relocation of its capital to Nusantara, located in Borneo, intensifying ecological fragmentation and weakening regional carbon storage capacity. This study investigates the ecological risks faced by protected areas in Borneo under the capital relocation context. By integrating remote sensing data and forest biomass monitoring, it analyzes the current status, land use changes, and forest biomass of Borneo's protected areas. Findings reveal significant forest loss and increased construction land around the new capital site, resulting in declining surface biomass in nearby reserves and exposing their vulnerability to anthropogenic disturbance. Drawing on capital relocation experiences from Brazil, Australia, and Myanmar, the study proposes multi-level strategies, including optimizing environmental assessment mechanisms, establishing hierarchical mitigation framework, enhancing the connectivity of protected areas, and promoting the development of green infrastructure.

文章亮点

1) 结合遥感数据与森林生物量监测分析，量化迁都对婆罗洲自然保护区的生态影响；2) 通过比较研究巴西、澳大利亚等迁都案例，提出婆罗洲自然保护区保护策略，为生态敏感区的可持续发展提供参考。

关键词

迁都；生态风险评估；自然保护区；土地利用变化；森林生物量；可持续发展

Keywords

Capital relocation; Ecological risk assessment; Protected areas; Land use change; Forest biomass; Sustainable development

收稿日期: 2025-01-05

修回日期: 2025-03-19

婆罗洲是全球生物多样性热点和重要的碳汇区域^[1], 其生态意义不可替代。这片土地拥有广袤的热带雨林和高密度的特有生物群落, 为百万种生物提供了进化栖息地, 不仅维持着区域生态平衡, 还在全球气候调节中发挥着至关重要的作用^[2-3]。然而, 2019 年印度尼西亚政府宣布将首都迁往婆罗洲东海岸东加里曼丹省努山塔拉市 (Nusantara, Kalimantan Timur), 这一计划给婆罗洲的生态系统带来了前所未有的挑战。迁都的初衷在于缓解雅加达 (Jakarta) 长期以来的人口压力、过度城市化问题及环境危机, 但在婆罗洲新首都努山塔拉市进行大规模土地开发、森林砍伐和基础设施建设, 直接导致自然栖息地的严重破碎化^[4]。森林退化不仅威胁特有物种的生存, 还削弱了区域碳汇能力, 导致温室气体排放增加^[5]。与此同时, 交通网络扩张和采掘业发展使原本未受干扰的区域面临更大的生态退化风险^[6]。这些变化不仅危及婆罗洲生态系统的完整性, 还对全球气候变化产生深远影响。

本研究基于 Landsat 多时相遥感数据, 运用 ENVI 软件进行监督分类与地表森林生物量反演, 旨在展示努山塔拉地区 1994—2024 年的土地利用动态, 对比不同时期周边自然保护区碳储量的变化, 评估迁都进程中区域生态系统的演变特征与潜在生态风险。最后通过借鉴其他国家在迁都

过程中的经验教训, 提出多层次的保护策略, 以减缓迁都对区域环境的负面影响, 为婆罗洲的可持续发展提供科学依据。在全球气候危机日益严峻的背景下, 研究婆罗洲的生态保护对于区域和全球可持续发展具有重要的理论价值与实践意义。

1 婆罗洲自然保护地现状

婆罗洲位于太平洋赤道地区的马来群岛中部, 总面积为 743 330 km², 是全球第三大岛屿, 仅次于格陵兰岛和新几内亚岛。婆罗洲岛由 3 个国家共同管理: 印度尼西亚控制了 72.6% 的土地, 称之为加里曼丹省 (Kalimantan); 马来西亚拥有 26.7% 的面积, 涵盖砂拉越 (Sarawak) 和沙巴 (Sabah) 2 个州; 文莱则占据不到 1% 的土地^[7] (图 1)。

婆罗洲拥有独特的生态系统和丰富的生物多样性, 其中约 6.9% 的土地 (约 5 100 542 hm²) 被划为国家公园^[7]。在整个岛屿范围内, 约有 17% 的土地被列为保护区^[8], 其中印度尼西亚管辖范围内有 8 个国家公园、若干个分散的森林自然保护区和野生动物保护区^[9]。加里曼丹的主要保护地如 Kayan Mentarang 国家公园、Danau Sentarum 国家公园和 Betung Kerihun 国家公园等, 涵盖了原始热带森林、红毛猩猩 *Pongo pygmaeus* 栖息地和湿地生态系统。马来

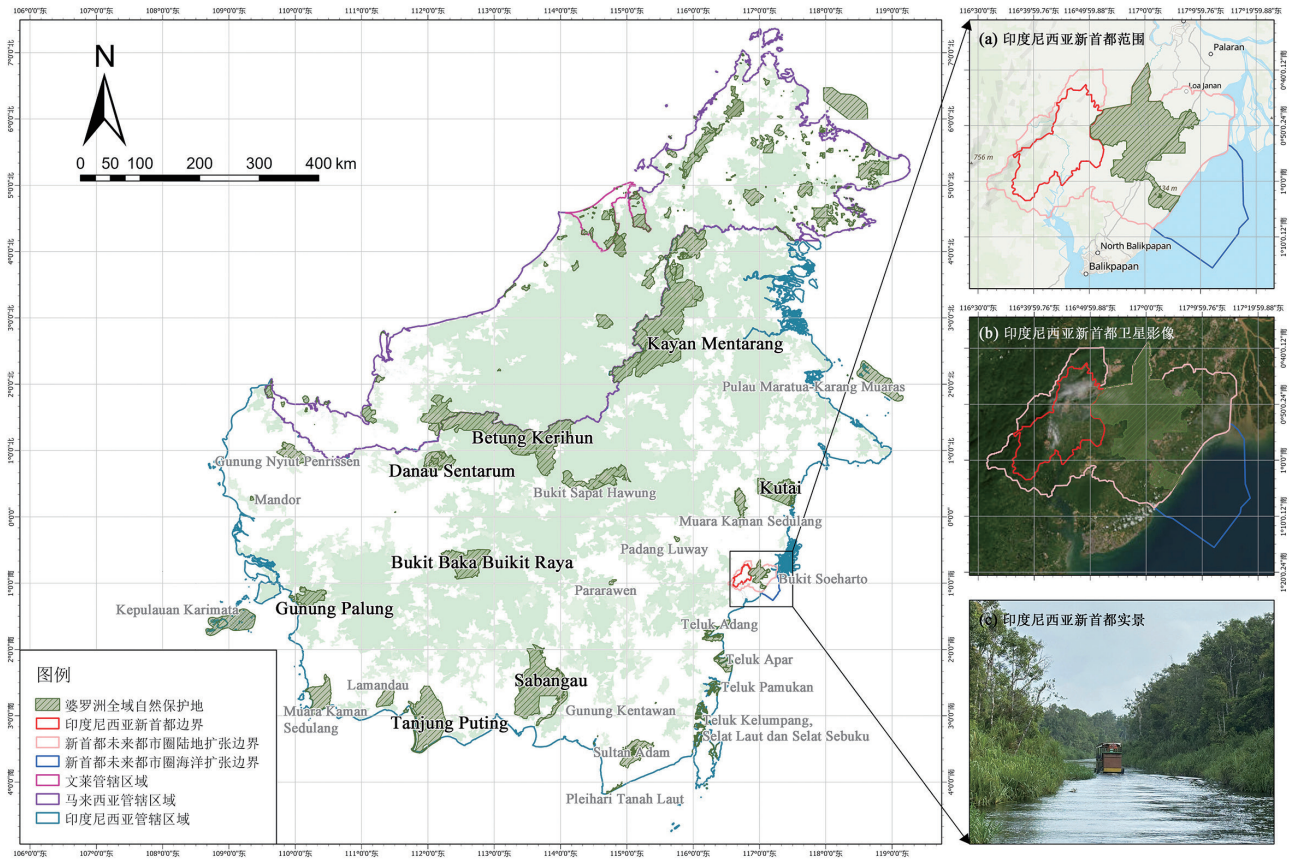


图 1 婆罗洲自然保护地分布与新首都努山塔拉市区位
Fig.1 Distribution of protected areas in Borneo and location of the new capital (Nusantara)

西亚的砂拉越州约 8% 的土地 (约 103 万 hm^2) 被划为自然保护区, 包含 15 个国家公园、3 个野生动物保护区和 2 个野生动物恢复中心^[10]; 沙巴州的保护区面积占全州面积的 26%, 包括 6 个国家公园 (含 3 个海洋公园) 和 6 个野生动物保护区^[11]。文莱在婆罗洲拥有超过 10 万 hm^2 的土地, Ulu Temburong 国家公园及其他保护区占文莱总保护区面积的近一半^[12]。

通过对婆罗洲 2020 年地表森林生物量进行反演后 (图 2) 发现, 其原始森林主要集中在中部和东北部区域, 尤其集中在现有自然保护区所覆盖的核心区域。这些区域的森林生物量较高, 生态系统保存相对完整, 是重要的碳汇和生物多样性热点区域。婆罗洲的跨国自然保护区, 如印度尼

西亚的 Kayan Mentarang、Betung Kerihun 国家公园、马来西亚的 Gunung Mulu 国家公园, 以及文莱的 Ulu Temburong 国家公园, 均位于生物量较高的区域。这表明各国在生态保护方面通常侧重于高生物量区域, 以确保关键生态系统的功能得以维持。

森林生物量较低的区域主要分布在婆罗洲的沿海地带和部分内陆区域, 这些区域可能是受伐木、种植园扩张和基础设施开发的影响。这反映了婆罗洲在退化区域开展生态修复与保护的迫切需要, 特别是在生物量较高或中等的过渡区域, 以此遏制栖息地碎片化。婆罗洲保护地森林的分布现状展现了重点生态区域的分布集中性, 特别是在高生物量和高物种多样性区域。然而, 保护地的连通性较低, 导致栖息地的破

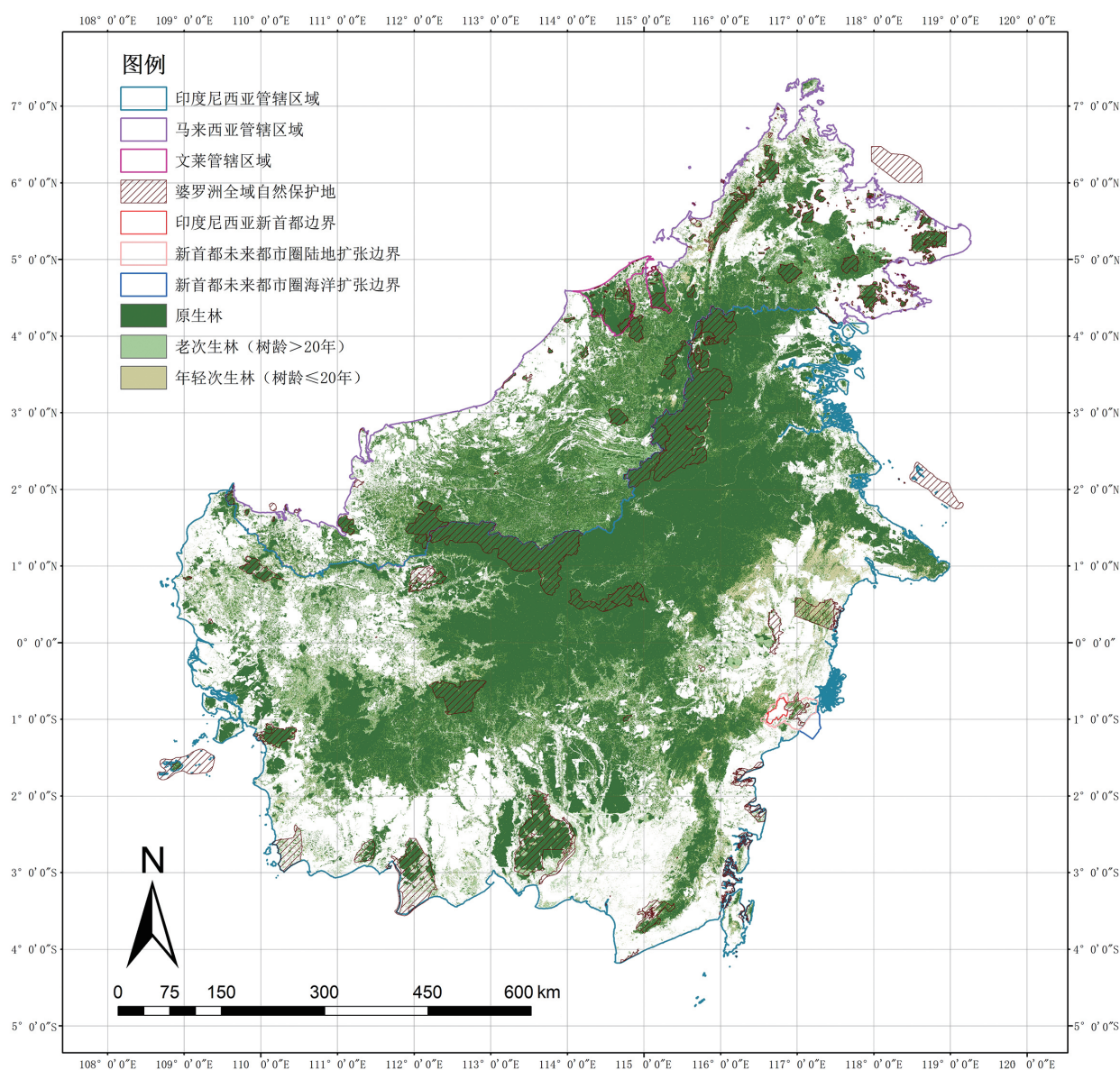


图 2 婆罗洲 2020 年地表森林生物量分级模型

Fig.2 Surface forest biomass classification in Borneo, 2020

碎化问题较为突出。跨国保护区的管理协作尚需进一步加强，以应对非法伐木、采掘业扩张等带来的威胁。

分析婆罗洲地表森林现状可知，尽管其全域保护地网络对生态系统的维护发挥了重要作用，但当下仍面临诸多挑战：栖息地破碎化导致现有保护区孤立分布，影响了物种迁移和基因交流；由于开发压力不断加大，边境地区的非法活动和农业扩张活动日益频繁，严重威胁生态系统的完整性；气候变化持续加剧，森林火灾和洪水等极端事件对生态系统造成进一步破坏。未来，应加强跨国合作，优化保护区网络，并采取综合生态管理策略，以增强婆罗洲自然保护地的生态功能和气候适应能力。

2 迁都对婆罗洲自然保护地的影响评估

2.1 迁都历程与重大环境影响事件

自印度尼西亚独立以来，其首都经历多次变迁，从雅加达迁至日惹（Yogyakarta），再到武吉丁宜（Bukittinggi），最终于 1950 年回归雅加达，并逐渐确立雅加达法定首都的地位。然而，随着印度尼西亚人口的持续增长，雅加达的城市承载能力已接近极限。据统计，雅加达常住人口从 1950 年的约 234 万人增长至 2020 年的超 1 000 万人^[13]。人口密度的激增加大了基础设施的压力，交通、污染和能源等方

面的问题也日益严峻。为应对这些问题，2017 年 4 月，佐科·维多多（Joko Widodo）政府正式提出迁都计划并视察婆罗洲地区的多个潜在选址，包括东加里曼丹省的苏哈托（Soeharto）和中加里曼丹省（Kalimantan Tengah）的三角洲地区。2019 年 8 月，印度尼西亚政府宣布首都将迁至婆罗洲的东加里曼丹省，并计划在未来 10 年内完成迁移^[14]。2022 年 1 月，新首都正式命名为努山塔拉^①，并进入建设阶段，预计到 2025 年初步完成政府职能的迁移^[15]。

过往数十年间，婆罗洲全域持续面临木材采伐、火灾与油棕种植园扩张等问题，生态环境已严重退化（图 3）。1973—2015 年，婆罗洲失去了超过 1 870 万 hm^2 的原始森林^[16]。在 1996 年启动的“巨型植稻计划”（Mega Rice Project）中，政府于婆罗洲沿海泥炭湿地大规模排水并尝试植稻，导致湿地生态系统退化。1997—1998 年森林火灾频发，加剧了生物多样性流失^[17]。1970—1990 年的伐木高峰期以及油棕种植园的快速扩张，显著加剧了泥炭地管理不善引发的火灾风险，对生态系统造成了不可逆的灾难性破坏^[18]。1997 年和 2015 年的大火再次造成大面积原始森林损失，并引起东南亚地区严重的空气污染和经济损失。随着迁都计划对土地需求的增加，此类灾害风险可能进一步提高^[19]。此外，2021 年加里曼丹省南部的洪灾暴露了森林覆

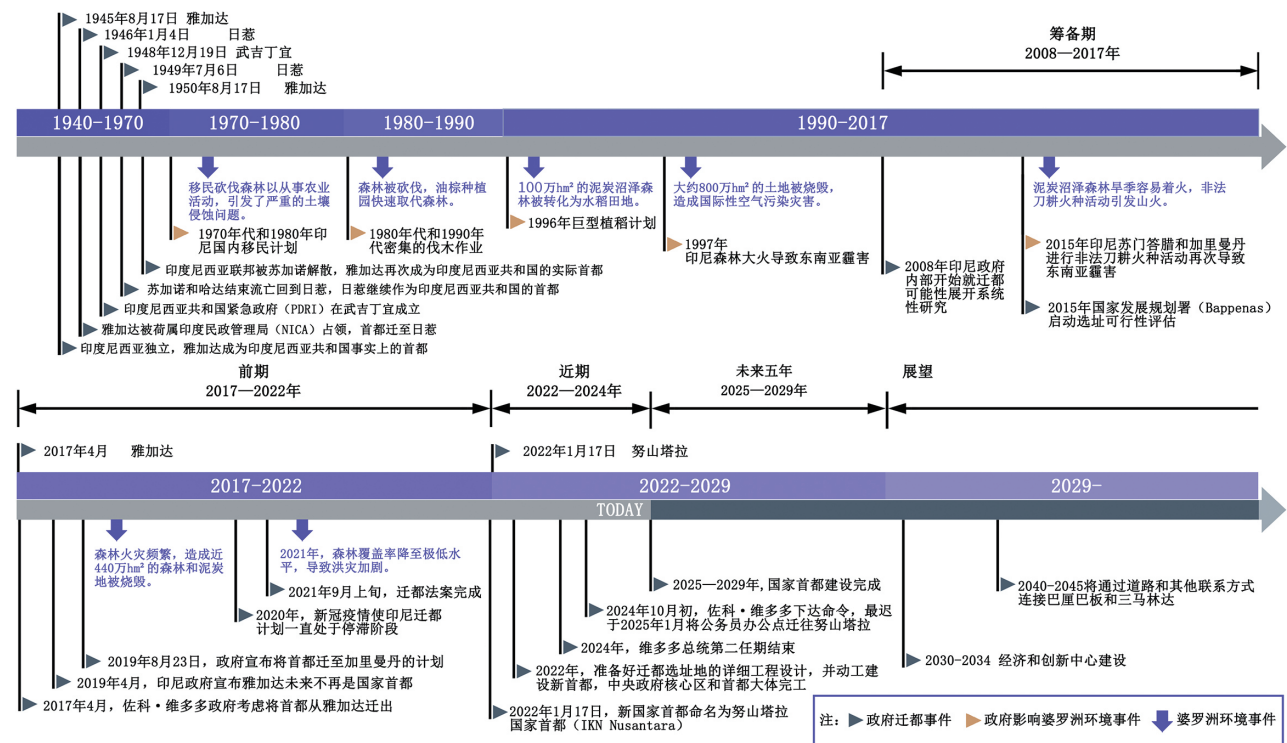


图 3 印度尼西亚迁都与重大环境影响事件时间线

Fig.3 Timeline of Indonesia's capital relocation and related environmental events

① 信息来自印度尼西亚政府《Nusantara and the Enactment of Law No. 3 of 2022 Concerning the State Capital》。

盖率急剧下降导致的生态系统承受能力削弱问题。若新首都的开发忽视流域管理和防洪,未来可能面临更为频繁的洪灾威胁。

2.2 新首都生态风险解析

基于美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)的 Landsat5 L2 (1994—1995 年数据)、Landsat8 L2 (2016 年数据)和 Landsat9 L2 (2022—2024 年数据),结合 ArcGIS10.8、ENVI6.0 和 Origin2024 软件,通过数据监督分类和转移矩阵分析,对比努山塔拉地区 1994—1995 年、2016 年与 2022—2024 年的土地利用变化。结果表明,林地、裸地、建设用水体和林地等土地覆盖类型在时间推移和迁都影响下发生了显著变化,这些变化揭示了迁都对区域生态系统造成的潜在风险(图 4~7)。

1994—2024 年,努山塔拉地区的土地类型变化较为显著,体现了森林砍伐、城市扩张以及生态修复的交替过程。

1) 建设用地持续扩张,特别是在 2016—2024 年,有 228.30 hm^2 的林地和 20.73 hm^2 的裸地转变为建设用地,这反映迁都加快了城市化进程。这种快速扩张可能加剧土壤侵蚀和局地气候变化,并对当地生态系统稳定性造成长期威胁。此外,2024 年的部分区域展现出生态修复的趋势,比如部分建设用地重新变回林地,这可能与生态保护政策或恢复项目的实施有关。

2) 裸地面积有所增加。1994—2016 年,有 71.91 hm^2 的裸地变成林地,有 7.02 hm^2 的裸地变为建设用地。而到 2024 年,有 51.61 hm^2 的裸地变为林地,有 20.73 hm^2 的裸地被建设用地取代。这种动态变化可能受植被自然恢复、生态修复项目以及城市开发的共同影响:早期裸地向林地转变可能归因于植被自然演替或人工绿化活动;而后期部分裸地再次被建设用地取代,则可能反映了城市扩张和基础设施建设的加速趋势。

3) 林地呈现持续减少的趋势。

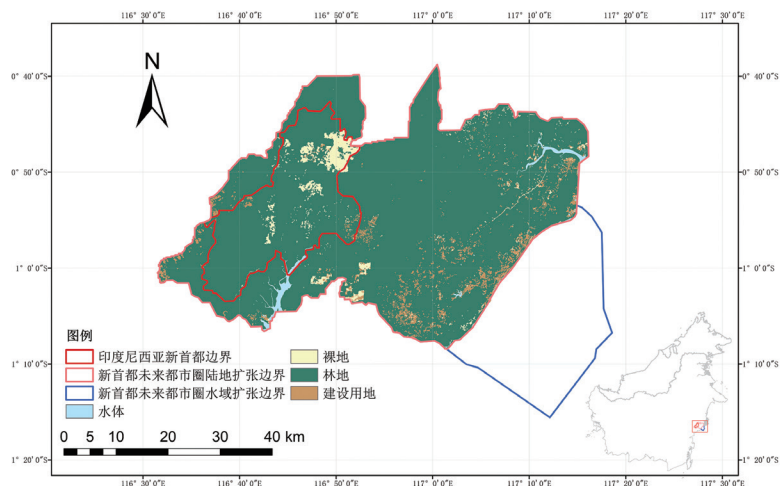


图 4 1994—1995 年努山塔拉土地利用情况
Fig.4 Land use in Nusantara, 1994—1995

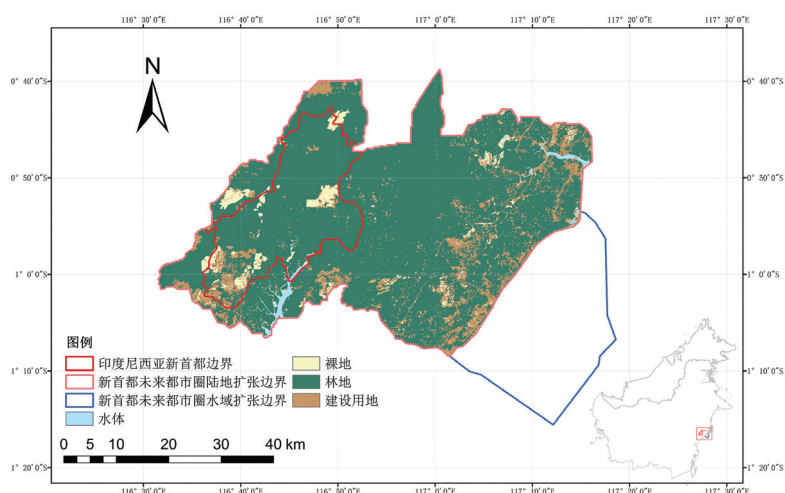


图 5 2016 年努山塔拉土地利用情况
Fig.5 Land use in Nusantara, 2016

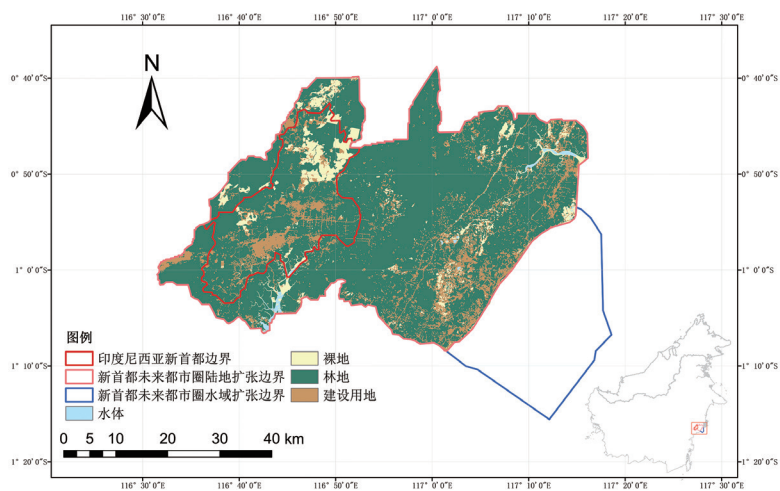


图 6 2022—2024 年努山塔拉土地利用情况
Fig.6 Land use in Nusantara, 2022—2024

1994—2016 年，多达 346.64 hm² 的林地转变为建设用地和裸地；到 2024 年，又有 228.30 hm² 的林地被建设用地取代。这反映出城市化对森林生态系统的挤压，同时体现了土地退化问题日益严重。林地的大量减少可能会削弱该区域生态系统的多种功能，包括水土保持能力、生物多样性保护能力以及碳汇能力。

4) 水体总体保持稳定。该时期水体净损失 10.60 km²，部分水体转化为裸地，需关注潜在的土地退化或水体干涸问题。尽管水体面积总体变化较小，但随着城市化进程的加速，水资源的分配与保护面临更大的挑战。

通过对比分析努山塔拉地区的土地利用变化情况可知，迁都和城市化进程对该区域的生态系统产生了深刻且广泛的影响。具体而言，林地面积大幅减少，建设用地则迅速扩展，同时裸地面积有所增加。这些变化表明该地区的自然地貌正面临前所未有的压力。随着土地利用方式的变化，该地区的生态系统功能可能会被严重削弱，进而引发一系列潜在的环境问题，如土壤侵蚀现象加剧、当地气候变化速度加快、生态退化程度加深。因此，未来针对该地区开展生态保护与恢复工作尤为迫切。不仅需要依赖科学的规划和有效的管理措施，还应注重在推动城市发展的同时，保障生态系统的稳定性和可持续性，以减少环境风险并促进人与自然和谐共生。

2.3 新首都周边自然保护地生态现状评估

尽管迁都的决策直至 2017 年才首次正式公布，但早在 2008 年^[20]，印尼政府内部已对迁都可能性展开系统性研究，并于 2015 年由国家发展规划署（Bappenas）启动选址可行性评估^[15]。

对比分析处于迁都筹备阶段的 2010 年和 2014 年婆罗洲印度尼西亚管辖区内自然保护地的地表森林生物量^[21-22]（图 8~10）可知，地表森林生物量在时间和空间上均表现出显著变化。随着建设进程的推进，新的社会经济活动和土地利用变化给生态环境造成的压力逐渐增加，这将直接影响新

首都内部及其周边的自然保护区。从地理分布来看，新首都附近的自然保护区包括 Teluk Pamukan 自然保护区、Teluk Apar 自然保护区、Teluk Adang 自然保护区、Bukit Soeharto 国家森林公园、Muara Kaman Sedulang 自然保护区和 Kutai 国家公园。2010 年和 2014 年的地表森林生物量在总体分布格局上较为一致，但

具体区域的生物量发生变化。在新首都附近的自然保护区中，仅面积最大的重点保护地 Kutai 国家公园的地表森林生物量在 2014 年有所增加，而其他紧邻新首都的自然保护地，如 Teluk Pamukan 和 Teluk Adang，地表森林生物量均下降超过 50%，这主要受新首都扩建、自然干扰以及保护政策执行力度的影响^[23]。

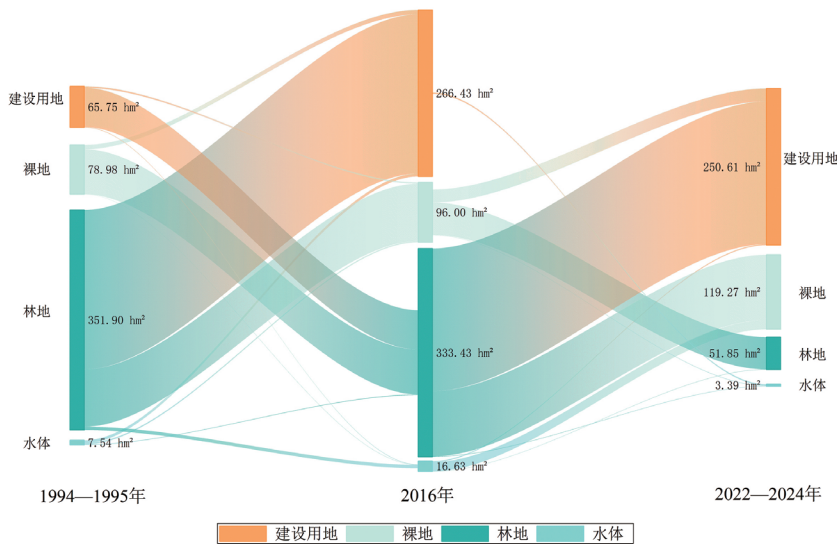


图 7 努山塔拉土地类型变化桑基图
Fig.7 Sankey diagram of land type transitions in Nusantara

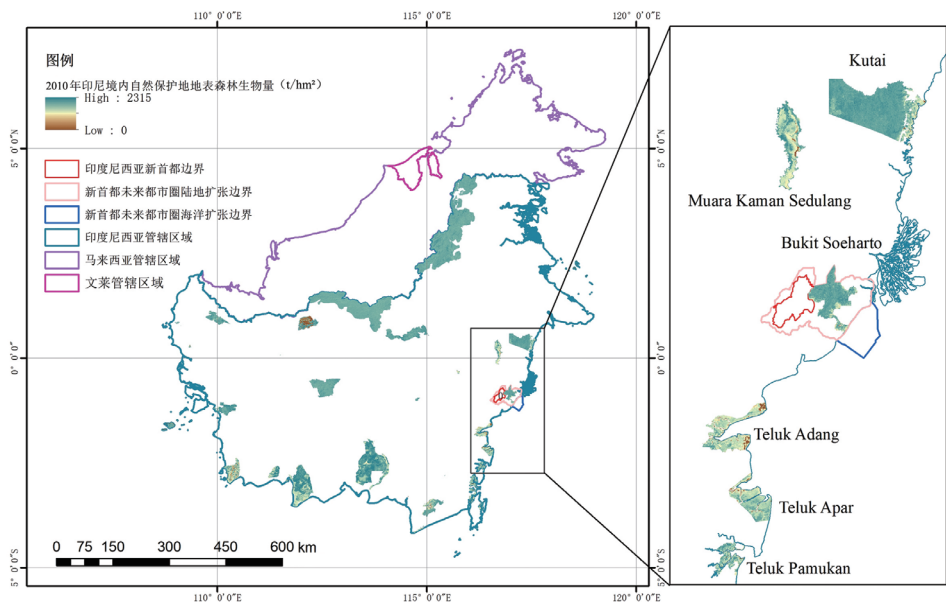


图 8 2010 年婆罗洲印度尼西亚管辖区自然保护地地表森林生物量
Fig.8 Surface forest biomass in protected areas in Borneo, 2010

从地表森林生物量总和来看, 在2014年以Kutai保护地为代表的区域生物量总和较2010年略有提升, 展现出该区域内的森林生态系统的恢复力和碳储量回升潜力较强。然而, 位于新首都区域内的Bukit Soeharto国家森林公园的生物量显著减少至2010年的30%, 这与该地区森林砍伐、土地利用变化和火灾等因素密切相关^[24-25]。这些外部干扰导致自然保护地的森林生物量减少, 证实了该区域在应对外部压力时的生态脆弱性和敏感性^[26]。

2010—2014年的地表森林生物量变化反映了迁都决策前后生态环境变化的潜在趋势, 为未来研究周边生态系统的长期影响提供一定基础。综上所述, 印度尼西亚新首都附近的自然保护地的地表森林生物量在2010—2014年总体呈现骤减的变化趋势, 这与地区差异、管理政策以及环境干扰密切相关。因此, 未来应进一步结合遥感监测数据、实地调查以及社会经济状况等多方面信息, 深入探讨保护区生态功能的动态变化。这不仅有助于更全面地了解生态系统的健康状态, 也为制定更加科学、合理的保护策略提供了坚实支撑, 以有效应对环境变化带来的挑战。

3 保护策略探索

3.1 全球首都迁移生态影响与可持续发展启示

3.1.1 巴西: 巴西利亚的生态代价与治理措施

1960年, 现代主义城市巴西利亚(Brasília)的顺利建成减轻了里约热内卢(Rio de Janeiro)的职能负担, 并促进了内陆地区经济发展, 但这一过程伴随着显著的生态代价。大规模的土地开发严重破坏了巴西塞拉多(Cerrado)地区的生态系统, 且城市扩张导致土地利用效率低下, 进而引发了土壤退化、水资源短缺和生物多样性丧失等一系列生态问题^[27]。巴西政府后续采取了补救措施, 如设立自然保护区、发展绿色建筑、加强水资源管理等, 但这些措施未能充分弥补早期开发带来的生态损失, 且生态恢复进程缓慢^[28]。巴西利亚的经验表明,

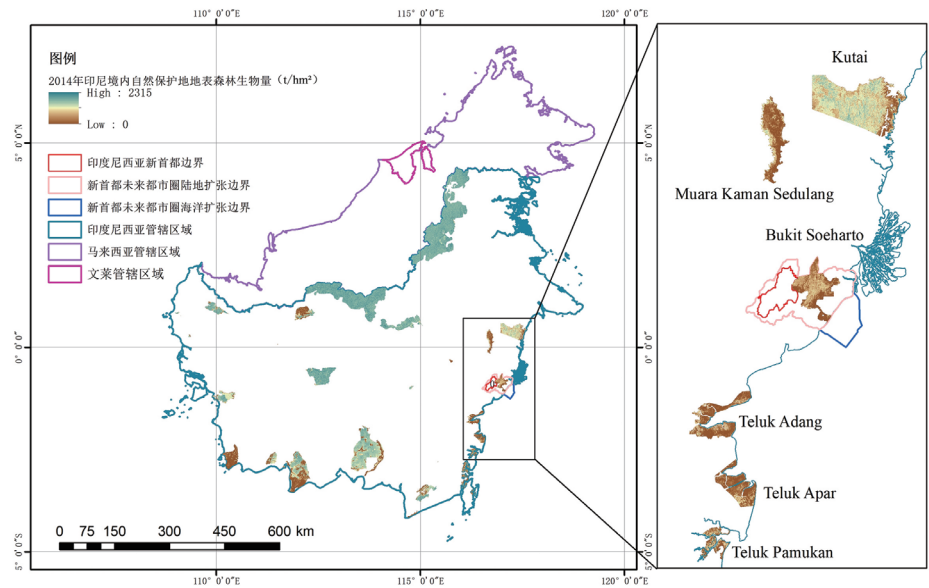


图9 2014年婆罗洲印度尼西亚管辖区自然保护地地表森林生物量
Fig.9 Surface forest biomass in protected areas in Borneo, 2014

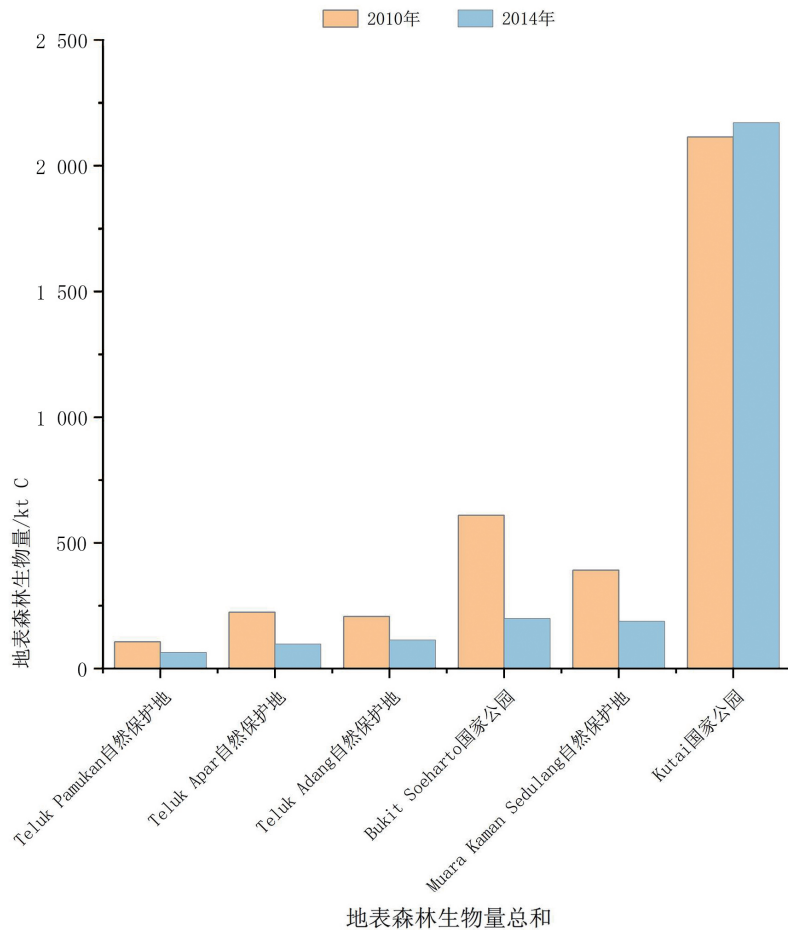


图10 2010年和2014年婆罗洲印度尼西亚管辖区自然保护地地表森林生物量总和对比
Fig.10 Total surface forest biomass in protected areas in Borneo: 2010 vs. 2014

在印度尼西亚迁都规划的初期,需进行全面的生态可承载力评估,重点关注当地热带雨林和湿地生态系统的脆弱性,优先保护生态敏感区,避免重蹈覆辙,推动可持续城市化发展。

3.1.2 澳大利亚:堪培拉的生态规划成功经验

1927年,由规划师沃尔特·伯利·格里芬设计的澳大利亚新首都堪培拉(Canberra)建成,其规划体现了具有高度前瞻性的生态理念与创新性探索。格里芬秉持生物多样性保护的理念,建设生态走廊,通过融合城市与自然景观,确保了城市与环境的和谐互动。在城市建设过程中,堪培拉严格遵循土地利用与建筑规范,限制城市扩展对周边自然环境的破坏。此外,堪培拉还建立了完善的城市绿地系统,结合生态走廊和绿色基础设施,为动植物提供丰富的栖息地,并改善了空气质量和水质。在水资源管理方面,堪培拉通过推行水敏感城市设计(Water Sensitive Urban Design, WSUD)理念,综合运用雨水花园、生态湿地、雨水蓄集与净化系统,并建立中水回用管网,有效增强了雨洪调蓄能力,提升了水资源循环利用效率^[29]等,确保城市在发展过程中能够合理利用和保护水资源。这一切精心的规划与设计,使得堪培拉不仅成功实现了低碳城市的目标,还成为全球范围内可持续城市建设的标杆。这些经验为印度尼西亚新首都努山塔拉的城市化进程提供了宝贵的借鉴,特别是在维持生态平衡和增强城市韧性方面^[30]。

3.1.3 缅甸:内比都的生态影响与教训

2005年,出于政治和安全考量,缅甸迁都至内比都(Nay Pyi Taw)。这座耗资50亿美元建设的都市却面临种种发展与生态的困境。内比都的城市布局过于强调功能分区,忽视了生态整合,大量自然土地的开发破坏了生态环境^[31]。其过度依赖机动车的交通规划,也未能考虑公共空间和步行环境的需求,增加了资源消耗和生态压力。此外,内比都后续发展乏力、人口稀少,经济和社会发展未能与城市建设同步,加剧了资源浪费和城市空心化^[31]。内比都的经验教训强调了迁都不仅需要精心的规划设计,还必须考虑实际使用效果和经济社会发展的可持续性^[32]。印度尼西亚在迁都时,应考虑长远的城市发展战略,通过吸引人才、发展产业、优化公共空间环境,确保经济、社会、生态的长期平衡发展。

3.1.4 对印度尼西亚迁都的启示

印度尼西亚政府于2019年宣布迁都,目的是走出雅加达因过度城市化、地面下沉和环境恶化而陷入的困境,同时推动社会公平和经济发展^[33]。与其他国家不同,印度尼西亚是全球最大的群岛国家,在岛屿间迁移首都的独特性使其面临更复杂的生态与社会挑战。当前努山塔拉仍处于建设阶段,印度尼西亚可借鉴巴西和澳大利亚的经验,在规划中优先考虑生态保护与资源可持续利用^[34]。通过合理的土地利用规划和低碳技术推广,努山塔拉有望成为高效、宜居、绿色的未来城市。首都迁移是国家发展的一项重要战略,其成败不仅取决于社会经济目标的达成,还依赖于生态保护与可持续发展目标的实现。在努山塔拉的建设过程中,印度尼西亚应借鉴其他国家的经验与教训,结合科学的规划方法和政

策创新举措,推动生态保护与经济的双赢局面。

3.2 婆罗洲自然保护区保护策略探索

在印度尼西亚迁都的背景下,婆罗洲生态系统因人类活动而严重退化。因此,采取系统的环境管理策略和科学方法,降低迁都对生态系统的负面影响,是确保婆罗洲可持续发展的关键。结合现有研究成果和国际经验,提出以下建议,以应对迁都过程中的生态风险,推动生态保护与经济协调统一。

3.2.1 强化环境与社会影响评估

根据英国和加拿大的经验,环境和社会影响评估法(Environmental and Social Impact Assessment, ESIA)以及战略环境评估法(Strategic Environmental Assessment, SEA)在制定重大政策、计划和项目时至关重要^[35-36]。英国将SEA与可持续性评估结合,确保评估流程透明,全面识别迁都可能造成的生态和社会影响。根据欧盟战略环境评估指令(EU SEA Directive),所有可能对环境产生重大影响的计划和项目必须进行环境评估,并且评估结果需通过检查员审核,以确保计划的合理性^[35]。而加拿大政府则通过战略环境评估指令(The Cabinet Directive on the Environmental Assessment of Policy, Plan and Program Proposals),要求凡是可能对环境产生重要影响的提案,都需进行SEA评估^[36]。该指令还规定了必须向公众发布环境影响声明,以确保评估的透明度。这些实践经验为迁都过程中的环境和社会影响评估提供了参考,特别是在确保评估过程的透明度、全面识别生态和社会影响等方面。确保利益相关方尤其是地方社区和保护组织能够参与其中,可有效提升政策的可行性,获得公众支持。

3.2.2 实施全链条缓解层级框架

为保证迁都的生态可持续性,Teo Hoong Chen等^[23]采用缓解层级框架追求总体生态净收益。该框架包括4个层次的措施:1)避免不必要的生态干扰,这是最优先的目标;2)对于无法避免的干扰,采取措施将环境损害降至最低;3)对已造成的环境损害进行补救,恢复受影响的生态系统;4)通过采取生态补偿措施,抵消无法修复的生物多样性损失^[37]。这一框架强调从预防到补偿的全链条管理,能够有效减少迁都对生态环境的负面影响。

3.2.3 扩展并优化自然保护区网络

根据婆罗洲地表森林生物量空间分布情况(图2),建议将部分未纳入自然保护区的高生物量区域作为未来保护地扩展的潜在范围,这将进一步提高跨国家保护网络的完整性,提升整体生态系统的可持续性。同时可通过生态走廊连接现有保护区,减少栖息地破碎化,增强物种迁移能力。其次,利用现代科技(如无人机巡查和AI监测系统)增强对非法伐木、盗猎等行为的监控能力。并且应积极推动跨国合作,协调印度尼西亚、马来西亚和文莱在婆罗洲区域的保护政策,共享生态监测数据和管理经验。

3.2.4 优化土地利用与生态修复策略

在土地利用规划方面,优先开发退化土地,避免破

坏未受干扰的原始生态系统,对重要流域实行严格管控,防止土壤侵蚀和水资源枯竭。推行生态恢复项目时,应重点恢复裸地和退化森林,通过植被种植、湿地修复和土壤改良,增强生态系统的自我恢复能力。同时,要加强绿色基础设施建设,如雨水花园、绿色屋顶、低影响开发技术(LowImpactDevelopment, LID)等,以减轻城市扩张对生态的负面影响。同时应鼓励地方社区参与生态恢复工作,为生态保护与经济发展协同提供实践案例。

4 结语

本研究围绕印度尼西亚迁都背景下的婆罗洲自然保护地展开生态风险分析,揭示了新首都建设对生态系统结构与功能的深远影响;对新首都努山塔拉的土地利用变化、自然保护地地表森林生物量进行分析,最后结合现有研究成果和国际经验,探索婆罗洲自然保护地保护策略。结果显示,1994—2024年,该地区林地显著减少,建设用地扩张,裸地面积增加,导致生态系统功能受损,土壤侵蚀、气候变化加剧及生态退化等环境风险增加。2010—2014年,Bukit Soeharto等新首都附近的自然保护地的地表森林生物量大幅下降,暴露出该区域在应对外部干扰时的生态脆弱性及敏感性。借鉴国际迁都经验,建议强化环境与社会影响评估,优化土地利用与绿色基础设施布局,扩展高生物量区域的保护范围,结合现代科技手段与社区参与机制,构建多层次、协同化的生态治理体系,以实现生态系统的系统性保护与可持续恢复。

研究从生态风险视角切入,对迁都背景下的自然保护地进行系统解析,扩展了该领域的研究视角。结合遥感数据分析土地利用情况和评估森林生物量,量化了迁都政策对婆罗洲自然保护区生态的潜在影响。最后通过比较研究国际案例,提出了针对性保护策略,为全球生态敏感区的可持续发展提供参考。

尽管研究采用了多源数据与定量分析方法,但仍存在一定局限性。首先,受限于数据来源,研究聚焦于迁都决策前后若干年份的生态变化,仍需进一步监测部分生态过程长期多尺度的变化趋势。其次,自然保护区管理涉及复杂的社会经济因素,而研究主要聚焦生态层面,未来可结合社会经济模型,深化对生态保护政策效果的评估。同时,应进一步分析婆罗洲生态风险的空间异质性,结合高精度生态模拟技术,优化区域生态风险监测评估框架。此外,需加强与地方政府及社区的合作,推动基于自然的解决方案(Nature Based Solutions, NBS)的应用,以增强自然保护地的恢复力。最后,可拓展研究视角,探讨全球其他自然保护地与生态敏感区在城市扩张背景下的保护策略,为实现人与自然和谐共生提供具有普适意义的政策建议。

注:图1~2、4~6、8~9的地图审图号为GS(2016)2948号,新首都努山塔拉边界来自Geospatial Information Agency(2020),婆罗洲边界来自OpenStreetMap;其余均由作者自摄自绘。

参考文献:

- [1]MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities[J]. Nature, 2000, 403 (6772): 853-858.
- [2]MOATE M. Deforestation in Borneo[EB/OL]. (2023-03-02) [2025-01-05]. <https://earth.org/deforestation-in-borneo/>.
- [3]LECHNER A, PERMANASARI E, WIDITA A, et al. Indonesia's sinking city, and the blueprint for its new capital in Borneo[EB/OL]. (2022-04-04) [2025-01-05]. <https://lens.monash.edu/@design-architecture/2022/04/04/1384554/indonesias-sinking-city-and-the-blueprint-for-its-new-capital-in-borneo>.
- [4]CASSIDY E, HAMZAH H. 5 Maps Show How Moving Indonesia's Capital Could Impact the Environment—Resource Watch[EB/OL]. (2019-10-01) [2025-01-05]. <https://blog.resourcewatch.org/2019/10/01/5-maps-show-how-moving-indonesias-capital-could-impact-the-environment/>.
- [5]SMITH J, ZHANG Y. Geospatial and Environmental Studies: New Insights into Earth Systems[J]. Frontiers in Earth Science, 2020, 8: 5.
- [6]EQUAL TIMES. New capital cities: deforestation and displacement[EB/OL]. (2023-5-12) [2025-01-05]. <https://www.equaltimes.org/new-capital-cities-deforestation>.
- [7]WWF. Borneo: Treasure Island at Risk[R/OL]. (2005-06-07) [2025-01-05]. https://wwf.panda.org/wwf_news/?21037/Report-Borneo-Treasure-Island-at-Risk.
- [8]WWF. The environmental status of Borneo 2016[R]. Gland: WWF International, 2016.
- [9]UNEP-WCMC. World Database on Protected Areas: Indonesia[EB/OL]. [2025-01-05]. <https://www.protectedplanet.net/country/IDN>.
- [10]SARAWAK FORESTRY CORPORATION. Gazetted Totally Protected Areas (TPAs) of Sarawak[EB/OL]. (2023-11-30) [2025-01-05]. <https://sarawakforestry.com/national-parks-nature-reserves/>.
- [11]NG J S C, CHERVIER C, ANCRENAZ M, et al. Recent forest and land-use policy changes in Sabah, Malaysian Borneo: Are they truly transformational?[J]. Land Use Policy, 2022, 121: 106308.
- [12]INDEXMUNDI. Brunei - Terrestrial protected areas (% of total land area)[EB/OL]. (2019-12-28) [2025-01-05]. <https://www.indexmundi.com/facts/brunei/indicator/ER.LND.PTLD.ZS>.
- [13]BADAN PUSAT STATISTIK. Population of DKI Jakarta Province[EB/OL]. (2024-04-18) [2025-06-23]. <https://jakarta.bps.go.id/en/statistics-table/2/MTMxNiMy/population-by-age-group-and-regency-city-in-dki-jakarta-province.html>.
- [14]DIO SUHENDA. Legacy, landscapes and lives: The Tales of Nusantara[N/OL]. The Jakarta Post, 2024-01-08. <https://www.thejakartapost.com/longform/2024/01/08/legacy-landscapes-and-lives-the-tales-of-nusantara.html>.
- [15]NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE. The Long Road to Nusantara: Shifting Indonesia's Capital[R/OL]. (2024-10) [2025-01-05]. <https://scholarbank.nus.edu.sg/entities/publication/a30bca66-e7d0-4688-b9a0-da5c07d1a568>.
- [16]GAVEAU D L A, SHEIL D, HUSNAYAEN M, et al. Rapid conversions and avoided deforestation: Examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 32017.

- [17]GOLDSTEIN J. Carbon bomb: Indonesia's failed mega rice project[EB/OL]. [2025-01-05]. <https://www.environmentandsociety.org/arcadia/carbon-bomb-indonesias-failed-mega-rice-project>.
- [18]KOH L P, WILCOVE D S. Oil palm: Disinformation enables deforestation[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2008, 23 (2) : 67-68.
- [19]GLAUBER A J, MOYER S, ADRIANI M, et al. The cost of fire: An economic analysis of Indonesia's 2015 fire crisis[R]. Washington, DC: World Bank, 2016.
- [20]LAU J M, ALAMI A N, NEGARA S D, et al. The Road to Nusantara: Process, Challenges and Opportunities[M]. Singapore: ISEAS Publishing, 2023: 21-22, 24.
- [21]HARRIS N L, BROWN S, HAGEN S C, et al. Baseline Map of Carbon Emissions from Deforestation in Tropical Regions[J]. Science, 2012, 336 (6088) : 1573-1576.
- [22]MARGONO B, POTAPOV P, TURUBANOVA S, et al. Primary Forest Cover Loss in Indonesia over 2000–2012[J]. Nature Climate Change, 2014, 4 (8) : 730-735.
- [23]TEO H C, LECHNER A M, SAGALA S, et al. Environmental impacts of planned capitals and lessons for Indonesia's new capital[J]. Land, 2020, 9 (11) : 438.
- [24]CURRAN L M, TRIGG S N, MCDONALD A K, et al. Lowland Forest Loss in Protected Areas of Indonesian Borneo[J]. Science, 2004, 303 (5660) : 1000-1003.
- [25]SUNARTO A, AIPASSA M I, RUJEHAN, et al. Analysis of land cover change due to mining and its potential economic loss: A case study in the Bukit Soeharto Forest Park, East Kalimantan, Indonesia[J]. Biodiversitas, 2023, 24 (2) : 1206-1214.
- [26]LAURANCE W F. Lessons from research for sustainable development and conservation in Borneo[J]. Forest Ecology and Management, 2016, 367: 314-322.
- [27]KLINK C A, MACHADO R B. Conservation of the Brazilian Cerrado[J]. Conservation Biology, 2005, 19 (3) : 707-713.
- [28]OECD. Fostering Water Resilience in Brazil: Turning Strategy into Action, OECD Studies on Water[R]. Paris: OECD Publishing, 2022.
- [29]ACT GOVERNMENT. Water Strategy 2014-44: Striking the Balance[EB/OL]. (2014-08) [2025-06-23]. https://www.act.gov.au/___data/assets/pdf_file/0010/2538559/act-water-strategy-2014-44.pdf
- [30]CROWLEY K. Australian urban planning: New challenges, new agendas[J]. Journal of Environmental Policy & Planning, 2002, 4 (1) : 101-102.
- [31]WANG C, MYINT S W, FAN P, et al. The impact of urban expansion on the regional environment in Myanmar: a case study of two capital cities[J]. Landscape Ecology, 2018, 33: 765-782.
- [32]NAYPYIDAW URBAN DESIGN. Myanmar Junta: Urban Planning for the Future[EB/OL]. (2021-12-07) [2025-01-05]. <https://disegnojournal.com/newsfeed/naypyidaw-urban-design-myanmar-junta>.
- [33]AUSTIN K G, SCHWANTES AMANDA, GU Y, et al. What Causes Deforestation in Indonesia?[J]. Environmental Research Letters, 2019, 14 (2) : 024007.
- [34]SETO K C, REENBERGET A, BOONE C G. Urban Land Teleconnections and Sustainability[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012, 109 (20) : 7687-7692.
- [35]OFFICE OF THE DEPUTY PRIME MINISTER. Guidance on how to carry out SEAs in accordance with the EU SEA Directive [EB/OL]. (2005-09-01) [2025-01-05]. https://www.epd.gov.hk/eia/en/sea/interactive/files/eu_sea_guidance.pdf.
- [36]CANADIAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY. Guidelines for implementing the Cabinet Directive on the Environmental Assessment of Policy, Plan and Program Proposals [EB/OL]. (2021-10-22) [2025-01-05]. <https://www.canada.ca/en/news/archive/2010/10/guidelines-implementing-cabinet-directive-environmental-assessment-policy-plan-program-proposals.html>.
- [37]KIESECKER J, COPELAND H, POCEWICZ A, et al. Development by design: Blending landscape-level planning with the mitigation hierarchy[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2010, 8 (5) : 261-266.

作者简介:

刘俊伶 /2001 年生 / 女 / 四川成都人 / 西南交通大学建筑学院 (成都 611756) / 在读硕士研究生 / 专业方向为国家公园生态保护与管理

钱丽源 (* 通信作者) /1988 年生 / 女 / 江苏太仓人 / 博士 / 西南交通大学建筑学院 (成都 611756) / 副教授 / 研究方向为自然保护地、国家公园生态系统监控 /E-mail: liyuan198804@gmail.com

杜璇 /1999 年生 / 女 / 湖南长沙人 / 西南交通大学建筑学院 (成都 611756) / 在读硕士研究生 / 专业方向为生态景观与可持续研究

陈心妍 /2003 年生 / 女 / 安徽含山人 / 西南交通大学建筑学院 (成都 611756) / 在读本科生 / 专业方向为国家公园生态保护与管理