

◆ 研究类 ◆

基于 Google Earth 高分影像的北海榄根村红海榄种群数量和分布的研究^{*}刘文爱¹,李丽凤²,薛云红¹,陶艳成¹

(1. 广西科学院广西红树林研究中心,广西红树林保护与利用重点实验室,广西北海 536000;2. 福建农林大学园林学院,福建福州 350002)

摘要:本研究建立一种基于 Google Earth 高分影像的红海榄(*Rhizophora stylosa*)单株精准识别的方法,并利用这种方法开展红海榄的资源调查和生态研究。研究以广西北海铁山港东岸榄根村外围天然红树林中的红海榄种群为对象,利用高分辨率 Google Earth 影像精准识别红海榄的个体,进而获取种群数量、冠幅、高程等重要数据,并在影像上设置 89 个 100 m×100 m 的样方,运用聚集度指标法,分析红海榄种群的空间分布格局。结果表明:影像中可识别红海榄植株数量共有 848 株;在高程 1-2 m 滩涂有红海榄 615 株,占全部数量的 72.5%,在适生滩涂高程下呈现一定的正态分布特征;冠层直径大小在 1.00-1.99 m 的红海榄 494 株,占全部数量的 58.3%,研究范围内红海榄种群密度南向大于北向,向海方向大于向陆方向,斑块中心区域大于边缘区域;各聚集度指标测定结果显示,该天然红海榄种群呈聚集分布。以上结果说明,利用 Google Earth 高分影像可有效识别冠层直径 1 m 以上的红海榄单株;北海榄根村红海榄种群整体的空间分布格局呈聚集分布,并且红海榄幼树较多,推测随着时间的推移,研究区域的红海榄种群数量将会增多。

关键词:红海榄 Google Earth 高分影像 遥感监测 分布格局 红树林

中图分类号: X123 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2021)03-0264-06

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20210928.010

0 引言

红树林是生长在热带、亚热带海岸潮间带或河流入海口的木本植物群落,被誉为“海岸卫士”“造陆先锋”“生物净化筛”,是国际上湿地生态保育和生物多样性保护的重要对象^[1,2]。近半个世纪以来,由于人

类对红树林的侵占和砍伐、水文条件的改变、气候变化和水域污染等,红树林资源急剧减少,全球 35% 的红树林在此期间消失^[3]。据统计,2000 年我国红树林面积比 1950 年减少约 50%^[4]。而在过去的 50 年,广西红树林面积减少 22.16%,年均减少率为 0.53%^[4]。红树林生长于海陆过渡的泥质潮间带,常

收稿日期:2021-06-06

^{*} 国家自然科学基金项目(32060282)和广西自然科学基金项目(2018GXNSFBA281190)资助。

【作者简介】

刘文爱(1980-),男,副研究员,主要从事红树林有害生物和红树林生物多样性研究。

【引用本文】

刘文爱,李丽凤,薛云红,等. 基于 Google Earth 高分影像的北海榄根村红海榄种群数量和分布的研究[J]. 广西科学院学报,2021,37(3):264-269.
LIU W A, LI L F, XUE Y H, et al. Study on the Population Size and Distribution of *Rhizophora stylosa* in Lan'gen Village of Beihai City Based on Google Earth High-Resolution Image [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2021, 37(3): 264-269.

规的野外测量方法难以开展大区域的红树林动态监测^[5], 因此, 加强我国红树林遥感监测和管理研究对红树林保护具有重要意义。目前, 红树林遥感研究在全球、国家和区域尺度上均取得较好研究进展^[6]。这些研究能够从宏观上认知红树林现状和变化, 对于红树林生态研究和生态保护具有重要意义。但这些研究大多使用中、低分辨率遥感数据, 对于图斑面积小、分布分散的红树林湿地不能有效识别^[7], 因而无法判读出红树林的种群和林分结构, 不适宜应用于局地尺度。红海榄(*Rhizophora stylosa*)在我国仅分布于广西、广东、台湾和海南等地的沿海滩涂。目前, 有关红海榄的研究侧重于生理结构^[8,9]、功能^[9]、林分结构^[10,11]和种群生态^[12,13]、生物量^[14]等方面, 未见有遥感精准识别方面的研究报道。红树林分布于地势开阔平坦的潮间带浅滩, 实地调查方法难以进行, 常规手段进行准确定位和描绘费时费力, 且周期长、时效性差^[15]。因此, 利用高分遥感影像进行中国红树林湿地的监测, 不仅可以节省时间、人力、财力和物力, 还可以快速而准确地制图^[4]。广西北海铁山港榄根村红树林正面临着围填海工程建设的威胁, 急需对区域内生长有红海榄的红树林进行监测和保护。实验拟利用高分辨率 Google Earth 影像精准识别研究区域内的红海榄单株, 获取研究区域红海榄的种群数量、冠幅、高程和空间分布等重要数据, 为区域性红树林遥感监测、红海榄资源评估和保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究样地概况

铁山港地处广西北海市沿海东部(图1), 与广东省英罗港相邻, 经纬度为 $109^{\circ}26'00'' - 109^{\circ}45'00''E$, $21^{\circ}28'35'' - 21^{\circ}45'00''N$ 。铁山港湾口宽约 32 km, 全湾岸线长约 170 km, 海湾面积约 34 000 hm^2 ; 年均气温 22.9 $^{\circ}C$, 最热月均温 28.8 $^{\circ}C$, 最冷月均温 15.0 $^{\circ}C$, 极端最低温 1.5 $^{\circ}C$, 年均降水量 1 573.4 mm。铁山港湾属非正规全日潮海湾, 平均潮差 2.53 m, 平均海面 0.37 m(黄海基面), 平均高潮位 1.62 m, 平均低潮位 -0.91 m。平均海面在当地水尺零面上 4.99 m, 黄海海面在当地水尺零面 4.62 m。研究地点位于广西北海合浦铁山港东岸的榄子根村外围的红树林区, 该区域的红树林面积约 189 hm^2 , 属于天然红树林, 主要树种为白骨壤(*Avicennia marina*)和红海榄, 有少量的秋茄(*Kandelia candel*)和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)。

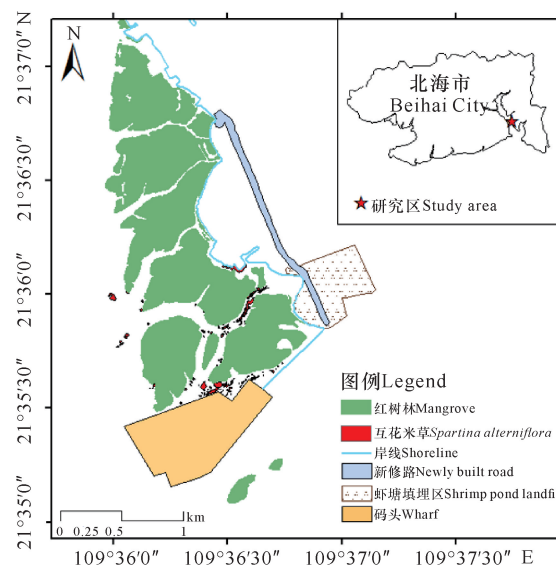


图1 研究区域位置图

Fig. 1 Location map of the study area

1.2 方法

1.2.1 红海榄图像的人工识别、标记和生态指标的测量

红海榄是常绿灌木或小乔木, 支柱根发达, 外貌深绿, 林冠整齐平展, 树高 3 - 5 m, 冠层直径多为 2.0 - 3.0 m, 地上根系幅度大, 冠幅与地上根系几乎等大。白骨壤为灌丛状, 高 1.5 - 2.5 m, 分枝多而低矮, 群落颜色较红海榄稍浅。在 Google Earth 上可利用红海榄如下特征与白骨壤进行区别: 红海榄冠幅近圆形或圆形, 叶片呈深绿色; 树高比白骨壤高, 太阳投射下周围形成黑影; 单株乔木在地图上表现出独立的斑块。提取植株斑点的难点主要是: 较幼龄的红海榄冠幅较小, 冠幅直径常小于 1 m, 在图像上较难辨识; 另外在靠近边缘地带, 植株稀疏, 红海榄单株与白骨壤也较辨别。

选取 2017 年 12 月 9 日拍摄的上述区域的 Google Earth 的高清图像。在 Google Earth 高分影像上目视鉴别红海榄和白骨壤, 直接在图上标记出红海榄的位置, 记录下红海榄的个体定位(经纬度)和高程数据, 并用标尺测量出红海榄的最大冠层直径(精确度 0.01 m)。

1.2.2 实地验证和样方设置

于 2018 年 9 月 8 日和 2018 年 11 月 6 日, 2 次到榄根村红树林区进行红海榄坐标实地验证。实地勘察后, 进行 2 次随机路线行走, 将 GPS 定位的红海榄与 Google Earth 图像上的点进行对比覆盖; 然后, 进一步复查 Google Earth 图像上的红海榄, 重点查看

冠幅较小的红海榄,结合实地验证的结果,确认完善 Google Earth 图像上红海榄并标记。

为方便研究,根据红树林潮沟的自然走向,将研究区域大致划分为 6 个面积大小不等的斑块 Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6。在 Google Earth 图像上(图 2),分别在斑块 Q1-Q6 划线设置样方,样方面积均为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$,分别统计各样方内红海榄单株数量。Q1-Q6 斑块内设置的样方数分别为 18,24,8,10,11,18,合计 89 个。

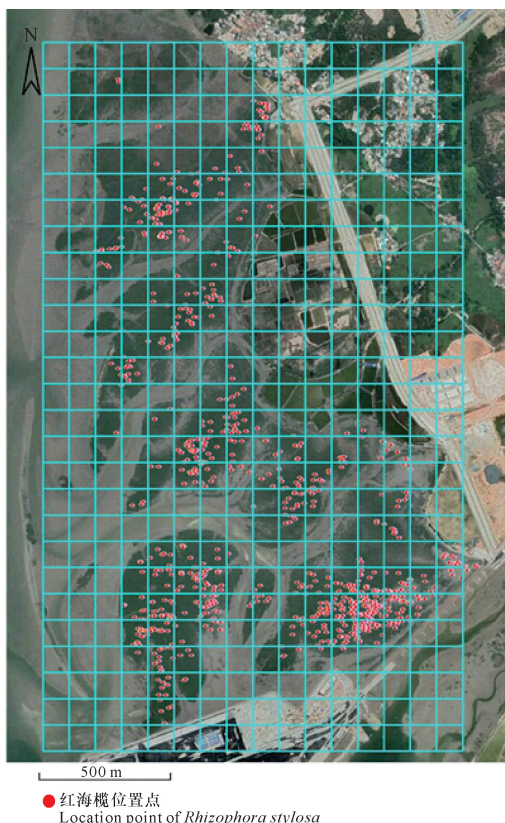


图 2 红海榄单株的精准识别和样方的设置

Fig. 2 Accurate identification of single plant and quadrat settings of *Rhizophora stylosa*

1.2.3 数据分析

采用如下聚集度指标进行空间格局测定及聚集原因分析:

$$\text{Caasier (1962) 扩散系数 } C = S^2/M, \quad (1)$$

$$\text{平均拥挤度指标 } M^* = M + S^2/M - 1, \quad (2)$$

$$\text{Davidh \& Moore (1954) 的 } I = S^2/M - 1, \quad (3)$$

$$\text{Lloyd (1967) 聚块性指标 } M^*/M, \quad (4)$$

$$\text{Kunou (1968) 的 } C_A = (S^2 - M)/M^2, \quad (5)$$

$$\text{Waters (1959) 的负二项分布 } K \text{ 值 } K = M/(S^2/M - 1), \quad (6)$$

公式(1)-(6)中, M 代表单位面积红海榄数量, S^2

代表方差。

2 结果与分析

2.1 红海榄种群数量

实地勘察后,将 GPS 定位的 62 株红海榄与 Google Earth 图像上的点进行对比覆盖,有 55 株红海榄位置重合,准确率达到 88.71%,表明 Google Earth 标记红海榄位置较准确,可信。进一步复查 Google Earth 图像上的红海榄,重点查看冠幅较小的红海榄,结合实地验证的结果,确认完善 Google Earth 图像上红海榄的标记,最终标记 848 株红海榄(图 3)。

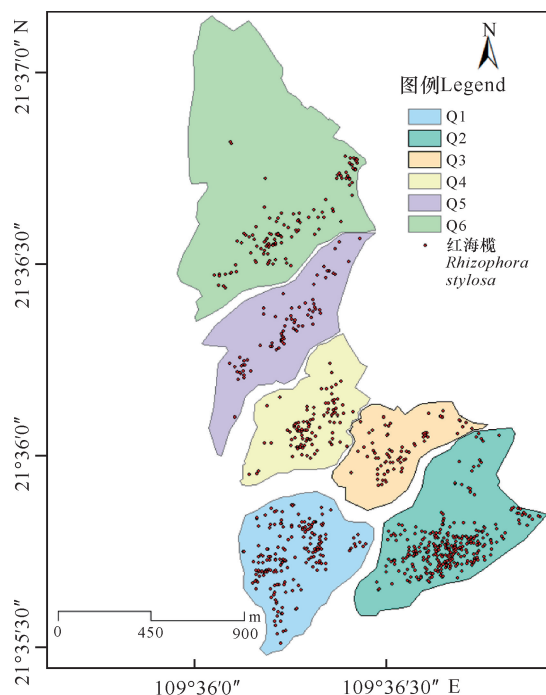


图 3 各斑块红海榄个体分布坐标点位图

Fig. 3 Coordinate point map of individual distribution of each plaque *Rhizophora stylosa*

各斑块的面积、红海榄数量和密度如表 1 所示。各斑块红海榄的密度为 $Q2 > Q1 > Q4 > Q3 > Q5 > Q6$ 。根据各斑块红海榄分布位置,初步判断研究范围内红海榄种群密度南向大于北向,向海方向大于向陆方向,斑块中心区域大于边缘区域。

2.2 空间分布格局

各斑块样方内红海榄的数量如表 2 所示,通过表中数据可以计算各斑块样方的均值和方差。根据聚集公式测定 6 个斑块的各项聚集度指标(表 3),可以看出 $M^*/M > 1, I > 0, C_A > 0, C > 1, 0 < K < 9$,说明红海榄在各斑块呈聚集分布状态。聚集度指标是

度量一个种群空间分布的聚集程度(随机、均匀或聚集)。种群的空间分布格局反映该种群个体在水平空间上的分布情况或彼此间的相互关系,不仅能够对种群水平结构进行定量的描述,而且能够揭示格局的成因,是种群与环境长期适应和选择的结果。研究区域内天然红海榄种群的空间分布格局为聚集分布,各斑块的聚集强度为 $Q2 > Q6 > Q4 > Q1 > Q5 > Q3$ 。可能因为潮汐运动、高程等因素的影响,导致红海榄种群的分布格局呈现聚集分布,且聚集度较高。

表 1 不同斑块红海榄的种群密度

Table 1 Population density of *Rhizophora stylosa* in different plaques

斑块 Plaque	中心坐标 Central coordinates	面积 Area (hm^2)	种群数量 Population size (ind.)	种群密度 Population density (ind./ hm^2)
Q1	21°35'43.88"N, 109°36'13.32"E	29.15	186	6.38
Q2	21°35'45.03"N, 109°36'38.04"E	37.52	287	7.64
Q3	21°36'1.58"N, 109°36'23.86"E	18.55	73	3.94
Q4	21°36'3.59"N, 109°36'17.76"E	23.40	97	4.15
Q5	21°36'19.95"N, 109°36'15.46"E	29.21	73	2.50
Q6	21°36'43.56"N, 109°36'11.06"E	75.11	134	1.78

表 2 各斑块样方内红海榄数量

Table 2 Number of *Rhizophora stylosa* in each plaque

斑块 Plaque	斑块内各样方数(各样方内红海榄数量,株) Number of various squares in the plaque (number of <i>Rhizophora stylosa</i> in each square, ind.)
Q1	18(4,4,20,13,1,8,9,18,6,19,9,19,14,2,8,3,8,9)
Q2	24(27,4,1,3,3,0,8,0,0,0,5,0,18,25,16,12,12,21,36,25,17,12,4,19)
Q3	8(5,9,7,5,11,12,1,6)
Q4	10(2,8,1,16,9,13,21,12,4,2)
Q5	11(1,6,8,3,2,3,10,4,12,1,15)
Q6	18(15,0,1,0,0,1,2,8,9,7,3,14,19,12,4,9,10,4)

2.3 不同滩涂高程下红海榄种群数量分布

图 4 直观地显示红海榄的分布与高程有着直接的联系,红海榄在不同高程下呈现一定的正态分布特征。在高程为 1 m 时,红海榄种群数量最多,达 327 株,占比 38.6%;高程为 2 m 时,红海榄种群数量仅

次于高程 1 m 时,有 288 株,占比 34.0%;而高程在 0 m 和 3 m 时,红海榄相对少,仅有 104 株和 73 株,占比分别为 12.3%和 8.6%;高程时显示为 -1 m 时候还有 33 株,其余高程下红海榄数量较少。

表 3 各项聚集度指标

Table 3 Various aggregation indexes

斑块 Plaque	拥挤度 M^* Degree of crowding M^*	I 指标 I index	M^*/M 指标, M^*/M index	C_A 指标 C_A index	扩散系数 C Diffusion coefficient C	K 指标 K index
Q1	12.9	3.0	1.3	0.3	4.2	3.6
Q2	20.9	8.8	1.9	0.8	10.4	1.4
Q3	8.0	0.9	1.2	0.1	1.9	8.9
Q4	13.9	4.3	1.5	0.5	5.3	2.1
Q5	9.4	2.9	1.6	0.5	4.0	2.3
Q6	11.7	4.2	1.6	0.6	5.1	1.8

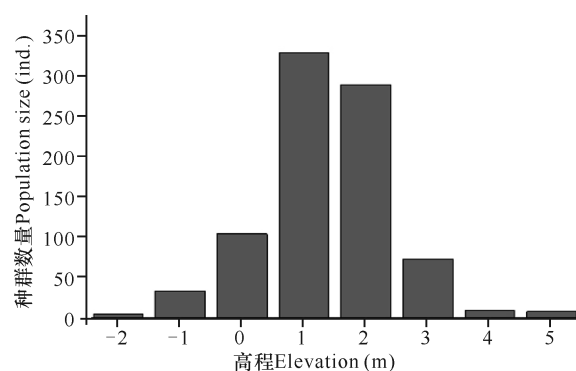


图 4 不同滩涂高程下红海榄种群数量分布

Fig. 4 Population size distribution of *Rhizophora stylosa* at different tidal flat elevations

2.4 不同冠幅红海榄的空间分布

红海榄冠幅与数量的关系如图 5 所示。冠幅直径 4 m 以上的红海榄植株多分布于方块的中心位置。红海榄的扩散趋势从中心向四周扩展。冠幅 1.00 - 1.99 m 的红海榄有 494 株,数量最多,占比 58.3%;冠幅在 2.00 - 2.99 m 的红海榄有 253 株,占比 29.8%;冠幅在 3.00 - 3.99 m 的红海榄 96 株,占比 11.3%;而冠幅在 4.00 - 4.99 m 的红海榄 5 株,占比 0.6%。由图 5 可以直观地看出,冠幅越小,红海榄的数量越多,由此反映出整片区域的天然红海榄种群年龄结构比较年青。综上可知,研究区域内的天然红海榄种群属于增长型,随着群落的发展和演替,红海榄种群数量将逐渐增加并取代白骨壤。

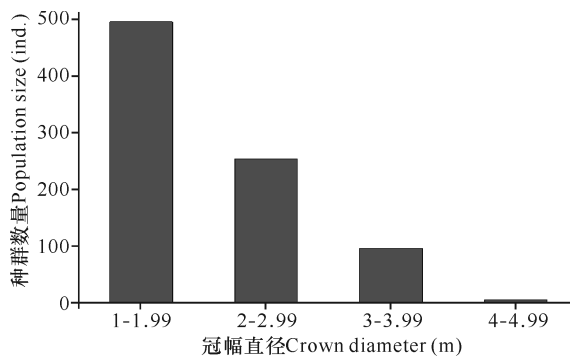


图5 不同冠幅直径的红海榄种群数量对比

Fig. 5 Comparison of population size of *Rhizophora stylosa* with different crown diameter

3 讨论

本研究能够成功实现红海榄的单株精准识别,关键因素是高分辨率的遥感影像和特定发展阶段的红海榄种群。目前市面上可获取的常见遥感影像主要有中国资源卫星日新图和谷歌地图。中国资源卫星日新图是国家卫星自主拍摄的地球影像图,中国区域大部分地区分辨率最高可达1 m(17级),局部为2 m(16级),并提供2018年以来的历史影像,相对于其他影像图,其特点是更新快;而谷歌地图近年来在中国地区拍摄的图像大部分是0.3 m精度(19级),但是更新速度慢。本研究主要采用目视识别的方法来获取目标植物的点位,后期研究可加入机器学习等方法,使其达到智能化和自动化的水平。同时,通过不同时间序列高分影像的动态对比分析,可以使研究更加深入。另外,也可在红树林湿地中拓展应用场景,不仅可以有效识别自然扩散中的红海榄、木榄、无瓣海桑等单株红树植物,还可以利用高清影像有效区别成片的白骨壤群落、桐花树群落、秋茄群落、木榄(*Bruguiera gymnorhiza*)群落、鱼藤(*Derris trifoliata*)群落等,结合相关群落的生物物候特征,比如鱼藤的季节性落叶、白骨壤的大规模虫害集中爆发等协助判断群落的分布^[16]。

本研究仅简单地统计分析100 m×100 m样方的分布格局研究。实际上,在图像高分影像上识别出目标植物的点位后,可随意设置样方大小,对比不同样方大小的空间分布格局测试结果。若加入地统计学^[17]和R语言^[18]进行统计分析,或能获取更加完善的空间分布信息和规律。

本研究中,遥感图像中相关生态指标,比如高程、冠幅大小等与实际测的数据会有所差异,但这些结果可以大致反应相对大小,同时还可以反应出部分规律

性特征,且这些数据可轻易获取,可重复,可验证,因而有一定的研究价值,可用于特定红树植物的适宜性分析^[19]。

4 结论

Google Earth 高清影像可以精准识别冠幅直径1 m以上红海榄单株,初次识别的准确率达88.7%,可直接获取位置信息和高程信息,并且可以测量冠层的大小。识别结果显示,榄根村冠幅最大直径1 m以上的红海榄株数为848株,区域内的红海榄呈聚集分布;高程在1 m和2 m的红海榄株数最多,冠幅直径在1-2 m红海榄的数量最多;种群以幼树占多数,表明该区域的红海榄种群为增长型种群。通过该方法可以较全面地掌握区域内红海榄的种群数量和分布情况。

参考文献

- [1] 林鹏. 中国红树林湿地与生态工程的几个问题[J]. 中国工程科学, 2003, 5(6): 33-38.
- [2] 范航清, 陈光华, 何斌源, 等. 山口红树林滨海湿地与管理[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 42-43.
- [3] POLIDORO B, CARPENTER K E, COLLINS L, et al. The loss of species: Mangrove extinction risk and geographic areas of global concern [J]. PLoS ONE, 2010, 5(4): e10095.
- [4] 贾明明. 1973~2013年中国红树林动态变化遥感分析[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [5] 章恒, 王世新, 周艺, 等. 多源遥感影像红树林信息提取方法比较[J]. 湿地科学, 2015, 13(2): 145-152.
- [6] 孙永光, 赵冬至, 郭文永, 等. 红树林生态系统遥感监测研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4523-4538.
- [7] 王子予, 刘凯, 彭力恒, 等. 基于 Google Earth Engine 的1986-2018年广东红树林年际变化遥感分析[J]. 热带地理, 2020, 40(5): 881-892.
- [8] 李润. 红海榄和秋茄次生木质部生态解剖研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [9] 周元满, 谢嘉莉, 黄剑坚, 等. 特呈岛红海榄林分结构特征分析[J]. 防护林科技, 2017(12): 5-9, 37.
- [10] 邓传远, 郑俊鸣, 张万超, 等. 红海榄木材结构的生态解剖[J]. 植物生态学报, 2015, 39(6): 604-615.
- [11] 陈英华, 严重玲, 李裕红, 等. 盐胁迫下红海榄脯氨酸与活性氧代谢特征研究[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(3): 402-405.
- [12] 梁士楚. 红海榄群落演替中种群生态位的研究[J]. 广西科学, 1997, 4(2): 120-123, 125.
- [13] 林鹏, 尹毅, 卢昌义. 广西红海榄群落的生物量和生产

- 力[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1992, 31(2): 199-202.
- [14] 周元满, 黄剑坚, 韩维栋, 等. 天然红海榄种群分布格局研究[J]. 广西植物, 2013, 33(4): 496-501.
- [15] 李春干, 谭必增. 红树林资源调查的遥感图象处理方法研究[J]. 中南林业调查规划, 2003, 22(2): 24-27.
- [16] 李丽凤, 刘文爱. 广西廉州湾红树林湿地景观格局动态及其成因[J]. 森林与环境学报, 2018, 38(2): 171-177.
- [17] 孙英君, 王劲峰, 柏延臣. 地统计学方法进展研究[J]. 地球科学进展, 2004, 19(2): 268-274.
- [18] 谢益辉, 朱钰. Bootstrap方法的历史发展和前沿研究[J]. 统计与信息论坛, 2008, 23(2): 90-96.
- [19] 胡文佳, 晁碧霄, 王玉玉, 等. 基于最大熵模型的福建省红树林潜在适生区评估[J]. 中国环境科学, 2020, 40(9): 4029-4038.

Study on the Population Size and Distribution of *Rhizophora stylosa* in Lan'gen Village of Beihai City Based on Google Earth High-Resolution Image

LIU Wen'ai¹, LI Lifeng², XUE Yunhong¹, TAO Yancheng¹

(1. Guangxi Key Lab of Mangrove Conservation and Utilization, Guangxi Mangrove Research Center, Guangxi Academy of Sciences, Beihai, Guangxi, 536000, China; 2. School of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian, 350002, China)

Abstract: In this study, a precise identification method of the single plant of *Rhizophora stylosa* based on Google Earth high-resolution image was proposed for the first time, which was used to carry out resource investigation and ecological research of *R. stylosa*. The population of *R. stylosa* in the natural mangrove forest around Lan'gen Village on the east coast of Tieshan Bay in Beihai City, Guangxi Province was taken as the object. The high-resolution Google Earth image was introduced to precisely identify *R. stylosa* individuals. Then the important data such as population size, crown width and elevation were obtained. 89 quadrats of 100 m × 100 m were set up in the image, and the aggregation index method was used to analyze the spatial distribution pattern of the *R. stylosa* population. The results showed that a total of 848 plants of the *R. stylosa* population could be identified in the image. 615 *R. stylosa* were on the tidal flat of the 1 - 2 m elevation, which accounted for 72.5% of the total number, showing normal distribution characteristics in the upper layer of suitable tidal flat. There were 494 *R. stylosa* plants with the crown diameter of 1.00 - 1.99 m, which accounted for 58.3% of the total number. In the study area, the population density of *R. stylosa* in the south direction was greater than that in the north direction, and the population density in the sea direction was greater than that in the land direction. The plaque center area was greater than the marginal area. The results of aggregation index showed that the natural populations of *R. stylosa* showed aggregation distribution. The above results show that the use of Google Earth high-resolution image can effectively identify the single *R. stylosa* plant with a crown diameter larger than 1 m. The overall spatial distribution pattern of *R. stylosa* population in Lan'gen Village of Beihai showed aggregation distribution, and there were many young trees of *R. stylosa*. It was speculated that the number of *R. stylosa* population in the study area would increase over time.

Key words: *Rhizophora stylosa*, Google Earth, high-resolution image, remote sensing, distribution, mangrove

责任编辑: 米慧芝