

澳门九澳山海滨群落特征分析与生态恢复建议

唐春艳^{1,2}, 宋贤利³, 洪宝莹⁴, 郭菲力⁴, 曾秀桦⁵, 易绮斐^{1*}, 邢福武^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 湛江市霞山区解放街道办事处, 广东湛江 524004; 4. 澳门民政总署, 澳门 CP3054; 5. 澳门地球物理暨气象局, 澳门 澳门邮政信箱 93 号)

摘要: 采用群落生态学的方法研究了澳门九澳山海滨经人工抚育后恢复的植物群落特征。通过对其群落种类组成及多样性、空间结构和优势种年龄结构分析表明: 1200 m² 样地内共有维管束植物 44 科 76 属 82 种; 藤本及中、小、矮高位芽植物占优势(86.59%), 而大高位芽植物缺乏; 群落优势种为豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、亮叶桉(*Eurya nitida*)、鸭脚木(*Schefflera heptaphylla*)和假苹婆(*Sterculia lanceolata*), 均为增长型种群; 九澳山海滨经人工抚育后恢复的植物群落植株高度较低。九澳山海滨土壤为赤红壤, 其植被恢复策略可为赤红壤海滨的植被生态恢复提供参考。为促进海滨地带性植被的建设, 我们还选择出海滨适生乡土树种 29 种, 构建了多层次多树种的空间结构, 并建议在九澳山海滨现有植被群落的基础上适当引种乔木树种、增加草本层植物种类。

关键词: 植物群落特征; 生态恢复; 海滨; 澳门

中图分类号: Q948.15

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2015)01-0044-09

Characteristics of the Coastal Plant Community and Ecological Restoration Proposal on Ka Ho Hill, Macau

TANG Chun-Yan^{1,2}, SONG Xian-Li³, HONG Bao-Ying⁴,
GUO Fei-Li⁴, ZENG Xiu-Hua⁵, YI Qi-Fei^{1*}, XING Fu-Wu^{1*}

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Liberation Street Office of Xiashan District, Zhanjiang, Guangdong 524004, China; 4. Civic and Municipal Affairs Bureau, Macau CP3054, China; 5. Macau Meteorological and Geophysical Bureau, Macau PO Box 93, China)

Abstract: To understand the characteristics of the coastal plant community and natural restoration with artificial help on Ka Ho Hill, Macau, species composition, species diversity, vertical structure and age structure were studied by field investigation. Results showed there were 82 species of vascular plants, belonging to 44 families and 76 genera in plots with areas of 1200 m². Liana phanerophyte, mesophanerophyte, microphanerophyte and nanophanerophyte species accounted for 86.59% of the life form spectrum of the community, with no megaphanerophytes found. The dominant community species were *Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*, *Eurya nitida*, *Schefflera heptaphylla*, and *Sterculia lanceolata*. Analysis on age structure indicated that the dominant populations expressed an increasing tendency. The height of communities on Ka Ho Hill was slightly lower than that of forest communities in Macau. Ka Ho Hill had latosol soil, and our study of vegetation restoration can provide a reference for the ecological restoration of seacoast with red soil. To accelerate the development of artificial forest into the local community, we selected 29 species of indigenous plants, and

收稿日期: 2014-06-23, 退修日期: 2014-08-12。

基金项目: 澳门植物监测研究(Y151021001)。

作者简介: 唐春艳(1991-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为植物学(E-mail: TCYtangchunyan@126.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: yiqifei@scib.ac.cn; xinfw@scib.ac.cn)。

arranged a multi-layer, multi-species forest, and also suggested increasing species in both the upper layer and herb layer based on the characteristics of the Ka Ho Hill coastal community.

Key words: Plant community characteristics; Ecological restoration; Coast; Macau

随着人类对自然资源的开发, 环境污染、植被破坏、土地退化和生物多样性丧失等问题日益突出, 生态恢复也越来越受到重视^[1]。中国约有 1/4 的国土面积出现了生态系统退化的现象^[2], 科学家们在森林、荒漠、草原、湿地和废弃矿地等开展了大量植被退化现状的研究和重建探索^[3,4]。我国海岛众多, 大部分海岛植被有不同程度的退化^[5], 海岛与海滨植被恢复是陆地植被恢复的重要组成部分。我国南亚热带地区面积约有 $2.5 \times 10^5 \text{ km}^2$, 海域面积辽阔, 其中以花岗岩风化的赤红壤为主的陆地面积占一半以上^[6]。目前, 海滨生态恢复主要涉及海滨盐碱地红树林和淡水湿地景观^[7,8], 而对土壤为赤红壤的海滨研究较少。澳门面积虽小, 但海岸线长达 43.75 km ^[9], 随着经济发展和填海工程的推进, 海滨植被恢复愈显重要。前人对澳门植物组成和典型群落的特征分析研究较多^[9-12], 但关于海滨光裸地生境的植被重建和恢复尚未见报道。

本研究采用群落样方调查的方法, 用群落特征评估植被恢复程度, 拟分析澳门九澳山海滨经人工抚育后自然恢复的植被群落物种组成、多样性和群落结构等, 探讨澳门非盐碱地的海滨植被生态恢复的效果和方向, 以期为澳门、广东沿海及至华南地区以赤红壤为主的海滨地带性植被恢复和防护林建造提供一定的理论依据和指导建议。

1 研究区概况

澳门地处广东省珠江口西南岸, 由澳门半岛、氹仔和路环组成, 目前总面积为 31.3 km^2 。澳门属于南亚热带海洋性气候, 年均温 14.6°C , 年均降雨量 2000 mm 以上。岩石主要为花岗岩, 土壤以由花岗岩发育而成的赤红壤为主, 土壤呈酸性 ($\text{pH } 4.84 \sim 5.70$)^[9]。

澳门地带性植被为季风常绿阔叶林, 因人为干扰和自然灾害, 至 30 年代氹仔和路环 2 个离岛基本为光秃地, 水土流失严重^[13]。路环岛 ($113^\circ 35' \text{ E}$, $22^\circ 06' \text{ N}$) 的面积为 8.3 km^2 , 山麓坡度为 $20^\circ \sim$

26.5° , 1961 年左右大部分地方只有矮丛林甚至仅有蕨类植物和一些灌木。路环岛前期种植过一些马尾松 (*Pinus massoniana*), 但改造效果不显著; 1959-1966 年开展第二期发展计划, 增加种植了马尾松、台湾相思 (*Acacia confusa*)、木麻黄 (*Casuarina equisetifolia*)、樟 (*Cinnamomum* sp.)、桉 (*Eucalyptus* sp.) 等, 山林绿化工作才略见成效; 后因 1979 年马尾松虫害严重, 1982 年又用台湾相思、木荷 (*Schima superba*) 等开展了重植林工程^[14]。

九澳山位于路环东部沿海, 植被是在上述背景下发展起来的。据澳门民政总署提供的资料可知, 20 世纪 60 年代在九澳山人工种植了上千株台湾相思和近百株木麻黄, 推测其自然恢复时间为 35 至 50 年。本实验调查的样地九澳角 ($22^\circ 07' 45.90'' \text{ N}$, $113^\circ 35' 29.03'' \text{ E}$) 位于九澳山东部, 坡度为 $20^\circ \sim 29^\circ$, 海拔 $25 \sim 36 \text{ m}$ 。

2 研究方法

2.1 调查方法

本实验以胸径 $\geq 2 \text{ cm}$ 的立木为乔木, 其余作灌木层或草本层处理。

对九澳山海滨植物群落经全面踏查, 2011 年 10 月在九澳角采用相邻格子法^[15,16]选取 400 m^2 样地, 设置 16 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 固定样方, 并对胸径 $\geq 1 \text{ cm}$ 的植株挂牌、标号。2012 年 10 月和 2013 年 10 月再次进行调查, 并统计 2 年内每个固定样方中胸径 $\geq 1 \text{ cm}$ 的植株新增或死亡等数量变化; 计算乔木层、灌木层和草本层植物在各 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 样方内的种类、株数、高度 (m) 和盖度 (%) 范围。

2012 年 11 月在九澳角 400 m^2 固定样地的基础上再增加 800 m^2 样地, 即选取了 1200 m^2 样地进行植物群落调查^[15,16]。设置 12 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 乔木样方, 并在每个乔木样方的相同位置设置 1 个 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 的灌木和草本样方。每木调查^[15-17], 记录乔木层植物的种名、高度 (m)、胸径 (cm)、冠

幅(m²)等;灌木和草本层的种类、株数、高度(m)及盖度(%)等;并记录样方中所有藤本植物。同时记录样地位置、地形特征,植被有无病虫害等。

2.2 数据处理

2.2.1 生活型

采用 Raunkiaer 生活型系统的分类方法^[17],统计群落植物的生活型。

2.2.2 物种多样性测度公式^[15,16]

① 物种丰富度指数 S ; ② 物种丰富度 Margalef 指数: $E = (S-1) / \ln N$; ③ 优势度 Simpson 指数: $D = 1 - \sum P_i^2$; ④ 变化度 Shannon-Wiener 指数: $H' = - \sum P_i \ln P_i$; ⑤ 均匀度 Pielou 指数: $J_{SW} = (- \sum P_i \ln P_i) / \ln S$ 。

式中, S 为样方的植物种类总和; P_i 为种 i 的个体数占所有种个体总数的比率; N 为样方所有物种的个体数之和。

2.2.3 重要值(importance value)

重要值(IV)依据相对多度、相对频度、相对

盖度、相对显著度计算,评价某个种在群落中的地位^[15-18]。

① 相对多度 = (某一种植物的个体总数/所有植物个体总数) × 100; ② 相对频度 = (一个种的频度/所有种的频度总和) × 100; ③ 相对显著度 = (该种所有个体胸高断面积之和/所有种个体胸高断面积总和) × 100; ④ 相对盖度 = (某个种的分盖度/所有种的分盖度总和) × 100。

$$IV_{\text{乔木灌木}} = \text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对显著度};$$

$$IV_{\text{草本}} = \text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对盖度}。$$

3 结果与分析

3.1 群落物种组成

澳门九澳山海滨群落共有维管束植物 82 种,隶属 76 属 44 科(表 1),其中蕨类植物有 2 科 2 属 2 种,裸子植物有 1 科 1 属 1 种,被子植物有 41 科 73 属 79 种。不计栽培种台湾相思和木麻黄,自然生长的乡土树种有 80 种。含 5 种植物以上的科有 3 科,包含 18 属 20 种,分别占科、属、种总数的 6.82%、23.68%、24.39%;含 1 种植物的

表 1 澳门九澳山海滨群落维管束植物科、属、种组成
Table 1 Composition of vascular plants of the Ka Ho Hill coastal community

科 Family	数量 Number		科 Family	数量 Number	
	属 Genus	种 Species		属 Genus	种 Species
茜草科 Rubiaceae	7	8	桑科 Moraceae	1	1
大戟科 Euphorbiaceae	6	6	番荔枝科 Annonaceae	1	1
芸香科 Rutaceae	5	6	五桠果科 Dilleniaceae	1	1
百合科 Liliaceae	4	4	山茶科 Theaceae	1	1
樟科 Lauraceae	2	3	藤黄科 Guttiferae	1	1
豆科 Fabaceae	3	3	蔷薇科 Rosaceae	1	1
漆树科 Anacardiaceae	2	3	苦木科 Simaroubaceae	1	1
桃金娘科 Myrtaceae	2	3	无患子科 Sapindaceae	1	1
萝藦科 Asclepiadaceae	3	3	冬青科 Aquifoliaceae	1	1
防己科 Menispermaceae	2	2	卫矛科 Celastraceae	1	1
野牡丹科 Melastomataceae	1	2	鼠李科 Rhamnaceae	1	1
紫金牛科 Myrsinaceae	2	2	椴树科 Tiliaceae	1	1
木犀科 Oleaceae	2	2	梧桐科 Sterculiaceae	1	1
夹竹桃科 Apocynaceae	2	2	大风子科 Flacourtiaceae	1	1
马鞭草科 Verbenaceae	2	2	五加科 Araliaceae	1	1
禾本科 Gramineae	2	2	山榄科 Sapotaceae	1	1
棕榈科 Palmae	2	2	柿科 Ebenaceae	1	1
海金沙科 Lygodiaceae	1	1	唇形科 Labiatae	1	1
乌毛蕨科 Blechnaceae	1	1	菊科 Compositae	1	1
罗汉松科 Podocarpaceae	1	1	露兜树科 Pandanaceae	1	1
木麻黄科 Casuarinaceae	1	1	莎草科 Cyperaceae	1	1
榆科 Ulmaceae	1	1	姜科 Zingiberaceae	1	1

科有 27 科, 占科、属、种总数的 61.36%、35.53%、32.93%。热带性质的茜草科(8 种)、大戟科(6 种)、芸香科(6 种)、桃金娘科(3 种)和萝藦科(3 种)植物相对较多, 故该区优势科不明显, 科的区系有较强的热带性质。

3.2 生活型分析

生活型是植物长期适应自然生境而形成的植物类型, 一定气候条件下的群落, 其组成植物经常以一定频度分布的生活型为特征^[15]。依据 Raunkiaer 生活型分类法绘制的九澳山海滨群落植物生活型谱(表 2)显示, 该群落以藤本和中、小、矮高位芽植物为主, 占总种数的 86.59%, 无大高位芽植物, 地面芽、地下芽和一年生植物也缺乏。适应高温湿润气候的植物群落均以高位芽植物为主^[11,19], 因此从植物生活型来看, 九澳山群落外貌与澳门高温高湿的气候是相适应的。

表 2 九澳山海滨群落植物生活型谱
Table 2 Life form spectrum of the Ka Ho Hill coastal community

生活型 Life form	种数 No. of species	占总种数的比例 Proportion of the total species (%)
高位芽植物 Phanerophyta		
大 Macro	0	0.00
中 Meso	16	19.51
小 Micro	16	19.51
矮 Nano	18	21.95
藤本 Liana	21	25.61
地面芽植物 Hemicyptophytes	8	9.76
地下芽植物 Geophytes	2	2.44
一年生植物 Therophytes	1	1.22

3.3 垂直结构与数量特征

九澳山海滨群落在垂直结构上形成了乔木层、灌木层、草本层及由藤本组成的层间植物。分层分析如下:

乔木层: 重要值分析显示, 群落中乔木层植物共有 21 种 395 株(表 3)。乔木层分为 2 个亚层, 第一亚层 6~18 m, 共 69 株, 仅由台湾相思和木麻黄组成; 第二亚层整体高度较低(2~6 m), 以自然恢复的豺皮樟(*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*)、亮叶桉(*Eurya nitida*)、鸭脚木(*Schefflera heptaphylla*)、假苹婆(*Sterculia lanceolata*) 为主。

灌木层: 高 1~2 m, 共 42 种 840 株(表 3), 多数由灌木种类和乔木幼树组成。其中, 九节(*Psychotria rubra*)、豺皮樟、假苹婆和鸭脚木的重要值较大; 潺槁木姜子(*Litsea glutinosa*)、白楸(*Mallotus paniculatus*)、酒饼筋(*Atalantia buxifolia*)、广东蒲桃(*Syzygium kwangtungense*)、秤星树(*Ilex asprella*)、石斑木(*Rhaphirolepis indica*)和桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)等在灌木层中数量也较多, 形成了灌木层丰富的物种繁殖库。

草本层: 共记录草本层植物 12 种 233 株(表 3), 草本种类和数量都较少, 平均分布密度仅有 0.39 株/m²(不计幼苗)。以山麦冬(*Liriope spicata*)、海金沙(*Lygodium japonicum*)、短叶黍(*Panicum brevifolium*)和淡竹叶(*Lophatherum gracile*)为主。

藤本植物层: 藤本植物丰富, 共 19 种 82 株, 多数攀援在树干或树冠上。以木质藤本为主, 如皱果南蛇藤(*Celastrus tonkinensis*)、白花酸藤果(*Embelia ribes*)、玉叶金花(*Mussaenda pubescens*)和匙羹藤(*Gymnema sylvestre*)等, 草质藤本主要有粪箕笃(*Stephania longa*)。

各层植物多样性指数: 物种多样性是群落的种数、个体总数及均匀度的综合概念, 定量反映群落稳定性和动态, 常用物种丰富度 Margalef 指数、变化度 Shannon-Wiener 指数(H')和均匀度 Pielou 指数(J_{sw})表征群落的组织结构水平^[20]。从表 4 可知, 豺皮樟群落物种丰富度 Margalef 指数由大到小依次为: 灌木层>乔木层>藤本植物层>草本层; Shannon-Wiener 指数由大到小为: 灌木层>藤本植物层>乔木层>草本层; Pielou 指数依次为: 藤本植物层>灌木层>乔木层>草本层。因此, 九澳山海滨群落灌木层植物的物种多样性高于乔木层, 而草本层植物的物种多样性较低。

物种多样性指数对比: 九澳山海滨群落与附近其它 3 个澳门典型森林群落调查和分析的标准相同, 其中松山阴香群落是自然演替近 100 年的森林群落^[11], 青洲山的植被保存也较好^[10,21,22]。通过比较乔木层多样性指数(表 5)发现, 澳门 4 个群落的丰富度和均匀度指数相近。

表 3 九澳山海滨群落中树种重要值 ($IV \geq 3$)
Table 3 Importance values of Ka Ho Hill coastal community species ($IV \geq 3$)

生活型 Life form	物种 Species	株数 Number	平均高度(m) Mean height	重要值 IV
乔木	豹皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	188	3.77	83.18
乔木	台湾相思 <i>Acacia confusa</i>	62	7.04	82.64
乔木	亮叶铃 <i>Eurya nitida</i>	30	3.30	20.41
乔木	鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	21	4.03	19.02
乔木	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	29	3.92	18.15
乔木	木麻黄 <i>Casuarina equisetifolia</i>	7	17.86	13.80
乔木	白楸 <i>Mallotus paniculatus</i>	16	5.53	13.76
乔木	潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	4	4.98	7.43
乔木	九节 <i>Psychotria rubra</i>	6	2.08	6.75
乔木	广东蒲桃 <i>Syzygium kwangtungense</i>	6	3.87	6.34
乔木	秤星树 <i>Ilex asprella</i>	5	3.58	4.09
乔木	石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i>	5	2.30	3.98
乔木	箬椴 <i>Scolopia chinensis</i>	4	2.29	3.64
乔木	箬欏花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	3	3.50	3.43
乔木	梔子 <i>Gardenia jasminoides</i>	2	4.00	3.09
灌木	九节 <i>Psychotria rubra</i>	233	0.79	55.20
灌木	豹皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	169	0.41	48.27
灌木	假苹婆 <i>Sterculia lanceolata</i>	64	0.96	27.57
灌木	鸭脚木 <i>Schefflera heptaphylla</i>	78	0.49	21.29
灌木	白楸 <i>Mallotus paniculatus</i>	35	0.89	15.52
灌木	秤星树 <i>Ilex asprella</i>	28	0.83	15.08
灌木	潺槁木姜子 <i>Litsea glutinosa</i>	44	0.55	13.24
灌木	广东蒲桃 <i>Syzygium kwangtungense</i>	27	0.51	11.89
灌木	酒饼箭 <i>Atalantia buxifolia</i>	31	0.54	9.23
灌木	石斑木 <i>Rhaphiolepis indica</i>	4	1.58	8.46
灌木	箬欏花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	16	0.66	8.11
灌木	黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>	11	0.39	5.89
灌木	毛茛 <i>Melastoma sanguineum</i>	13	0.98	5.73
灌木	破布叶 <i>Microcos paniculata</i>	6	0.60	4.65
灌木	桃金娘 <i>Rhodomyrtus tomentosa</i>	4	1.18	4.59
灌木	山蒲桃 <i>Syzygium levinei</i>	9	0.38	3.68
灌木	山乌桕 <i>Sapium discolor</i>	8	0.33	3.31
灌木	血桐 <i>Macaranga tanarius</i>	5	0.30	3.25
草本	山麦冬 <i>Liriope spicata</i>	158	—	145.98
草本	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	18	—	33.82
草本	短叶黍 <i>Panicum brevifolium</i>	1	—	31.63
草本	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	19	—	24.23
草本	露兜草 <i>Pandanus austrosinensis</i>	13	—	21.85
草本	白子菜 <i>Gynura divaricata</i>	9	—	11.76
草本	天门冬 <i>Asparagus cochinchinensis</i>	5	—	9.28
草本	二花珍珠茅 <i>Scleria biflora</i>	6	—	7.44
草本	艳山姜 <i>Alpinia zerumbet</i>	1	—	6.26
草本	乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	1	—	5.07

表 4 九澳山海滨群落各层及整个群落的物种多样性
Table 4 Species diversity of the whole community and different layers of the Ka Ho Hill coastal community

层次 Layers	物种丰富度指数 Species abundance index (S)	物种丰富度 Margalef 指数 Species abundance index (Margalef)	多样性指数 Shannon-Wiener index (H')	均匀度指数 Evenness index (J_{sw})
乔木层 Arbor layer	21	3.3451	1.8860	0.6195
灌木层 Shrub layer	42	6.0890	2.4999	0.6688
草本层 Herb layer	12	2.4893	1.6658	0.6704
藤本植物 Liana	19	3.0639	2.0651	0.7014
整个群落 Whole community	82	10.9121	3.0859	0.7003

表 5 澳门 4 个不同植物群落(乔木层)物种多样性指数比较

Table 5 Comparison of species diversity index among four different plant communities (arbor layer) in Macau

序号 Order	森林群落 Forest community	面积 Site area (m ²)	丰富度指数 Richness index (S)	多样性指数 Diversity index (H')	均匀度指数 Evenness index (J _{sw})	数据来源 Reference
1	松山阴香群落	1200	24	2.1814	0.6864	宋贤利等 ^[11]
2	青洲山白楸+假苹婆+破布叶群落	1700	24	1.9119	0.6016	黄柳菁等 ^[21]
3	青洲山假柿木姜子群落	1100	26	1.6759	0.6044	梁冠欣等 ^[22]
4	九澳山海滨群落	1200	21	1.8860	0.6195	本实验

Notes: 1, *Cinnamomum burmannii* community in Guia Hill, Macau; 2, *Mallotus paniculatus* + *Sterculia lanceolata* + *Microcos paniculata* community in Ilha Verde Hill, Macau; 3, *Litsea monopetala* community in Ilha Verde Hill, Macau; 4, Coastal community of Ka Ho Hill, Macau.

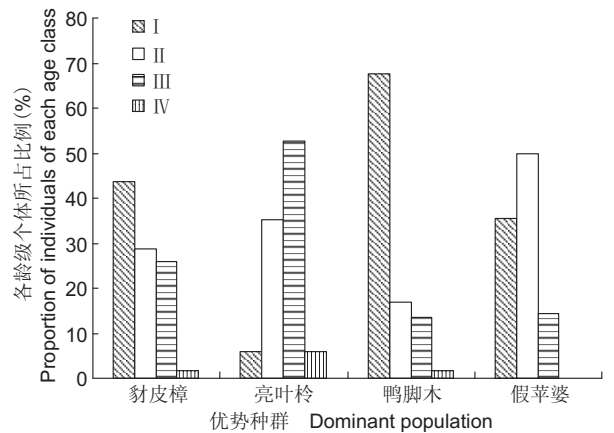
3.4 优势种的年龄结构

对优势种的立木级^[15,23]进行调查, 根据立木级(I级幼苗, 高度低于 33 cm; II级苗木, 高度高于 33 cm, 但胸径不足 2.5 cm; III级幼树, 胸径为 2.5~7.5 cm; IV级立木, 胸径在 7.5~22.5 cm; V级大树, 胸径大于 22.5 cm)绘制并分析群落中优势种种群的年龄结构图(图 1)。结果表明, 豺皮樟、亮叶桉、鸭脚木和假苹婆 I~III 径级的个体总数占 90%以上, V 级大树均不存在。因此, 优势种均属于增长型种群, 该群落处于幼龄阶段。

3.5 物种在样方中的分布及数量变动

优选植物并合理配置可以加速植被恢复进程^[3]。了解九澳山海滨群落单位面积每层相应树种分布情况, 可为生态恢复中植物配置提供指导^[24]。根据对 16 个 5 m×5 m 固定样方内物种的逐年统计, 将各层植物在 5 m×5 m 样方内的种类、株数、高度和盖度范围列入表 6, 选择植株数

量变化较稳定的样方内的种类和株数范围, 作为较合理的种类和株数参考配置范围, 为生态恢复植物选择、各层次数量配比等提供参考。



豺皮樟 (*Litsea rotundifolia* var. *oblongifolia*); 亮叶桉 (*Eurya nitida*); 鸭脚木 (*Schefflera heptaphylla*); 假苹婆 (*Sterculia lanceolata*)。

图 1 九澳山海滨群落优势种种群年龄结构

Fig. 1 Age-structure patterns of dominant populations of the Ka Ho Hill coastal community

表 6 九澳山海滨群落空间结构分布

Table 6 Spatial structure of the coastal plant community on Ka Ho Hill

指标 Index	乔木层 Arbor layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Herb layer
种数 Species No.	2~7	7~21	1~5
平均种数 Mean species No.	4.6	14.1	2.5
参考配置种数 Reference species No.	2~6	10~17	3
株数范围 Range of individual No.	7~22	13~30	2~31
平均株数 Mean individual No.	11.4	20.4	9.3
参考配置株数 Reference individual No.	7~15	10~20	10
最大高度 Maximum height (m)	7.5	3.2	0.5
平均高度 Mean height (m)	3.5	0.6	0.2
盖度范围 Coverage range (%)	80~100	16~100	1.2~5
平均盖度 Mean coverage (%)	98	32	2.1

注: 灌木层盖度为高度 ≥ 0.3 m 的植株盖度; 因九澳山海滨群落林间密集(郁闭度 0.80~0.95), 所以下文中用于生态恢复的植物配置模式未参考该表中盖度的数据。

Notes: Shrub layer for coverage of plant height ≥ 0.3 m; Because the Ka Ho hill coastal community is dense with forest canopy closer of 0.8~0.95, for the plant arrangement mode of ecological restoration, we don't refer to the coverage data in this table in the following.

4 讨论

4.1 九澳山海滨群落植被恢复评价

本研究九澳山海滨群落植被恢复后物种多样性较高,群落植株高度较低,优势种为增长种群。豺皮樟平均高度 3.77 m,最高个体为 8 m,表明九澳山海滨群落建群种低矮,这可能是由于群落仍处于幼龄阶段,或低矮化的群落更适应海滨的热带风暴和台风的特殊生境。

群落中物种数和个体数在一定程度上体现了该群落的发展阶段和稳定程度^[20]。九澳山与松山、青洲山等澳门邻近地区的森林群落相比,它们处于发展阶段和稳定程度的特征是相似的;相对于广东亚热带自然条件下形成的常绿阔叶林^[25](Shannon-Wiener 指数为 4~5, Pielou 指数为 0.7~0.8)而言,海滨群落物种多样性则较低。海滨植被的恢复与周边环境的种源有关,海岛次生林对海滨和整个岛屿物种库形成和维持有重要作用,需加强保护和管理海岛次生林。此外,如何完成海滨适生植物种类的生产、培育和推广等相关实践工作有待进一步研究。

4.2 植被恢复建议

4.2.1 海边适生树种推荐

随着生态恢复进程的推进,群落的组成结构和空间结构向着更复杂、较稳定的方向发展,并逐渐向地带性自然次生林的方向演替^[26,27]。海岛植被恢复选择适生关键种非常重要^[28],因此建议将群落中重要值高、生长良好的地带性乡土树种作为植被恢复的优选物种(表 7),这些植物种类亦是南亚热带海岛适生种^[29]。

4.2.2 适当引种上层乔木种类

台湾相思和木麻黄构成了海滨群落的最高层,推测其在初期群落组织结构构建中具有一定作用,利于形成群落内温湿的小气候环境,因此可利用台湾相思和木麻黄速生抗逆的特性^[13,30],将它们栽植在立地条件不好的海滨光裸地以促进植被的前期恢复。但从目前群落的物种组成和结构分析来看,乡土树种优势已超过台湾相思和木麻黄;同时调查还发现,台湾相思已出现老化死亡,木麻黄生长过程中也有自疏现象^[30],两者林下未见更新幼株,因

表 7 海滨适生植物推荐名录
Table 7 Recommended plant list of the coast

物种	Species
豺皮樟	<i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>
亮叶桉	<i>Eurya nitida</i>
鸭脚木	<i>Schefflera heptaphylla</i>
假苹婆	<i>Sterculia lanceolata</i>
白楸	<i>Mallotus paniculatus</i>
潺槁木姜子	<i>Litsea glutinosa</i>
九节	<i>Psychotria rubra</i>
广东蒲桃	<i>Syzygium kwangtungense</i>
秤星树	<i>Ilex asprella</i>
石斑木	<i>Rhaphiolepis indica</i>
簕竹	<i>Scolopia chinensis</i>
箭欏花椒	<i>Zanthoxylum avicennae</i>
栀子	<i>Gardenia jasminoides</i>
毛茛	<i>Melastoma sanguineum</i>
银柴	<i>Aporosa dioica</i>
野漆	<i>Toxicodendron succedaneum</i>
盐肤木	<i>Rhus chinensis</i>
黑面神	<i>Breynia fruticosa</i>
破布叶	<i>Microcos paniculata</i>
桃金娘	<i>Rhodomyrtus tomentosa</i>
山蒲桃	<i>Syzygium levinei</i>
山乌柏	<i>Sapium discolor</i>
血桐	<i>Macaranga tanarius</i>
黄牛木	<i>Cratoxylum cochinchinense</i>
小果叶下珠	<i>Phyllanthus reticulatus</i>
多花野牡丹	<i>Melastoma malabathricum</i>
硃砂根	<i>Ardisia crenata</i>
山麦冬	<i>Liriope spicata</i>
海金沙	<i>Lygodium japonicum</i>

此海滨植被后期恢复不宜采用。地带性植被形成后,上层乔木应进行林分改造以增加其多样性与乡土林分,促进群落恢复为顶极植被。广东南部电白小良试验站^[27]为热带赤红壤海滨,其生态恢复试验用的种类,如土沉香(*Aquilaria sinensis*)、小叶厚皮香(*Ternstroemia microphylla*)、丛花山矾(*Symplocos poilanei*)、楝叶吴萸(*Tetradium glabrifolium*)、厚壳桂(*Cryptocarya chinensis*)等在引种工作中可以参考使用。

4.2.3 增加草本种类,提高草本层植物多样性

自然常绿阔叶林的灌木层、草本层的多样性指数和均匀度指数较接近^[31,32]。九澳山海滨群落草本层物种多样性较低,与附近松山阴香群落草本层^[11]相比,植物分布也较稀疏。生态恢复时可适当增加草本层种类,强化群落的生态功能。据王发

国等对澳门路环海边灌丛的调查^[12], 可推荐使用的重要值较大的草本层种类有: 细毛鸭嘴草(*Ischaemum ciliare*)、了哥王(*Wikstroemia indica*)、扭鞘香茅(*Cymbopogon tortilis*)、琴叶紫菀(*Aster panduratus*)、山菅(*Dianella ensifolia*)、兰香草(*Caryopteris incana*)等。

4.2.4 生态恢复植物配置参考

人工构建多层次多树种的乡土混交林可促进森林群落的演替进程^[27], 降低养护成本, 增加地域特色^[33]。参照本研究表 6 的参考配置数据提出了海滨生态恢复的树种参考配置模式(表 8)。该配置

表 8 海滨群落生态恢复的植物配置模式参考

Table 8 Reference model of plant arrangement for ecological restoration of the coastal plant community

层次 Layer	高度 Height	植物配置种类 Species of plant arrangement
乔木层 Arbor layer	6~18 m 2~6 m	台湾相思+木麻黄 豺皮樟+鸭脚木+亮叶柃+假苹婆
灌木层 Shrub layer	1~2 m	九节+豺皮樟+假苹婆+白楸+秤星树+潺槁木姜子+广东蒲桃+酒饼簕+石斑木+黑面神+桃金娘
草本层 Herb layer	< 0.5 m	山麦冬+海金沙+天门冬+露兜草

是指在 5 m × 5 m 样方面积内各层相应树种, 其中草本层种类较九澳山海滨群落有一定增加。台湾相思和木麻黄构成的 6~18 m 上层乔木树种可由其它乡土乔木替代; 重要值 ≥ 3 的白楸、籐柃(*Scolopia chinensis*)、籐欏花椒(*Zanthoxylum avicennae*)、梔子(*Gardenia jasminoides*)、黑面神(*Breynia fruticosa*)、毛茛(*Melastoma sanguineum*)、破布叶(*Microcos nervosa*)、山蒲桃(*Syzygium levinei*)、山乌柏(*Sapium discolor*)、血桐(*Macaranga tanarius*)等也是灌木层中可选择种类。

参考文献:

[1] 任海, 彭少麟, 陆宏芳. 退化生态系统恢复与恢复生态学[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1756-1764.
 [2] 任海, 彭少麟. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 11-14.
 [3] 郭晓敏, 牛德奎, 刘苑秋, 杜天真, 肖舜祯, 叶学华. 江西省不同类型退化荒山生态系统植被恢复与重建措施[J]. 生态学报, 2002, 22(6): 877-884.
 [4] 王树功, 杨海生, 周永章, 黎夏, 覃朝锋, 陈桂珠.

湿地植物生长模型在红树林湿地人工恢复调控中的应用——以珠江口淇澳岛红树林湿地恢复为例[J]. 西北植物学报, 2006, 25(10): 2024-2029.
 [5] 周厚诚, 任海, 彭少麟. 广东南澳岛植被恢复过程中的群落动态研究[J]. 植物生态学报, 2001, 25(3): 298-305.
 [6] 彭少麟. 中国亚热带退化生态系统的恢复及其生态效应[J]. 应用与环境生物学报, 1995, 1(4): 403-414.
 [7] 张华兵. 自然和人为影响下海滨湿地景观演变特征与机制研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013: 1-133.
 [8] 彭逸生, 周炎武, 陈桂珠. 红树林湿地恢复研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 786-797.
 [9] 邢福武, 秦新生, 严岳鸿. 澳门的植物区系[J]. 植物研究, 2004, 23(4): 472-477.
 [10] 曾凤, 张荣京, 邢福武, 张素梅, 潘永华, 陈红锋. 澳门青洲山翻白叶树群落特征及物种多样性研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(8): 1684-1691.
 [11] 宋贤利, 邢福武, 易绮斐, 郭菲力. 澳门松山阴香群落特征及物种多样性研究[J]. 福建林业科技, 2013, 40(3): 1-7.
 [12] 王发国, 邢福武, 叶华谷, 严岳鸿. 澳门路环岛灌丛群落的特征[J]. 植物研究, 2005, 25(2): 236-241.
 [13] 彭少麟, 陆宏芳, 梁冠峰. 澳门离岛植被生态恢复与重建及其效益[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 301-305.
 [14] 施达时, 白加路. 离岛绿化区的发展[M]. 周庆忠译. 澳门: 澳门民政总署, 2002: 22-55.
 [15] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟. 植物群落学实验手册[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1996: 8-30.
 [16] 方精云, 王襄平, 沈泽昊, 唐志尧, 贺金生, 于丹, 江源, 王志恒, 郑成洋, 朱江玲, 郭兆迪. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性, 2009, 17(6): 533-548.
 [17] 林鹏. 植物群落学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 45-67.
 [18] 杨晓丽, 邢福武, 陈树钢, 曾庆文. 广东省南昆山自然保护区厚叶木莲的群落特征研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2013, 21(4): 356-364.
 [19] 张祝平, 丁明懋, 何道泉. 鼎湖山黄果厚壳桂群落的组成种类和结构特征[J]. 热带地理, 1993, 13(4): 351-357.

- [20] 彭少麟, 王伯荪. 鼎湖山森林群落分析 I. 物种多样性[J]. 生态科学, 1983(1): 11-17.
- [21] 黄柳菁, 张荣京, 王发国, 郑希龙, 陈红锋, 邢福武. 澳门青洲山白楸 + 假苹婆 + 破布叶群落特征研究[J]. 武汉植物学研究, 2010, 28(1): 81-89.
- [22] 梁冠欣, 郑希龙, 王发国, 邢福武, 张素梅, 潘永华. 澳门青洲山假柿木姜子群落特征及多样性研究[J]. 林业资源管理, 2009(4): 54-60.
- [23] 王伯荪. 植物种群学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 8-20.
- [24] 张佳平, 丁彦芬. 江苏云台山糙叶树群落调查及植物配置模式研究[J]. 中国园林, 2013, 29(4): 18-23.
- [25] 彭少麟. 南亚热带森林群落动态学[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 30-101.
- [26] 彭少麟, 余作岳, 张文其, 曾小平. 鹤山亚热带丘陵人工林群落分析[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1992, 16(1): 1-10.
- [27] 曹洪麟, 余作岳. 广东南部电白小良试验站 4 种森林群落结构的对比研究[J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(4): 315-319.
- [28] 任海, 李萍, 周厚诚, 张倩媚. 海岛退化生态系统的恢复[J]. 生态科学, 2001, 20(1, 2): 60-64.
- [29] 周劲松, 王发国, 邢福武, 周锦超, Corlett RT. 香港蒲苔群岛植物物种多样性与植被的研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(Sup. 6): 236-241.
- [30] 徐馨, 王法明, 邹碧, 李钦禄, 王刚, 李应文, 凌清云, 李志安. 不同林龄木麻黄人工林生物多样性与土壤养分状况研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(9): 1514-1522.
- [31] 彭少麟, 陈章和. 广东亚热带森林群落物种多样性[J]. 生态科学, 1983(2): 98-104.
- [32] 彭少麟, 周厚诚, 陈天杏, 郭少聪. 广东森林群落的组成结构数量特征[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1989, 13(1): 10-17.
- [33] 任斌斌, 李树华. 模拟延安地区自然群落的植物景观设计研究[J]. 中国园林, 2010(5): 87-90.

(责任编辑: 刘艳玲)