

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.22324

许洛山, 李亮, 王万胜, 杜运才, 汪彦颖, 朱晓彤, 梁启明, 刘翔宇, 阎恩荣. 海岛大径级树木健康评价指标体系构建——以上海大金山岛为例 [J]. 植物科学学报, 2023, 41(5): 573~582

Xu MS, Li L, Wang WS, Du YC, Wang YY, Zhu XT, Liang QM, Liu XY, Yan ER. Construction of a health evaluation index system for large-diameter trees on islands: a case study of Dajinshan Island, Shanghai [J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(5): 573~582

海岛大径级树木健康评价指标体系构建 ——以上海大金山岛为例

许洛山¹, 李亮¹, 王万胜², 杜运才², 汪彦颖², 朱晓彤¹,
梁启明¹, 刘翔宇¹, 阎恩荣^{1*}

(1. 浙江普陀山森林生态系统定位观测研究站, 华东师范大学生态与环境科学学院, 上海 200241;

2. 上海市金山区海洋海塘管理所, 上海 201508)

摘要: 大径级树木是维持森林群落结构稳定性的主体。海岛由于特殊的生物地理环境蕴育着数量可观的大径级树木。本文以上海大金山岛 168 株大径级树木为对象, 调查了影响树木生长的生物和非生物因素, 根据敏感性分析筛选出 12 个反映海岛大径级树木健康的关键指标; 利用层次分析法构建了海岛大径级树木健康评价指标体系, 并评价每株个体的健康程度。结果显示: (1) 大金山岛大径级树木中, 25 株为古树, 37 株为古树后续资源。朴树 (*Celtis sinensis* Pers.)、桑 (*Morus alba* L.)、麻栎 (*Quercus acutissima* Carr.) 和乌桕 (*Triadica sebifera* (L.) Small) 是上海市现存的最大古树; 山合欢 (*Albizia julibrissin* Durazz.)、野鸦椿 (*Eucaphis japonica* (Thunb. ex Roem. et Schult.) Kanitz)、红楠 (*Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.)、鸡桑 (*Morus australis* Poir.)、豆梨 (*Pyrus calleryana* Decne.)、柃木 (*Eurya nitida* Korth.)、青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.) 是未纳入上海市古树名录中的最大古树。(2) 指标体系中, 准则层权重大小为生物因素>立木状况>生长环境; 指标层中叶片病害程度、攀援藤本盖度、树干病害程度、邻体空间挤压程度和枯枝比权重较大, 各占约 10%。(3) 54% 的大径级树木存在不同程度的健康问题。豆梨、棟 (*Melia azedarach* L.)、丝棉木 (*Euonymus maackii* Rupr.)、构树 (*Broussonetia papyrifera* (L.) L' Hér. ex Vent.)、白檀 (*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.)、野鸦椿、黄檀 (*Dalbergia hupeana* Hance) 和算盘子 (*Glochidion puberum* (L.) Hutch.) 的健康状况相对较差。

关键词: 古树资源; 海岛保护管理; 评价指标体系; 森林群落; 生物多样性; 叶片病害

中图分类号: S718.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2023)05-0573-10

Construction of a health evaluation index system for large-diameter trees on islands: a case study of Dajinshan Island, Shanghai

Xu Ming-Shan¹, Li Liang¹, Wang Wan-Sheng², Du Yun-Cai², Wang Yan-Ying², Zhu Xiao-Tong¹,
Liang Qi-Ming¹, Liu Xiang-Yu¹, Yan En-Rong^{1*}

(1. Putuo Forest Ecosystem Research and Observation Station, School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China; 2. Jinshan Ocean and Coast Management Institute, Shanghai 201508, China)

Abstract: Large-diameter trees are essential for stabilizing forest community structure. Due to their unique

收稿日期: 2022-12-05, 修回日期: 2023-01-10。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(32030068); 福建省海洋生态保护与修复重点实验室开放基金项目(EPR2020007)。

This work was supported by grants from the State Key Program of the National Natural Science Foundation of China (32030068) and Open finding of Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration (EPR2020007).

作者简介: 许洛山(1988-), 男, 博士, 工程师, 研究方向为岛屿生物地理学(E-mail: xums0123@163.com)。

* 通讯作者 (Author for correspondence. E-mail: eryan@des.ecnu.edu.cn)。

biogeographical environment, islands harbor a significant number of large-diameter trees. In this study, we investigated 17 biotic and abiotic factors affecting 168 large-diameter trees on Dajinshan Island. Using the analytic hierarchy process, we selected 12 high- and medium-sensitivity indices and constructed a three-level health evaluation system for large-diameter trees on islands. Results revealed that: (1) On Dajinshan Island, 25 large-diameter trees were categorized as old trees and 37 were categorized as prospective old tree resources. The largest existing old trees in Shanghai include *Celtis sinensis* Pers., *Morus alba* L., *Quercus acutissima* Carr., and *Triadica sebifera* (L.) Small. Several species, including *Albizia julibrissin* Durazz., *Euscaphis japonica* (Thunb. ex Roem. et Schult.) Kanitz, *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc., *Morus australis* Poir., *Pyrus calleryana* Decne., *Eurya nitida* Korth., and *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst., were identified as the largest old trees not previously included in the list of old trees in Shanghai. (2) For the tree health evaluation system, biological factors ranked as the most crucial, followed by stand condition and growing environment. In the index layer, factors such as leaf disease degree, coverage of climbing liana, degree of tree disease, space compression from neighbors, and dead branch ratio carried higher weights, nearing 10%. (3) Approximately 54% of the large-diameter trees on Dajinshan Island exhibited varying health problems. *Pyrus calleryana* Decne., *Melia azedarach* L., *Euonymus maackii* Rupr., *Broussonetia papyrifera* (L.) L' Hér. ex Vent., *Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq., *Euscaphis japonica* (Thunb. ex Roem. et Schult.) Kanitz, *Dalbergia hupeana* Hance, and *Glochidion puberum* (L.) Hutch. exhibited relatively poor health conditions.

Key words: Old tree resources; Island protection management; Evaluation index system; Forest communities; Biodiversity; Leaf disease

海岛因自然隔离、独特的生物地理环境等孕育着丰富的植被类型、地方特有物种以及数量可观的大径级树木^[1-3]。大径级树木是维持海岛森林生态系统结构完整性的主体,不仅是珍贵林木的种质资源,而且为其他生物提供栖息生境^[4, 5]。随着海岛开发利用的加剧,其植物多样性受到极大威胁,尤其对大径级树木的破坏更为严重^[6, 7]。因此,亟需对海岛大径级树木的健康状况进行诊断和评估,以促进对海岛稀有植物资源生存现状的认识,并为有针对性地保护海岛重点植物种群提供科学依据。

研究表明,树势、树木结构、生长环境、树干状况、叶片衰弱程度、病虫害、藤本植物、地表覆盖情况、树干倾斜度、土壤容重、砂粒含量、海拔、树龄、酸雨等是影响大径级树木健康状况的重要因素^[8-12]。随着声波激光技术、声断层扫描技术和应力波断层成像技术的应用,人们发现,树木体内虫害、腐烂程度和空洞等也是大径级树木健康评价的关键因素^[13-15]。由于影响大径级树木健康的因素相互间复杂交互,因此需要根据因素间的相互关系,采用科学的方法构建大径级树木健康评价指标体系。大量研究从树木整体状况、树冠、树干和根部等4个方面构建大径级树木健

康评价指标体系,包括树势、倾斜、枯枝腐枝比、顶梢枯死、叶斑或变色、病害、虫害、寄生、干基腐朽、树干洞穴、树干损伤、枝叶密度、树干病虫害、枝叶萌芽萌蘖、树根损伤和根部通气透水性等指标^[16-19]。

虽然大径级树木健康评价体系及指标相对较多,但是不完全适用于海岛。由于海岛特殊的生境、气候和植物群落,以及植物的生长和耐性与大陆植物有差别^[3, 20],因此需要构建适用于海岛大径级树木健康状况评价的指标体系。大金山岛是上海市野生植物资源和乡土植物基因最为丰富的区域^[21]。自1978年驻岛部队撤离后,实施封岛管理,岛上大径级树木得以保存和发育。但目前部分大径级树木生长不良,立地环境较差,受胁迫严重。因此,亟需以大金山岛为例,构建一套适用于海岛大径级树木健康评价的指标体系,以深化森林大径级树木健康评价理论,为海岛大径级树木健康诊断和保护提供支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

大金山岛(30°41.5'N, 121°25'E)位于上海

市西南角的杭州湾, 呈菱形, 最长处 963 m, 最宽处 437 m。面积仅 0.23 km^2 , 最高海拔 103.4 m。岛上土壤为褐色山地黄壤, pH 值在 4.5~4.7。年均温 16.4 ℃, 年均降水量 1 020 mm。岛上除亚热带常绿阔叶林保存良好, 大部分为自然和半自然植被^[21]。植被类型有落叶阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、常绿阔叶林、落叶阔叶灌丛、常绿落叶阔叶混交灌丛、常绿阔叶灌丛和草丛。共有种子植物 338 种, 隶属 105 科 238 属^[22-24]。

1.2 大径级树木生长状况调查

2017 年 7~9 月, 基于大金山岛 140 个小班格网 ($40 \text{ m} \times 40 \text{ m}$) 的植物群落调查^[24], 将全岛所有围径 $> 75 \text{ cm}$ 的树木 (个别生长缓慢的树种 $< 75 \text{ cm}$), 定义为大径级树木^[25]。逐株用 GPS 定位、挂牌, 测量基径、胸径、树高、横冠和纵冠, 调查树木倒伏度、枯枝比、攀援藤本覆盖度、树皮完整性、叶片盖度、叶片和干材病虫害症状等。同时, 逐株调查周边邻体植株的空间挤压程度、碎石比、海拔和坡度等。测量方法和标准如下, 树高: 用树高测定仪测量; 胸径: 用胸径尺在树高 1.3 m 处测量围径, 再换算为胸径。横冠和纵冠: 树冠南北方向和东西方向的长度, 测量者站在树下依次在东南西北方向观察树冠边缘, 然后用皮尺测量树冠边缘到树干的距离。冠层深度: 树高

与枝下高的差值。树冠曝光度: 植物树冠接受太阳直射光面积占树冠面积的比例。叶片盖度: 树冠所有叶片投影到地面的比例。枯枝比: 枯死枝条数量占各级枝条数量的百分比。树皮完整性: 用网格法量化完整树皮占整个树干的比例。倒伏度: 树干方向与垂直方向的夹角。叶片病害程度: 随机摘取 20~30 片树叶, 量化受损叶片占树木叶片总数的百分比。攀援藤本盖度: 攀援植物覆盖树体的百分比。树干病害程度: 病害面积所占树干表面积的百分比。邻体空间挤压程度: 邻体树冠与目标树冠重叠面积占目标树冠面积的比例。碎石比: 地表碎石面积占树冠垂直投影面积的比例。坡度: 在树木基部用地质罗盘仪测定。海拔: 在树木主干位置用 GPS 测定。

按以上径级标准, 共调查到 168 株大径级树木, 主要分布于岛体两侧和东北坡面 (图 1)。随后, 对于上海市古树名录中已有的物种, 通过对比围径标准确定古树及其后续资源。对于上海市古树名录中未收录的物种, 由专家鉴定给出古树及古树后续资源标准。

1.3 大径级树木健康诊断和评价指标筛选

为了评价依据的科学性和合理性, 按照可操作性、灵敏性和科学性原则选择评价指标^[26]。评价体系要尽可能地涵盖影响树木健康的直观性指标,

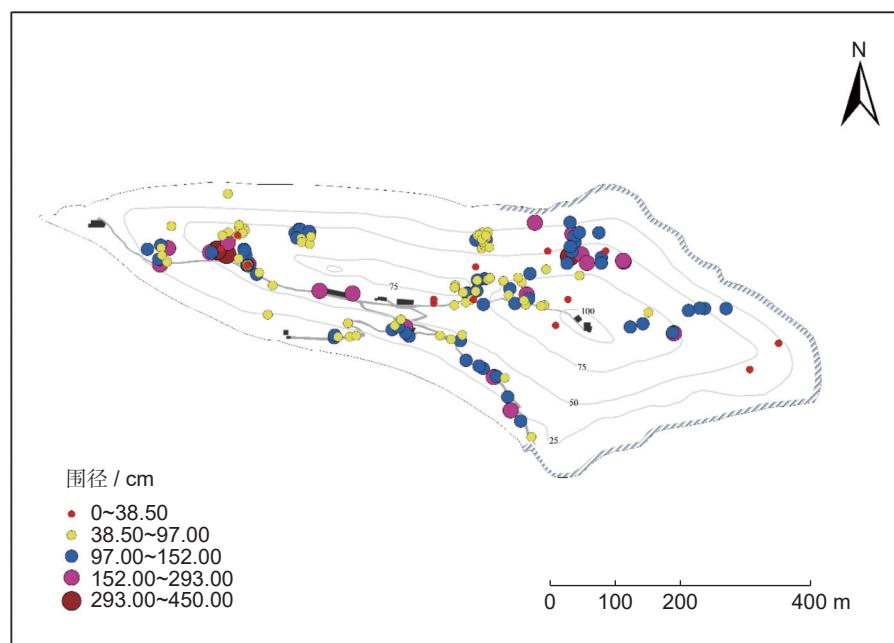


图 1 大金山岛大径级树木分布格局
Fig. 1 Distribution patterns of large-diameter trees on Dajinshan Island

如形态和外在症状, 可通过诊断枝、叶、茎、根等器官的生长状况以及受外在生物、非生物因素胁迫特征来判断^[27]。根据以上原则, 本文选取了 17 个表征大径级树木健康状况的指标, 包括立木状况: 树高、胸径、纵冠、横冠、冠层深度、树冠曝光度、叶片盖度、枯枝比、树皮完整性和倒伏度; 生物因素: 叶片病害程度、攀援藤本盖度、树干病害程度和邻体空间挤压程度^[10]; 生长环境: 碎石比、海拔和坡度。

虽然反映树木健康状况的指标很多, 但树木对健康评价指标的响应和敏感度差异很大^[28]。因此, 根据各指标的变异系数 (CV) 来确定敏感性, 再根据敏感性程度筛选评价指标^[29]。敏感性标准为: $CV < 10\%$, 不敏感; $10\% \leq CV < 30\%$, 低敏感;

$30\% \leq CV < 60\%$, 中敏感; $CV \geq 60\%$, 高敏感。本研究的 17 个评价指标中, 高敏感性指标有: 攀援藤本盖度、树干病害程度、邻体空间挤压程度、叶片病害程度、枯枝比、碎石比和坡度; 中敏感度指标包括胸径、纵冠、横冠、冠层深度和海拔; 低敏感度指标包括树冠曝光度、树高、叶片盖度和倒伏度; 不敏感指标为树皮完整性。后续选择高、中敏感性指标构建海岛大径级树木健康评价指标体系。

1.4 大径级树木健康评价指标等级划分

为克服指标间的不可比性, 使指标间的变化趋势具有统一的评价标准, 根据量化标准, 对所选择的高、中敏感性指标进行等级划分和赋值 (表 1)。

表 1 大径级树木健康评价指标等级划分
Table 1 Classification of health evaluation index of large-diameter trees

评价指标 Evaluation index	量化标准 Quantitative criteria	特征及赋值 Characteristics and score assignment
立木状况	枯枝比 / %	枯死枝条占各级枝条数量的百分比 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
	冠层深度 / m	树高与枝下高的差值 5: (> 8) m、4: [6, 8) m、3: [4, 6) m、 2: [2, 4) m、1: [0, 2) m
	横冠 / m	树冠南北方向的长度 5: (> 20) m、4: [15, 20) m、3: [10, 15) m、 2: [5, 10) m、1: [0, 5) m
	纵冠 / m	树冠东西方向的长度 5: (> 20) m、4: [15, 20) m、3: [10, 15) m、 2: [5, 10) m、1: [0, 5) m
	胸径 / cm	高度在 1.3 m 处的直径 5: (> 120) cm、4: [90, 120) cm、3: [60, 90) cm、 2: [30, 60) cm、1: [0, 30) cm
生物因素	树干病害程度 / %	病害面积占树干表面积的百分比 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
	攀援藤本盖度 / %	攀援植物覆盖树体的百分比 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
	邻体空间挤压程度 / %	邻体树冠与目标树冠重叠面积占 目标树冠面积的比例 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
	叶片病害程度 / %	受损叶片占叶片总数的百分比 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
	碎石比 / %	地表碎石面积与树冠垂直投影面积的比例 5: [0%, 5%)、4: [5%, 25%)、3: [25%, 50%)、 2: [50%, 75%)、1: [75%, 100%]
生长环境	坡度 / °	地质罗盘仪实测 5: [0°, 10°)、4: [10°, 20°)、3: [20°, 30°)、 2: [30°, 40°)、1: (> 40°)
	海拔 / m	GPS 实测 5: [0, 25) m、4: [25, 50) m、3: [50, 75) m、 2: [75, 100) m、1: (> 100) m

1.5 大径级树木健康评价指标体系构建

利用层次分析法构建海岛大径级树木健康评价指标体系。目标层 (A) 为大径级树木健康程度; 准则层 (B) 为立木状况 (B₁)、生物因素 (B₂) 和生长环境 (B₃); 指标层 (C) 包括立木状况的冠层深度 (C₁)、横冠 (C₂)、纵冠 (C₃)、胸

径 (C₄)、枯枝比 (C₅), 生物因素的邻体空间挤压程度 (C₆)、叶片病害程度 (C₇)、树干病害程度 (C₈)、攀援藤本盖度 (C₉), 生长环境的海拔 (C₁₀)、坡度 (C₁₁)、碎石比 (C₁₂)。根据大径级树木健康指标值, 用指标层中各指标的标准化数据进行两两比较, 建立判断矩阵, 分别

运算判断矩阵, 求解特征向量, 得到各层次指标的权重值。之后进行随机一致性检验, 计算判断矩阵的随机一致性比率 (CR)。根据许树柏^[30]的方法, CR 为一致性指标 CI 与平均随机一致性指标 RI 的比值。当 $CR < 0.1$ 时, 即可认为判断矩阵具有满意的一致性, 说明权重分配合理。最后, 得到指标层中各评价指标在总排序中的权重值, 并确定评价指标权重, 通过矩阵一致性检验, 获得权重系数。

依据评价指标及权重系数计算树木健康程度值, 公式如下:

$$A = \sum_{i=1}^n C_i W_i \quad (1)$$

式中, C_i 为评价指标, W_i 表示相应评价指标的权重值。A 为树木的健康程度值, 满分为 5 分, 各得分区间所代表的健康程度为: $A = 5$, 树木健康状况良好, 不存在健康问题; $4 \leq A < 5$, 树木健康状况较好, 存在轻微问题; $3 \leq A < 4$, 树木健康状况一般, 存在一定的问题; $2 \leq A < 3$, 树木健康状况较差, 存在较严重问题; $1 \leq A < 2$, 树木健康状况很差, 严重受损。获得每株树木的健康值后, 计算物种水平上的平均值。树木健康程度定义: 健康, 4.2~5.0; 亚健康, 4.0~4.2; 一般健康, 3.8~4.0; 健康程度较差, < 3.8。最后统计各健康值区间树木的数量。所有分析均在 R 4.2.1 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 大径级树木的数量特征

大金山岛大径级树木共 168 株, 隶属 22 种, 15 科, 21 属 (表 2)。其中, 朴树 (*Celtis sinensis* Pers.) 最多 (41 株), 麻栎 (*Quercus acutissima* Carr.) (28 株) 和红楠 (*Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.) (21 株) 次之, 白檀 (*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.)、柃木 (*Eurya nitida* Korth.)、鸡桑 (*Morus australis* Poir.)、桑 (*Morus alba* L.)、算盘子 (*Glochidion puberum* (L.) Hutch.) 和樟 (*Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl) 仅 1 株。悬铃木 (*Platanus orientalis* L.) 的平均胸径最大 (53.87 cm), 鸡桑次之 (43.13 cm), 青冈 (*Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oerst.) 和麻栎分别为 37.32 cm 和 38.82 cm, 算盘子仅 15.28 cm; 椿叶花椒 (*Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc.) 的平均株高最大 (11.60 m), 柃木最小 (3.50 m); 平均冠幅青冈最大 (125.34 m^2), 算盘子最小 (5.89 m^2), 近半数物种 (11 种) 的平均冠幅在 $20\text{--}50 \text{ m}^2$ 。

glaucia (Thunb.) Oerst.) 和麻栎分别为 37.32 cm 和 38.82 cm, 算盘子仅 15.28 cm; 椿叶花椒 (*Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc.) 的平均株高最大 (11.60 m), 柃木最小 (3.50 m); 平均冠幅青冈最大 (125.34 m^2), 算盘子最小 (5.89 m^2), 近半数物种 (11 种) 的平均冠幅在 $20\text{--}50 \text{ m}^2$ 。

大金山岛现有 25 株古树, 属 14 个物种。其中, 朴树最多 (7 株), 红楠和青冈各 3 株, 山合欢 (*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain)、丝棉木 (*Eouonymus maackii* Rupr.)、野鸦椿 (*Euscaphis japonica* (Thunb. ex Roem. et Schult.) Kanitz)、鸡桑、豆梨 (*Pyrus calleryana* Decne.)、柃木、乌柏 (*Triadica sebifera* (L.) Small)、悬铃木仅 1 株。大金山岛有上海市最大的朴树、桑、麻栎和乌柏。山合欢、野鸦椿、红楠、鸡桑、柃木、青冈、豆梨有上海市古树名木中未登记的最大古树。大金山岛有 37 株古树后续资源, 隶属 13 个物种 (表 2)。其中, 麻栎 (9 株)、豆梨 (5 株) 和黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge) (5 株) 最多, 黄檀 (*Dalbergia hupeana* Hance)、丝棉木和椿叶花椒各 1 株 (表 2)。

2.2 大径级树木健康评价指标体系

大径级树木健康评价指标体系的准则层权重依次为生物因素、立木状况和生长环境。生物因素中, 邻体空间挤压程度、叶片病害程度、树干病害程度、攀援藤本盖度的权重均在 0.10 左右; 立木性状中, 枯枝比权重最大, 冠层深度次之, 胸径最小; 生长环境中, 碎石比、坡度和海拔的权重分别为 0.09、0.08 和 0.08 (表 3)。

2.3 大径级树木的健康程度

从各物种不同径级个体来看, 叶片病害程度、攀援藤本盖度、邻体空间挤压程度和枯枝比能较好地反映树木的健康程度, 坡度和碎石比次之, 横冠、纵冠和胸径等最低。总体而言, 约半数 (76 株, 45.24%) 的大径级树木健康状况较好, 其中, 朴树 (20 株) 和麻栎 (20 株) 居多, 其次是青冈 (10 株) 和红楠 (9 株)。54.17% 的大径级树木健康状况一般, 其中, 朴树最多 (21 株), 红楠 (12 株) 次之。健康状况较差的树木仅有 1 株。在物种水平上, 青冈和悬铃木为健康; 麻栎、鸡桑、朴树为亚健康; 柃木、乌柏、黄连木等处

表 2 大金山岛大径级树木汇总
Table 2 Summary of large-diameter trees on Dajinshan Island

物种名称 Species name	株数 Number	平均胸径 Average diameter atbreast height / cm	平均株高 Average height / m	平均冠幅 Average crown / m ²	古树标准 Criterion of old trees / cm	古树株数 Number of old trees / cm	古树最大 直径 Maximum perimeter of old trees / cm	上海市古树 古树量 Criterion of subsequent resources / cm	后续资源 标准 Number of subsequent resources / cm	
朴树 <i>Celtis sinensis</i> Pers.	41	37.25 ± 2.18	9.72 ± 0.38	64.91 ± 10.60	>165	7	250/140/100	240	141~157	2
麻栎 <i>Quercus acutissima</i> Carr.	28	38.82 ± 2.24	11.32 ± 0.36	35.44 ± 3.33	>165	2	221	169	126~157	9
红楠 <i>Machilus thunbergii</i> Siebold et Zucc.	21	29.47 ± 1.58	10.69 ± 0.54	58.47 ± 13.59	>130	3	143		110~130	2
青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> (Thunb.) Oerst.	12	37.32 ± 6.58	10.00 ± 0.43	125.34 ± 19.34	>150	3	450 (分支和)		110~126	3
豆梨 <i>Pyrus calleryana</i> Decne.	12	31.29 ± 1.55	7.21 ± 0.21	30.24 ± 5.74	>130	1	133		100~130	5
丝棉木 <i>Euonymus maackii</i> Rupr.	7	33.29 ± 4.10	7.29 ± 0.46	22.68 ± 2.03	>175	1	183	285	119~120	1
黄连木 <i>Pistacia chinensis</i> Bunge	6	33.00 ± 3.86	9.33 ± 0.84	46.73 ± 10.50	>135	1	140	190	78~94	5
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i> (L.) Hér. ex Vent.	5	35.07 ± 5.02	9.30 ± 0.89	22.83 ± 6.07					120~150	2
野桐 <i>Mallotus japonicus</i> (Thunb.) Muell.	5	30.03 ± 3.47	7.42 ± 0.66	32.52 ± 4.68					125~140	2
椿叶花椒 <i>Zanthoxylum ailanthoides</i> Siebold et Zucc.	5	23.96 ± 1.89	11.60 ± 0.93	17.62 ± 2.69					90~100	1
樟 <i>Meles azedarach</i> L.	4	25.86 ± 1.21	10.25 ± 1.48	20.62 ± 2.34						
悬铃木 <i>Platanus orientalis</i> L.	4	53.87 ± 10.16	11.13 ± 0.97	44.08 ± 13.61	>200	1	220		157~240	2
乌柏 <i>Triadica sebifera</i> (L.) Small	3	41.91 ± 10.75	9.50 ± 1.32	31.02 ± 5.28	>165	1	199	180		
山合欢 <i>Albizia kaalkora</i> (Roxb.) Prain	3	36.29 ± 1.46	8.00 ± 0.29	27.56 ± 3.30	>120	1	123		110~120	2
野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i> (Thunb.) ex Roem. et Schult. (Kanitz)	3	30.98 ± 5.59	10.33 ± 0.33	19.64 ± 3.93	>130	1	132			
黄檀 <i>Dalbergia hupeana</i> Hance	3	22.60 ± 3.15	8.17 ± 1.36	21.84 ± 7.89					85~110	1
鸡桑 <i>Morus australis</i> Poir.	1	43.13	9.00	14.14	>130	1	136			
桑 <i>Morus alba</i> L.	1	33.10	12.00	70.69	>170	1	367	310		
樟 <i>Cinnamomum camphora</i> (L.) J. Presl	1	25.46	12.80	17.20						
柃木 <i>Eurya nitida</i> Korth.	1	23.57	3.50	12.16	>70	1	74			
白檀 <i>Symplocos paniculata</i> (Thunb.) Miq.	1	18.78	6.00	15.71						
算盘子 <i>Glochidion puberum</i> (L.) Hutch.	1	15.28	9.00	5.89						

表3 大径级树木健康评价体系与指标权重
Table 3 Health evaluation system and index weights of large-diameter trees

目标层 A Objective layer A	准则层 B Criterion layer B	权重值 Weight	指标层 C Index layer C	权重值 Weight
大径级树木健康程度 A	立木状况 B ₁	0.32	枯枝比 C ₁	0.10
			冠层深度 C ₂	0.08
			横冠 C ₃	0.05
			纵冠 C ₄	0.05
			胸径 C ₅	0.04
	生物因素 B ₂	0.43	叶片病害程度 C ₆	0.11
			攀援藤本盖度 C ₇	0.11
			树干病害程度 C ₈	0.11
			邻体空间挤压程度 C ₉	0.10
			碎石比 C ₁₀	0.09
生长环境 B ₃		0.25	坡度 C ₁₁	0.08
			海拔 C ₁₂	0.08

于一般健康; 豆梨、棟 (*Melia azedarach* L.)、丝棉木、构树 (*Broussonetia papyrifera* (L.) L' Hér. ex Vent.)、白檀 (*Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.)、野鸦椿、黄檀和算盘子的健康程度较差。从种间看, 个体数量多的物种, 其健康程度在不同个体间差异很大 (表4)。

3 讨论

3.1 大金山岛大径级树木的健康状况及影响因素

大金山岛过半 (共 168 株) 的大径级树木健康状况一般或较差, 包括柃木、乌桕、黄连木、红楠、桑、野桐、椿叶花椒、山合欢、樟、豆梨、棟、丝棉木、构树、白檀、野鸦椿、黄檀、算盘子等。本文发现病虫害是大金山岛大径级树木衰退的直接原因之一, 前人研究也发现树木通常会受到褐根病、阴香粉实病、瘿瘤病等影响, 病虫害干扰抑制了树木生长, 甚至导致树木枯死^[9, 12]。攀援藤本是另一重要因素, 疯狂生长的藤本植物加剧了树木间的竞争, 改变了森林群落的结构与功能。此外, 藤本植物大面积覆盖大径级树木, 影响光照吸收, 导致树木生长不良或死亡^[31]。近年来, 我国和其他国家均报道藤本植物对树木健康的危害普遍存在^[32, 33]。叶有华等^[9]认为, 结合病虫害和藤本植物的爆发机理, 更有利于树木健康的诊断与评价。因此, 将病虫害和藤本植物的危害纳入海岛大径级树木健康评价指标体系, 更能反映大径级树木的健康状况。此外, 枯枝比和邻体

空间挤压程度也是海岛大径级树木健康评价的重要指标。枯枝比是大径级树木衰亡的直观特征, 能很好地描述大径级树木的健康状况^[28]。邻体空间挤压程度则能直接反映大径级树木受到的竞争程度, 是影响植物群落构建的重要过程^[34]。

3.2 大金山岛大径级树木对古树及其后续资源的重要性

大金山岛生长有华东海岛最典型、最多样的森林群落和丰富的古树资源, 如红楠、椿叶花椒、天竺桂 (*Cinnamomum japonicum* Siebold) 群落等。大径级树木是大金山岛建群植被的重要组成和核心要素, 如朴树、椿叶花椒、丝棉木、黄连木等。此外, 大径级树木也是古树及其后续资源的重要来源。上海市古树名木及后续资源仅 2 617 株, 总量明显不足。大金山岛自封育以来, 古树资源一直未被挖掘。本研究发现大金山岛有 25 株古树和 37 株古树后续资源。它们不仅从数量和种类上对上海市古树及其后续资源进行了有力补充, 而且是重要的观赏和乡土树种基地。岛上有国家级保护植物中的舟山新木姜子 (*Neolitsea sericea* (Blume) Koidz.) 和天竺桂等。

3.3 海岛大径级树木的健康维护与保育

大径级树木健康对于维持海岛森林群落稳定和生物多样性保护具有重要价值^[35]。本研究基于所构建的海岛大径级树木健康评价指标体系, 提出如下切实可行的海岛大径级树木保护措施: (1) 调查、鉴定和建档。加强海岛大径级树木的保护与

表 4 大金山岛大径级树木健康评价得分
Table 4 Health evaluation scores of large-diameter trees on Dajinshan Island

物种 Species	C_4 / cm	C_2 / m	C_3 / m	C_1 / m	$C_5 / \%$	$C_{11} / ^\circ$	$C_{12} / \%$	C_{10} / m	$C_7 / \%$	$C_8 / \%$	$C_9 / \%$	最小值 Min	最大值 Max	均值 Mean	1< $A \leq 2$	$2 < A \leq 3$	$3 < A \leq 4$	$4 < A \leq 5$	健康状况 Health condition	
No.1	0.14	0.16	0.13	0.33	0.49	0.40	0.28	0.26	0.54	0.52	0.46	0.55	3.87	4.70	4.25	0	0	2	10	健康
No.2	0.09	0.11	0.09	0.33	0.49	0.43	0.35	0.24	0.53	0.48	0.51	0.55	3.92	4.53	4.21	0	0	1	3	亚健康
No.3	0.08	0.10	0.08	0.33	0.46	0.39	0.36	0.30	0.50	0.49	0.46	0.52	2.98	4.60	4.08	0	1	7	20	亚健康
No.4	0.12	0.05	0.044	0.31	0.42	0.43	0.26	0.24	0.56	0.54	0.51	0.55	4.03	4.03	4.03	0	0	1	0	亚健康
No.5	0.09	0.12	0.097	0.27	0.48	0.36	0.34	0.27	0.53	0.51	0.44	0.52	3.22	4.69	4.02	0	0	0	21	20
No.6	0.04	0.05	0.04	0.16	0.52	0.43	0.44	0.16	0.56	0.54	0.51	0.55	3.99	3.99	3.99	0	0	0	1	0
No.7	0.08	0.10	0.09	0.26	0.42	0.32	0.32	0.30	0.56	0.50	0.48	0.51	3.66	4.17	3.92	0	0	0	2	1
No.8	0.09	0.11	0.08	0.25	0.45	0.27	0.31	0.35	0.56	0.52	0.44	0.50	3.74	4.39	3.92	0	0	0	5	1
No.9	0.06	0.11	0.09	0.29	0.47	0.19	0.29	0.35	0.55	0.52	0.45	0.54	3.32	4.35	3.91	0	0	0	12	9
No.10	0.08	0.10	0.13	0.31	0.42	0.34	0.35	0.24	0.56	0.32	0.51	0.55	3.91	3.91	3.91	0	0	0	1	0
No.11	0.04	0.10	0.09	0.17	0.50	0.34	0.37	0.31	0.56	0.54	0.41	0.48	3.58	4.13	3.90	0	0	0	3	2
No.12	0.07	0.08	0.06	0.31	0.50	0.29	0.35	0.29	0.53	0.45	0.41	0.55	3.62	4.04	3.89	0	0	0	3	2
No.13	0.08	0.10	0.09	0.23	0.42	0.23	0.35	0.30	0.56	0.54	0.44	0.55	3.83	3.90	3.87	0	0	0	3	0
No.14	0.04	0.05	0.04	0.39	0.42	0.43	0.44	0.24	0.44	0.32	0.51	0.55	3.87	3.87	3.87	0	0	0	3	2
No.15	0.07	0.10	0.07	0.20	0.43	0.39	0.36	0.27	0.49	0.46	0.45	0.50	3.47	4.36	3.79	0	0	0	3	2
No.16	0.04	0.10	0.07	0.25	0.39	0.43	0.33	0.24	0.50	0.48	0.43	0.52	3.60	4.21	3.79	0	0	0	3	1
No.17	0.07	0.08	0.08	0.20	0.46	0.37	0.32	0.29	0.52	0.49	0.42	0.47	3.20	4.28	3.79	0	0	0	4	3
No.18	0.07	0.08	0.07	0.25	0.42	0.41	0.26	0.24	0.53	0.45	0.43	0.53	3.48	3.93	3.74	0	0	0	5	0
No.19	0.04	0.10	0.04	0.16	0.42	0.43	0.44	0.24	0.56	0.43	0.43	0.51	0.55	3.70	3.70	0	0	1	0	0
No.20	0.06	0.10	0.06	0.21	0.42	0.37	0.38	0.16	0.48	0.46	0.48	0.44	3.53	3.75	3.61	0	0	0	3	0
No.21	0.06	0.08	0.07	0.21	0.49	0.17	0.32	0.30	0.48	0.43	0.51	0.48	3.10	3.86	3.59	0	0	0	3	0
No.22	0.04	0.05	0.04	0.23	0.31	0.34	0.35	0.24	0.44	0.32	0.41	0.55	3.34	3.34	3.34	0	0	1	0	0

注: No.1, 青冈; No.2, 悬铃木; No.3, 麻栎; No.4, 鸡桑; No.5, 朴树; No.6, 榆木; No.7, 乌柏; No.8, 黄连木; No.9, 红楠; No.10, 桑; No.11, 野桐; No.12, 椿叶花椒; No.13, 山合欢; No.14, 槐; No.15, 豆梨; No.16, 檉; No.17, 丝棉木; No.18, 构树; No.19, 白檀; No.20, 野鷺椿; No.21, 黄檀; No.22, 算盘子。C₁, 枝枝比; C₂, 冠层深度; C₃, 横冠; C₄, 纵冠; C₅, 胸径; C₆, 叶片病害程度; C₇, 攀援藤本盖度; C₈, 树干病害程度; C₉, 邻体空间挤压程度; C₁₀, 碎石比; C₁₁, 坡度; C₁₂, 海拔。

Notes: No.1, *Cyclobalanopsis glauca* (Thunb.) Oberst; No.2, *Platanus orientalis* L.; No.3, *Quercus acutissima* Carr.; No.4, *Morus australis* Poir.; No.5, *Celtis sinensis* Pers.; No.6, *Eurya nitida* Korth.; No.7, *Triadica sebifera* (L.) Small; No.8, *Pistacia chinensis* Bunge; No.9, *Machilus thunbergii* Siebold et Zucc.; No.10, *Morus alba* L.; No.11, *Mallotus japonicus* (Thunb.) Muell.; No.12, *Zanthoxylum ailanthoides* Siebold et Zucc.; No.13, *Albizia kalkora* (Roxb.) Prain; No.14, *Cinnamomum camphora* (L.) J. Presl; No.15, *Pyrus calleryana* Decne.; No.16, *Melia azederach* L.; No.17, *Euonymus maackii* Rupr.; No.18, *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Hér. ex Vent.; No.19, *Symplocos paniculata* (Thunb.) Miq.; No.20, *Euscaphis japonica* (Thunb. ex Roem. et Schult.) Kanitz; No.21, *Dalbergia hupeana* Hance; No.22, *Lochidion puberum* (L.) Hutch. C₁, Ratio of deadwood; C₂, Canopy depth; C₃, Cross crown; C₄, Longitudinal crown; C₅, Diameter at breast height; C₆, Degree of climbing liana; C₈, Coverage of climbing liana; C₉, Disease degree of tree trunk; C₁₀, Ratio of macadam; C₁₁, Slope; C₁₂, Elevation.

管理, 定级编号, 建立档案和定期巡查。(2) 人工清除缠绕藤本和地面大型碎石, 改善立地环境, 促进养分吸收, 增加幼苗成活率。(3) 适当使用化学药品治理病虫害, 预防虫害扩散。(4) 适度增加土壤肥力, 如补充氮素, 增加养分汲取。(5) 对部分大径级树木进行伤口治疗、树洞修补, 设置护栏、柱桩等。

参考文献:

[1] Kier G, Kreft H, Lee TM, Jetz W, Ibisch PL, et al. A global assessment of endemism and species richness across island and mainland regions[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, 106 (23): 9322–9327.

[2] Kreft H, Jetz W, Mutke J, Kier G, Barthlott W. Global diversity of island floras from a macroecological perspective[J]. *Ecol Lett*, 2008, 11 (2): 116–127.

[3] Weigelt P, Jetz W, Kreft H. Bioclimatic and physical characterization of the world's islands[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2013, 110 (38): 15307–15312.

[4] Lindenmayer DB, Laurance WF, Franklin JF. Global decline in large old trees[J]. *Science*, 2012, 338 (6112): 1305–1306.

[5] Lutz JA, Furniss TJ, Johnson DJ, Davies SJ, Allen D, et al. Global importance of large-diameter trees[J]. *Global Ecol Biogeogr*, 2018, 27 (7): 849–864.

[6] Lindenmayer DB, Blanchard W, Blair D, McBurney L, Banks SC. Environmental and human drivers influencing large old tree abundance in Australian wet forests[J]. *Forest Ecol Manag*, 2016, 372: 226–235.

[7] Nogué S, Santos AMC, Birks HJB, Björck S, Castilla-Beltrán A, et al. The human dimension of biodiversity changes on islands[J]. *Science*, 2021, 372 (6541): 488–491.

[8] Hickman GW, Caprlle J, Perry E. Oak tree hazard evaluation[J]. *Arboric Urban For*, 1989, 15 (8): 177–184.

[9] 叶有华, 虞依娜, 彭少麟, 沈杏艳, 侯玉平, 等. 澳门松山公园树木健康评估[J]. *热带亚热带植物学报*, 2009, 17(2): 131–136.
Ye YH, Yu YN, Peng SL, Shen XY, Hou YP, et al. Evaluation of tree health in Songshan park, Macao[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2009, 17 (2): 131–136.

[10] 黄帅帅, 曹哲源, 邱尔发, 牛少锋, 邢立捷. 北京市居住区林木健康评价[J]. *生态学报*, 2019, 39(24): 9222–9232.
Huang SS, Cao ZY, Qiu EF, Niu SF, Xin LJ. Health assessment of trees in residential areas of Beijing[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39 (24): 9222–9232.

[11] 贺坤, 宋婷, 王本耀, 严巍. 上海市行道树土壤理化性质与树木健康的相关性研究[J]. *中国园林*, 2022, 38(2): 66–70.
He K, Song T, Wang BY, Yan W. Correlation between soil physical and chemical properties and street trees health in Shanghai[J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2022, 38 (2): 66–70.

[12] 黄一名. 天目山古柳杉种群衰退防治技术研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014: 1–30.

[13] Gilbert EA, Smiley ET. PICUS sonic tomography for the quantification of decay in white Oak (*Quercus alba*) and Hickory (*Carya* spp.)[J]. *J Arboric*, 2004, 30 (5): 277–281.

[14] Qin RY, Qiu QW, Lam JHM, Tang AMC, Leung MWK, Lau D. Health assessment of tree trunk by using acoustic-laser technique and sonic tomography[J]. *Wood Sci Technol*, 2018, 52 (4): 1113–1132.

[15] 张凤麟. 浙江西天目山古树健康状况及其随海拔梯度变化规律[D]. 上海: 华东师范大学, 2019: 2–20.

[16] 刘柳. 合肥市居住区树木健康评价研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020: 1–40.

[17] 田凌鸿. 天水市伏羲庙古侧柏健康无损伤诊断与评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 1–20.

[18] 周景斌, 韩东峰, 王彦平. 杨凌主城区行道树健康评价与分析[J]. *西北林学院学报*, 2015, 30(2): 278–282.
Zhou JB, Han DF, Wang YP. Health assessment and analysis for street trees in Yangling[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2015, 30 (2): 278–282.

[19] 贺迎春. 晋中市城区绿化树木健康评价[J]. *中国城市林业*, 2020, 18(6): 136–140.
He YC. Health evaluation of landscaping plants in city core of Jinzhong[J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2020, 18 (6): 136–140.

[20] Schrader J, Wright IJ, Kreft H, Westoby M. A roadmap to plant functional island biogeography[J]. *Biol Rev*, 2021, 96 (6): 2851–2870.

[21] 杜运才, 王万胜. 金山三岛陆域生态系统健康状况分析评价[J]. *环境监测管理与技术*, 2016, 28(5): 39–42.
Du YC, Wang WS. Analysis and assessment of the ecosystem healthiness of the land area of Jinshan three-islands[J]. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2016, 28 (5): 39–42.

[22] 达良俊, 杨永川, 陈燕萍. 上海大金山岛的自然植物群落多样性[J]. *中国城市林业*, 2004, 2(3): 22–25.
Da LJ, Yang YC, Chen YP. The diversity of plant community on Dajinshan Island, Shanghai[J]. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2004, 2 (3): 22–25.

[23] 王万胜. 上海大金山岛植被资源状况及保护对策[J]. *海洋开发与管理*, 2017, 34(6): 40–45.
Wang WS. Vegetation resources and protection strategies of Dajinshan Island in Shanghai[J]. *Ocean Development*

and Management, 2017, 34 (6): 40–45.

[24] 许洛山, 朱晓彤, 王万胜, 杜运才, 汪彦颖, 等. 上海大金山岛植被分类与制图——基于网格化清查方法[J]. 广西植物, 2022, 42 (8): 1273–1283.

Xu MS, Zhu XT, Wang WS, Du YC, Wang YY, et al. Vegetation classification and mapping of Dajinshan Island: a grid inventory-based approach[J]. *Guizhou Botany*, 2022, 42 (8): 1273–1283.

[25] 国家林业局. LY/T 2118-2013 大径级用材林培育导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.

[26] Clark DA, Brown S, Kicklighter DW, Chambers JQ, Thompson JR, Ni J. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods[J]. *Ecol Appl*, 2001, 11 (2): 356–370.

[27] Cumming AB, Galvin MF, Rabaglia RJ, Cumming JR, Twardus DB. Forest health monitoring protocol applied to roadside trees in Maryland[J]. *Arboric Urban For*, 2001, 27 (3): 126–138.

[28] 陈峻崎. 北京市古树健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014: 1–50.

[29] 许明祥, 刘国彬, 赵允格. 黄土丘陵区土壤质量评价指标研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (10): 1843–1848.

Xu MX, Liu GB, Zhao YG. Assessment indicators of soil quality in hilly Loess Plateau[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (10): 1843–1848.

[30] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988: 1–230.

[31] Batish DR, Singh HP, Pandher JK, Arora V, Kohli RK. Phytotoxic effect of Parthenium residues on the selected soil properties and growth of chickpea and radish[J]. *Weed Biol Manag*, 2002, 2 (2): 73–78.

[32] 钟晓青, 黄卓, 司寰, 曾启杰. 深圳内伶仃岛薇甘菊危害的生态经济损失分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2004, 12 (2): 167–170.

Zhong XQ, Huang Z, Si H, Zan QJ. Analysis of ecological-economic loss caused by Weed Mikania micrantha on Neilingding Island, Shenzhen, China[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12 (2): 167–170.

[33] Allen BP, Sharitz RR, Goebel PC. Are lianas increasing in importance in temperate floodplain forests in the southeastern United States?[J]. *Forest Ecol Manag*, 2007, 242 (1): 17–23.

[34] Kraft NJB, Adler PB, Godoy O, James EC, Fuller S, Levine JM. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor[J]. *Funct Ecol*, 2015, 29 (5): 592–599.

[35] Liu JJ, Lindenmayer DB, Yang WJ, Ren Y, Campbell MJ, et al. Diversity and density patterns of large old trees in China[J]. *Sci Total Environ*, 2019, 655: 255–262.

(责任编辑: 李惠英)