



### 极小种群博罗红豆的群落物种组成和空间分布格局

郭韵, 康宁, 董辉, 张粤, 吴文华, 吴林芳, 曹洪麟

引用本文:

郭韵, 康宁, 董辉, 等. 极小种群博罗红豆的群落物种组成和空间分布格局[J]. 热带亚热带植物学报, 2020, 28(3): 301–309.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4151>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 地被植物对广东常绿阔叶林土壤养分的指示作用

Indicative Effect of Ground Vegetation on Soil Nutrient Status in Evergreen Broad-leaved Forest of Guangdong

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 115–123 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4105>

#### 尧山国家级自然保护区种子植物区系研究

Floristic Studies of Seed Plants in Yaoshan National Nature Reserve

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 217–226 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4097>

#### 中国特有植物雪落樱桃潜在分布及其生态特征

Potential Distribution and Ecological Characteristic of Chinese Endemic Species *Cerasus xueluoensis*

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 136–144 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4102>

#### 海南不同生活型植物叶片和根系C、N、P化学计量特征

C, N, and P Concentrations and Their Stoichiometry of Leaves and Roots with Different Life Forms in Hainan Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 131–135 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4115>

#### 云南木兰科48种野生植物资源的遗传多样性研究

Studies on Genetic Diversity of 48 Wild Species of Magnoliaceae in Yunnan

热带亚热带植物学报. 2020, 28(3): 277–284 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4161>

# 极小种群博罗红豆的群落物种组成和空间分布格局

郭韵<sup>1,2</sup>, 康宁<sup>3</sup>, 董辉<sup>1,2</sup>, 张粤<sup>3</sup>, 吴文华<sup>1,2</sup>, 吴林芳<sup>4</sup>, 曹洪麟<sup>1\*</sup>

(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. 广东象头山国家级自然保护区管理局, 广东 惠州 516001; 4. 广州林芳生态科技有限公司, 广州 510520)

**摘要:** 为保护博罗红豆(*Ormosia boluoensis*)资源, 基于广东象头山国家级自然保护区建立的 0.6 hm<sup>2</sup> 固定样地, 研究了博罗红豆所在群落的物种组成、径阶结构、空间格局、种内关联及其与群落优势种的种间关联。结果表明, 样地内共调查到胸径 $\geq 1$  cm 的木本植物 4 503 株, 隶属于 38 科 57 属 84 种。优势种有甜槠(*Castanopsis eyrei*)、密花树(*Rapanea neriifolia*)、密花山矾(*Symplocos congesta*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)和赤楠(*Syzygium buxifolium*)等, 博罗红豆的重要值仅为 1.84%, 径阶结构呈倒“J”型, 空间分布格局在 0~22.1 m 的尺度上呈现聚集分布, 在 22.2~30.0 m 的尺度上呈随机分布。博罗红豆与甜槠无关联性, 与赤楠在个别尺度上有微弱的负相关性, 与密花山矾主要呈负关联性, 与密花树、深山含笑主要呈正关联性。博罗红豆的成树和幼苗在 0~3.7 m 的空间尺度上呈现强正关联, 小树和幼苗在 0~5.9 m 的尺度上呈正关联性, 而成树与小树的关联性较弱。因此, 推测博罗红豆的空间分布格局受负密度制约、种子扩散限制和生境异质性的作用, 在后期的管理中可以适当移植幼苗和对群落中的灌木及小乔木进行适度的疏伐。

**关键词:** 群落; 物种组成; 径阶结构; 分布格局; 极小种群; 博罗红豆

doi: 10.11926/jtsb.4151

## Species Composition and Spatial Distribution Pattern of *Ormosia boluoensis* with Extremely Small Population

GUO Yun<sup>1,2</sup>, KANG Ning<sup>3</sup>, DONG Hui<sup>1,2</sup>, ZHANG Yue<sup>3</sup>, WU Wen-hua<sup>1,2</sup>, WU Lin-fang<sup>4</sup>, CAO Hong-lin<sup>1\*</sup>

(1. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Management Bureau of Guangdong Xiangtoushan National Nature Reserve, Huizhou 516001, Guangdong, China; 4. Guangzhou Linfang Ecological Science & Technology Limited Company, Guangzhou 510520, China)

**Abstract:** In order to protect *Ormosia boluoensis* resources, the community characteristics, including species composition, population structure, spatial pattern, intraspecific association and interspecific relation with dominant species were studied based on 0.6 hm<sup>2</sup> fixed plot in Xiangtoushan National Nature Reserve in Guangdong Province, which is the concentrated distribution area of *O. boluoensis*. The results showed that there were 4 503 individuals with DBH (diameter at breast height)  $\geq 1$ , belonging to 84 species, 57 genera and 38 families. The dominant species of the community were *Castanopsis eyrei*, *Rapanea neriifolia*, *Symplocos congesta*, *Michelia maudiae* and *Syzygium buxifolium*. The importance value of *O. boluoensis* was only 1.84, and its diameter class structure showed an inverse ‘J’ type. For spatial pattern, *Ormosia boluoensis* showed an aggregated distribution at scale of 0–22.1 m and a random distribution at scale of 22.2–30.0 m. As for

收稿日期: 2019-09-16 接受日期: 2019-12-17

基金项目: 2019 年中央林业改革发展资金项目; 南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)人才团队引进重大专项(GML2019ZD0408)资助

This work was supported by the Central Forestry Reform and Development Fund Project in 2019, and the Key Special Project for Introduced Talents Team of Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Guangzhou) (Grant No. GML2019ZD0408).

作者简介: 郭韵(1994~), 男, 在读硕士研究生, 研究方向为保育生态学。E-mail: guoyun@scbg.ac.cn

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: caohl@scib.ac.cn

interspecies relationship, there was no obvious association between *O. boluoensis* and *Castanopsis eyrei* and only a weak negative correlation with *Syzygium buxifolium* on some scales. There was a negative correlation with *Symplocos congesta*, while a positive association with *Rapanea neriifolia* and *Michelia maudiae*. There was positively strong associated between seedlings and adult trees of *O. boluoensis* at scale of 0–3.7 m, and positively associated between young trees and seedlings at scale of 0–5.9 m, but the association between adult and young trees was weak. Therefore, the spatial distribution pattern of *O. boluoensis* was affected by negative density restriction, seed diffusion limitation and habitat heterogeneity. So, proper seedlings transplantation and thinning in the community could be implemented in the later management.

**Key words:** Community; Species composition; Diameter class structure; Distribution pattern; Extreme small population; *Ormosia boluoensis*

物种组成是群落最基本的特征之一, 群落特征是物种保育研究的基础, 也是生物多样性研究的重要内容之一<sup>[1-2]</sup>。群落的物种组成是区域内物种的相互作用和多种生态过程共同作用的结果<sup>[3-4]</sup>。物种的空间分布格局反映了物种个体间在水平空间上的相互关系<sup>[5]</sup>, 也是多种因素共同作用的结果<sup>[6]</sup>。植物的空间分布格局分析包含物种的空间分布类型和空间关联性两方面<sup>[7]</sup>。研究植物个体的分布类型, 有助于我们认识植物对资源的利用状况和种群的发展趋势<sup>[8-9]</sup>; 研究植物的种群不同年龄间的关联, 可以了解在生长过程中的影响因素及种群的动态<sup>[10]</sup>; 对物种间空间关联性的研究, 则可以理解物种间的相互作用<sup>[11]</sup>及群落的发展方向。植物的空间分布格局有强烈的尺度依赖性<sup>[12]</sup>, 而由 Ripley 提出的点格局分析则能从不同尺度去研究植物的分布格局<sup>[13]</sup>, 因此近年来点格局分析被广泛地应用在物种的空间分布格局研究中<sup>[14-15]</sup>。

极小种群植物是指在特定地区的特定环境下形成的, 分布地域狭窄、长期受到胁迫干扰而呈现出种群数量持续减少、种群及个体数量都极少, 已经低于稳定存活界限的最小可存活种群, 并难以正常的繁衍而随时濒临灭绝的野生植物种类<sup>[16-17]</sup>。极小种群植物也是群落的组成物种之一, 对群落的稳定和其他物种的生长发育有一定的影响。如果极小种群植物灭绝, 群落中的其他植物也会受到影响。因此, 对极小种群植物的研究和保护是非常重要的。目前对极小种群植物的研究主要集中在群落生态学<sup>[18]</sup>、保育遗传学<sup>[19]</sup>和繁殖生物学<sup>[20]</sup>等方面。对极小种群野生植物的种群及所处的群落进行研究, 有利于了解其濒危机制, 以提出有针对性且可行的保育方案。

博罗红豆 (*Ormosia boluoensis*) 是蝶形花科 (Papilionaceae) 红豆属植物, 常绿灌木至小乔木, 单

叶, 罕 3 小叶, 荚果倒卵形至长椭圆形或菱形, 果瓣厚木质, 种子较重, 种皮红色。博罗红豆是在广东发现并发表的广东特有的极小种群植物<sup>[21]</sup>。博罗红豆虽为极小种群植物, 但对群落中其他物种的生存和生长也有影响, 与其他物种一起维持着群落的稳定, 有重要的生态价值。同时, 对博罗红豆的研究, 有利于人们理解物种的演化和形成的过程<sup>[22]</sup>。目前, 博罗红豆仅在广东博罗县的象头山国家级自然保护区有分布, 仅有 1 个居群, 数量极少。在博罗红豆的分布区附近有林区道路、居民楼、水库大坝和引水渠等人工设施, 人类的生产活动给这个群落带来了很大的干扰, 此外, 这些人工设施将博罗红豆所在群落与周围的森林分隔开来, 使得博罗红豆分布范围狭窄且孤立, 有很高的灭绝风险, 因此, 对博罗红豆的保护研究工作显得尤为迫切。要对博罗红豆进行保护, 我们需要对博罗红豆进行全面的了解, 包括当前博罗红豆的资源状况、种群和所在群落的现状、博罗红豆个体与群落中优势种的空间关系等。

为更好地了解极小种群植物博罗红豆的现状, 本研究以博罗红豆所在群落为对象, 按 CTFS (Centre for Tropical Forest Science) 规范建立了 0.6 hm<sup>2</sup> 的永久固定监测样地, 研究该群落的物种组成、博罗红豆的种群结构、空间分布格局、种内和种间关联等, 以期加深对博罗红豆的了解, 分析限制种群的因素, 为博罗红豆的保护和种群的复壮工作提供科学支持。

## 1 研究区概况

研究区域位于广东省博罗县象头山国家级自然保护区山地常绿阔叶林中 (23°16'44" N, 114°22'26"

E), 群落处在鸡公田水库附近的山顶北坡, 海拔约 820 m, 坡度约为 10°, 样地起伏较小, 最高点与最低点相差约 20 m。群落所在地的土壤为花岗岩发育而成的山地黄壤, 土层较薄, 有机质含量较低, pH 约为 5.5。该区属典型的亚热带湿润季风气候, 年均温 16.0°C ~ 21.7°C; 1 或 2 月最冷, 最冷月平均气温 7.2°C ~ 13.3°C; 8 月最热, 最热月平均气温 22.5°C ~ 27.2°C, 全年无霜, 年均降水量 2 318.5 mm。该区的森林类型为南亚热带山地常绿阔叶林, 主要植物有甜槠(*Castanopsis eyrei*)、密花树(*Rapanea neriifolia*)、密花山矾(*Symplocos congesta*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)和赤楠(*Syzygium buxifolium*)等。博罗红豆所在群落面积不到 1 hm<sup>2</sup>。

## 2 方法

### 2.1 样地设置和野外调查

2019 年 1 月在象头山保护区的博罗红豆(*Ormosia boluoensis*)分布区, 参照 CTFS 规程建立了面积为 0.6 hm<sup>2</sup> 的固定监测样地(仅余 2 个博罗红豆个体因处偏远悬崖未纳入样地)。样地为 100 m × 60 m 的长方形, 利用全站仪划分为 15 个 20 m × 20 m 的样方, 样方的 4 角用 PVC 管作标桩, 样方内再细分成 16 个 5 m × 5 m 的小样方。对样地内胸径(DBH) ≥ 1 cm 的木本植物挂牌并进行每木检尺, 测量空间相对位置坐标, 记录种名、胸径和生长状况等信息。对样地内胸径(DBH) ≤ 1 cm 博罗红豆个体调查高度(H)和坐标等信息并挂牌。

### 2.2 数据分析

#### 2.2.1 重要值

对样方内胸径(DBH) ≥ 1 cm 的木本植物进行重要值分析。重要值(importance value)=(相对多度+相对频度+相对显著度)/3; 相对多度=(某种植物的数量/样地植物的总数量)×100%; 相对频度=(某种植物的频度/样地所有植物物种的频度总和)×100%; 相对显著度=(某种植物的胸高断面积之和/样地所有物种的胸高断面积之和)×100%。

#### 2.2.2 种群径阶结构分析

用径阶代替年龄结构对博罗红豆种群动态进行分析。径阶的划分参照曲仲湘<sup>[23]</sup>的标准, 并根据博罗红豆的实际生长特征, 结合胸径大小将博罗红豆分为 7 级: I 级为 H < 33 cm; II 级为 H > 33 cm,

DBH < 1 cm; III 级 DBH 为 1~3 cm; IV 级 DBH 为 3~5 cm; V 级 DBH 为 5~7 cm; VI 级 DBH 为 7~9 cm; VII 级为 DBH ≥ 9 cm。其中, I、II 级为幼苗; III、IV、V 级为小树; VI、VII 级为成树。

#### 2.2.3 空间格局分析

利用成对相关函数  $g(r)$  来分析树木的空间分布格局,  $g(r)$  函数由 Ripley's  $K(r)$  函数推出<sup>[13,24]</sup>:  $g(r) = dK(r)/2\pi r dr$ 。 $g(r)$  函数有单变量函数和双变量函数, 单变量的成对相关函数  $g_{1,1}(r)$  用来研究博罗红豆的空间分布格局, 双变量的成对相关函数  $g_{1,2}(r)$  用来分析博罗红豆与群落主要树种(重要值前 5 的树种)的关联和博罗红豆不同年龄阶段(幼苗、小树和成树)之间的关联性。

利用成对相关函数  $g(r)$  和完全随机零假设(complete spatial randomness, CSR)来分析博罗红豆的点格局和种内、种间的关联性。点格局分析中,  $g(r)$  值高于置信区间上限表示植物个体聚集分布;  $g(r)$  值低于置信区间下限, 则表示植物个体均匀分布;  $g(r)$  值在置信区间之内, 则表示植物个体随机分布。关联分析中,  $g(r)$  值高于置信区间上限表示两个分析对象呈现正关联;  $g(r)$  低于置信区间下限则是两个分析对象呈现负关联;  $g(r)$  值在置信区间之内, 则表示两个分析对象无关联。

数据处理利用 Programita 软件<sup>[24-25]</sup>完成, 空间尺度格局分析的最大尺度为样地最短边的一半<sup>[25]</sup>, 所以采用的空间尺度为 0~30 m, 运用 Monte Carlo 循环 199 次, 得到 99% 的置信区间。利用 Excel 2016 完成作图。

## 3 结果和分析

### 3.1 群落物种组成

样地内共记录到胸径大于 1 cm 的木本植物 4 503 株, 隶属于 38 科 57 属 84 种。其中, 含 5 种以上的有 4 科, 分别为茶科(Theaceae, 10 种)、壳斗科(Fagaceae, 10 种)、樟科(Lauraceae, 7 种)和山矾科(Symplocaceae, 5 种); 含 2~4 种的有 9 科, 其中蔷薇科(Rosaceae)有 4 种, 茜草科(Rubiaceae)有 3 种, 而杜鹃花科(Ericaceae)、杜英科(Elaeocarpaceae)、海桐花科(Pittosporaceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、桃金娘科(Myrtaceae)、卫矛科(Celastraceae)和五加科(Araliaceae)各有 2 种。其余的 25 科只有 1 属 1 种, 占 65.79%。

样地中重要值大于 1% 的物种共 28 种(表 1), 这

些物种的重要值之和为 82.04%，共 4 067 株，占样地胸径 1 cm 以上植株的 90.32%。在样地中，数量最多的为密花树和深山含笑 2 种，分别为 626 和 465 株。从胸高断面积来看，最大的为甜槠，为 8.42 m<sup>2</sup>/hm<sup>2</sup>，其次为密花树和深山含笑。平均胸径最大的是红花荷(*Rhodoleia championii*)，为 16.08 cm，但只有 3 株；其次为蕈树(*Itingia chinensis*)、杨梅(*Myrica rubra*)和厚皮香(*Ternstroemia gymnanthera*)，分别为 11.13、10.62 和 10.57 cm，但这些物种的数量都很少，不超过 50 株；而在重要值大于 1% 的物种中，平均胸径最大的是杨梅，其次是木荷(*Schima superba*)、甜槠和少叶黄杞(*Engelhardtia fenzlii*)，分别为 10.62、9.91、9.52 和 8.19 cm，但除了甜槠有 258 株外，其

他物种都不超过 50 株。

重要值前 5 名的树种为甜槠、密花树、密花山矾、深山含笑和赤楠，其重要值之和为 35.41%，这 5 种的相对多度之和为 41.19%，相对显著度之和为 52.3%，为样地中的优势树种。其中，甜槠的数量相对较多，相对显著度为 32.19%，并且重要值在群落中最高(13.44%)，为群落的优势种。博罗红豆的重要值为 1.84%，在所有物种中排第 19 位，在群落中不占优势。

样地中共有博罗红豆 314 株，其中胸径大于 1 cm 的个体 92 株，胸径小于 1 cm 的个体有 222 株。样地中博罗红豆幼苗数量较多，说明种群能够靠种子正常进行自然更新。

表 1 样地内重要值  $\geq 1\%$  物种的数量特征

Table 1 Quantitative characteristics of species with importance value  $\geq 1\%$  in the plot

植物 Species	多度 Abundance	平均胸径 Mean diameter at breast height (cm)	胸高断面积 Area at breast height (m <sup>2</sup> /hm <sup>2</sup> )	重要值 /% Importance value
甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i>	258	9.52 ± 0.34	8.42	13.44
密花树 <i>Rapanea nerifolia</i>	626	3.86 ± 0.09	2.06	8.11
密花山矾 <i>Symplocos congesta</i>	465	2.58 ± 0.05	0.55	5.00
深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	191	6.96 ± 0.27	1.89	4.68
赤楠 <i>Syzygium buxifolium</i>	316	2.85 ± 0.07	0.77	4.18
华润楠 <i>Machilus chinensis</i>	122	7.35 ± 0.45	1.45	3.56
鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	265	3.34 ± 0.12	0.56	3.54
红淡比 <i>Cleyera japonica</i>	230	2.56 ± 0.07	0.44	3.12
硬壳柯 <i>Lithocarpus hancei</i>	78	5.58 ± 0.32	0.93	2.68
网脉山龙眼 <i>Helicia reticulata</i>	165	3.82 ± 0.14	0.43	2.63
黄牛奶树 <i>Symplocos laurina</i>	142	4.13 ± 0.17	0.46	2.49
柯 <i>Lithocarpus glabra</i>	122	3.35 ± 0.14	0.62	2.29
变叶榕 <i>Ficus variolosa</i>	147	2.68 ± 0.12	0.21	2.21
少叶黄杞 <i>Engelhardtia fenzlii</i>	46	8.19 ± 0.56	1.03	2.16
日本杜英 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	93	3.73 ± 0.35	0.36	1.95
木姜叶柯 <i>Lithocarpus litseifolius</i>	87	3.81 ± 0.18	0.59	1.91
豺皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i>	93	3.53 ± 0.16	0.26	1.89
厚叶冬青 <i>Ilex elmerrilliana</i>	87	3.87 ± 0.24	0.29	1.88
博罗红豆 <i>Ormosia boluoensis</i>	92	3.62 ± 0.18	0.41	1.84
杨梅 <i>Myrica rubra</i>	29	10.62 ± 1.09	0.75	1.81
杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>	52	6.86 ± 0.58	0.57	1.74
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	39	5.85 ± 0.81	0.41	1.56
长尾毛蕊茶 <i>Camellia caudata</i>	73	2.97 ± 0.13	0.12	1.39
五列木 <i>Pentaphylax euryoides</i>	72	3.61 ± 0.19	0.15	1.36
绒毛润楠 <i>Machilus velutina</i>	53	2.49 ± 0.40	0.11	1.29
木荷 <i>Schima superba</i>	18	9.91 ± 1.51	0.45	1.22
山苍子 <i>Litsea cubeba</i>	75	2.33 ± 0.10	0.06	1.10
乌饭树 <i>Vaccinium bracteatum</i>	31	2.27 ± 0.15	0.03	1.01
其他 Others	436	-	1.77	17.96
总计 Total	4 503	-	26.14	100.00

### 3.2 博罗红豆种群的年龄结构

博罗红豆种群以幼树和小树为主, 样地内博罗红豆种群的径阶分布呈现倒“J”型, 第 I 级径阶的个体最多, 有 116 株, 占有所有个体的 36.94%, 而第 V 级径阶的个体最少, 只有 3 株。绝大多数个体胸径小于 5 cm, 即 I、II、III 和 IV 径阶的个体较多, 占样地内博罗红豆个体总数的 91.4% (图 1)。同时, 也可以看出, 博罗红豆幼苗、小树和成树分别为 70.7%、25.16% 和 4.14%, 表明博罗红豆种群处于增长的状态。

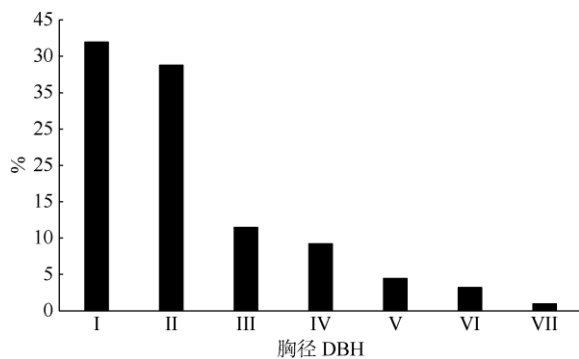


图 1 博罗红豆的径阶结构。I: H < 33 cm; II: H > 33 cm, DBH < 1 cm; III: 1 cm ≤ DBH < 3 cm; IV: 3 cm ≤ DBH < 5 cm; V: 5 cm ≤ DBH < 7 cm; VI: 7 cm ≤ DBH < 9 cm; VII: DBH ≥ 9 cm。

Fig. 1 Diameter class structure of *Ormosia boluoensis*. I: H < 33 cm; II: H > 33 cm, DBH < 1 cm; III: 1 cm ≤ DBH < 3 cm; IV: 3 cm ≤ DBH < 5 cm; V: 5 cm ≤ DBH < 7 cm; VI: 7 cm ≤ DBH < 9 cm; VII: DBH ≥ 9 cm.

### 3.3 博罗红豆的空间分布格局

博罗红豆在样地的中部聚集程度非常高, 对于胸径 1 cm 以上的个体, 博罗红豆在 0~22.1 m 的尺度呈现出聚集分布, 在 22.2~30.0 m 的尺度上呈随机分布(图 2)。

### 3.4 博罗红豆与群落优势种的关联

在种间关联性上, 博罗红豆与甜槠在 0~30.0 m 尺度上无关联; 与密花树在 0~21.0、23.2~24.4 和 24.6~30 m 尺度上呈正相关, 其他尺度上无关联; 与密花山矾在 2.0~28.7 和 29.8~30.0 m 尺度上呈负关联, 在其他尺度上无关联; 与深山含笑在 1.8~27.1、29.4~30.0 m 尺度上呈正相关, 而在 0~1.7 和 27.2~29.3 m 尺度上无关联; 与赤楠在 16.4~17.1、17.8~22.0 和 23.1~24.2 m 尺度上呈负关联, 0~16.3、17.2~17.7、22.1~23 和 24.3~30.0 m 尺度上无关联(图 3)。

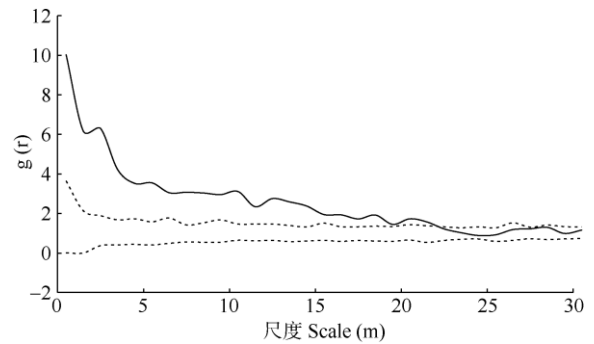


图 2 博罗红豆的空间分布格局。实线为  $g(r)$  值, 虚线为包迹线, 表示 95% 的置信区间。下图同。

Fig. 2 Spatial distribution pattern of *Ormosia boluoensis*. The solid line is  $g(r)$  value, dashed lines are the envelope curve, showing 95% confidence interval. The same is following Figures.

### 3.5 博罗红豆种内关联

博罗红豆的成树和幼苗在 0~3.7 和 18.0~25.2 m 尺度上呈正关联, 在其他尺度上无关联; 成树和小树在 2.0~4.5、9.1~11.0、12.1~13.9、17.1~19.0 和 20.4~21.8 m 尺度上呈正关联, 其他尺度上无关联; 而小树和幼苗在 0~5.9、9.4~14.2 和 26.8~30.0 m 尺度上呈正关联, 其他尺度上无关联(图 4)。

## 4 结论和讨论

### 4.1 群落特征和博罗红豆的种群年龄结构

对博罗红豆所处群落的物种组成进行调查, 共有木本植物 38 科 57 属 84 种 4 503 株, 个体密度达 7 505 ind./hm<sup>2</sup>, 而同属于亚热带常绿阔叶林的广东惠州莲花山海拔 800 m 的 0.24 hm<sup>2</sup> 固定样地的植物个体密度为 6 467 ind./hm<sup>2</sup>[26], 可见, 博罗红豆样地的个体密度明显较高。这可能是由于博罗红豆样地除了所处海拔高外, 还处于迎风坡, 植物个体受风影响大, 会被风吹断, 长成大树较为困难, 所以博罗红豆样地主要以小径木为主, 而莲花山样地处于背风坡, 受风的影响较小。此外, 由于博罗红豆样地小径木的比例高, 样地的总胸高断面积也较小, 为 26.14 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 比同属于亚热带常绿阔叶林的鼎湖山样地的胸高断面积要小[27], 这可能是由于博罗红豆样地所处的海拔更高, 气温低、风大、云雾多且样地的土层薄, 所以样地的小径木较多。博罗红豆也是小径木较多, 径阶结构呈倒“J”型分布, 径阶为 I~V 级(DBH < 7 cm)的植株占总数的 95.86%, 也就是绝大部分为幼苗和小树。这是由于

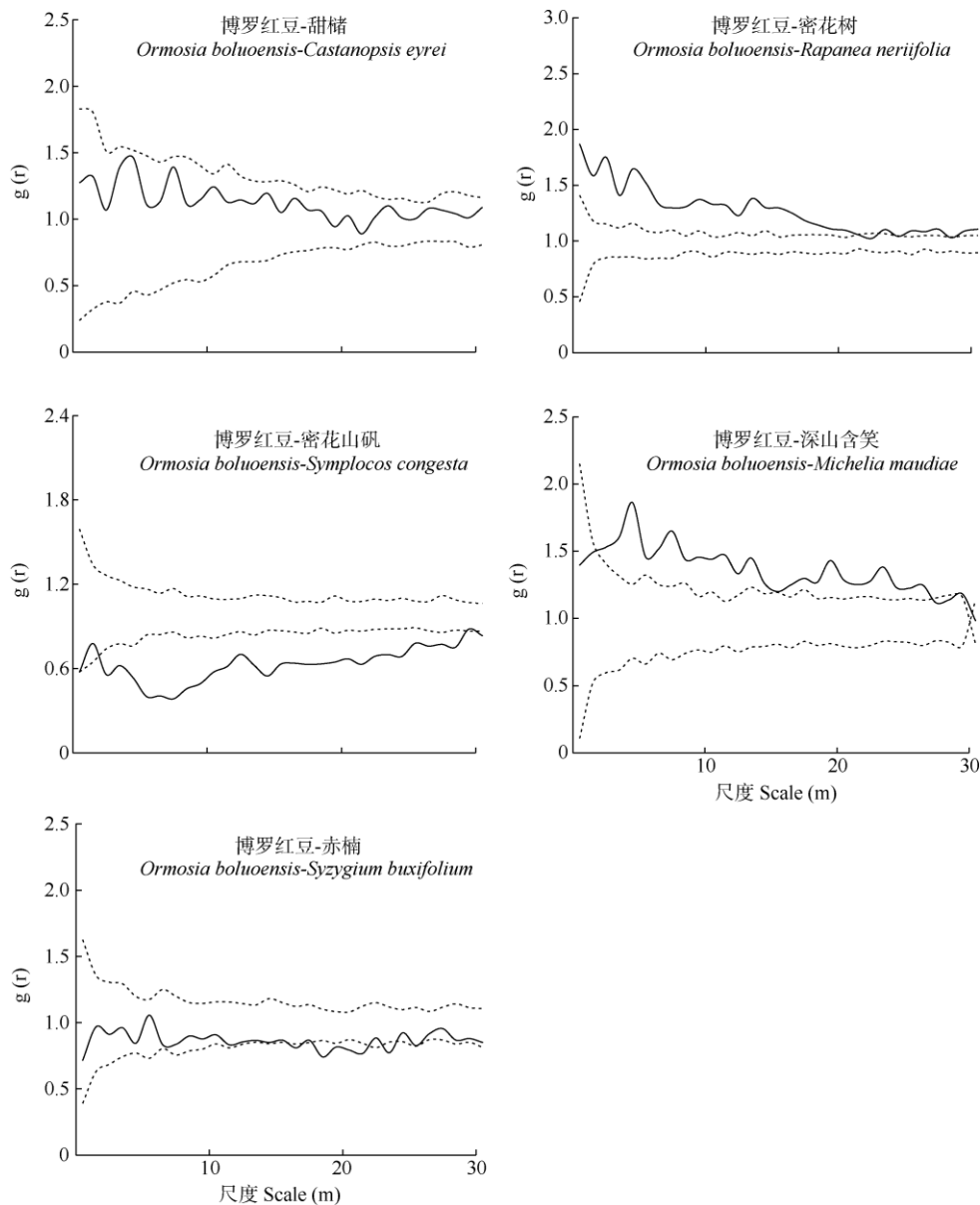


图 3 博罗红豆与群落主要物种的关联性

Fig. 3 Correlations between *Ormosia boluoensis* and five dominant species

博罗红豆受到所处群落的自然条件限制, 温度、风、土壤条件限制了植物个体的生长, 长成大树的个体较少。但是, 由于幼苗充足, 博罗红豆种群目前能够进行自然更新, 种群会继续增长。

#### 4.2 博罗红豆的空间分布格局与种内关联

博罗红豆的空间分布在小尺度上呈现强的聚集分布, 而随着尺度的增大, 聚集程度下降呈随机分布。物种在小尺度上呈聚集分布与种子的传播方式有关<sup>[28]</sup>, 博罗红豆由于种子较重, 不能通过风来帮助种子的传播, 种子扩散的能力有限, 所以植株

在小尺度上呈现聚集分布。博罗红豆在 10.0~22.1 m 大尺度空间上也呈现聚集分布, 物种在大尺度的聚集主要是由生境异质性导致<sup>[29]</sup>, 因此生境的异质性也是影响博罗红豆分布的因素之一。种子的扩散限制和生境的差异导致了博罗红豆的聚集生长, 同时成年的博罗红豆也为幼苗提供了良好的生境, 利于幼苗的生长<sup>[30]</sup>和种群的维持与增长。种子的扩散限制和生境异质性在博罗红豆的种内关联中也有所体现: 博罗红豆的成树与幼苗在小尺度上呈现强烈的正关联, 小树与幼苗在小尺度上也呈现正关联。由此可见, 博罗红豆的幼苗密集分布于母树周

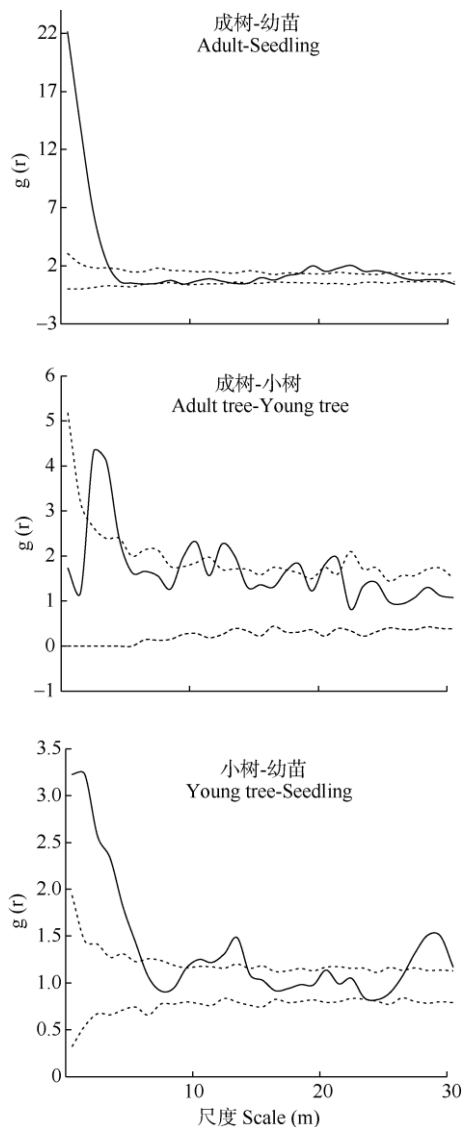


图4 博罗红豆幼苗、小树和成树之间的关联分析

Fig. 4 Correlations among seedlings, young and adult trees of *Ormosia boluoensis*

边。幼苗与成树在小尺度上呈聚集分布,在一定范围内形成集团共同利用资源与对抗风险,并且幼苗能够得到成树的庇护,能提高种群的生存和竞争能力,有利于种群的维持<sup>[31]</sup>。然而,聚集分布必然也导致种内的竞争加剧,而在小尺度上由于高聚集强度,种内竞争最为剧烈,而随着尺度的增大,物种的种内竞争会减弱,植物的聚集程度也会减弱,在达到一定的尺度时表现为随机分布<sup>[4]</sup>,博罗红豆的分布格局也有此规律。而成树与小树的空间关联较弱,只在个别尺度上呈微弱的正相关,大部分尺度上是无关联的,可能是由于随着博罗红豆幼苗的长大,负密度制约使距离母树很近的幼苗发生了自疏

效应,种内的竞争得以降低。因此,在以后的管理过程中,可以适当地对博罗红豆幼苗进行移植,以提高其保存率。

### 4.3 种间关联

在与优势种的种间关联中,博罗红豆与群落中重要值最大的物种甜槠在0~30.0 m尺度上无关联,与赤楠也是以无关联为主,只在个别尺度上有微弱的负相关,两物种对博罗红豆的分布影响不明显。博罗红豆与这2物种在群落中占据了不同的层次、不同的生态位,对资源和空间的需求有差异,所以种间关联不显著。此外,博罗红豆种群与密花树、深山含笑主要呈正相关,这反映出博罗红豆与这2物种对资源和空间的需求相似<sup>[32]</sup>,因此空间分布较近。而博罗红豆与密花山矾则主要呈负相关,反映了它们在空间上的相互排斥。这可能是由于它们进入群落的时间不一,产生了生态位的分化<sup>[33]</sup>,密花山矾先进入群落占据了空间位置,而后进入的博罗红豆受到了排斥,挤压了博罗红豆的生存空间,使得博罗红豆种群的扩张受到了限制。因此,在今后对博罗红豆种群进行复壮工作时,可以适当地间伐密花山矾等中层灌木或小乔木,减缓物种间的排斥压力,为博罗红豆种群的壮大腾出空间。

**致谢** 感谢广州林芳生态科技有限公司的工作人员在样地建设及调查中的艰苦付出!

### 参考文献

- [1] LI B, YANG C, LIN P. Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 112-196.  
李博, 杨持, 林鹏. 生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 112-196.
- [2] HOOPER D U, CHAPIN III F S, EWEL J J, et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge [J]. Ecol Monogr, 2005, 75(1): 3-35. doi: 10.1890/04-0922.
- [3] MA Z B, XIAO W F, HUANG Q L, et al. A review of diversity and spatial pattern of forest community [J]. World For Res, 2016, 29(3): 35-39. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2016.03.005.  
马志波, 肖文发, 黄清麟, 等. 森林群落多样性与空间格局研究综述 [J]. 世界林业研究, 2016, 29(3): 35-39. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2016.03.005.
- [4] WANG S T, WU H, LIU M T, et al. Community structure and dynamics of a remnant forest dominated by a plant species with extre-



- mely small population (*Sinojackia huangmeiensis*) in central China [J]. Biodiv Sci, 2018, 26(7): 749–759. doi: 10.17520/biods.2018055.
- 王世彤, 吴浩, 刘梦婷, 等. 极小种群野生植物黄梅秤锤树群落结构与动态 [J]. 生物多样性, 2018, 26(7): 749–759. doi: 10.17520/biods.2018055.
- [5] ZHANG M, LI T T, ZHANG Q D, et al. Study on the spatial distribution patterns and maintaining mechanisms of dominant trees in Taiyue Mountain, Shanxi [J]. Acta Bot Boreali-Occid Sin, 2017, 37(4): 782–789. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.04.782.
- 张蕊, 李婷婷, 张钦弟, 等. 太岳山主要树种空间分布格局及其维持机制研究 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(4): 782–789. doi: 10.7606/j.issn.1000-4025.2017.04.782.
- [6] HAN L, WANG J Q, WANG H Z, et al. Niche and spatial distribution pattern analysis of the main populations of the Tarim desert-oasis ecotone [J]. Plant Sci J, 2016, 34(3): 352–360. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.30352.
- 韩路, 王家强, 王海珍, 等. 塔里木荒漠绿洲过渡带主要种群生态位与空间格局分析 [J]. 植物科学学报, 2016, 34(3): 352–360. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2016.30352.
- [7] SU S J, LIU J F, MA R F, et al. Spatial distribution patterns and associations of *Pinus taiwanensis* population in Daiyun Mountain, southeast China [J]. Resour Sci, 2015, 37(4): 841–848.
- 苏松锦, 刘金福, 马瑞丰, 等. 戴云山黄山松种群的空间分布格局与关联性 [J]. 资源科学, 2015, 37(4): 841–848.
- [8] CONDIT R, ASHTON P S, BAKER P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species [J]. Science, 2000, 288(5470): 1414–1418.
- [9] JIA C Z, MIAO B L, JIANG W, et al. Scale dependence of spatial distribution pattern and association of a typical community in Alashan Desert [J]. J Inner Mongolia Univ (Nat Sci), 2017, 48(2): 142–148. doi: 10.13484/j.nmgdxzbk.20170206.
- 贾成朕, 苗百岭, 姜威, 等. 阿拉善典型荒漠群落种群空间格局及种间关联的尺度依赖性 [J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2017, 48(2): 142–148. doi: 10.13484/j.nmgdxzbk.20170206.
- [10] LI L, WEI S G, HUANG Z L, et al. Spatial patterns and interspecific associations of three canopy species at different life stages in a subtropical forest, China [J]. J Integr Plant Biol, 2008, 50(9): 1140–1150. doi: 10.1111/j.1744-7909.2008.00690.x.
- [11] WIEGAND T, GUNATILLEKE S, GUNATILLEKE N. Species associations in a heterogeneous Sri Lankan dipterocarp forest [J]. Amer Nat, 2007, 170(4): E77–E95. doi: 10.1086/521240.
- [12] CONDIT R, ASHTON P S, BAKER P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species [J]. Science, 2000, 288(5470): 1414–1418. doi: 10.1126/science.288.5470.1414.
- [13] RIPLEY B D. Modelling spatial patterns [J]. J R Stat Soc B, 1977, 39(2): 172–212. doi: 10.1111/j.2517-6161.1977.tb01615.x.
- [14] ZHANG J T, MENG D P. Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larix principis-rupprechtii* in Luya Mountain Reserve, Shanxi, China [J]. Acta Ecol Sin, 2004, 24(1): 35–40. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2004.01.006.
- 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析 [J]. 生态学报, 2004, 24(1): 35–40. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2004.01.006.
- [15] WANG X T, ZHANG W H, JIANG C, et al. Point pattern analysis under conditions of replicated sampling [J]. Acta Phytoecol Sin, 2017, 41(5): 577–584. doi: 10.17521/cjpe.2016.0383.
- 王鑫彤, 张维华, 姜超, 等. 重复取样条件下的点格局分析 [J]. 植物生态学报, 2017, 41(5): 577–584. doi: 10.17521/cjpe.2016.0383.
- [16] REN H, ZHANG Q M, LU H F, et al. Wild plant species with extremely small populations require conservation and reintroduction in China [J]. AMBIO, 2012, 41(8): 913–917. doi: 10.1007/s13280-012-0284-3.
- [17] SUN W B, YANG J, DAO Z L. Study and Conservation of Plant Species with Extremely Small Population (PESP) in Yunnan Province, China [M]. Beijing: Science Press, 2019: 3–4.
- 孙卫邦, 杨静, 刀志灵. 云南省极小种群野生植物研究与保护 [M]. 北京: 科学出版社, 2019: 3–4.
- [18] CHEN Y K, YANG X B, YANG Q, et al. Factors affecting the distribution pattern of wild plants with extremely small populations in Hainan Island, China [J]. PLoS One, 2014, 9(5): e97751. doi: 10.1371/journal.pone.0097751.
- [19] YUAN N, SUN Y, COMES Y P, et al. Understanding population structure and historical demography in a conservation context: Population genetics of the endangered *Kirengeshoma palmata* (Hydrangeaceae) [J]. Amer J Bot, 2014, 101(3): 521–529. doi: 10.3732/ajb.1400043.
- [20] FENG X Y, WANG Y H, GONG X. Genetic diversity, genetic structure and demographic history of *Cycas simplicipinna* (Cycadaceae) assessed by DNA sequences and SSR markers [J]. BMC Plant Biol, 2014, 14(1): 187. doi: 10.1186/1471-2229-14-187.
- [21] WANG Y Q, CHEN B Y. New taxa of Guangdong plants [J]. J Trop Subtrop Bot, 1995, 3(1): 29–33.
- 王英强, 陈邦余. 广东植物新类群 [J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(1): 29–33.
- [22] SUN W B. Exploring and Practicing on Conservation of Wild Plant Species with Extremely Small Populations in Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2013: 5–8.

- 孙卫邦. 云南省极小种群野生植物保护实践与探索 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2013: 5–8.
- [23] QU Z X, WEN Z W, ZHU K G. Analysis of forest status of the Spirit Valley, Nanjing [J]. Acta Bot Sin, 1952, 1(1): 18–49.
- 曲仲湘, 文振旺, 朱克贵. 南京灵谷寺森林现状的分析 [J]. 植物学报, 1952, 1(1): 18–49.
- [24] WIEGAND T, MOLONEY K A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology [J]. Oikos, 2004, 104(2): 209–229. doi: 10.1111/j.0030-1299.2004.12497.x.
- [25] WIEGAND T, MOLONEY K A. Handbook of Spatial Point-Pattern Analysis in Ecology [M]. Boca Raton, Florida: Chapman and Hall/CRC Press, 2014: 1–500.
- [26] LIN Y T, LI H B, HUANG X S, et al. Variation of diversity and biomass of woody plant along altitude of Lianhua Mountain in Huizhou of Guangdong Province and their correlation analyses [J]. J Plant Resour Environ, 2018, 27(4): 42–52. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.05.
- 林喻彤, 李海滨, 黄潇洒, 等. 广东惠州莲花山木本植物的多样性和生物量沿海拔的变化及相关性分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 42–52. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.04.05.
- [27] YE W H, CAO H L, HUANG Z L, et al. Community structure of a 20 hm<sup>2</sup> lower subtropical evergreen broadleaved forest plot in Dinghushan, China [J]. J Plant Ecol, 2008, 32(2): 274–286. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.005.
- 叶万辉, 曹洪麟, 黄忠良, 等. 鼎湖山亚热带常绿阔叶林 20 公顷样地群落特征研究 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 274–286. doi: 10.3773/j.issn.1005-264x.2008.02.005.
- [28] HUBBELL S P. Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest [J]. Science, 1979, 203(4387): 1299–1309. doi: 10.1126/science.203.4387.1299.
- [29] ZHOU S X, PENG Y S, GAO P X, et al. Spatial pattern and association of main species in endangered plant *Sinojackia rehderiana* community [J]. J Trop Subtrop Bot, 2019, 27(4): 349–358. doi: 10.11926/jtsb.3992.
- 周赛霞, 彭焱松, 高浦新, 等. 濒危植物狭果秤锤树群落内主要树种的空间分布格局和关联性 [J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 349–358. doi: 10.11926/jtsb.3992.
- [30] ZHU Y, BAI F, LIU H F, et al. Population distribution patterns and interspecific spatial associations in warm temperate secondary forests, Beijing [J]. Biodiv Sci, 2011, 19(2): 252–259. doi: 10.3724/SPJ.1003.2011.08024.
- 祝燕, 白帆, 刘海丰, 等. 北京暖温带次生林种群分布格局与种间空间关联性 [J]. 生物多样性, 2011, 19(2): 252–259. doi: 10.3724/SPJ.1003.2011.08024.
- [31] SHEN Z Q, HUA M, DAN Q, et al. Spatial pattern analysis and associations of *Quercus aquifolioides* population at different growth stages in southeast Tibet, China [J]. Chin J Appl Ecol, 2016, 27(2): 387–394. doi: 10.13287/j.1001-9332.201602.032.
- 沈志强, 华敏, 丹曲, 等. 藏东南川滇高山栎种群不同生长阶段的空间格局与关联性 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(2): 387–394. doi: 10.13287/j.1001-9332.201602.032.
- [32] LIANG S. The spatial distribution pattern of main dominant species in tropical montane rainforest of Jianfengling, Hainan Island, China [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2014: 15–48.
- 梁爽. 海南尖峰岭热带山地雨林主要优势种空间分布格局研究 [D]. 广州: 华南农业大学, 2014: 15–48.
- [33] XU L N, JIN G Z. Species composition and community structure of a typical mixed broad-leaved-Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest plot in Liangshui Nature Reserve, northeast China [J]. Biodiv Sci, 2012, 20(4): 470–481. doi: 10.3724/SPJ.1003.2012.12233.
- 徐丽娜, 金光泽. 小兴安岭凉水典型阔叶红松林动态监测样地: 物种组成与群落结构 [J]. 生物多样性, 2012, 20(4): 470–481. doi: 10.3724/SPJ.1003.2012.12233.