

· 研究简报 ·

五指山热带雨林黑桫欏种群及其所在群落特征

龙文兴 杨小波* 吴庆书 李东海 郭 涛

(海南大学生命科学与农学院热带生物中心, 海口 570228)

摘要: 黑桫欏(*Alsophila podophylla*)属国家二级保护植物。作者在海南岛五指山山地雨林和低地雨林分别设立样地对黑桫欏种群及其所在群落进行了调查,分析了热带雨林黑桫欏种群的年龄结构、空间分布格局、数量分布以及群落结构和物种多样性。结果表明,山地雨林和低地雨林中黑桫欏种群分别为稳定型种群和增长型种群,都是完全集群分布。低地雨林的黑桫欏平均密度是山地雨林的1.7倍。土壤pH值对黑桫欏种群密度有负的影响,全磷含量对其有正的影响。山地雨林林地土壤pH值大而全磷含量低,低地雨林刚好相反。土壤酸碱度和全磷含量的差异是导致两地黑桫欏数量差异的原因之一。pH值对黑桫欏平均密度的影响效应是全磷含量的2.5倍,说明pH值是影响黑桫欏种群密度的主要因素。黑桫欏所在群落垂直结构分为3个乔木亚层、2个灌木亚层及草本层。山地雨林黑桫欏所在群落的Simpson指数和Shannon-Wiener指数分别为0.957和5.305,均匀度为0.811;低地雨林黑桫欏所在群落的Simpson指数和Shannon-Wiener指数分别为0.937和5.484,均匀度为0.804。总之,五指山山地雨林和低地雨林的黑桫欏种群年龄结构、分布格局和数量分布都有一定差异,这些差异是由生境差异造成的。热带雨林黑桫欏所在群落结构复杂,物种多样性丰富。

关键词: *Alsophila podophylla*, 热带雨林, 群落结构, 物种多样性, 年龄结构, 空间格局, 种群数量, 土壤

Characteristics of *Alsophila podophylla* population and its community in the tropical rainforest in Wuzhi Mountains

Wenxing Long, Xiaobo Yang*, Qingshu Wu, Donghai Li, Tao Guo

Tropic Biological Center of Life Science and Agriculture College, Hainan University, Haikou 570228

Abstract: *Alsophila podophylla* is a second-class state-protected plant species. After surveying the populations and communities of *A. podophylla* in the lowland rainforest and the montane rainforest of Wuzhi Mountains, Hainan Island, we analysed the population characteristics including age structures, spatial patterns and quantities, and the community characteristics including structures and species diversity. The findings showed that *A. podophylla* population age-structures in the montane rainforest demonstrated a stable type while in the lowland rainforest it was growth-oriented, but the spatial patterns of both were clumped. The average population density of *A. podophylla* in the lowland rainforest was as 1.7 times as that in the montane rainforest. The soil pH value had negative effects on the average population density, and total P content in soil had positive effects on it. The soil pH value was high and the total P content was low in the montane rainforest, while the case was reverse in the lowland rainforest, hence the discrepancy of pH value and total P content between the montane rainforest and the lowland rainforest accounted for their quantity discrepancy of *A. podophylla* populations. Besides, according to their path coefficients, the effect that pH value caused to *A. podophylla* population density was as 2.5 times as that total P content did, thus it meant that soil pH value was the major factor that affected *A. podophylla* population density. All the community structures were vertically divided into three tree layers, two shrub layers and one herb layer. The Simpson index, Shannon-Wiener index and evenness of the communities were 0.957, 5.305, and 0.811, respectively in the montane rainforest, while in the lowland rainforest they were respectively 0.937, 5.484, and 0.804. In

收稿日期: 2007-04-06; 接受日期: 2007-07-06

基金项目: 海南大学教育部热带海洋与陆生生物资源研究及利用重点实验室基金和海南省水务局项目——海南局部地区植被演变对水文特征的影响

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: yangxb62@yahoo.com.cn

conclusion, *A. podophylla* population of montane rainforest is different from that of lowland rainforest in characteristics including age-structures, spatial patterns and quantities, and in tropical forest of Wuzhi Mountains *A. podophylla* community structures are complex and species diversities are rich.

Key words: *Alsophila podophylla*, tropical rainforest, community structure, species diversity, age-structure, spatial pattern, population quantity, soil

黑桫欏(*Alsophila podophylla*)为桫欏科桫欏属黑桫欏亚属木本蕨类植物,起源于3亿多年前,第四纪冰川使其分布范围大大缩小,生存受到严重威胁(周志琼等, 2004),目前已处于渐危状态,被列为国家二级保护植物(傅立国, 1992)。据《中国植物志》记载,黑桫欏分布在中国、日本南部、越南、老挝、泰国和柬埔寨,在我国主要分布在台湾、福建、广东、香港、海南、广西、云南和贵州等地。海南的黑桫欏主要分布在五指山、尖峰岭、吊罗山和霸王岭等热带雨林区。很多学者对亚热带沟谷雨林生境中的桫欏进行了研究,主要涉及群落结构、物种多样性、种群结构、种间联结性和遗传多样性等方面(张思玉, 2002; 黄儒珠和王经源, 2003; 马文辉等, 2003; 尚进和李旭光, 2003; 尚进等, 2003a),研究地域主要分布在四川省荣县、重庆涪陵磨盘沟、福建瓜溪和永定县笔架山等(张思玉, 2002; 尚进等, 2003b; 尚进和李旭光, 2004; 敖光辉, 2005; 宋萍等, 2005)。有学者进行过黑桫欏遗传结构的研究(苏应娟等, 2004),但没有生态学尤其是热带雨林生境中桫欏植物的生态学研究报道。为此,我们分别在五指山地低地雨林和山地雨林设置样地进行取样调查,比较分析了两种不同生境中黑桫欏所在群落的结构特征、物种多样性和黑桫欏种群年龄结构、空间格局、数量分布及其与土壤的相关性等,以便为黑桫欏的有效保护和繁殖培育提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

五指山位于海南岛中部山区,地处 $18^{\circ}49'20''-18^{\circ}58'54''$ N, $109^{\circ}39'38''-109^{\circ}47'50''$ E之间,年平均气温 22.5°C ,最热月均温 25.7°C ,最冷月均温 18.0°C ,有短期霜冻(杨小波等, 1994a)。年降水量 $2,350.7-2,488.3$ mm,但分布不均匀,80%的降水集中在5-10月,形成明显的干湿季(符国瑗, 1995)。成土母岩为花岗岩和流纹岩。土壤自低海拔到高海拔发育着赤红壤(500-700 m)、黄色赤红壤(700-1,100 m)、灰化黄壤(1,100-1,600 m)和南方山

地灌丛草甸土(1,600 m 以上)。植被类型随海拔高度的变化而不同,从山脚到山顶依次为枫香(*Liquidambar formosana*)林(700 m以下)、低地雨林(750-900 m)、山地雨林(1,000-1,500 m)、亚高山矮林(1,500-1,700 m)和山顶灌丛(1,700-1,867 m)(杨小波等, 1994a)。

山地雨林保存完好,群落演替已达顶极阶段;低地雨林受到轻度干扰,也正在向顶极群落演替。

1.2 研究方法

1.2.1 样地调查方法

分两次进行野外调查。2005年11月调查黑桫欏所在群落的特征。在山地雨林、低地雨林中分别设置 $2,200\text{ m}^2$ 和 $2,600\text{ m}^2$ 的样地(即 Q_1 和 Q_2),为了避免小地形对土壤及水热条件的影响,保证样地间的可比性,样地间除了海拔不同外,坡向、坡度和坡位基本相同(见表1)。采用相邻格子法将两样地分别划分为22个和26个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的样方,对样地内高度大于 1.5 m 的立木进行每木调查,确定种名,测定胸径并计算胸高断面积。此外,在两个样地内各随机设置10-16个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的样方,调查灌木和草本物种组成及盖度。

第二次调查于2006年7月进行,目的是调查黑桫欏种群特征。在原来山地雨林样地 Q_1 中随机选择并设置面积为 900 m^2 和 $1,200\text{ m}^2$ 的两块样地(Q_{1A} 和 Q_{1B}),在低地雨林样地 Q_2 中设置面积为 600 m^2 和 600 m^2 的两块样地(Q_{2A} 和 Q_{2B}),采用相邻格子法将4个样地划分为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 的样方,统计黑桫欏个体数目(表1)。

1.2.2 土壤的采集和测定

2006年7月在样地 Q_{1A} 、 Q_{1B} 、 Q_{2A} 和 Q_{2B} 内各随机选取5个土壤剖面,每个剖面在0-10 cm、10-20 cm及20-30 cm深度各取1个样品。样品分析时同一样地相同层次的5个土样按四分法均匀混合,测定各成分含量,重复3次。土壤自然含水量、有机质、全氮、全磷、全钾含量和pH值分别用烘干法、重铬酸钾法、凯氏定氮法、比色法、火焰光度法和电位法测定(中国土壤学会农业化学专业委员会, 1983)。

表1 五指山不同样地的环境条件(样地 Q_{1A} 和 Q_{1B} 取自原 Q_1 , 样地 Q_{2A} 和 Q_{2B} 取自原 Q_2 。所有样地均位于西南坡向的中部)Table 1 Environmental condition of different quadrats. Q_{1A} and Q_{1B} were parts of Q_1 , while Q_{2A} and Q_{2B} were parts of Q_2 . All quadrats were located in the middle section of the southwestern slope of the Wuzhi Mountains.

样地 Quadrat	调查时间 Time	植被类型 Vegetation type	位置 Position	海拔 Altitude (m)	坡度 Slope	面积 Area (m ²)
Q ₁	2005年11月 Nov. 2005	山地雨林 Montane rainforest	18°54'0.3"N, 109°41'21.5"E	1,020	27-36°	2,200
Q ₂	2005年11月 Nov. 2005	低地雨林 Lowland rainforest	18°54'18.2"N, 109°41'0.5"E	809	30-38°	2,600
Q _{1A}	2006年7月 July 2006	山地雨林 Montane rainforest	18°54'0.5"N, 109°41'20.8"E	1,015	28-35°	900
Q _{1B}	2006年7月 July 2006	山地雨林 Montane rainforest	18°54'0.2"N, 109°41'23.2"E	1,045	27-33°	1,200
Q _{2A}	2006年7月 July 2006	低地雨林 Lowland rainforest	18°54'18.8"N, 109°41'0.4"E	805	32-37°	600
Q _{2B}	2006年7月 July 2006	低地雨林 Lowland rainforest	18°54'17.45"N, 109°41'0.89"E	815	30-36°	600

1.2.3 数据分析

按照孙儒泳等(2002)方法计算种群密度和重要值。根据方差/均值比法和Morisita指数检验法计算黑桫欏种群空间格局指数, 可靠性分别用Student's *t*-检验和*F*-检验(张金屯, 2004)验证。由于黑桫欏没有径向生长特征, 其生长主要体现在高度增加, 因而用高度作为龄级估测参数(Lieberman & Lieberman, 1988)。作为衡量个体大小的指标, 胸径和树高具有良好的一致性(洪伟等, 2001)。同时参考宋萍等(2005)和周崇军(2005)的方法, 采用茎杆高度作为个体大小指标划分年龄级: 茎高小于0.25 m为I级幼苗阶段; 0.25-0.5 m为II级小型植株阶段; 0.5-1 m为III级中型植株阶段; 1-1.5 m为IV级大中型植株阶段; 大于1.5 m为V级大型植株阶段。求出不同年龄级个体所占百分比并作年龄结构图。

用Student's *t*-检验检测山地雨林和低地雨林黑桫欏平均密度的差异性($\alpha = 0.05$), 根据变异系数比较各样地内小样方间黑桫欏数量差异程度(盖钧镒, 2000)。利用SAS 8.0中Regression过程对黑桫欏平均密度和土壤因子进行逐步回归分析, 并用*F*-检验验证其可靠性($\alpha = 0.05$)。回归方程中自变量相对重要性通过通径系数比较获得(盖钧镒, 2000)。

根据Simpson指数、Shannon-Wiener指数以及基于Shannon-Wiener指数的Pielou均匀度指数, 分析黑桫欏种群所在群落的物种多样性(彭少麟和王伯荪, 1983; 王伯荪等, 1996)。

2 结果

2.1 黑桫欏种群年龄结构特征

种群的年龄结构不仅可以反映种群动态及其发展趋势, 并可在一定程度上反映种群与环境间的

相互关系以及种群在群落中的作用和地位(王伯荪等, 1996)。本研究中不同地段的黑桫欏种群年龄结构可分为以下两种类型(图1): (1) 山地雨林种群的幼、青年期(I、II级)的黑桫欏株数与壮、老年期(III、IV、V级)数量比为68:58, 各级别个体数目接近, 种群数量在一段时间内维持相对不变, 属稳定型种群。(2) 低地雨林种群的幼、青年期(I、II级)的黑桫欏株数与壮、老年期(III、IV、V级)株数比为97:47, 幼年期个体数量多, 老年期个体数量少, 大致呈下宽上窄的金字塔形状, 有较强的更新能力, 属增长型种群。

2.2 黑桫欏种群的空间分布格局

山地雨林和低地雨林黑桫欏种群在方差均值比检验中 s^2/\bar{x} 都大于1(表2), 极显著偏离Poisson分布(Student's *t*-test, $P < 0.01$); 并且Morisita指数都大于1, 极显著(*F*-test, $P < 0.01$)或显著(*F*-test, $P < 0.05$)偏离Poisson分布, 表明山地雨林和低地雨林群落中黑桫欏呈集群分布特点。山地雨林中的 s^2/\bar{x} 和 I_δ 比低地雨林高, 证明山地雨林黑桫欏的集群程度更高。

2.3 黑桫欏种群密度比较

根据 Q_{1A} 、 Q_{1B} 、 Q_{2A} 和 Q_{2B} 样地的黑桫欏密度比较两类生境的黑桫欏数量(表3)。低地雨林中黑桫欏植株最高2.5 m, 胸径最大25 cm, 幼苗(高度小于0.25 m)平均密度5.3 inds./100 m²; 山地雨林中的黑桫欏植株最高2.5 m, 胸径最大17 cm, 幼苗(高度小于0.25 m)平均密度为1.3 inds./100 m²。

4个样地按照海拔从高到低排列(Q_{1B} 、 Q_{1A} 、 Q_{2B} 、 Q_{2A}), 各合并1-6号样方(合并后面积为600 m²), 黑桫欏平均密度依次为10.8、3.5、8.5和15.5 inds./100 m²。可以看出, 在海拔805-1,020 m范围内, 随海拔

表2 山地雨林和低地雨林黑桫欏种群空间格局指数

Table 2 Spatial pattern index of *Alsophila podophylla* population in montane rainforest and lowland rainforest

样地 Quadrat	方差均值比 Variance to mean ratio		Morisita指数 Morisita index		分布类型 Type
	s^2/\bar{x}	t-test	I_s	F-test	
Q _{1A} +Q _{1B}	4.42	10.77**	1.52	4.41**	集群分布 Clump
Q _{2A} +Q _{2B}	2.91	4.48**	1.15	2.91*	集群分布 Clump

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

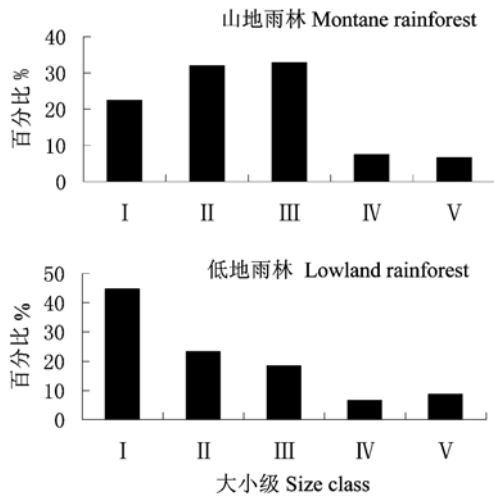


图1 不同样地黑桫欏种群年龄组成。山地雨林包含Q_{1A}和Q_{1B}样地, 低地雨林包含Q_{2A}和Q_{2B}样地. I: 幼苗阶段(茎高<0.25 m); II: 小型植株阶段(茎高0.25-0.5 m); III: 中型植株阶段(茎高0.5-1 m); IV: 大中型植株阶段(茎高1-1.5 m); V: 大型植株阶段(茎高>1.5 m)

Fig. 1 Age-structure of *Alsophila podophylla* population in different quadrats. Quadrats Q_{1A} and Q_{1B} were combined to represent montane rainforest, while quadrats Q_{2A} and Q_{2B} were combined to represent lowland rainforest. I, Seedling phase (stem height < 0.25 m); II, Small plant phase (stem height between 0.25-0.5 m); III, Medium-sized plant phase (stem height between 0.5-1.0 m); IV, Large and medium-sized plant phase (stem height between 1-1.5 m); V, Large plant phase (stem height > 1.5 m).

降低, 黑桫欏平均密度呈现增大趋势。分别合并山地雨林样地Q_{1A}和Q_{1B}及低地雨林样地Q_{2A}和Q_{2B}, 各合并1-12号样方(合并后面积1,200 m²)来计算黑桫欏平均密度, 可见两类生境的黑桫欏种群平均密度差异极显著(Student's t-test, $P = 0.0055$): 山地雨林的平均密度为7.2 inds./100 m², 低地雨林为12 inds./100 m², 后者为前者的1.7倍。

比较各样地内黑桫欏密度变异度, Q_{1A}、Q_{1B}、Q_{2A}和Q_{2B}内不同样方间的黑桫欏密度变异系数分别为99.71% ($D = 4.778$ inds./100 m², $s = 4.764$ inds./100 m²)、80.81% ($D = 7$ inds./100 m², $s = 5.657$

表3 山地雨林和低地雨林样地中黑桫欏的种群密度(株数/100 m²)和变异系数(%)

Table 3 Population density (inds./100 m²) and coefficient of variation of *Alsophila podophylla* in the montane rainforest and lowland rainforest

样方号 Subquadrat no.	山地雨林 Montane rainforest		低地雨林 Lowland rainforest	
	Q _{1A}	Q _{1B}	Q _{2A}	Q _{2B}
1	0	13	8	13
2	0	15	18	4
3	5	13	17	6
4	2	4	13	8
5	3	13	22	4
6	11	7	15	16
7	4	11	—	—
8	4	0	—	—
9	14	3	—	—
10	—	3	—	—
11	—	0	—	—
12	—	2	—	—
变异系数 CV(%)	99.71	80.81	30.74	58.47

样方号1-12表示Q_{1A}、Q_{1B}、Q_{2A}和Q_{2B}中各小样方(subquadrat) Numbers 1-12 represent the subquadrats from quadrats Q_{1A}, Q_{1B}, Q_{2A}, and Q_{2B}.

inds./100 m²)、30.74% ($D = 15.5$ inds./100 m², $s = 4.764$ inds./100 m²)和58.47% ($D = 8.5$ inds./100 m², $s = 4.97$ inds./100 m²) (表3), 可以看出各样地内部黑桫欏数量变异大, 在各样地中数量分布不均匀, 其中山地雨林黑桫欏数量变异相对较大, 低地雨林相对较小。

2.4 黑桫欏种群密度与土壤因子的关系

比较山地雨林和低地雨林样地的土壤因子(表4), 发现前者的土壤肥力总体上比后者高。通过分析各层土壤因子与黑桫欏种群密度关系, 发现第一层土壤因子与种群密度关系密切。各样地第一层土壤相比较有如下特征: (1) 由于山地雨林群落结构较复杂, 因此土壤有机质、全氮含量较高; (2) 随海拔升高, pH值、土壤含水量总体上表现为逐渐增大趋势, 而全磷、全钾含量总体上表现为逐渐减少趋势。

选择上述样地的黑桫欏平均密度、土壤有机质、全氮、全磷、全钾、水含量和pH值作变量, 作种群平均密度与土壤因子间的逐步回归分析, 拟合

的回归方程可表示为:

$$Y = 1.165 + 0.276 x_1 - 0.293 x_2$$

Y 表示黑桫欏平均密度, x_1 表示土壤全磷含量, x_2 表示土壤pH值。模型($F = 1667.66, p = 0.017$)、截距($F = 2980.85, p = 0.012$)、全磷含量($F = 456.26, p = 0.030$)和pH值($F = 2881.77, p = 0.012$)经 F -检验均有显著性差异; 而全氮、全钾和水含量与平均密度间的相关性小。

比较上述模型中全磷含量和pH值对黑桫欏平均密度作用大小, 求得通径系数 $p_1 = 0.369, p_2 = -0.930$, 则土壤全磷含量每增加一个标准差单位, 黑桫欏平均密度增加0.369个标准差单位; 而土壤pH值每增加一个标准差单位, 黑桫欏平均密度减少0.930个标准差单位。得出土壤pH值对黑桫欏平均密度的效应是全磷含量的2.5倍。

2.5 黑桫欏所在群落特征比较

样地 Q_1 调查结果表明, 山地雨林黑桫欏所在群落常有鸡毛松(*Podocarpus imbricatus*)与陆均松(*Dacrydium pierrei*)分布(表5)。森林郁闭度0.85左右, 每100 m²样方内, 高1.5 m以上的立木有26种30株。群落结构复杂, 乔木层可分为3个亚层, 但不如典型的山地雨林清晰。第一亚层高20–30 m, 胸径30–100 cm, 以鸡毛松、陆均松占优势, 常见植物有蝴蝶树(*Heritiera parvifolia*)、五列木(*Pentaphylax euryoides*)等; 第二亚层高12–20 m, 胸径12–33 cm, 以线枝蒲桃(*Syzygium araiocladum*)占优势, 常见植物有青蓝(*Xanthophyllum hainanensis*)、谷木(*Memecylon ligustrifolium*)、阿丁枫(*Altingia obovata*)等; 第三亚层高4–12 m, 胸径6–15 cm, 以线枝蒲桃占优势, 常见植物有青蓝、谷木、柳叶山黄皮(*Randia merrillii*)、药用狗牙花(*Ervatamia officinalis*)等。

灌木层亦可分为2个亚层, 以三角瓣花(*Prismatomeris tetrandra*)占优势, 常见的植物有海南虎皮楠(*Daphniphyllum paxianum*)、青蓝、线枝蒲桃等, 同时还可见到线枝蒲桃和三角瓣花的小树和苗木, 优势种鸡毛松、陆均松的幼树罕见, 蝴蝶树的幼树也很少。黑桫欏主要分布在灌木第二亚层, 最高高度为2.5 m。草本植物有卷柏(*Selaginella tamariscina*)、乌蕨(*Stenoloma chusanum*)等。

样地 Q_2 调查结果表明, 低地雨林黑桫欏所在的群落组成成分丰富, 森林郁闭度0.80左右, 每100 m²样方内高1.5 m以上的立木有34种48株。立木以

海南柿(*Diospyros hainanensis*)、高脚罗伞(*Ardisia quinqueгона*)和蝴蝶树略占优势(表5)。乔木可分为3个亚层: 第一亚层乔木高20–30 m, 胸径30–100 cm, 以蝴蝶树占优势, 常见植物有尖叶杜英(*Elaeocarpus apiculatus*)、鸡毛松等; 第二、三亚层乔木高分别是12–20 m和4–12 m, 胸径分别是12–30 cm和4–15 cm, 以海南柿占优势, 常见物种有短药蒲桃(*Syzygium brachyantherum*)、海南暗罗(*Polyalthia laui*)、海南韶子(*Nephelium topengii*)、红桫欏(*Aglaia dasyclada*)和蝴蝶树等。

灌木层可分为2个亚层, 以高脚罗伞占优势, 常见物种有三角瓣花、染木树(*Saprosma ternatum*)、鸡屎树(*Lasianthus cyanocarpus*)和海南柿的小树。黑桫欏在灌木层第一、二亚层都有分布, 最高高度为2.5 m。草本层有十字苔草(*Carex cruciata*)、卷柏、高良姜(*Alpinia officinarum*)等喜阴湿植物。

从群落物种重要值分布来看, 第二、三亚层乔木和灌木层的树种重要值比第一亚层乔木大(表5), 说明此群落已在一定程度上受到干扰。

2.6 黑桫欏所在群落多样性分析

通过样地 Q_1 和 Q_2 数据分析山地雨林和低地雨林黑桫欏所在群落的多样性, 前者的Simpson指数、Shannon-Wiener指数及均匀度指数分别为0.957、5.305和0.811, 后者的分别为0.937、5.484和0.804。物种多样性及均匀度总体相差不大, 前者Simpson指数和均匀度指数比后者高, 而Shannon-Wiener指数则相对较低, 说明山地雨林物种分布较均匀, 而低地雨林物种丰富, 物种出现的不确定性较高。

3 讨论

3.1 黑桫欏种群年龄结构和空间格局

山地雨林和低地雨林的桫欏种群年龄结构分别为稳定型和增长型, 表明生境差异对种群结构变化速率有显著影响, 从而形成了不同的发育类型(宋萍等, 2005)。黑桫欏幼苗喜光(宋萍等, 2005), 低地雨林郁闭度相对较小, 林下光照较充分, 黑桫欏幼苗平均密度比山地雨林大。此外, 两类群落所处演替阶段不同, 在土壤肥力、群落郁闭度、环境湿度、温度和物种间关系等方面都有差异, 也导致两者的黑桫欏种群年龄组成不同。这也显示了低地雨林黑桫欏种群有很大的发展潜力, 而山地雨林种群在稳定期过后可能因幼体不足而衰退。在黑桫欏的

表4 山地雨林和低地雨林黑桫欏种群所在林地土壤成分分析

Table 4 Soil components in woodland of *Alsophila podophylla* population in the montane rainforest and lowland rainforest

样地 Quadrat	取样深度 Depth (m)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	pH	含水量(%) Soil moisture
Q _{1A}	0-10	59.64±8.60	2.58±0.77	0.18±0.04	45.66±2.83	3.99±0.25	34.78±2.02
	10-20	57.77±6.23	1.70±0.73	0.12±0.03	83.74±6.88	4.40±0.17	30.17±4.33
	20-30	40.56±8.35	1.27±0.39	0.154±0.01	77.75±3.08	4.52±0.13	30.31±5.41
Q _{1B}	0-10	58.91±7.42	5.16±0.63	0.16±0.08	13.74±3.08	3.88±0.36	36.00±2.95
	10-20	57.97±6.57	2.53±0.54	0.19±0.06	48.55±2.78	4.31±0.55	35.08±1.56
	20-30	41.34±5.44	1.18±0.58	0.13±0.09	44.51±2.32	5.44±0.83	31.50±1.41
Q _{2A}	0-10	51.51±4.15	2.01±0.54	0.23±0.03	35.27±3.24	3.67±0.12	30.24±1.43
	10-20	15.48±3.68	0.70±0.50	0.14±0.06	50.04±2.65	4.71±0.43	28.01±2.38
	20-30	13.50±7.82	0.58±0.67	0.15±0.06	33.77±4.21	4.44±0.21	26.63±3.24
Q _{2B}	0-10	50.66±4.83	2.79±0.61	0.30±0.02	44.66±2.58	3.97±0.34	29.94±1.11
	10-20	28.03±3.35	1.74±0.59	0.25±0.08	35.39±5.16	4.21±0.52	29.19±1.55
	20-30	32.83±4.71	1.26±0.56	0.24±0.09	31.19±3.36	4.35±0.26	26.65±1.87

表5 山地雨林和低地雨林黑桫欏所在群落立木的相对密度、相对频度、相对显著度和重要值

Table 5 Relative density, relative frequency, relative prominence, and importance value of standing trees in *Alsophila podophylla* community in montane rainforest and lowland rainforest

山地雨林 Montane rainforest					低地雨林 Lowland rainforest				
物种 Species	相对密度 RD	相对频度 RF	相对显著度 RP	重要值 IV	物种 Species	相对密度 RD	相对频度 RF	相对显著度 RP	重要值 IV
鸡毛松	3.5	3.7	41.8	49.0	海南柿	8.86	6.25	13.30	28.41
陆均松	2.76	2.77	27.76	32.29	高脚罗伞	11.93	4.30	1.03	17.26
线枝蒲桃	8.39	3.7	7.02	19.11	蝴蝶树	2.10	3.50	11.09	16.69
三角瓣花	9.79	4.63	0.06	14.48	尖叶杜英	0.36	0.81	14.60	15.77
五列木	4.89	4.63	3.04	12.55	三角瓣花	10.67	4.59	0.36	15.62
药用狗牙花	6.98	4.53	0.28	11.89	海南粗叶木	6.69	4.30	0.40	11.39
青蓝	5.55	4.63	0.34	10.52	短药蒲桃	0.56	1.18	7.37	9.03
蝴蝶树	2.07	2.77	0.48	9.32	鸡毛松	0.56	1.18	6.37	8.08
谷木	4.29	4.63	0.34	9.16	千层桫	1.46	2.70	1.29	6.15
柳叶山黄皮	2.79	3.70	0.26	6.75	岭南酸枣	0.36	1.18	4.30	6.02
海南虎皮楠	2.79	3.70	0.03	6.49	线枝蒲桃	0.72	1.56	3.54	5.82
海南粗叶木	4.29	1.95	0.05	6.09	红桫	1.80	3.10	0.90	5.80
子凌蒲桃	1.39	1.85	2.38	5.62	海南韶子	2.16	3.10	0.40	5.66
鸭脚木	2.07	1.77	0.68	5.52	厚壳桂	0.90	1.56	3.19	5.65
					钟氏布渣叶	2.34	2.70	0.23	5.27

山地雨林群落中其余38种植物重要值<5.0(略); 低地雨林群落中其余71种植物的重要值<5.0(略)。RD, RF, RP and IV represent relative density, relative frequency, relative prominence and importance value, respectively. The other 38 species whose importance value below 5.0 were omitted in the montane rainforest. The other 71 species whose importance value below 5.0 were omitted in the lowland rainforest.

鸡毛松 *Podocarpus imbricatus*; 陆均松 *Dacrydium pierrei*; 线枝蒲桃 *Syzygium araiocladum*; 三角瓣花 *Prismatomeris tetrandra*; 五列木 *Pentaphylax euryoides*; 药用狗牙花 *Ervatamia officinalis*; 青蓝 *Xanthophyllum hainanensis*; 蝴蝶树 *Heritiera parvifolia*; 谷木 *Memecylon ligustrilium*; 柳叶山黄皮 *Randia merrillii*; 海南虎皮楠 *Daphniphyllum atrobadium*; 海南粗叶木 *Lasianthus hainanensis*; 子凌蒲桃 *Syzygium championii*; 鸭脚木 *Schefflera octophylla*; 海南柿 *Diospyros hainanensis*; 高脚罗伞 *Ardisia quinquegona*; 尖叶杜英 *Elaeocarpus apiculatus*; 短药蒲桃 *Syzygium brachyantherum*; 千层桫 *Walsura robusta*; 岭南酸枣 *Spondias lakonensis*; 红桫 *Aglaia dasyclada*; 海南韶子 *Nephelium topengii*; 厚壳桂 *Cryptocarya chinensis*; 钟氏布渣叶 *Microcos chungii*

保护中, 如果能针对这种情况对立木树种进行适当人工疏伐, 就可以改善黑桫欏幼苗生长环境, 促进其更新。

山地雨林和低地雨林中的黑桫欏均为完全集群分布, 符合一般种群自然分布特点(胡玉佳, 1991;

杨小波等, 1995)。原因之一是种群密度在某种程度上影响着种群分布格局: 种群密度大, 个体间相互拥挤, 易形成集群分布(宋萍等, 2005)。另一方面, 黑桫欏孢子扩散以母株为中心, 幼苗往往聚集在母株周围生长; 而且作为蕨类植物, 黑桫欏的繁殖和

生长对水的依赖性很强, 湿度异质性和立木树种对黑桫欏的排斥作用都可能是导致黑桫欏集群分布的因素。本研究中不同样方的黑桫欏平均密度变异大, 如样地Q_{1B}中, 黑桫欏的密度在样方2内达15 inds./100 m², 而在样方8和11内均为0(表3), 集群分布特点明显。从种群分布格局指数及种群数量变异系数的比较可以发现, 山地雨林黑桫欏种群的聚集度比低地雨林的高, 可能原因是山地雨林群落郁闭度高, 黑桫欏大都聚集于光线较充足的林窗内或林缘生长; 而低地雨林环境条件相对一致, 黑桫欏空间分布的聚集度相对较低。

3.2 黑桫欏种群密度与土壤因子的关系

在海拔805–1,045 m范围内, 随海拔升高, 黑桫欏平均密度总体上呈减小趋势。要全面说明黑桫欏数量沿海拔的分布格局, 尚需要在其他海拔高度设置样地来进行比较。以前没有人定量地分析过土壤和黑桫欏的数量关系, 从本文可以看出, 土壤pH值对黑桫欏种群密度有负影响, 而全磷含量对其有正影响, 可见黑桫欏适宜生长在酸性较强和全磷含量较高的土壤中。通径系数大小的比较反映出土壤pH值对黑桫欏平均密度的效应是全磷含量的2.5倍, 可见土壤酸碱度是影响黑桫欏数量的主要因素之一, 这在黑桫欏繁殖、栽培和保护实践中有一定指导意义。

黑桫欏生长对水的依赖性很强, 本研究发现土壤含水量对种群密度影响小, 而降水、雾水及空气湿度可能对黑桫欏影响较大。此外, 土壤中其他成分和环境温度等因素对黑桫欏可能也有影响。以上问题有待进一步深入研究。

3.3 黑桫欏所在群落结构和物种多样性

五指山低地雨林和山地雨林黑桫欏所在群落结构复杂, 物种多样性及均匀度总体相差不大。一般情况下, 低地雨林比山地雨林的物种丰富, 群落相对稳定, 但由于五指山低地雨林受到轻度干扰, 因此群落稳定性下降, 均匀度较小(杨小波等, 1994b)。

比较重庆涪陵磨盘沟桫欏群落(尚进和李旭光, 2004)和五指山低地雨林黑桫欏所在群落, 其样地面积(2,500 m²)比五指山样地面积大(2,200 m²), 设置的小样方面积(25 m²)比五指山(100 m²)小, Simpson指数(0.831)和Shannon-Wiener指数(2.713)都要比低地雨林黑桫欏所在群落小很多(0.937和5.484), 证明五指山热带雨林黑桫欏所在群落比重庆的沟

谷雨林桫欏群落生物多样性高。

3.4 黑桫欏的保护

除了本文的研究外, 黑桫欏的研究和保护还可以从种间关系、种群数量和分布格局动态、生理生态、遗传多样性及繁殖等角度进行。五指山被列为自然保护区后, 黑桫欏得到了较好的保护, 但山路边黑桫欏仍有被采挖的现象, 而且在调查中发现枫香林(海拔700 m左右)中也有黑桫欏集中分布在山溪两岸约200 m²的斑块内, 平均密度约26 inds./100 m², 林地可见到山洪、牲畜及人为等因素破坏的迹象, 要立即采取措施加强保护。

致谢: 感谢车秀芬、欧芷阳及五指山自然保护区的同志协助调查。

参考文献

- Agricultural Chemistry Committee of Soil Science Society of China (中国土壤学会农业化学专业委员会) (1983) *Conventional Methods for the Agricultural Chemical Analysis of Soil* (土壤农业化学常规分析方法). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Ao GH (敖光辉) (2005) Studies on the *Alsophila spinulosa* community of the *Alsophila spinulosa* Nature Reserve in Rong County, Sichuan Province. *Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)*(四川大学学报(自然科学版)), **42**, 592–598. (in Chinese with English abstract)
- Fu GA (符国瓊), Feng SX (冯绍信) (1995) The vertical distribution and characteristics of forest of Wuzhishan, Hainan. *Guihaia* (广西植物), **15**, 57–69. (in Chinese with English abstract)
- Fu LK (傅立国) (1992) *China Plant Red DataBook: Rare and Endangered Plants* (中国植物红皮书: 稀有濒危植物). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Gai JY (盖钧镒) (2000) *Statistical Methods in Experiment* (试验统计方法). China Agricultural Press, Beijing. (in Chinese)
- Hong W (洪伟), Liu J (柳江), Wu CZ (吴承祯) (2001) A study on structure and spatial distribution pattern of *Castanopsis hystrix* population. *Scientia Silvae Sinicae* (林业科学), **37** (Suppl.), 6–10. (in Chinese with English abstract)
- Hu YJ (胡玉佳) (1991) A study on population structure of *Vatica hainanensis* in Hainan Island. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*(中山大学学报(自然科学版)), **30**(2), 91–97. (in Chinese with English abstract)
- Huang RZ (黄儒珠), Wang JY (王经源) (2003) Optimal choice for reaction system in RAPD analysis of *Alsophila spinulosa*. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science)* (福建师范大学学报(自然科学版)), **19**(2), 69–71,

81. (in Chinese with English abstract)
- Lieberman M, Lieberman D, Vandermeer JH (1988) Age-size relationship and growth behavior of the palm *Welfia georgii*. *Biotropica*, **4**, 270–273.
- Ma WH (马文辉), He P (何平), Yuan XF (袁小凤), Chen JM (陈建民), Ma HJ (马洪菊) (2003) A preliminary study on the genetic diversity of *Gymnospaera metteniana* in Jinying Mountain. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)* (西南师范大学学报(自然科学版)), **28**, 450–455. (in Chinese with English abstract)
- Peng SL (彭少麟), Wang BS (王伯荪) (1983) Analysis on the forest communities of Dinghushan. I. Species diversity. *Ecologic Science* (生态科学), (1), 11–17. (in Chinese with English abstract)
- Shang J (尚进), Li XG (李旭光) (2003) Preliminary research on the characters of *Alsophila spinulosa* community at Mopangou of Fuling District, Chongqing City. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)* (西南师范大学学报(自然科学版)), **28**, 294–297. (in Chinese with English abstract)
- Shang J (尚进), Li XG (李旭光) (2004) Study on characteristics of species diversity of *Alsophila spinulosa* Tryon community in different habitats in Mopangou of Fuling District, Chongqing City. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)* (西南师范大学学报(自然科学版)), **29**, 285–288. (in Chinese with English abstract)
- Shang J (尚进), Li XG (李旭光), Shi SY (石胜友) (2003a) Study on the population structure and distribution pattern of *Alsophila spinulosa* Tryon in Mopangou, Fuling, Chongqing City. *Journal of Southwest Agriculture University (Natural Science)* (西南农业大学学报(自然科学版)), **25**, 197–199, 206. (in Chinese with English abstract)
- Shang J (尚进), Li XG (李旭光), Shi SY (石胜友) (2003b) Study on interspecific association of the main populations in *Alsophila spinulosa* community in Mopan Gully of Fuling, Chongqing City. *Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science)* (西南农业大学学报(自然科学版)), **25**, 471–474. (in Chinese with English abstract)
- Song P (宋萍), Hong W (洪伟), Wu CZ (吴承祯), Feng L (封磊), Fan HL (范海兰), Zhu H (朱慧), Lin YM (林勇明), Zhang Q (张琼) (2005) Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa*. *Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), **16**, 413–418. (in Chinese with English abstract)
- Sun RY (孙儒泳), Li QF (李庆芬), Niu CJ (牛翠娟), Lou AR (娄安如) (2002) *Basic Ecology* (基础生态学). China Higher Education Press, Beijing. (in Chinese)
- Su YJ (苏应娟), Wang T (王艇), Zheng B (郑博), Jiang Y (江宇), Ouyang PY (欧阳蒲月), Chen GP (陈国培), Wang BS (王伯荪) (2004) Genetic structure and phylogeography of populations of *Alsophila podophylla* in Hainan and Guangdong, Southern China, based on cpDNA *trnL-F* noncoding sequences. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **24**, 914–919. (in Chinese with English abstract)
- Wang BS (王伯荪), Yu SX (余世孝), Peng SL (彭少麟) (1996) *Experiment Handbook of Phytocoenology* (植物群落学实验手册). Guangdong Higher Education Press, Guangzhou. (in Chinese)
- Yang XB (杨小波), Lin Y (林英), Liang SQ (梁淑群) (1994a) The forest vegetation of Wuzhishan Mountain in Hainan Island. I. The forest vegetation types of Wuzhishan Mountain in Hainan Island. *Natural Science Journal of Hainan University* (海南大学学报(自然科学版)), **12**, 220–236. (in Chinese with English abstract)
- Yang XB (杨小波), Lin Y (林英), Liang SQ (梁淑群) (1994b) The forest vegetation of Wuzhishan Mountain in Hainan Island. II. The plant population analysis and forest structures analysis of forest vegetation of Wuzhishan Mountain in Hainan Island. *Natural Science Journal of Hainan University* (海南大学学报(自然科学版)), **12**, 311–323. (in Chinese with English abstract)
- Yang XB (杨小波), Lin Y (林英), Liang SQ (梁淑群), Huang SM (黄世满), Fu SX (符史新), Wang QM (王琼梅), Xie GG (谢国干) (1995) Study on the population structure and distribution pattern of *Hopea exalata* in Hainan Island. *Natural Science Journal of Hainan University* (海南大学学报(自然科学版)), **4**, 299–303. (in Chinese with English abstract)
- Zhang F (张峰), Shangguan TL (上官铁梁) (2000) Population patterns of dominant species in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **24**, 590–594. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JT (张金屯) (2004) *Quantitative Ecology* (数量生态学). Science Press, Beijing. (in Chinese)
- Zhang SY (张思玉) (2002) Studies on species diversity of *Alsophila spinulosa* community in the Bijia Mountain of Yongding County, Fujian Province. *Journal of Wuhan Botanical Research* (武汉植物学研究), **20**, 275–279. (in Chinese with English abstract)
- Zhou CJ (周崇军) (2005) The research on characteristics of *Alsophila spinulosa* population in Chishui County. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Science)* (贵州师范大学学报(自然科学版)), **23**(2), 10–14. (in Chinese with English abstract)
- Zhou ZQ (周志琼), Su ZX (苏智先), Liao YM (廖永梅), Su RJ (苏瑞军), Li YX (黎云祥) (2004) Advance of biological study on *Alsophila spinulosa*. *Journal of Guizhou Normal University (Natural Science)* (贵州师范大学学报(自然科学版)), **22**(3), 100–103. (in Chinese with English abstract)

(责任编辑: 高贤明 责任编辑: 时意专)