

五指山黑桫欏 (*Alsophila podophylla*) 种群特征与 森林立木密度和土壤的关系

龙文兴, 欧芷阳, 杨小波*, 郭涛, 李东海

(海南大学生命科学与农学院热带生物研究中心, 海南 海口 570228)

摘要:研究了五指山黑桫欏(*Alsophila podophylla*)种群密度、高度和胸径等基本特征及种群与立木密度和土壤因子的关系。结果表明:山地雨林和低地雨林黑桫欏平均密度及立木平均密度各自差异极显著,黑桫欏平均高度和平均胸径各自差异不显著。低地雨林黑桫欏平均密度($0.12 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$)是山地雨林($0.06 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$)的 2 倍,后者的立木平均密度($0.467 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$)是前者($0.343 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$)的 1.4 倍,在一定海拔范围内,随海拔升高,黑桫欏种群密度逐渐减少,立木平均密度增大。山地雨林黑桫欏平均密度与平均高度正相关,黑桫欏种群趋于稳定;低地雨林中两者负相关,黑桫欏种群呈增长型,其相关关系都可用二项式方程拟合。山地雨林黑桫欏平均密度与立木平均密度负相关,低地雨林中两者正相关,相关关系可用一元线性方程拟合。山地雨林与低地雨林比较,土壤有机质、全氮、水含量和 pH 总体上表现为增大趋势,而全磷和全钾含量总体上表现为下降趋势;黑桫欏种群平均密度、高度和胸径与土壤 pH、全磷含量和全钾含量关系密切,各自可用二元线性回归方程拟合;3 个土壤因子对黑桫欏的作用大小是全钾含量 > pH > 全磷含量。可以根据以上模型指导黑桫欏保护、繁殖和栽培研究。

关键词:种群密度;种群高度;种群胸径;立木密度;土壤因子;黑桫欏(*Alsophila podophylla*)种群;五指山

文章编号:1000-0933(2008)04-1390-09 中图分类号:Q948 文献标识码:A

The elementary characteristics of *Alsophila podophylla* population and their relationships with forest standing tree density and soil factors on Wuzhi Mountain

LONG Wen-Xing, OU Zhi-Yang, YANG Xiao-Bo*, GUO Tao, LI Dong-Hai

Tropic Biological Research Center of College of Life Science and Agriculture, Hainan University, Haikou, Hainan province 570228, China
Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(4): 1390 ~ 1398.

Abstract: Both the elementary characteristics of *Alsophila podophylla* population such as population density, height and DBH, and the relationships between population parameters and each of standing tree density and soil factors on Wuzhi Mt. were studied. Results indicate that there is significantly different on mean densities of *A. podophylla* and standing tree between the montane rainforest and lowland rainforest, but no difference on mean height and DBH of *A. podophylla*; *A. podophylla* mean density in lowland rainforest ($0.12 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) is twice of that of montane rainforest ($0.06 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$), and in contrast, standing tree density in the latter ($0.467 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$) is 1.4 times of that of the former ($0.343 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$); Within a certain range of elevation, *A. podophylla* mean density gradually decreases, while standing tree mean density increases with increasing of elevation; In montane rainforest, mean density and mean height of *A. podophylla* are positively

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资助项目;海南省财政厅资助项目

收稿日期:2006-12-27; **修订日期:**2007-08-23

作者简介:龙文兴(1974~),男,湖北人,硕士生,从事植物生态学研究. E-mail:oklongster@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail:yangxb62@yahoo.com.cn

Foundation item: The project was financially supported by Key Laboratory of the Research and Use of Tropical Ocean and Terrestrial biological resources of Hainan University, Ministry of Education, China; Hainan Provincial Finance Bureau Item

Received date:2006-12-27; **Accepted date:**2007-08-23

Biography: LONG Wen-Xing, Master candidate, mainly engaged in plant ecology. E-mail:oklongster@yahoo.com.cn

correlated, and the population is stable. However, they are negatively correlated and the population is growing in lowland rainforest. The correlation between the mean density and mean height can be expressed by binomial equations. Relationship between the mean density and standing tree mean density is negative in montane rainforest, but positive in lowland rainforest, the correlation can be expressed by simple linear equations. Compared with lowland rainforest, organic matter content, total nitrogen content, soil moisture and pH in montane rainforest are inclining to be increasing, and total phosphorus content, total potassium content are in the contrast. ; pH and total potassium are closely associated with mean population density, total potassium and total phosphorus are closely associated with mean height, and pH and total potassium are closely associated with mean DBH, Their correlation can be expressed by binary linear equations respectively. Total potassium content has the greatest impacts on *A. podophylla* population, and the least does total phosphorus. Based on these models, protection, reproduction and cultivation of *A. podophylla* all can be designed.

Key Words: population density; population height; DBH; standing tree density; soil factors; *Alsophila podophylla* population; Wuzhi Mountain

黑桫欏(*Alsophila podophylla*)为桫欏科(Cyatheaceae)、桫欏属、黑桫欏亚属木本蕨类植物,距今3亿多年,由于地质变化、气候变迁和生境改变,致使该物种处于渐危状态,被列为国家二级保护植物^[1]。已有一些学者对四川荣县、重庆磨盘沟、福建笔架山和瓜溪、贵州赤水等地的桫欏进行了种群和群落生态研究,报道了桫欏群落学特征、物种多样性、种间连结性、种群大小和结构特征等^[2~6];也有人进行了相关遗传多样性和移栽技术研究^[7~9]。有学者对海南岛的桫欏进行了遗传结构和组织培养等方面的研究^[10,11],但没有关于种群、群落生态学的研究报道;对于桫欏与环境的关系,周崇军定性分析认为水分和热量条件是影响种群特征的最大因子^[5],袁守良通过调查得出贵州赤水桫欏生长最适的海拔高度、土壤pH值、气温等生长因子^[12],但没有人详细地定量分析环境因子对桫欏种群的影响。植物分布和土壤养分含量及分布密切相关^[13,14],不同种群之间因某一种群密度增加或个体增长,引起另一种群个体死亡^[15],从而导致种群大小发生改变;因而,对黑桫欏种群而言,大的气候条件相对一致,种群所在群落的生境差异可能是影响种群生长分布的主要原因,而立木密度和土壤因子可能是两个重要因子。黑桫欏种群特征包括种群年龄组成、种群性比、种群盖度、空间分布格局、种群密度等,本文在对五指山黑桫欏种群及其环境进行调查和数据分析基础上,研究黑桫欏种群密度、种群高度、种群胸径等基本特征,及其与立木密度和土壤因子间的关系。目的在于揭示五指山黑桫欏的种群特点和环境因子对黑桫欏影响,为黑桫欏的有效保护、繁殖培育和进一步研究提供借鉴。

1 研究地区概况

1.1 自然地理概况

五指山位于海南岛中部山区,地处北纬18°49'20"~18°58'54",东经109°39'38"~109°47'50",年平均气温22.5℃,最热月均温25.7℃,最冷月均温18.0℃,有短期霜冻。年降水量2350.7~2488.3mm,但雨量分布不均匀,80%雨量集中在5~10月份,形成明显的干湿季。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(500~700m)、黄色赤红壤(700~1100m)、灰化黄壤(1100~1600m)和南方山地灌丛草甸土(1600m以上)^[16]。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林(700m以下)、低地雨林(750~900m)、山地雨林(1000~1500m)、亚高山矮林(1500~1700m)和山顶灌丛(1700~1867m)^[17]。

1.2 样地概况

样地分别设置在黑桫欏分布的低地雨林和山地雨林中,为了说明环境因子对低地雨林和山地雨林黑桫欏分布的影响,保证样地间的可比性,不同样地间除了海拔不同外,坡向、坡度和坡位基本相同(表1),以避免小地形对土壤及水热条件的影响。黑桫欏所在群落特征是:山地雨林群落郁闭度0.85左右,植被保护较完好,演替达顶极阶段^[18]。乔木分为3个亚层,主要树种有鸡毛松(*Podocarpus imbricatus*)、陆均松(*Dacrydium*

pierrei)、蝴蝶树(*Heritiera parvifolia*)、青蓝(*Xanthophyllum hainanense*)、谷木(*Memecylon ligustrifolium*)、线枝蒲桃(*Syzygium araiocladum*)等,灌木分为两个亚层,主要有三角瓣花(*Prismatomeris tetrandra*)、海南虎皮楠(*Daphniphyllum paxianum*)及线枝蒲桃、三角瓣花的幼苗,生物多样性 Shannon-wiener 指数为 5.34, J_{sw} 均匀度指数 82.60; 低地雨林黑桫欏所在群落郁闭度 0.75 左右,群落曾遭破坏,现处于恢复阶段。乔木可分为 3 个亚层,优势树种有蝴蝶树、长芒杜英(*Elaeocarpus apiculatus*)、海南柿(*Diospyros hainanensis*)、短药蒲桃(*S. branchyantherum*)等,灌木分为两个亚层,以高脚罗伞占优势,常见的物种有三角瓣花、染木(*Saprosma ternatum*)、鸡屎树(*Lasianthus cyanocarpus hirsutus*)等,群落生物多样性 Shannon-wiener 指数为 5.38, J_{sw} 均匀度指数为 77.08^[16,19]。

黑桫欏主要分布在群落灌木层,低地雨林样地内黑桫欏植株最高 2.5m,胸径最大 0.25m,幼苗平均密度 0.053 ind·m⁻²(茎高 < 0.25m),山地雨林样地内黑桫欏植株最高 2.5m,胸径最大 0.17m,幼苗平均密度 0.013 ind·m⁻²(茎高 < 0.25m)。

表 1 样地的立地条件
Table 1 Site conditions of quadrats

样地 Quadrat	位置 Position	海拔(m) Elevation	坡向 Aspect	坡度(°) Slope	坡位 Slope position	面积(m ²) Areas	植被类型 Vegetation Types
Q ₁	N 18°54'0.5" E 109°41'20.8"	1015	SW	28 ~ 35	中部 Medium	900	山地雨林 Montane Rainforest
Q ₂	N 18°54'0.2" E 109°41'23.2"	1045	SW	27 ~ 33	中部	1200	山地雨林
Q ₃	N 18°54'18.8" E 109°41'0.4"	805	SW	32 ~ 37	中部	600	低地雨林 Lowland Rainforest
Q ₄	N 18°54'17.45" E 109°41'0.89"	815	SW	30 ~ 36	中部	600	低地雨林

2 研究方法

2.1 野外调查方法

在原来已有的低地雨林和山地雨林黑桫欏所在群落研究基础上(样地面积分别为 2600、2200m²),再次在黑桫欏所在群落中随机设置样地,山地雨林样地面积为 900m²和 1200m²,低地雨林两个样地面积都为 600m²,采用相邻格子样方法将样地划分为 10m × 10m 的样方,对所有样地内乔木每木调查,确定种名,离地面 1.5m 处测定立木胸径,测定并记录每株黑桫欏高度、胸径(最大胸径)和冠幅;在所有样地内随机设置 10 ~ 16 个 1m × 1m 的小样方,调查灌木和草本的物种组成及其盖度。

2.2 土壤的采集和测定^[20]

2.2.1 取样

去除土壤表层的枯枝落叶,挖深 0.3m 的剖面,自上而下按照 0 ~ 0.1 m、0.1 ~ 0.2 m 及 0.2 ~ 0.3 m 深度取土。每个样地随机设置 5 个样点,所有指标的取样深度和分层深度均相同。样品分析时同一样地土样按四分法相同层次均匀混合,风干后测定成分含量,重复 3 次。

2.2.2 土壤成分测定

土壤含水量用烘干法在 105℃ 下烘干 10h 至恒重后称重;有机质用重铬酸钾容量法(外加热法)测定,结果乘上校正系数 1.1 并计算有机碳量;全磷用 HClO₄-H₂SO₄ 消化法分解样品,然后用钼锑抗比色法测定溶液中磷含量;全氮、全钾含量和 pH 值分别用凯氏定氮法、NaOH 熔融—火焰光度法和电位法测定。

2.3 数据处理和分析方法

数据录入整理在 Excell 中进行,数据分析在 SAS/STAT(Statistics Analysis System)软件(Version 8.0)进行;计算种群密度,黑桫欏平均密度与平均高度相关系数,黑桫欏平均种群密度、平均高度和平均胸径与立木平均密度的相关系数^[21],相关性大小用 Student's *t* 测验检验;山地雨林和低地雨林间立木平均密度、黑桫欏平均密度、平均高度和平均胸径差异性按 Student's *t* 测验进行($\alpha = 0.05$ 或 0.01);在 SAS/INSIGHT 中进行

黑桫欏平均密度与平均高度的曲线拟合,用 REGRESSION 过程拟合立木平均密度与黑桫欏平均密度一元线性回归方程,用 REGRESSION 过程分别对黑桫欏平均种群密度、胸径、高度与土壤因子关系进行逐步回归分析,拟合相关回归方程,所有回归关系均用 F 检验检验其可靠性;用 Principal Component Analysis (PCA) 过程对回归方程中所有土壤因子进行主分量分析,比较其作用大小。

3 结果与分析

3.1 黑桫欏种群密度、高度和胸径特征

将表 2 四个样地按照海拔从高到低顺序进行排列(Q_2 、 Q_1 、 Q_4 、 Q_3),各取 600m^2 面积计算黑桫欏平均密度依次为 $0.108 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.035 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 、 $0.085 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 及 $0.155 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,在海拔 $805 \sim 1020\text{m}$ 范围内黑桫欏平均密度基本上随海拔降低而增大。合并山地雨林黑桫欏种群所在样地 Q_1 和 Q_2 、低地雨林黑桫欏种群所在样地 Q_3 和 Q_4 ,各按 1200m^2 面积计算黑桫欏平均密度,山地雨林黑桫欏平均密度为 $0.072 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,低地雨林黑桫欏平均密度为 $0.120 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,后者是前者的两倍。山地雨林和低地雨林黑桫欏种群平均密度差异极显著 (Student's t test, $p = 0.0055$)。

此外,同一群落不同样方的黑桫欏分布密度也不同,如低地雨林 Q_3 样地中样方 5 黑桫欏的密度 $0.22 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 最大,而样方 1 中黑桫欏密度 $0.08 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 最小;山地雨林 Q_2 样地中样方 2 黑桫欏的密度 $0.15 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ 最大,而样方 8 黑桫欏密度为 0 最小,黑桫欏数量呈现水平分布。

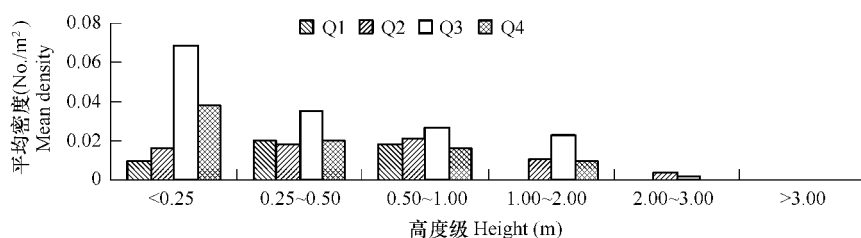


图 1 各样地不同高度级黑桫欏数量分布

Fig. 1 Quantity distribution according to mean height of *Alsophila podophylla* in different quadrats

山地雨林和低地雨林黑桫欏平均高度和平均胸径都无显著性差异 (Student's t test, p 值分别为 0.7619 和 0.571),前者黑桫欏平均胸径为 $0.101\text{m}\cdot\text{ind}^{-1}$,后者为 $0.092 \text{ m}\cdot\text{ind}^{-1}$ 。根据周崇军和宋萍划分桫欏高度来比较个体大小的方法^[5,6],将黑桫欏高度划分为 6 个等级(图 1)。比较不同样地黑桫欏种群高度的数量分布,山地雨林中, Q_1 和 Q_2 样地均是高度在 0.25m 以下和 1m 以上的黑桫欏平均密度较小,高度在 $0.25 \sim 1\text{m}$ 的黑桫欏平均密度较大,不同高度级黑桫欏平均密度分布图形近似倒“钟形”,其标准差为 $0.007 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ($DF = 20$);低地雨林中, Q_3 和 Q_4 样地高度小于 0.25m 的黑桫欏平均密度相对较大, 0.25 以上各高度级黑桫欏平均密度相对较小,不同高度级黑桫欏平均密度分布图形近似倒“J”形,其标准差为 $0.018 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ($DF = 11$)。

将山地雨林各样方黑桫欏平均密度和平均高度进行平方根 (SQRT) 转换,两者相关系数为 0.601 ($N = 21$, $p < 0.0039$),低地雨林各样方黑桫欏平均密度和平均高度进行 e 的 n 次方 (EXP) 转换,两者相关系数为 -0.5522 ($N = 12$, $p < 0.0426$),可见山地雨林中黑桫欏平均密度和平均高度正相关,而低地雨林中两者负相关。对黑桫欏平均密度和平均高度的相关关系进行直线和曲线拟合,发现二项式曲线拟合效果最佳(见表 3),且 F 检验有极显著或显著性差异。

3.2 黑桫欏所在群落立木特征及土壤成分特点

3.2.1 立木特征分析

合并表 2 中 Q_1 和 Q_2 、 Q_3 和 Q_4 ,各按 1200m^2 面积计算立木平均密度,山地雨林立木平均密度 ($0.467 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) 是低地雨林 ($0.343 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$) 的 1.4 倍,二者有极显著差异 (Student's t test, $p = 0.0025$);山地雨林不同样方立木平均密度变化范围 $0.3 \sim 0.74 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$,标准差为 $0.159 \text{ ind}\cdot\text{m}^{-2}$ ($DF = 20$),低地雨林不同样方

间立木平均密度变化范围 $0.18 \sim 0.51 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$, 标准差为 $0.110 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$ ($DF = 11$)。山地雨林较郁闭, 立木密度较大, 各样方间立木平均密度变异也较大。

表 2 各样方黑桫欏平均密度、高度、胸径及立木平均密度比较

Table 2 Comparison of mean density, mean height and mean DBH of *Alsophila podophylla* population and standing tree mean density in different plots

样方 Plot	Q_1				Q_2				Q_3				Q_4			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
样方 1 Plot 1	0	0.72	0	0	0.13	0.31	0.58	0.14	0.08	0.49	0.65	0.12	0.13	0.3	0.22	0.06
样方 2 Plot 2	0	0.46	0	0	0.15	0.48	0.5	0.16	0.18	0.36	0.7	0.1	0.04	0.25	0.89	0.12
样方 3 Plot 3	0.05	0.5	0.28	0.12	0.13	0.3	0.3	0.13	0.17	0.5	0.54	0.09	0.06	0.39	0.47	0.09
样方 4 Plot 4	0.02	0.45	0.18	0.1	0.04	0.65	0.38	0.14	0.13	0.24	0.48	0.07	0.08	0.3	0.81	0.1
样方 5 Plot 5	0.03	0.45	0.23	0.09	0.13	0.25	0.97	0.17	0.22	0.51	0.55	0.07	0.04	0.26	0.99	0.11
样方 6 Plot 6	0.11	0.33	0.51	0.11	0.07	0.57	1.28	0.13	0.15	0.33	0.45	0.09	0.16	0.18	0.49	0.08
样方 7 Plot 7	0.04	0.74	0.48	0.12	0.11	0.4	0.85	0.15	—	—	—	—	—	—	—	—
样方 8 Plot 8	0.04	0.52	0.5	0.12	0	0.53	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
样方 9 Plot 9	0.14	0.34	0.49	0.11	0.03	0.72	1.55	0.12	—	—	—	—	—	—	—	—
样方 10 Plot 10	—	—	—	—	0.03	0.74	1.14	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—
样方 11 Plot 11	—	—	—	—	0	0.61	0	0	—	—	—	—	—	—	—	—
样方 12 Plot 12	—	—	—	—	0.02	0.71	1.5	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—
平均值 Mean	0.05	0.5	0.3	0.09	0.07	0.52	0.75	0.11	0.16	0.41	0.62	0.09	0.09	0.28	0.59	0.09

A: 黑桫欏平均密度 *A. podophylla* mean density ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$); B: 立木平均密度 Standing tree mean density ($\text{ind} \cdot \text{m}^{-2}$); C: 黑桫欏平均高度 *A. podophylla* mean height ($\text{m} \cdot \text{ind}^{-1}$); D: 黑桫欏平均胸径 *A. podophylla* mean DBH ($\text{m} \cdot \text{ind}^{-1}$)

表 3 黑桫欏平均密度与平均高度密度相关关系拟合

Table 3 Correlation fitting between mean density and mean height of *Alsophila podophylla*

样地 Plot	回归方程 Model equation	决定系数 R-Square	F 值 F Stat	Pr > F
山地雨林 Montane rainforest	$Y_1 = -12.8891x_1^2 + 6.7027x_1 + 0.068$	0.6403	16.02	0.0001
低地雨林 Lowland rainforest	$Y_2 = 53.225x_2^2 - 123.973x_2 + 73.775$	0.5647	5.84	0.0237

Y_1 和 x_1 代表平方根转换后的黑桫欏平均密度和平均高度 Y_1 and x_1 represents *A. podophylla* mean density and mean height by SQRT transformation respectively; Y_2 和 x_2 代表 e 的 n 次方转换后的黑桫欏平均密度和平均高度 Y_2 and x_2 represents *A. podophylla* mean density and mean height by EXP transformation respectively

3.2.2 不同样地的土壤成分特点分析

比较山地雨林和低地雨林黑桫欏所在群落的土壤因子(表 4), 山地雨林的土壤肥力总体上比低地雨林的高, 第一层土壤相比较有如下特征: (1) 因山地雨林群落结构较复杂, 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下降的趋势。

3.3 黑桫欏种群基本特征与群落立木及土壤特性的关系

3.3.1 黑桫欏种群平均密度、高度和胸径与立木平均密度关系分析

对立木平均密度数据平方根转换, 计算山地雨林和低地雨林立木平均密度与黑桫欏平均密度相关系数分别为 -0.7245 ($N = 21$, $p < 0.0002$)、 0.5868 ($N = 12$, $p < 0.0449$), 说明山地雨林中立木平均密度与黑桫欏平均密度极显著负相关, 而低地雨林中两者显著正相关; 拟合两者一元线性回归方程(表 5), 从模型系数看出两个模型拟合程度较好, 且通过 F 显著性检验。根据回归模型可以用立木平均密度估计黑桫欏密度大小。

山地雨林和低地雨林立木平均密度与黑桫欏平均高度相关系数分别为 0.1985 ($p < 0.3884$)、 0.1636 ($p < 0.6113$), 可见立木平均密度与黑桫欏平均高度无相关性; 而山地雨林和低地雨林立木平均密度与黑桫欏平均胸径的相关系数分别为 -0.3272 ($p < 0.1476$)、 0.0675 ($p < 0.8350$), 二者也不相关。

表 4 黑桫欏所在群落土壤成分分析

Table 4 Analysis of soil components of communities located by *Alsophila podophylla*

样地 Quadrat	取样深度(m)	有机质(g/kg)	全氮(g/kg)	全磷(g/kg)	全钾(g/kg)	pH	含水量(%)
Q ₁	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 ₂	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 ₃	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 ₄	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

表中数据表示各土壤成分含量 The data are the contents of soil components; 取样深度 Sampling depth; 有机质 Organic matter; 全氮 Total nitrogen; 全磷 Total phosphorus; 全钾 Total potassium; 水分含量 Soil moisture

表 5 黑桫欏平均密度与立木平均密度回归分析

Table 5 Regression analysis of *Alsophila podophylla* mean density and standing tree mean density

样地 Quadrat	回归方程 Model equation	模型系数 R-Square	F 检验 F-Test
山地雨林 Montane rainforest	$Y_1 = -0.1552x_1 + 8.0177$	0.5249	0.0002
低地雨林 Lowland rainforest	$Y_2 = 4.147 \times 10^{20}x_2 - 3.2 \times 10^{21}$	0.3443	0.0449

Y_1 代表平方根转换后的立木平均密度 Y_1 represents standing tree mean density by SQRT transformation; Y_2 代表 e 的 n 次方转换后的立木平均密度 Y_2 represents standing tree mean density by EXP transformation; x 代表黑桫欏平均密度 x represents *Alsophila podophylla* mean density

3.3.2 黑桫欏种群平均密度、高度和胸径与土壤关系分析

以表 4 第一层土壤有机质、全氮、全磷、全钾含量、pH 和含水量作自变量,以表 2 黑桫欏平均密度、高度和胸径作因变量进行线性逐步回归(表 6),根据变量参数估计拟合回归方程:

$$\text{密度与土壤因子回归方程: } Y_1 = 0.276x_1 - 0.293x_2 + 1.165 \quad (1)$$

$$\text{高度与土壤因子回归方程: } Y_2 = 0.67x_1 - 0.11x_3 + 0.80 \quad (2)$$

$$\text{胸径与土壤因子回归方程: } Y_3 = 16.22x_2 - 5.03x_3 - 41.70 \quad (3)$$

方程中 Y_1 表示黑桫欏平均密度, Y_2 表示平均高度, Y_3 表示平均胸径, x_1 表示土壤全磷含量, x_2 表示 pH, x_3 表示全钾含量;截距、全磷含量、pH、全钾含量等变量 F 检验均有显著性差异($p < 0.05$)。模型 R^2 判定系数均在

表 6 黑桫欏种群特征参数与土壤因子多元逐步回归分析

Table 6 Multiple step linear regression analysis between population parameters of *Alsophila podophylla* and soil factors

模型 Models	变量 Variable	参数估计 Parameter Estimate	偏回归系数 Partial R-Square	模型 R^2 Model R-Square	F 值 F Value	F 检验 $Pr > F$
(1)	截距 Intercept	1.16548			2980.85	0.0117
	全磷 Total Phosphorus	0.27648	0.1368	0.9997	456.26	0.0298
	pH	-0.29290	0.8629	0.8629	2881.77	0.0119
(2)	截距 Intercept	0.79794			1134.0	0.0060
	全磷 Total Phosphorus	0.67157	0.0571	0.99998	248.10	0.0404
	全钾 Total Kalium	-0.10567	0.9427	0.9427	3584.91	0.0106
(3)	截距 Intercept	-41.70209			213.82	0.0435
	pH	16.22244	0.1001	0.9998	464.70	0.0295
	全钾 Total Kalium	-5.03374	0.8997	0.8997	4639.48	0.0093

0.86 以上,说明土壤因子解释种群特征参数变异的程度好;经残差分析各散点较随机地散布在 0 线上下,没有明显模式,以上两点说明方程拟合程度都很好。

从方程(1)、(2)、(3)可以看出,全磷、全钾含量和 pH 值均进入方程中,它们对以上种群特征参数影响较大;而有机质、全氮和水含量被剔除,对以上的种群特征参数影响较小。分析方程偏回归系数,方程(1)中 pH 的偏回归系数比全磷含量的偏回归系数大,因而 pH 对密度的影响比全磷含量影响大,同理方程(2)中全钾含量对高度影响比全磷含量影响大,方程(3)中全钾含量对胸径的影响比 pH 的影响大。

为了说明方程中 3 个土壤因子间作用大小,运用 PCA 进行主分量分析,根据第一主分量特征值(219.6034)大于 1,所占比例为 0.9999,累计贡献率达 99.99%,基本代表了土壤因子的所有信息,故取第一主分量分析。根据特征向量值和各变量的平均数值得出第一主分量的得分公式为:

$$Prin1 = 0.002578 \times (\text{Total P} - 0.2180) + 0.999992(\text{Total K} - 34.8331) + 0.002957 \times (\text{pH} - 3.8767)$$

从得分公式中各变量的特征向量值比较出 3 个因子对黑桫欏种群影响大小顺序是全钾含量 > pH > 全磷含量。

4 讨论

(1)在低地雨林和山地雨林中,在一定范围内随海拔升高,黑桫欏密度呈减小趋势,这与贵州赤水桫欏保护区的桫欏种群特征相似,其低海拔地区(海拔 400 ~ 650 m)桫欏平均密度最大 $0.12 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,高海拔地区(海拔 800 ~ 900 m)桫欏平均密度最大 $0.07 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,低海拔地区的种群密度高于高海拔地区的种群密度^[5],黑桫欏数量表现出垂直分布规律。

同一种群的高度一般是随年龄的增长而增高,以个体高度作为其相对年龄来分析种群的年龄结构,在很大程度上应该是可行的^[15]。山地雨林黑桫欏种群平均密度与平均高度正相关,小型和中型植株数量多,不同高度级黑桫欏平均密度分布图形近似倒“钟”形,黑桫欏种群处于相对稳定状态,但 0.25 m 以下的幼苗只占 20% 左右,平均密度为 $0.013 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,说明更新能力弱,与九龙半岛黄桐森林群落黄桐和臀型果种群数量与高度关系相似^[22],种群可能会逐渐衰退。低地雨林黑桫欏种群平均密度与平均高度负相关,种群高度分布曲线近似倒“J”型,与广西细叶云南松树高与株数关系^[23]、五指山热带雨林木树高与个体数量的关系一致^[19],幼苗占 44% 左右,平均密度为 $0.053 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$,说明黑桫欏种群有很大发展潜力,为增长型种群,以上结果与川西云杉人工种群密度与林木高度研究结果不一致,二者无明显关系^[24]。

(2)群落中不同植物种群往往为光资源而竞争,某些种群密度增加或个体增长,会引起另一种群个体死亡:如太白红杉因上层乔灌木层郁闭度过大,不能形成幼苗导致种群衰退^[25];闽楠群落演替中,随种间竞争进行,耐阴的闽楠和台湾冬青种群逐渐替代先锋树种光皮桦,这都与各种群与光照适应性密切^[26]。同样道理,黑桫欏是蕨类植物,其生长需要适宜水分和光照^[6]。一方面立木树种营造郁闭潮湿环境,有利于黑桫欏生存,另一方面立木树种与黑桫欏竞争阳光。山地雨林群落处于顶级阶段,立木平均密度大,郁闭度高(0.85)而林下非常荫蔽,黑桫欏因光照不足难以生存;但山地雨林木平均密度变异大(标准差 $0.159 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$),而且一些林木自然死亡后出现林窗,黑桫欏分布在林窗内或林窗边缘,故立木平均密度与黑桫欏平均密度表现出负相关关系。低地雨林正朝群落顶级演替,群落立木平均密度与山地雨林有极显著差异,郁闭度(0.75)较小,立木分布也相对均匀(标准差 $0.110 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-2}$),林下的湿度和光照都适合黑桫欏生长,立木平均密度与黑桫欏平均密度显著正相关。

(3)在多自变量情况下,利用逐步线性回归挑选独立变量计算回归方程一般可以得到比较满意结果^[27],因而通过对黑桫欏所在群落第一层土壤因子与黑桫欏种群特征参数逐步回归分析表明,黑桫欏种群与土壤全磷、全钾含量和 pH 关系密切,而与有机质、全氮、水含量关系较疏。山地雨林黑桫欏平均密度与平均高度关系模型可归纳为 $Y_1 = a_1x^2 + b_1x + c_1(a_1 < 0, b_1 > 0, c_1 > 0, Y_1 \text{ 和 } x \text{ 经平方根转换})$,低地雨林两者关系模型可表示为 $Y_2 = a_2x^2 + b_2x + c_2(a_1 > 0, b_1 < 0, c_1 > 0, Y_2 \text{ 和 } x \text{ 经 } e \text{ 的 } n \text{ 次方转换})$;山地雨林木平均密度与黑桫欏种群平均密度关系模型可归纳为 $Y_1 = a_1x + b_1(a_1 < 0, b_1 > 0, Y_1 \text{ 经平方根转换})$;低地雨林两者关系模型

可表示为 $Y_2 = a_2x + b_2(a_2 > 0, b_2 < 0, Y_2 \text{ 经 } e \text{ 的 } n \text{ 次方转换})$, 黑桫欏平均密度、高度与土壤全磷、全钾含量及 pH 关系模型归纳为 $Y_3 = a_3x + b_3x + c_1(a_3 > 0, b_3 < 0, c_1 > 0)$ 胸径与全钾含量及 pH 关系模型归纳为 $Y_4 = a_4x + b_3x + c_2(a_4 > 0, b_3 < 0, c_2 < 0)$, 以上关系模型在黑桫欏保护、栽培繁殖时有一定指导意义。黑桫欏对水的依赖性很强, 而本文中土壤水分含量对黑桫欏影响小, 土壤水分含量与种群关系有待通过更多案例证明。笔者尝试分析第二、三土层土壤因子与黑桫欏种群回归关系, 发现土壤因子不能与以上种群参数拟合回归方程或变量显著性检验结果差异不显著, 由此说明黑桫欏种群与第一土层关系密切。这可能是黑桫欏形成不定根系, 用来支持植株和吸收养分, 根系主要吸收表土营养。影响黑桫欏的因子有生物因子和非生物因子, 除了本文分析的立木密度及土壤因子外, 对土壤因子(如土壤通气性、温度、有效钾、有效磷等)及环境温度、湿度、其他生物因子等进一步研究可以全面揭示黑桫欏与环境关系。

(4) 五指山黑桫欏主要分布在低地雨林和山地雨林内, 外界干扰已经使低地雨林黑桫欏生境破碎化, 应采取措施就地保护。在路线调查中, 发现枫香林(海拔 700 m 左右)中面积约 200 m² 黑桫欏群落, 黑桫欏平均密度约 0.26 ind·m⁻², 一些自然因素和生物因素正使黑桫欏和周围乔木遭到破坏, 黑桫欏呈斑块状分布, 建议采取紧急有效措施进行保护。

References:

- [1] Fu L G. China Plant Red DataBook — Rare and Endangered Plants. Beijing: Science Press, 1992.
- [2] Ao G H. Studies on the *Alsophila spinulosa* community of the *Alsophila spinulosa* Natural Reserve in Rong country. Sichuan Province. Journal of Sichuan University(Natural Science), 2005, 42(3):592—598.
- [3] Shang J, Li X G, Shi S Y. Study on interspecific association of the main populations in *Alsophila spinulosa* community in Mopan Gully of Fuling. Chongqing. Journal of Southwest Agriculture University(Natural Science), 2003, 25(6):471—474.
- [4] Zhang S Y. Studies on species diversity of *Alsophila spinulosa* community in the Bijia Mountain of Yongding, Fujian. Journal of Wuhan Botanical Research, 2002, 20(4):275—279.
- [5] Zhou C J. The research on characteristics of *Alsophila spinulosa* population in Chishui. Journal of Guizhou Normal University(Nature Science), 2005, 23(2):10—14.
- [6] Song P, Hong W, Wu C Z, et al. Population structure and its dynamics of rare and endangered plant *Alsophila spinulosa*. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(3):413—418.
- [7] Huang R Z, Wang J Y. Optimal choice for reaction system in RAPD analysis of *Alsophila spinulosa*. Journal of Fujian Normal University(Natural Science), 2003, 19(2):69—71, 81.
- [8] Ma W H, He P, Yuan X F, et al. A preliminary study on the genetic diversity of *Gymnospaera metteniana* in Jinyun Mountain. Journal of Southwest Agriculture University(Natural Science), 2003, 28(3):450—455.
- [9] Mo X S, Liu R Q. Study on the propagation and transplanting technology of *Alsophila spinulosa*. Journal of Guangdong Forest Scientific Technology, 2004, 20(1):20—23.
- [10] Jiang S J, Zeng X, Wang S P, et al. Study of tissue culture of *Sphaeropteris hainanensis*. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2002, 22(6):9—12.
- [11] Su Y J, Wang T, Zheng B, et al. Genetic phylogeography of population of *Alsophila podophylla* in Hainan and Guangdong, Southern China, based on cpDNA trnL-F noncoding sequences. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5):914—919.
- [12] Yuan S L, Liang S. Study of the most appropriate growth factor of *Aisophila spindlosa*. Guizhou Environmental Technology, 2002, 8(4):46—48.
- [13] Hall J S, Mckenna J, Ashton P M S, et al. Habitat characterizations underestimate the role of edaphic factors controlling the distribution of *Entandrophragma*. Ecology, 2004, 85(8):2171—2183.
- [14] Robert John, James W. Dalling, Kyle E Harms, et al. Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species. Pans, 2007, 104(3):864—869.
- [15] Wang B S, Yu S X, Peng S L, et al. Experimental handbook for plant community. Guangzhou: Guangdong Higher Education Press, 1996. 34—136.
- [16] Yang X B, Lin L, Liang S Q. The Forest Vegetation of Mt. Wuzhishan in Hainan Island I. The forest vegetation type of Wuzhishan Mountain in Hainan island. Journal of Hainan University(Natural Science), 1994, 12(3):220—236.
- [17] Yang X B, Lin Y, Liang S Q. The Forest Vegetation of Mt. Wuzhishan in Hainan Island III. The distribution and data classification of forest vegetation in Mt. Wuzhishan. Journal of Hainan University(Natural Science), 1995, 13(1):22—28.
- [18] Zhu X L, An S Q, G Campell David, et al. The research of the spacial pattern population in montane tropical rainforest in Wuzhi Mountain,

- Hainan. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis NeiMongol, 1997, 28(4): 526—533.
- [19] Yang X B, Lin Y, Liang S Q. The Forest Vegetation of Mt. Wuzhishan in Hainan Island II The plant population analysis and forest structures analysis of the forest vegetation in Mt. Wuzhishan. Journal of Hainan University (Natural Science), 1994, 12(4): 311—323.
- [20] Agricultural Chemical Committee of Soil Science Society of China. Coventional methods of chemical analysis of soil agriculture. Beijing: Science Press, 1983. 55—115.
- [21] Death R Gand, Winterbourn M J. Diversity patterns in stream benthic invertebrate community: the influence of habitat stability. Ecology, 1995, 76(5): 1446—1460.
- [22] Wang B S, Hu Y J, Miu R H, et al. Analysis of forest community in Chengmen Dawei of Kowloon-peninsula. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 1984(1): 13—22.
- [23] Wang X P. The phytocoenological features of *Pinus yunnanensis* var. *tenuifolia* forest in Guangxi. Bulletin of Botanical Research, 1991, 11(3): 91—103.
- [24] Liu Y L, Su Y M, Xiang C H, et al. Research on the competitive laws of artificial spruce forest populations. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 1998, 19(2): 14—21.
- [25] Zhang W H, Wang Y P, Kang Y X, et al. Age structure and time sequence prediction of populations of an endangered plant, *Larix potaninii* var. *chinensis*. Biodiversity Science, 2004, 12(3): 361—369.
- [26] Wu D R. A preliminary study on competition among dominant plant population in Luoboyan Nature Reserve. Journal of Nanjing Forestry University. 1998, 22(3): 35—38.
- [27] Wang S Z, Chen G C, Bai Y P, et al. Interrelation between plant species diversity and soil environmental factors in bird island of Qinghai Lake. Chinense Journal of Applied Ecology, 2005, 16(1): 186—188.

参考文献:

- [1] 傅立国. 中国红皮书——稀有濒危植物. 北京: 科学出版社, 1992.
- [2] 熬光辉. 四川省荣县桫欏自然保护区桫欏群落研究. 四川大学学报(自然科学版), 2005, 42(3): 592—598.
- [3] 尚进, 李旭光, 石胜友. 重庆涪陵磨盘沟桫欏群落主要种群间联结性研究. 西南农业大学学报(自然科学版), 2003, 25(6): 471—474.
- [4] 张思玉. 福建永定县笔架山桫欏群落物种多样性研究. 武汉植物学研究, 2002, 20(4): 275—279.
- [5] 周崇军. 赤水桫欏保护区桫欏种群特征. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2005, 23(2): 10—14.
- [6] 宋萍, 洪伟, 吴承祯, 等. 珍稀濒危植物桫欏种群结构与动态. 应用生态学报, 2005, 16(3): 413—418.
- [7] 黄儒珠, 王经源. 濒危植物刺桫欏 RAPD 反应体系的优化. 福建师范大学学报(自然科学版), 2003, 19(2): 69—71, 81.
- [8] 马文辉, 何平, 袁小凤, 等. 缙云山华南黑桫欏种群的遗传多样性研究初探. 西南师范大学学报(自然科学版), 2003, 28(3): 450—455.
- [9] 莫新寿, 刘瑞强. 桫欏繁殖与移栽技术研究. 广东林业科技, 2004, 20(1): 20—23.
- [10] 蒋胜军, 曾霞, 王胜培, 等. 海南白桫欏孢子组织培养的研究. 热带农业科学, 2002, 22(6): 9—12.
- [11] 苏应娟, 王艇, 郑博, 等. 根据 cpDNA trnL-F 非编码区序列变异分析黑桫欏海南和广东种群的遗传结构与系统地理. 生态学报, 2004, 24(5): 914—919.
- [12] 袁守良, 梁盛. 桫欏最适宜生长因子初探. 贵州环保科技, 2002, 8(4): 46—48.
- [15] 王伯荪, 余世孝, 彭少麟. 植物种群学. 广州: 广东高等教育出版社, 1995. 34—136.
- [16] 杨小波, 林英, 梁淑群. 海南岛五指山的森林植被 I: 五指山的森林植被类型. 海南大学学报(自然科学版), 1994, 12(3): 220—236.
- [17] 杨小波, 林英, 梁淑群. 海南岛五指山的森林植被 III: 五指山森林植被的分布与数值分类. 海南大学学报(自然科学版), 1995, 13(1): 22—28.
- [18] 朱学雷, 安树青, G Campell David, 等. 海南五指山热带山地雨林乔木种群分布格局研究. 内蒙古大学学报(自然科学版), 1997, 28(4): 526—533.
- [19] 杨小波, 林英, 梁淑群. 海南岛五指山的森林植被 II: 五指山森林植被的植物种群分析与森林结构分析. 海南大学学报(自然科学版), 1994, 12(4): 311—323.
- [20] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983. 55—115.
- [22] 王伯荪, 胡玉佳, 缪汝槐, 等. 九龙半岛城门大围森林群落分析 I. 外貌与结构. 中山大学学报(自然科学版), 1984(1): 13—23.
- [23] 王献溥. 广西细叶云南松林的群落学特点. 植物学研究, 1991, 11(3): 91—103.
- [24] 刘兴良, 宿以明, 向成华, 等. 川西云杉人工林种群竞争规律初步研究. 四川林业科技, 1998, 19(2): 14—21.
- [25] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 濒危植物太白红杉种群年龄结构及其时间序列预测分析. 生物多样性, 2004, 12(3): 361—369.
- [26] 吴大荣. 萝卜岩保护区闽楠等优势植物种群竞争研究初步. 南京林业大学学报, 1998, 22(3): 35—38.
- [27] 王顺忠, 陈桂琛, 柏玉平, 等. 青海湖鸟岛地区植物群落物种多样性与土壤环境因子的关系. 应用生态学报, 2005, 16(1): 186—188.