

海南岛尖峰岭热带树木园 主要树种的物候研究*

粟娟 王德祯 符史深

摘要 对海南岛尖峰岭热带树木园保存的降香黄檀、印度紫檀、海南石梓、黄籽孔雀豆、柚木、麻楝、细基丸、千张纸、乌墨、白格、圆果象耳豆、华楹、黑格、非洲楝和大叶桃花心木 15 个树种与温度、雨量、日照等的环境因子的关系进行了分析。运用多元统计分析的方法,揭示出了对主要物候期影响最大的气象因子是日平均温度、雨量和日平均日照时数。运用系统聚类的方法将 15 个树种各物候期分类,其类型确定为:展叶期、开花期、果熟期和叶变色期四个类型。

关键词 热带树木园、热带树种、物候特性、主成分分析、系统聚类分析

植物的物候是植物在进化过程中遗传下来,并为了生存不断适应环境的结果^[1,2]。热带环境中植物的周期性习性一直很少受到人们的关注^[3],由于热带气候长夏无冬,大部分时间高温高湿,植物一年四季均可生长,所以热带树木有其本身特有的周期性。尖峰岭热带树木园共收集国内外树种 1 000 多种,从 1978~1987 年连续 10 a 对 80 多种主要树种进行了物候观测。以其中 15 个树种为对象,从生态学角度研究其物候学特性。运用多元统计分析方法,探讨这些树种的物候与温度、光照、雨量等环境因子的关系,并对 15 个树种的物候期进行了类型划分。

1 自然概况

热带树木园初建于 1973 年,位于海南岛西南部尖峰岭低山山麓丘陵缓坡,18°42' N,108°49' E,海拔 80 m。气候特点是高温半湿润,全年干湿季节交替明显,11 月至次年 5 月为旱季,6~10 月为雨季,年均气温 25.5℃,绝对最高温 38.1℃,绝对最低温 2.5℃,年均相对湿度 80%,年降雨量 1 000~2 600 mm,土壤为褐色砖红壤,pH 值 5.5~6.5。

2 材料与方 法

对 15 个树种进行了定点、定株、定时(每 5 天一次)的物候观测。为避免系统误差,相对固定观测人员,采用目测和望远镜及其它专用工具相结合的方法进行观测。观测树种为:降香黄檀(*Dalbergia odorifera* T. Chen)、印度紫檀(*Pterocarpus indicus* Willd.)、海南石梓(*Gmelina hainanensis* Oliv.)、黄籽孔雀豆(*Adenantha* sp.)、柚木(*Tectona grandis* Linn. f.)、麻楝(*Chukrasia tabularis* A. Juss.)、细基丸(*Polyalthia cerasoides* (Roxb.) Benth. et Hook. f.)、

1992-01-08 收稿。

粟娟助理研究员、王德祯,符史深(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

* 中国林业科学研究院科学技术发展基金资助项目“热带树木园主要树种特性继续研究及推广”的一部分。

千张纸 [*Oroxylum indicum* (L.) Vent]、乌墨 [*Syzygium cumini* (L.) Skeels]、白格 [*Albizzia procera* (Willd.) Benth.]、圆果象耳豆 [*Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Gciseb.]、华楹 [*Albizzia chinensis* (Osbeck) Merr.]、黑格 [*Albizzia odorctissima* (L. F.) Benth]、非洲楝 [*Khaya senegalensis* (Desv.) A. Juss.] 和大叶桃花心木 [*Swietenia macrophylla* King]。物候观测和气象因子为 1978 年到 1987 年连续 10 a 的数据。有关气象资料由本所试验站的气象站提供。

3 结果与统计分析

3.1 树木物候与环境的关系

树木的物候除受本身内在的生物发育节律控制外,还与生态环境有着十分密切的关系。表 1 列出 15 个树种主要物候期与物候期内平均气温 X_1 、降雨量 X_2 、日平均日照时数 X_3 、累计日照时数 X_4 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 X_5 和日均地表温度 X_6 的关系。

表 1 各树种物候期与环境因子关系

树种及编号	展 叶 期						开 花 期					
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1 降香黄檀	26.9	14.6	6.3	69.2	296.6	32.9	28.2	202.6	6.8	317.4	1 323.3	33.9
2 印度紫檀	24.9	7.8	5.3	58.3	273.9	29.5	27.5	74.3	6.9	247.1	992.0	33.5
3 海南石梓	26.1	19.8	5.9	94.9	417.6	31.2	28.2	167.8	6.9	276.9	1 126.2	34.1
4 黄籽孔雀豆	26.0	18.9	5.6	66.6	311.2	30.7	27.4	187.5	6.8	403.1	1 645.7	33.0
5 柚木	27.9	45.0	7.5	119.2	447.0	33.9	27.1	513.8	5.2	291.5	1 517.7	30.9
6 麻楝	25.6	22.9	5.6	122.5	563.2	31.0	27.8	133.8	7.0	250.6	1 001.6	33.8
7 细基丸	26.8	6.7	5.9	35.8	160.5	31.2	27.5	55.9	6.8	177.2	713.8	33.4
8 千张纸	28.1	122.9	7.2	185.5	730.2	34.0	27.9	462.9	6.1	332.5	1 534.5	32.8
9 乌墨	23.3	45.3	4.6	195.3	1 002.6	27.7	25.7	119.2	6.1	450.5	1 922.1	30.7
10 白格	28.5	158.4	6.1	176.5	826.1	33.8	27.5	396.4	5.2	249.6	1 316.1	31.5
11 圆果象耳豆	25.1	17.3	5.4	97.4	452.6	29.9	26.9	67.0	6.5	213.3	889.0	32.4
12 华楹	25.3	7.9	5.6	79.6	277.8	30.1	26.7	63.5	6.6	242.2	988.4	32.2
13 黑格	25.0	17.2	5.6	88.2	399.7	29.7	28.2	709.1	6.5	656.9	2 850.8	33.7
14 非洲楝	25.2	13.5	5.2	33.1	173.8	30.1	28.2	158.6	7.0	279.9	1 126.2	33.9
15 大叶桃花心木	25.3	9.0	5.6	61.1	277.8	30.1	26.2	48.8	6.3	213.5	898.6	31.5

(续表 1)

树种及编号	果 熟 期						叶 变 色 期					
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1 降香黄檀	21.8	200.9	5.5	577.2	2 287.1	26.1	21.7	16.8	3.9	74.5	411.5	25.9
2 印度紫檀	27.7	385.0	5.7	249.9	1 216.9	32.2	20.0	3.2	4.5	40.4	179.9	24.7
3 海南石梓	28.3	465.4	6.5	360.2	1 583.9	33.5	20.3	6.0	3.8	52.8	284.8	24.8
4 黄籽孔雀豆	26.5	687.6	5.1	348.3	1 841.4	30.2	21.0	14.2	3.9	85.6	461.1	25.4
5 柚木	19.7	11.9	5.5	272.9	985.5	24.5	19.7	9.7	5.2	133.2	512.5	24.4
6 麻楝	19.4	6.1	5.8	137.7	465.4	24.2	20.7	32.5	4.2	214.6	1 055.3	25.1
7 细基丸	28.5	110.4	6.9	144.5	595.7	34.1	23.6	24.9	4.6	87.7	441.2	27.6
8 千张纸	19.6	3.9	5.7	134.8	469.3	24.3	22.1	6.7	3.7	10.9	66.3	26.4
9 乌墨	28.3	463.9	6.4	338.8	1 496.0	33.5	20.6	4.7	4.8	41.4	266.8	25.0
10 白格	23.4	55.1	4.7	280.8	1 385.9	27.9	22.9	42.2	4.5	171.9	865.3	27.2
11 圆果象耳豆	24.8	619.9	5.5	491.2	2 229.9	28.3	20.6	11.4	4.0	99.8	514.4	25.0
12 华楹	20.2	21.7	5.6	267.4	968.9	24.8	21.3	20.9	3.9	102.9	568.8	25.6
13 黑格	20.1	22.0	5.6	291.7	1 045.9	25.1	22.1	49.9	4.4	239.5	1 215.7	26.5
14 非洲楝	25.1	33.3	5.6	124.1	551.4	30.1	24.9	22.9	5.7	113.3	497.3	29.7
15 大叶桃花心木	22.1	19.6	3.7	62.8	375.9	26.1	24.6	19.2	5.6	93.8	417.5	29.4

3.2 主要物候期的主成分分析

主成分分析(PCA)是将多个指标化为少数指标的一种统计方法,以不损失过多信息量为前提^[4]。分别对物候期进行主成分分析,旨在从众多的环境因子中找出对各物候期起支配作用的主要因子^[5]。物候期PCA变量因子均为7个,其中第一个变量因子 X_1 为各物候期距1月1日的天数,其余 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 和 X_7 分别与表1的 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 和 X_6 相同。计算在286微机上进行,PCA结果见表2~5。

表2 展叶期环境因子对前三个主分量的负荷量

因子	第一主分量	第二主分量	第三主分量	h^2
展叶始期距1月1日的天数	0.908 0	-0.309 7	-0.271 4	0.994 0
展叶期日平均温度	0.932 9	-0.332 8	-0.051 7	0.987 4
展叶期总降雨量	0.838 2	0.451 7	-0.271 6	0.980 4
展叶期日均日照时数	0.832 6	-0.354 1	0.412 9	0.989 1
展叶期累计日照时数	0.535 7	0.826 8	0.164 1	0.997 5
展叶期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温	0.398 8	0.909 9	0.059 3	0.990 5
展叶期日均地表温度	0.939 2	-0.311 8	0.071 3	0.984 4
特征根	4.418 7	2.148 5	0.356 1	6.923 3
信息百分比(%)	63.124 2	30.692 6	5.087 1	
累计信息百分比(%)	63.124 2	93.816 8	98.903 9	

表3 开花期环境因子对前三个主分量的负荷量

因子	第一主分量	第二主分量	第三主分量	h^2
开花始期距1月1日的天数	0.630 5	0.155 2	-0.757 5	0.995 4
开花期日平均温度	0.166 8	-0.827 7	-0.528 9	0.992 6
开花期总降雨量	0.960 1	-0.192 3	-0.149 4	0.981 1
开花期日均日照时数	-0.658 4	-0.706 4	0.239 4	0.989 8
开花期累计日照时数	0.704 4	-0.393 7	0.589 1	0.998 2
开花期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温	0.834 9	-0.275 6	0.474 5	0.998 2
开花期日均地表温度	-0.285 2	-0.936 7	-0.195 3	0.996 9
特征根	3.055 0	2.353 3	1.543 5	6.952 2
信息百分比(%)	43.643 2	33.619 1	22.050 3	
累计信息百分比(%)	43.643 2	77.262 3	99.312 7	

表4 果熟期环境因子对前三个主分量的负荷量

因子	第一主分量	第二主分量	第三主分量	h^2
果熟始期距1月1日的天数	0.905 2	0.136 6	-0.231 1	0.891 5
果熟期日平均温度	-0.878 3	-0.322 0	-0.304 1	0.967 6
果熟期总降雨量	-0.850 1	0.298 2	-0.267 6	0.883 2
果熟期日均日照时数	-0.569 1	-0.398 1	0.700 4	0.972 9
果熟期累计日照时数	-0.309 4	0.879 6	0.236 9	0.925 5
果熟期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温	-0.630 0	0.744 5	-0.008 1	0.951 2
果熟期日均地表温度	-0.853 8	-0.423 6	-0.212 5	0.953 6
特征根	3.858 7	1.877 0	0.809 4	6.545 5
信息百分比(%)	55.123 7	26.814 2	11.562 1	
累计信息百分比(%)	55.123 7	81.937 9	93.500 0	

表 5 叶变色期环境因子对前三个主分量的负荷量

因 子	第一主分量	第二主分量	第三主分量	h^2
叶变色始期距 1 月 1 日的天数	0.714 8	-0.657 9	-0.234 8	0.998 9
叶变色期日平均温度	0.922 3	-0.350 3	-0.157 6	0.998 2
叶变色期总降雨量	0.694 8	0.675 6	-0.205 0	0.981 2
叶变色期日均日照时数	0.606 4	-0.244 1	0.755 4	0.997 9
叶变色期累计日照时数	0.472 0	0.867 0	0.127 0	0.990 6
叶变色期 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温	0.458 4	0.886 2	-0.020 6	0.995 9
叶变色期日均地表温度	0.923 3	-0.372 0	-0.057 3	0.994 2
特征根	3.497 4	2.747 0	0.712 4	6.956 9
信息百分比(%)	49.962 3	39.243 3	10.177 3	
累计信息百分比(%)	49.962 3	89.205 6	99.382 8	

3.3 树种主要物候期的系统聚类分析

聚类分析的出发点是“似者同类”,是根据变量特征用统计学方法进行聚类的一种方法^[4]。为了解树种主要物候期的相关性,对 15 个树种的展叶期、开花期、果熟期和叶变色期进行了系统聚类分析。各物候期聚类分析采用的变量与 PCA 分析相同。计算在 286 微机上进行,分析结果见图 1~4。

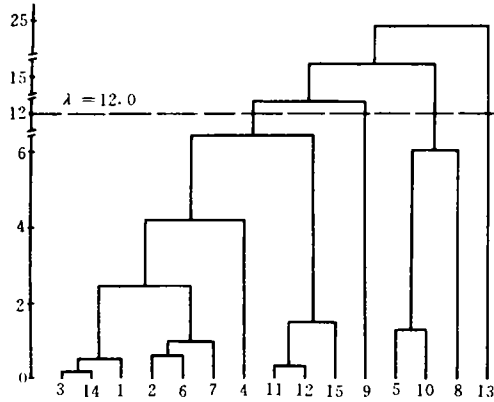


图 1 展叶期系统聚类结果

(图中树种代号与表 1 相同,下同)

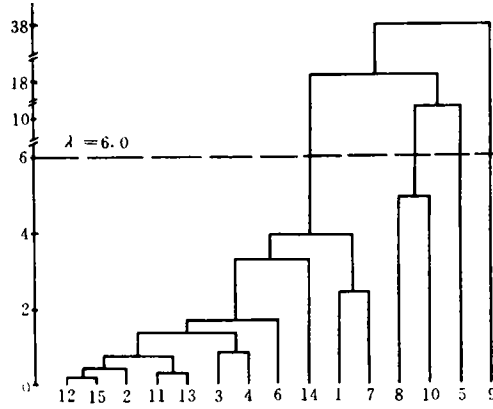


图 2 开花期系统聚类结果

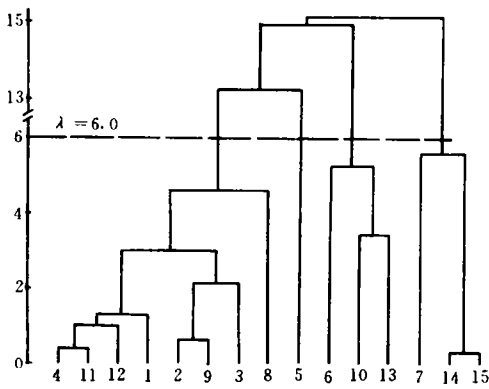


图 3 果熟期系统聚类结果

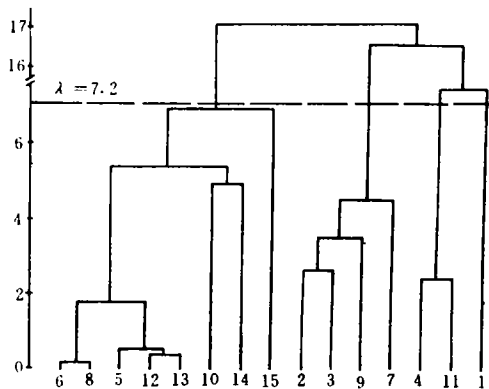


图 4 叶变色期系统聚类结果

4 分析与讨论

4.1 热带树木园主要树种的物候学特性

4.1.1 展叶期 15个树种的展叶期大都集中在3~4月,时间5~20 d,这时日均气温25~27℃,雨量开始有所增加,光照充足,有利于热带树木的抽芽展叶。白格展叶最迟,为5月底至6月初,时间也较长,为29 d。乌墨展叶最早,约在2月12日至3月26日,时间最长,为43 d。

4.1.2 开花期 15个树种花期集中在4~6月,开花时间一般为30~60 d。此时日均气温26~28℃,雨季来临,雨量显著增加,平均日照时数6~7 h,有利于树木的生长发育。15个树种中,黑格花期最长,从4月至8月,持续101 d。花期最短的为细基丸,仅26 d。

4.1.3 果熟期 大多数树种从开花结果到果实成熟需要3~7个月,有些跨年度成熟,如降香黄檀、柚木、白格、非洲楝和大叶桃花心木等,结果期在6月至次年3月,果熟期一般在10月至次年3月。经过6~9月的高温、高湿初果期,果实生长发育积累足够的营养物质,到10月至次年3月,果实成熟。这期间日均气温为19~22℃,日均日照时数为5~6 h,雨量减少,适宜果实的成熟。少数树种如乌墨、海南石梓、印度紫檀、细基丸、黄籽孔雀豆结果期较短,3~5月开完花后,5~8月果实成熟。

4.1.4 叶变色期 常绿树种的换叶一年四季都可见到。15个树种中除柚木、印度紫檀为落叶树种,降香黄檀为半落叶树种外,其余均为常绿树种。叶变色后开始凋落,进入换叶期。12种常绿树种的换叶方式有两种^[6]:①老叶凋落高峰期过后才抽芽展叶,如黄籽孔雀豆、麻楝、细基丸、海南石梓、乌墨、白格和圆果象耳豆;②老叶边凋落边抽芽展叶,如华楹、黑格、非洲楝和大叶桃花心木。15个树种的叶变色期集中在1~3月初,时间为10~30 d。此期间为海南岛低温干燥季节,树木生长极其缓慢,几乎停止。说明树木物候与气候条件密切相关。

4.2 影响树木物候的主要因子

应用主成分分析的方法,是为了在众多的气象因子中,找出对林木物候影响最大的因子。现就主要物候期的主成分分析结果作如下讨论。

4.2.1 展叶期 从表2可以看到,第一主分量中以日均气温、日均地表温、展叶期距1月1日的天数的负荷量最高(0.932 9、0.939 2、0.908 2),第二主分量中以 ≥ 10 ℃积温和累积日照时数的负荷量最高(0.909 9、0.826 8),均为正向效应。前两个主分量同时表征了温度、光照对展叶期的影响,累计贡献率为93.82%。展叶早的,要求的温度较低,日照较少;展叶迟的,要求的温度较高,日照较多,可以认为,日均气温、日均地表温、 ≥ 10 ℃积温和累积日照时数是展叶期最主要的气象因子。

4.2.2 开花期 从表3可以看到,第一主分量中以开花期总降雨量、 ≥ 10 ℃积温、累积日照时数和日均日照时数的负荷量最高,分别为0.960 1、0.834 9、0.704 4和-0.658 4,第二主分量中以日均地表温的负荷量为最大(-0.936 7)。前两个主分量同时表征了雨量、温度、光照对开花期的影响,累计贡献率为77.26%。开花早的,需要的雨量较多,温度较高,日均日照较少。这与观测结果相符。15个树种的花期集中在4~6月。气象资料表明,10个年份的平均数,4月份的雨量为52.2 mm,日均日照时数为5.61 h;6月份的雨量为174.94 mm,日均日照时数为5.61 h。由此推论,开花期的气象因子中,雨量、 ≥ 10 ℃积温、累积日照时数和日均日照时数是最重要的。

4.2.3 果熟期 由表3看出,第一主分量中以果熟期距1月1日的天数、果熟期的日均气温、果熟期日均地表温、果熟期雨量的负荷量为最高(0.905 2、-0.878 3、-0.853 8和-0.850 1),第二主分量中以果熟期累计日照时数的负荷量最高(0.879 6)。前两个主分量同时表征了温度、雨量、光照对果熟期的影响,累计贡献率为81.94%。从因子效应看,日均气温、日均地表温、雨量均为正向效应,其原因是15个树种果熟期从当年5月到次年4月初,有的在当年夏、秋成熟,有的跨年到来年春才成熟。成熟早的,即当年夏秋成熟的,需要的温度较高、雨量较多;而成熟迟的,即跨年度成熟的,果熟期需要的温度较低、雨量较少。累计日照时数与果熟期长短密切相关,果熟期短的,所需的累计日照时数少,果熟期长的,所需的累计日照时数多。可以认为,果熟期最主要的气象因子是日均气温、雨量和累计日照时数。

4.2.4 叶变色期 从表3看出,第一主分量中以叶变色日均地表温和日均气温的负荷量为最高(分别为0.923 3和0.922 0),第二主分量中以 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温和累计日照时数的负荷量为最高(分别为0.886 2和0.867 0)。前两个主分量同时表征了温度、光照对叶变色期的影响。15个树种的叶变色期集中在1~4月初,叶变色早的,要求的日均温、地表日均温较低,叶变色迟的,则相反。树木进入叶变色期则停止生长,所以,日均温和地表温是制约树木生长,即影响叶变色期的主要因子。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温和累计日照时数与叶变色期长短有关,叶变色期长的,要求的积温较高,累计日照时数较长,叶变色期短的,正好相反。

4.3 树木物候类型的划分

4.3.1 展叶期 根据图1,在阈值 $\lambda=6.0$ 的水平上,对照表1树木物候期与环境因子的关系表,将15个树种展叶期的物候类型分成四类:(1)低温—少日照—早晨叶型(乌墨),此类型展叶期为2~3月;(2)中温—较多日照—较早展叶型(降香黄檀、印度紫檀、海南石梓、黄籽孔雀豆、麻楝、细基丸、圆果象耳豆、黑格、华楹、非洲楝、大叶桃花心木),此类型展叶期集中在3~4月;(3)高温—多日照—较迟展叶型(柚木),此类型展叶期4~5月初;(4)高温—多日照—迟展叶型(千张纸、白格),此类型展叶期为4~6月。

4.3.2 开花期 根据图2,在阈值 $\lambda=12.0$ 的水平上,对照表1的结果,将15个树种开花期的物候类型分成四类:(1)低雨量—中日照—旱季较长花期型(乌墨);(2)中雨量—多日照—雨季初短花期型(降香黄檀、印度紫檀、海南石梓、黄籽孔雀豆、麻楝、细基丸、圆果象耳豆、华楹、非洲楝和大叶桃花心木);(3)多雨量—少日照—雨季中花期型(柚木、千张纸、白格);(4)多雨量—中日照—雨季长花期型(黑格)。

4.3.3 果熟期 根据图3,在阈值 $\lambda=7.2$ 的水平上,对照表1结果,将15个树种果熟期的物候类型分成四类:(1)高温—多雨—快熟夏果型(印度紫檀、海南石梓、细基丸、乌墨),此类型当年5~8月的夏季果实成熟;(2)中温—高雨—快熟秋果型(黄籽孔雀豆、圆果象耳豆),此类型当年8~11月的秋季果实成熟;(3)低温—中雨—慢熟冬果型(降香黄檀),此类型果实当年10月至次年1月的冬季成熟;(4)低温—少雨—慢熟冬春果型(柚木、麻楝、千张纸、白格、华楹、黑格、非洲楝、大叶桃花心木),此类型经过夏季初果期,到冬季至来年的春天(12~4月初)果实才成熟。

4.3.4 叶变色期 根据图4,在阈值 $\lambda=6.0$ 的水平上,对照表1结果,将15个树种叶变色期的物候类型分成四类:(1)低温—少雨—叶早变色型(柚木);(2)较低温—少雨—叶较早变色型(降香黄檀、印度紫檀、海南石梓、黄籽孔雀豆、千张纸、乌墨、圆果象耳豆、华楹);(3)较高温—

中雨—叶较迟变色型(麻楝、白格、黑格);(4)高温—中雨—叶迟变色型(细基丸、非洲楝、大叶桃花心木)。

5 结 语

(1)热带树木园中 15 个树种的物候调查结果表明,树种开始展叶和叶变色的时间比较接近,果熟期和开花时间则有较大差异。说明物候既是生物内在生命节律的表现,也包含物种在生境压力下的趋同适应。

(2)光、温、水因子定性和定量(PCA)分析表明,与物候期关系密切的环境因子是日平均温度、雨量和日平均日照时数。

(3)15 个树种主要物候的类型划分展示了树种间各个物候期的相关性。

(4)热带树种种类繁多,大多数的物候习性尚未被人们所认识,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Daubenmire R F(曲仲湘等译). 植物与环境. 北京:科学出版社,1965. 72~226.
- 2 王铸豪. 植物与环境. 北京:科学出版社,1986. 1~47.
- 3 Lieth Helmut(颜邦调等译). 物候学与季节性模式的建立. 北京:科学出版社,1984. 89~131.
- 4 唐守正. 多元统计分析方法. 北京:中国林业出版社,1984.
- 5 祝宁,江洪,金永岩. 中国东北天然次生林主要树种的物候研究. 植物生态学与地植物学学报,1990,(4):336~348.
- 6 李明佳,王铸豪. 鼎湖山常见植物的物候. 热带亚热带森林生态系统研究. 广州:科学普及出版社广州分社,1984,(2):1~11.

Study on Phenology of Some Tree Species Grown in the Tropical Arboretum at Jianfengling of Hainan Island

Su Juan Wang Dezhen Fu Shishen

Abstract The relationships between the phenology of fifteen tree species grown in the Tropical Arboretum at Jianfengling of Hainan Island and some meteorological factors such as temperature, rainfall, sunshine, etc. were analyzed by using the multivariate statistical analysis. Results showed that the most important meteorological factors influencing the phenological periods of the tree species were mean daily temperature, rainfall and mean daily sunshine. Through using the clustering analysis, the leaf expansion period, the flowering period, the fruit maturing period and the leaf discoloring period were divided into four types respectively.

Key words The Tropical Arboretum, tropical tree species, phenological character, principal component analysis, system clustering analysis

Su Juan, Associate Professor, Wang Dezhen, Fu Shishen (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).