

海南龙血树野生资源分布及其与水热关系的分析

郑道君^a, 云勇^b, 吴宇佳^a, 李海文^b, 张治礼^{a*}

(海南省农业科学院, a. 农作物遗传育种重点实验室; b. 园林花卉研究所, 海口 571100)

摘要: 在全面调查海南龙血树(*Dracaena cambodiana*)野生资源地理分布的基础上,用温度指数、湿度指数等气候指标分析了海南龙血树野生资源地理分布与气候因子间的关系。结果表明,海南龙血树野生资源在中国仅分布于海南岛西南部山区及南部沿海地区,水平分布于 108°42'40.9"~110°27'36.8"E, 18°14'27"~19°20'28.5"N,垂直分布范围为 0~900 m,仅发现 10 个现存分布点;海南龙血树属于热带雨林、季雨林小乔木状植物,具有强耐旱、喜阳和喜钙等生态习性,其分布区的绝大部分水热因子是其分布的主要限制因子。主成分分析表明,影响海南龙血树地理分布的主要水热指标的排序为热量因子>降水因子>湿度因子。根据野生居群的生境特点,我们推测水分和光照强度可能是影响海南龙血树种子萌发率或幼苗成活率的重要因子。

关键词: 海南龙血树; 地理分布; 气候因子

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.04.002

Geographical Distribution of Wild *Dracaena cambodiana* in China and Its Relationship with Hydrothermal Factors

ZHENG Dao-jun^a, YUN Yong^b, WU Yu-jia^a, LI Hai-wen^b, ZHANG Zhi-li^{a*}

(a. Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding; b. Institution of Flower and Garden Research, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China)

Abstract: The geographical distribution of wild resources of *Dracaena cambodiana* in China was comprehensively investigated and its relationship with climatic factors was analyzed by climate indexes, such as Kira's warmth index, Xu's humidity index, *et al.* The results showed that *D. cambodiana* was endemic to southwestern mountains and southern coastal areas of Hainan Island in China, with horizontal distribution from 108°42'40.9" to 110°27'36.8"E, and 18°14'27" to 19°20'28.5"N, and vertical distribution at 0–900 m altitude, and only ten distribution locations were found. The *D. cambodiana* is a small tree species of tropical rainforest or monsoon forest with ecological habitats of drought tolerance and heliophytes and calcicole, and most of hydrothermal factors were the main limited factors to its geographical distribution. The principal component analysis showed that the dominant factors on the distribution of *D. cambodiana* were in order as thermal factors > precipitation factors > relative humidity factors. Based on the habitat characteristics of wild populations, it suggested that both moisture and light intensity have significant effects on seed germination and seedling survival of *D. cambodiana*.

Key words: *Dracaena cambodiana*; Geographical distribution; Climate factor

海南龙血树(*Dracaena cambodiana* Pierre ex Gagnep)又名小花龙血树,属龙舌兰科(Agavaceae)

龙血树属常绿小乔木,在中国仅分布于海南^[1-2]。海南龙血树可提取传统名贵中药材“血竭”^[1-2]。此

收稿日期: 2011-10-13

接受日期: 2011-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(30760015);海南省自然科学基金项目(30831)资助

作者简介: 郑道君(1979~),男,硕士,助理研究员,从事植物种质资源及保育遗传学研究。E-mail: daojunzh@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zzl_catas@hotmail.com

外,海南龙血树还具有很高的观赏价值,在民间被誉为“不老松”、“平安树”,是园林绿化、家庭盆栽的名贵树种。

由于海南龙血树具有较高的药用价值和观赏价值,其野生资源遭受长期无节制的掠夺性采挖,目前数量已十分有限。由于人类活动对其生境的严重破坏,及其野生资源自然更新困难,生长非常缓慢。因此,就持续利用和资源保护而言,海南龙血树野生资源严重匮乏,并被列入二级国家重点保护野生植物^[3]和三级中国稀有濒危保护植物^[4]。关于海南龙血树的研究,目前主要集中在组培快繁、栽培技术以及以血竭为基础的开发利用等方面^[5],而有关其野生资源分布和资源现状等方面的信息目前尚无系统、完整的数据资料,有关其地理分布与气候关系的研究亦未见报道。

气候因素是决定植被类型及其物种分布的最主要因素^[6]。通过研究气候(主要是环境水热状况)与植物分布的关系可以找出影响植物分布的主要因子^[7-10],这对于探索植物分布形成原因、确定植物适宜的分布区,尤其是濒危植物的分布具有重要的理论和实际意义。本文报道海南龙血树野生资源地理分布和资源储量的调查结果,并采用4种描述植被-气候相互关系的指标分析了野生资源分布与水热条件之间的关系,探讨影响海南龙血树分布的主要气候因子,为揭示海南龙血树的生态适应机理、濒危原因以及迁地保护、人工引种栽培提供科学依据。

1 研究方法

1.1 野生海南龙血树资源分布的实地调查

查阅文献资料和中国数字植物标本馆等保存的海南龙血树标本。根据文献资料和标本记载,初步确定海南龙血树的地理分布范围。

在野生海南龙血树分布范围内,采用踏查法对海南龙血树地理分布情况进行全面的实地调查,对海南龙血树各分布点的地理位置进行GPS定位。在实地调查中,通过咨询当地林业部门、当地居民尤其园林苗圃商,根据他们了解到的情况扩大调查范围,排除植物标本和文献记载有分布但目前消失的分布点。

1.2 分布区气象资料收集

根据海南龙血树现存野生资源分布的调查结

果,从海南省气象局、各市县气象部门收集海南龙血树各分布点的气象资料,具体到各乡镇气象观测站,各市县志记载的历史气象资料做补充。气象数据包括:年及各月平均气温、年极端高温、年极端低温、年及各月降水量、年相对湿度、年日照时数、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年均积温。

1.3 水热指标统计分析

在明确海南龙血树野生资源分布及获得其分布地气候资料的基础上,利用国际上比较流行的研究植被与气候相互关系的指标和方法,分析了该物种的地理分布与水热因子的关系。

温暖指数(WI)参照Kira的方法^[11], $WI = \Sigma(t-5)$, t 为月平均气温。

湿润指数(HI)依徐文铎的公式计算^[12], $HI = P/WI$, P 为年降水量。

温湿度系数(THC)的计算, $THC = RH/T$, RH 为年均相对湿度, T 为年均温度。

干燥度指数(K)参照Yin和Kira的方法^[13], $K = P/(WI+20)$, $WI \leq 100$; $K = P/(WI+140)$, $WI > 100$, 其中 P 为年均降水量。

采用半峰宽(PWH)计算法确定树种热量分布的最适范围^[14],即 $PWH = 2.354S$,式中 S 为热量指数值的标准差,最适范围为 $X - 0.5 \times PWH \sim X + 0.5 \times PWH$ (X 为热量指数的平均值)。

应用JMP6.0对全部指标进行变异系数计算,对部分水热指标进行主成分(PCA)分析,包括WI、HI、年均降水量、1月均温、7月均温、相对湿度、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年均积温、年均温、年日照时数、THC等水热指标。

2 结果和分析

2.1 海南龙血树野生资源的分布现状

野外调查结果表明,海南龙血树在中国仅分布于海南岛西南部内陆山区及南部沿海地区,属典型的岩石伴生型树种,生长于裸露花岗岩和石灰岩的石缝残积土中或紧贴石壁生长于砂壤土中,所在坡地陡峭,土壤蓄水力弱,地形开朗,光照充足,有的植株甚至生长在垂直的石灰岩峰林或孤峰的石缝中。中国现存海南龙血树野生居群的水平分布范围是 $108^{\circ}42'40.9''\text{E} \sim 110^{\circ}27'36.8''\text{E}$, $18^{\circ}14'27''\text{N} \sim 19^{\circ}20'28.5''\text{N}$; 垂直分布范围是 $0 \sim 900 \text{ m}$ (表1), 远超出文献资料记载的 $0 \sim 300 \text{ m}$ ^[1-2]。调查仅发现了

10个分布点(图1),即:东方俄贤岭和昌江霸王岭、乐东尖峰岭、东方板桥镇黑岭和天安乡陀牙山、昌江县昌化大岭、三亚南山岭、三亚亚龙湾、万宁与陵水分界处牛岭和万宁乐南山。这些分布点均受到不同程度的人为破坏,没有发现保存完好的居群,各居群的现存量在20~5000株之间。

调查表明,在文献记载有海南龙血树分布的海南铜铁岭^[15]和万宁青皮林自然保护区^[16]等处,没有发现海南龙血树;根据当地林业部门、当地居民和向导的介绍,已经消失的海南龙血树分布点还有:陵水狗头岭、三亚海棠湾和昌江海尾镇海边等处。

表1 海南龙血树分布点及其资源储量

Table 1 Location and number of *Dracaena cambodiana* populations

居群 Population	分布点 Location	数量 Number (ind.)	N	E	海拔 Altitude (m)
BW	昌江县霸王岭 Bawangling, Changjiang	60	19°05'03.5"	109°02'28.3"	135
EX	东方市俄贤岭 Exianling, Dongfang	<400	18°59'58"	109°04'30"	200~900
CH	昌江昌化大岭 Changhua Daling, Changjiang	<5000	19°20'28.5"	108°42'40.9"	70~300
TA	东方陀牙山 Tuoyashan, Dongfang	<500	18°58'52.9"	108°50'28.9"	210
HL	东方黑岭 Heiling, Dongfang	90	18°46'30.0"	108°48'45.8"	175
JF	乐东县尖峰岭 Jianfengling, Ledong	100	18°44'40"	109°59'50"	230
NS	三亚南山 Nanshan, Sanya	<1000	18°18'04"	109°09'06"	0~260
YL	三亚亚龙湾蝴蝶谷 Butterfly valley in Yalong Gulf, Sanya	20	18°14'27"	108°39'02"	25
NL	万宁市牛岭 Niuling, Wangning	20	18°35'04"	110°10'14.8"	30
LN	万宁市乐南山 Lenanshan, Wanning	<400	18°38'43.2"	110°27'36.8"	93

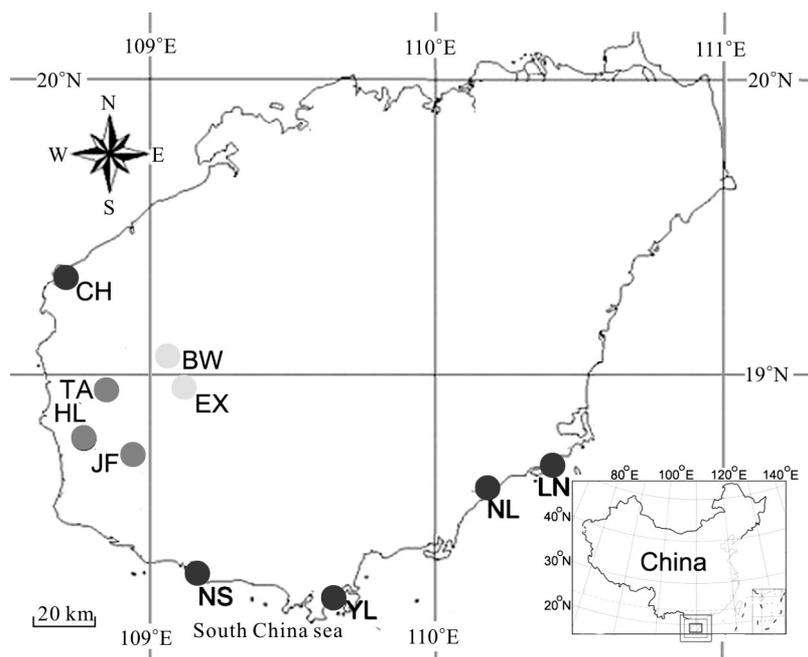


图1 中国海南龙血树野生居群分布图。BW、EX、CH、TA、HL、JF、NS、XL、NL和LN见表1。

Fig. 1 Distribution map of *Dracaena cambodiana* populations in China. BW, EX, CH, TA, HL, JF, NS, XL, NL, and LN see Table 1.

2.2 野生居群分布与水热因子的关系

2.2.1 海南龙血树分布与水热因子的关系

海南龙血树分布区的各项水热指标见表2。海南龙血树生长环境中各水热指标的变异系数较小,大部分小于10%,其值在25%以下的排序是: $\geq 10^\circ\text{C}$ 年均积温 $<$ 7月均温 $<$ 干燥度指数 $<$ 极端高温 $<$ 年均气温 $<$ WI $<$ 年均相对湿度 $<$ 年日照时数 $<$ 1月均温 $<$ THC $<$ HI $<$ 年均降水量,说明它们是海南龙血树分布的主要限制因子,海南龙血树对绝大部分水热条件有较严格的要求。

海南龙血树生长环境中 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温约为 $8300.0^\circ\text{C} \sim 9417.0^\circ\text{C}$,最适范围为 $8482.0^\circ\text{C} \sim 9276.2^\circ\text{C}$;年平均气温为 $21.9^\circ\text{C} \sim 25.8^\circ\text{C}$,最适范围为 $22.70^\circ\text{C} \sim$

25.46°C ;最冷月(1月)平均气温为 $16.4^\circ\text{C} \sim 21.0^\circ\text{C}$,最适范围为 $16.93^\circ\text{C} \sim 20.56^\circ\text{C}$;极端最低温为 $0^\circ\text{C} \sim 6.2^\circ\text{C}$,一般年份极端最低温多在 5°C 以上,且持续时间短,冷的程度较轻;最热月(7月)平均气温为 $26.0^\circ\text{C} \sim 30.0^\circ\text{C}$,最适范围为 $26.71^\circ\text{C} \sim 29.31^\circ\text{C}$,极端最高温为 $35.9^\circ\text{C} \sim 41.1^\circ\text{C}$;温暖指数为 $202.8 \sim 249.6^\circ\text{C Month}$,最适范围为 $212.49^\circ\text{C Month} \sim 245.42^\circ\text{C Month}$ 。年均降水量为 $902.6 \sim 2200.0\text{ mm}$,最适范围为 $1116.8 \sim 1957.6\text{ mm}$;湿润指数为 $3.86 \sim 9.40\text{ mm }^\circ\text{C}^{-1}\text{ Month}^{-1}$ 最适范围为 $4.99 \sim 8.59\text{ mm }^\circ\text{C}^{-1}\text{ Month}^{-1}$,属于湿润半湿润的气候类型。结合其他气候指数,如日照时数、年均相对湿度、THC等,海南龙血树分布区域的特点为炎热、热量充足、无严冬、湿润半湿润。

表2 海南龙血树分布环境的水热指标

Table 2 Hydrothermal indexes in distribution environment of *Dracaena cambodiana*

	平均值	标准差	变异系数	最小值	最大值	最适范围
	Mean	Standard error	Variation coefficient (%)	Minimum	Maximum	Optimum rang
年均降水量 AP (mm)	1537.2	357.2	23.24	902.6	2200.0	1116.8~1957.6
年均相对湿度 RH (%)	78.6	5.95	7.57	74	88	71.60~85.60
极端高温 Eht ($^\circ\text{C}$)	37.89	1.63	4.33	35.9	41.1	
极端低温 EIT ($^\circ\text{C}$)	3.91	2.23	56.93	0	6.2	
$\geq 10^\circ\text{C}$ 年均积温 AAT ($^\circ\text{C}$)	8879.1	337.4	3.80	8300	9417.0	8482.0~9276.2
年日照时数 ASH (h)	2310.6	179.7	7.78	2000	2600	2099.1~2522.1
年均气温 AMT ($^\circ\text{C}$)	24.08	1.17	4.84	21.9	25.8	22.70~25.46
1月均温 Jan. T ($^\circ\text{C}$)	18.75	1.54	8.21	16.4	21.0	16.93~20.56
7月均温 Jul. T ($^\circ\text{C}$)	28.02	1.10	3.92	26.0	30.0	26.71~29.31
温暖指数 WI ($^\circ\text{C Month}$)	228.96	13.99	6.11	202.8	249.6	212.49~245.42
湿润指数 HI ($\text{mm }^\circ\text{C}^{-1}\text{ Month}^{-1}$)	6.79	1.53	22.51	3.86	9.40	4.99~8.59
温湿度系数 THC	3.27	0.31	9.39	2.87	3.86	2.91~3.63
干燥度指数 K	8.34	1.93	4.32	4.83	11.76	

AP: Annual precipitation; RH: Relative humidity; EIT: Extreme low temperature; EhT: Extreme high temperature; AAT: Annual accumulated temperature ($\geq 10^\circ\text{C}$); ASH: Annual sunshine hours; AMT: Annual mean temperature; WI: Warmth index; HI: Humidity index; THC: Temperature and humidity coefficient; K: Aridity index. 下同。The same as following Table.

2.2.2 水热指标的主成分分析

采用 JMP6.0 统计软件对海南龙血树分布地的年均气温、1月平均气温、7月平均气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年均积温、WI、HI、THC、年均降水量、年均相对湿度、年日照时数等水热指标进行主成分(PCA)分析,得到前4个主分量的负荷量、特征根、贡献率及累计贡献率(表3)。10项水热指标中,第一主分量(PC1)的贡献率占累计贡献率的56.3189%,第二主分量(PC2)的贡献率占累计贡献率的22.3294%,

前四个主分量已占全部贡献率的97.5832%,可反映各因子影响海南龙血树分布的主要信息,所以选用前4个主分量进行分析。在第一主分量(PC1)中, $\geq 10^\circ\text{C}$ 年均积温、年均温、温暖指数等几项指标负荷值较大,且彼此间差异不大,第一主分量反映的是热量因子。在第二主分量(PC2)中,年均降水量负荷值最大,所以第二主分量反映的是降水因子,第三主分量(PC3)是以年均相对湿度为主,反映的是湿度因子,第四主分量(PC4)是以7月均温为主,

反映的是高温条件。从总体来看,对海南龙血树地理分布起主导作用的几项水热指标的相对次序是:

热量因子、降水因子、湿度因子。

表3 气候指标中前四个主分量的负荷量、特征值及信息量

Table 3 Loading value, characteristic value and information amount of climatic indexes in the first four principal components

	主分量 Principal component (PC)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
年均降水量 AP	-0.06953	0.63457	-0.22161	-0.01658
年均相对湿度 RH	-0.15300	0.29420	0.70057	-0.05341
≥10℃年均积温 AAT	0.40213	0.05821	0.11184	-0.25946
年日照时数 ASH	0.34830	-0.09517	0.29670	0.51590
年均气温 AMT	0.39514	0.15058	0.15183	-0.23535
1月均温 Jan. T	0.38285	0.10745	-0.05545	-0.25593
7月均温 Jul. T	0.31785	0.24996	-0.08913	0.69510
温暖指数 WI	0.39514	0.15058	0.15183	-0.23535
湿润指数 HI	-0.14968	0.59487	-0.23528	0.00873
温湿度系数 THC	-0.32628	0.15836	0.49706	0.06233
特征值 Eigen value	5.6319	2.2329	1.3660	0.5275
贡献值率 Proportion	56.3189	22.3294	13.6597	5.2752
累计贡献值率 Cumulative proportion	56.3189	78.6482	92.3079	97.5832

3 讨论和结论

3.1 海南龙血树野生资源现状

野外调查结果表明,海南龙血树野生居群在中国的分布范围极小,水平分布在 108°42'40.9"~110°27'36.8"E, 18°14'27"~19°20'28.5"N;垂直分布在海拔 0~900 m;而现存分布点仅 10 个,呈零星分布。在这些分布点中,或是海南龙血树资源本身遭受严重的采挖和砍伐,或是生境破坏严重,甚至两种破坏同时存在,致使种群数量减少。调查表明各居群只有 20~5000 株。Frankel 等认为,50 株是保存足够等位基因丰度的最小种群大小,500 株则是种群抵抗基因漂变和允许种群进化所必需的^[17]。Lande 认为,居群大小为 1000 株是维持种群遗传多样性所必需的^[18]。由此可见,除昌化大岭居群外,现存海南龙血树居群已经不能维持种群的遗传变异,而且大部分种群可能正在经历基因漂变而使遗传多样性下降,最终使种群失去应对生境不断变化的进化基础。本课题关于海南龙血树野生居群遗传多样性的研究结果也进一步证实了这一点^[19]。亚龙湾和牛岭两个地方的海南龙血树种群仅为 20 株,面临等位基因大量丢失的危险。自然更新失败,海南龙血树种群得不到及时有效地维持和扩大;人

为采挖和砍伐以及生境破坏等得不到有效地遏制,致使海南龙血树野生种群数量和大小仍在不断下降^[20]。

3.2 海南龙血树分布水热条件的限制指标与主导因子

在植物分布与水热因子关系分析中,各项水热因子的变异系数分析极为重要。一般而言,变异系数小于 25% 的水热因子被认为是植物分布的主要限制因子^[8,21-22]。本研究结果表明,海南龙血树分布区的绝大部分水热因子是其分布的主要限制因子,所有的水热指标,除了极端低温的变异系数为 56% 外,其他的均小于 25%,且大部分小于 10%。由此反映出海南龙血树分布生态幅极为狭小,生态适应性差的特点,这可能是导致海南龙血树趋于濒危灭绝的原因之一。进一步的主成分分析表明,对海南龙血树地理分布起主导作用的几项水热指标中,按作用大小排序依次是:热量因子、降水因子、湿度因子。

3.3 海南龙血树生长条件与濒危机制探讨

Kira 的温暖指数和寒冷指数及其干燥度指数的计算方法简便,与植被的对应性好^[23],是国际上应用较广的进行植被-气候相关研究的方法和指标之一^[24]。刘春迎根据 Kira 的温暖指数和干燥度指数对我国的植被带进行划分^[25],海南龙血树的温暖

指数为 228.96, 干燥度指数 8.34, 属于热带雨林、季雨林小乔木状植物。Kira 指数对应于 Thornthwaite 气候系统中的指数^[25], 海南龙血树分布区气候属于 A'B(C1-B3) 型, 即高温湿润型, 但湿度在地区间的变化很大, 由低湿至湿润都有。调查结果也表明, 海南龙血树生长于坡地陡峭、地形开朗、光照充足、蓄水力弱的岩石缝间或边上, 这表明了其典型的强耐旱、喜阳和喜钙的生态习性。

调查中观察到, 成年海南龙血树在现有生境中生长良好, 并能产出可育的种子, 在合适的萌发条件下只要处理及时, 新鲜果实的种子萌发率可达 60%~70%^[26]。但是我们的野外调查仅在常年有流水、环境相对潮湿的河谷两边居群中发现有极少数的实生苗。这表明, 海南龙血树自然更新失败, 其居群处于“濒危生境”中, 现有生境仅适宜于成年海南龙血树的生长^[20]。由此推测, 水分对海南龙血树种子萌发或小苗成长至关重要。Adolt 和 Pavlis 也认为水分充足是决定龙血树属植物 *D. cinnabari* 幼苗成活的关键因子^[27]。在条件适宜的温室中, *D. cinnabari* 幼苗死亡率仅为 10%, 而如果没有良好的雨季年份幼苗死亡率达到 100%。罗金环等报道海南龙血树种子萌发需要有 70%~80% 的遮光网, 幼苗成长需要 60% 的遮光网^[26], 表明海南龙血树在种子萌发和幼苗成长阶段喜阴, 对光照和湿度有较高的要求。

综上所述, 我们推测水分和光照是影响海南龙血树种子萌发率或小苗成活率的重要因子。海南龙血树的果实成熟期和幼苗成长期均在每年的 10 月份到次年的 4 月份, 为海南岛的旱季; 由于现存居群多生长于裸露的石壁间或干热的河谷地带, 加之近年来人为的采挖砍伐和生境的破坏, 现存海南龙血树群落缺少一定的林荫以保障种子萌芽和幼苗成长所需的荫蔽环境, 这就解释了海南龙血树身处濒危生境而致使自然更新失败的现象。当然, 这仅是在现有观察到的现象和极少数研究报道的基础上进行的推断, 更为准确的解释还需要大量的实验数据加以支持, 包括海南龙血树种子萌芽和小苗成长影响条件的研究以及与野外生境条件的比较研究等。

参考文献

- [1] Guangdong Institute of Botany. Flora Hainanica, Tomus IV [M]. Beijing: Science Press, 1977: 1-155.
广东省植物研究所. 海南植物志 第四卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1977: 1-155.
- [2] Chen X Q, Turland N J. *Dracaena Vandelli* ex Linnaeus [M]// Wu Z Y, Raven P H. Flora of China, Vol. 24. Beijing: Science Press & St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2000: 215-217.
- [3] Chinese Virtual Herbarium [EB/OL]. 2006. [2010-8-10]. <http://www.cvh.org.cn/>
中国数字植物标本馆 [EB/OL]. 2006. [2010-8-10]. <http://www.cvh.org.cn/>
- [4] National Environment Protection Administration, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. China Rare and Endangered Protective Plant Lists [M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-38.
国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-38.
- [5] Zheng D J, Xie L S, Wang Y, et al. Research advances in dragon's blood plants in China [J]. Chin Wild Plant Res, 2009, 28(6): 15-20.
郑道君, 谢良商, 王盈, 等. 中国血竭基源植物的研究与利用 [J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(6): 15-20.
- [6] Woodward E I, Williams B G. Climate and plant distribution at global and local scales [J]. Vegetation, 1987, 69(1/2/3): 189-197.
- [7] Sun F, Zhong Z C, Li X G. Geographical distribution of *Gordonia acuminata* (Theaceae) in relation to hydrothermal conditions of the environment [J]. J Trop Subtrop Bot, 1998, 6(4): 315-322.
孙凡, 钟章成, 李旭光. 四川大头茶地理分布与环境水热状况的关系 [J]. 热带亚热带植物学报, 1998, 6(4): 315-322.
- [8] Xie W D, Chen J H, Lai J Y, et al. Analysis on relationship between geographic distribution of *Malaria oleifera* and hydrothermal factors [J]. J Trop Subtrop Bot, 2009, 17(4): 388-394.
谢伟东, 陈建华, 赖家业, 等. 蒜头果地理分布与水热关系分析 [J]. 热带亚热带植物学报, 2009, 17(4): 388-394.
- [9] Su J R, Zhang Z J, Deng J, et al. Relationships between geographical distribution of *Taxus wallichiana* and climate in China [J]. For Res, 2005, 18(5): 510-515.
苏建荣, 张志钧, 邓疆, 等. 云南红豆杉的地理分布与气候关系 [J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 510-515.
- [10] Ni J, Song Y C. Relationships between geographical distribution of *Cyclobalanopsis glauca* and climate in China [J]. Acta Bot Sin, 1997, 39(5): 451-460.
倪健, 宋永昌. 中国青冈的地理分布与气候的关系 [J]. 植物学报, 1997, 39(5): 451-460.
- [11] Kira T. A climatological interpretation of Japanese vegetation zones [M]// Miyawaki A, Tüxen R. Vegetation Science and Environmental Protection. Tokyo: Maruzen, 1977: 21-30.
- [12] Xu W D. Kira's temperature indices and their application in the study of vegetation [J]. Chin J Ecol, 1985(3): 35-39.
徐文铎. 吉良的热量指数及其在中国植被中的应用 [J]. 生态学杂志, 1985(3): 35-39.
- [13] Yim Y J, Kira T. Distribution of forest vegetation and climate

- in the Korean Peninsula: II. Distribution of climatic humidity/aridity [J]. *Jpn J Ecol*, 26(3): 157–164.
- [14] Hong B G, Li S Z. The preliminary study of the correlations between the distribution of main evergreen broad-leaf tree species in Jiangsu and climates [J]. *Acta Ecol Sin*, 1981, 1(2): 105–111.
洪必恭, 李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究 [J]. *生态学报*, 1981, 1(2): 105–111.
- [15] Xing F W, Chen H F, Yan Y H, et al. Investigation of spermatophyte resources in Tongtieling, Hainan [J]. *J Plant Resour Environ*, 2003, 12(4): 43–48.
邢福武, 陈红锋, 严岳鸿, 等. 海南铜铁岭种子植物资源调查 [J]. *植物资源与环境学报*, 2003, 12(4): 43–48.
- [16] Zhang Y X, Zhang R J, Xing F W, et al. Community diversity of the *Vatica mangachapoi* forests in Wanning, Hainan Islands [J]. *Acta Bot Boreal-Occid Sin*, 2007, 27(7): 1454–1460.
张永夏, 张荣京, 邢福武, 等. 海南万宁青皮林群落多样性特征研究 [J]. *西北植物学报*, 2007, 27(7): 1454–1460.
- [17] Frankel O H, Brown A H D, Burdon J J. The Conservation of Plant Biodiversity [M]. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1995: 1–299.
- [18] Lande R. Mutation and conservation [J]. *Conserv Biol*, 1995, 9(4): 782–791.
- [19] Zheng D J, Xie L S, Zhu J H, et al. Low genetic diversity and local adaptive divergence of *Dracaena cambodiana* (Liliaceae) populations associated with historical population bottlenecks and natural selection: An endangered long-lived tree endemic to Hainan Island, China [J/OL]. *Plant Biol*, doi:10.1111/j.1438–8677.2011.00559.x
- [20] Zheng D J, Li H W, Yun Y, et al. Investigation on the habitat and natural regeneration capacity of *Dracaena cambodiana* population [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2010, 18(6): 627–632.
郑道君, 李海文, 云勇, 等. 海南龙血树种群生境及自然更新能力调查 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2010, 18(6): 627–632.
- [21] Hao J B, Sima Y K, Xu L. Relation between geographical distribution of *Magnolia yunnanensis* (Hu) Noot. and climatic factors [J]. *J W China For Sci*, 2007, 36(2): 105–109.
郝佳波, 司马永康, 徐亮. 云南拟单性木兰的地理分布与气候因子的关系 [J]. *西部林业科学*, 2007, 36(2): 105–109.
- [22] Sima Y K, Yu H, Yang G Y, et al. The relation between Yunnan geographic distribution of *Cephalotaxus* and environment [J]. *For Invent Plan*, 2004, 29(1): 83–87.
司马永康, 于鸿, 杨桂英, 等. 云南省三尖杉属植物的地理分布与环境因子的关系 [J]. *林业调查规划*, 2004, 29(1): 83–87.
- [23] Meng M, Ni J, Zhang Z G. Aridity index and its applications in geo-ecological study [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2004, 28(6): 853–861.
孟猛, 倪健, 张治国. 地理生态学的干燥度指数及其应用评述 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28(6): 853–861.
- [24] Ni J, Song Y C. Relationship between kira's indexes and distribution of dominants and companions of subtropical evergreen broad-leaved forest in China [J]. *Acta Ecol Sin*, 1998, 18(3): 248–262.
倪健, 宋永昌. 中国亚热带常绿阔叶林优势种及常见种的分布与Kira指标的关系 [J]. *生态学报*, 1998, 18(3): 248–262.
- [25] Liu C Y. The application of Kira's indices to the study of vegetation-climatic interaction in China [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1999, 23(2): 125–138.
刘春迎. KIRA指标在中国植被与气候关系研究中的应用 [J]. *植物生态学报*, 1999, 23(2): 125–138.
- [26] Luo J H, Liu J, Yang J D. Cultivation techniques and applications of *Dracaena cambodiana* [J]. *Trop For*, 2006, 34(4): 28–29.
罗金环, 刘俊, 羊金殿. 海南龙血树的栽培技术及其应用 [J]. *热带林业*, 2006, 34(4): 28–29.
- [27] Adolt R, Pavlis J. Age structure and growth of *Dracaena cinnabari* populations on Socotra [J]. *Trees*, 2004, 18(1): 43–53.