

蒜头果地理分布与水热关系分析

谢伟东^{1,2}, 陈建华^{1*}, 赖家业², 石海明², 黄开响³, 刘敬宝², 黎向东²

(1. 中南林业科技大学, 长沙 410004; 2. 广西大学林学院, 南宁 530005; 3. 广西高峰林场, 南宁 530001)

摘要:利用温度指数(WI)、湿润指数(HI)等气候因子,研究了蒜头果(*Malania oleifera* Chun et S. Lee)地理分布与气候因子的关系。结果表明,极端最高温、7月均温、年均温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温和年均降水量是蒜头果分布的主要限制因子;由半峰宽(PWH)计算法确定蒜头果生长的最适温度为 $18.0\sim 22.0^{\circ}\text{C}$,年降水量为 $1\ 106.5\sim 1\ 585.1\ \text{mm}$;水热组合较好的乐业地区是蒜头果的主要分布区。极端高温和干燥的气候可能是蒜头果分布区逐渐缩小并濒危的重要因素。

关键词:蒜头果; 地理分布; 气候因子

中图分类号: Q948.112

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2009)04-0388-07

Analysis on Relationship between Geographic Distribution of *Malania oleifera* and Hydro-thermal Factors

XIE Wei-dong^{1,2}, CHEN Jian-hua^{1*}, LAI Jia-ye², SHI Hai-ming²,
HUANG Kai-xiang³, LIU Jing-bao², LI Xiang-dong²

(1. Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; 2. Forestry College, Guangxi University, Nanning 530005, China; 3. Guangxi Gaofeng Forest Farm, Nanning 530001, China)

Abstract: The relationship between the distribution of *Malania oleifera* and climatic factors was studied by using WI, HI, cluster analysis, and principal component analysis. The results showed that maximum temperature, mean temperature in July, annual average temperature, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ annual accumulated temperature and annual average precipitation were the main limited factors to the geographical distribution of *Malania oleifera*. By Peak-Width-Half (PWH) Numeration, the optimum temperature and annual precipitation ranged from 18.0°C to 22.0°C and from $1\ 106.5\ \text{mm}$ to $1\ 585.1\ \text{mm}$, respectively. The regions of Leye were the main geographical distribution of *Malania oleifera* due to the hydro-thermal environment. The maximum temperature and arid climate are the significant factors to the distribution of *Malania oleifera*, and lead to endangerment.

Key words: *Malania oleifera*; Geographic distribution; Climate factor

蒜头果(*Malania oleifera* Chun et S. Lee), 俗称山桐果、马兰后, 为铁青树科(Olacaceae)蒜头果属(*Malania*)的常绿乔木, 高 $15\sim 25\ \text{m}$, 胸径 $30\sim 50\ \text{cm}$, 树皮灰褐色, 材质优良, 有多种用途, 种仁富含油脂, 既可食用, 又是合成麝香酮(muscone)的理想原料。蒜头果为我国特有的单属种树种, 仅分布

于我国云南东南部至广西西部的狭窄地带, 是石灰岩石山区特有植物之一^[1-2], 其形态特征既有原始性状, 又有进化性状, 对研究铁青树科的分类有一定的科学意义, 被列为国家二级保护濒危物种^[3]。

生物在地球表面的分布并非是随机的, 从大尺度上来说, 受到气候、大陆与海洋的相对位置及海

收稿日期: 2008-05-14 接受日期: 2008-10-18

基金项目: 广西科学基金项目(桂科青 229005); 广西林业局科技项目(林科学 1996-21)资助

* 通讯作者 Corresponding author

拔高度等因素的影响^[4-6],而气候因素则是决定植被类型及其物种分布的最主要因素^[7]。通过研究气候(主要是环境水热状况)与植物分布关系可以找出影响植物分布的主要因子,这对于探索植物分布形成的原因、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。

近几年来,有关蒜头果的研究已在生殖特性、细胞学及生理生态特征、濒危原因、快速繁殖技术、开发利用等方面取得重要成果^[8-17],而蒜头果地理分布与环境因子的关系则未见报道,我国一些珍稀濒危树种,如台湾杉(*Taiwania cryptomerioides*)^[18]、翅果油树(*Elaeagnus mollis*)^[19]、水松(*Glyptostrobus pensilis*)^[20]、喜马拉雅红豆杉(*Taxus wallichiana*)^[21]在地理分布与环境因子关系方面的研究成果,为开展蒜头果的相关研究奠定了基础。本研究采用几种描述植被-气候相互关系的指标^[22],通过主成分分析和聚类分析,分析影响蒜头果地理分布的气候主导因子和限制指标,为深入研究其生态适应机理、稀有濒危原因、迁地保护及人工引种栽培提供科学依据和基础资料。

1 材料和方法

1.1 气象资料

广西蒜头果(*Malana oleifera* Chun et S. Lee)分布区的19个县(区)气象资料取自广西气象局气象站1951~1980年的记录^[23],部分按当地气象记录进行补充,云南蒜头果分布区的3个县气象资料见文献^[24]。气象指标包括经度、纬度、海拔高度、年及各月平均气温、极端高温、极端低温、年及各月降水量、蒸发量、相对湿度、日照时数,均包括年及月平均值或合计值。本研究采用的气象台站22个,海拔高度均在蒜头果自然分布范围之内。

1.2 植物分布资料

利用查阅文献资料和访问及实地踏查相结合的方法,收集蒜头果分布资料。

1.3 温暖指数、湿润指数和温湿度系数

温暖指数(WI)参照Kira的方法^[25-26],采用日平均气温高于5℃总和作为植物生长的热量条件。 $WI = \sum(t-5)$, t 为月平均气温。

湿润指数(HI)依徐文铎^[27]的公式计算, $HI = P/WI$, P 为年降水量。

温湿度系数THC计算^[27], $THC = RH/t$, RH 为相

对湿度, t 为平均温度。变异系数 = 平均值/标准差。

1.4 热量指数分布的最适范围

考虑到计算指标的频数分布接近于正态分布时,确定树种热量分布的最适范围,可采用半峰宽(PWH)计算法确定^[25]。即 $PWH = 2.354 \cdot S$, 式中 S 为热量指数值的标准差,最适范围为 $X - 0.5PWH \sim X + 0.5PWH$ (X 为热量指数的平均值)。

1.5 主成分分析和分布区的聚类分析

水热指标的主成分(PCA)分析包括温暖指数(WI)、湿润指数(HI)、年均降水量、1月均温、7月均温、相对湿度、极端高温、极端低温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年均积温、年均温、年日照时数、温湿度系数等气象指标。聚类分析以温暖指数(WI)、湿润指数(HI)、年均温、极端最高温、7月均温、1月均温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 年积温和年降水量8个指标作为数量指标,并标准化到0至1的范围内,以欧氏距离(euclidean distance)为相异系数,分别应用最短距离法(nearest neighbor)、最长距离法(furthest neighbor)和组间联结法(between-group linkage)对蒜头果分布区进行聚类分析,用SPSS软件处理。

2 结果和分析

2.1 蒜头果的地理分布

蒜头果为单种属,不存在自然杂交,也不会因其基因结构复杂而造成生存障碍或出现特殊性。蒜头果分布区属于滇黔桂植物区系,是我国亚热带植物区系的核心地区之一,又是泛北极植物区-中国喜马拉雅森林植物亚区-云南高原地区、中国-日本植物区、古热带的印度-马来西亚植物区的过渡地区,孕育有丰富的土著发生成分,是蒜头果成为稀有种的重要原因。

蒜头果仅分布于我国的北热带和南亚热带,位于广西西部和云南东南部的狭窄地带,一般生长在石灰岩石山或土山(图1)。原分布区包括百色右江、田东、田阳、平果和马山等县(区),其果实为浆果状核果,是鸟类和鼠类喜爱的食物,鼠类对其天然更新危害严重,种子的迁移和分布地的扩大以鸟类传播为主。现有蒜头果的分布范围为 $22^\circ 23' \sim 24^\circ 48' \text{ N}$, $105^\circ \sim 107^\circ 30' \text{ E}$,在广西主要分布于龙州、大新、德保、靖西、那坡、隆安、平果、右江、田东、田阳、马山、巴马、凤山、东兰、凌云、乐业、田林、西

林、隆林等县(区),在云南主要分布于富宁、文山、广南等县,常呈小块状或零星分布。从地理上看,蒜头果分布在红水河-南宁-龙州一线以西的区域。从海拔高度来看,蒜头果自然分布主要在 300 ~ 1 640 m 之间,最高可分布至滇东南的 1 980 m。

蒜头果分布区土壤主要为黑色或棕色石灰土、红黄壤、山地黄壤,pH 值 4.5 ~ 7.5,适生于沟谷底和土层肥沃的石灰岩山地中下坡的生境。由于蒜头果幼苗阶段喜阴湿,随树龄增大渐喜光,因此在天然混交林中,蒜头果常居于林分主林层。

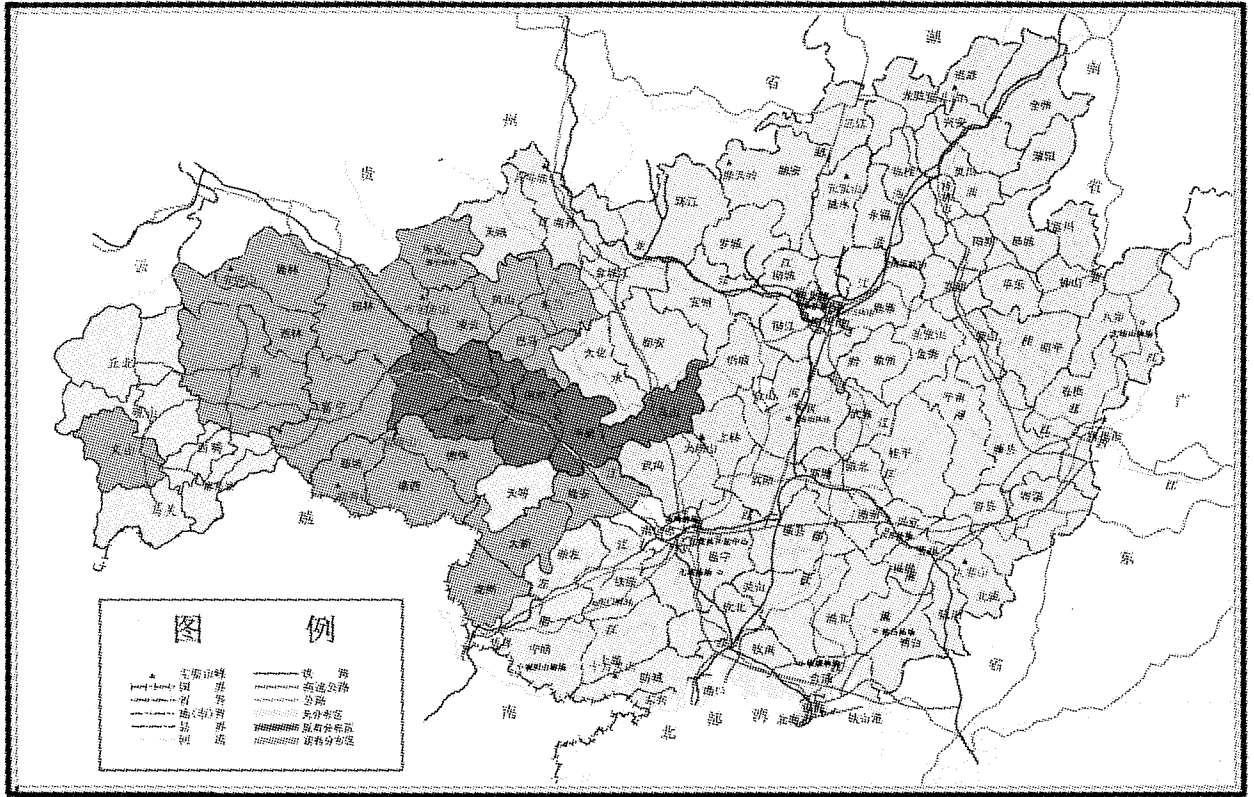


图 1 蒜头果分布示意图

Fig. 1 The distribution of *Malaisia oleifera*

2.2 蒜头果分布与水热关系

蒜头果分布区的各种水热指标和气候指标见表 1,蒜头果生长环境的大部分水热指标的变异系数较小,其值在 25% 以下的排序是:极端最高温 < 7 月均温 < 年平均气温 < $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 < 1 月均温 < 年均降水量,说明它们是蒜头果分布的主要限制因子。蒜头果生长环境中 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温在 4 984.8~7 839 $^{\circ}\text{C}$,最适范围为 5 818.5~7 731.9 $^{\circ}\text{C}$;年平均气温 16.3~22.1 $^{\circ}\text{C}$,最适范围为 18.0~22.0 $^{\circ}\text{C}$;最冷月(1 月)平均气温 7.5~13.9 $^{\circ}\text{C}$,最适范围为 9.6~13.2 $^{\circ}\text{C}$;极端最低温 -5.8~-0.3 $^{\circ}\text{C}$,一般年份极端最低温多在 0 $^{\circ}\text{C}$ 以上,只有在大寒潮南侵且又经过强烈的辐射降温才出现 0 $^{\circ}\text{C}$ 以下低温,但持续时间短,冷的程度较轻;最热月(7 月)平均气温 22.5~28.6 $^{\circ}\text{C}$,极端最高温 33.4~42.5 $^{\circ}\text{C}$;温度指数为 135.7~205.2 $^{\circ}\text{C}$ 月,最适范围为 156.5~203.5 $^{\circ}\text{C}$ 月。年降

水量为 1 056.5~1 719.0 mm,最适范围为 1 106.5~1 585.1mm;湿润指数为 5.4~10.1 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{月}^{-1}$,最适范围为 6.0~9.2 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1} \text{月}^{-1}$,多数属于半湿润的气候类型;结合其它水热指标如相对湿度、温湿度系数,蒜头果分布区域水热指标总的特点,即是温暖至炎热,热量丰富,无严冬,半湿润。

蒜头果分布的其它气候指标,日照时数 1 411.2~1 911.9 h,最适范围为 1 446.9~1 820.7 h,光照指数的变异系数为 9.7% (<25%),说明蒜头果对光照条件要求高,光照是影响蒜头果分布的主要限制因子之一。蒜头果是中性树种,幼苗期喜阴,在强光照下难以更新,随着树龄增大而逐渐喜光,树的枝条呈螺旋状排列,使各层的叶子少受遮荫以接受更多的光能,有阳性树种的趋势,但也能忍受一定程度的遮荫。目前蒜头果多分布于石头裸露多的石山区,植被少,光照强,不利于蒜头果天然更新。

表1 蒜头果分布的水热指标

Table 1 Hydrothermal indexes of the *Malaria oleifera* distribution

	平均值 Mean	标准差 SD	变异系数 (%)	最小值 Min.	最大值 Max.	最适范围 Optimal range
年平均温度 AMT (°C)	20.0	1.7	8.5	16.3	22.1	18.0~22.0
1 月均温 Jan. T (°C)	11.4	1.5	13.2	7.5	13.9	9.6~13.2
7 月均温 Jul. T (°C)	26.4	1.8	6.8	22.5	28.6	24.3~28.5
极端最低温 MiT (°C)	-2.9	1.2	41.4	-5.3	-0.8	
极端最高温 MaT (°C)	38.8	2.2	5.7	33.4	42.5	
≥10°C 年积温 AAT (°C)	6775.2	812.8	12.0	4984.8	7839.0	5818.5~7731.9
温暖指数 WI (°C月)	180.0	20.0	11.1	135.7	205.2	156.5~203.5
湿润指数 HI (mm °C ⁻¹ 月 ⁻¹)	7.6	1.4	18.4	5.4	10.1	6.0~9.2
年均降水量 AP (mm)	1345.8	203.3	15.1	1056.5	1719.0	1106.5~1585.1
相对湿度 RH (%)	79.1	1.7	2.1	76	83	77.1~81.1
温湿度系数 THC	4.0	0.4	10.0	3.4	5.1	3.5~4.5
年日照时数 ASH (h)	1633.8	158.8	9.7	1411.2	1911.9	1446.9~1820.7

AMT: Annual mean temperature; MiT: Minimum temperature; MaT: Maximum temperature; AAT: Annual accumulated temperature (≥10°C); WI: Warmth index; HI: Humidity index; AP: Annual precipitation; RH: Relative humidity; THC: Temperature and humidity coefficient; ASH: Annual sunshine hours. 下同。The same for following Tables.

2.3 水热指标的主成分分析

将 12 个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 2)。12 项水热指标中,第一主分量(PC1)的贡献率占累计贡献率的 53.771%,第二主分量(PC2)的贡献率占累计贡献率的 23.844%,前四个主分量已占全部贡献率的 95.666%。在第一主分量(PC1)中,≥10°C 年均积温、1 月均温、7 月均温、年均温、温暖指数、温湿度系数等几项指标负荷值

较大,且彼此间差异不大。因此,第一主分量反映的是热量因素,在第二主分量(PC2)中,年降水量、湿润指数和日照时数的负荷值最大,所以第二主分量是以年均降水量和日照时数为主,第三主分量(PC3)是以相对湿度为主,第四主分量(PC4)是以极端最低温为主。从总体来看,对蒜头果地理分布影响的几项水热指标作用的相对次序是:热量因子、年均降水量和日照时数、相对湿度、极端最低温。

表2 气候指标中前四个主分量的负荷量

Table 2 The loading values of climatic indexes in the first four principal components

	主分量 Principal components (PC)			
	PC1	PC2	PC3	PC4
≥10°C 年均积温 AT (°C)	0.938	10.149	-0.124	0.251
1 月均温 Jan T(°C)	0.870	0.208	-0.189	0.304
7 月均温 Jul T(°C)	0.946	0.070	-0.119	0.075
年均温 AMT (°C)	0.955	0.117	-0.098	0.214
年均降水量 AP (mm)	0.125	-0.974	-0.024	0.065
极端最高温 MaT (°C)	0.761	0.481	-0.157	-0.235
极端最低温 MiT (°C)	0.563	0.105	-0.093	0.781
相对湿度 RH (%)	-0.254	-0.076	0.961	-0.061
温暖指数 WI (°C月)	0.955	0.124	-0.095	0.212
湿润指数 HI (mm °C ⁻¹ 月 ⁻¹)	-0.487	-0.854	0.072	-0.052
年日照时数 ASH (h)	0.220	0.908	-0.111	0.208
温湿度系数 THC	-0.913	-101	0.306	-0.204
特征根 Eigen value	6.453	2.861	1.153	1.013
贡献率 Proportion	53.771	23.844	9.609	8.441
累计贡献率 Cumulative proportion	53.77	77.615	87.225	95.666

2.4 分布区的聚类分析及分类

根据水热组合状况,采用最短距离法、最长距离法、组内联结法对蒜头果分布的 22 个县市进行聚类分析,将分布区类型分为五类分布区域,用 $G_1 \sim G_5$ 表示,分类结果见图 2~4。从三种聚类方法分析结果来看,用最短距离法和组内联结法分析得出的结果一样。三种方法得出共同结果是:三种方法都把乐业单独作为一类,田林、右江、田东、田阳、隆安、平果、大新、龙州归为一类。根据水热组合状况, G_1 包括广西的隆林、西林和云南的富宁、广南、文山; G_2 仅包括乐业; G_3 包括凌云、马山、巴马、东兰; G_4 包括田林、右江、田东、田阳、隆安、平果、大新、龙州; G_5 包括凤山、德保、那坡、靖西。

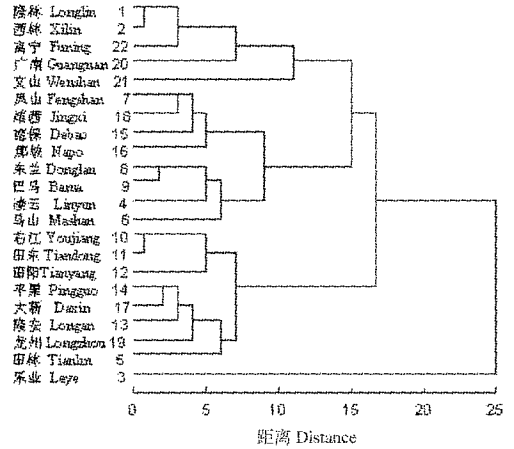


图 4 蒜头果分布区的组内联结法聚类分析

Fig. 4 The between-group linkage cluster analysis of the distribution regions of *Malania oleifera*

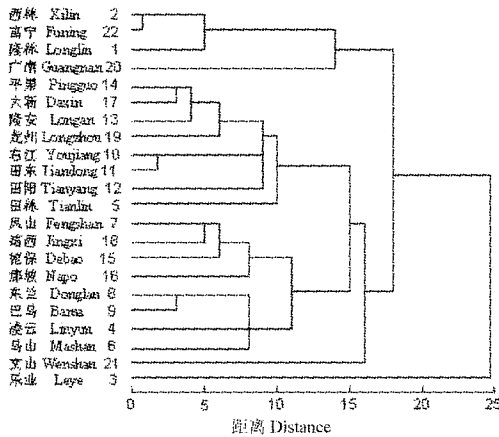


图 2 蒜头果分布区的最短距离法聚类分析

Fig. 2 The nearest neighboring cluster analysis of the distribution regions of *Malania oleifera*

地名后的数字为序号,下同。The digitals followed regions are serial number. The same as follow figures.

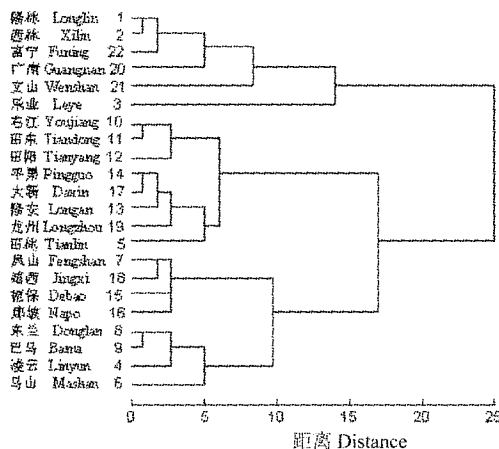


图 3 蒜头果分布区的最长距离法聚类分析

Fig. 3 The furthest neighboring cluster analysis of the distribution regions of *Malania oleifera*

一般认为,温度和水分组合状况对植物分布具有决定性的作用,可通过对蒜头果不同类型分布区的水热组合情况分析,找出蒜头果生长的最适宜区域。 G_1 区位于蒜头果分布区的西缘, WI 为 145.2~171.6 $^{\circ}\text{C}$ 月,热量条件比较差,且差异较大,而水分状况也较差, HI 为 6.53~7.79 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}\text{月}^{-1}$,年降水量最低,但是热量指标也不高,所以水热组合状况一般; G_2 区的热量条件最差, WI 为 135.7 $^{\circ}\text{C}$ 月,水分状况最好, HI 为 10.11 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}\text{月}^{-1}$,尽管年降水量不是最高,但是热量指标最低,所以水热状况组合最好,因此该区(乐业)是蒜头果的主要分布区; G_3 区位于蒜头果分布区的东北缘, WI 为 170.1~195.4 $^{\circ}\text{C}$ 月,说明热量条件比较好,水分状况尚可, HI 为 8.43~9.51 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}\text{月}^{-1}$,该区的巴马县是蒜头果的另一主要分布区; G_4 区的 WI 为 188.4~205.2 $^{\circ}\text{C}$ 月,热量条件最好,而水分状况最差, HI 仅为 5.4~6.94 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}\text{月}^{-1}$,且差异较大,水热组合最差,这主要是该区位于右江河谷,地势低平,日照时数长,热量充足,而降水量为广西最少地区,生态环境有明显的差异; G_5 区热量条件较好, WI 为 164.4~174 $^{\circ}\text{C}$ 月,且差异较大,水分状况一般, HI 为 8.4~9.49 $\text{mm } ^{\circ}\text{C}^{-1}\text{月}^{-1}$,水热组合一般。

3 种聚类分析法中,乐业都自成一组并在较高的层次上与他组存在明显的区别,说明该分布区具有蒜头果最适宜的生存条件,这与蒜头果在该处拥有最大的种群数量、最广泛的分布以及最完整的世代等事实相一致,分布范围从乐业县城至雅长林区(约 34 km)的区域均有蒜头果分布。该区域具有典型的蒜头果生长植被群落,乔木层主要与榲桲

(*Quercus acutissima*)、滇青冈 (*Cydoalanosis helferians*)、山核桃 (*Carya cathayensis*)、细叶云南松 (*Pinus yunnanensis*)、白栎 (*Albizia procera*) 和梧桐 (*Firmiana pulcherrima*) 等伴生树种形成常绿落叶混交林,郁闭度为 0.7 左右,主要树种的相对密度分别为 榲栌 (40.08%)、滇青冈 (16.12%)、山核桃 (8.26%)、蒜头果 (5.79%); 灌木主要有层刺楸 (*Kalopanax septemlobus*)、地桃花 (*Urenal lobata*)、苦参 (*Sophora flavescens*)、舞草 (*Desmodium gyrans*)、广东假吊钟 (*Craibiodendron kwangtungense*)、刺叶冬青 (*Ilex hylonoma*) 和枫黄蜀葵 (*Abelmoschus manihot*) 等,覆盖度为 30%~40%; 草本层种类较少,分布较星散也不均匀,主要有肾蕨 (*Nephrolepis cordifolia*)、金发草 (*Pogonatherum paniceum*)、莠竹 (*Microstegium vimineum*)、海金沙 (*Lygodium japonicum*)、五节芒 (*Miscanthus floridulus*) 和羊耳菊 (*Inula cappa*) 等,覆盖度为 2% 左右。组成种类中乔木层幼树幼苗株数较多,出现频率较高,在调查的 16 个小样方中蒜头果幼树出现频度达 50%,株数有 23 株,榲栌幼树出现的频度虽然仅为 37.5%,但其幼树株数达 51 株;其它灌木种类也较多,其中刺楸、地桃花、苦参、广东假吊钟和石岩枫等出现的频率较高。这些植被对于保护蒜头果生长发育的环境具有重要作用。而其他类型的分布区域已退化为灌草丛为主的植被群落,乔木层的伴生树种和蒜头果立木及幼树较少,甚至未发现幼树。

3 结论

蒜头果主要分布于广西西部和云南东南部,属于经济欠发达地区,当地群众对其木材及种子的利用直接导致蒜头果数量的减少,而且人类长期活动的干扰使分布区内大部分土山、石山的森林已退化为次生林、灌木或草丛,生存环境的改变及生境片段化使幼苗期喜荫的蒜头果天然更新受阻。虽然由于鸟类、鼠类传播、人为携带种子及气候变化等原因,使蒜头果的分布区域扩大,但从小尺度上看,呈现狭窄带状、局部集生或零星分布状态,适宜生境变小,种群数量减少。

蒜头果分布区温暖指数为 135.7~205.2 °C 月,最适为 156.5~203.5 °C 月,平均值为 180.0 °C 月;湿润指数为 5.4~10.1 mm °C⁻¹ 月⁻¹,最适范围为 6.0~9.2 mm °C⁻¹ 月⁻¹,平均值为 7.6 mm °C⁻¹ 月⁻¹;属于温暖湿润的季风性气候,无严冬。而蒜头果分布区的

温暖指数和湿润指数等指标部分超出它们的上下限,说明蒜头果适应高温和干燥气候的能力不强,这是造成蒜头果濒危的原因之一。另外,蒜头果分布区年日照时数在 1 411.2~1 911.9 h,最适为 1 446.9~1 820.7 h,平均 1 633.8 h,光照指数的变异系数为 9.7% (<25%),说明蒜头果对光照条件要求较严格,在生长过程中对光照条件的要求由喜荫逐渐转为喜光,而其分布区的年日照时数最大值比最适范围多 91.2 h,表明目前某些分布地的光照较强,从理论上验证了森林退化使蒜头果缺少更新所需的荫蔽环境,种群持续受到限制。

主成分分析表明,对蒜头果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、年均降水量和日照时数、相对湿度、极端最低温。在对蒜头果分布区的水热组合情况的几种聚类分析中,广西乐业县均自成一组,与其他组存在明显区别,水热状况最好,蒜头果生长的植被群落也保存较完整,其演替过程也较好。因此,乐业县可能是蒜头果生长的最适宜区域。由于某些现有分布区的水热环境、立地条件及植被状况等因子已不利于蒜头果种群的延续或扩大,因此,应在研究分布区水热条件的基础上,做好现有资源的保护,进一步探索迁地保护和人工栽培的可能性。

参考文献

- [1] Li S G(李树刚). *Malania*, a new genus of oilyielding plant [J]. Bull Herbar NE For Acad(东北林学院植物研究汇刊), 1980, 1(6): 67-72. (in Chinese)
- [2] Xu Z R(许兆然). Study on the limestone flora in southern and southwest China [J]. J Anhui Agri Coll(安徽农学院学报), 1980, 2: 88-94. (in Chinese)
- [3] Yu S F(于水福). Milestone of the Chinese conservation of wildplants — The First Batch List of National Key Protected Wild Plants has been issued [J]. Chin Plant(植物杂志), 1999, 5: 3-11. (in Chinese)
- [4] Myers A A, Giller P S. Analytical Biogeography: An Integrated Approach to the Study of Animal and Plant Distributions [M]. London & New York: Chapman & Hall, 1988: 1-158.
- [5] Brown J H, Lomolino M V. Biogeography [M]. 2nd ed. Mass: Sinauer Ass., 1998: 1-340.
- [6] Hallam A. Relative Importance of Plate Movements, Eustasy and Climate in Controlling Major Biogeographic Changes Since the Early Mesozoic [M]. New York: Columbia Univ. Press, 1981: 1-238.
- [7] Sun F(孙凡), Zhong Z C(钟章成), Li X G(李旭光). Geographical distribution of *Gordonia acuminata* (Theaceae) in relation to hydrothermal conditions of the environment [J]. J Trop Subtrop Bot (热带亚热带植物学), 1998, 6(4): 315-322. (in Chinese)

- [8] Wu Y Q(吴彦琼), Li X D(黎向东), Hu Y J(胡玉佳). Reproductive biology of *Malania oelifera* [J]. Acta Sci Nat Univ Sunyantseni(中山大学学报: 自然科学版), 2004, 43(2): 81-83.(in Chinese)
- [9] Lai J Y(赖家业), Shi H M(石海明), Pan C L(潘春柳), et al. Pollination biology of rare and endangered plant *Malania oelifera* [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2008, 30(2): 59-64.(in Chinese)
- [10] Lai J Y(赖家业), Wen X F(文祥凤), Pan C L(潘春柳), et al. Anatomical characters of leaves of *Malania oelifera* from three distributions and their ecological adaptabilities [J]. J Guangxi Acad Sci(广西科学院学报), 2005, 21(3): 144-147.(in Chinese)
- [11] Pan X F(潘晓芳), Li X D(黎向东). Studies on the allelopathy of *Malania oelifera* [J]. Guihaia(广西植物), 2003, 23(3): 271-275.(in Chinese)
- [12] Zhang G F(张光飞), Su W H(苏文华), Lu S G(陆树刚). The photosynthetic characteristics in Leaves of *Malania oelifera* seedlings [J]. J Xinyang Norm Univ (Nat Sci)(信阳师范学院学报: 自然科学版), 2007, 20(1): 45-48.(in Chinese)
- [13] Ding J F(丁俊峰), Cao J H(曹建华), Lin J C(林建超), et al. Study on fruit germination inhibitors of rare and endangered plant *Malania oelifera* [J]. J Mudanjiang Teach Coll (Nat Sci)(牡丹江师范学院学报: 自然科学版), 2008, 63(2): 1-2.(in Chinese)
- [14] Lai J Y(赖家业), Lan J(兰婕), Cao Y(曹毅), et al. Tissue culture and regenerative system of *Malania oelifera* [J]. J Sichuan Univ (Nat Sci)(四川大学学报: 自然科学版), 2005, 42(4): 839-843.(in Chinese)
- [15] Liang Y F(梁月芳), Wu S G(吴曙光), Li X D(黎向东). Study on the endangered causes for *Malania oelifera* [J]. Guihaia(广西植物), 2003, 23(5): 404-407.(in Chinese)
- [16] Bian J H(卞金辉), Liu X M(刘雄民), Li W G(李伟光), et al. Synthesis of dimethyl 1,15-pentadecanedioate from *Malania oelifera* Oil [J]. Techn Dev Chem Indust(化工技术与开发), 2007, 36(1): 6-12.(in Chinese)
- [17] Liu X M(刘雄民), Li W G(李伟光), Li P Y(李飘英), et al. Extraction and chemical components of essential oils of *Malania oelifera* Chum [J]. Chin J Appl Chem(应用化学), 2007, 24(8): 968-970.(in Chinese)
- [18] Xu D Y(徐德应), Guo Q S(郭泉水), Yan H(阎洪), et al. Study on the Effect of Climate Change on Chinese Forest [M]. Beijing: Beijing Science & Technology Press, 1997: 35-74.(in Chinese)
- [19] Zhang F(张峰), Han S Q(韩书权), Shangguan T L(上官铁梁). Analysis on relationship between geographic distribution of *Elaeagnus noliks* and eco-environment factors in China [J]. J Shanxi Univ (Nat Sci)(山西大学学报: 自然科学版), 2001, 24(1): 86-88.(in Chinese)
- [20] Li F G(李发根), Xia N H(夏念和). The geographical distribution and cause of threat to *Glyptostrobus pensilis* (Taxodiaceae) [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2004, 12(1): 13-20.(in Chinese)
- [21] Su J R(苏建荣), Zhang Z J(张志钧), Deng J(邓疆), et al. Relationships between geographical distribution of *Taxus wallichiana* and climate in China [J]. For Res(林业科学研究), 2005, 18(5): 510-515.(in Chinese)
- [22] Zhang X S(张新时), Yang D A(杨莫安), Wen G(文革). The potential evapotranspiration (PE) index for vegetation and vegetation-climatic classification (III). An introduction of main methods and PEP program [J]. Acta Phytocoecol Geobot Sin(植物生态学与地理植物学报), 1993, 17(2): 97-109.(in Chinese)
- [23] Guangxi Weather Bureau(广西气象局). Each Counteis Meteorological Data of Guangxi [C]. Nanning: Guangxi Weather Bureau, 1980: 85-93.(in Chinese)
- [24] Yunnan Weather Bureau(云南省气象局). Agricultural Climate Data Set of Yunnan Province [C]. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1984: 62-66.(in Chinese)
- [25] Kira T. A New Classification of Climate in Eastern Asia as the Basis for Agricultural Geography Vol. 23 [C]. Kyoto: Horticultural Institute, Kyoto Univ., 1945: 13-17.
- [26] Kira T. Forest ecosystem of east and southeast Asia in global prospective [J]. Ecol Res, 1991, 6: 185-200.
- [27] Xu W D(徐文铎). Kira's temperature indices and their application in the study of vegetation [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 1985, 3: 35-39.(in Chinese)
- [28] Nott M P, Rogers E, Pimm D. Modern extinction in the kilo-death range [J]. Curr Biol, 1994, 9: 229-231.
- [29] Harrison S, Taylor A D. Empirical Evidence for metapopulation dynamics [M]// Meta-population Biology: Ecology, Genetics and Evolution. San Diego: Academic Press, 1997: 121-126.
- [30] Jiang Z G(蒋志刚), Ma K P(马克平), Han X G(韩兴国). Conservation Biology (Biodiversity Series) [M]. Hangzhou: Zhejiang Science & Technology Press, 1997: 36-42.(in Chinese)