

基于 HJ-1 CCD 数据的西双版纳地区橡胶林分布特征

李亚飞, 刘高焕*, 黄翀

中国科学院地理科学与资源研究所, 资源环境与信息系统国家重点实验室, 北京 100101

* 通信作者. E-mail: liugh@reis.ac.cn

收稿日期: 2011-05-30; 接受日期: 2011-08-02

国家自然科学基金(批准号: 40901223)和国家基础性工作专项(批准号: 2008FY110300)资助项目

摘要 文中以我国 HJ-1 卫星为主要遥感数据源, 结合野外采样数据, 采用决策树的监督分类方法, 获取云南省西双版纳地区 2011 年的橡胶林分布状况, 并在此基础上, 以覆盖该区域的数字高程模型 (DEM) 和气象数据为基础, 利用地理信息系统 (GIS) 空间分析方法, 着重量化分析西双版纳地区橡胶林分布的气候特征和地形特征, 得出西双版纳地区橡胶林的气候边界, 界定橡胶林分布的海拔、坡度以及坡向范围. 文中得到以下结论: 利用环境一号卫星遥感数据能够获得精确的分类信息, 表明环境一号卫星遥感影像能够作为获取植被环境信息的可靠数据源, 实现重点植被生态问题的动态监测; 橡胶林分布的高程上限是 2100 m, 80% 的橡胶林分布在高程范围为 600-1300 m 的范围内, 90% 的橡胶林分布在坡度为 0° 到 24° 的范围内, 橡胶林分布对坡向不敏感; 橡胶林适宜分布在平均气温大于 18°C, 平均最高气温大于 25°C, 平均最低气温大于 14°C 的区域, 这些区域的橡胶林分布比率较大. 研究还定量分析了西双版纳橡胶林空间分布的地形和气候幅度, 为橡胶林种植业的健康发展提供科学支撑.

关键词 环境一号卫星 橡胶林 决策树 西双版纳

1 引言

我国于 2008 年 9 月 6 日发射了第一颗专门用于环境与灾害监测预报的卫星, 全称为中国环境与灾害监测预报小卫星星座 (简称环境一号卫星或 HJ-1 星). 主要用于对生态环境和灾害进行大范围动态观测, 及时反映生态环境和灾害发生、发展过程, 对生态环境和灾害发展变化趋势进行预测, 对灾情进行快速评估^[1]. 目前成功发射的环境一号 A, B 星两星 CCD 相机协同工作可实现两天的重访周期. 由于时间分辨率高、宏观特征性好以及具有多尺度等特性, 该卫星在大范围环境和灾害监测与评价等方面具有广泛的应用前景^[2].

环境一号卫星对于我国大范围生态环境研究具有重要意义, 许多研究人员已经利用环境一号卫星数据在不同的生态环境领域进行了研究. 王中挺等^[3]提出了综合利用 HJ-1B 卫星 CCD(charge coupled device) 相机和红外相机数据进行雾监测的方法与流程, 成功的监测了我国南方地区雾的情况. 杨煜等^[4]通过星地同步实验, 分析巢湖水体光学特性, 基于地面实测数据和环境一号卫星高光谱数据建立

了三波段模型,用以反演巢湖水体叶绿素 a 浓度. 贺宝华等^[5]在 MODIS 火点探测第四版 (V4) 算法基础上,针对环境卫星红外相机提出了基于观测几何的遥感火点监测算法,通过 CCD 数据建立烟羽掩码对多景环境一号卫星火点监测的结果进行了验证,发现与 MODIS 火点产品相比,环境卫星在火点定位以及小面积火点识别方面具有优势. 徐祎凡等^[6]根据实测水面光谱信息以及水质参数,构建了基于环境一号卫星多光谱数据的富营养化评价模型,结果表明利用环境一号卫星 CCD 数据可以较为准确的评价内陆水体富营养化状态. 对于一个地区典型植物物种的监测也是生态环境研究的重要方面,但目前查找的文献中利用 HJ-1 卫星进行植物物种监测方面的研究较少,本文关注这方面的研究. 国内外基于其他遥感数据源的植被监测研究较多且方法成熟,不再赘述相关的研究进展.

橡胶林 (*hevea brasiliensis*) 是重要的经济树种和战略物资,随着近年来世界上对天然橡胶需求的增加,橡胶林种植更是得到了迅猛的发展^[7]. 云南西双版纳地区是我国天然橡胶的主产区之一,截至 2003 年天然橡胶的种植面积已占区域面积的 11.3%,与季雨林、次生林共同组成西双版纳地区重要的森林类型^[8],到 2008 年,西双版纳天然橡胶种植面积达到 $24 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[9],与之相对的是该地区热带季雨林面积的大量减少,如何处理橡胶林种植业发展与热带森林保护之间的矛盾已经成为迫切需要解决的问题. 这个问题的关键在于明确该区域橡胶林的分布现状和分布特征,以便制定合理的橡胶林种植业发展战略. 本研究利用 HJ-1 星数据对西双版纳地区的橡胶林分布进行监测,同时结合地形气候数据,分析橡胶林在该区域的分布特征,旨在为当地橡胶林种植业的健康发展提供科学的决策依据.

2 研究方法

研究分为两个部分:首先,利用环境一号卫星遥感数据和野外采集的样点数据,分析得到橡胶林的波谱特征,采用决策树分类的方法,得到西双版纳地区的橡胶林分布状况;其次,利用该区域的地形数据和气象数据,分析西双版纳地区橡胶林分布的地形特征和气候特征. 最后,结合前两部分的研究结果,提出西双版纳地区橡胶林种植业发展的区域策略.

2.1 研究区概况

西双版纳位于我国云南省西南部边缘,东经 $99^{\circ}56'$ — $101^{\circ}51'$,北纬 $21^{\circ}08'$ — $22^{\circ}36'$,面积 19125 km^2 . 南与老挝、缅甸接壤,西、北、东三面与滇西南山地相连,处于横断山系纵谷区最南端,地势北高南低,两侧高、中间低,地形以山地为主,平均海拔 570 m . 年平均气温为 21.5°C ,月均最高气温出现在 6 月份 (25.7°C),月均最低气温出现在 1 月份 (16°C). 年平均降水量约 1400 mm ,年日照时数总量为 1858.7 h . 全年可分为 3 个季节,雾凉季 (11 月—翌年 2 月)、干热季 (3 月—4 月) 和雨季 (5 月—10 月)^[10]. 许多地方适宜橡胶生长. 橡胶林为热带阔叶落叶林,具有显著的季相特征. 生长周期可分为相对休眠期和生长期. 相对休眠期自雾凉季落叶时起至干热季萌芽时止 (1 月—2 月,雾凉季后期);生长期自干热季萌芽时起至雾凉季落叶时止,该期又可根据橡胶树季相特征分为恢复生长期 (3 月—4 月,干热季)、旺盛生长期 (5 月—10 月,雨季) 和生长减缓期 (11 月—12 月,雾凉季前期). 在橡胶树的相对休眠期,橡胶树叶集中凋落,芽开始萌发,叶面积指数因集中落叶呈现全年最低水平^[11]. 这时的橡胶林与西双版纳热带雨林的外貌状况不同,反映在遥感影像上也显著不同,易于区分,因此本文选取 2 月、3 月份环境一号卫星影像来识别西双版纳地区的橡胶林.

2.2 数据来源及处理

本研究使用的数据分为以下几种: (1) 环境一号卫星遥感数据,来源于中国资源卫星应用中心网

站 (www.cresda.com), 两景覆盖西双版纳地区的多光谱影像, 采集时间为 2011 年 2 月 24 日和 2011 年 3 月 2 日, 分别来自于环境一号卫星 A 星和 B 星. HJ-1A 星 CCD 数据共有 4 个波段, 分为可见光蓝、绿、红和近红外波段, 空间分辨率为 30 m^[12]. HJ-1B 星搭载两个与 A 星相同的多光谱 CCD 相机. 根据橡胶树的生长周期, 可知这两个时间点基本上处于橡胶树生长的相对休眠期末期, 在环境星影像合成的标准假彩色图像上易于区分集中落叶的橡胶林和西双版纳的热带雨林和亚热带常绿阔叶林. 热带雨林在标准假彩色图像上表现为鲜艳的红色, 而橡胶林表现为暗绿色. (2) 地形数据 (DEM, digital elevation model) 和气候数据, 分别来自全球科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站 (<http://datamirror.csdb.cn>) 和中国气象科学数据共享网 (<http://cdc.cma.gov.cn/>). DEM 数据分辨率为 30 m. 气象数据主要包括从 1951 年到 2011 年逐月气温, 降水和日照等数据. (3) 最后, 还使用了野外采样数据, 该数据来自于 2010 年 10 月—11 月份的野外科学考察, 包括样点的经纬度、高程以及植被类型.

HJ-1 星多光谱遥感影像的预处理一般包括几何校正和大气校正. 采用已经进行几何精校正的 ETM 影像为参考图, 对获取的两幅 HJ-1 星多光谱影像进行几何校正; HJ-1 星的观测视场较大, 地表像元具有 BRDF 效应, 研究需要对其进行校正以便分类. 针对地表的 BRDF 效应, 利用 MODTRAN 进行大气校正 (核驱动模型). 把几何校正和大气校正得到的两幅该地区的影像进行镶嵌并同西双版纳地区的边界图叠加, 得到覆盖研究区的 HJ-1 星多光谱遥感影像.

利用 ArcGIS9.3 的空间分析模块, 由 DEM 数据生成坡度和坡向数据, 结合高程数据, 可全面分析西双版纳地区的地形特征. 利用气象数据整理得到该地区多年平均气温、降水和日照等数据. 从野外采样数据中整理得到植被类型为橡胶林的样点, 并提取样点的经纬度和高程, 与 HJ-1 多光谱影像相叠加提取样点在影像各个波段的 DN 值和 NDVI 值.

2.3 HJ-1 遥感影像决策树分类规则建立

研究采用基于先验知识的决策树分类方法提取橡胶林信息, 该方法相比传统的监督分类和非监督分类精度较高^[13]. 结合 2010 年 10 月—11 月份橡胶林采样点的 DN 值和 NDVI 值, 根据这些值的均值和范围确定分类阈值, 构建决策分类树. 由于本研究着重提取橡胶林的分布状况, 因此分类标准与传统的分类标准不同, 分为橡胶林、其他林 (包括热带雨林, 季雨林, 亚热带常绿阔叶林等)、建筑用地及裸地和水体. 具体构建的决策分类树如图 1 所示.

2.4 环境变量

影响一个区域橡胶林分布的环境因子有很多, 从大尺度上来看, 主要包括地带性的气候因子, 如气温、降水和日照时间等, 只有符合橡胶林生长生活特性的地带才能生长橡胶林, 从区域尺度上看, 主要有海拔、坡度和坡向等地形因子. 上述均为自然环境变量, 人类活动对橡胶林的分布也有重要的影响. 两者共同作用造成了西双版纳地区当前橡胶林分布的状况, 本研究主要考虑自然环境变量.

2.4.1 地形因子

根据西双版纳地区的 DEM 数据生成该地区的坡度图和坡向图. 海拔和坡度值是数值变量, 可以直接进行计算和比较, 具有可比性. 但坡向图只代表了坡面的朝向, 直接比较其数据没有意义, 同时坡向不同造成的太阳辐射能量的不同是坡向对植被分布影响主要原因, 因此, 对于橡胶林分布的坡向特征, 本研究采取转换后的坡向图 (trasp 图):

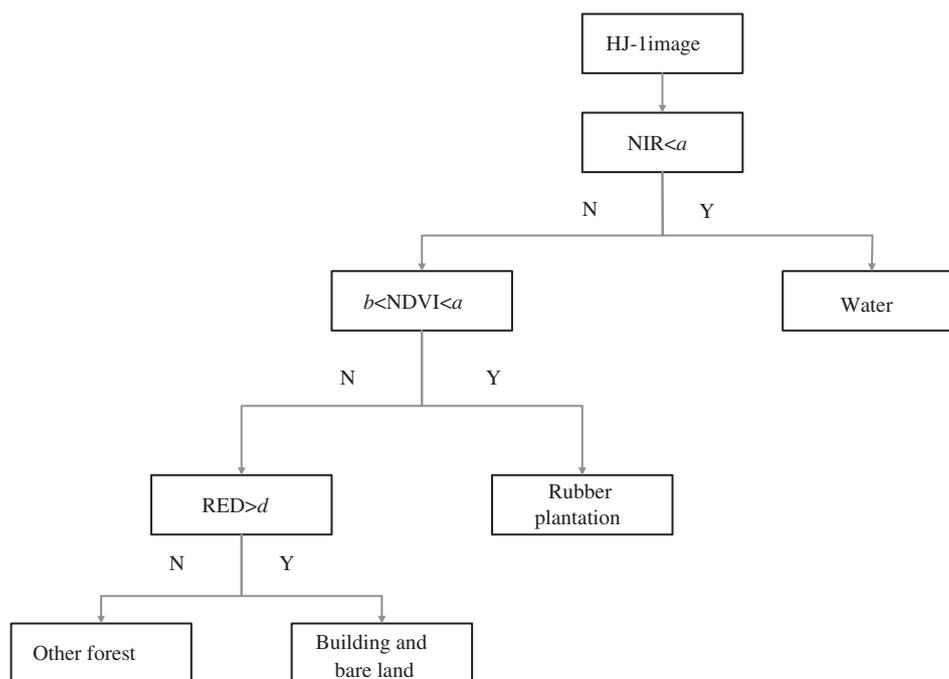


图 1 决策树分类规则图

Figure 1 The rule of decision tree classification

NIR represents near-infrared band, RED represents red band, NDVI represents the normalized difference vegetation index, a , b , c , d represent the thresholds developed from sample plots

$$\text{trasp} = \frac{1 - \cos((\pi/180)(\text{aspect} - 30))}{2}, \quad (1)$$

trasp: 值域为 $[0,1]$, 0 表示接受的太阳能最少, 1 表示接受的太阳能最大, aspect: 原始坡向图, 值域 $[0, 360]$ ^[14].

2.4.2 气候因子

由于研究区面积偏小, 区内的气象站点只有两个, 研究区外与研究区较为临近的站点有 3 个, 无法利用 ANUSPLINE 软件进行插值 (澳大利亚科学家 Hutchinson 基于薄盘样条理论编写了针对气候数据曲面拟合的专用软件). 本研究采取相关分析的方法来确定该区域气候因子与地理位置和海拔的关系. 如表 1 所示, 平均气温、平均最高气温与高程显著相关, 平均最低气温与纬度和高程显著相关, 平均相对湿度与经度显著相关, 平均风速与高程显著相关. 根据气候因子与地理位置和高程的相关关系, 建立气候因子与地理位置和高程的关系模型, 实现气候因子数据的空间化, 以便分析橡胶林分布的气候特征.

关系模型如下:

$$y = a + bH + cY + dX, \quad (2)$$

式中: a 为常数, b , c , d 为回归系数, H 为高程, Y 为纬度, X 为经度. 选取与气候因子相关性显著的地理位置或海拔建立关系模型. 通过交叉验证, 检验气候因子数据插值的精度, 统计气象站点预测值与实测值的相关系数可知, 均大于 0.9 (通过 0.001 的显著性检验), 证明插值的精度较高.

表 1 气候因子与地理位置和海拔的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between climate factors and geographical position, altitude

Correlation coefficient	Latitude	Longitude	Elevation
Annual average temperature	-0.86	-0.04	-0.98**
Annual average maximum temperature	-0.81	-0.25	-0.94*
Annual average minimum temperture	-0.92*	0.22	-0.98**
Annual average relative humidity	-0.52	0.94*	-0.33
Annual average precipitation	0.38	0.51	0.51
Annual average wind speed	0.70	0.26	0.91*
Annual average sunshine hours	0.54	-0.33	0.53

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

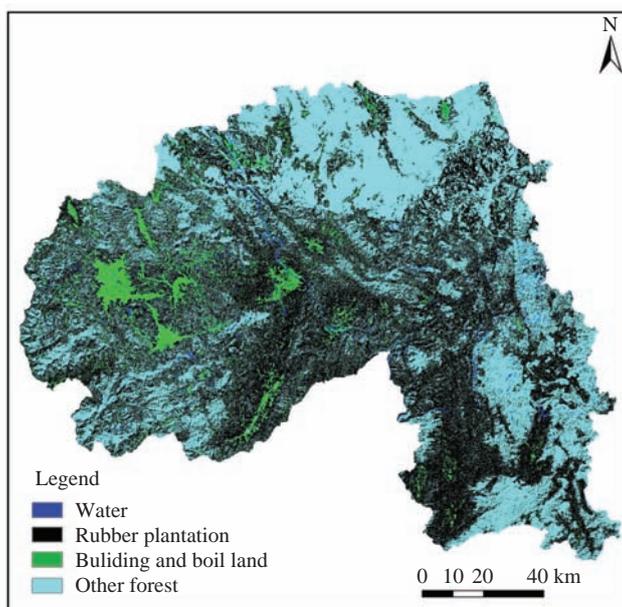


图 2 西双版纳地区橡胶林分布图

Figure 2 The distribution of *Hevea brasiliensis* in the Xishuangbanna area

3 结果分析

3.1 西双版纳地区橡胶林分布图

把上述研究方法中的分类规则导入 ENVI4.7 软件中, 通过其决策树分类模块实现该地区的分类, 分类结果如图 2 所示.

为了对分类图像进行精度检验, 随机在已分类的影像上产生 100 个样点, 记录样点的类型, 然后通过目视判读与 HJ-1 遥感影像的彩色合成影像比较进行精度检验. 统计得到影像的分类总体精度分别为 89.2%, 比其他分类方法精度高 (最大似然监督分类, 分类总体精度 80%), 可以用来分析西双版纳

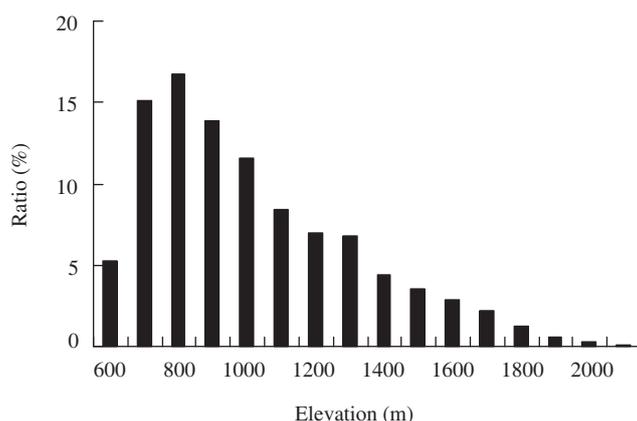


图 3 西双版纳地区橡胶林分布的高程比率与高程关系

Figure 3 Relationship between distribution frequency of *Hevea brasiliensis* and elevation on Xishuangbanna

地区橡胶林的分布状况. 由分布图可知, 西双版纳地区橡胶林分布较广, 遍及西双版纳地区, 特别是在靠近建筑用地及裸地的周围. 对分类结果进行统计可知, 2011 年橡胶林面积约为 815 万亩, 约占整个西双版纳地区面积的 28%. 根据中国科学院西双版纳热带植物园 2007 年发表的报告称, 2000 年以来, 西双版纳新造橡胶林达 300 万亩, 全州橡胶林面积从 1988 年的 116 万亩增加到 615 万亩. 从 2007 年到 2011 年, 橡胶园还在不断扩张, 按照 2000 年到 2007 年的逐年递增面积, 每年递增约 43 万亩, 到 2011 年, 橡胶林面积应为 787 万亩, 这与分类的结果较为接近, 可以从另外一个角度证明分类的精度较为准确.

3.2 西双版纳地区橡胶林分布的地形特征

将得到的地形因子数据 (高程、坡度和坡向) 与西双版纳地区橡胶林分布图相叠加, 提取西双版纳橡胶林分布的高程范围、坡度范围和坡向范围. 分别计算单位高程、坡度和坡向范围内的栅格数占橡胶林分布区总栅格数的比率, 进而分析西双版纳橡胶林分布的高程特征、坡度特征和坡向特征.

以 100 m 高程为一个单位统计橡胶林分布的栅格数占橡胶林分布的总栅格数的比率, 如图 3 所示, 在西双版纳地区, 橡胶分布的上限是 2100 m, 大部分分布在高程范围为 600–1800 m 的范围内, 600 m 以下和 1800 m 以上只有零星分布. 80% 的橡胶林分布在高程范围为 600–1300 m 的范围内, 其中分布的高值集中在 800 m 左右. 这与文献中介绍的橡胶林分布范围近似^[15], 表明研究结果的可信性. 本研究野外采集的橡胶林样点分布的海拔在 500–980 m 之间, 在橡胶林分布的高值区域. 观察图 3 可知, 西双版纳橡胶林与高程的关系为偏正态分布, 选择高斯模型进行模拟, 得出西双版纳橡胶林分布比率与高程的关系模型:

$$y = 1.63 + 13.19 \times \exp\left(-2 \times \left(\frac{x - 861.69}{499.01}\right)^2\right), \quad R^2 = 0.895, \quad (3)$$

式中: y 为西双版纳地区橡胶林分布频率, x 代表高程. R^2 为决定系数, 可以用来检验高斯模型的拟合效果, 越接近 1, 拟合的效果越好. 该模型 R^2 为 0.895, 拟合程度较好.

以 1° 坡度为一个单位统计橡胶林分布的栅格数占橡胶林分布的总栅格数的比率, 如图 4 所示, 在该地区, 橡胶林在不同的坡度级别分布比率不同, 坡度为 12° 地区橡胶林分布比率最大, 橡胶林分布

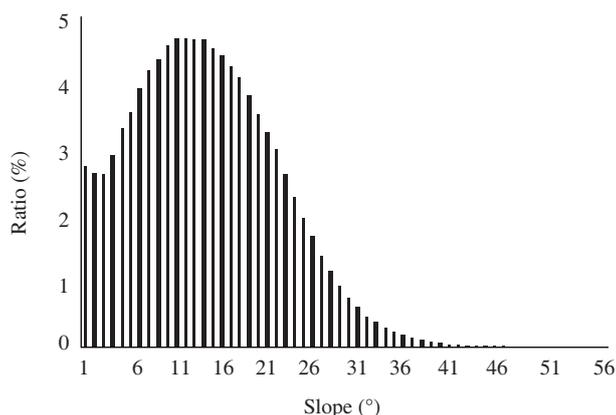


图 4 西双版纳地区橡胶林分布的坡度比率与坡度关系

Figure 4 Relationship between distribution frequency of *Hevea brasiliensis* and slope on Xishuangbanna

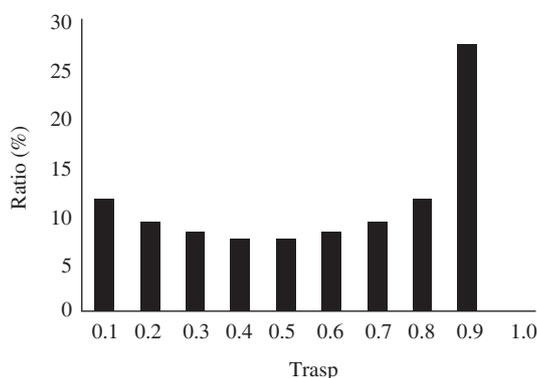


图 5 西双版纳地区橡胶林分布的 trasp 比率与 trasp 的关系

Figure 5 Relationship between distribution frequency of *Hevea brasiliensis* and trasp on Xishuangbanna

的高值集中在 7° – 19° , 90%的橡胶林分布在坡度为 0° – 24° 的范围内. 此范围外橡胶林分布稀少. 同样可建立橡胶林分布的比率与坡度的关系模型:

$$y = -0.012 + 47.38 \times \exp \left(-2 \times \left(\frac{x - 12.6}{18.83} \right)^2 \right), \quad R^2 = 0.99, \quad (4)$$

式中: y 为西双版纳地区橡胶林分布频率, x 代表坡度. 模型拟合效果极好. R^2 达 0.99.

同样以 0.1 为一个单位统计橡胶林分布的栅格数, 计算比率. 如图 5 所示, 近 1/3 的橡胶林分布在 trasp 为 0.9 的区域, 也就是分布在太阳辐射较强的区域, 但同时 trasp 为 0.1–0.8 的区域分布有大于 70%的橡胶林, 且没有明显的变化趋势, 这说明相对于高程和坡度, 坡向对橡胶林分布的影响有限, 橡胶林对坡向这个环境因子不敏感. 推测其原因可能是由于西双版纳地区位于低纬度地区, 太阳辐射对整个区域都较为强烈, 对橡胶林来说, 在各个坡向上, 都能够得到满足其生长所需的辐射能量. 但在 trasp 为 0.9 的区域分布了近 1/3 的橡胶林也说明, 橡胶林属于高大喜阳乔木, 在太阳辐射强的区域, 更利于橡胶林的生长.

3.3 西双版纳地区橡胶林分布的气候特征

查阅相关资料可知, 气温是影响橡胶树生长、发育和产胶及其地理分布的主要因子之一, 包括年平均气温、最低气温和最高气温. 年降水量 1500–2000 mm 的地方, 适宜橡胶林生长. 但在云南西双版纳地区, 虽然年降水量仅 1200 mm, 但集中分布在 5 月–10 月, 且雾日多 (165 天/年), 相对湿度大, 也能满足橡胶树对水分的需求. 年平均风速小于 2 m/s, 适宜橡胶树的生长. 结合上述气候因子空间化的结果, 本研究从年平均气温, 平均最高气温, 平均最低气温, 平均相对湿度和平均风速等方面分析西双版纳地区橡胶林分布的气候特征. 由于年平均降水量和日照时数与地理位置和高程均不显著相关, 在该区域无法实现空间化, 在这里不做讨论.

将由关系模型求得的覆盖西双版纳地区的年平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均相对湿度和平均风速图与橡胶林分布图叠加, 可以得到西双版纳地区橡胶林分布的气温、湿度和风速范围, 以一定单位统计橡胶林分布的栅格数占橡胶林分布的总栅格数的比率. 如图 6 所示, 在西双版纳地区, 橡胶林分布的气温特征为: 92% 的橡胶林分布在平均气温大于 18°C 的区域, 分布的高值集中在年平均气温 21°C、22°C 的区域, 占整个橡胶林面积的 50% 以上; 88% 的橡胶林分布在平均最低气温大于 14°C 的区域, 分布的高值集中在平均最低气温 16°C、17°C 的区域, 占整个橡胶林面积的 52%; 90% 的橡胶林分布在平均最高气温大于 25°C 的区域, 分布的高值集中在 28°C、29°C, 占该地区橡胶林面积的 49.6%. 由上述气温特征可知, 橡胶林适宜分布在气温较高的区域, 属于典型的热带植物. 湿度特征: 72% 的橡胶林分布在平均相对湿度为 79%–83% 的区域, 分布的高值集中在平均相对湿度为 80%–82% 的区域. 整体而言, 该地区整体湿度较大, 橡胶林分布在湿度上的分异不明显. 风速特征: 90% 的橡胶林分布在平均风速小于 1 m/s 的区域, 分布的高值集中在平均风速为 0.7 m/s、0.8 m/s 的区域, 约占整个橡胶林面积的 57%. 说明橡胶林适宜生长在风速较小的地区, 在风速大于 1 m/s 的区域, 橡胶林的分布显著减少.

上述橡胶林分布的气候特征与资料中介绍的橡胶林对环境的要求基本一致, 在空间上反映了西双版纳橡胶林在大区域上的气候分异特征, 为橡胶林资源的合理配置提供科学指导.

4 结论与讨论

环境一号卫星是我国专门用于环境与灾害监测预报的卫星, 其光谱分辨率和空间分辨率较高. 通过本研究发现, 采用决策树分类方法, 利用环境一号卫星和相关野外采样数据得到的分类结果, 西双版纳橡胶林的分类精度高达 89.2%. 证明环境一号卫星多光谱影像能够作为获取橡胶树分布信息的可靠数据源, 实现重点植被生态问题的动态监测.

西双版纳地区橡胶林分布的地形特征为: 橡胶林分布的高程上限是 2100 m, 80% 的橡胶林分布在高程范围为 600–1300 m 的范围内, 其中分布的高值集中在 800 m 左右; 坡度为 12° 地区橡胶林分布比率最大, 橡胶林分布的高值集中在 7°–19°, 90% 的橡胶林分布在坡度为 0°–24° 的范围内; 近 1/3 的橡胶林分布在 trasp 为 0.9 的区域, 但同时在 trasp 为 0.1–0.8 的区域分布着大于 70% 的橡胶林, 且没有明显的变化趋势, 表明橡胶林对坡向并不敏感. 其中, 坡度和高程的分布函数符合高斯分布, 拟合效果较好.

西双版纳橡胶林分布的气候特征为: 橡胶林适宜分布在气温条件较高的区域, 即平均气温大于 18°C, 平均最高气温大于 25°C, 平均最低气温大于 14°C 的区域. 橡胶林分布在湿度上的分异不明显; 适宜分布在平均风速小于 1 m/s 的区域.

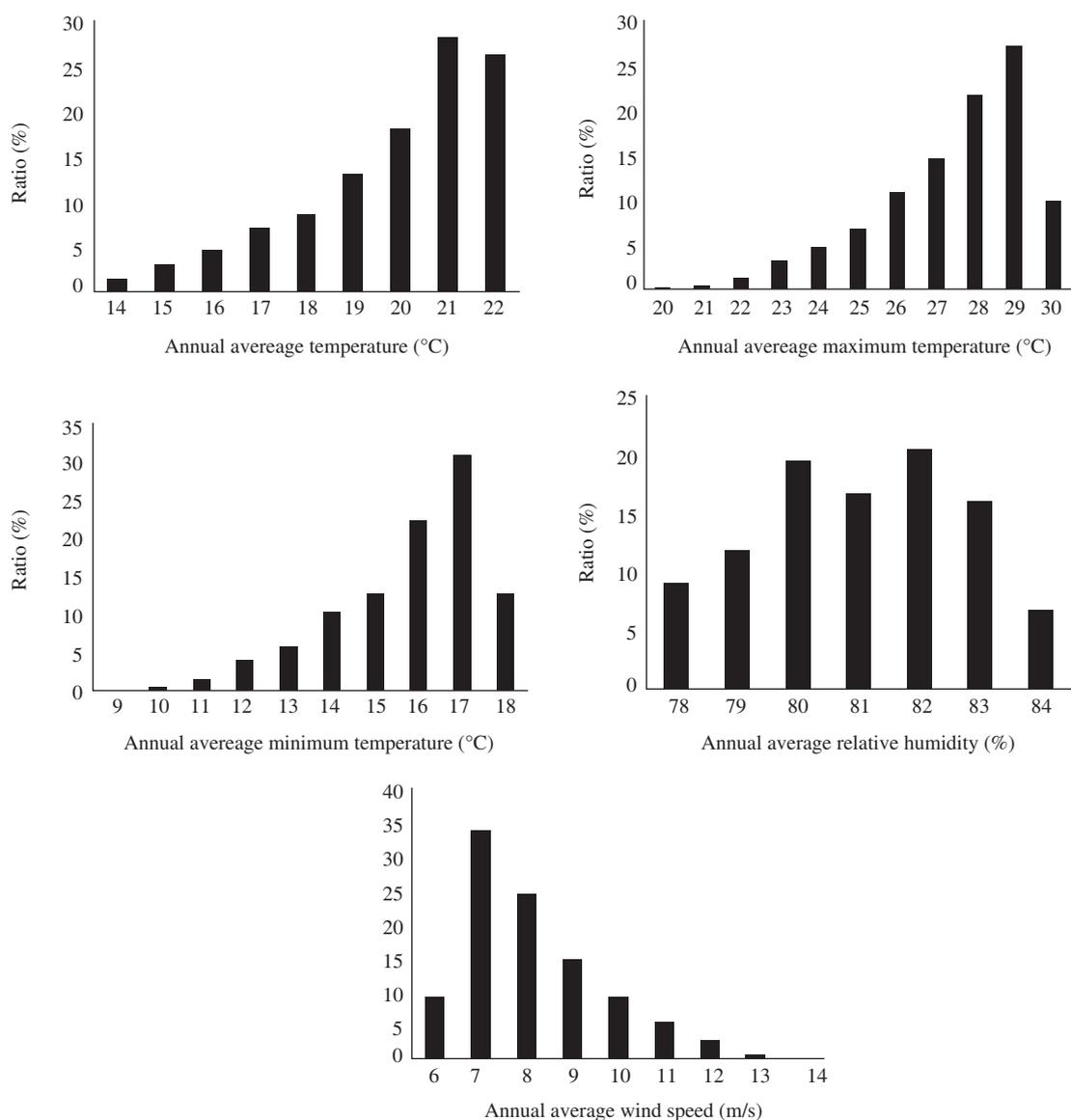


图 6 西双版纳地区橡胶林分布的气候因子比率与气候因子的关系

Figure 6 Relationship between distribution frequency of *Hevea brasiliensis* and climate factors on Xishuangbanna

根据上述研究结论, 可以提出西双版纳橡胶林种植业的发展策略, 即在自然保护区外的适宜橡胶林生长的气候和地形区域, 可以大力发展橡胶林种植业, 而在不适宜橡胶林生长的区域, 橡胶林产胶量小, 成本高, 应该逐渐取消橡胶林种植, 恢复自然植被, 保护生态环境.

根据本研究得到西双版纳地区橡胶林分布的气候和地形特征, 能够在空间大尺度上大概确定橡胶林潜在分布, 但该方法不具有普适性, 进一步的研究应该利用模型模拟橡胶林的潜在分布与已有的橡胶林分布进行比较.

致谢 感谢中国资源卫星应用中心提供的环境一号卫星数据.

参考文献

- 1 Wang Z T, Wang Z F, Li Q. Monitoring of PM₁₀ from HJ-1 CCD data (in Chinese). *China Environ Sci*, 2011, 31: 202–206
- 2 Sun Z P, Xiong W C, Wen B. Image quality evaluation of HJ-1 satellite CCD sensor (in Chinese). *Infrared*, 2010, 31: 30–36
- 3 Wang Z T, Li Q, Wang Q. Detection of fog using HJ-1 data (in Chinese). *Remote Sens Technol Appl*, 2010, 25: 318–322
- 4 Yang Y, Li X M, Wang Q. Retrieval of chlorophyll-a concentration by three-band model in Lake Chaohu (in Chinese). *J Lake Sci*, 2010, 22: 495–503
- 5 He B H, Chen L F, Tao J F. A contextual fire detection algorithm based on observation geometry for HJ-1B-IRS. *J Infrared Millim W* (in Chinese), 2011, 30: 104–114
- 6 Xu Y F, Li Y M, Wang Q. Eutrophication evaluation of three lakes and one reservoir using CCD images from the HJ-1 satellite (in Chinese). *Acta Scient Circ Sant*, 2011, 31: 81–93
- 7 Zhang H, Zhang G L, Zhao Y G. Chemical degradation of a Ferraloso(Oxisol) under intensive rubber(*Hevea brasiliensis*) farming in tropical China. *Soil Till Res*, 2007, 93: 109–116
- 8 Li H M, Aide T M, Ma Y X, et al. Demand for rubber is causing the loss of high diversity rain forest in SW China. *Biodivers Conserv*, 2007, 16: 1731–1745
- 9 Song Q H, Zhang Y P. Biomass, carbon sequestration and its potential of rubber plantations in Xishuangbanna (in Chinese). *Chinese J Ecol*, 2010, 29: 1887–1891
- 10 Li X L, Wang H, Zheng Z. Composition, spatial distribution and survival during the day season of tree seedlings in a tropical forest in Xishuangbanna, SW CHINA(in Chinese). *Chinese J Plant Ecol*, 2009, 33: 658–671
- 11 Zhou W J, Sha L Q, Shen S G. Seasonal change of soil respiration and its influence factors in rubber plantation in Xishuangbanna (in Chinese). *J Mount Sci*, 2008, 26: 317–325
- 12 Gao H L, Gu X F, Yu T. HJ-1A/HIS radiometric calibration and spectrum response function sensitivity analysis (in Chinese). *Spectrosc Spect Anal*, 2010, 30: 3149–3155
- 13 Li Y F, Liu G H, Hong C. Exploring landscapes based on decision tree classification in the Diqin region (in Chinese). *Resour Sci*, 2011, 33: 328–334
- 14 Leng W F, He H S, Bu R C. The spatial distribution of constructive species of Northeast forest under the climate (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2006, 26: 4258–4265
- 15 Chen L Z, Chen Q W, Liu W H. Diversity and Geographic Distribution of China's Forest. Beijing: Science press, 1997. 171–172

Analysis of distribution characteristics of *Hevea brasiliensis* in the Xishuangbanna area based on HJ-1 satellite data

LI YaFei, LIU GaoHuan* & HUANG Chong

Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Science, State Key Laboratory of Resource and Environmental Information System, Beijing 100101, China

*E-mail: liugh@reis.ac.cn

Abstract The distribution situation of the rubber tree *Hevea brasiliensis* in the Xishuangbanna area in 2011 was estimated using decision tree classification of HJ-1 satellite data and field sampling data. A quantitative evaluation of climatic characteristics and topography was conducted on this basis by spatial analysis in a geographic information system using digital elevation model and climatic data. The climate boundary of *Hevea brasiliensis* distribution as well as the range of altitude, slope and aspect tolerated by the species in the Xishuangbanna

area were determined. The results show that the classification information acquired from HJ-1 satellite data is accurate enough to allow the dynamic monitoring of key vegetation issues. Eighty percent of *Hevea brasiliensis* forest was found at an elevation of 600–1300 m, with a maximum of 2100 m. Ninety percent of forest was on slopes from 0–24 degrees. The species appeared not to be sensitive to aspect and to favor areas with an average annual temperature of 18°C– with a maximum temperature of 25°C, and minimum temperature of 14°C. The relationship between slope, elevation and distribution frequency of *Hevea brasiliensis* can be modeled by a Gauss function. Quantification of the climatic and topographic extent of forest distribution has a significant role in the management and restoration of damaged forest ecosystems.

Keywords HJ-1 satellites, *Hevea brasiliensis*, decision tree, Xishuangbanna