

老挝北部5省橡胶林提取及时空扩张研究

李阳阳, 张军*, 刘陈立, 杨旭超, 李杰

(云南大学资源环境与地球科学学院, 云南昆明 650504)

摘要: [目的] 分析老挝北部“金三角”地区橡胶林提取方法及橡胶林时空扩张特征, 为合理规划橡胶种植、区域生态环境保护等提供方法和依据。 [方法] 基于 MODIS 影像和橡胶林物候特征, 选取不同地类特征参数, 实现橡胶林空间分布快速可重复的决策树提取新方法, 并基于单一土地利用模型研究橡胶林扩张机制。 [结果] (1) 橡胶林提取时间窗口为 1 月至 3 月, 基于不同地类特征参数生成的橡胶成林、幼林决策树提取方法总精度为 80.67%, 高分一号影像通过面向对象方法验证 MODIS 影像提取结果精度可靠。 (2) 2010—2015 年, 老挝北部 5 省橡胶林由 12.6 万 hm^2 扩张到 16.96 万 hm^2 , 面积变化率最大的是乌多姆赛省, 丰沙里省扩张速度最慢。 [结论] MODIS 影像提取橡胶林方法和结果简单有效。橡胶林分布在海拔和坡度上呈现不断上升的趋势, 海拔 1 500 m 以上零星分布, 坡度上分布上限为 35° , 而坡向扩张无明显规律。从 LUCC 视角分析得到橡胶林时空扩张的主要影响因素是社会政策和经济因素。

关键词: 多源遥感; 老挝北部; 橡胶林; 时空扩张

中图分类号: S794.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)05-0709-09

Research on Extraction and Spatial-Temporal Expansion of Rubber Forest in Five Provinces of Northern Laos Based on Multi-source Remote Sensing

Li Yang-yang, ZHANG Jun, LIU Chen-li, YANG Xu-chao, LI Jie

(Department of Environment and Resource, Yunnan University, Kunming 650504, Yunnan, China)

Abstract: [Objective] The aim of this research is to analyze the extraction method of rubber forest in the “Golden Triangle” region of northern Laos, to monitor the rubber forest and its spatial expansion dynamically, and to provide methods and lay a basis for rational planning of rubber planting and regional ecological environment protection. [Method] A new method for rapid and repeatable extraction of rubber forest spatial distribution was used based on MODIS remote sensing data, the phenological characteristics and the geometric parameters of rubber forest, and the expansion mechanism of rubber forest was analyzed based on single land use rate model. [Result] (1) The rubber tree extraction ranged from January to March. The precision of extraction method based on phenological characteristics and geometric parameters was 80.67%. GF-1 images were classified by the object-oriented method to verify the MODIS data which proved to be reliable. (2) The area of rubber forest in five provinces of northern Laos was expanded from $12.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ to $16.96 \times 10^4 \text{ hm}^2$ between 2010 and 2015. The area of rubber forest changed the most in Oudomxay province, and the least in Phongsaly province. [Conclusion] The method to extract rubber forest by MODIS data is simple, valid and effective. The distribution of rubber forests increases with the elevation and slope and scatters over the elevation of 1500m, the upper limits of slope is 35° . While, no obvious rule about distribution on the aspect is found. The main factors influencing the spatial and temporal expansion of rubber forest are

收稿日期: 2017-04-15

基金项目: 云南省应用基础研究计划项目“中高分辨率遥感数据支持下的橡胶林地信息定量识别方法研究(2013FZ002)”

作者简介: 李阳阳(1990—), 女, 硕士, 主要研究方向为遥感与地理信息系统应用. E-mail: 978098813@qq.com

* 通讯作者: 张军(1972—), 男, 博士, 副研究员. E-mail: 50981534@qq.com

social policy and economics from the perspective of LUCC.

Keywords: Multi-source remote sensing; Laos; rubber forest; spatial and temporal expansion

天然橡胶是国防和经济发展不可或缺的战略物资^[1],在“金三角”贫穷国家发展替代罂粟的橡胶种植业^[2-4],也是我国促进边疆繁荣稳定的国家战略。地处广义“金三角”老挝北部5省(南塔省、丰沙里省、乌多姆塞省、波乔省和琅勃拉邦省)充足的水热条件为该区橡胶种植提供了良好的环境。随着橡胶林不断扩张,原生植被的破坏与不合理的橡胶种植将损害中老边境地区生物多样性与生态安全,因此,掌握橡胶林分布和时空扩张监测机制对橡胶林种植规划、橡胶产品的宏观调控和进出口贸易等都具有重要作用。

橡胶林提取早期多以中低分辨率遥感影像通过监督分类进行,分类精度可达80%左右^[5-7]。近年来,以中高分辨率遥感影像为主要数据源的面向对象方法逐渐成熟,Ekadinata等^[8]、刘少军等^[9]、刘晓娜等等^[10]用面向对象方法提取的橡胶林总精度在85%左右。决策树方法需要对比多时相数据分析橡胶林提取时间窗口,基于光谱特征和其他特征提高分类精度^[11],目前尚处于探索阶段。综合而言,目前难以形成高效、稳定、可靠的橡胶林提取算法,快速了解大尺度橡胶林分布面积及时空特征仍是瓶颈。面向对象方法适用高分辨率影像,在保证提取精度的前提下较难适用于大尺度范围,但可作为其他方法分类的验证;而基于物候特征、像元和光谱特征、纹理特征等的优化决策树分类方法受影像数据源限制较小,分类精度较高^[12],所以,在大尺度范围内具有更好的可操作性和普适性。研究基于MODIS影像,根据老挝北部橡胶林物候特征构建橡胶林的空间分布遥感提取算法,进行橡胶林时空扩张监测研究。掌握老挝北部五省橡胶种植状况,为老挝北部国土资源开发、生态环境监测、橡胶产业可持续发展及社会经济发展提供参考。

1 研究区概况

老挝北部5省位于 $19^{\circ}\sim 22^{\circ}30'N$, $100^{\circ}\sim 103^{\circ}30'E$,总面积638.41万 hm^2 (图1)。处于亚洲大陆和南太平洋群岛之间的陆桥区域,是中南半岛唯一的内陆国家,主要地貌类型为山地和高原。全年平均气温约 $14^{\circ}C$,旱季为11月到次年4月,雨季为每年的5月至10月,平均年降水量为1250~3750

mm。适宜的气候与地理位置使之成为老挝的橡胶宜植区。

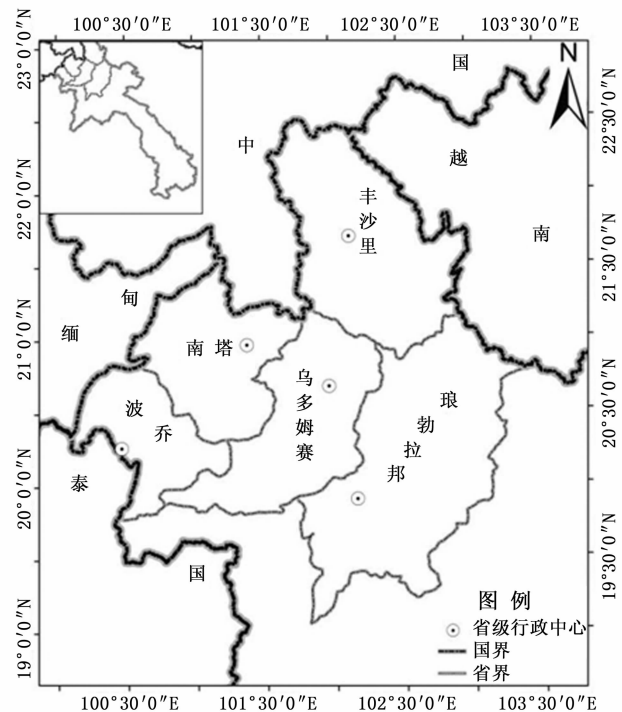


图1 研究区位置示意图

Fig. 1 Location of study area

2 材料与方法

2.1 数据源及预处理

遥感数据包括8天合成的2015全年和2010年1至3月的MODIS地表反射率产品MOD09A1、MOD09Q1,用于决策树橡胶林提取方法的构建;2015年3月2日的高分一号宽幅(GF-1 WFV)、2016年1月16日高分率(GF-1 PMS)影像用来验证MODIS影像的提取效果;谷歌高清影像辅助决策地类样本的选择。此外,还包括来源于地理空间数据云的DEM和2次野外调查数据。

研究区涉及到MODIS影像图幅分别为h27v06, h27v07,采用MRT软件基于命令行批处理实现影像拼接裁剪和投影转换。GF-1 WFV、GF-1 PMS影像景序列号分别为961759,2001118,利用野外调查控制点进行正射校正,并在大气校正后融合GF-1 PMS影像生成2m多光谱遥感影像。

2.2 研究方法

2.2.1 橡胶林提取方法 老挝北部热带季风气候使得区域内形成丰富的植被覆盖地类。本研究在国际生物圈地圈计划(IGBP)分类体系基础上,结合研究区实际情况,将植被覆盖地类分为橡胶林地、有林地、灌木林地、旱地、水田,其中橡胶林地根据不同林龄的光谱差异,分为橡胶幼林(<6 a)和橡胶成林(≥6 a)。研究借助野外调查数据和谷歌高清影像建立5个省各地类的遥感解译标志,共300个样本。不同植被覆盖地类特征参数的选择是构建决策树的关键,研究区橡胶林独特的落叶现象易于在特定时间区别其他地类,因此,研究基于物候特征、归一化指数、主成分分析、纹理信息、原始光谱特征等采用决策树分类方法,建立老挝北部5省橡胶幼林、橡胶成林决策树提取模型。不同植被覆盖地类具体光谱差异及橡胶林提取将在下述研究中阐述。

2.2.2 橡胶林时空扩张分析方法 研究在2010年、2015年橡胶林空间分布叠加基础上,监测老挝北部5省橡胶林面积时空扩张过程、扩张的地形因子变化特点和研究区橡胶林扩张的驱动因素。橡胶林面积扩张分析采用单一土地利用类型相对变化率模型^[13],该模型可定量表达一类土地利用类型数量变化在不同区域间的差异性。表达式如下:

$$R = \frac{|K_b - K_a| \times C_a}{K_a \times |C_b - C_a|} \times 100 \quad (1)$$

式中: K_a 和 K_b 分别表示某一区域内部某种土地利用类型在研究初期和末期的总面积, C_a 和 C_b 分别表示整个研究区该土地利用类型在研究初期和末期的总面积。研究结合地形因素的3个主要因子(海拔、坡度、坡向)构建2010年到2015年橡胶林时空动态变化分析模型,基于该模型掌握5年间老挝北部5省地区橡胶林时空变化特征,并从土地利用/土地覆被变化(LUCC)角度探索橡胶林时空变化驱动机制。

3 结果与分析

3.1 NDVI 时间序列曲线

归一化植被指数(NDVI)可间接反映植被在不同季节、生育期的不同生理特征,多时相NDVI时间序列曲线能够表现植被在不同生长时期的差异性,以及同一时期不同植被在曲线上的区别,即植被的物候特征。研究通过IDL语言批处理生成6个地类样本的MODIS-NDVI时间序列,并基于时间序列谐

波分析法(Hants)对时间序列曲线平滑去噪(图2)。

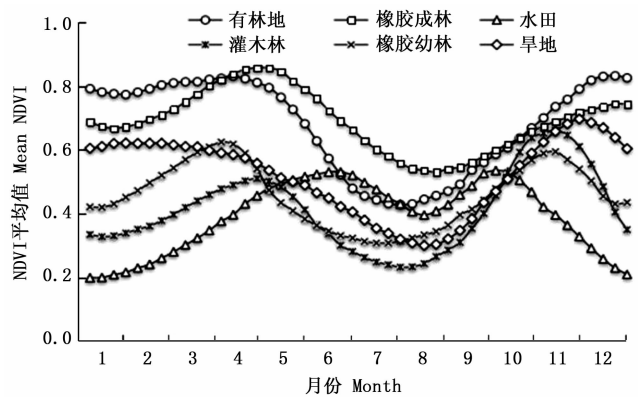


图2 不同植被覆盖地类 NDVI 时间序列 Hants 滤波曲线
Fig.2 Time series NDVI curves of different vegetation coverage land types by Hants

6类植被NDVI总体值在8月进入低谷,结合研究区8月份降水值可知:老挝北部8月份以来频频遭受洪涝灾害,使得大气引起的NDVI值总体偏低,目前各种滤波方法对NDVI时间序列的单个大气噪点平滑效果较好^[14],而对多期数据出现的大气噪点普遍效果不理想^[15]。依据该区水田生长的时间特点,Hants滤波曲线除8月份外都客观反映了区域植被生长随时间变化的特点。滤波后的NDVI时间序列结果显示:水田和旱地NDVI时间序列曲线除去8月份的低谷噪点后为单峰单谷,水田NDVI曲线也表现为5、6月份上升,10月份后迅速下降,与实地调查中北部5省水田5月份种植,10月份收割的实际状况一致。有林地和橡胶成林的曲线最为接近,有林地NDVI值从11月至次年3月高于橡胶成林且为区域内NDVI值最大的植被地类,而在4月下旬至9月下旬的雨季间,其一直低于橡胶成林,表明水分条件是影响橡胶林生长的重要因子。橡胶幼林和灌木林地的NDVI曲线趋势非常相近,且有部分重叠,但在1月上旬至4月上旬,二者的NDVI值差异明显。综合橡胶林的落叶物候特征,12月至1月下旬橡胶林NDVI下降至最低后在2月上旬开始增长至4月上旬,表明此间橡胶林正经历着落叶及生长期,其NDVI值与其他植被区分明显。橡胶林物候特征和NDVI曲线地类差异表明:1月到3月是橡胶林提取的时间窗口。基于此,本研究经过对比选择8d合成的MODIS-NDVI时间序列的第5、6、7、8、9、10波段数据,即DOY33(DOY表示年积日,从当前1月1日开始计天数,即DOY33表示第33天。)、DOY41、DOY49、DOY57、DOY65、DOY73六期影像平

均值,并通过六期影像相对应的 MOD09A1、MOD09Q1 第 5、6、7、8、9、10 波段的数据计算其他指数平均值,分类中同时采用其他季节的影像辅助识别以提高分类精度。

3.2 橡胶林提取决策树模型构建

研究在橡胶林提取的最佳时间窗口基础上采用所有植被类 NDVI 值大于 0.35 的特点,以 0.35 作为阈值提取了 2015 年植被区。将对裸地信息敏感 NDBI 作为高、低密度植被覆盖区的区分标准,图 3 表明:有林地和橡胶成林的 NDBI 指数小于 0,灌木林地、橡胶幼林、旱地和水田 NDBI 指数均大于 0,即 NDBI 值大于 0 即为低密度覆盖植被,小于 0 为高密度覆盖植被。

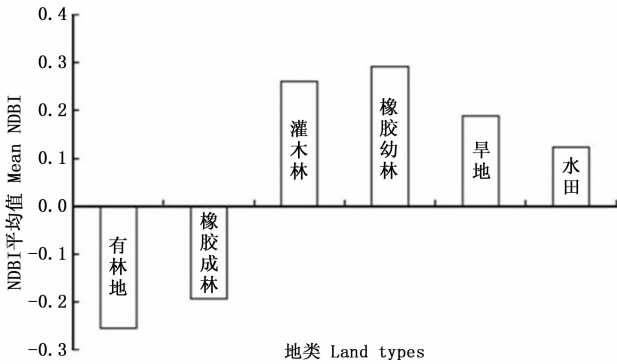


图3 不同地类归一化建筑指数(NPBI)

Fig. 3 NDBI of different land types

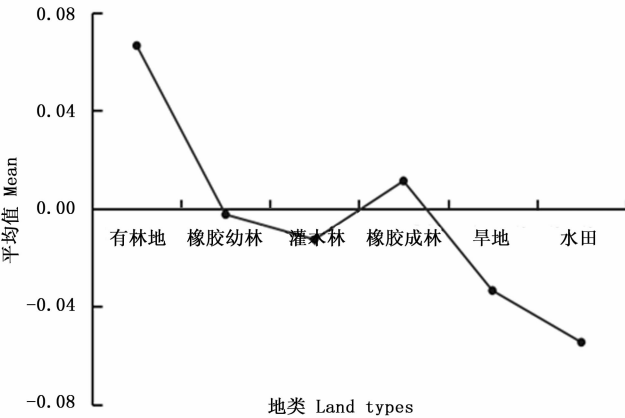


图4 不同地类在第一主成分上的特征

Fig. 4 PCA1 of different land types

主成分分析(PCA)是多光谱数据的压缩和去噪工具^[16]。6类植被第一主成分分量(PCA1)值(图4)表明:橡胶成林、有林地 PCA1 值大于 0,其余地类均小于 0,且有林地在 PCA1 上的值远大于 0.04,因此,PCA1 既可以用来辅助分离高密度和

低密度覆盖植被,同时也是区分橡胶成林与有林地的有效方法。

纹理特征是影像信息提取的重要方法之一。4种主要的纹理特征中,角二阶矩反映了图像灰度分布的均匀程度和纹理的粗细度,熵是与角二阶矩相关的一个测度值,对比度对于检测图像边缘特征和图像反差具有良好的效果,同质性可度量图像纹理的局部变化大小^[17]。影像 4 种纹理特征(图 5)对比发现,有林地熵值和对比度值皆最小;不同低密度植被在角二阶矩和同质性上的特征相近,表明其在图像灰度分布上均匀度一致;对比度和熵上的变化特征明显,尤其是对比度值大于 1 时,水田分离效果最好。

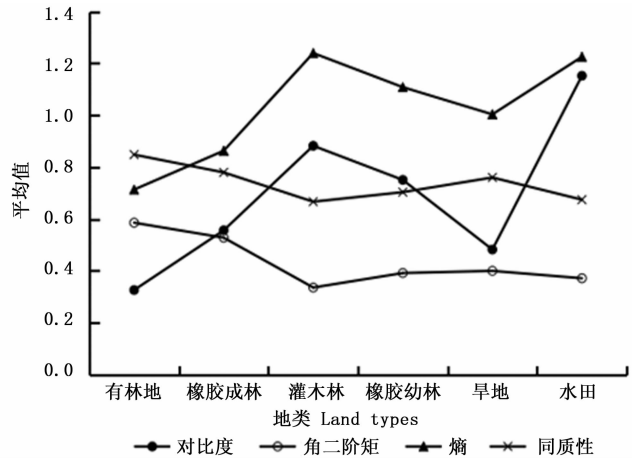


图5 不同地类的纹理特征

Fig. 5 Texture features of different land types

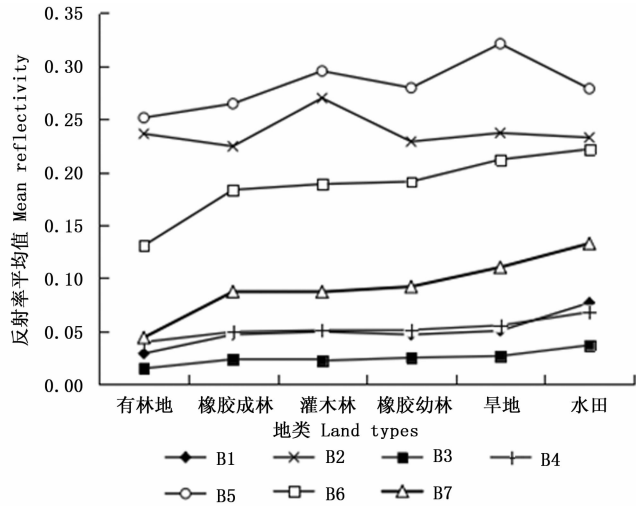


图6 不同地类的原始光谱

Fig. 6 Original spectral characteristics of different land types

植被原始光谱(图6)中第 1、3、4、7 波段上各地类平均光谱值较为接近,而第 2 波段(B2)上灌木林

平均反射率最高且大于0.25,旱地在第5波段(B5)上的平均反射率最大且大于0.3,因此,第2波段和第5波段可作为唯一区分旱地和灌木林的光谱特征。基于上述研究中逐层提取的橡胶成林和橡胶幼林,研究最终基于橡胶林落叶期的关键物候特征得到老挝北部橡胶成林、橡胶幼林决策树提取方法(图7)。

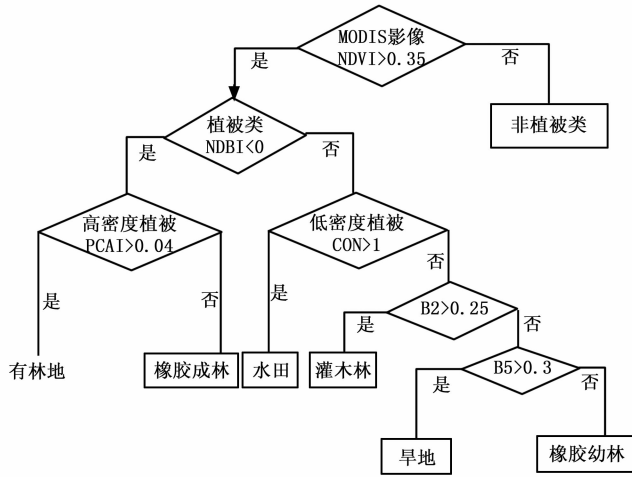


图7 基于MODIS影像的决策树分类模型

Fig.7 Decision tree classification model based on MODIS

3.3 精度验证

3.3.1 混淆矩阵验证 采用2次野外调查得到的实地橡胶林点分布数据,结合最新 Google earth 高清影像获取不同地类样本(ROI)。根据 ROI 生成的混淆矩阵评价老挝北部5省 MODIS 影像橡胶林分类总精度达到80.67%,Kappa 系数为0.8,橡胶成林和橡胶幼林分类总精度分别达86%和78%(表1)。

表1 分类精度评价

Table 1 Classification accuracy evaluation

地类	参考样本数	分类数	正确分类数	生产者精度/%	用户精度/%
有林地	50	54	45	90	83.33
橡胶成林	50	49	43	86	87.86
灌木林	50	56	38	76	67.86
橡胶幼林	50	50	39	78	78.00
旱地	50	44	35	70	79.55
水田	50	47	42	84	89.36
总计	300	300	242	总精度 = 80.67%, Kappa = 0.8053	

3.3.2 高分一号影像验证 进而通过 GF-1 WFV 影像采用面向对象方法提取老挝北部南塔省橡胶林,在影像分割尺度80的基础上,以 NDVI、RVI、DEM 和纹理特征建立隶属度函数进行模糊分类,提取老挝北部南塔省橡胶林,提取结果采用混淆矩阵

验证得到的总精度达88.76%,kappa 系数为0.84,橡胶成林的分类精度91.65%,橡胶幼林为81.28%。选取若干像元用 GF-1 WFV 影像对 MODIS 影像提取的2015年南塔省橡胶林分布进行对比验证,结果表明:基于MODIS数据的橡胶林空间分布提取精度为GF-1 WFV 影像的91%,同时,利用GF-1 PMS 影像通过面向对象和人机交互的解译方法提取南塔市周边橡胶林,作为GF-1 WFV 影像验证结果的补充,混淆矩阵计算的总体精度为96.76%,kappa 系数为0.93。研究在GF-1 PMS 高精度的分类提取基础上,分别从像元和总面积2个角度验证了MODIS 影像提取橡胶林的精度:(1)当GF-1 PMS 影像上确定为橡胶林分布的区域时,在对应的MODIS 影像上随机抽取若干像元验证基于MODIS 影像的橡胶林空间分布提取精度为82.49%。(2)GF-1 PMS 影像覆盖范围内橡胶林分布面积为1.37万hm²,对应范围内的MODIS 提取橡胶林面积为1.63万hm²,GF-1 PMS 影像提取的橡胶林面积为MODIS 影像的83.95%。像元和面积2个角度的验证结果均与混淆矩阵和基于GF-1 WFV 影像验证结果近似,因此,对于大面积橡胶林提取,MODIS 影像可以在保证时效性的同时保证提取精度。基于验证的橡胶林提取算法,研究分别提取了2010年和2015年的橡胶林空间分布(图8)。

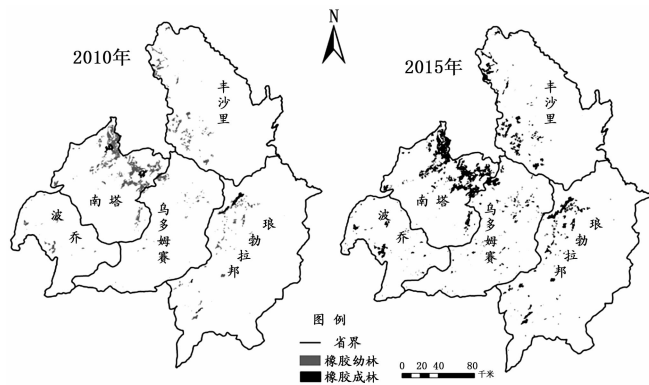


图8 基于MODIS影像提取的老挝北部5省橡胶林分布示意图
Fig.8 Distribution of rubber plantations in the five provinces of northern Laos based on MODIS

3.4 橡胶林时空扩张分析

3.4.1 面积扩张分析 研究区橡胶林主要分布于老挝北部南塔省、丰沙里省西部和琅勃拉邦省北部,同时在波乔省和乌多姆赛省西部有较小范围的零星散落分布。2015年橡胶成林面积和橡胶幼林面积分别为14.17、2.79万hm²。2010年橡胶林成林、橡

胶幼林面积分别为 1.47、11.13 万 hm^2 。5 年间橡胶成林面积增加了 4.36 万 hm^2 (图 9), 其中, 橡胶成林面积从 2010 年的 1.47 万 hm^2 增加到 2015 年的 14.17 万 hm^2 , 而橡胶幼林面积大幅减少了 8.34 hm^2 , 这表明老挝北部 5 省 2010 年的橡胶幼林在 2015 年大多转化为橡胶成林, 而这 5 年间橡胶幼林面积新增较少表明橡胶种植热度减退。

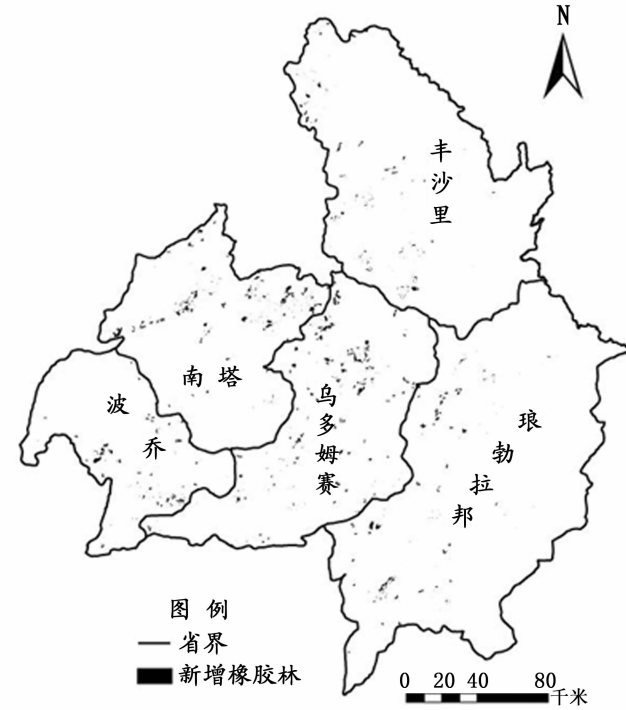


图 9 2010—2015 年新增种植橡胶林分布示意图

Fig. 9 Newly distributed rubber forest between 2010 and 2015

根据单一土地利用类型相对变化率模型得到老挝北部 5 省 2010 到 2015 年期间 5 省橡胶林土地利用的相对变化率 (图 10)。5 年间橡胶林土地利用在数量方面的区域差异性非常明显, 丰沙里省扩张速度最慢, 相对变化率只有 58.88%; 乌多姆赛省橡胶种植面积扩张速度最快, 相对变化率达到 328.85%, 其次是波乔省, 这说明乌多姆赛和波乔成为橡胶种植发展的新区域; 南塔省和琅勃拉邦省橡胶林相对

变化率分别为 70.16% 和 74.30%, 表明 2 省橡胶林持续缓慢增长。

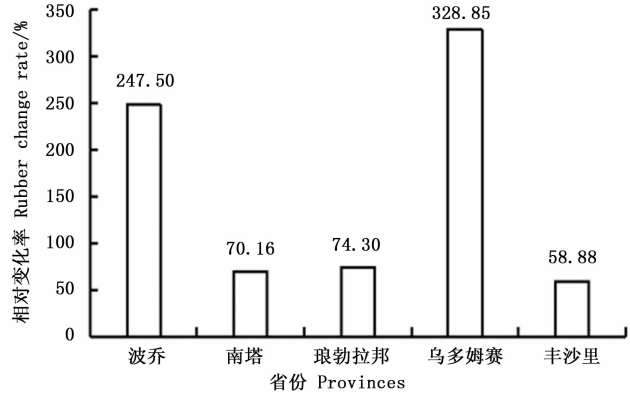


图 10 2010—2015 年橡胶林地利用相对变化率

Fig. 10 Rubber forest land use relative change rate between 2010 and 2015

3.4.2 地形扩张分析 地形分析中原始坡向图只代表坡面的朝向, 值域为 $[0, 360]$ [18], 而由于坡向不同所造成的太阳辐射能量不同是影响橡胶林分布的主要原因, 因此, 研究对坡向转换后生成 $Trasp$ 图 [19], $Trasp$ 计算公式如下:

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

式(2)中: $Trasp$ 值域为 $[0, 1]$, 0 表示接收到的太阳辐射能最少, 1 表示接收的太阳辐射能最大, $aspect$ 为原始坡向图。

研究将 2010 年和 2015 年橡胶林分布图分别与海拔、坡度和 $Trasp$ 图叠加, 提取老挝北部 5 省橡胶林扩张的地形特征。海拔以 300 m 为单位, $Trasp$ 值以 0.1 为单位, 坡度依据《水土保持综合治理规划通则 GB-T15772-1995》坡度分级体系划分为 6 级 [20], 分别为微坡 ($0 \sim 5^\circ$)、较缓坡 ($5 \sim 8^\circ$)、缓坡 ($8 \sim 15^\circ$)、较陡坡 ($15 \sim 25^\circ$)、陡坡 ($25 \sim 35^\circ$) 和急陡坡 ($> 35^\circ$)。统计单位海拔、坡度、转后的坡向范围内的栅格数占橡胶林分布区总栅格数的比例 (表 2~4), 分析研究区 2010 年和 2015 年橡胶林分布的地形扩张特征。

表 2 2010—2015 年橡胶林在不同海拔梯度上的空间分布比例

Table 2 The spatial distribution of rubber forests at different altitudes between 2010 and 2015

%

年份 year	海拔 Altitude/m					
	0 ~ 300	300 ~ 600	600 ~ 900	900 ~ 1200	1200 ~ 1500	1500 ~ 2000
2010	0.00	20.09	59.63	16.62	2.79	0.87
2015	0.00	16.07	50.48	26.19	6.24	1.02

老挝北部5省橡胶林大多分布在海拔500~1 200 m范围内,1 500 m以上只有零星分布,2010年在此梯度分布的橡胶林占研究区橡胶林总面积的96%,2015年降为93%。2010年和2015年橡胶林均集中分布于海拔600~900 m;600~1 200 m范围是橡胶林分布的主要区间。2010年到2015年的分布变化表明,1 200 m海拔以上分布比例增加,600~900 m橡胶林分布没有明显变化,但在900~1 200 m范围橡胶林面积不断增加,分布特征在海拔上总体呈现出不断升高的趋势。

2010年到2015年间,橡胶林分布的主要坡度均在5°~25°范围内。大于35°的急陡坡和0~5°的微坡范围内少有分布。5年间橡胶林扩张的主要坡度在15°以上,2015年橡胶林面积在该坡度区间大

表4 2010—2015年橡胶林在不同 Trasp 上的空间分布比例

Table 4 The spatial distribution of rubber forests at different Trasp between 2010 and 2015 %

年份 year	Trasp									
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
2010	9.13	8.81	7.27	6.74	6.39	6.41	6.85	8.53	19.18	20.69
2015	9.50	8.80	7.42	6.94	6.62	6.74	7.02	10.63	16.18	20.15

研究区橡胶林在上 Trasp 图主要集中在值为0.8到1.0的范围,即分布在太阳辐射的高值区,同时有大于50%的橡胶林分布在值为0.1~0.7的区间。2010年到2015年,橡胶林在各 Trasp 值上大多呈现增加趋势,但在 Trasp 值为0.9和1.0时2015年橡胶林分布比例下降,结合其在海拔、坡度上的变化,5年间橡胶林的扩张受到地域因素限制,坡向造成的太阳辐射强度在较高海拔地区被削弱。

3.4.3 扩张驱动因素分析 2015年橡胶成林源于2010年橡胶幼林,2015年橡胶幼林面积大幅减少表明2010年后老挝北部5省橡胶林定植面积很少。橡胶林在面积和地形上的扩张特征显示其生长的立地条件不断变化。橡胶林扩张变化是LUCC的一部分,自然环境和人类活动的干扰^[21]是LUCC变化的驱动因素,其中,人类活动是LUCC变化的主要驱动因素,核心是土地利用政策和管理主体的变化^[22],总结老挝北部5省橡胶林面积变化的核心包括社会政策和社会经济两方面。

(1)为从源头上根除老挝北部地区罂粟对中国及国际社会的威胁,中国政府积极在老挝北部地区发展“罂粟替代种植”,在经济利益和工业发展的驱动下,橡胶林从传统种植区不断向高纬度地区扩展,因此,2005年之后,老挝北部橡胶种植势如破竹;但

表3 2010—2015年橡胶林在不同坡度区间上的空间分布比例

Table 3 The spatial distribution of rubber forests at different slope between 2010 and 2015 %

年份 year	坡度 Slope/(°)					
	0~5	5~8	8~15	15~25	25~35	>35
2010	13.58	13.59	34.89	32.21	5.45	0.28
2015	10.47	11.13	32.47	37.37	8.04	0.52

幅增加,导致15°以下区域橡胶林面积分布比例相比2010年下降,表明橡胶林在15°坡度以上的分布逐年上升,而在15°以下区域基本保持原有水平,橡胶林在坡度上的扩张总体呈现种植区域坡度不断上升的趋势,但35°是橡胶林分布的上限坡度。

琅勃拉邦省、南塔省分别于2008年2月和11月宣布暂停审批橡胶种植项目,老挝政府首先认为橡胶规模种植所带来的经济和社会效益并不明显,需要认真评价橡胶种植的经济、社会效益;其次由于2008年2月份橡胶价格降幅超过30%,政府担心橡胶开割期依然低迷的橡胶市场,鼓励当地种植见效快的农作物;再者,老挝国家土地署表明,老挝劳动力严重不足,前期的橡胶种植对经济、社会、环境影响没有做充分的可研,由此老挝北部南塔省和琅勃拉邦省2015年橡胶幼林面积非常少。此外,2012年老挝政府暂停全国橡胶、桉树种植、矿产开采的土地许可,导致2012年之后老挝北部5省橡胶幼林少有增加,2015年橡胶幼林面积相比2010年大幅减少。

(2)根据天然橡胶生产国组织发布的数据得到2009年至2016年平均天然标准橡胶价格(图11)。从2009年开始,天然标准橡胶价格经过2年多的持续上升到2011年3月突破历史最高纪录,达到每吨32 000元·t⁻¹,涨幅高达158%,此时部分胶农受价格利益驱动有少量橡胶定植,而后天然橡胶价格一路大幅跌落,老挝北部橡胶种植不再快速蔓延。因此,基于社会政策和社会经济因素,老挝北部5省2015年橡胶幼林面积仅有2.79万hm²,占2015年橡胶林总面积的16.46%。

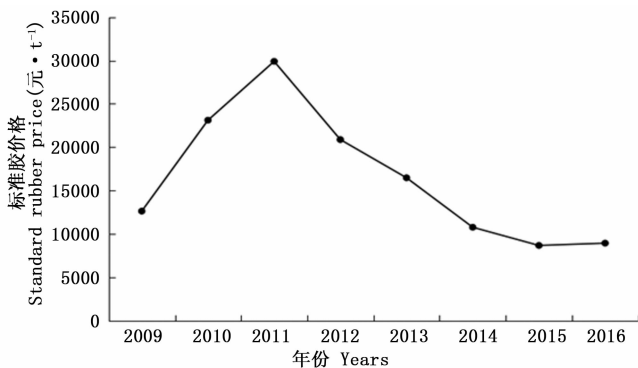


图 11 2009 至 2016 年间标准胶价格

Fig. 11 Standard rubber price between 2009 and 2016

4 讨论

精度在遥感信息提取中是重要的描述参数。研究采用 250 m 分辨率结合 500 m 分辨率的 MODIS 遥感影像提取橡胶林,精度达到 80.67%,在同类影像中相对较高;而老挝北部统计数据显示,2010 年和 2015 年橡胶林面积分别为 10.61、14.68 万 hm^2 ,较研究提取的 2010 年和 2015 年橡胶林面积 12.6、16.96 万 hm^2 相比偏小,可能原因有两方面:一是 MODIS 影像属低分辨率遥感影像,一个像元的大小为 250 m \times 250 m 或 500 m \times 500 m,因此,提取过程中容易将橡胶林林间路、林间地和较小的山体沟壑部分都误分成橡胶林;二是统计数据存在欠缺状况,政府部门的统计数据大多为大规模橡胶园,农民零散种植的面积较小加之上报数据存在偏差,导致往往存在漏统现象,因此研究中提取的橡胶林面积偏大。

研究从面积和地形两方面提取了老挝北部 5 省橡胶林空间分布及时空变化特征。下一步的研究将考虑更多影响橡胶林空间分布的自然因子,如地貌因素中的土壤因子,气候因素中的温度、降水、湿度因子等,从而分析橡胶林空间分布的多自然因子变化特征,进而定量分析自然因子对橡胶林空间分布的影响,得到橡胶林空间分布驱动模型。

随着高分辨率遥感影像的易获取性,橡胶林空间分布提取在决策树分类模型基础上,可融入专家知识,非遥感决策函数等建立更高精度区域性普适性的遥感橡胶林提取模型,提高橡胶林分类精度,以满足橡胶林分布区土地资源管理和环境保护的需要。

5 结论

研究采用遥感数据结合橡胶林物候特征实现了橡胶林空间分布快速可重复提取的新方法,并基于社会和经济数据建立了橡胶林时空扩张模型。在此基础上,探索了橡胶林时空扩张特征及其驱动机制。

(1) 1 月至 3 月是橡胶林提取的时间窗口,结合 NDVI、NDBI、PCA 影像的纹理特征和原始光谱值等构建的橡胶林提取决策树算法分类总精度较高,达到 80.67%, Kappa 系数为 0.8。

(2) 基于高分一号 GF-1WV 和 GF-1PMS 影像对 MODIS 影像提取的 2015 年南塔省橡胶林分布从像元和面积 2 个角度进行验证,验证结果在 80.67% 左右浮动,不同验证方法充分表明对大面积橡胶林提取 MODIS 数据可以在保证时效性的同时兼顾精度。

(3) 2010 年到 2015 年橡胶林时空扩张特点表明,老挝北部 5 省橡胶林空间分布在海拔和坡度上总体呈现不断升高的趋势,海拔 1 500 m 以上只有零星分布,坡度分布上限为 35°,坡向上分布无明显规律。从土地利用变化角度分析得到,老挝北部 5 省的社会政策和经济因素是影响橡胶林时空扩张的主要驱动因素。

参考文献:

- [1] 柯佑鹏, 过建春, 张赛丽. 世界天然橡胶经济研究[M]. 北京: 经济科学出版社, 2010.
- [2] 姚元园. 东南亚天然橡胶产业研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2014.
- [3] 刘洪江, 兰恒星, 张军, 等. 老挝北部罂粟替代种植高分辨率遥感调查评价与分析[J]. 资源科学, 2010, 32(7): 1425 - 1432.
- [4] 董加相, 岩坎糯. 西双版纳对老挝罂粟替代种植面临的机遇与挑战[J]. 时代金融, 2007(1): 126 - 127.
- [5] 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[J]. Biodiversity and Conservation, 2007, 16(6): 1731 - 1745.
- [6] 陈汇林, 陈小敏, 陈珍丽, 等. 基于 MODIS 遥感数据提取海南橡胶信息初步研究[J]. 热带作物学报, 2010, 31(7): 1181 - 1185.
- [7] 张京红, 陶忠良, 陈少军, 等. 基于 TM 影像的海南岛橡胶种植面积信息提取[J]. 热带作物学报, 2010, 31(4): 661 - 665.
- [8] Ekadinata A, Widayati A, Vincent G. Rubber agroforest identification using object-based classification in Bungo District, Jambi, Indonesia. Proceedings of the 25th Asian Conference on Remote Sensing [C]. Chiang Mai, Thailand: ACRS, 2004: 551 - 556.
- [9] 刘少军, 张京红, 何政伟, 等. 基于面向对象的橡胶分布面积估算研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(1): 168 - 170.

- [10] 刘晓娜,封志明,姜鲁光,等. 西双版纳橡胶林地的遥感识别与数字制图[J]. 资源科学, 2012, 34(9): 1769-1780.
- [11] 李亚飞,刘高焕,黄 翀. 基于HJ-1 CCD数据的西双版纳地区橡胶林分布特征[J]. 中国科学: 信息科学, 2011, 41(增刊): 166-176.
- [12] 任 冲,鞠洪波,张怀清,等. 天水市近30年林地动态变化遥感监测研究[J]. 林业科学研究, 2017, 30(1): 25-33.
- [13] 王 越,宋 戈,王盼盼. 松嫩高平原土地利用类型变化特征及时空格局研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(4): 61-66.
- [14] 王 丹,姜小光,唐伶俐,等. 利用时间序列傅立叶分析重构无云NDVI图像[J]. 国土资源遥感, 2005, 17(2): 29-32.
- [15] 侯光雷,张洪岩,王野乔,等. 基于时间序列谐波分析的东北地区耕地资源提取[J]. 自然资源学报, 2010, 25(9): 1607-1617.
- [16] Zhao G, Maclean A L. A Comparison of Canonical Discriminant Analysis and Principal Component Analysis for Spectral Transformation[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2000, 66(7): 841-847.
- [17] 李智峰,朱谷昌,董泰锋. 基于灰度共生矩阵的图像纹理特征地物分类应用[J]. 地质与勘探, 2011, 47(3): 456-461.
- [18] Leng W F, He H S, Bu R C. The spatial distribution of constructive species of Northeast forest under the climate changing[J]. Acta Ecol Sin, 2006, 26(12): 4258-4265.
- [19] Xu Y J, Chen Y N, Li W H, *et al.* Distribution pattern of plant species diversity in the mountainous region of I li River Valley, Xinjiang[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2010, 177(4), 681-694.
- [20] GB/T 16453.2-2008. 中华人民共和国国家标准. 水土保持综合治理[S].
- [21] Sun L, Wei J, Duan D H, *et al.* Impact of Land-Use and Land-Cover Change on urban air quality in representative cities of China [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2016, 142: 43-54.
- [22] 方广玲,吴 斌,张宇清,等. 盐池县土地利用/覆被变化的人文因素分析[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(1): 74-81.

(责任编辑:张 玲)