

DOI: 10.5846/stxb201904030645

周岩,刘世梁,谢苗苗,孙永秀,安毅.人类活动干扰下区域植被动态变化——以西双版纳为例.生态学报,2021,41(2):565-574.

Zhou Y, Liu S L, Xie M M, Sun Y X, An Y. Dynamics of regional vegetation changes under the disturbance of human activities: A case study of Xishuangbanna. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(2):565-574.

人类活动干扰下区域植被动态变化 ——以西双版纳为例

周 岩^{1,3}, 刘世梁^{2,*}, 谢苗苗¹, 孙永秀², 安 毅²

1 中国地质大学北京土地科学技术学院, 北京 100083

2 北京师范大学环境学院, 北京 100875

3 济宁市规划设计研究院, 济宁 272000

摘要: 云南省西双版纳地区是我国典型热带雨林区, 随着社会经济发展, 人类活动对区域植被格局与动态产生强烈影响。利用 NDVI 变化趋势分析、土地利用转移矩阵和基于 MODIS 数据的干扰指数 (MGDI) 3 种方法, 分析了 2000—2010 年人类活动干扰下研究区植被动态变化, 构建了人类活动干扰指数, 并利用冗余分析的方法, 分析其与植被特征的相关性。结果表明: 通过 NDVI 变化趋势得出, 2000—2010 年间, 研究区植被覆盖度总体较高, 植被变化趋势的斜率均大于 0, 说明植被总体趋于改善; 基于土地利用转移矩阵结果表明, 植被变化主要发生在常绿阔叶林、常绿针叶林转变为乔木园地、灌木园地、人工园地或居住用地; 基于 MODIS 影像结果得出, 西双版纳地区 MGDI 分布很不均匀, 且 2000—2010 不同土地覆被类型 MGDI 相差不大。构建的人类活动干扰指数结果显示人类干扰强度由中心向边缘呈递增趋势, 呈分散分布, 这与人类活动的分布规模和强度相关。通过冗余分析可知, NDVI 与人类活动相关性较大, MGDI 与人类活动相关性不大。总体上来说, 上述 3 种方法能够从不同侧面反映出人类活动干扰下植被长时间的变化趋势。因此, 对于西双版纳地区, 局地的人类活动特别是旅游、基础设施建设、农业活动等对热带雨林自然生态系统的干扰不容忽视。

关键词: 人类活动; 干扰; 植被; 热带雨林; 西双版纳

Dynamics of regional vegetation changes under the disturbance of human activities: A case study of Xishuangbanna

ZHOU Yan^{1,3}, LIU Shiliang^{2,*}, XIE Miaomiao¹, SUN Yongxiu², AN Yi²

1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences Beijing, Beijing 100083, China

2 School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Jining Planning Design & Research Institute, Jining 272000, China

Abstract: Xishuangbanna in Yunnan province is a typical tropical rainforest area in China. With the socio-economic development, human activities have exerted strong impacts on pattern and dynamics of regional vegetation. By analyzing the trend of NDVI, the transfer matrix of land use and disturbance index (MGDI) based on MODIS data, we examined the dynamics of regional vegetation under human disturbance from 2000 to 2010 in this paper. We developed the disturbance index of human activities and found its correlations with vegetation characteristics via the Redundancy analysis. The results showed that the coverage of vegetation in the study area was generally high, and the SLOPE values of the trend of vegetation change were all greater than 0, and the vegetation tended to improve in general during period of 2000—2010. The transfer matrix of land use indicated that the main vegetation dynamics were the changes of evergreen broad-leaved forest and evergreen coniferous forest into plantation shrub, artificial garden or residential land. Based on the MODIS images, it can be

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41571173); 国家重点研发计划项目 (2016YFC0502103)

收稿日期: 2019-04-03; **网络出版日期:** 2020-11-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiliangliu@bnu.edu.cn

seen that the MGDI distribution in Xishuangbanna was very uneven, and the MGDI of different land covers from 2000 to 2010 showed little difference. From the disturbance index of human activity, it can be seen that the disturbance intensity of human activity is higher at the edge than in the center, and the overall distribution was decentralized. The dynamics were related to the distribution scale and intensity of human activities. According to redundancy analysis, NDVI was highly correlated with human activities, while MGDI was not. In general, the long-term vegetation change under human disturbances could be reflected by using three methods used in this study. Through the construction of disturbance index of human activity, we can identify the spatial distribution of disturbance. Human activities especially tourism, infrastructure construction, agricultural activities and other disturbances cannot be ignored for the natural ecosystem of tropical rainforest in Xishuangbanna region.

Key Words: human activities; disturbance; vegetation; tropical rain forest; Xishuangbanna

人类活动对生态系统的干扰一直是地理学、生态学和自然资源学等多学科的重点研究内容^[1]。不同方式或不同强度的人类活动导致的区域生态系统变化不同,其影响程度也有很大的差异。植被是受人类活动影响较大的自然因子,农田耕作、森林砍伐、植树造林等强烈的人类干扰可在短时间内促使区域植被格局发生改变^[2],导致区域植被发生退化。人类活动对植被覆盖变化具有双重影响:一方面,城市规模扩张、基础设施建设和矿山开采等活动会使植被遭到破坏;另一方面,退耕还林还草、生态林建设等植被恢复工程对增加植被覆盖又有一定的积极作用^[3]。因此,揭示人类活动干扰对植被的影响对于区域生态可持续性管理具有重要意义。其中,如何对人类活动强度进行定量化和空间化,并分析其对植被动态的影响又是人类活动研究的重点和难点^[4-6]。

目前,人类活动强度评价的研究主要从压力和状态两方面开展,包括从人类活动压力角度基于权重的多指标叠加体系对人类活动强度进行评估,和从状态变化角度进行包括土地利用变化、生态系统服务变化或多因子状态变化等方面的人类活动评价^[7]。土地利用转移矩阵可以较好地表征土地利用类型的转换状态,而遥感数据具有时空分辨率高、覆盖面积大、获取便捷的特点^[8]。基于遥感影像的归一化差值植被指数^[9-10]与基于中分辨率成像光谱仪 MODIS 传感器的大尺度干扰指数 MODIS 全球干扰指数 MODIS Global Disturbance Index(MGDI)^[11]已被证明可以监测大尺度生态系统干扰。另外,通过人口、耕地面积、开采井数量、粮食产量、河道过水量和水渠引水量等构建人类活动强度指标也是对人类活动进行定量分析的常用手段^[12]。例如,王筠等选取了土地利用类型、与居民地的距离、与耕地的距离、与道路的距离、归一化植被指数、坡度、坡向和与水源地的距离共 8 个因子,对栖息地的生境质量进行评价^[13]。吴思佳等选取人口密度、建设用地, GDP 等指标,运用地理探测器探究人为因素对闽三角城市群植被覆盖度的影响^[14]。人类活动对植被影响的定量分析方法主要包括回归模型法和主成分分析法、降水利用效率法、残差趋势法以及 HANPP (Human Appropriation of Net Primary Productivity) 模型等方法^[9]。先前已有研究多侧重于植被状态研究,未从状态与过程多角度分析人类活动对热带雨林动态变化的影响。

热带雨林生态系统具有较高的生物多样性保护价值,同时也是人类活动干扰的敏感地区。西双版纳是目前我国保存面积最大、最完整的热带雨林地区^[10]。由于人口压力以及粗放的耕作方式,西双版纳土地利用/土地覆被变化表现为天然林破坏严重、次生林或灌木林地增加、经济种植园不断扩张等典型的热带地区特征。特别是进入 20 世纪 90 年代后,天然橡胶价格不断上涨及人类活动干扰强度日趋剧烈,西双版纳土地利用/土地覆被景观类型与格局均发生显著的变化^[15]。

目前人类活动对西双版纳植被干扰的研究主要两方面展开:一方面是基于地面调查的植被分类研究^[16-18];另一方面是基于遥感数据的植被时空动态变化研究,包括西双版纳地区森林的林龄结构、空间扩展模式、NDVI 空间自相关分布模式及时空变化特征等^[19-21],揭示森林时空格局变化规律,为探讨区域土地利用变化及其生态环境效应提供科学基础。然而,上述研究主要采用单一化的方法分析西双版纳植被动态变化特征,缺乏多角度多方法的综合性对比研究。因此,本研究针对以上问题,采用 NDVI 时序分析、土地利用转移

矩阵和 MGD I 指数三种方法定量化评价人类活动影响下云南西双版纳地区植被的动态变化特征,进一步探讨研究区植被变化趋势及其驱动机制,为开展该地区的生态系统管理提供科学依据,具有重要的理论和现实意义。

1 研究区域概况与数据来源

西双版纳傣族自治州位于云南省最南端,地处 $21^{\circ}08'—22^{\circ}36'N, 99^{\circ}55'—101^{\circ}50'E$ 之间,土地面积近 2 万 km^2 。西双版纳属北回归线以南的热带湿润区,气候为热带季雨林气候。年平均气温在 $18—22^{\circ}C$ 之间,长夏无冬。西双版纳年降水量为 $1193.7—2491.5\text{ mm}$,降雨时空分配不均,有明显的干湿季之分^[16]。西双版纳地带性植被为季节性雨林,森林面积达 1169058.45 hm^2 ,森林为 59.26% ,林产品十分丰富^[22]。独特的地理位置和气候条件使得西双版纳境内植被覆盖度高,植物种类丰富,是目前我国保存面积最大、最完整的热带雨林地区^[10]。区域内的热带雨林和橡胶林是该地区最典型的两种森林类型,自 20 世纪 50 年代橡胶树引进该地区开始,热带雨林面积逐年递减,橡胶林面积则扩展迅速,种植的海拔上限已达 1200 m 左右,原始林出现严重破碎状现象^[23]。随着经济的发展,人口的增加,基础设施的建设,旅游业的繁荣,城镇化的加剧,人类干扰对西双版纳地区原始生态环境的干扰越来越剧烈,再加上农业活动的增强,尤其对原始植被的影响越来越大。

本研究主要基于遥感影像、气象数据、土地利用数据和社会经济数据(表 1)。

表 1 数据来源情况
Table 1 The sources of data

数据 Data	数据来源 The sources of data	数据解释 The interpretation of data
归一化植被指数 NDVI	美国宇航局(NASA)植被指数产品数据 MOD13Q1,空间分辨率 250m,每 16d 合成,经过几何和大气校正,选取 2000 年,2005 年,2010 年的遥感影像为研究对象,该数据利用 ArcGIS 中自带工具 Cell Statistics 实现多个栅格图层最大值法合成。	归一化差值植被指数(NDVI)是植物生长状态和植被空间分布的指示因子,与植被分布密度呈线性相关,值的大小代表植被覆盖度的大小。
树木覆盖度 Tree cover	Global Land Cover Facility (www.landcover.org)	每个栅格的属性值代表树覆盖的百分比。
基于 MODIS 的全球干扰指数 MGDI	http://www.ntsg.umd.edu/	基于 MODIS 变化趋势,反应植被受到干扰的程度,包括自然干扰与人类活动干扰。
人口数据 Population	中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn/)	西双版纳 2000,2010 年人口数据
道路、村庄、河网等要素 Road, village, river network and other factors	地理国情监测云平台	2000—2010 年多年平均数据
气象数据 Meteorological data	中国国家气象局官方网站	温度,降水
土地利用/土地覆被数据 Land use/landcover	中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn)	土地覆盖是指自然营造物和人工建筑物所覆盖的地表诸要素的综合体。土地覆被类型分为 15 类:草丛,湖泊,水库/坑塘,河流,水田,旱地,居住地,交通用地,裸土,常绿阔叶林,常绿针叶林,乔木园地,灌木园地,乔木绿地。
国内生产总值 GDP	中国科学院资源环境科学数据中心 (http://www.resdc.cn/)	多年平均国内生产总值
高程 DEM	地理国情监测云平台	地面高程

2 研究方法

2.1 植被动态分析

2.1.1 NDVI 变化趋势分析

采用一元线性回归分析的方法来分析 NDVI 的年际变化趋势,NDVI 的年际变化趋势以各栅格多年数值

回归方程的斜率表示,其计算公式为:

$$\text{SLOPE} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \times M_{\text{NDVI},i}) - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n M_{\text{NDVI},i}}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中, n 为 10, 变量 i 为年序号, $M_{\text{NDVI},i}$ 表示第 i 年的最大 NDVI 值, 变化趋势图则反映了 10 年的时间序列中该地区的 NDVI 的变化趋势。某像元的趋势线是这个像元多年的平均 NDVI 值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势。SLOPE 即这条趋势线的斜率, 其中, SLOPE > 0 则说明 NDVI 在 10 年间的变化呈现增加趋势, 反之则是减少。

2.1.2 土地利用转移矩阵

从状态变化的角度, 利用土地利用转移矩阵, 分析土地利用转移状态的变化。根据土地利用变化对于植被覆盖变化的影响主要源于土地转移过程中短时限的人为干扰和转移完成后较长时限的用地功能变化, 其中, 用地功能变化往往表现为群落物种组成、生物生产能力、生态系统类型等多方面的综合变化, 并且在较大尺度上表现出明显的时空分异特征^[24]。故利用 ArcGIS 10.2 软件将土地利用图与 NDVI 进行叠加, 利用分区统计, 统计出每种土地利用类型中 NDVI 变化情况。

2.1.3 全球干扰指数

基于 MODIS 的全球干扰指数方法是使用基于 MODIS 遥感影像的陆地表面温度 (LST)^[25] 与基于 MODIS 遥感影像的增强型植被指数 (EVI)^[26] 来表征大尺度常规干扰。该算法依据基于 MODIS 的大尺度全球干扰指数 MGDI 利用随着干扰的增强 EVI 与地表温度有一个相反的变化趋势^[27-28], 以便能更好的识别干扰的位置与强度。具体来说, 随着一个主要干扰的发生, 因为植被的减少增强型植被指数将减少; 相反, 地表温度将增加是因为更多被吸收的太阳辐射将转化成敏感的热能, 因此, 随着植被密度的减少蒸发量将减少。具体公式如下:

$$DI_i = \frac{\text{LST}_{i,\text{max}} / \text{EVI}_{i,\text{max}}}{\sum_{i=1}^n (\text{LST}_{i,\text{max}} / \text{EVI}_{i,\text{max}})} \quad (2)$$

式中, DI_i 是干扰指数的值 对于第 i 年, $\text{LST}_{i,\text{max}}$ 是对于 i 年年平均最大 8d 连续地表温度, $\text{EVI}_{i,\text{max}}$ 是对于第 i 年年最大 16 天 EVI, LST_{max} 是年度 LST 的上限并不包括第 $i-1$ 年, 并且 EVI_{max} 是多年平均的最大 EVI 但是不包括第 $i-1$ 年。将 MGDI 分布图与土地利用/覆被类型图做叠加, 分析不同植被类型受到的干扰剧烈程度。

2.2 人类活动及其对植被影响定量化评价方法

基于研究区实际状况, 选取对西双版纳地区植被影响较大的人类活动干扰指标, 即人口密度, GDP, 距道路距离, 距城镇距离, 距村庄距离, 构建人类活动干扰指数。然后, 在 ArcGIS10.2 中对人类活动干扰各指标栅格数据进行处理: 在 ArcGIS 10.2 Spatial Analyst 模块中 Distance 模块上 Euclidean Distance 得到距道路距离, 距城镇距离, 距村庄距离; 利用 Density 模块中的 Kernel Density 得到村庄密度, 河网密度; 并生成不同栅格图层。由于不同的人类活动干扰指标具有不同的量纲, 因此需对每个指标图层进行标准归一化处理, 再利用熵权法进行对不同图层进行权重的确定, 然后根据权重结果叠加得到最终的人类干扰指数。在地理信息系统中运用自然断点法进行分级, 将人类干扰指数值通过聚类分析分为 5 级, 第 1 等级到第 5 等级表示干扰强度从小到大, 并绘制人类活动干扰强度等级空间分布图。

在 CANOCO 5.0 中分别对 1, 5, 10km 尺度下, 对植被特征 (NDVI, MGDI 和 NDVI-SLOPE) 与人类活动干扰因素进行冗余分析, 分析人类活动对植被的影响。进一步在 SPSS 20.0 中, 运用逐步回归的方法, 将 NDVI-SLOPE 作为因变量 Y , 人类活动各指标作为自变量 X_i , 建立模型。分析西双版纳地区人类活动干扰因子与植被覆盖度及变化趋势之间的相关性, 相关系数的值越大, 说明人类活动干扰因子与植被变化之间的相关性越高; 反之越低。

3 结果分析

3.1 NDVI 时空分布

从图 1 可以看出 2000—2005, 2006—2010 年版纳地区 NDVI-SLOPE 值均大于 0, 说明西双版纳地区 2000—2010 年植被覆盖度呈增加趋势。2000—2005 年 NDVI 增加趋势加大地区主要分布在东部地区且从南到北呈纵向分布; 2006—2010 年 NDVI 增加趋势主要分布在西部地区, 且增加趋势进一步增强。

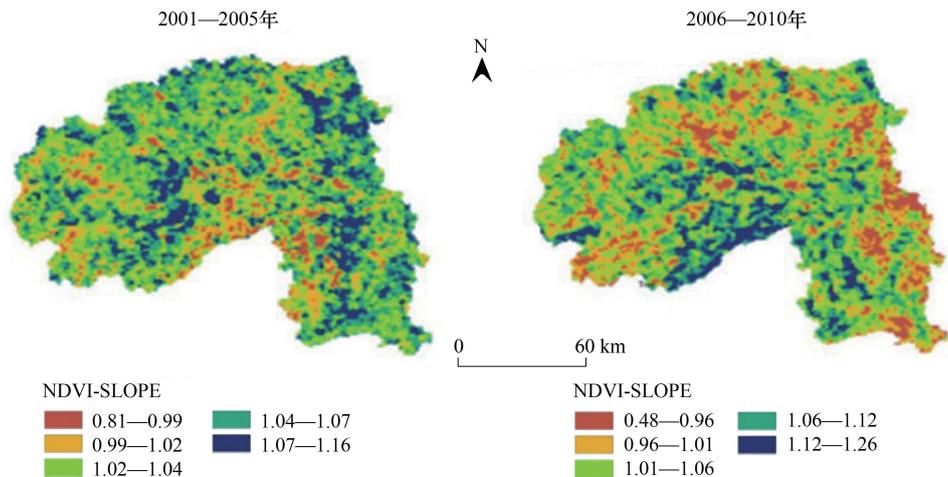


图 1 2000—2010 年西双版纳地区 SLOPE 时空分布图

Fig.1 Spatial and temporal distribution of SLOPE in Xishuangbanna area in 2000–2010

3.2 土地利用变化角度

3.2.1 西双版纳土地利用/覆被类型面积变化情况

从图 2 可以看出, 2000—2010 年西双版纳地区土地利用/覆被类型主要为园地, 林地和耕地。其中林地占地面积最大, 耕地主要为旱地, 园地主要是乔木园地与灌木园地, 乔木园地主要是橡胶园, 灌木园地主要是茶园, 且主要分布在西南部边陲地带。

图 3 土地利用/土地覆被转移图表明, 2000—2005 年, 西双版纳草地主要转化为灌木园地、常绿阔叶林、旱地; 河流主要转化为旱地、居住用地、常绿阔叶林; 常绿阔叶林的面积减少, 常绿阔叶林主要流向是乔木园地、旱地、水库坑塘、河流、居住地; 乔木园地面积增加比例较大, 主要来源是河流、水田、旱地、常绿阔叶林、常绿针叶林、灌木园地; 灌木园地主要来源是草地、河流、水田、旱地、常绿阔叶林、常绿针叶林、乔木园地、居住地; 居住地主要来源是河流、水田、旱地、居住地、常绿阔叶林、乔木园地、灌木园地。2006—2010 年土地利用变化没有 2000—2005 年剧烈, 乔木园地增加比重较大, 主要来源是旱地、灌木园地、河流、水田、裸土。其次, 居住地增加比重较大, 主要来源为河流、水田、旱地、草地、常绿阔叶灌木林。

3.2.2 不同土地利用/覆被类型植被变化率比较

由图 4 可以看出, 2000—2010 年西双版纳地区不同土地利用类型的植被变化率 SLOPE 值均大于 0, 且草丛、湖泊、河流、水田、旱地、居住地、交通用地、裸土、乔木园地植被 2006—2010 年的变化率比 2000—2005 年大, 增加比较剧烈。其中乔木园地两个时段植被变化率差异最大, 而常绿阔叶林与常绿针叶林后 5 年比前 5 年植被覆盖度增加的比率在减少, 后 5 年没有前 5 年变化剧烈。这主要是因为乔木园地主要是橡胶林生长较快造成的。SLOPE > 0 主要与植被自然生长及退耕还林还草, 植树造林有关, 且乔木园地分布的地区 2006—2010 年 NDVI 变化率大于 2000—2005 年 NDVI 变化率。

3.3 基于 MODIS 干扰指数 (MGDI) 的植被动态

利用多年 MODIS 遥感影像, 计算基于 MODIS 的大尺度干扰指数 (MGDI), 并绘制西双版纳多年平均

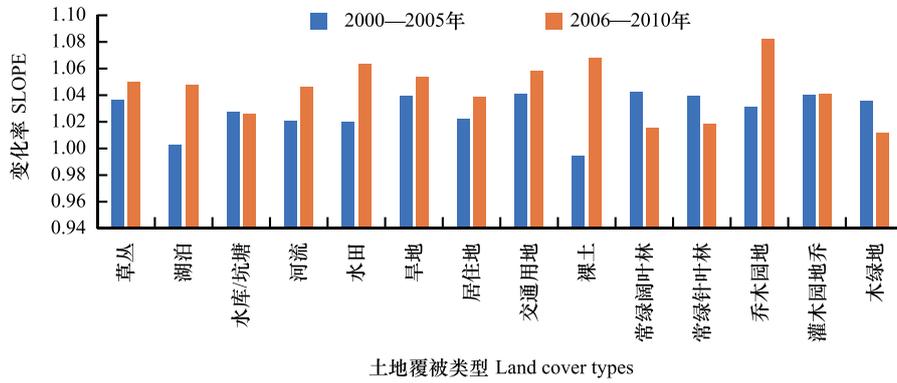


图 4 2000—2005,2006—2010 不同土地覆被类型植被变化率 SLOPE 值比较

Fig.4 Comparison of vegetation cover trend (SLOPE) of different land cover types in 2000—2005,2006—2010

3.4 人类活动对植被变化的影响

由图 7 可以看出,西双版纳地区人类干扰强度呈中间向边缘递增趋势,且总体上呈分散趋势。由图 8 冗余分析结果可知,在 1 km 尺度下,NDVI 与人类活动干扰因素成负相关关系,SLOPE 与 MGDI 与人类活动干扰因素相关性不显著。在 5 km 尺度下,NDVI 与距村庄的距离,距城镇的距离成正相关关系,与其他人类活动干扰因素成负相关关系。SLOPE 与 MGDI 连线相对较短,相关性不大。在 10 km 范围内,NDVI 与距道路的距离,距城镇的距离,距村庄的距离成正相关关系,与其他人类活动干扰因素成负相关关系。MGDI 与距道路的距离,距城镇的距离,距村庄的距离成正相关关系,与其他人类活动干扰因素成负相关关系。SLOPE 与距道路的距离,距城镇的距离,距村庄的距离成负相关关系,与其他人类活动干扰因素成正相关关系。综上所述,NDVI 本身和人类活动的相关性较大,而植被退化在研究阶段表

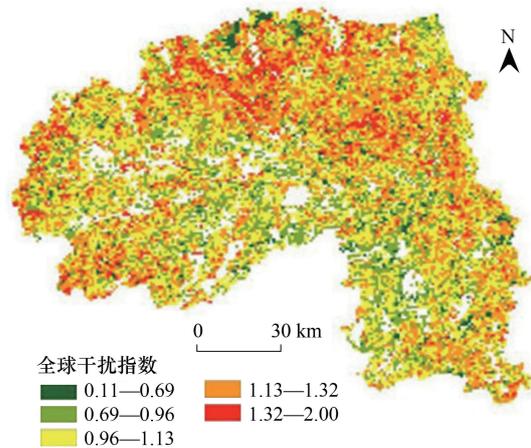


图 5 西双版纳地区基于 MODIS 的全球干扰指数 (MGDI) 空间分布图

Fig.5 The MODIS Global Disturbance Index (MGDI) spatial distribution map in Xishuangbanna area

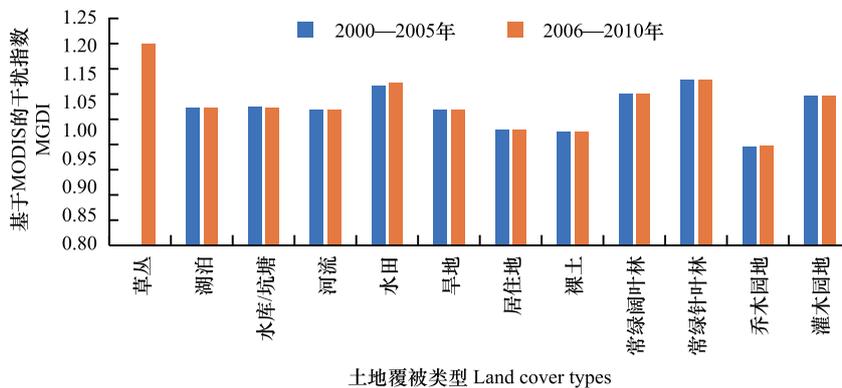


图 6 2000—2005, 2006—2010 不同土地覆被类型基于 MODIS 的全球干扰指数(MGDI)值比较

Fig.6 Comparison of The MODIS Global Disturbance Index (MGDI) of different land cover types in 2000—2005,2006—2010

现的不明显。MGDI 总体上与人类活动相关性不大。

在 1 km 尺度下由植被动态与人类活动干扰因素逐步相关分析得到如下回归方程：

$$Y=0.004-3.329E-6X_1+0.011X_2-0.281X_3-0.077X_4$$

式中, Y 代表 NDVI-SLOPE, X 代表人类活动干扰指标, 其中 X₁代表 GDP, X₂代表河网密度, X₃代表距村庄的距离, X₄代表道路密度。最终回归方程 R²为 0.039。从模型得出, 与 SLOPE 变化成正相关的因素有: 河网密度; 与 SLOPE 成负相关的因素有: GDP, 村庄密度, 道路密度。由于 R²较低, 说明人类活动与植被的关系具有空间尺度效应, 可能存在一定的距离耦合特征。在 5 km 尺度下进行逐步相关分析得到如下回归方程:

$$Y=0.030+0.018X_1-0.029X_2+1.681E-5X_3-4.623E-5X_4-9.499E-7X_5$$

式中, Y 代 NDVI-SLOPE, X 代表人类活动干扰指数, 其中 X₁代表河流密度, X₂代表道路密度, X₃代表 GDP, X₄代表人口密度, X₅代表距村庄的距离。最终回归方程 R²为 0.081, 相关性降低, 从模型得出, 与 SLOPE 变化成正相关的因素有: 河流密度和 GDP; 与 SLOPE 成负相关的因素有: 道路密度, 人口密度和距村庄的距离。在 10 km 尺度下进行逐步相关分析结果显示人类活动与植被的变化不相关。

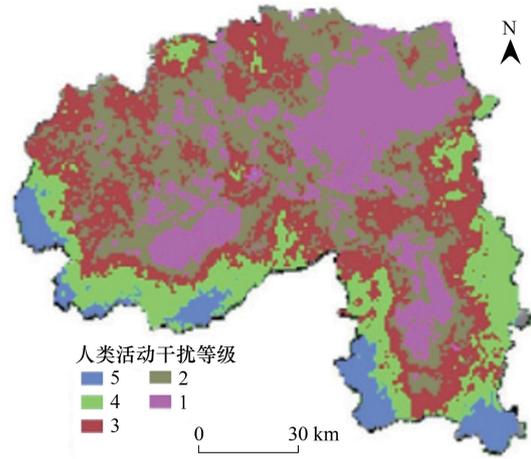


图 7 西双版纳地区人类活动干扰等级分布图

Fig.7 Distribution of human activity disturbance level in Xishuangbanna

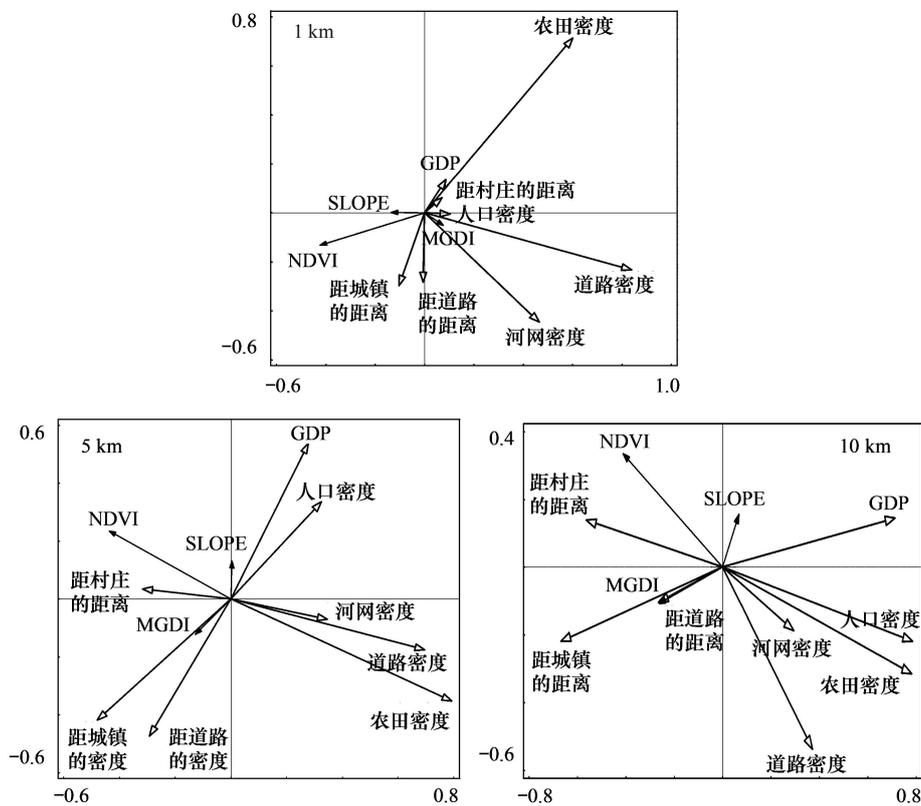


图 8 植被动态与人类活动干扰因素冗余分析

Fig.8 Redundancy analysis of vegetation dynamics and the interference factors of human activities

4 讨论

4.1 三种植被动态方法比较

西双版纳地区 NDVI-SLOPE 值均大于 0,这主要是由于植被自身生长和政策层面上退耕还林、退耕还草有关^[29]。在不同土地利用类型的 NDVI-SLOPE 值分析中,数值均大于 0 与图 1 所示结果一致,这主要是因为本研究所选择的土地利用空间分辨率为 30 m,与在群落尺度上的植被的生长为同一尺度。因此,方法二能更好的解释在群落层次上西双版纳地区植被的变化,主要是由于植被的自然生长与次生林转变为人工林导致的人工林地的增加。本文选用的 MODIS-MGDI 影像分辨率为 1 km 与群落层面上植被的变化不在同一尺度,因此出现了 2000—2005,2006—2010 年不同土地覆被类型 MGDI 相差不大的现象(图 6)。但从另一角度分析了大尺度范围内植被的变化特征,MGDI 表征大尺度生态系统的干扰,包括自然干扰与人为干扰,其中自然干扰包括野火,病虫害,飓风还有干旱。而 2000—2010 年西双版纳地区未出现大面积自然干扰。这可能因为西双版纳地处位于西南季风的迎风坡,降水充沛,森林覆盖度高,耕地面积比率小,干旱致灾因子危险性低,成灾环境敏感性低,承灾体易损性低^[30]。受干扰强烈的区域主要分布在北部地区和人类聚集区附近。

4.2 人类活动干扰因素对植被的影响

基于人类活动干扰对植被覆盖度的影响结果得出,从景观生态学的角度来说,生态学干扰由 3 个方面构成,包括系统,事件和尺度域。系统具有一定的尺度域,而干扰事件来源于系统外部,并发生在一定尺度上。干扰具有多尺度性,一个尺度上的干扰并非所有尺度上的干扰^[31]。人类活动压力干扰具有尺度性,本研究中所选的人类活动压力各指标,重采样为 1,5,10 km 的不同尺度,而大尺度上的人类活动干扰,与植被群落的状态变化往往不在同一尺度上^[32]。本研究采用的 NDVI 数据为 1 km 分辨率,NDVI 数值在表征植被群落变化上,存在一定的尺度效应,因而人类活动与其变化的相关关系存在不确定性^[33]。另外,在群落尺度上,植被的自然生长,退耕还林,植树造林都可以促使植被覆盖度的增加,况且人类活动干扰在一定层面上具有滞后性^[34]。

5 结论

本文从 NDVI、土地利用的角度,基于遥感序列的 MODIS-MGDI 三个不同侧面解释了人类干扰对西双版纳地区植被造成影响的过程。从 NDVI 变化的角度,在人类活动干扰下西双版纳热带雨林植被生长状况良好,且 2000—2010 年间植被呈现增加的趋势。从土地利用变化角度,由于土地利用的变化与我们所研究的植被的变化为同一尺度,故土地利用的变化可以很好的表征植被的变化。西双版纳地区 2000—2010 年土地利用变化主要为次生林地转变为乔木林地及灌木林地以及少部分转变为居住用地。虽然 2000—2010 年西双版纳地区人类活动干扰造成的林地破坏等负向的人类活动带来了植被覆盖度的减少,但是人工林植被生长及退耕还林还草等正向的人类活动带来了植被覆盖度的增加。基于 MODIS 干扰指数的 MGDI 表明,2000—2010 年间,干扰的空间分布没有规律性,不同土地覆被类型之间的 MGDI 相差不大,说明 MGDI 在热带地区表征干扰特征具有一定的不确定性。这主要是 MGDI 与植被退化相关性不显著。通过相关性分析,表明人类活动强度与植被退化存在一定的相关性,但相关性不大,具有一定的尺度性。在大尺度上人类活动干扰具有滞后性,且研究尺度的不同导致相关性不显著。因此,不同的分辨率,不同的研究尺度以及不同的解释机制都将导致研究结果具有一定的差异性。

参考文献(References):

- [1] 孙永光,赵冬至,高阳,苏岫,卫宝泉,张丰收,高树刚,郑友林. 海岸带人类活动强度遥感定量评估方法研究——以广西北海为例. 海洋环境科学, 2014, 33(3): 407-411, 424.
- [2] 刘世梁,安南南,尹艺洁,成方妍,董世魁. 基于 SWAT 模型的澜沧江中游小流域水土流失与 NDVI 时空动态相关性. 水土保持学报, 2016, 30(1): 62-67.

- [3] 潘颖, 林杰, 佟光臣, 唐鹏, 张金池, 顾哲衍. 2004-2014 年太湖流域植被覆盖时空变化特征. 生态与农村环境学报, 2018, 34(1): 37-45.
- [4] Brown A G, Hatton J, O'Brien C E, Selby K A, Langdon P G, Stuijts I, Caseldine C J. Vegetation, landscape and human activity in Midland Ireland: mire and lake records from the Lough Kinale-Derragh Lough area, Central Ireland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2005, 14(2): 81-98.
- [5] 胡志斌, 何兴元, 李月辉, 朱教君, 李小玉. 岷江上游地区人类活动强度及其特征. 生态学杂志, 2007, 26(4): 539-543.
- [6] 魏建兵, 肖笃宁, 解伏菊. 人类活动对生态环境的影响评价与调控原则. 地理科学进展, 2006, 25(2): 36-45.
- [7] 刘世梁, 刘芦萌, 武雪, 侯笑云, 赵爽, 刘国华. 区域生态效应研究中人类活动强度量化评价. 生态学报, 2018, 38(19): 6797-6809.
- [8] 刘慧明, 刘晓曼, 李静, 等. 生物多样性保护优先区人类干扰遥感监测与评价方法[J]. 地球信息科学学报, 2016, 18(008): 1103-1109.
- [9] 张琨. 人类活动对植被影响的遥感量化研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [10] 杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 董世魁, 张志明. 基于网络 k 函数的西双版纳人工林空间格局及动态. 生态学报, 2011, 31(22): 6734-6742.
- [11] Mildrexler D J, Zhao M S, Heinsch F A, Running S W. A new satellite-based methodology for continental-scale disturbance detection. *Ecological Applications*, 2007, 17(1): 235-250.
- [12] 王金哲, 张光辉, 聂振龙, 严明疆. 淳沱河流域平原区人类活动强度的定量评价. 干旱区资源与环境, 2009, 23(10): 41-44.
- [13] 王筠, 那晓东, 臧淑英. 人类活动干扰下 4 个时期松嫩平原丹顶鹤栖息地适宜性研究. 湿地科学, 2018, 16(3): 438-443.
- [14] 吴思佳, 吴伟, 陈文惠, 等. 基于地理探测器的闽三角城市群植被覆盖时空变化及影响因素研究. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2019, 35(5): 81-88.
- [15] 刘晓娜, 封志明, 姜鲁光, 张景华. 西双版纳土地利用/土地覆被变化时空格局分析. 资源科学, 2014, 36(2): 233-244.
- [16] 朱华, 王洪, 李保贵, 周仕顺, 张建侯. 西双版纳森林植被研究. 植物科学学报, 2015, 33(5): 641-726.
- [17] Pasion B O, Roeder M, Li J J, Yasuda M, Corlett R T, Ferry Slik J W, Tomlinson K W. Trees represent community composition of other plant life-forms, but not their diversity, abundance or responses to fragmentation. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 11374.
- [18] Min S, Huang J K, Waibel H, Yang X Q, Cadisch G. Rubber boom, land use change and the implications for carbon balances in Xishuangbanna, Southwest China. *Ecological Economics*, 2019, 156: 57-67.
- [19] 廖谌嫒, 李鹏, 封志明, 张景华. 西双版纳橡胶林面积遥感监测和时空变化. 农业工程学报, 2014, 30(22): 170-180.
- [20] Huang X H, Yuan H, Yu F K, Li X Y, Liang Q B, Yao P, Shao H B. Spatial-temporal succession of the vegetation in Xishuangbanna, China during 1976-2010: a case study based on RS technology and implications for eco-restoration. *Ecological Engineering*, 2014, 70: 255-262.
- [21] 赵桔超, 朱彦辉, 段国辉, 杨昆. 基于 MOD13Q1 数据分析 2001—2015 年西双版纳植被变化特征. 生态学杂志, 2019, 38(4): 1083-1092.
- [22] 郑征, 冯志立, 曹敏, 刘宏茂, 刘伦辉. 西双版纳原始热带季节性雨林生物量及净初级生产. 植物生态学报, 2000, 24(2): 197-203.
- [23] 卢同平. 西双版纳热带雨林系统生态化学计量特征及其对梯度效应响应研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2017.
- [24] 梁尧钦, 曾辉, 李菁. 深圳市大鹏半岛土地利用变化对植被覆盖动态的影响. 应用生态学报, 2012, 23(1): 199-205.
- [25] Schmugge T J, Kustas W P, Ritchie J C, et al. Remote sensing in hydrology. *Advances in Water Resources*, 2002, 25(8/12): 1367-1385.
- [26] Huete A, Di Dan K, Miura T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 83(1): 195-213.
- [27] Goward S N, Cruickshanks G D, Hope A S. Observed relation between thermal emission and reflected spectral radiance of a complex vegetated landscape. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 18(2): 137-146.
- [28] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1990, 28(5): 940-948.
- [29] 孙忠旺. 基于 3S 技术的公路沿线土地利用和景观格局时空变化研究——以思小公路段为例[D]. 昆明: 云南大学, 2007.
- [30] 何娇楠. 云南省干旱灾害风险评估与区划[D]. 昆明: 云南大学, 2016.
- [31] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 第 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 21-22.
- [32] 毛志宏, 朱教君. 干扰对植物群落物种组成及多样性的影响. 生态学报, 2006(08): 280-286.
- [33] 贾俊鹤, 刘会玉, 林振山. 中国西北地区植被 NPP 多时间尺度变化及其对气候变化的响应. 生态学报, 2019, 39(14): 5058-5069.
- [34] 夏会娟, 孔维静, 孙建新, 侯利萍. 基于 MODIS NDVI 的辽河保护区成立前后植被覆盖时空动态研究. 生态学报, 2018, 38(15): 5434-5442.