

引用格式: WU Hongrong, ZHU Lanwei, YU Heng, *et al.* Study on the spatial-temporal variation of vegetation cover and its topographic effect in Hainan Island based on remote sensing[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2023, 38(5): 1062-1070. [吴虹蓉, 朱岚巍, 余恒, 等. 基于遥感的海南本岛植被覆盖度时空变化及其地形效应研究[J]. 遥感技术与应用, 2023, 38(5): 1062-1070.]
DOI: 10.11873/j.issn.1004-0323.2023.5.1062

基于遥感的海南本岛植被覆盖度时空变化及其地形效应研究

吴虹蓉^{1,2,3,4}, 朱岚巍^{1,2,3}, 余恒⁵, 施冬⁴

(1. 海南空天信息研究院 海南省地球观测重点实验室, 海南 三亚 572029;

2. 可持续发展大数据国际研究中心, 北京 100094;

3. 中国科学院空天信息创新研究院 数字地球重点实验室, 北京 100094;

4. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430000;

5. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007)

摘要: 植被覆盖在维持生态系统结构稳定和防治水土流失等方面发挥着重要的作用, 海南自1988年建省以来迅速发展, 导致海南岛植被覆盖也产生了巨大的变化。为揭示海南本岛地形因子对植被覆盖度的影响以及为海南本岛进一步制定合理的生态环保策略提供依据, 基于1988、1998、2008、2017和2020年Landsat-TM/OLI多光谱影像, 以海南本岛为研究区域, 采用归一化植被指数和像元二分模型进行植被覆盖度提取, 通过线性趋势分析海南本岛近30 a植被覆盖变化特征。并结合30 m DEM获取的海、坡度和坡向数据, 来进一步探讨海南本岛植被覆盖度在不同地形因子条件下的空间分布特征。结果表明: ①1988~2020年海南岛平均植被覆盖度介于0.58~0.88之间, 整体呈先下降后上升趋势; ②海南岛高植被覆盖主要分布于海南岛中部、西南部和东南部地区, 低植被覆盖主要出现在居住区、沿海地区等人为干扰因素较高的地区; ③海南岛各等级植被覆盖均随海拔的增加而不断降低, 在海拔小于100 m的区域分布面积最大; 坡度为0~5°时植被覆盖面积达到最大值, 随着坡度的增加, 植被覆盖面积呈减少趋势; 各等级植被覆盖在阴坡和阳坡的分布面积变化差异不大, 主要以高植被覆盖类型为主。

关键词: 植被覆盖度; 遥感; 海南本岛; 时空变化; 地形因子

中图分类号: TP751; Q948 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2023)05-1062-09

1 引言

植被覆盖度(Fractional Vegetation Coverage, FVC)是衡量地表植被的生长状况和地区生态变化的重要指标^[1], 对生态环境监测、碳循环模拟和气候变化等研究具有重要影响^[2]。目前, 植被覆盖度的

估算方法主要有2种, 即直接地面测量法和遥感反演法^[3]。其中, 在小范围区域通常采用地面测量, 对大范围、长时间序列的研究当前多基于MODIS, Landsat等卫星数据反演获得^[4-5]。随着遥感技术的不断发展, 利用遥感影像反演植被覆盖度已成为较成熟的技术, 其主要方法有像元分解模型、经验回

收稿日期: 2022-06-30; 修订日期: 2022-10-25

基金项目: 海南省重点研发计划(2020)近岸珊瑚礁及其底栖环境的遥感精细观测研究项目(ZDYF2020030); 广东省海洋遥感重点实验室开放课题区域尺度下的珊瑚礁精细识别遥感方法研究(2017B030301005-LORS1904)。

作者简介: 吴虹蓉(1996—), 女, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要从事遥感应用研究。E-mail: wuhr2022@163.com

通讯作者: 朱岚巍(1980—), 女, 内蒙赤峰人, 副研究员, 主要从事遥感应用及微波遥感。E-mail: zhulw@aircas.ac.cn

归模型和物理模型法^[6]。其中像元分解模型由于其简单有效,同时适合于多种植被类型的植被覆盖度估算且动态监测,已被广泛用于分析植被覆盖水平和生长状况^[7-9]。

海南岛热带森林资源丰富,已有学者对海南岛植被和气候之间的关系进行了研究。如韩静等^[10]利用MODIS数据获取了2000~2019年海南岛植被覆盖度,分析海南岛植被生态质量变化情况以及降水和气温对植被生态质量的影响。罗红霞等^[11]通过分析海南岛月平均NDVI以及气温降水变化趋势,探讨了海南岛植被覆盖度对气温降水的响应。可以看出,以往研究中对海南岛植被覆盖度自然驱动力的研究多局限于气温、降水等气候要素,对植被覆盖度与地形因子之间的关系研究相对较少。

地形因子(海拔、坡度和坡向)对植被的分布起着基础性作用,通过对海南岛植被覆盖度动态变化与地形因子效应的研究分析,一方面可以揭示海南岛植被覆盖度变化轨迹及其差异,为海南岛评估生态现状奠定基础;另一方面结合地形因子分析植被覆盖度分布可为海南岛农业种植、生态建设保护提供数据支撑,对海南岛生态环境监督具有现实意义。

为此,本文利用Landsat系列影像,基于像元二分模型对1988~2020年间海南岛植被覆盖度进行

长时序的动态研究,利用30 m DEM数据提取海南岛的海拔、坡度、坡向,运用统计分析方法研究海南岛植被覆盖度动态变化与地形因子的相互关系,通过对海南岛植被覆盖度时空变化特征与地形因子相关性研究,明确指出目前海南本岛哪些区域植被覆盖水平仍需改善,以期为海南岛生态保护提供理论借鉴和参考。

2 数据与研究区

2.1 研究区概况

海南岛,位于中国南海西北部(图1), $18^{\circ}10' \sim 20^{\circ}10'N$, $108^{\circ}37' \sim 111^{\circ}03'E$ 。海南岛是中国仅次于台湾岛的第二个热带海岛省份,陆地面积约3万 km^2 ,被称为世界上“少有的几块未被污染的净土”。岛上地形四周低平,中间高耸,水热条件优越,植被组成类型丰富多样,近年来,全省森林覆盖率稳定在62.1%以上。属热带季风海洋性气候,长夏无冬,降雨充足,年平均气温 $22.5 \sim 25.6^{\circ}C$,年降水量1500~2500 mm。

2.2 数据来源

实验使用的是海南岛Landsat系列卫星深加工数据集(<http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/725>),由于海南岛受热带季风海洋性气候的影响,全年多云多雨。为了减少云层干扰,对所需年份及

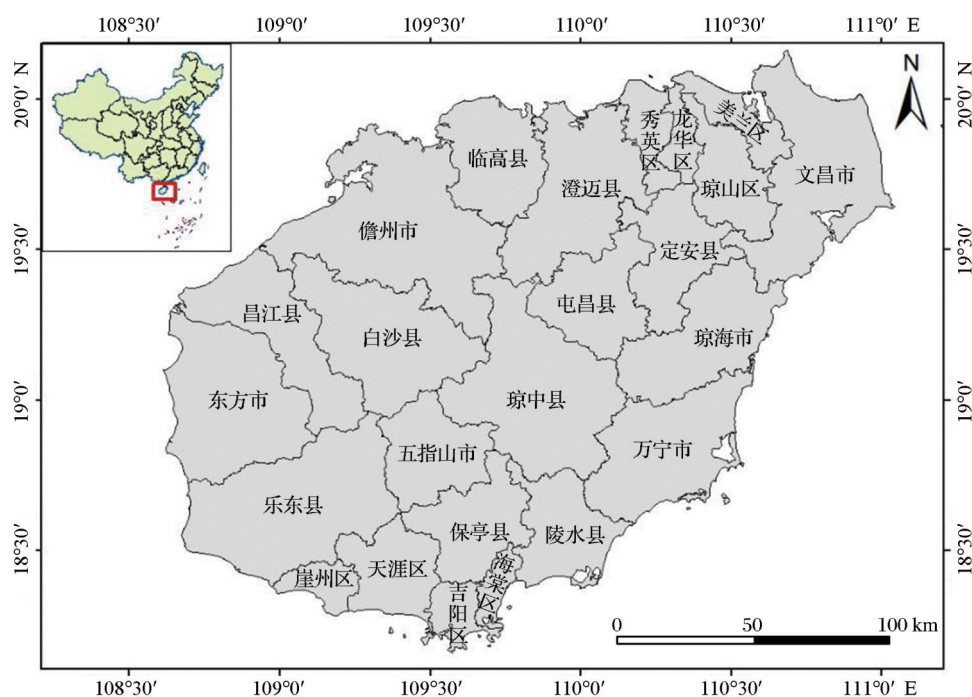


图1 研究区地理位置图

审图号:GS(2019)1822号

Fig.1 Geographical location map of the study area

其相邻年份逐月遍历海南岛 Landsat 系列影像,对其进行云量筛选、辐射校正、大气校正、投影转换、波段融合和影像镶嵌等处理^[12],具体参数如表 1 所示。地形数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)提供的 30 m DEM 数据,进行了图像拼接、图像裁剪等预处理。

表 1 卫星参数表
Table 1 The Satellite parameter list

年份	成像时间	轨道号	卫星	传感器	空间分辨率/m
1988 年	1988-06-08	124-047	Landsat5	TM	30
	1988-06-08	123-046	Landsat5	TM	30
	1988-06-08	123-047	Landsat5	TM	30
	1988-06-15	124-046	Landsat5	TM	30
1998 年	1998-01-02	124-047	Landsat5	TM	30
	1998-01-11	123-047	Landsat5	TM	30
	1998-04-24	124-046	Landsat5	TM	30
	1998-08-23	123-046	Landsat5	TM	30
	1998-09-22	125-047	Landsat5	TM	30
2008 年	2008-08-25	124-047	Landsat5	TM	30
	2009-10-08	123-046	Landsat5	TM	30
	2009-10-24	123-047	Landsat5	TM	30
	2010-03-24	124-046	Landsat5	TM	30
2017 年	2015-11-17	124-046	Landsat8	OLI	30
	2015-11-17	124-047	Landsat8	OLI	30
	2016-06-08	123-046	Landsat8	OLI	30
	2017-03-02	125-046	Landsat8	OLI	30
	2017-04-21	123-047	Landsat8	OLI	30
	2017-04-26	125-047	Landsat8	OLI	30
2020 年	2020-05-06	124-046	Landsat8	OLI	30
	2020-05-31	123-046	Landsat8	OLI	30
	2020-07-16	125-047	Landsat8	OLI	30
	2020-06-07	124-047	Landsat8	OLI	30
	2019-07-16	123-047	Landsat8	OLI	30

3 研究方法

本文的研究路线主要是对 Landsat 遥感影像数据集运用像元二分模型估算海南岛植被覆盖度,使用 ArcGIS 软件进行地形因子的提取与分级,将海拔、坡度和坡向数据分别与 1988、1998、2008、2017 年和 2020 年海南岛各等级植被覆盖进行叠加分析,进而分析海南岛植被覆盖度的地形效应,具体路线如图 2 所示。

3.1 归一化植被指数

归一化植被指数(Normalized Diffence Vegetation Index, NDVI)对植被的生长状况、生产力等生物物理生化特征比较敏感,因此 NDVI 的变化可以反映植被的生长状况。

$$NDVI=\frac{NIR-R}{NIR+R}$$

(1)

其中:NIR 为近红外波段的值,R 为红光波段的值。

3.2 植被覆盖度估算

像元二分模型是线性光谱分析中最简单的模型,它假设一个地表由有植被覆盖的地表和无植被覆盖的地表组成^[13]。由于其形式简单不需要地面实测数据建模,被广泛应用于植被覆盖度的估算。

$$f_{vc}=\frac{NDVI-NDVI_{soil}}{NDVI_{veg}-NDVI_{soil}}$$

(2)

其中:NDVI_{soil} 为纯土壤或无植被像元的 NDVI 值,理论上接近于 0;NDVI_{veg} 为纯植被像元的 NDVI 值,理论上接近于 1。该模型引入 NDVI_{soil}、NDVI_{veg} 参数,可以有效减少大气、土壤背景与植被类型等对遥感信息的影响,只留下植被覆盖度的信息^[14]。

由于气象条件、植被类型及分布、季节变化等因素的影响,不同影像 NDVI_{soil} 和 NDVI_{veg} 会发生一定程度的变异,取值一般在 -0.1~0.2 之间变动^[15]。

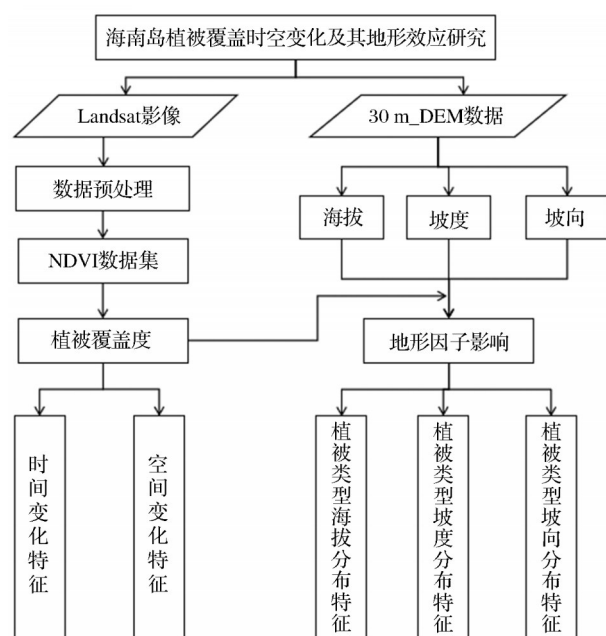


图2 技术路线图

Fig.2 Technology Roadmap

实验在没有实测数据的情况下,所有年份数据按照频率统计表选取累积频率为5%和95%的NDVI值分别作为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 的值。最后根据中华人民共和国水利部2008年颁布的《土壤侵蚀分类分级标准》^[16],将海南岛植被覆盖度分为5个等级:<30%(低植被覆盖度)、30%~45%(中低植被覆盖度)、45%~60%(中植被覆盖度)、60%~75%(中高植被覆盖度)、>75%(高植被覆盖度)。

3.3 地形因子提取与分级

实验对1988~2020年植被覆盖数据与地形因子相关性进行研究。利用ArcGIS软件中的3D分析模块对30 m DEM影像数据提取高程、坡度和坡向等信息。海南岛最高海拔为1 811 m、最低海拔为0 m,结合研究区高程将海南岛高程分为6级,即<100 m、100~300 m、300~500 m、500~800 m、800~1 000 m、>1 000 m。根据《水土保持综合治理规划通则》^[17]和参考水土流失调查工作中常用的8°作为缓坡和斜坡的分级标准^[18-19],将海南岛坡度分级为平坡地(0~5°)、缓坡地(5~8°)、斜坡地(8~15°)、陡坡地(15~25°)、急坡地(25~35°)、险坡地(>35°)。结合相关研究^[20],将坡向分为5个等级,平地、阴坡(0°~67.5°,337.5°~360°)、半阴坡(67.5°~112.5°,292.5°~337.5°)、半阳坡(112.5°~157.5°,247.5°~292.5°)和阳坡(157.5°~247.5°)。海南岛地形因子具体分级如表2所示,分级图如图3所示。

表2 海南岛地形因子分级表

Table2 Topographic factor grading table of Hainan Island

等级	海拔/m	坡度	坡向
1	<100	平坡地	平地
2	100~300	缓坡地	阴坡
3	300~500	斜坡地	半阴坡
4	500~800	陡坡地	半阳坡
5	800~1 000	急坡地	阳坡
6	>1 000	险坡地	

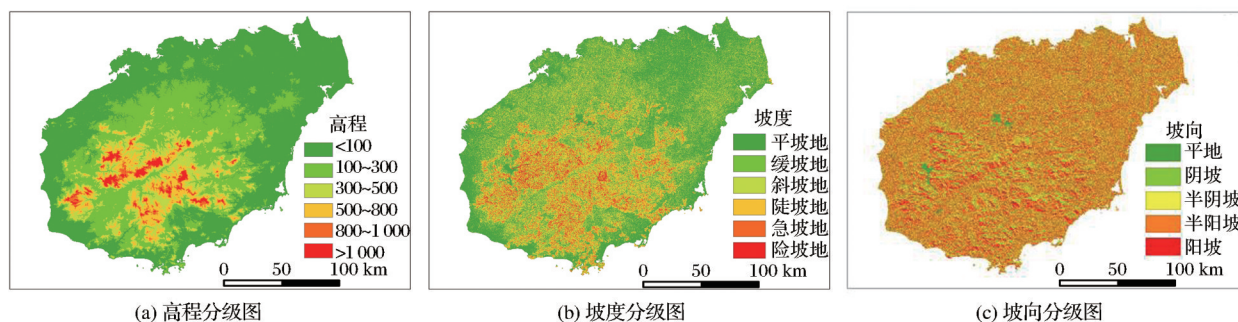


图3 海南岛地形因子分级图

Fig.3 Topographic factor classification map of Hainan Island

4 结果与分析

4.1 植被覆盖度时序变化特征

根据计算,1988~2020年海南岛平均植被覆盖度在58.08%~87.87%之间(图4)。近30 a来,海南岛平均植被覆盖度整体呈先下滑后上升趋势。1988~1998年间植被覆盖处于下滑阶段,1988年植被覆盖度为67.82%,1998年植被覆盖度最低,为

58.08%。1998~2020年间植被覆盖处于上升阶段,2020年植被覆盖度最高达87.87%。对比后认为:1999年海南省提出了建设“生态省”的宏伟设想,开始重视生态环境的保护与建设工作,实施了大量生态建设和环境保护工程,如“三边”防护林工程、自然保护区和森林公园建设工程、湿地恢复示范工程等等,因此海南岛植被覆盖情况自1998年开始逐步改善。

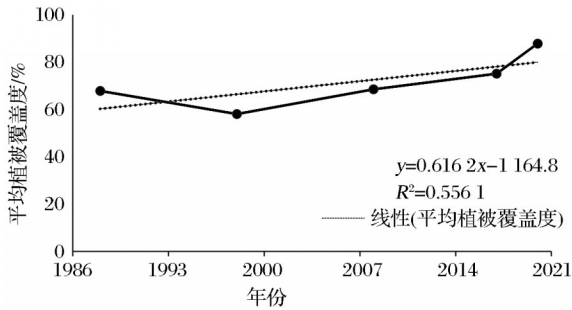


图4 1988~2020年海南岛平均植被覆盖度变化趋势

Fig.4 Trends of mean vegetation coverage in Hainan Island from 1988 to 2020

对海南岛1988~2020年间各等级的植被覆盖度进行统计分析(图5),结果发现:1988~2020年间,研究区中高植被覆盖面积呈减少趋势,其余等级植被覆盖均呈波浪式变化,主要以1998年为转折点。其中:①高植被覆盖度所占比例在21%~64%,1988~1998年高植被覆盖度逐渐降低,1998年占比最小,为21%,此后高植被覆盖度呈稳定回升状态,2017年占比最大,为64%。②中高等植被所占比例稳定在21%~50%,1998年之前逐年升高,1998年占比最高为50%,之后逐年降低。③中低植被所占比例为7%~19%,2017年最低,1998年最高。④低植被覆盖度所占比例在1%~9%,最低值和最高值分别出现在1998年和2008年。总体来看,继1998年之后海南岛提出实施生态建设与环境保护工程,高植被覆盖度所占比例呈逐年增加趋势。

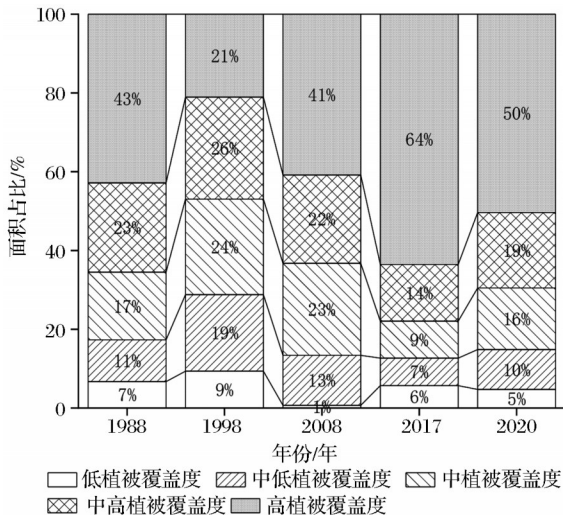


图5 不同等级植被覆盖度年际变化图

Fig.5 Interannual changes of FVC of different grades

4.2 植被覆盖度空间分布特征

从空间分布来看,海南岛森林资源分布于中部、西南部和东南部地区(图6)。其中,五指山、琼

中、白沙、乐东、保亭5个市县的平均植被覆盖度较高;植被覆盖度低的地区主要出现在居住区、沿海地区等人为干扰因素较高的地区,如海南岛西部东方、乐东沿海,儋州沿海,三亚南部、陵水沿海等地的植被覆盖度相对较低。

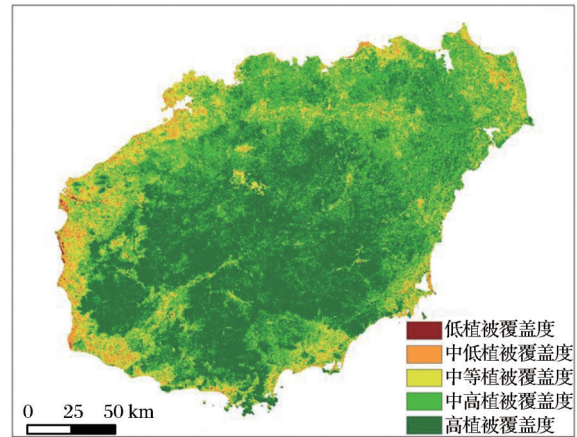


图6 1988~2020年海南岛平均植被覆盖度空间分布

Fig.6 Spatial distribution of mean vegetation coverage in Hainan Island from 1988 to 2020

对1988~2020年间不同等级的植被覆盖度空间分布变化进行分析(图7)。1988~1998年间,低植被覆盖度呈现由海南岛沿岸区域向中部延伸的趋势,海南沿岸区域的植被覆盖度越来越稀疏,1998年达到峰值。1998年之后植被覆盖程度得到显著改善,到2020年低植被覆盖度只集中于沿海部分区域。中高植被和高植被覆盖在1988~1998年显著减少,在1998年分布在海南岛中部山区,这与山区地势为植被的生长提供了充足的水源有关,1998~2020年覆盖区域逐步增加。总体而言,目前海南岛植被覆盖度水平处于不断恢复的阶段。

4.3 海南本岛植被覆盖度的地形效应研究

4.3.1 不同海拔植被覆盖度分布及变化特征

海南岛平均海拔120 m,平原、阶地占全岛面积的2/3,500 m以上的山地占全岛的25%,海拔较高的山脉主要分为三大山脉:五指山脉、鹦哥岭山脉和霸王岭山脉,分别位于海南岛中部、五指山西北,海南岛西部。将高程图与研究区域平均植被覆盖度进行叠加,经统计分析,得到各等级植被在不同海拔的面积占比(图8)。

从图8中可以看出:随着海拔的增加,植被覆盖面积逐渐降低,植被覆盖度等级也有不同程度的变化。随着海拔的变化,不同高度的气温、雨量和湿度都会有所变化。高植被覆盖的占比随着海拔的

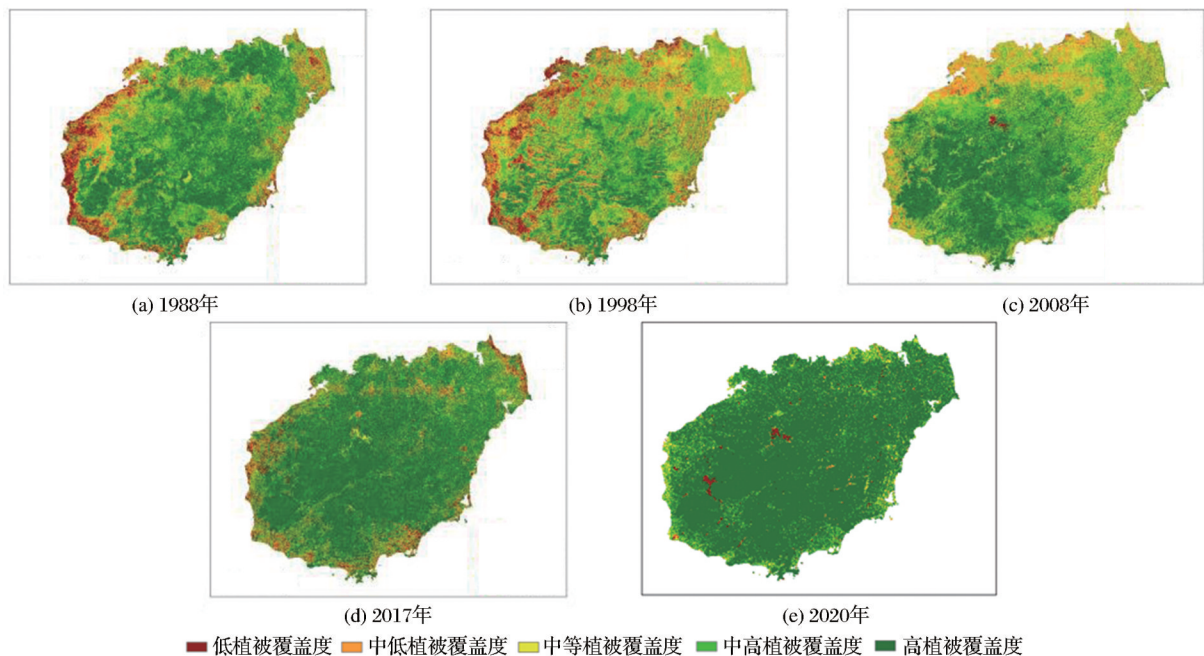


图7 不同等级植被覆盖度空间分布变化图

Fig.7 Spatial distribution changes of FVC of different grades

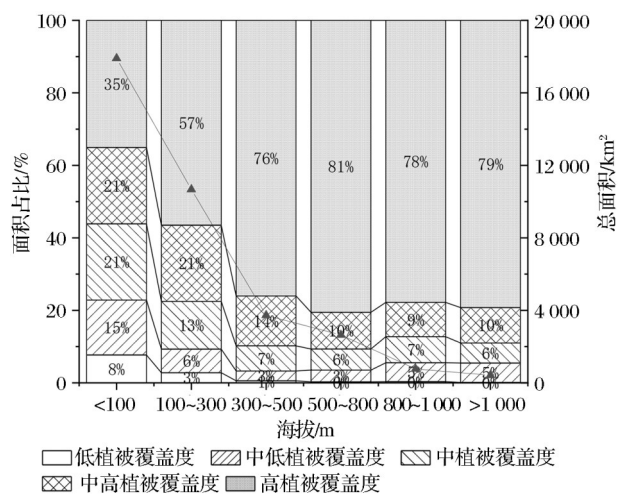


图8 海南岛不同海拔的植被覆盖度面积占比

Fig.8 The proportion of vegetation coverage in different elevation in Hainan Island

增加而逐渐增大,低植被的占比随着海拔的增加而逐渐减小。当海拔大于300 m以上时,高植被覆盖面积超过70%。

4.3.2 不同坡度植被覆盖度分布及变化特征

坡度表示地表的倾斜程度,海拔较高的区域通常坡度比较大^[22]。将坡度图与研究区域平均植被覆盖度进行叠加,经统计分析,得到各等级植被在不同坡度的面积占比(图9)。

从图8中可以发现,随着坡度的增加,植被覆盖面积呈减少趋势。坡度为0°~5°时,植被覆盖面积最大,其中低植被、中低植被所占面积为23%,高植被

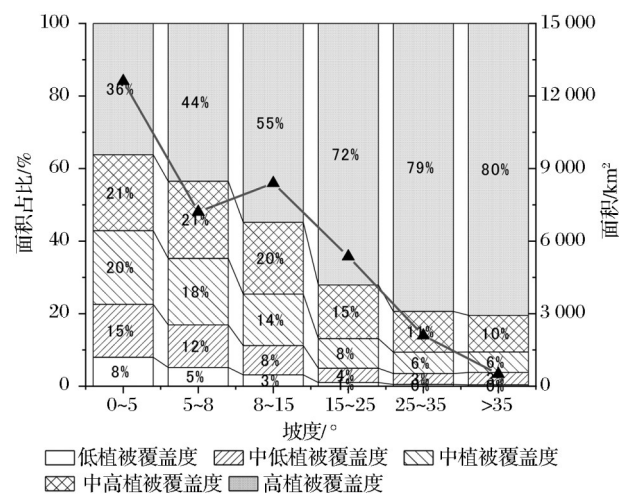


图9 海南岛不同坡度的植被覆盖度面积占比

Fig.9 The proportion of vegetation coverage in different slopes in Hainan Island

被覆盖面积为36%。这是因为在坡度较小的区域,一方面有利于农业种植和耕地开垦,一方面城市化水平较高,易受到人类活动的影响。当坡度25°以上时,区域城市化水平相对较低,人类活动对植被生长的影响逐渐降低,高等级植被占主体地位,覆盖面积达72%以上。

4.3.3 不同坡向植被覆盖度分布及变化特征

坡向是影响植被吸收水分、光照等条件的主要因素。通常来说,阳坡具有充足的阳光和温度,但是水分较少,对植被生长有一定的限制;而阴坡相

较于阳坡阳光较弱,水分充足,更利于植被生长^[22]。将坡向图与研究区域平均植被覆盖度进行叠加,经统计分析,得到各等级植被在不同坡向的面积占比(图10)。

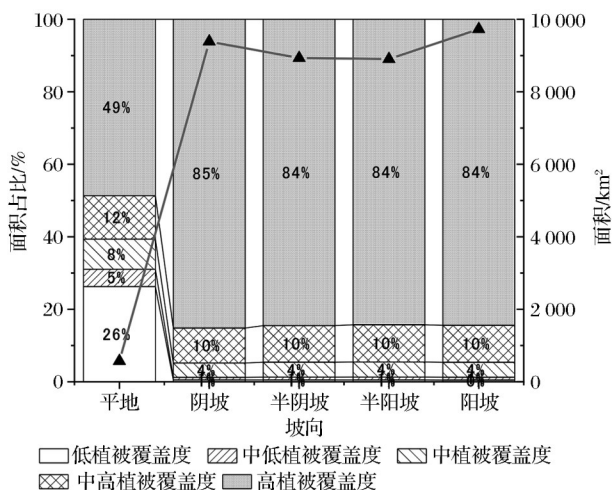


图10 海南岛不同坡向的植被覆盖度面积占比

Fig.10 The proportion of vegetation coverage in different slope directions in Hainan Island

从图10中可以看出,各个坡向主要以高植被覆盖为主,阴坡和阳坡之间植被覆盖面积变化差异不大,这可能与海南岛日照时间长,降水充足等气候特征有关,说明海南岛坡向对植被的生长影响不大。

5 讨论

5.1 1988~2020年海南本岛植被演化特征

本研究所使用Landsat系列遥感数据得出的海南岛植被覆盖度在1988~1998年间呈下降趋势,在1998年之后处于不断恢复趋势的结论,与以往学者研究的结果相一致^[10-11]。从空间分布来看海南岛高植被覆盖度集中分布于海南岛中东部和南部,主要是由于海南岛高海拔山脉阻挡了来自东南方向的太平洋、南海的部分水汽,使海南岛东侧年降雨量可达1500 mm以上,而西侧降雨量仅900多 mm。

研究还发现,自海南岛1988年建省以来,海南岛开始大规模开发,1988~1998年10 a时间,海南本岛中高植被和高植被面积由65.50%减少到46.94%,低植被和中低植被面积由17.30%增加到28.80%,植被覆盖水平急剧下降。1999年海南岛开始重视生态环境的保护与建设工作,对天然林实施“封山护林”、“封山育林”等保护工程,实施造林绿化和还林等等。1998~2020年,海南本岛的植被覆

盖情况得到了显著改善,其中低植被和中低植被覆盖面积显著减少,由28.8%减少到12.66%,中高植被和高植被面积由46.94%增加到77.96%。从本文所使用的时间序列来看,1998年是海南本岛由退化变为改善的转折点。

5.2 不同地形因子对植被时空演化的影响

海南岛属于热带地区,光温充足,森林资源丰富,地形的垂直起伏与纵深变化等地形特征为植被覆盖度提供不同的生长环境。研究区植被覆盖变化的地形效应首先体现在坡度,植被所需的土壤有机质以及水热条件与海拔和坡度直接相关,因此海拔和坡度会影响植被的空间分布及其生长。截止到2020年,海南岛300 m以上和坡度15°以上的区域高植被覆盖面积占比超过70%,可以看出海南岛“退耕还林”“封山育林”的实施情况比较好。低海拔和低坡度区域植被覆盖面积最多,但这些区域高植被覆盖度面积占比不超过30%,因此海南岛在实施生态恢复过程中需要考虑低坡度和低海拔地区的生态维护。

尽管本文应用长时序分析海南岛植被覆盖变化与地形分异特征,为海南岛生态保护提供数据支撑,但研究中也存在一些不足。在数据源上,由于海南岛地处热带多云雨气候带,难以找到各年份同一季节的遥感影像,而季节变化带来的温度、降水量的差异又会影响植被研究结果的准确性。罗红霞等^[11]探讨了海南岛植被覆盖变化与温度和降水的关系,结果表明温度与植被指数具有相关性,降水量与植被指数相关性不明显。考虑到海南岛全年平均气温在22℃以上,气温变化并不明显,可以减轻因温度引起的植被水平差异。其次,由于NDVI的最大值和最小值与研究区域、时相、植被类型和图像空间分辨率等因素有关,本文部分影像获取时间并非旺季,可能会使NDVI_{veg}的值比实际值偏低。因此,在后续的研究中将尽可能选用同季节的影像,并探索植被季节变换方法,以更准确可靠地分析植被变化趋势。

6 结论

本文基于像元二分模型和数字高程模型,对1988~2020年海南岛植被覆盖度进行计算,分析了海南岛近30年植被覆盖度时空变化,并探讨了地形因子对其的影响,结论如下:

(1)从时序特征来看:1988~2020海南岛平均

植被覆盖度介于0.58~0.88之间,整体呈先下降后上升趋势。在1998年以前,高、中高植被覆盖度所占比例逐渐降低,在1998年以后,海南岛植被整体呈显著改善趋势。

(2)从空间分布特征来看:高植被覆盖分布于海南岛中部、西南部和东南部山区,低植被覆盖分布于东部、西部和南部等沿海区域。

(3)海南岛不同等级植被覆盖均随海拔的增加而不断降低,在海拔小于100 m的区域分布面积最大;坡度为 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 时植被覆盖面积达到最大值,随着坡度的增加,植被覆盖面积呈减少趋势;各个坡向主要以高植被覆盖为主,同一年份中阴坡和阳坡之间植被覆盖面积变化差异不大。

(4)从2020年植被覆盖情况来看,各海拔、坡度、坡向的高植被覆盖面积均有增加,但海南岛东部东方、乐东,南部三亚和西部海口等地植被覆盖水平较低,可见这些区域仍需加大植被修复力度,以期尽快实现海南本岛的碳中和目标等。

参考文献(References):

- [1] GONG Z, ZHAO S and GU J. Correlation analysis between vegetation coverage and climate drought conditions in North China During 2001 - 2013[J]. Journal of Geographical Sciences, 2017, 27(2): 143-160.
- [2] WANG Huan. Estimation method of vegetation coverage based on Landsat data and spatiotemporal continuous mapping[D]. Wuhan: Wuhan University, 2021.[王欢. Landsat数据植被覆盖度的估算方法与时空连续制图[D]. 武汉: 武汉大学, 2021.]
- [3] GAO Qianqian, CHEN Can, LIU Hena, *et al.* Temporal and spatial variation of vegetation coverage and topographic differentiation in MinJiang River Basin [J]. Forest Resources Management, 2022(2): 91-99.[高倩倩, 陈灿, 刘贺娜, 等. 闽江流域植被覆盖度时空变化及地形分异特征[J]. 林业资源管理, 2022(2): 91-99.]
- [4] CHEN Yunlin. Extraction and analysis of vegetation coverage in Qinghai Lake Basin based on Landsat and MODIS NDVI data[D]. Beijing: China university of geosciences, 2019.[陈韵琳. 基于Landsat和MODIS NDVI时序数据的青海湖流域植被覆盖度提取及其变化分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2019.]
- [5] WANG Si, ZHANG Lulu, LIN Weibiao, *et al.* Study on vegetation cover and land use change based on MODIS-normalized vegetation index in Guangdong Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(6): 2149-2163.[王思, 张路路, 林伟彪, 等. 基于MODIS-归一化植被指数的广东省植被覆盖与土地利用变化研究[J]. 生态学报, 2022, 42(6): 2149-2163.]
- [6] WU Qingyun. Analysis of dynamic change and driving factors of vegetation coverage in Hefei City based on Landsat image [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2021.[吴青云. 基于Landsat影像的合肥市植被覆盖度动态变化及驱动因子分析[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2021.]
- [7] WEI Qinhu, LUO Wenfei, Li Hao, *et al.* Comparison of vegetation coverage estimation models based on UAV hyper-spectral images by remote sensing[J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2021, 53(6): 79-87.[韦钦桦, 罗文斐, 李浩, 等. 基于无人机高光谱影像的植被覆盖度遥感估算模型比较[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2021, 53(6): 79-87.]
- [8] ZHANG Y R HE Y, LI Y L, *et al.* Spatiotemporal variation and driving forces of NDVI from 1982 to 2015 in the Qinba Mountains, China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2022, 29(34): 1-12.
- [9] PENG Jingjing, YAN Ruliu. Analysis of vegetation coverage dynamics and its influencing factors in Hunan Province [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2022, 50(7): 51-54.[彭晶晶, 闫如柳. 湖南省植被覆盖度动态变化监测及影响因素分析[J]. 安徽农业科学, 2022, 50(7): 51-54.]
- [10] HAN Jing, ZHANG Guofeng, LI Weiguang, *et al.* Nearly 20 years of Hainan island vegetation ecological quality characteristics analysis[J]. Ecological Science, 2022, 41(1): 20-30.[韩静, 张国峰, 李伟光, 等. 近20年海南岛植被生态质量变化特征分析[J]. 生态科学, 2022, 41(1): 20-30.]
- [11] LUO Hongxia, DAI Shengpei, LIU Enping, *et al.* Temporal and spatial changes of vegetation cover in Hainan Island from 2001 to 2014 [J]. Soil and Water Conservation Research, 2018, 25(5): 343-350.[罗红霞, 戴声佩, 刘恩平, 等. 2001-2014年海南岛植被覆盖度时空变化特征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 343-350.]
- [12] LIANG Chenbing, CHENG Bo, HE Guojin. Landsat series remote sensing deep-processing dataset of Hainan Island from 1970 to 2017 [J]. Chinese Science Data, 2019, 4(2): 120-129.[梁琛彬, 程博, 何国金. 1970-2017年海南岛Landsat系列卫星遥感深加工数据集[J]. 中国科学数据(中英文网络版), 2019, 4(2): 120-129.]
- [13] JIA Kun, YAO Yunjun, WEI Xiangqin, *et al.* Advances in remote sensing estimation of vegetation coverage [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(7): 774-782.[贾坤, 姚云军, 魏香琴, 等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. 地球科学进展, 2013, 28(7): 774-782.]
- [14] LI Miaomiao, WU Bingfang, YAN Changzhen, *et al.* Remote sensing estimation of vegetation coverage in the upper reaches of Miyun Reservoir [J]. Resources Science, 2004, 26(4): 153-159.[李苗苗, 吴炳方, 颜长珍, 等. 密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J]. 资源科学, 2004, 26(4): 153-159.]
- [15] Toby N. Carlson, David A. Ripley. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and Leaf Area Index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241-252.
- [16] Qi Yaxiao, ZHANG Fei, CHEN Rui, *et al.* Dynamic change of vegetation cover on the Northern slope of Tianshan Mountains from 2001 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(11): 3677-3687.[齐亚霄, 张飞, 陈瑞, 等. 2001—2015年天山北坡植被覆盖动态变化研究[J]. 生态学报, 2020, 40(11): 3677-3687.]
- [17] Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. General Principles of Comprehensive soil and Water Conservation Management Planning GB/T 15772-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.[中华人民共和国水利部. 水土保持综合治理规划通则 GB/T 15772-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.]

- [18] LIU Ruiyao, XU Li, FENG Fei, *et al.* Temporal and spatial changes of vegetation coverage in Wuhai City from 2000 to 2018[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 265-273.[刘瑞瑶, 许丽, 丰菲, 等. 2000-2018年乌海市植被覆盖度时空变化[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 265-273.]
- [19] ZHANG Linglin, YANG Cunjian. Jiange vegetation coverage change of time and space and Landscape differentiation research [J]. Western Forestry Science, 2022, 51(1): 141-147. [张铃林, 杨存建. 剑阁县植被覆盖度时空变化及地形分异研究[J]. 西部林业科学, 2022, 51(1): 141-147.]
- [20] TANG Qiaoying, QI Dehui, SONG Liwang, *et al.* Study on the correlation between vegetation coverage and topographic factors in Yanhe River Basin based on GIS and RS [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(4): 198-203. [汤巧英, 戚德辉, 宋立旺, 等. 基于GIS和RS的延河流域植被覆盖度与地形因子的相关性研究[J]. 水土保持研究, 2017, 24(4): 198-203.]
- [21] ZHANG Huixia, LI Yongmei, ZHANG Na. Relationship between temporal and spatial characteristics of vegetation coverage and topographic factors in Fenhe River Basin[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 353-359, 368. [张会霞, 李永梅, 张娜. 汾河流域植被覆盖度时空特征与地形因子的关系[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 353-359, 368.]
- [22] HUANG Deqing, YU Lan, ZHANG Yaosheng, *et al.* Study on the relationship between underground biomass and environmental factors in natural grassland on the Northern Slope of Qilian Mountains[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2011, 20(5): 1-10. [黄德青, 于兰, 张耀生, 等. 祁连山北坡天然草地地下生物量及其与环境因子的关系[J]. 草业学报, 2011, 20(5): 1-10.]

Study on the Spatial-Temporal Variation of Vegetation Cover and its Topographic Effect in Hainan Island based on Remote Sensing

WU Hongrong^{1,2,3,4}, ZHU Lanwei^{1,2,3}, YU Heng⁵, SHI Dong⁴

(1. Hainan Key Laboratory of Earth Observation, Hainan Institute of Space Information, Sanya 572029, China;

2. International Research Center of Big Data for Sustainable Development Goals, Beijing 100094, China;

3. Key Laboratory of Digital Earth Science, Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China;

4. School of Earth Sciences, Yangtze University, Wuhan 430000, China;

5. School of Geographical Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Vegetation cover plays an important role in maintaining the stability of the ecosystem and preventing the loss of water and soil. Hainan has developed in a rapid pace since its establishment as a province in 1988, which has led to tremendous changes in the vegetation cover across the Hainan Island. To shed light on the impact of topographic factors on the vegetation cover on the Hainan Island and provide a basis for a more reasonable ecological and environmental protection strategy for the island, this study targets the Hainan Island for research, and applies the normalized differential vegetation index and the dimidiate pixel model for the vegetation cover extraction based on the Landsat TM/OLI multispectral images of 1988, 1998, 2008 2017 and 2020, and provides a linear trend analysis in the characteristics of the vegetation cover changes on the Hainan Island in the last 30 years. Combined with the altitude, slope and aspect data obtained through 30m_DEM, it offers further explorations over the characteristics of the spatial distribution of vegetation cover on the Hainan Island with different topographic factors. The results show that: (1) The average vegetation cover on the Hainan Island from 1988 to 2020 is between 0.58~0.88, and the general trend is first downward and then upward; (2) High vegetation cover is mainly distributed in the central, southwestern and southeastern parts of the Hainan Island, while low vegetation cover mainly appears in areas of the island with man-made interference such as residential and coastal areas. (3) With the increase of altitude, the vegetation cover of various levels in the Hainan Island decreases, and the areas with an altitude of less than 100 meters have the largest vegetation cover; at 0~5° of the slope, the vegetation cover reaches the maximum, and with the increase of slope, the vegetation cover shrinks; and there is little difference in the vegetation cover between the shady and sunny slopes that are primarily characterized by high vegetation cover.

Key words: Fractional Vegetation Coverage (FVC); Remote sensing; Hainan Island; Change of time and space; Topographic factors