

文章编号: 1674-7054(2022)04-0397-07



基于 MODIS NDVI 的海南岛植被 覆盖面积的反演技术

杨静, 张亚杰, 张京红, 张明洁

(海南省气候中心/海南省南海气象防灾减灾重点实验室, 海口 570203)

摘要: 为了给合理监测海南岛植被生态环境变化提供理论依据, 基于 2015、2017 年海南岛 MODIS NDVI 数据、地表覆盖数据, 利用一元线性拟合、均方根误差分析、相关系数分析等方法开展了海南岛植被覆盖面积反演技术研究。结果表明: 2015 年海南岛最主要的地表覆盖类型为森林, 主要分布在五指山脉一带; 其次是耕地, 主要分布在海口、临高、澄迈、文昌、东方等沿海一带; 植被覆盖面积(森林、草地、灌丛、湿地)占总面积的 65.67%, 2017 年地表覆盖状况与 2015 年类似; 海南岛植被覆盖率总体较高, 中部山区市县植被覆盖率高高于沿海市县, 其中, 五指山植被覆盖率最高, 其次是琼中、白沙; 海口植被覆盖率最低, 其次是文昌、定安; 海南岛 NDVI 植被覆盖面积反演的最佳阈值为 0.70, 在此阈值下, NDVI 对 2015、2017 年植被覆盖的空间识别率分别达 78.64%、78.74%; 海南岛各市县植被覆盖面积与 NDVI 反演值的最佳拟合模型为: $y=0.8989x+62708142.60$, 拟合值与真实值的相关系数为 0.91, 均方根误差占平均值的 17.50%, 较反演值误差减少了 7.23%, 沿海市县植被覆盖面积拟合偏差率较大、内陆市县拟合偏差率较小。

关键词: 海南岛; NDVI; 植被覆盖面积反演

中图分类号: X 87; S 181.3 文献标志码: A

引用格式: 杨静, 张亚杰, 张京红, 等. 基于 MODIS NDVI 的海南岛植被覆盖面积的反演技术 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(4): 397-403. DOI: [10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.04.011](https://doi.org/10.15886/j.cnki.rdsxb.2022.04.011)

植被是生态系统的重要组成部分, 在陆地表面能量交换过程、生物地球化学循环过程和水文循环过程中扮演着重要的角色^[1-3]。传统的植被覆盖度地面测量方法有目估法、采样法、仪器法和照相法等^[4]。随着遥感技术的发展, 植被指数在植被覆盖度测量上得到了广泛应用^[5]。归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 为遥感影像中近红外波段反射值与红光波段反射值之差比上两者之和, 是目前评估植被状况最有效的参数之一。NDVI 能够反映出植物冠层的背景影响, 范围为-1~1, 负值表示地面覆盖为云、水、雪等; 0 表示有岩石或裸土等; 正值表

示有植被覆盖, 且随覆盖度的增大而增大^[6]。国内外学者利用 NDVI 进行了一系列的植被生态环境研究^[7-14]。TANG 等^[15]采用无人机遥感技术对中分辨率成像光谱仪 (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) NDVI 数据产品植被覆盖度的反演结果进行了验证, 结果表明, 利用 NDVI 数据产品反演沙漠地区植被覆盖率是可行的, 同时对 NDVI 数据产品进行校正可以有效提高反演精度。JAFARI 等^[16]评估了 MODIS 增强植被指数 (Enhanced Vegetation Index, EVI) 和 NDVI 在伊朗中部干旱和半干旱牧场地区的监测能力, 发现 NDVI 更适用于草地状况评价。LONG^[17]建立了

收稿日期: 2021-09-15

修回日期: 2022-03-09

基金项目: 海南省气象局青年基金项目 (HNQXQN202001); 国家重点研发计划课题“热带与特色林果气象灾害监测预警技术与业务平台” (2019YFD1002203); 中国气象局创新发展专项 (CXFZ2021J053); 海南省科技专项资助 (ZDYF2022SHFZ036)

第一作者: 杨静 (1993-), 女, 助理工程师, 硕士。研究方向: 健康气象。E-mail: graceyangOUC@163.com

通信作者: 张亚杰 (1987-), 男, 高级工程师, 硕士。研究方向: 应用气象和健康气象。E-mail: zhyajie87@163.com

植被覆盖二分像元反演模型,并用野外调查数据对模型精度进行验证,开展了鸭池示范区植被覆盖度的定量估算研究。王婷^[18]基于MODIS NDVI数据反演黑龙江兰西县植被覆盖度,结果表明,NDVI的估算精度可达80%。何国兴等^[19]以甘肃省高寒草甸为研究区,基于2000—2019年遥感数据和2014年实测数据,采用经验回归模型法构建植被覆盖度估算模型,结果表明,高寒草甸植被覆盖度的最佳反演植被指数为NDVI。刘晓菲^[20]研发了1种区域生长研究区的NDVI提取方法,提取出了江苏省金坛市植被覆盖度并进行验证,发现NDVI有较好的反演效果。李丽丽等^[21]基于MODIS NDVI数据利用像元二分模型反演植被覆盖度,分析了2000—2015年石羊河流域植被时空动态变化趋势。李晓松等^[22]利用NDVI对荒漠化地区的植被覆盖度进行了估测,其研究结果表明,NDVI能够有效地估测荒漠化地区的植被覆盖度。臧淑英等^[23]通过获取大庆1988、1996、2001年3个时段的TM影像,使用NDVI和SAVI两种植被指数,采用像元二分模型法和经验型法建立了大庆地区草地植被盖度的遥感定量反演模型,该模型的精度达到70.34%。

海南岛是我国唯一的热带气候岛屿,在充沛的光、热条件下,植被覆盖茂密丰富,确定合适的技术方法表征海南岛植被覆盖面积时空变化特征是值得研究的问题。前人的研究未涉及海南岛植被覆盖面积反演,基于此,笔者采用一元线性拟合、均方根误差分析、相关系数分析等方法开展基于MODIS NDVI的海南岛植被覆盖面积反演技术研究,旨在为合理监测海南岛植被生态环境变化提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况 海南岛地处中国南海西北部(108°37'E~110°30'E, 18°10'N~20°10'N),属热带海洋性季风气候,长夏无冬,降水丰沛;其地形(图1)为一穹形山体,四周低平,中间高耸,以五指山、鹦歌岭为隆起核心,向外围逐级下降^[24]。

1.2 数据来源与处理 1)2015、2017年海南省地表覆盖数据,来源于清华大学地球系统科学系全球地表覆盖数据集(<http://data.ess.tsinghua.edu.cn/>)。

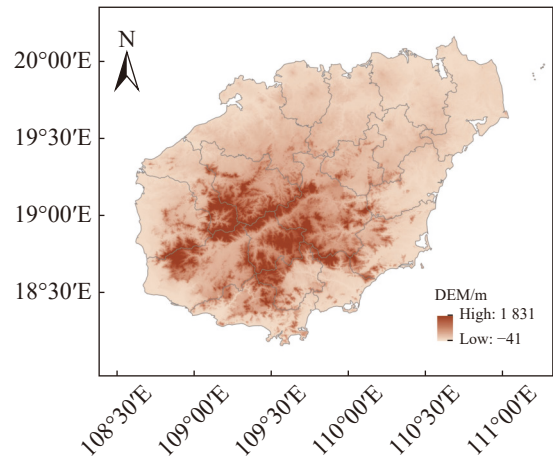


图1 海南岛地形

在ArcGIS软件中利用Extract by mask工具提取出森林、草地、灌丛、湿地的栅格图层作为植被覆盖区域;利用Zonal Statistics as Table工具统计各市县植被覆盖面积,以此代表海南岛各市县真实的植被覆盖状况。

2)2015、2017年MOD13Q1遥感数据(空间分辨率为250 m,时间分辨率为16 d),来源于美国航空航天局(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/>)。采用MODIS Reprojection Tools(MRT)软件对下载的原始数据进行格式转换、投影转换、数据拼接、裁切等预处理^[25]。为消除异常值的影响,采用最大值合成法(maximum value composites, MVC)合成月最大NDVI数据,最后得到海南岛2015、2017年平均NDVI值^[26]。

1.3 研究方法 NDVI对海南岛植被覆盖的模拟效果用植被覆盖区域空间识别率、真实值与模拟值之间的相关系数和均方根误差来表征。在MATLAB软件中设置步长为0.05的循环,找到NDVI识别海南岛植被覆盖空间分布状况的最佳阈值(认为NDVI大于此值的地区为植被覆盖区域),计算此阈值下各市县植被覆盖面积,并与植被覆盖面积真实值进行对比、建立统计回归模型。采用一元线性回归、均方根误差分析、相关性分析^[27]等方法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 海南岛地表覆盖分布 海南岛属热带海洋性季风气候,植被覆盖茂密,主要分布在中部五指山脉一带,典型的植被类型为热带常绿季雨

林^[26]。从海南岛 2015 年地表覆盖图可以看出,海南岛最主要的地表覆盖类型为森林, 占总面积的 57.85%; 其次是耕地, 占总面积的 29.85%, 主要分布在海口、临高、澄迈、文昌、东方等沿海一带。这些地区人类活动相对较强, 耕地面积大; 草地、灌丛、水体、硬化地表有零星的分布, 所占比例均小于 6%(图 2-a)。利用 ArcGIS 软件提取出海南

岛 2015 年森林、草地、灌丛、湿地的栅格图层, 得到植被覆盖面积占总面积的 65.67%。海南岛 2017 年地表覆盖状况与 2015 年类似, 最主要的地表覆盖类型为森林, 占总面积的 57.14%, 耕地占总面积的 31.41%, 植被覆盖面积占总面积的 62.57%(图 2-b)。

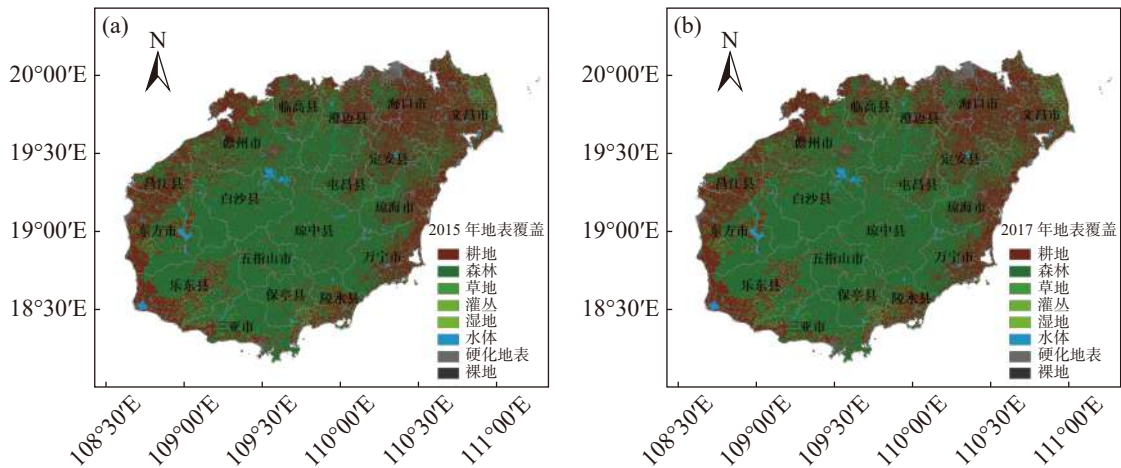


图 2 海南岛 2015 和 2017 年地表覆盖图

从海南岛 2015 和 2017 年各市县植被覆盖率(植被覆盖面积/行政区域面积)分布来看,海南岛植被覆盖率总体较高,且中部山区市县植被覆盖率高于沿海市县(图 3)。植被覆盖率最高的市县为五指山,2015 年植被覆盖率为 95.21%,2017 年为 94.39%。其次是琼中、白沙,2015 年植被覆盖率分别为 93.20%、91.34%,2017 年分别为 94.39%、92.03%。植被覆盖率最低的市县为海口,2015 年

植被覆盖率为 35.33%,2017 年为 25.86%。其次是文昌、定安,2015 年植被覆盖率分别为 42.02%、60.01%,2017 年分别为 32.30%、48.65%。

2.2 海南岛植被覆盖面积反演

2.2.1 NDVI 反演阈值确定

设置步长为 0.05 的循环计算不同阈值(认为大于此值的地区为植被覆盖区域)下 NDVI 对海南岛 2015、2017 年植被覆盖空间分布状况的识别率,选取最大识别率对应

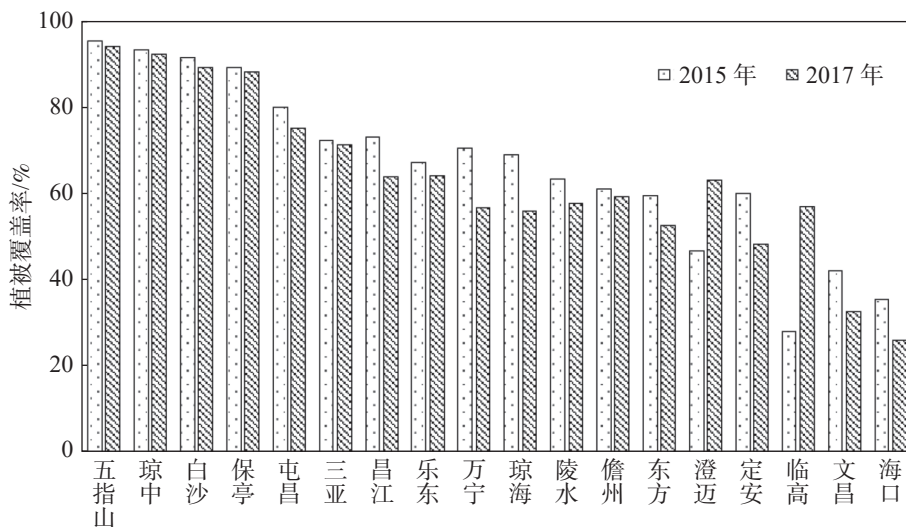


图 3 海南岛 2015 和 2017 年各市县植被覆盖率

的 NDVI 值作为反演阈值,得到 NDVI 最佳反演阈值为 0.70,此时 NDVI 对海南岛植被覆盖状况有较好的识别,2015、2017 年植被覆盖的空间识别率分别为 78.64%、78.74%。从空间分布图(图 4)可知,2015 年,NDVI 能识别出海南岛 55.58% 的植被覆盖区和 23.07% 的非植被覆盖区,但未能识别 10.67% 的植被覆盖区域,且多识别出了 10.69% 的植被覆盖区;NDVI 对内陆市县的植被覆盖区域有很好的识别,能捕捉到绝大部分植被覆盖区域;沿海市县识别误差大一些,临高、海口、澄迈 NDVI 多识别的植被覆盖区域较大(图 4-a)。2017 年,NDVI 能识别出海南岛 56.58%

的植被覆盖区和 22.17% 的非植被覆盖区,但未能识别 6.66% 的植被覆盖区域,且多识别出了 14.6% 的植被覆盖区,整体效果与 2015 年相当;NDVI 对内陆市县植被覆盖区域识别较好,能捕捉到绝大部分植被覆盖区域;沿海市县识别误差较大,海口、定安、琼海 NDVI 多识别的植被覆盖区域较大(图 4-b)。沿海市县反演偏差较大可能与人类活动频繁造成的土地利用情况复杂、植被覆盖相对稀疏有关。沿海市县 NDVI 未识别出的植被覆盖区域可能与 NDVI 阈值的选取有关,由于这些地区植被覆盖较中部山区稀疏,NDVI 阈值取 0.70 时,便将稀疏的植被地区滤除,造成沿海市县反演情况较差。

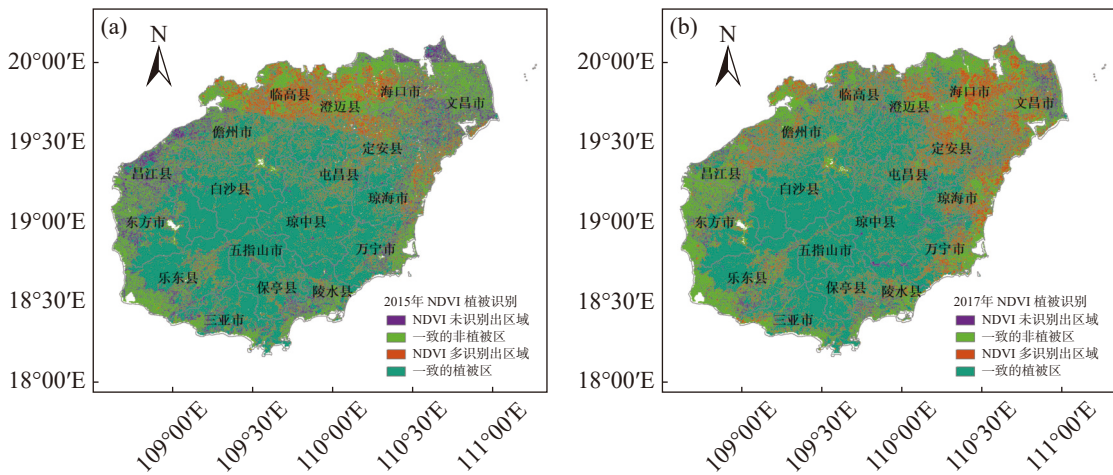


图 4 海南岛植被覆盖区域识别
(a)2015 年植被覆盖;(b)2017 年植被覆盖。

2.2.2 NDVI 植被覆盖面积拟合 采用得到的 NDVI 阈值,利用一元线性回归法建立海南岛 2015、2017 年各市县植被覆盖面积实际值与 NDVI 反演值之间的回归模型:

$$y = 0.8989x + 62708142.60,$$

式中, y 为各市县植被覆盖面积实际值, x 为 NDVI 最佳阈值对应的反演值。

图 5 为海南岛各市县植被覆盖面积实际值、NDVI 反演值及其拟合值的对比图,从图 5 可以看出,NDVI 反演值及其拟合值对海南岛各市县实际植被覆盖面积有较好的模拟,与真实值的相关系数均为 0.91,呈高度正相关,且拟合值更接近真实值。各市县拟合值的均方根误差占平均值的 17.51%,较反演值减少了 7.23%。其中,万宁植被

覆盖面积拟合值与实际值的偏差率最小,拟合值偏小 0.77%,其次是保亭偏大 0.85%、白沙偏小 1.30%;临高偏差率最大,拟合值偏大 66.38%,其次是海口、定安,分别偏大 42.84%、37.85%。总体来说沿海市县 NDVI 拟合偏差较大、内陆市县拟合偏差较小(图 6)

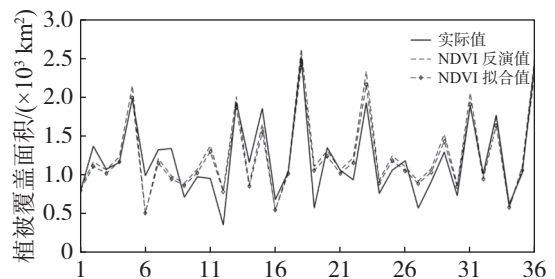


图 5 海南岛各市县植被覆盖面积实际值与 NDVI 反演拟合值

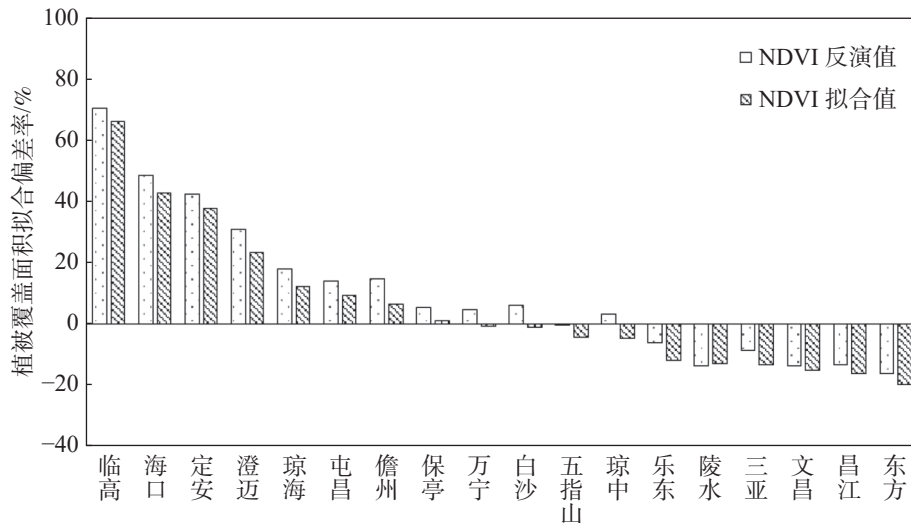


图6 海南岛各市县植被覆盖面积拟合偏差率

3 讨论

前人的研究多是利用卫星数据结合野外实测的植被覆盖度进行对比分析, 以此确定最能反演植被覆盖度变化的植被指数, 所得结果精准度较高, 但操作复杂, 未能覆盖全区域、全时段, 且对采集技术要求要高^[2-5]。目前, 海南岛未开展植被覆盖度实测工作, 因而笔者利用现有的清华大学土地覆盖数据开展植被覆盖面积反演技术研究, 所得结果可较好地拟合海南岛植被覆盖面积, 对海南岛生态植被研究有一定的指导意义。植被覆盖度反演精度不仅受地面土地利用变化的影响, 同时也受大气、云、植被空间分布、茂密程度等因素的影响^[18,22,28]。沿海市县由于本身人类活动频繁, 土地利用情况复杂, 易将非植被地区识别为植被地区; 植被覆盖相对稀疏, NDVI 阈值较高时, 便将稀疏的植被区滤除, 造成 NDVI 反演偏差较大, 下一步将根据沿海市县植被分布特点确定适合沿海市县的阈值; 目前, 仅获取 2 年的土地利用数据, 其他年份数据暂未公开分享, 本研究的反演方法仍需在更长时间序列上予以验证并补充完善; 此外, 本研究仅用到了 MODIS NDVI 数据, NDVI 是度量植被覆盖状况最常用的指数, 但易受到土壤、大气的影响。下一步工作将比较不同卫星遥感数据集、不同植被指数的反演效果^[29-30], 以期获得更精准的海南岛植被覆盖面积反演结果。

基于 2015 和 2017 年海南岛 MODIS NDVI 数据、地表覆盖数据, 利用一元线性拟合、均方根误差分析、相关系数分析等方法开展了海南岛植被

覆盖面积反演技术研究, 得到以下结论:

(1) 2015 年海南岛最主要的地表覆盖类型为森林, 占总面积的 57.85%, 主要分布在五指山山脉一带; 其次是耕地, 占总面积的 29.85%, 主要分布在海口、临高、澄迈、文昌、东方等沿海一带; 植被覆盖面积(森林、草地、灌丛、湿地) 占总面积的 65.67%。海南岛 2017 年地表覆盖状况与 2015 年类似。

(2) 海南岛植被覆盖率总体较高, 且中部山区市县植被覆盖率高于沿海市县。植被覆盖率最高的市县为五指山市, 其次是琼中、白沙; 植被覆盖率最低的市县为海口, 其次是文昌、定安。

(3) 海南岛 NDVI 植被覆盖面积反演最佳阈值为 0.70。在此阈值下, NDVI 对 2015、2017 年植被覆盖空间识别率分别达 78.64%、78.74%, 反演值与真实值的相关系数为 0.91, 呈高度相关, 其中内陆市县植被覆盖区域反演效果最好。

(4) 海南岛各市县植被覆盖面积与 NDVI 反演值的最佳拟合回归模型为: $y=0.8989x+62708142.60$ 。各市县拟合值的均方根误差占平均值的 17.50%, 较反演值误差减少 7.23%。沿海市县植被覆盖面积拟合偏差率较大、内陆市县偏差率较小, 其中, 万宁、保亭、白沙最小, 临高、海口、定安最大。

参考文献:

- [1] 张云霞, 李晓兵, 陈云浩. 草地植被盖度的多尺度遥感与实地测量方法综述[J]. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 85-93.

- [2] 陈啟英. 基于多源遥感数据时空融合的喀斯特地区植被覆盖度及动态变化分析[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020.
- [3] 冷若琳. 基于机器学习的祁连山草地植被覆盖度遥感估算研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2020.
- [4] 常慧. 基于多源遥感的植被覆盖度反演研究——以青海湖流域为例[D]. 西宁: 青海师范大学, 2015.
- [5] 吕京京. 海流兔河流域地下水对植被指数分布的影响研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.
- [6] PARUELO J M, Epstein H E, Burke L I C. ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States [J]. *Ecology*, 1997, 78(3): 953 – 958.
- [7] 马海云, 张林林, 魏学琼, 等. 2000—2015年西南地区土地利用与植被覆盖的时空变化[J]. *应用生态学报*, 2021, 32(2): 618 – 628.
- [8] 王思琪. 基于 Landsat 和 MODIS NDVI 时序数据的黄河源植被覆盖度提取和变化分析[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [9] XU Y, YANG J, CHEN Y. NDVI-based vegetation responses to climate change in an arid area of China [J]. *Theoretical & Applied Climatology*, 2016, 126(1/2): 213 – 222.
- [10] PANG G, WANG X, YANG M. Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012 [J]. *Quaternary International*, 2016, 444(pt.a): 87 – 96.
- [11] WANG J, XIE Y, WANG X, et al. Detecting patterns of vegetation gradual changes (2001 to 2017) in Shiyang River Basin based on a novel framework [J]. *Remote Sensing*, 2019, 11(21): 2475.
- [12] EDWARDS R, TREITZ P. Vegetation greening trends at two sites in the Canadian Arctic: 1984–2015 [J]. *Arctic Antarctic & Alpine Research*, 2017, 49(4): 601 – 619.
- [13] 杜加强, 贾尔恒·阿哈提, 赵晨曦, 等. 1982—2012年新疆植被 NDVI 的动态变化及其对气候变化和人类活动的响应[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(12): 3567 – 3578.
- [14] 刘宪锋, 朱秀芳, 潘耀忠, 等. 1982—2012年中国植被覆盖时空变化特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(6): 5331 – 5342.
- [15] TANG L, HE M, LI X. Verification of fractional vegetation coverage and NDVI of desert vegetation via UAVRS technology [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(11): 1742.
- [16] JAFARI R, BASHARI H, TARKESH M. Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands [J]. *Arid Soil Research & Rehabilitation*, 2017, 31(1): 94 – 110.
- [17] LONG X M. Study on Karst Rock-desertification of extracting vegetation coverage inversion based on NDVI serial images and dimidiate pixel Model [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(8): 4184 – 4186.
- [18] 王婷. 基于资源三号卫星数据的植被覆盖度估算研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2014.
- [19] 何国兴, 柳小妮, 张德罡, 等. 甘肃省高寒草甸植被覆盖度反演及其时空变化研究[J]. *草地学报*, 2021, 29(3): 593 – 602.
- [20] 刘晓菲. 基于长时序多源遥感数据的植被覆盖度反演与变化检测研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2014.
- [21] 李丽丽, 王大为, 韩涛. 2000—2015年石羊河流域植被覆盖度及其对气候变化的响应[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(5): 212 – 222.
- [22] 李晓松, 李增元, 高志海, 等. 基于 NDVI 与偏最小二乘回归的荒漠化地区植被覆盖度高光谱遥感估测[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(1): 162 – 167.
- [23] 臧淑英, 那晓东, 冯仲科. 基于植被指数的大庆地区草地退化因子遥感定量反演模型的研制[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(S1): 98 – 104.
- [24] 王春乙. 海南气候[M]. 北京: 气象出版社, 2014: 5-10.
- [25] 宋乃平, 杜灵通, 王磊. 盐池县 2000—2012 年植被变化及其驱动力[J]. *生态学报*, 2015, 35(22): 7377 – 7386.
- [26] HOLBEN B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1417 – 1434.
- [27] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2009: 63-65.
- [28] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. *地理学报*, 2012, 67(9): 1255 – 1268.
- [29] FATIH E, Onder G. Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey [J]. *Sensors*, 2008, 8(9): 5270 – 5302.
- [30] 章婷. 基于 MODIS NDVI/EVI 提取的宁夏复种指数与气候要素的相关性分析[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2017.

Research on the inversion technique of vegetation coverage in Hainan island based on MODIS NDVI

YANG Jing, ZHANG Yajie, ZHANG Jinghong, ZHANG Mingjie
(Hainan Climate Center/Key Laboratory of South China Sea Meteorological Disaster Prevention and Mitigation of Hainan Province, Haikou, Hainan 570203, China)

Abstract: In order to provide theoretical basis for reasonable monitoring of vegetation ecological environment changes in Hainan Island, based on MODIS NDVI data and land cover data of Hainan Island in 2015 and 2017, the inversion technology of vegetation cover area in Hainan Island was studied by univariate linear fitting, root mean square error analysis and correlation coefficient analysis. The results indicated that the main type of land cover in Hainan Island was forest in 2015 which was mainly distributed in Wuzhishan mountains; Secondly, cultivated land was mainly distributed in Haikou, Lingao, Chengmai, Wenchang, Dongfang and other coastal areas; The vegetation coverage area (forest, grassland, shrub and wetland) accounted for 65.67% of the total area. The surface coverage in 2017 was similar to that in 2015. The vegetation coverage of Hainan Island is generally high, and the vegetation coverage of cities in the central mountainous area is higher than that of coastal cities. Wuzhishan has the highest vegetation coverage rate, followed by Qiongzong and Baisha; Haikou had the lowest vegetation coverage, followed by Wenchang and Ding'an. The best threshold of NDVI vegetation coverage inversion in Hainan Island is 0.70, under this threshold, the spatial recognition rates of NDVI for vegetation cover in 2015 and 2017 reached 78.64% and 78.74% respectively; The best fitting regression model of vegetation coverage area and NDVI inversion value in Hainan Island was $y=0.8988x+62708142.60$, the correlation coefficient is 0.91 and the root mean square error accounted for 17.50% of the actual mean value, the error is reduced by 7.23% compared with the inversion value. The fitting deviation rate of vegetation coverage area in coastal cities was larger than that in inland cities.

Keywords: Hainan Island; NDVI; inversion of vegetation coverage

(责任编辑:刘少军 责任编辑:潘学峰)