

台湾省植被 NDVI 随海拔高度的变化及其气候响应

林日志, 钟亮, 刘小生

(江西理工大学 建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

摘要: [目的] 揭示台湾省陆地植被生态系统随海拔高度的变化趋势及其响应程度, 为区域可持续发展、生态环境保护提供理论依据。[方法] 基于台湾省 1998—2018 年 SPOT/VEGETATION NDVI 卫星遥感数据、气象及 DEM 数据, 结合相关分析法、回归分析法等数理统计方法, 对气候变化下的台湾省植被归一化植被指数(NDVI)变化趋势及区域响应进行了分析。[结果] 1998—2018 年台湾省植被 NDVI 均值增长率为 5.09%; 台湾省不同高程范围所占的面积比例差异较大, <500 m 区域的面积比例高达 52.49%, $>3\,600$ m 区域的面积比例仅为 0.01%, 且 NDVI 均呈现较低值, 分别为 0.72 和 0.73; 1998—2018 年台湾省海拔除 $>3\,600$ m 外, 其他海拔高程范围 NDVI 均值增长明显 ($p < 0.001$); 在 $500 \sim 3\,600$ m 高程范围内, NDVI 年均值与气温、降雨相关关系显著 ($p < 0.05$)。[结论] 海拔越高, 植被生长状况对降雨的变化较气温更为敏感。

关键词: 归一化植被指数(NDVI); 海拔高度; 气候因子; 台湾省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)01-0304-06

中图分类号: S157.2, Q948

文献参数: 林日志, 钟亮, 刘小生. 台湾省植被 NDVI 随海拔高度的变化及其气候响应[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 304-309. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2020.01.044; Lin Rizhi, Zhong Liang, Liu Xiaosheng. Change of vegetation NDVI with altitude and its climatic response in Taiwan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(1): 304-309.

Change of Vegetation NDVI with Altitude and Its Climatic Response in Taiwan Province

Lin Rizhi, Zhong Liang, Liu Xiaosheng

(School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering,

Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: [Objective] To provide a theoretical basis for regional sustainable development and ecological environmental protection, the changing trend with altitude of Taiwan's terrestrial vegetation ecosystem and its response to climatic were investigated. [Methods] Based on SPOT/VEGETATION NDVI satellite remote sensing data, meteorological, and digital elevation model (DEM) data from 1998—2018, we combined a regression analysis and correlation analysis to assess the normalized difference vegetation index(NDVI) trend and regional response of vegetation in Taiwan Province under climate change. [Results] The average growth rate of NDVI of vegetation in Taiwan Province from 1998 to 2018 was 5.09%; The proportion of area occupied by different elevation ranges in Taiwan Province was quite different, the area proportion <500 m area was as high as 52.49%, the area proportion $>3\,600$ m area was only 0.01%, and NDVI in the two altitude ranges showed lower values, 0.72 and 0.73; From 1998 to 2018, except for the altitude of $>3\,600$ m, the mean value of NDVI in other altitude ranges increased significantly ($p < 0.001$). In the elevation range of $500 \sim 3\,600$ m, the annual mean of NDVI was significantly correlated with temperature and rainfall ($p < 0.05$). [Conclusion] The higher the altitude, the more sensitive is the growth of vegetation to the change of rainfall as compared to the change of temperature.

Keywords: normalized difference vegetation index(NDVI); altitude; climate factors; Taiwan Province

收稿日期: 2019-07-10

修回日期: 2019-10-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于支持向量机的岩质边坡滑移变形智能预测模型研究”(41561091); 江西省科技厅重点项目“云 GIS 支持下的防汛抗洪空间数据高效管理技术及应用研究”(20142BBE50024)

第一作者: 林日志(1991—), 男(汉族), 广西壮族自治区梧州市人, 硕士研究生, 研究方向为生态环境遥感。Email: 1024150494@qq.com。

通讯作者: 刘小生(1963—), 男(汉族), 江西省新余市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事地球信息科学方面的研究。Email: Lxs9103@163.com。

植被在调节区域气候、水土保持、生物多样性保护等方面起着关键作用^[1-5]。台湾省地处中国大陆架的东南缘,海陆属性兼备,自然环境复杂多变,生态十分脆弱。近年来,随着全球气候持续变暖,区域经济的快速发展以及城市建设用地不断向外扩张,对区域植被生长产生了前所未有的严重影响。台湾省海拔变化相对较大,水热条件以及人类活动等限制因素对植被的生长影响具有明显的地带性和区域性,因此,在全球变暖的大背景下,研究台湾不同海拔植被覆盖变化及其对气候的响应,对于探讨区域陆地植被生态系统的变化规律具有重要的现实意义。

利用遥感技术提取长时间序列植被 NDVI(normal difference vegetation index)数据,能够准确、快速地监测区域植被生长的动态演变,是监测植被生态系统变化的重要手段^[6-9]。Jacqueline 等^[10]研究发现,阿尔卑斯山 1 650~2 450 m 范围内植被覆盖变化对人类活动的响应程度较区域气候变化更为强烈。崔晓临等^[11]研究表明,全球气候变化则对高海拔区域陆地植被生态系统的影响更加显著。Chang 等^[12]利用主成分分析法探讨了台湾岛植被变化与环境因子的响应程度,研究发现,台湾岛生态系统的敏感性不仅受到区域气候和人类活动的调节,而且更容易受到大规模气候异常的影响。Tsai 等^[13]利用 AVHRR NDVI3g 数据集并结合冗余分析(RDA)和层次聚类法(HCA)分析了台湾岛 1981—2015 年间不同区域的植被动态变化规律。Chian 等^[14]对台湾南部山地植被的生长状况进行了监测,结果发现,南部植被类型数量显著下降,冬季降雨以及 1 月平均气温是影响该地区植被垂直分布变化的主要环境因子。可见,不同的环境因子对不同地区、不同尺度下区域植被的影响具有多样性和差异性。由于海拔较高,台湾山脉气候的垂直分异十分明显,迄今为止,台湾省植被 NDVI 随海拔梯度的变化规律及其对气候变化的响应特征尚不明确。基于此,本文选取台湾省作为研究区域,利用 1998—2018 年 NDVI 数据、气象数据以及 DEM 数据,着重分析台湾省 NDVI 分布的海拔梯度差异及其气候响应,旨在揭示台湾陆地植被生态系统随海拔高度的变化趋势及其响应程度,以期为区域可持续发展、生态环境保护提供一些理论依据。

1 研究区概况

台湾省位于东经 124°34′30″—119°11′03″,北纬 21°45′25″—25°56′30″之间,由欧亚板块、冲绳板块、菲律宾板块挤压而隆起的岛屿,是中国第一大岛,岛上玉山主峰作为中国东部沿海地区的最高峰,其最高点

的海拔高度为 3 997 m。岛上南北狭长,北回归线横穿岛的中南部,北部地区属亚热带气候,南部地区属热带气候,整体上呈现高温、多雨、多风的气候特点。全岛陆地面积约 36 000 km²,近 60%的土地面积被森林覆盖,辽阔的山地面积和温暖湿润的气候条件共同孕育了台湾岛极其丰富的森林资源,使得台湾岛有着“亚洲天然植物园”的美誉。其中,热带林、亚热带林、温带林、寒带林面积分别占台湾森林资源面积的 56%,31%,11%和 2%,嘉义市的阿里山、台中的八仙山和台北的太平山是台湾岛最著名的三大林区。由于台湾岛四面环海的特殊地理位置和地形地质构造,使得研究区成为欧亚大陆台风、暴雨、洪水、地震、泥石流等严重自然灾害多发的地区。

2 研究方法、数据来源及处理

2.1 数据来源及处理

本研究所采用的遥感数据是基于连续时间序列的 SPOT/VEGETATION NDVI 卫星遥感数据,采用最大值合成法(max value composites, MVC)生成的 21 a 植被指数数据集,时间分辨率为 10 d,空间分辨率为 1 km,研究所选用的遥感数据时间周期为 1998 年 1 月至 2018 年 12 月,该数据集经过了系统误差校正,辐射校正以及几何校正等一系列预处理,在 ArcGIS10.6 软件中裁剪得到台湾省 NDVI 数据集。气象数据包括逐年的气温和降水量数据,时间跨度为 1998—2018 年,空间分辨率为 1 km。采用平滑样条函数对全国 2 400 多个气象站点观测数据进行多变量的数据插值处理。基于平滑样条函数对数据插值的方法能够对数据进行有效的诊断以及合理的统计分析,在地球科学领域被广泛应用。并利用 ArcGIS10.6 软件裁剪得到台湾省年均气温、年均降水量空间插值栅格数据集。高程数据为 1 km 空间分辨率的 SRTM DEM 数据。上述遥感数据、气象数据以及 DEM 数据均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。

其中,SPOT/VGT NDVI 数据产品已经广泛应用到植被分类、全球或区域尺度的土地覆盖变化、农作物生长以及物候监测等方面^[15]。但该数据采用的最大值合成法(MVC)对云污染点进行处理,并不能保证选择到的象元为最佳象元^[16]。为了提高数据质量以及保证研究成果的正确性与可信度,本研究采用 NDVI 时间序列谐波分析法(Harmonic Analysis of NDVI Time-Series, HANTS)对时间序列数据进行重构,以去除最大值合成法无法去除的部分云噪声^[17]。

2.2 研究方法

2.2.1 时间序列谐波分析法 时间序列谐波分析算法的核心算法是傅里叶变换和最小二乘法拟合,完成对时序数据的平滑处理,被广泛应用于植被动态变化的定量化监测。该方法把时间波谱数据分解成一系列不同频率的正弦曲线和余弦曲线,并将正余弦曲线进行叠加,以达到对时序数据的重建进而去除云污染点的目的。计算公式^[17]如下:

$$y_i=A_0+\sum_{j=1}^MA_j\sin(\omega_jt+v_j)\quad(i=1,2,\cdots,N)\quad(1)$$

式中: A_0 为谐波的余项,等于时间序列曲线的平均值; $M=N-1$ 为谐波个数; $\omega_j=2j\pi/N$ 为谐波的频率; N 为时间跨度; A_j,v_j 为谐波的振幅与初始相位。

2.2.2 偏相关分析法 偏相关分析是指两个变量同时与第 3 个变量相关时,将第 3 个变量的影响剔除,只分析另外两个变量之间相关程度的过程。计算公式如下:

$$r_{xy\cdot z}=\frac{r_{xy}-r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}}\quad(2)$$

式中: r_{xyz} 为变量 z 固定后变量 x 和 y 的偏相关系数; r_{xy} 为变量 x 与变量 y 的相关系数; r_{xz} 为变量 x 与变量 z 的相关系数; r_{yz} 为变量 y 与变量 z 的相关系数。其中,相关系数计算公式如下:

$$r_{xy}=\frac{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n(x_i-\bar{x})^2\sum_{i=1}^n(y_i-\bar{y})^2}}\quad(3)$$

式中: r_{xy} 为变量 x 与变量 y 的相关系数。相关系数及偏相关系数显著性均采用 T 双侧检验。

3 结果与分析

3.1 台湾省植被 NDVI 时间序列数据的图像分析

为了对比数据质量改善情况,从 SPOT NDVI 数据集中选取 2018 第 20 旬(7 月 11 日至 20 日)的图像进行对比(见图 1)。可以看出,经过重构后的数据图像,原来无云的区域 NDVI 值并没有发生明显改变,而在中央山脉等较高海拔地区,地表覆盖状况与原图像相比清晰度有了一定的提升。

3.2 台湾省植被 NDVI 变化

3.2.1 植被 NDVI 时间序列变化趋势 在 ArcGIS 中对研究区 21 a 植被 NDVI 均值数据进行统计(见图 2),并利用 SPSS 工具对长时间序列 NDVI 数据做回归分析,结果表明,1998—2018 年研究区植被 NDVI 以每年 0.2% 的速率极显著增加($p<0.001$)。其中,1998 年植被 NDVI 均值为 0.766,2018 年上升

到 0.805,增长率为 5.09%。台湾整体植被 NDVI 在时间上呈现“波动上升—明显改善”的态势。其中,2002 年植被 NDVI 值偏低,可能主要受台风、极端干旱和极端降雨事件等直接影响以及降雨诱发滑坡等间接影响,相关报告显示^[18],2002 年台湾省出现严重干旱,直接造成全岛缺水,严重影响了台湾中南部地区农业以及其他植被的生长。2006,2009,2011 年植被 NDVI 均出现轻微的波动,相比之下,2002 年植被波动程度最大,其他年份的 NDVI 呈明显改善趋势。

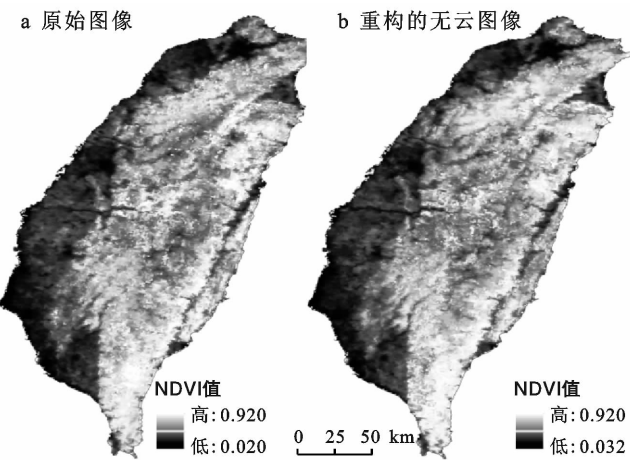


图 1 台湾省植被 NDVI 数据质量对比分析

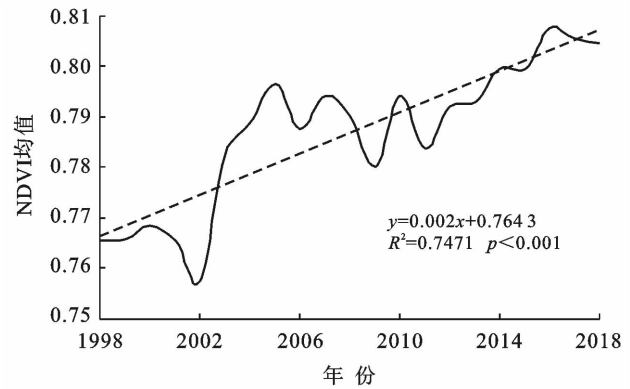


图 2 1998—2018 年台湾省植被 NDVI 变化趋势

3.2.2 植被 NDVI 垂直变化特征 根据台湾岛的地形地貌,同时参考已有研究^[19],在 ArcGIS10.6 中将台湾海拔高程划分为 7 个等级(见表 1)。

利用 ArcGIS10.6 提供的面积制图工具计算得到不同海拔高程范围所占的面积比例(见图 3),由图 3 可知,随着高程的增加,研究区不同海拔高程范围所占的面积比例呈现逐渐递减的趋势。其中,<500 m 区域的面积比例高达 52.49%,>3 600 m 区域的面积比例仅为 0.01%。

表 1 台湾省气候植被带

海拔高度/m	年均气温/℃	年均降雨/mm	植被带	气候带
>3 600	5	2 031	高山植被	亚寒带
3 100~3 600	8	2 002	寒温带针叶林	寒温带
2 500~3 100	10	1 952	冷温带针叶林	冷温带
2 000~2 500	12	1 899	温带针阔叶混交林	温带
1 500~2 000	15	1 847	暖温带常绿落叶混交林	暖温带
500~1 500	19	1 763	亚热带常绿林	亚热带
<500	23	1 652	热带常绿林	热带

利用 ArcGIS 提供的区域统计工具,提取得到研究区 21 a 各海拔高程范围内的 NDVI 平均值并绘制成折线图(见图 3),由图 3 可知,随着高程的增加,研究区植被 NDVI 走势整体上呈现先迅速上升后逐渐下降的趋势,在海拔 500~1 500 m 范围内,NDVI 值最大,为 0.87,两侧 NDVI 值递减;在海拔<500 m 以及>3 600 m 范围内,NDVI 呈现较低值,分别为 0.72 和 0.73。结合 DEM 分级数据,在 ArcGIS10.6 中对研究区 21 a 的 NDVI 均值数据按照 7 个等级(海拔>3 600 m 面积占比较小,本文将海拔>3 100 m 范围整合为图 4f)进行空间分布制图(见图 4),结果

显示,海拔<500 m(见图 4a),NDVI 值较低且集中分布,0.60~0.70 占比最大;随着高程的增加,海拔 500~1 500 m,1 500~2 000 m 范围内,NDVI 值逐渐升高且呈环状集中分布于 0.76~0.91;海拔2 000~2 500 m,NDVI 值呈带状分布并开始出现下降趋势但依然维持高值状态;海拔 2 500~3 100 m,NDVI 值高度集中于 0.80~0.85,NDVI 值呈现降低趋势;海拔>3 100 m,NDVI 值急剧下降且呈现松散分布状态。

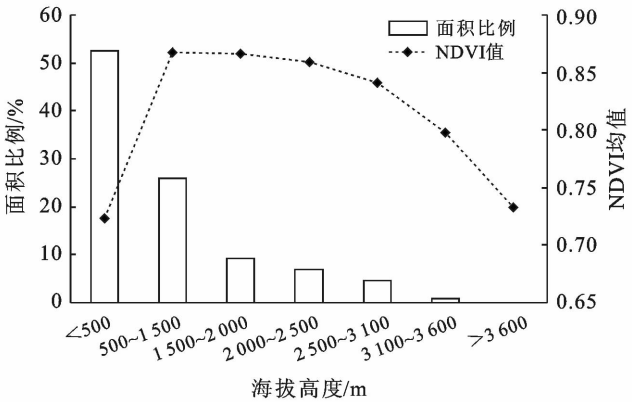


图 3 台湾省 NDVI 值垂直分布

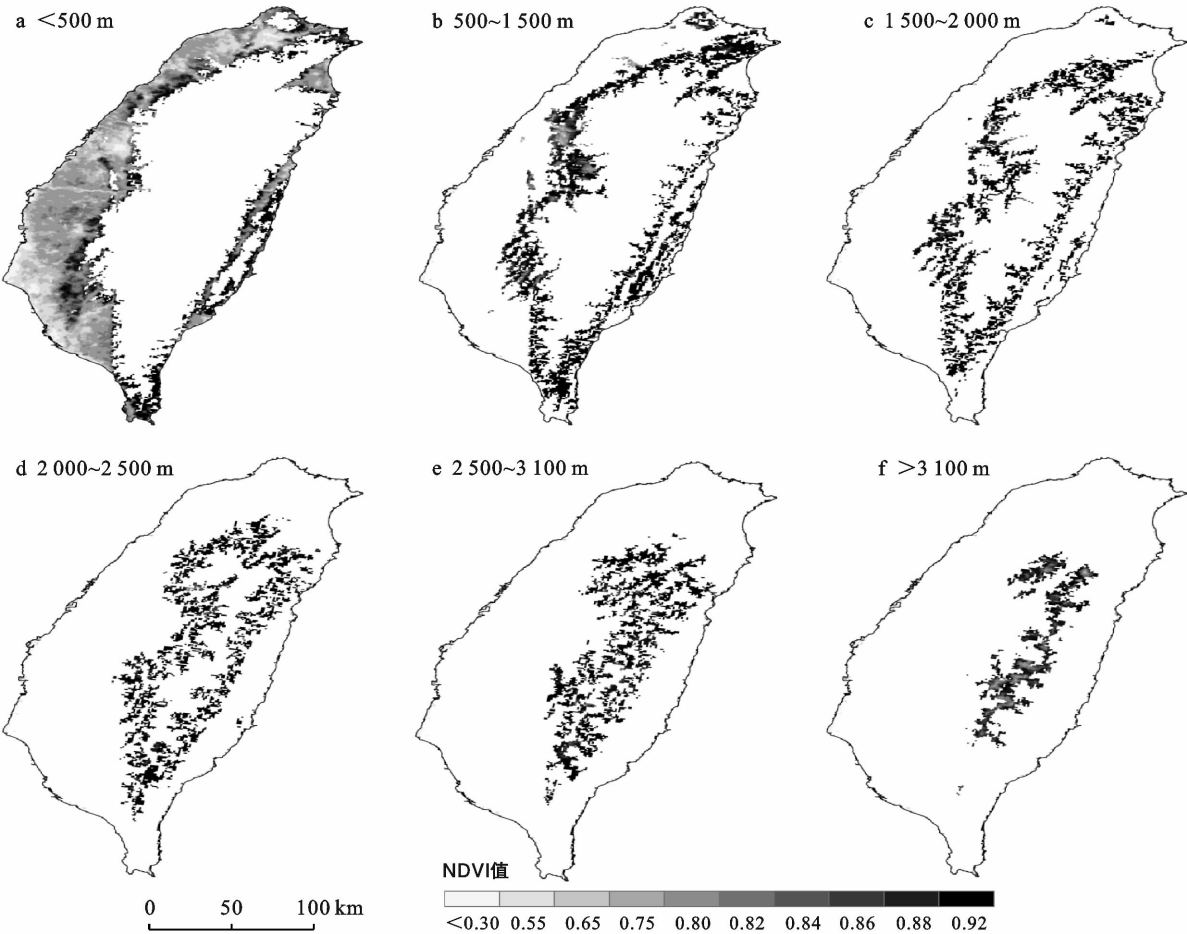


图 4 1998—2018 年台湾省各海拔梯度 NDVI 均值空间分布

3.3 植被 NDVI 海拔梯度差异

利用 SPSS 对 1998—2018 年研究区各海拔梯度 NDVI 均值变化进行线性回归分析(见表 2),结果显示,1998—2018 年台湾省海拔除 $>3\,600\text{ m}$ ($p>0.05$)外, $<500\text{ m}$ ($p<0.001$), $500\sim1\,500\text{ m}$ ($p<0.001$), $1\,500\sim2\,000\text{ m}$ ($p<0.001$), $2\,000\sim2\,500\text{ m}$ ($p<0.001$), $2\,500\sim3\,100\text{ m}$ ($p<0.001$)以及 $3\,100\sim3\,600\text{ m}$ ($p<0.001$),NDVI 值均呈现极显著增加趋势。

1998—2018 年间,台湾植被覆盖增加速率整体上随海拔的增加而上升。回归方程系数显示,随着海拔的升高,从 $<500\text{ m}$ 升高至 $>3\,600\text{ m}$,NDVI 的年增加速率经历了 1.2‰ ($p<0.001$), 2.7‰ ($p<0.001$), 2.8‰ ($p<0.001$), 3.5‰ ($p<0.001$), 4.4‰ ($p<0.001$), 4.6‰ ($p<0.001$)和 2.1‰ ($p>0.05$)的变化过程。不同的增加速率表明各海拔梯度范围内的植被生长随高程的增加可能受到不同因素的影响。海拔 $<500\text{ m}$ 区域,较为充足的水热条件有利于植物的生长,但可能受到人类活动的影响较为强烈,产生较低的 NDVI 值,从而导致植被覆盖增加速率保持在较低水平。随着海拔的升高,人类活动受到自然条件的限制越来越明显,对 $500\sim3\,600\text{ m}$ 范围内的植物生长影响逐渐减小,植被覆盖增加速率显著且保持较高值。 $>3\,600\text{ m}$ 区域,水分、热量条件成为限制植物生长的主要因子,在研究区域气候暖化、降雨机制日趋复杂的背景下^[20],该区域植被覆盖增长态势并不显著($p>0.05$)。

表 2 台湾省各海拔梯度 NDVI 均值变化回归方程			
海拔高度	回归方程	R^2	p 值
$>3\,600\text{ m}$	$y=0.002\,1x+0.709\,2$	0.181 8	>0.05
$3\,100\sim3\,600\text{ m}$	$y=0.004\,6x+0.747\,6$	0.808 0	<0.001
$2\,500\sim3\,100\text{ m}$	$y=0.004\,4x+0.793\,0$	0.750 6	<0.001
$2\,000\sim2\,500\text{ m}$	$y=0.003\,5x+0.820\,9$	0.736 9	<0.001
$1\,500\sim2\,000\text{ m}$	$y=0.002\,8x+0.835\,2$	0.723 4	<0.001
$500\sim1\,500\text{ m}$	$y=0.002\,7x+0.838\,2$	0.757 2	<0.001
$<500\text{ m}$	$y=0.001\,2x+0.710\,1$	0.427 5	<0.001

3.4 气候变化对台湾省植被 NDVI 的影响

3.4.1 近 35 a 台湾省气候变化趋势 近 35 a 台湾省气候暖化趋势明显($p<0.05$,见图 5),年均气温增长率为 $0.013\,2\text{ }^{\circ}\text{C/a}$,年均降水量则呈现出复杂多变的态势($p>0.05$)。植被作为陆地生态系统主要组成

部分,气候变化必然会影响到植被生存环境的变化,进而影响其生长状况,其中以气温和降水的影响最为直接^[21]。

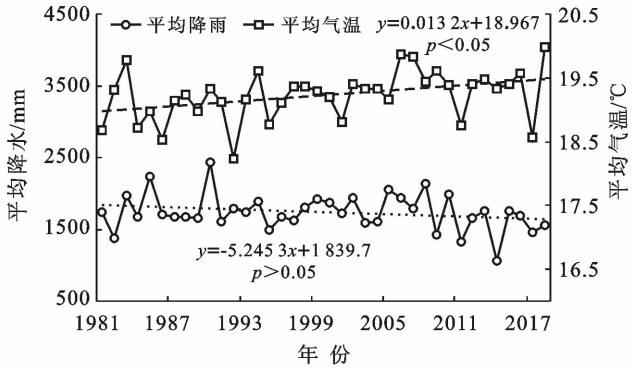


图 5 近 35 a 台湾省气温降雨变化趋势

3.4.2 气温和降雨对 NDVI 影响的垂直变化 以 1998—2018 年平均气温、平均降雨以及 NDVI 年均值栅格数据作为基础,结合 DEM 分级数据,分别对不同海拔高程范围内平均气温、平均降雨以及 NDVI 年均值数据进行相关性统计分析(见表 3)。由表 3 可知,在海拔高程范围 $<500\text{ m}$ 和 $>3\,600\text{ m}$ 范围内,NDVI 与气温和降雨的相关性均不显著($p>0.05$)。其中,在 $<500\text{ m}$ 范围内,与气象因素相比,人为因素可能是影响 NDVI 的主要原因^[13],根据台湾省的历史,人类移居到低地,人类密度急剧增长,森林逐渐被人类清除^[22],伴随着强烈的人类活动,例如土地清理、农业实践、工业化以及城市化进程,直接导致大规模的景观改造和对植被的负面影响,从而快速地影响了植被的生长状况;在 $>3\,600\text{ m}$ 范围内,主要生长的是箭竹林、松林、冷杉林等高山植被,可能由于高山植被自身具有的耐寒特性而对气温和降雨等气象因素表现出较弱的相关性。在 $500\sim3\,600\text{ m}$ 高程范围内,其中,年均气温与 NDVI 年均值表现出显著的正相关关系($p<0.05$),随着高程的增加,植被类型也由阔叶林转变为针叶林、草甸等高海拔耐寒性植被,年均气温与 NDVI 年均值的相关性逐渐减弱;而年均降雨与 NDVI 年均值表现出显著的负相关关系($p<0.05$),并随着高程的增加,负相关关系也逐渐增强,可能是因为中央山脉地区的降雨量随着高程的增加愈发充沛而对植被的生长愈加不利,海拔越高,受降雨量的影响则更为严重,因此,NDVI 与降水量之间表现出显著负相关关系且逐渐增强。从整体上看,随着高程的增加,研究区植被生长状况对降雨的变化较气温更为敏感($R_{\text{NDVI-P/T}}>R_{\text{NDVI-T/P}}$)。

表 3 台湾省植被 NDVI 与气温及降雨量相关系数

高程/m	NDVI-T		NDVI-P	
	R_{NDVI-T}	$R_{NDVI-T/P}$	R_{NDVI-P}	$R_{NDVI-P/T}$
<500	0.214	0.216	0.043	0.023
500~1 500	0.297*	0.352*	-0.329*	-0.358*
1 500~2 000	0.194	0.345*	-0.347*	-0.375*
2 000~2 500	0.216	0.294*	-0.365*	-0.384*
2 500~3 100	0.195	0.288*	-0.403**	-0.417**
3 100~3 600	0.217	0.259	-0.362*	-0.358*
>3 600	-0.014	-0.038	0.062	0.069

注:① R_{NDVI-T} 和 $R_{NDVI-T/P}$ 分别为 NDVI 与气温的相关系数和偏相关系数;② R_{NDVI-P} 和 $R_{NDVI-P/T}$ 分别为 NDVI 与降雨的相关系数和偏相关系数;③*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

4 结论

(1) 从研究区整体上看,1998—2018 年台湾省植被 NDVI 值以每年 0.2% 的速率极显著增加($p<0.001$),植被 NDVI 呈现“波动上升—明显改善”的态势。从海拔梯度上看,植被覆盖在海拔>3 600 m 范围内增加趋势不显著($p>0.05$);在其他海拔范围内植被覆盖均呈现极显著增加趋势($p<0.001$),植被覆盖增加速率随海拔的升高而上升。

(2) 近 35 a 台湾省气候暖化趋势明显($p<0.05$),降雨机制复杂多变($p>0.05$),NDVI 对气温和降雨的响应存在空间差异性。在海拔<500 m 和>3 600 m 范围内,NDVI 与气温和降雨的相关性均不显著($p>0.05$);在 500~3 600 m 高程范围内,年均气温与 NDVI 年均值表现出显著的正相关关系($p<0.05$);年均降雨与 NDVI 年均值则表现出显著的负相关关系($p<0.05$);随着高程的增加,研究区植被生长状况对降雨的变化较气温更为敏感($R_{NDVI-P/T}>R_{NDVI-T/P}$)。

研究利用 SPOT/VEGETATION NDVI 卫星遥感数据、气象数据以及 DEM 数据进行相关性分析和回归分析,探讨了 21 a 台湾省植被 NDVI 变化与海拔梯度差异及其与气温、降雨变化的响应,但植被生长还受到云量、日照时数、平均坡度、坡向以及区域人口密度等环境变量的影响,而研究中并没有涉及到这些变量,这些将是下一步主要完善的内容。此外,随着高分遥感技术的快速发展,利用高分卫星对研究区植被覆盖变化进行更精细的动态监测,是今后研究的重要方向。

[参 考 文 献]

[1] 刘家福,马帅,李帅,等. 1982—2016 年东北黑土区植被 NDVI 动态及其对气候变化的响应[J]. 生态学报,2018,

38(21):7647-7657.

[2] 轩俊伟,盛建东. 2001—2017 年新疆玛纳斯河流域植被 NDVI 时空变化特征[J]. 林业资源管理,2018(6): 30-37.

[3] 邢菲,李虎,李建贵,等. 2000—2015 年阜康林区植被覆盖变化及其对气候因子的响应[J]. 水土保持通报,2019,39(1):244-249.

[4] 丁文荣. 滇中地区植被 NDVI 时空演变特征及其驱动因素[J]. 水土保持通报,2016,36(6):252-257.

[5] 岳辉,刘英. 近 15 a 陕西省植被时空变化与影响因素分析[J]. 干旱区地理,2019,24(2):314-323.

[6] 王晓利,侯西勇. 1982—2014 年中国沿海地区归一化植被指数(NDVI)变化及其对极端气候的响应[J]. 地理研究,2019,38(4):807-821.

[7] 张雅倩,马俊杰. 基于干湿度规律的中国温带城市与区域 NDVI 空间变化研究[J]. 水土保持通报,2017,37(3): 210-215,221.

[8] 荣祁远,何祺胜,刘宝柱. 基于 Landsat 8 数据的干旱监测研究[J]. 科学技术与工程,2015,15(31):205-211.

[9] 马士彬,安裕伦,杨广斌,等. 不同地形梯度上的植被变化趋势及原因分析[J]. 生态环境学报,2019,28(5):857-864.

[10] Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann N E. Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? [J]. Journal of Vegetation Science, 2007,18(4):571-582.

[11] 崔晓临,白红英,王涛. 秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响应[J]. 资源科学,2013,35(3):618-626.

[12] Chang Chungte, Wang Hsuehching, Huang Choying. Retrieving multi-scale climatic variations from high dimensional time-series MODIS green vegetation cover in a tropical/subtropical mountainous island[J]. Journal of Mountain Science, 2014,11(2):407-420.

[13] Tsai Huiping, Lin Yuhao, Yang Mingde. Exploring long term spatial vegetation trends in Taiwan from AVHRR NDVI3g dataset using RDA and HCA analyses [J]. Remote Sensing, 2016,8(4):290.

[14] Chian Yishin, Yeh Chinglong, Wang Chihchiang. Variation in mountain vegetation composition between the East and the West sides of Southern Taiwan[J]. Forests, 2016,7(12):179.

[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] 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.

[17] 李天祺,朱秀芳,潘耀忠,等. 环境星 NDVI 时间序列重

- 构方法研究[J]. 遥感信息, 2015, 30(1): 58-65.
- [18] Chang Chingcheng. The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture [J]. Agricultural Economics, 2002, 27(1): 51-64.
- [19] 于革, 刘平妹, 薛滨, 等. 台湾中部和北部山地植被垂直带表土花粉和植被重建[J]. 科学通报, 2002, 47(21): 1663-1666.
- [20] Shiu Cheinjung, Liu S C, Chen J P. Diurnally asymmetric trends of temperature, humidity, and precipitation in Taiwan[J]. Journal of Climate, 2009, 22(21): 5635-5649.
- [21] 冯永忠, 刘志超, 刘强, 等. 黄土高原旱作农区气候干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 218-223.
- [22] Yeh C H. An exploring history of Taiwan[M]. Taipei, Taiwan: Tai-Yuan Publications, 1995.

《水土保持通报》2017—2018 年被引频次前 20 位论文

(资料来源: 中国知网; 检索日期: 20200220)

- [1] 齐姗姗, 巩杰, 钱彩云, 等. 基于 SRP 模型的甘肃省白龙江流域生态环境脆弱性评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 224-228.
- [2] 余德贵, 吴群. 基于 Logistic-Markov 方法的土地利用结构变化多因素驱动预测模型研究与应用[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 149-154, 160.
- [3] 魏晓兰, 吴彩姣, 孙玮, 等. 减量施肥条件下生物有机肥对土壤养分供应及小白菜吸收的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 40-44.
- [4] 陈朋, 王家鼎, 袁亮, 等. 修正内梅罗指数法和模糊综合评价法在凤凰镇地下水水质评价中的应用[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 165-170.
- [5] 珊丹, 何京丽, 邢恩德, 等. 微生物菌肥对草原矿区排土场土壤微生物与土壤酶活性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 81-85.
- [6] 王考, 姚云峰, 包金兰. 县级尺度“三生”用地动态变化及其空间集聚特征[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 306-312, 329.
- [7] 王雅, 刘爽, 郭晋丽, 等. 黄土高原不同植被类型对土壤养分、酶活性及微生物的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 62-68.
- [8] 王鹏, 王亚娟, 刘小鹏, 等. 基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 148-153, 159.
- [9] 张建国, 李晶晶, 殷宝库, 等. 基于转移矩阵的准格尔旗土地利用变化分析[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 131-134.
- [10] 王金成, 井明博, 段春燕, 等. 石油烃污染对陇东黄土高原土壤生物学及非生物学特性的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 9-16.
- [11] 路晓, 王金满, 李新风, 等. 基于最小费用距离的土地整治生态网络构建[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 143-149, 346.
- [12] 胡宗楠, 李鑫, 楼淑瑜, 等. 基于系统动力学模型的扬州市土地利用结构多情景模拟与实现[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 211-218.
- [13] 何刚, 夏业领, 朱艳娜, 等. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的安徽省土地承载力评价及预测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 127-134.
- [14] 张诗羽, 张毅, 王昌全, 等. 岷江上游流域植被覆盖度及其与地形因子的相关性[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 69-75, 封 2.
- [15] 庞梦丽, 朱辰光, 翟博超, 等. 河北省太行山区 3 种人工水土保持林枯落物及土壤水文效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 51-56.
- [16] 徐宪斌. 蚯蚓粪配施化肥对玉米根际土壤生物学特征的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 78-82.
- [17] 梁志权, 张思毅, 卓慕宁, 等. 不同雨强及坡度对华南红壤侵蚀过程的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 1-6.
- [18] 曲成闯, 陈效民, 韩召强, 等. 生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响[J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 70-76.
- [19] 潘笑文, 徐得潜. 基于典型年法的海绵城市建设控制指标研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 123-127, 131.
- [20] 王楠, 陈一先, 白雷超, 等. 陕北子洲县“7·26”特大暴雨引发的小流域土壤侵蚀调查[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4): 338-344.