引文格式：申子彬,方贺,何彩芬,等. 2005—2021年镇海区植被生态时空变化及其气象驱动力分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(7): 80-83. doi: 10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.07.018

2005—2021年镇海区植被生态时空变化及其气象驱动力分析

申子彬[1]，方　贺[2]，何彩芬[1]，郑　艳[1]，王文典[1]
（1. 宁波市镇海区气象局，浙江 宁波 315200；2. 浙江省气候中心，浙江 杭州 310000）

摘　要：基于MODIS-NDVI遥感植被指数和气象数据，利用像元二分模型、相关分析、多元回归等方法分析了2005—2021年镇海区植被生态时空变化特征，并通过碳通量模型计算得到植被生态质量指数和固碳释氧经济效益。以九龙湖生态保护区为例，研究了气温、降水对植被生态的影响。结果表明：①镇海区植被覆盖度和生态质量指数显著提升；②镇海区森林吸收CO_2量平均每年增加18.2 g/m^2，释放O_2量平均每年增加13.36 g/m^2，生态经济效益显著；③降水对镇海区植被覆盖度影响不显著，气温与植被覆盖度呈显著正相关，且对植被覆盖度存在滞后影响特征。

关键词：植被覆盖度；时空变化；气象因子
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）07-0080-04

Spatio-temporal Changes of Vegetation Ecology and Its Meteorological Driving Force Analysis in Zhenhai District from 2005 to 2021

SHEN Zibin[1], FANG He[2], HE Caifen[1], ZHENG Yan[1], WANG Wendian[1]
(1. Bureau of Meteorology, Zhenhai District, Ningbo 315200, China;
2. Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310000, China)

Abstract: Based on MODIS-NDVI remote sensing vegetation index and meteorological data, we used the dimidiate pixel model, correlation analysis and multiple regression method to analyze the spatio-temporal change characteristics of vegetation ecology in Zhenhai District from 2005 to 2021, and calculated the ecological quality index of vegetation and economic benefits of carbon sequestration and oxygen release by carbon flux model. Taking the Jiulong Lake Ecological Reserve for example, we studied the influence of temperature and precipitation on vegetation ecology. The results show that ①the vegetation coverage and ecological quality index of Zhenhai District are significantly improved. ②The amount of CO_2 absorbed by forests in Zhenhai District increases by 18.2 g/m^2 and the amount of O_2 released by forests in Zhenhai District increases by 13.36 g/m^2 per year on average, with significant ecological and economic benefits. ③The effect of precipitation on vegetation coverage in Zhenhai District is not significant. The temperature is significantly and positively correlated with vegetation coverage, and has a lagging effect characteristic on vegetation coverage.

Key words: vegetation coverage, spatio-temporal change, meteorological factor

植被作为地表生态环境的重要影响因子，对维持地区生态平衡具有重要意义。植被覆盖变化是分析区域内生态环境不可缺少的一部分。归一化植被指数（NDVI）是监测地区植被变化的最佳指示因子，可定量反映植被生长状况、生长量等信息[1-3]。已有学者利用不同区域卫星资料、采用不同方法对植被覆盖变化进行了大量研究，如钟静[4]等利用2000—2020年MOD13Q1数据对鄂西地区植被覆盖度时空变化特征进行分析发现，研究区的植被覆盖度总体呈上升趋势，且增长趋势在未来是可持续的；高大伟[5]、何月[6]等利用GIMMS和MODIS两种NDVI数据集，分别分析浙江省1982—2006年和1982—2010年的植被覆盖度变化发现，两个研究期内浙江省植被覆盖度均呈缓慢下降趋势；段晨阳[7]等利用2008—2020年的MODIS-NDVI数据分析山东省植被覆盖情况发现，山东省植被覆盖总体状态良好，植被覆盖呈稳定或增长趋势；李春娥[8]等利用植被生长季MODIS/NDVI数据，对植被覆盖度以及降水、气温等驱动因素进行相关分析发现，草原和灌丛类植被对气温和降水量的响应规律大致相反，不同植被在春季对气温、降水反映的差异性最大；王

收稿日期：2023-03-25。
项目来源：浙江省气象局科技计划资助项目（2021YB07）；浙江省自然科学基金资助项目（LQ21D060001）；风云卫星先行计划资助项目（FY-APP-2021.0105）；中国气象局创新发展专项资助项目（CXFZ2022J040）。
第一作者简介：申子彬（1992—），本科，工程师，研究方向为应用气象，E-mail：544323407@qq.com。

逸男[9]等利用MODIS-NDVI数据分析黄土高原植被覆盖度时空变化特征发现，黄土高原植被覆盖度变化对气温、降水的变化表现敏感；曲学斌[10]等利用MODIS-NDVI和气象观测数据分析呼伦贝尔地区的NDVI时空变化和气候响应发现，气温是制约北部大兴安岭森林生长的主要因素，而降水是制约呼伦贝尔草原生态平衡和农牧业发展的主要因素；徐虹[11]等基于MOD13Q1数据，运用趋势分析和相关分析方法探讨了云南省植被NDVI的变化、未来趋势以及植被与气候关系的空间格局，结果表明研究期内云南植被NDVI呈持续增加趋势，植被NDVI与气温、降水的相关性具有明显的地域差异。综上所述，不同地区不同时段植被覆盖度变化特征和驱动因素均具有较大差异，但现有研究对植被覆盖度的分析居多，鲜有对植被生态质量指数、固碳释氧能力等维度的综合分析。宁波市镇海区是浙江省重要的石化工业基地，近20年来工业化城镇化发展迅速，植被覆盖度也随之发生变化，生态环境存在一定的脆弱性。全面认识镇海区植被覆盖时空变化特征，多维度分析其生态价值功能，研究气象因子对植被覆盖时空变化的影响机制，对未来生态环境保护和城镇化工业化高质量发展决策具有重要意义。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

本文采用的卫星遥感资料由MODIS数据库提供，空间分辨率为250 m×250 m，时间分辨率为16 d，时间尺度为2005—2021年。产品后期由国家气象卫星中心进行拼接转投影处理，再利用国际通用的最大合成法获取年尺度MODIS-NDVI数据集，最后利用ArcGIS进行研究区边界裁剪。本文采用的气象数据来源于宁波市镇海区气象局在九龙湖地区布设的区域自动站中心村站，包括气温、降水两个要素，时间尺度为2007—2021年。通过算数平均法求取气温年、月平均值，并计算降水年、月累计值。

1.2　像元二分法估算植被覆盖度

根据研究区像元大小，可通过混合像元法中的像元二分模型反演地表植被覆盖度[12-14]。根据研究区影像上的NDVI灰度分布情况，以5%置信度截取NDVI的上下限阈值分别近似代表$NDVI_{soil}$和$NDVI_{veg}$。其计算公式为：

$$FVC=\frac{NDVI-NDVI_{soil}}{NDVI_{veg}-NDVI_{soil}} \tag{1}$$

式中，FVC为植被覆盖度；$NDVI_{veg}$为全植被覆盖像元NDVI；$NDVI_{soil}$为裸土像元NDVI。

1.3　植被净初级生产力（NPP）遥感估算

利用气象卫星遥感资料和地面气象观测资料估算植被NPP是获取大范围植被NPP的主要方法之一[15-16]。本文采用MODIS卫星NDVI月合成产品和气象观测数据，根据植被光能利用原理通过陆地生态系统碳通量模型（TEC）计算月植被NPP[17]。TEC模型是基于MODIS卫星遥感资料和气候数据，通过引入一个新的水分胁迫因子并结合降水驱动蒸散发模型建立的，具有计算简便、模型因子获取简单和符合我国植被实际情况等特点，拥有较高的应用价值。

$$NPP_{ab}=GPP_{ab}-R_{ab} \tag{2}$$

$$GPP_{ab}=\varepsilon_{ab}\times FPAR\times PAR_{ab} \tag{3}$$

式中，NPP_{ab}、GPP_{ab}、R_{ab}、ε_{ab}分别为第a年第b月的植被NPP、总初级生产力、呼吸消耗量（$gC\cdot m^{-2}\cdot month^{-1}$）和实际光能利用率；FPAR为植被吸收光合有效辐射的比例，是随植被生长而变化的量，本文利用MODIS卫星逐月NDVI估测FPAR，可反映FPAR的逐月变化；PAR_{ab}为第a年第b月的光合有效辐射，采用世界粮农组织推荐的方法由全国气象站日照时数计算太阳总辐射，再根据入射光合有效辐射占太阳总辐射的比例（0.48）计算。

本文研究的NPP为每年的累加值，计算公式为：

$$NPP_a=\sum_{n=1}^{t}NPP_{ab} \tag{4}$$

式中，NPP_a为第a年陆地植被NPP（$gC\cdot m^{-2}\cdot a^{-1}$）；$t$为月份；$b$为第$a$年的月序。

1.4　植被生态质量指数（VEQI）计算

VEQI是通过分析植被覆盖度和NPP对某一地区植被生态质量的重要性，采用权重加权方式构建的一个综合反映植被生态质量的参数，可反映植被在单位面积上的覆盖能力和生产综合能力。其计算公式为[18-19]：

$$VEQI=100\times f_1\times FVC\times f_2\times\frac{NPP}{NPP_{max}} \tag{5}$$

式中，f_1、f_2分别为陆地植被覆盖度和NPP的权重系数，本文中$f_1=f_2=0.5$；NPP_{max}为该时段植被NPP的最大值，即当地气象条件最好情况下的陆地NPP；VEQI的数值在0～100，值越大表示植被生态质量越好。

1.5　植被固碳释氧综合能力评估

温宥越[20]等基于CASA模型、碳税法和工业制氧法，测算了粤港澳大湾区2015年固碳释氧量及其价值；范建忠[21]等根据LY/T1721-2008《森林生态系统服务功能评估规范》估算了退耕还林植被固碳释氧服务价值。1 kg碳元素相当于2.2 kg的有机物质，结合

上述研究成果，根据绿色植被光合作用化学方程式可知，植被每生产1 kg有机物质能固定1.63 kg CO_2并释放1.19 kg的O_2，且1 kg CO_2中包含0.27 kg碳元素。据此关系，可通过植被NPP计算得到镇海区生态系统每年的固碳释氧量。

2 研究结果与分析

2.1 镇海区植被生态时空变化特征

植被覆盖度和VEQI是衡量地表植被生长状况和茂盛程度的重要指标。2005—2021年镇海区植被覆盖度稳步增长，平均每年增加0.31%，2021年全区植被覆盖度为37.2%，较2005年增长了4.5个百分点；与此同时，VEQI亦呈显著增长趋势，2021年全区VEQI为39.85，较2005年增长了11%（图1）。

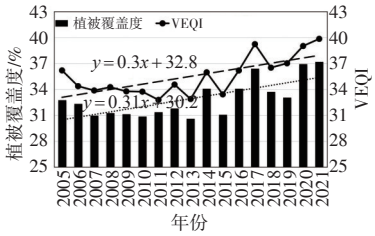
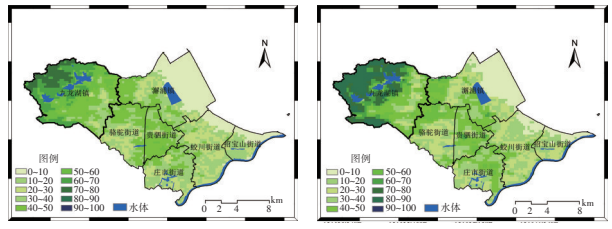


图1 2005–2021年镇海区植被覆盖度和生态质量变化趋势

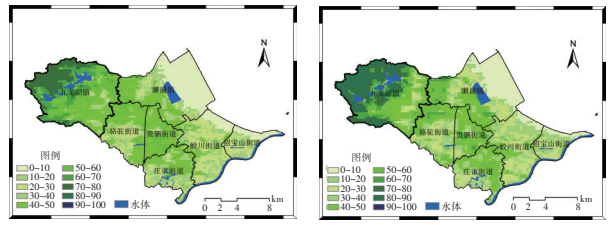
在空间分布上，2021年全区植被覆盖度较2005年有明显提高，2005年植被覆盖度大于50%的区域仅占全区面积的16%，且主要集中在西北部山区，海拔较低地区多在20%~40%之间；2021年植被覆盖度大于50%的区域占全区面积的23%，除西北部山区外，骆驼街道北部、澥浦镇西部和庄市街道部分地区覆盖度也达50%（图2）。VEQI的空间分布与植被覆盖度具有良好的一致性，相较于2005年，2021年的主要变化体现在VEQI高值区面积明显增加，2005年全区VEQI大于50的区域占总面积的22%，且多集中在西部山区；2021年全区VEQI大于50的区域占总面积的28%，除西部山区外，骆驼街道和澥浦镇等部分地势平坦的地区也超过50；此外，九龙湖镇等山区VEQI变化较明显，2005年九龙湖镇的VEQI多在50~60之间，2021年则多在70~80之间。2005—2021年全区55%区域面积的VEQI呈增加趋势，其中海拔较高的山区VEQI改善最明显，每年增幅在0.5~1.5之间（图3）。



a 2005年 b 2021年

图2 2005年和2021年镇海区植被覆盖度空间分布

审图号：GS(2019)6379



a 2005年 b 2021年

图3 2005年和2021年镇海区VEQI空间分布

审图号：GS(2019)6379

2.2 镇海区森林固碳释氧能力变化特征

植被NPP是反映植物群落自身活力的重要因素，也是评定生态系统碳源/汇效应的主要因子。2005—2021年镇海区森林植被NPP年际累加值稳步增长，2021年全区森林植被NPP累加值为974.9 gC/m²，较2005年增长7%（图4）。森林是陆地生态系统重要的固碳增汇载体，随着植被NPP的稳步增长，全区森林光合固碳释氧能力也在不断增强。2005—2021年全区森林植被吸收CO_2量平均每年增加18.2 g/m²，释放O_2量平均每年增加13.36 g/m²；森林植被固碳量较2005年增加了7%，平均每年增加4.9 g/m²（图5）。按照《森林生态系统服务功能评估规范》初步估算，2021年全区森林植被光合固碳释氧的经济价值约为1.09亿元，较2005年增加了0.07亿元，生态经济效益进一步提升。

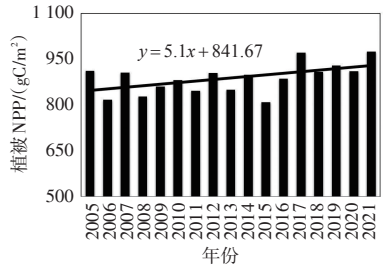


图4 2005—2021年森林植被NPP变化趋势

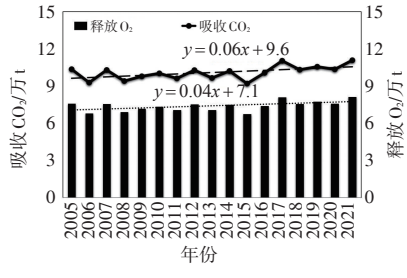


图5 2005—2021年森林植被固碳释氧变化趋势

2.3 镇海区植被生态气象驱动力分析

气象因子是植被生态自然发展的重要因素，分析植被生态发展气象驱动力对于开展针对性生态环境保护具有重要意义。镇海区南部毗邻宁波市主城区，东北部为浙江省重要的石化工业基地，近年来工业化城

镇化发展迅速。为客观研究镇海区范围内植被生态气象驱动力，本文选取城镇化和人类活动影响植被生态发展较轻的九龙湖生态功能区作为区域代表，对年度植被覆盖度与同年份年均气温、累积降水以及前一年年均气温、累积降水序列开展相关分析，对年度植被覆盖度与同年份各月平均气温、累积降水以及前一年各月平均气温、累积降水等序列逐一开展相关分析，相关分布情况见表1、2。

表1　植被覆盖度与同年气温、降水以及前一年气温、降水的相关系数

因子	同年	前一年
气温	0.603*	0.642*
降水	0.373	0.532

注：*表示在p<0.05水平显著相关。

表2　植被覆盖度与同年逐月气温、累积降水以及前一年逐月气温、累积降水的相关系数

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
当年气温	0.547*	0.35	0.378	0.34	0.401	0.086	−0.068	0.152	0.243	0.266	0.372	0.176
前一年气温	0.402	0.362	0.271	0.189	0.057	0.261	−0.224	0.474	0.025	0.415	0.526	0.477
当年降水	0.311	−0.336	0.192	0.001	0.301	0.385	0.286	0.129	0.188	−0.094	−0.071	−0.234
前一年降水	0.537*	0.072	−0.004	0.096	0.317	0.298	0.398	−0.36	0.206	0.286	−0.053	0.174

注：*表示在p<0.05水平显著相关。

从植被覆盖度与降水、气温因子的相关系数和时序分布（图6、7）图来看，植被覆盖度与同年以及前一年的气温、降水均呈正相关，与气温呈显著相关，通过了0.05显著性检验，特别是与前一年平均气温的相关系数为0.642，说明镇海区植被生长对气温的敏感性较好，且存在一定的滞后影响。分析植被覆盖度与逐月气象因子的相关系数发现，植被覆盖度与前一年10月至当年5月的气温呈现较一致的正相关，进一步说明气温因子对植被覆盖度存在滞后影响。植被覆盖度与降水的相关性与趋势性不强，这与镇海区所处的亚热带季风气候有关，雨热同期，且降水充沛，降水不是限制植被生长的关键因素，因此降水对镇海区植被覆盖度的影响不显著。

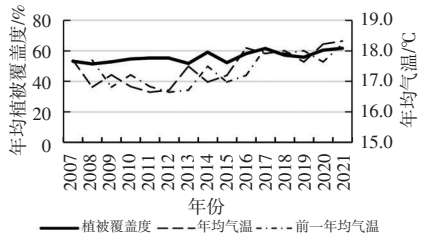


图6　2007—2021年植被覆盖度与气温的关系

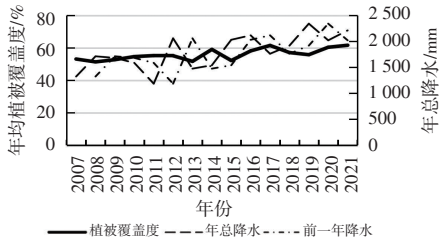


图7　2007—2021年植被覆盖度与降水的关系

3　结　语

本文基于MODIS-NDVI遥感植被指数和同期气象数据分析了2005—2021年镇海区植被生态时空变化特征及其与气象因子之间的关系，结果表明：

1）2005—2021年镇海区植被覆盖度稳步增长，平均每年增加0.31%，2021年全区植被覆盖度为37.2%，较2005年增长了4.5个百分点。全区55%区域面积的植被生态质量呈增加趋势。

2）2005—2021年镇海区森林光合固碳释氧能力不断增强，全区森林植被吸收CO_2量平均每年增加18.2 g/m^2，释放O_2量平均每年增加13.36 g/m^2，固碳释氧生态经济效益进一步提升。

3）以九龙湖生态功能区为代表，分析不同时间尺度气温、降水对植被覆盖度变化的影响发现，镇海区植被覆盖度与降水的相关性不显著，但与气温呈显著正相关，且气温因子对植被覆盖度存在滞后影响特征。

参考文献

[1] 王正兴，刘闯，Huete A. 植被指数研究进展：从AVHRR-NDVI到MODIS-EVI[J]. 生态学报，2003，23(5)：979-987

[2] 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(16)：5 331-5 342

[3] 王宏，李晓兵，李霞，等. 基于NOAA NDVI和MSAVI研究中国北方植被生长季变化[J]. 生态学报，2007，27(2)：504-515

[4] 钟静，皇永波，郭明强. 近20年鄂西地区植被覆盖度时空变化特征分析[J]. 地理空间信息，2023，21(2)：50-55

[5] 高大伟，张小伟，蔡菊珍，等. 浙江省植被覆盖时空动态及其与生态气候指标的关系[J]. 应用生态学报，2010，21(6)：1 518-1 522

[6] 何月，樊高峰，张小伟，等. 浙江省植被NDVI动态及其对气候的响应[J]. 生态学报，2012，32(14)：4 352-4 362

[7] 段晨阳，王晓艳. 山东省植被覆盖的时空变化分析[J]. 地理空间信息，2022，20(10)：49-53

（下转第96页）