引文格式：孙长奎. 2010—2022 年江苏省植被覆盖变化特征与驱动力分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(9): 48–53. doi:10. 3969/j.issn. 1672–4623.2025.09.011

2010—2022 年江苏省植被覆盖变化特征与驱动力分析

孙长奎[1]
（1. 江苏省基础地理信息中心，江苏 南京 210013）

摘　要：基于2010—2022年的MODIS-NDVI数据和相关气象数据，采用一元线性趋势回归分析、变异系数、相关性分析、残差趋势分析等方法研究了江苏省NDVI的时空分布特征，分析了气象因素和人类活动对NDVI变化的影响。结果表明：①江苏省多年月均NDVI变化呈双峰模式，植被覆盖表现出显著的地域差异和季节特性；②气温和降雨量的变化促进了多数地区的植被生长，其中气温对NDVI变化起决定性作用；③人类活动促进了江苏省植被生态的良性发展，对植被分布的影响呈波动性减弱趋势。适宜的气温和降雨条件以及合理的人类活动有助于植被覆盖度的增加，江苏省应关注极端天气变化、优化人类活动模式，以促进区域生态环境的良性循环。

关键词：NDVI；时空分布；驱动因素；气象因素；人类活动
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）09-0048-06

Vegetation Coverage Change Characteristic of Jiangsu Province from 2010 to 2022 and Its Driving Factor Analysis

SUN Changkui[1]
(1. Provincial Geomatics Center of Jiangsu, Nanjing 210013, China)

Abstract: Based on MODIS-NDVI data and associated meteorological data from 2010 to 2022, we analyzed the spatio-temporal distribution characteristics of NDVI in Jiangsu Province, and explored the impacts of meteorological factors and human activities on NDVI changes by applying methods such as linear trend regression analysis, variation coefficient analysis, correlation analysis, and residual analysis. The results indicate that ①the multi-year monthly average NDVI in Jiangsu Province exhibits a bimodal pattern, with significant regional and seasonal differences in vegetation coverage. ②NDVI changes are correlated with concurrent changes in temperature and precipitation, where temperature plays a decisive role in NDVI changes within the ecosystem of Jiangsu Province. ③Human activities facilitate the positive development of vegetation ecosystem in Jiangsu Province, with the impact on vegetation distribution showing a decreasing trend of annual fluctuations. This study reveals that suitable temperature and precipitation, along with rational human activities, contribute to the increase of vegetation coverage. The government should focus on changes in extreme weather and refine human activity patterns to promote a positive cycle of the regional ecological environment.

Key words: NDVI, spatio-temporal distribution, driving factor, meteorological factor, human activity

植被作为陆地生态系统的重要组成部分，在全球气候变化和生态系统平衡中扮演着重要角色[1]。及时准确地了解地表植被的时空变化规律，有助于揭示地表覆盖的空间特征、评价区域生态环境[2–3]。归一化植被指数（NDVI）是衡量植被生长状况的常用指标[4–5]，能很好地反映地表植被覆盖程度。气候条件和人类活动是陆地生态系统变化的主要驱动力[6–7]，其中气温和降雨被认为是影响植被生长的重要气象因子[5]；人类活动是植被变化的外在驱动力[8–9]，对植被覆盖变化的影响具有双重性[10–11]。量化不同驱动因子对植被变化的影响，对于理解植被覆盖变化成因和推动生态文明建设具有重要意义。城镇化建设加剧了江苏省自然资源的消耗和土地覆盖的减少[12]。在全球气候变暖背景下，江苏省极端天气事件的频发对生态系统产生了不同程度的影响[13]，因此有必要定量分析气象和人类活动双重影响下的植被覆盖变化规律。部分学者[14–16]对江苏省植被覆盖变化规律进行了研究，但无法充分反映江苏省多年植被覆盖的详细变化特征，也缺少气象和人类活动对植被影响的定量评估，因此本文借助遥感手段分析了江苏省植被覆盖的时空变化特征，量化了气象和人类活动对植被覆盖变化的影响程度，以期为政府的生态修复、城市规划等提供参考。

项目来源：自然资源部自然资源调查监测专题技术研究资助项目（函[2022]38 号）。
作者简介：孙长奎（1986—），硕士，高级工程师，主要从事自然资源调查监测方面的工作，E-mail：sunchangkui@163.com。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

本文采用的2010—2022年NDVI数据来源于NASA的16 d合成的250 m分辨率的MOD13Q1植被指数数据集[17]，利用最大合成法[5]计算逐月NDVI数据，再利用均值法计算季度和年均NDVI数据；气象数据来源于国家青藏高原科学数据中心[18]的中国1 km分辨率逐月平均气温和降雨量数据集（1901—2022年）以及国家气象科学数据中心的中国地面气象观测历史数据集（月值、年值）2023年1月、2月的气象数据，借助Anusplin薄盘样条函数法，以研究区DEM为协变量，插值得到气象数据栅格数据集。

1.2　研究方法

1）一元线性回归趋势分析。其计算公式为：

$$\mathrm{Slope}=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(i\times N_i\right)-\sum_{i=1}^{n}i\sum_{i=1}^{n}N_i}{n\sum_{i=1}^{n}i^2-\left(\sum_{i=1}^{n}i\right)^2} \tag{1}$$

式中，Slope为趋势线斜率；n为研究时段的时间序列长度；N_i为第i年的NDVI。

本文将变化趋势划分为严重退化（$\mathrm{Slope}\leqslant-0.005$）、轻度退化（$-0.005<\mathrm{Slope}\leqslant-0.002$）、基本不变（$-0.002<\mathrm{Slope}\leqslant0.002$）、轻度改善（$0.002<\mathrm{Slope}\leqslant0.005$）和显著改善（$\mathrm{Slope}>0.005$）5个等级[19]。

2）变异系数可在一定程度上反映NDVI的空间变异程度，计算公式为：

$$C_V=\frac{SD_{\mathrm{NDVI}}}{\overline{\mathrm{NDVI}}} \tag{2}$$

$$SD_{\mathrm{NDVI}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}N_i^2-\frac{\left(\sum_{i=1}^{n}N_i\right)^2}{n}}{n}} \tag{3}$$

式中，SD_{NDVI}为逐年NDVI标准差；$\overline{\mathrm{NDVI}}$为研究时段内NDVI多年平均值。

本文将植被变异程度分为非常稳定（$C_V\leqslant0.04$）、稳定（$0.04<C_V\leqslant0.08$）、变化较小（$0.08<C_V\leqslant0.12$）和变化剧烈（$C_V>0.12$）4个等级[19]。

3）相关性分析。利用偏相关分析法[1]分析研究区植被覆盖变化对气温和降雨量的响应，计算公式为：

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(N_i-\overline{\mathrm{NDVI}}\right)\left(y_i-\bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(N_i-\overline{\mathrm{NDVI}}\right)^2\times\sum_{i=1}^{n}\left(y_i-\bar{y}\right)^2}} \tag{4}$$

$$R_{abc}=\frac{R_{ab}-R_{ac}R_{bc}}{\sqrt{\left(1-R_{ac}^2\right)\left(1-R_{bc}^2\right)}} \tag{5}$$

式中，y_i为第i年的气象因子值；$\bar{y}$为多年气象因子平均值；R_{abc}为变量c固定的情况下，变量a与b之间的偏相关系数；R_{ab}、R_{ac}、R_{bc}分别为变量a与b、a与c、b与c之间的相关系数。

4）利用残差分析法[20]分析人类活动对植被生长状况的影响程度，计算公式为：

$$\mathrm{NDVI}'=a\times T+b\times P+c \tag{6}$$

$$\varepsilon=\mathrm{NDVI}-\mathrm{NDVI}' \tag{7}$$

式中，NDVI、NDVI′分别为实测值和预测值；T、P分别为研究区平均气温和年降雨量；ε为残差。

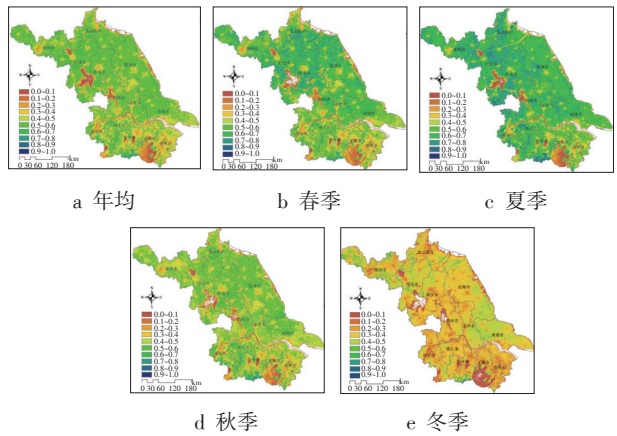
2　研究结果与分析

2.1　NDVI时空变化特征

2.1.1　NDVI时空分布格局

结果表明，2010—2022年江苏省月均NDVI变化曲线呈现双峰分布，1—4月NDVI呈增长态势，4月达到第一个峰值，6月逐渐下降至波谷，6—8月持续回升并在8月达到第二个峰值，8—12月又迅速降低，12月NDVI跌入波谷；多年季度NDVI夏季最高、春秋季次之、冬季最低，各季度和年度NDVI表现出波动性增长趋势，各年度春、夏、秋季NDVI相对稳定，冬季波动性较显著，年均NDVI最大值和最小值分别出现在2020年和2010年。

由年均和季度NDVI空间分布（图1）可知，江苏省多年平均植被覆盖度良好，具有明显的地域性和季节性差异；宜溧、太湖东岸低山丘陵地区的年均NDVI值在0.8以上；黄淮平原、江淮平原等农作物种植区的NDVI值介于0.5~0.7之间；城区外围和东部沿海地区的NDVI值介于0.4~0.5之间；城市核心区、苏南城市群和水陆交接地带的NDVI值介于0.2~0.4之间。夏季植被覆盖度最好，除部分东部沿海和太湖



a 年均　b 春季　c 夏季　d 秋季　e 冬季

图1　2010—2022年江苏省年均和季度NDVI分布图

审图号：GS(2024)0650

平原地区植被覆盖度较低外，其他地区植被分布无明显差异；春季植被覆盖度次之，呈现出由北向南递减的空间差异性；秋季植被覆盖度明显降低，除宜溧、太湖东岸等低山丘陵地区 NDVI 值较高、苏南城市群区 NDVI 值较低外，其他地区无明显的空间差异；冬季植被覆盖度最低，全省 NDVI 值多在0.4以下。

2.1.2 NDVI空间分布变化趋势

由年际 NDVI 变化趋势来看（表1），江苏省植被覆盖整体呈增加趋势，有所改善区域面积占比为54.04%，主要分布在长江以南地区、连云港、盐城市东部沿海地区、里下河地区；退化区域面积占比为20.10%，主要位于泰州市、南通市、徐州市、南京市高淳区和溧阳市西南部。由季节尺度 NDVI 变化特征来看，春季有所改善区域面积占比为47.45%，主要分布范围与年际植被覆盖改善区域一致，退化区域面积占比为31.13%，主要分布在泰州市、南通市、盐城市盐都区、南京市高淳区和溧阳市西南部；夏季有所改善区域面积占比为37.70%，主要分布长江以南的苏南地区，退化区域面积占比为35.12%，主要分布在泰州市、盐城市、南通市、徐州市；秋季有所改善区域面积占比为35.97%，主要分布长江以南的苏南地区，退化区域面积占比为31.96%，主要分布在苏北和苏中地区；冬季有所改善的区域面积占比为72.83%，退化区域面积占比为11.41%，全省植被覆盖出现了明显好转。

表1 NDVI变化趋势面积占比统计/%

等级	年均	春季	夏季	秋季	冬季
严重退化	11.07	19.65	20.00	16.57	6.51
轻度退化	9.03	11.48	15.12	15.39	4.91
基本不变	25.86	21.42	27.18	32.07	15.75
轻度改善	25.18	15.78	17.39	18.42	14.68
显著改善	28.86	31.67	20.31	17.55	58.15

由2010—2022年江苏省植被覆盖变异系数分布图（图2）可知，在年均、春季、夏季、秋季尺度上，除中心城区植被覆盖变化剧烈、城区周边存在轻微变化外，其他地区的植被覆盖趋于稳定，占比分别为67.47%、37.71%、53.57%、37.08%，变化剧烈区域面积占比分别为17.42%、33.10%、21.76%、29.08%；而在冬季，全省超过89.20%的区域植被覆盖变化剧烈。

2.2 NDVI对气候变化的响应

通过分析 NDVI 与月均气温和降雨量之间的关系（图3）可知，NDVI 变化在时间上与气温和降雨量存在耦合关系，与气温的关系更明显；1—4月为植被返

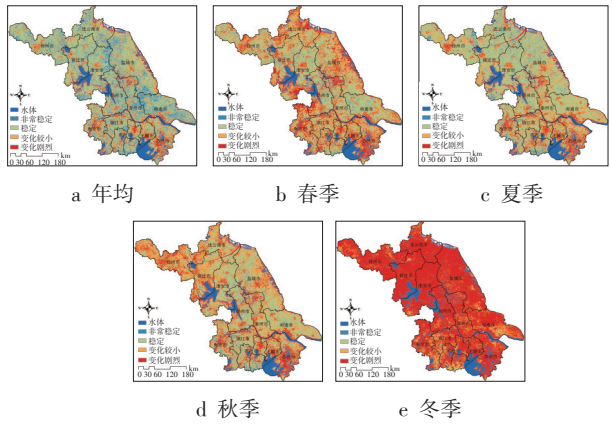
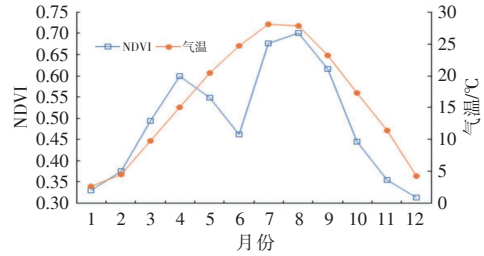


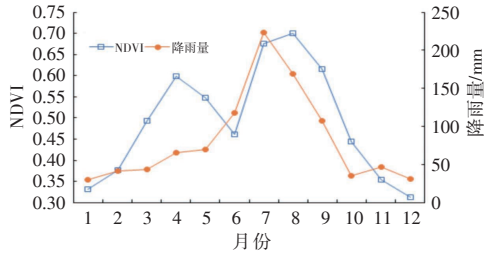
图2 2010—2022年江苏省年均和季度NDVI变异系数分布

审图号：GS(2024)0650

青期，NDVI 随气温的升高快速增长，而同期降雨量约为50 mm，无明显变化；5—7月受农业耕作的影响，NDVI 与气温和降雨的相关性不显著；7月以后，NDVI 随降雨量与气温的降低呈减少趋势。已有研究表明，NDVI 变化与气温变化一致，但与降雨变化存在一定的滞后性[14,16]。本文选择同期、滞后1月、滞后2月、滞后3月4个时滞期，研究 NDVI 对气候响应的时滞效应。由表2可知，在月尺度上 NDVI 与气温和降雨量的相关系数均在同期达到最大值，且气温的相关性大于降雨量，统计结果均通过了 P <0.01的显著性检验；在季节尺度上，除秋季外，其他季节 NDVI 与同期气温和降雨量的相关系数均为正值，春季 NDVI 最大响应于同期降雨量（0.741），通过了 P <0.01的显著性检验，而与气温的相关性未通过显著性检验，夏季 NDVI 与气象因子的响应不明显，未通过显著性检验，冬季 NDVI 最大响应于滞后1月的气温（0.837），通过了 P <0.01的显著性检验，而与降雨量



a 月均NDVI与气温



b 月均NDVI与降雨量

图3 2010—2022年月均NDVI与气象因素相关关系

的相关性未通过显著性检验，秋季 NDVI 与气温和降雨量呈负相关，最大响应于滞后1月的气温（−0.579），通过了 P <0.05 的显著性检验，而与降雨量的相关性未通过显著性检验。偏相关性分析（表3）表明，月尺度上气象因子对 NDVI 变化的贡献主要来自同期气温，通过了 P <0.01 的显著性检验；春季 NDVI 变化的主要驱动来自同期降雨量，通过了 P <0.01 的显著性检验；夏、秋季分别为同期气温和滞后1月气温，统计结果未通过显著性检验；冬季 NDVI 变化的主要驱动来自滞后1月的气温，通过了 P <0.01 的显著性检验。综上所述，在江苏省生态系统中气温对 NDVI 变化起决定性作用。

表2　NDVI 与气象因子的相关关系

研究尺度	气温				降雨量			
	同期	滞后1月	滞后2月	滞后3月	同期	滞后1月	滞后2月	滞后3月
月度	0.827*	0.603*	0.210*	0.219*	0.679*	0.622*	0.260*	0.170*
春季	0.011	0.203	0.459	0.201	0.741*	0.490	0.269	0.134
夏季	0.244	0.186	−0.232	−0.177	0.066	0.091	0.112	−0.135
秋季	−0.022	−0.579**	−0.466	−0.277	−0.505	−0.199	0.035	0.443
冬季	0.630**	0.837*	0.631**	0.732*	0.421	0.371	0.143	−0.298

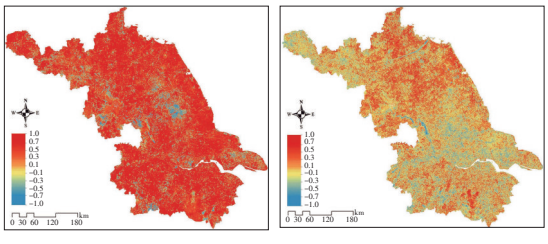
注：*表示在0.01水平上显著相关；**表示在0.05水平上显著相关。

表3　NDVI 与气象因子的偏相关关系

研究尺度	气温				降雨量			
	同期	滞后1月	滞后2月	滞后3月	同期	滞后1月	滞后2月	滞后3月
月度NDVI	0.668*	0.295*	0.039*	−0.142	0.230**	0.347	0.161**	−0.023
春季NDVI	0.213	0.424	0.405	0.175	0.754*	0.592**	0.129	0.088
夏季NDVI	0.298	0.224	−0.219	−0.205	0.188	0.155	0.078	−0.171
秋季NDVI	−0.037	−0.612	−0.477	−0.117	−0.506	−0.310	−0.116	0.375
冬季NDVI	0.579**	0.850*	0.641**	0.761*	0.304	0.447	0.203	−0.416

注：*表示在0.01水平上显著相关；**表示在0.05水平上显著相关。

对江苏省2010—2022年年均 NDVI 与年均气温和降雨量进行逐像元偏相关分析，结果见图4，可以看出，江苏省 NDVI 与气温之间的正相关性大于负相关性，面积占比分别为67.48%和32.52%，相关性高值区均匀分布在江苏省全域，负相关和相关性较低的地区主要集中在城市中心城区；NDVI 与降雨量之间的正相关性略大于负相关性，面积占比分别为55.88%和44.12%，相关性高值区主要分布于华北平原农业生态区和茅山宜溧低山丘陵常绿落叶阔叶混交林生态亚区，负相关低值区主要分布于水域附近。



a NDVI与气温　　b NDVI与降雨量

图4　年均NDVI与年均气温和降雨量偏相关系数分析

审图号：GS(2024)0650

2.3　人类活动对NDVI的影响

在偏相关分析的基础上，以气温和降雨量为因变量，逐像元建立 NDVI 预测值回归模型，计算年度 NDVI 残差，以分析人类活动对植被生长的影响。结果表明，2010—2022年江苏省 NDVI 残差值呈上升趋势，面积占江苏省全域的64.31%，明显上升区域主要集中于苏东城镇发展与近岸海域生态亚区，表明人类活动对该地区的植被生态分布起到了改善作用，下降区域主要集中于苏北沂沭泗平原丘岗农业生态亚区和泰州市北部与盐城交界的淮河下游平原农业与湿地生态亚区，由于经济发展、城市扩张等因素影响，人类活动对植被生态起到负面作用。由图5可知，2010—2022年逐年残差波动性较大；逐年残差整体呈减小趋势，表明人类活动对江苏省植被分布的影响力度逐年减小。

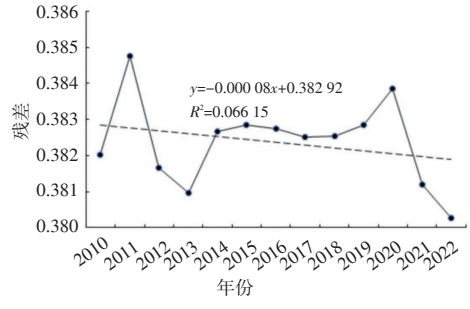


图5　2010—2022年江苏省NDVI逐年残差变化

江苏省年均植被覆盖度存在显著的地域性和季节

性差异，且NDVI变化在时间上呈现明显的双峰分布特征。宜溧、太湖东岸等低山丘陵地区的植被覆盖多为常绿植被[15]，因此该类地区在全年保持较高的植被覆盖度；而落叶植被生长受季节的变化影响明显。此外，江苏省地处华北平原农业生态区和长江三角洲城镇与城郊农业生态区，以小麦+玉米、水稻+小麦等季节性农作物轮作为主，构成了密集的农作物种植区[15,21]。这种轮作模式使得农作物在不同季节的生长状况对NDVI产生了显著影响：春、夏季是农作物的主要生长期，植被覆盖度较高；秋季是收割季节，植被覆盖度显著下降；冬季虽然大部分农作物收割完毕，但农作物种植区地表多被冬小麦覆盖，且在国家生态文明建设思想的指引下，江苏省在生态环境保护和植被恢复方面取得了显著成效，大量人工种植常绿植被代替了自然植被[15]，导致冬季植被覆盖变化较剧烈，植被覆盖状况得到明显改善。

气温和降雨量对NDVI具有显著的影响[22-24]，研究结果表明江苏省NDVI变化与同期气温和降雨量变化显著相关，除春季主要受降雨量影响外，其他季节的NDVI变化主要取决于气温。气温对植被生长具有促进作用，能促进植物的新陈代谢活动和生物量的积累。已有研究表明，在全球气候变暖的大背景下，我国大部分地区植被覆盖发生显著变化、植被活动趋势增强，植物生长季提前并延长[22]，这种变化不仅反映了植被对气候变化的适应性，也预示着生态系统结构和功能可能发生深远影响。江苏省属温带向亚热带过渡性气候，气候温和、雨量适中、四季分明，为植被的生长提供了良好的环境基础。春季适宜的气温和充沛的降雨量促进植物的复苏和生长，NDVI增加；夏季气温较高，植被蒸腾作用增加，在一定程度上抑制了作物生长，且江苏省内灌溉沟渠纵横、水网密布，农作物灌溉能满足植被生长需求，在一定程度上减弱了降雨对植被生长状况的负面影响[16]；秋季NDVI变化主要受农业耕种模式的影响[21]，与气象因素的关系不显著；冬季寒冷湿润、气温较低，NDVI分布主要受气温影响，低温限制了植被的生长活动，导致NDVI值较低。综上所述，适宜的气温和适量的降雨量有助于植被的生长和发育，但气温过高或过低、降雨过多或不足都可能对NDVI产生负面影响。

人类活动在区域尺度上能改变植被的变化趋势[25-26]。研究结果表明，得益于农业技术的进步、植树造林工程的实施以及城市绿化等举措的广泛开展，人类活动对江苏省NDVI的增加起到了促进作用；但受资源利用效率提升、环境保护意识增强以及政策调控力度变化等因素影响，人类活动强度对NDVI的影响力度正逐年波动性减弱。江苏省沿海地区、中心城区和周边的植被覆盖度低与退化严重主要是由人为因素引起的[16]，这些区域往往承载着高强度的经济活动，直接导致了植被破坏和生态系统退化。然而，随着人们对生态环境问题认识的不断深化，政府和社会各界开始采取积极措施应对这一挑战。目前针对人类活动与植被覆盖之间关系的研究主要集中在人类活动对植被的破坏作用上[27-28]，但随着可持续发展理念的推广以及政府政策的积极引导，人类活动在植被保护方面的作用也开始显现。随着政府引导的耕地保护政策、国土空间格局全域综合整治、建设用地集约利用等政策的相继实施，通过生态修复、产业结构优化调整等手段，人类活动又在一定程度上增加了局部区域的植被覆盖[29]。

3 结 论

本文利用2010—2022年江苏省250 m空间分辨率的MOD13Q1植被指数数据分析了NDVI在月度、季度和年度上的时空变化特征，并量化了气温、降雨量、人类活动等驱动因素对NDVI变化的影响。研究结果表明：①2010—2022年江苏省多年月均NDVI变化曲线呈双峰分布，各季度和年度NDVI呈波动上升趋势，夏季植被覆盖度最好，春季次之，秋季明显降低，冬季最低；在空间分布上，植被覆盖状况具有明显的地域性和季节性差异，高值区主要分布在低山丘陵地区。②江苏省植被覆盖整体呈增加趋势，有所改善区域主要分布在长江以南地区、连云港、盐城市东部沿海地区、里下河地区等，退化区域主要分布在泰州市、南通市、徐州市、南京市高淳区和溧阳市西南部；在年均、春、夏、秋季尺度上，除中心城区和城区周边外，其他地区的植被覆盖变化趋于稳定，冬季植被覆盖剧烈变化。③NDVI变化与同期气温和降雨量存在耦合关系，NDVI与气温的正相关性大于负相关性，与降雨量的正相关性略大于负相关性；气温具有决定性作用。④江苏省大部分区域人类活动对植被生态分布起到改善作用，改善明显区域主要集中在苏东城镇发展与近岸海域生态亚区；退化区域主要集中在苏北沂沭泗平原丘岗农业生态亚区和泰州市北部与盐城交界的淮河下游平原农业与湿地生态亚区；人类活动对江苏省植被分布的影响力度逐年波动性减弱。

参考文献

[1] 杜佳梦，包刚，佟斯琴，等. 1982—2015年蒙古国植被覆盖变化及其与气候变化和人类活动的关系[J]. 草业学报，2021，30(2):1-13

[2] Wang S，Zhang B，Wang S，et al. Dynamic Changes in Water Conservation in the Beijing-Tianjin Sandstorm Source Control Project Area: A Case Study of Xilin Gol League in China[J]. Journal of Cleaner Production，2021，293:126054

[3] Gao X，Huang X X，Lo K，et al. Vegetation Responses to Climate Change in the Qilian Mountain Nature Reserve，Northwest China[J]. Global Ecology and Conservation，2021，28:e01698

[4] 郑颖娟，刘军会，刘洋，等. 2000—2018年鄂尔多斯市植被覆盖度变化及驱动因素分析[J]. 环境科学研究，2022，35(11):2 458-2 468

[5] Chu H S，Venevskya S，Wu C，et al. NDVI-based Vegetation Dynamics and Its Response to Climate Changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015[J]. Science of the Total Environment，2019，650:2 051-2 062

[6] Zhang Y，Zhang C B，Wang Z Q，et al. Vegetation Dynamics and Its Driving Forces from Climate Change and Human Activities in the Three-river Source Region，China from 1982 to 2012[J]. Science of the Total Environment，2016，563/564:210-220

[7] Wei X C，Zhou Q W，Luo Y，et al. Vegetation Dynamics and Its Response to Driving Factors in Typical Karst Regions，Guizhou Province，China[J]. Frontiers of Earth Science，2021，15:167-183

[8] 殷崎栋，柳彩霞，田野. 基于MODIS NDVI数据的陕西省植被绿度时空变化及人类活动影响[J]. 生态学报，2021，41(4):1 571-1 582

[9] 段群滔，罗立辉. 人类活动强度空间化方法综述与展望:以青藏高原为例[J]. 冰川冻土，2021，43(5):1 582-1 593

[10] Li C，Kuang Y Q，Huang N S，et al. The Long-term Relationship Between Population Growth and Vegetation Cover: An Empirical Analysis Based on the Panel Data of 21 Cities in Guangdong Province，China[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health，2013(10):660-677

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

[12] Fan Y T，Gan L，Hong C Q，et al. Spatial Identification and Determinants of Trade-offs Among Multiple Land Use Functions in Jiangsu Province，China[J]. Science of the Total Environment，2021，772:145 022

[13] 惠品宏，陈燕，杨杰，等. 针对江苏省气温和降水的高分辨率降尺度模拟及预估[J]. 气象科学，2022，42(4):481-494

[14] 曹磊，谢飞，吴颖超，等. 江苏省NDVI时空变化特征及其与气候因子的关系[J]. 水土保持通报，2015，35(2):151-154

[15] 杨俊博，田锴，吴传万，等. 江苏植被的分布现状、驱动力及保护建议[J]. 中国科学:生命科学，2021，51(3):242-253

[16] 徐勇，奚砚涛. 江苏省植被覆盖动态变化及其与气候因子的关系[J]. 水土保持通报，2015，35(4):195-201

[17] Jarchow C J，Didan K，Barreto-Muñoz A，et al. Application and Comparison of the MODIS-derived Enhanced Vegetation Index to VIIRS，Landsat5 TM and Landsat8 OLI Platforms: A Case Study in the Arid Colorado River Delta，Mexico[J]. Sensors，2018，18(5):1 546

[18] Peng S Z，Ding Y X，Liu W Z，et al. 1 km Monthly Temperature and Precipitation Dataset for China from 1901 to 2017[J]. Earth System Science Data，2019，11:1 931-1 946

[19] 王家录，李维杰，王勇，等. 2005—2014年重庆石漠化地区NDVI的时空变化及其与气候因子相关性分析[J]. 水土保持研究，2021，28(2):217-223

[20] Liu P，Hao L，Pan C，et al. Combined Effects of Climate and Land Management on Watershed Vegetation Dynamics in an Arid Environment[J]. Science of the Total Environment，2017，589:73-88

[21] 徐雯，管永祥，陈震. 江苏省耕地轮作休耕实施成效与发展趋势[J]. 中国农技推广，2022，38(1):14-16

[22] 张戈丽，徐兴良，周才平，等. 近30年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J]. 地理学报，2011，66(1):47-58

[23] 马超，崔珍珍，李婷婷，等. 中国“平原—山地”地形过渡带NDVI时空变异与气候响应[J]. 生态学报，2023，43(5):2 141-2 157

[24] 向珈瑶，彭文甫，陶帅，等. 2000—2019年四川省植被恢复成效与影响因素[J]. 生态学报，2023，43(4):1 596-1 609

[25] Evans J，Geerken R. Discrimination Between Climate and Human-induced Dryland Degradation[J]. Journal of Arid Environments，2004，57:535-554

[26] 余晨渝，肖作林，刘睿，等. 人类活动对西南山地植被覆盖变化的影响:以重庆市为例[J]. 生态学报，2022，42(17):7 177-7 186

[27] Wessels K J，Prince S D，Frost P E，et al. Assessing the Effects of Human-induced Land Degradation in the Former Homelands of Northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI Time-series[J]. Remote Sensing of Environment，2004，91:47-67

[28] 赵哈林，大黑俊哉，周瑞莲，等. 人类活动与气候变化对科尔沁沙质草地植被的影响[J]. 地球科学进展，2008，23(4):408-414

[29] 刘宇，田济扬，黄婷婷，等. 长江流域NDVI变化及其驱动因素分析[J]. 地理科学，2023，43(6):1 022-1 031