

2000—2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 时空变化特征

奚砚涛, 徐 勇, 刘欣婷

(中国矿业大学 资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221000)

摘 要:基于 2000—2013 年美国国家航空航天局(NASA)发布 MODIS NDVI 数据产品,运用最大值合成法、趋势分析法和稳定性分析法,对江苏省近 14 年来不同植被类型时空变化特征进行了分析。结果表明:(1) 江苏省整体植被覆盖呈下降趋势,下降速率为 0.000 8/a。水田、草地呈下降趋势,水田下降趋势明显,下降速率为 0.002 1/a,旱地和林地呈上升趋势,旱地上升趋势较大,为 0.001 5/a;(2) 近 14 年江苏省植被退化面积占总面积的 32.21%,主要集中在城市中心区和沿江沿海环湖地区。水田退化面积呈由南往北,由东往西逐渐递增的空间分布特征,旱地退化面积主要分布在苏北地区;(3) 近 14 年江苏省植被表现出较好的稳定性,变异系数小于 10%的面积占总面积的 86.97%,林地、水田和旱地稳定性较好,草地稳定性最差;(4) 近 14 年江苏省植被 NDVI、植被变化趋势与植被稳定性在空间上表现出较好的耦合性,植被 NDVI 高、稳定性高的地区植被以轻微改善和中度改善为主,植被覆盖度低、稳定性较差地区以轻度退化和中度退化为主。

关键词:江苏省; 植被; 变异系数; 时空变化; 趋势分析

中图分类号:Q948

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2016)01-0086-06

Spatiotemporal Changes of Different Vegetation Coverage in Jiangsu Province in the Period from 2000 to 2013

XI Yantao, XU Yong, LIU Xinting

(School of Resources and Geosciences, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221000, China)

Abstract:Based on the data products of MODIS NDVI, published by NASA, we has analyzed the spatiotemporal changes of different vegetation coverage in Jiangsu Province in the period from 2000 to 2013. The used methods include maximum value synthesis, trend analysis and variation coefficient. The results show that: (1) vegetation coverage in Jiangsu Province decreased with an average rate of 0.000 8 every year, paddy field and grassland decreased too, paddy field decreased obviously with the average rate of 0.002 1 every year, meantime, dry land and forestland were increasing, and dry land increased more quickly with the average rate of 0.001 5 per year; (2) in the past 14 years, 32.21% of vegetation coverage degraded, the areas involved mainly locate in the center of city, around the lake and along the coastal areas, the spatial distribution characteristic of paddy field degradation illustrates the trend that the degradation aggravated gradually from the south to the north or from the east to the west, degraded region of dry land mainly distributes in the north area of Jiangsu; (3) at the same time interval, the area where the NDVI shows lower variation coefficient, namely less than 10%, accounts for 86.97% of the total vegetation area, is mainly located in forestland, paddy field and dry land, except the grassland; (4) since 2000, vegetation coverage, vegetation variation trend and variation coefficient showed the good coupling character both spatially and temporally. The area with higher NDVI and lower variation coefficient experienced mild and moderate improvement, while the area with lower NVDI and higher variation coefficient was characterized as slight and moderate degradation.

Keywords:Jiangsu Province; vegetation; variable coefficient; spatiotemporal variation; trend analysis

城市化是一个地区的人口在城镇和城市相对集中的过程,往往反映着当地自然、经济、人文的不断演

化^[1]。随着近年来经济的飞速发展,江苏省已逐步实现了工业化、城市化和现代化。由于快速的工业化和

城市化导致了江苏省土地利用类型的转变,城市面积的扩张致使耕地面积的急剧减少,生态环境遭到破坏^[2]。城市的可持续发展与区域生态环境息息相关,而植被生长状况是监测生态环境优劣的一个重要指标^[1]。植被是覆盖地表的植物群落的总称,是地理环境的重要组成部分,在物质和能量的交换中占有重要的地位^[3]。植被覆盖状况能在一定程度上反映区域的生态环境状况,常用于植被变化^[4]、生态环境研究^[5]、水土保持^[6]、气候^[7]等方面。

植被指数常用来反映植被的生长状况、生物物理和生物化学特征,其中归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)是目前应用最多的植被指数,利用归一化植被指数能够进行植被覆盖监测^[8]、土地覆盖分类^[9]、作物估产^[10]等。随着江苏省经济的发展,城市化水平的不断提高,全省范围内植被覆盖呈下降趋势,已有学者对中国东部、太湖平原及长江中下游地区植被覆盖变化趋势进行了研究^[4,8,11-12]。结果表明,近年来长江中下游太湖平原地区植被覆盖呈下降趋势,城市化、工业化是影响区域植被生长活动减弱的主要因素。本文利用 2000—2013 年 MODIS NDVI 数据,运用趋势线分析和稳定性分析,定量分析江苏省近 14 年不同植被类型覆盖趋势时空变化特征,对江苏省植被覆盖变化进行稳定性分析,预测未来地表植被覆盖变化趋势,并探究其发生变化的原因,进一步了解江苏省近 14 年来植被动态变化时空分布特征及动态变化趋势,本文研究结果可为江苏省生态环境监测、生态环境保护 and 植被可持续发展提供参考。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

江苏省位于 116°18′—121°57′E, 30°45′—35°20′N, 地处中国东部沿海的中部地区,位于长江三角洲的核心区域,是我国社会、经济、文化最发达的省(市、自治区)之一,人均 GDP 及 DLI 均居全国前列。江苏省下辖 1 个副省级市,12 个地级市。江苏省地势平坦,地形以平原为主,约占总面积的 69%,山地和丘陵所占比例较小,主要分布在江苏省北部和西南部。境内水系发达,水网稠密,分布有沂沭泗水系、淮河下游水系、长江和太湖水系 3 大流域系统。江苏省大致以淮河—灌溉总渠一线为界,以南属亚热带湿润季风气候,以北属暖温带湿润季风气候。全省气候温和,雨量适中,四季分明。

如附图 1 所示,土地利用类型以水田、旱地为主,林地、草地所占比例较少,由于江苏省兼有南北两种

气候类型,作物也呈现明显的区域差异,水田种植作物主要为水稻,主要分布在江苏省南部和中部平原地区;旱地种植作物主要为小麦、玉米和大麦,小麦和玉米主要分布在苏北地区,大麦由于其耐盐的特点,主要分布在江苏省东部沿海地区。林地主要分布在江苏省西南部的丘陵区,徐州和连云港北部。草地主要分布在淮安南部和盐城东部沿海地区。

1.2 数据来源和预处理

本文主要使用了 MODIS NDVI 数据集、江苏省行政区划矢量数据集、江苏省 1:10 万土地利用数据集(2000 年、2005 年、2008 年、2010 年)。江苏省行政区划矢量数据集和江苏省 1:10 万土地利用数据集来源于地球系统科学共享平台——长三角分平台,该数据经过了精度和质量控制,数据来源可靠。本文根据研究区实际情况,将土地利用类型进行重分类(图 1)。本文只对水田、旱地、林地、草地 4 种土地利用类型进行分析。为减少利用单一年份不同植被类型覆盖数据带来的误差,本文选取 4 期(2000 年、2005 年、2008 年、2010 年)不同植被类型覆盖数据对趋势分析和稳定性分析结果进行叠加分析,取 4 期不同植被类型覆盖各变化趋势与稳定性的平均值。

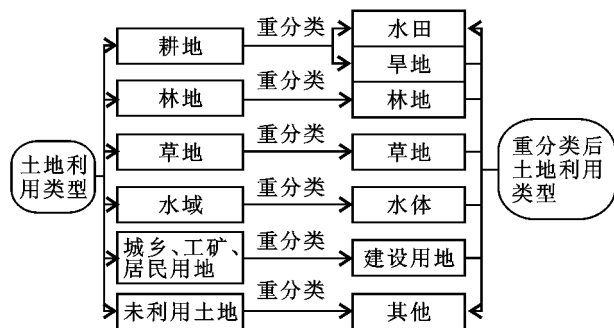


图 1 土地利用类型重分类处理流程

本文所用的 MODIS NDVI 数据为 2000 年 2 月—2013 年 12 月 MODIS NDVI 的 16 d 最大值合成数据集。数据集来源于美国国家航空航天局(NASA),空间分辨率为 250 m。NDVI 标准值为 $[-1, 1]$,而 MOD13Q1 原始数据集 DN 值取值范围为 $[-3\ 000, 10\ 000]$,其中 DN 为 $-3\ 000$ 表示该像元为填充值,从 DN 值转化为 NDVI 真值的关系式为^[13]: $NDVI = DN \times 0.0001$ 。采用目前国际上通用的最大化合成分法(Maximum Value Composites, MVC)合成月最大 NDVI 数据,该处理可以减少大气中云、颗粒以及太阳高度角的影响。利用年内 12 个月平均 NDVI 作为当年 NDVI 值。由于 2000 年 1 月 MODIS NDVI 数据的缺失,为了保证 MODIS NDVI 时间序列的完整性,取 2001—2013 年 1 月 NDVI 平均值为 2000 年 1 月 NDVI 值。MODIS NDVI 数据预处理流程见图 2。

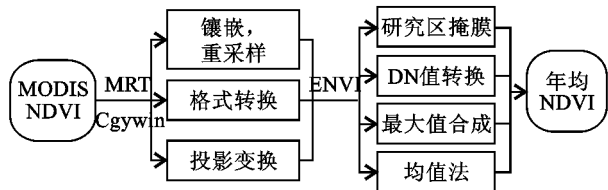


图 2 MODIS NDVI 数据预处理流程

2 研究方法

2.1 趋势分析

为了研究 2000—2013 年江苏省植被覆盖变化的空间分布特征,本文采用一元线性回归分析的方法,分析每个像元的 NDVI 变化趋势,计算数据集中所有像元的 NDVI 与时间的回归斜率。趋势线分析法是对一组随时间变化的变量进行一元线性回归分析,一元线性回归分析可以模拟每个栅格的变化趋势,从而预测其未来的变化趋势。具体计算公式如下^[14]:

$$\text{Slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \text{NDVI}_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: n ——时间段的总年数; NDVI_i ——第 i 年年平均 NDVI 值; Slope ——趋势线的斜率, $\text{Slope} > 0$,则说明 NDVI 值在 n 年间有增加的趋势;若 $\text{Slope} < 0$,则呈减少趋势; Slope 绝对值越大,则说明植被覆盖状况变化越明显。

为了更好地评价江苏省植被变化趋势,参照已有研究^[14],根据 Slope 值的范围,定义中度退化($\text{Slope} < -0.009$)、轻度退化($-0.009 < \text{Slope} < -0.003$)、基本不变($-0.003 < \text{Slope} < 0.003$)、轻度改善($0.003 < \text{Slope} < 0.009$)、中度改善($\text{Slope} > 0.009$) 5 个变化区间,并分别记为 I, II, III, IV, V。最终得到 2000—2013 年江苏省植被趋势变化图,并统计每个区间的面积和面积百分比。本文在 ENVI 中利用 IDL 编程,从年尺度对每个像元进行趋势线分析,求出每个像元近 14 年的变化趋势,并将趋势分析结果转为 ArcGIS 中的 GRID 格式以直观反映植被覆盖在空间上的变化趋势。

2.2 稳定性分析

为了解江苏省年平均 NDVI 在空间上的波动情况,从像元尺度来计算 2000—2013 年年平均 NDVI 的变异系数,用于评估其在时间序列上的稳定性。具体计算公式如下^[15]:

$$C_v = \sigma / \bar{x} \quad (2)$$

式中: C_v ——变异系数; σ ——标准差; \bar{x} ——平均值。 C_v 表示数据分布的离散程度, C_v 值越大,表示数据分布越离散,时间序列数据波动越大; C_v 值越小,表示数

据分布较紧凑,时间序列数据较稳定。为了定量分析江苏省稳定性的空间分布特征,参照已有研究并结合江苏省实际情况^[15],将稳定性划分为 6 个等级: C_1 ($0 \leq C_v < 0.05$), C_2 ($0.05 \leq C_v < 0.10$), C_3 ($0.10 \leq C_v < 0.15$), C_4 ($0.15 \leq C_v < 0.20$), C_5 ($0.20 \leq C_v < 0.25$), C_6 ($C_v \geq 0.25$), C_1 至 C_6 稳定性依次下降。

3 结果与分析

3.1 江苏省植被变化趋势

3.1.1 时间变化趋势 年平均 NDVI 能较好地反映该地区年内植被生长状况,采用最大值合成法得到年内 12 个月 NDVI,采用均值法生成 2000—2013 年年平均 NDVI。江苏省 2000—2013 年 NDVI 趋势分析表明(图 3),江苏省整体 NDVI 平均值为 0.512,呈波动下降趋势,主要表现为 2000—2007 年波动上升和 2007—2013 年波动下降。水田、旱地、林地、草地植被 NDVI 波动呈现出较好的一致性(图 4),均表现为 2000—2007 年的波动上升和 2007—2013 年的波动下降,均在 2007 年达到最大值,最大值分别为 0.600, 0.600, 0.617, 0.432;水田、旱地 NDVI 最小值在 2000 年(0.53, 0.549),林地 NDVI 最小值在 2001 年(0.579),草地 NDVI 最小值在 2012 年(0.380)。

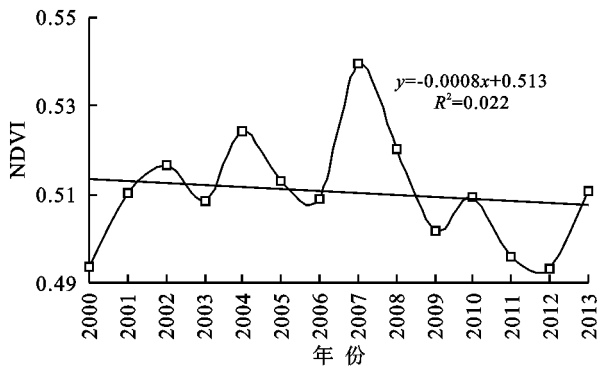
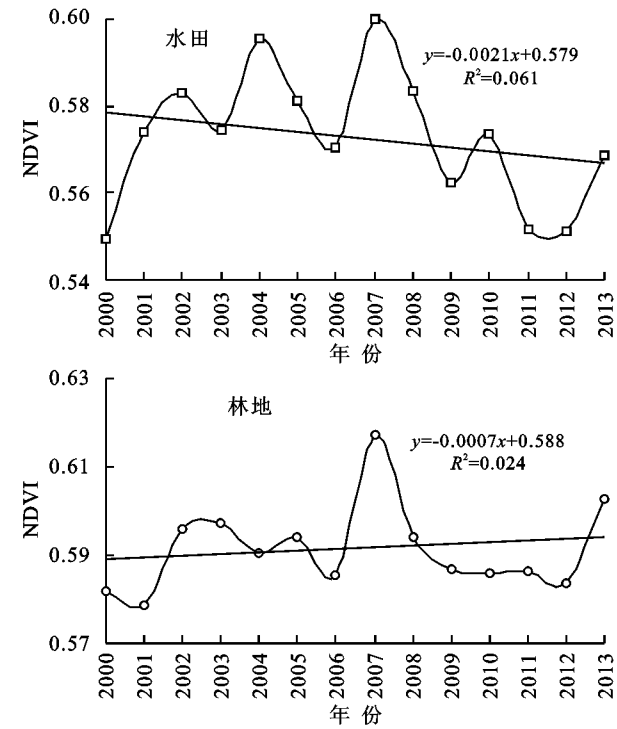


图 3 江苏省年平均 NDVI 变化特征

2000—2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 表现出不同的变化趋势。近年来大面积农用地转化为城镇用地,使得水田植被覆盖呈减少趋势,这与周峰等^[11]得出的 2001—2010 年长江三角洲地区植被变化趋势一致;旱地主要受人为因素的影响,施肥、育种等农业活动使得旱地植被 NDVI 呈上升趋势,这与崔林丽等^[16]得出的 1998—2007 年中国东部旱地 NDVI 显著增加结论相符;林地主要分布在丘陵和山区,自然环境好,对气候和人为影响具有较强的适应性,生长稳定;受城市建设的影响,草地面积锐减,NDVI 呈下降趋势,这与许艳等^[17]得出的自 2000 年以来,由于江苏省工业化进程的加快,大量的草地转化为建设用地这一结论相符。

3.1.2 空间变化趋势 利用趋势线分析对江苏省

2000—2013 年年平均 NDVI 时间序列进行线性回归分析,结果见附图 2,在过去 14 年间,江苏省植被 NDVI 变化较大,改善区域面积略大于退化区域面积,改善面积占总面积的 36.82%,退化面积占总面积的 32.21%,其余部分基本保持不变(表 1)。江苏省植被 NDVI 变化趋势呈现出明显的空间分布差异,中度退化主要分布在沿海、沿江、环湖以及各城市



中心区;轻度退化呈现出由南往北梯度递增的空间分布特征,主要分布在苏北以及沿海地区;基本不变在全省范围内均有分布;轻度改善由北往南梯度递增,主要分布在江苏省中部;中度改善所占比重较小,主要分布在南通南部。

2000—2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 变化趋势呈现较大差异(表 2)。

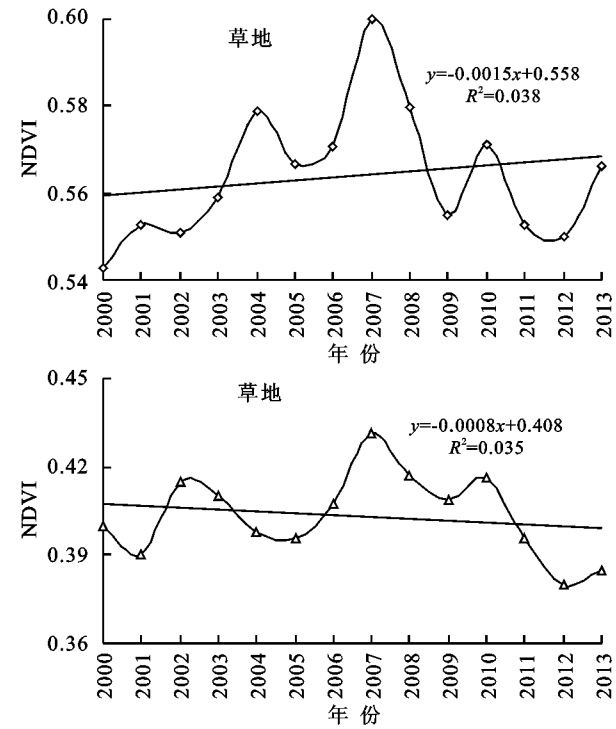


图 4 不同植被类型年均 NDVI 变化特征

表 1 植被变化趋势

植被变化趋势	面积/km ²	百分比/%	主要分布区域
I	6346.38	6.75	环太湖、高邮湖地区;淮安南部;盐城北部;徐州、连云港北部
II	23946.13	25.46	环洪泽湖、骆马湖地区;宿迁中部;徐州东部和南部;连云港东部
III	29133.63	30.97	南通中部;淮安东部;连云港南部;其余地方零星分布
IV	29566.56	31.43	南通北部;镇江;南京中部;苏锡常东部;泰州;盐城、连云港中部
V	5066.81	5.39	南通南部;盐城南部

表 2 不同植被类型变化趋势显著性统计

植被变化趋势	水田		旱地		林地		草地	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
I	2117.94	5.18	1560.44	7.03	556.50	18.59	89.13	14.37
II	8830.94	21.58	7208.94	32.50	784.75	26.21	233.94	37.74
III	13444.63	32.87	6424.75	28.96	632.75	21.14	196.50	31.69
IV	14909.44	36.45	4716.75	21.26	794.63	26.54	90.75	14.63
V	1603.81	3.92	2273.88	10.25	225.13	7.52	9.75	1.57

水田 NDVI 表现为中部增加而四周退化的分布格局。水田退化面积主要分布在无锡、常州南部、环高邮湖地区、宿迁中部以及盐城东部沿海地区;改善面积主要分布在苏南南部以及江苏省中部的里下河平原地区。旱地 NDVI 由北向南依次表现为退化—

不变—改善的空间分布特征。退化区域主要分布在徐州、连云港、盐城北部;改善区域分布较为集中,主要分布在盐城东部沿海以及南通市东南沿海地区。林地和草地退化较水田和旱地更为严重,林地退化面积零星分布于徐州、连云港、盱眙以及常州、无锡南

部;基本不变和改善面积主要分布在江苏省西南部的丘陵区。草地退化面积主要集中在淮安南部及盐城北部。

由长江以北至灌溉总渠,水面面积梯度递减,灌溉总渠以北,水系较少,灌溉能力减弱,植被的生长对降水的依赖性加强。江苏省降水量由南往北呈梯度递减且近年来降水量呈下降趋势,故长江以北由南往北植被覆盖程度、植被稳定性呈递减趋势;城市有沿海、沿江、环湖发展的特点,城市化程度高的地区人类的活动较强,对植被的负面影响较大,故长江中下游沿岸,东部沿海地区,环太湖、洪泽湖、高邮湖、骆马湖地区植被覆盖度较低,植被下降趋势明显。

环太湖地区植被表现为退化趋势,该区湖泊星罗棋布,水系发达,热量条件充沛,水热条件不是限制植

被生长的主要因子,该地地处苏锡常都市圈,近年来工业发展迅速,城市化程度较高,人类活动加强,使得局部地区植被 NDVI 呈下降趋势,这与安佑志等^[8]、徐慧^[18]、韩贵峰^[19]得出近年来由于江苏省经济的快速发展、快速城市化、高度工业化和人类活动,长江中下游太湖平原地区植被覆盖呈下降趋势,张学珍等^[12]、邱海军等^[14]、吕华丽^[20]得出在苏、锡、常地区经济的快速发展和快速的城市化导致了局部地区植被生长活动急剧减弱结论相符。

3.2 江苏省植被指数稳定性分析

逐像元计算 2000—2013 年江苏省年平均 NDVI 和江苏省不同植被类型年平均 NDVI 变异系数,并做统计分析(表 3),评估 NDVI 在时间序列上的稳定性。

表 3 不同植被类型变异系数结果统计

变异 等级	水田		旱地		林地		草地	
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%
C ₁	22438.63	54.88	10674.25	48.12	1838.94	61.49	115.38	18.66
C ₂	16238.63	39.70	10627.25	47.91	999.81	33.43	202.94	32.81
C ₃	1639.94	4.01	675.69	3.14	111.06	3.71	108.69	17.57
C ₄	398.19	0.97	118.00	0.53	28.13	0.94	42.57	6.88
C ₅	128.06	0.31	43.56	0.20	8.06	0.27	26.19	4.24
C ₆	53.63	0.13	21.25	0.10	4.81	0.16	122.69	19.84

在过去 14 年里,稳定性存在明显的空间分布特征(附图 3),主要表现为稳定性由南北往中间梯度递减的分布态势。变异系数小于 10% 的面积为 81 754.31 km²,占总面积的 86.97%;变异系数大于 10% 而小于 15% 的面积为 108.69 km²,占总面积的 17.57%;变异系数大于 15% 的面积为 5 676.81 km²,仅占总面积的 6.04%。变异系数小于 5% 的像元主要分布在江苏省西南部的丘陵区,长江以北及淮河以南的里下河平原和滨海平原;变异系数小于 10% 的像元主要分布在长江中下游太湖平原和苏北地区;变异系数大于 10% 的像元主要分布在沿江沿湖以及东部沿海地区。

2000—2013 年江苏省不同植被类型 NDVI 稳定性表现出较大的差异(表 3),水田、旱地、林地表现出较好的稳定性,变异系数小于 10% 的面积分别占其总面积的 94.58%,96.13% 和 94.92%,草地稳定性最差,其植被 NDVI 波动较大,草地近 14 年的变异系数大于 10% 的面积占其总面积的 48.54%,远高于水田、旱地和林地的比例,草地主要分布在环洪泽湖及东部沿海地区,城市化是影响草地变化的主要原因^[17]。

近 14 年水田和旱地稳定性表现出南北低,中部高的空间分布特征。长江以南地区植被的稳定性表现为由西往东:低(南京)—高(镇江、常锡西部)—低(常锡东部、苏州)的空间分布特征,稳定性较差的区

域位于南京市和苏锡常经济圈,该区城市化程度较高,耕地大量转化为城市用地,使得植被覆盖波动较大,这与邱海军等^[14]得出的长三角地区城市的快速扩张,使得局部地区植被恶化,肖思思等^[21]得出的 2000—2005 年苏锡常地区建筑用地以转入为主,6 年内共有 2 037.32 km² 水田转为建筑用地,导致植被覆盖变化较大结论一致。

长江以北地区植被的稳定性表现为由北往南梯度递增,这是由于近年来江苏省各大城市在飞速发展和快速城市化,加之近年来降水和气温呈下降趋势且表现出由南往北梯度递减的空间分布特征,故城市发展、降水和气温等因素导致了长江以北地区植被稳定性的空间分布格局。这与周峰等^[11]江苏省北部粮食种植区及中部城市化快速发展地区,受周围环境和人类活动影响,植被指数年际波动明显,陈云浩等^[22]、孙红雨等^[23]认为在中国东部沿海平原地区,在同一经线从南往北,气温是影响植被 NDVI 变化的主要驱动因子,崔林丽^[16]等得出在中国东部水田和旱地的变化与气温和降水有较大的相关性结论相符。

水田和旱地是江苏省主要的植被覆盖类型。随着现代化耕作水平的提高,人类人为干预的强度增加,农业进行精细化管理,作物的生长较好,对环境的适应能力较强,作物保持较高生长状态,没有表现出

较大的波动性。林地对水热条件和环境的适应能力较草地更强,草地的生长受水热条件以及人类活动的影响较大,极端气候条件及人为干预对草地的影响较大,故近14年草地表现出较大的波动性,水田、旱地和林地的稳定性较高。

4 结论

(1) 2000—2013年江苏省整体植被覆盖呈下降趋势。不同植被覆盖类型表现出不同变化趋势,水田、草地呈下降趋势,旱地、林地呈上升趋势。

(2) 2000—2013年江苏省植被退化面积占总面积的32.21%,下降区域主要分布在各城市中心区、东部沿海地区以及环湖沿江地区,其他地区零星分布。林地与草地下降趋势明显,水田退化面积为10 948.88 km²,呈现出由南往北,由东往西逐渐递增的空间分布特征,旱地退化面积为8 769.38 km²,主要分布在苏北地区。

(3) 2000—2013年江苏省植被变异系数由南北往中部梯度递减。变异系数小于10%的面积为81 754.31 km²,占总面积的86.97%,总体稳定性较高。不同植被类型稳定性相差较大,草地稳定性最差,变异系数大于10%的面积为48.53%,远高于水田,旱地和林地。林地稳定性最好,变异系数小于5%所占比例为61.49%,其次依次为水田和旱地,分别占54.89%,48.13%。

(4) 2000—2013年江苏省植被NDVI,植被稳定性与植被变化趋势在空间上表现出较好的耦合性,植被NDVI高、稳定性高的地区植被以轻微改善和中度改善为主,主要分布在江苏省西南部的丘陵区、江苏省腹地的里下河地区以及长江以北海口的冲击平原;植被覆盖度低、稳定性较差地区以轻度退化和中度退化为主,主要分布在江苏省东部沿海地区、苏北地区、环高邮湖区以及环太湖平原。

参考文献:

- [1] 刘金龙,郭华东,张露,等. 京津唐地区城市化对植被物候的影响研究[J]. 遥感技术与应用,2014,29(2):286-292.
- [2] 龙开胜,陈利根,李明艳. 工业化、城市化对耕地数量变化影响差异分析:以江苏省为例[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):579-583.
- [3] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction[J]. Remote Sensing of Environment,2002,80(1):76-87.
- [4] 李小亚,张勃,靳自宝. 基于MODIS-NDVI的甘肃河东地区植被覆盖度动态监测[J]. 水土保持研究,2013,20(1):112-115.
- [5] 满多清,吴春荣,徐先英,等. 腾格里沙漠东南缘荒漠植

被盖度月变化特征及生态恢复[J]. 中国沙漠,2005,25(1):140-144.

- [6] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. International Journal of Remote Sensing,1998,19(8):1533-1543.
- [7] 徐勇,奚观涛,许伟,等. 归一化植被指数对江苏省气温、降水变化的时空响应特征[J]. 湖北农业科学,2015,54(3):599-604.
- [8] 安佑志,刘朝顺,施润和,等. 基于MODIS时序数据的长江三角洲地区植被覆盖时空变化分析[J]. 生态环境学报,2012,21(12):1923-1927.
- [9] 孙艳玲,杨小唤,王新生,等. 基于决策树和MODIS数据的土地利用分类[J]. 资源科学,2007,29(5):169-174.
- [10] 田苗,王鹏新,张树誉,等. 基于条件植被温度指数的冬小麦产量预测[J]. 农业机械学报,2014,45(2):239-245.
- [11] 周峰,许有鹏,吕慧华. 基于MODIS-EVI数据的长江三角洲地区植被变化的特征[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(11):1363-1369.
- [12] 张学珍,朱金峰. 1982—2006年中国东部植被覆盖度的变化[J]. 气候与环境研究,2013,18(3):365-374.
- [13] 边金虎,李爱农,宋孟强,等. MODIS植被指数时间序列 Savitzky-Golay 滤波算法重构[J]. 遥感学报,2010,14(4):725-741.
- [14] 邱海军,曹明明. 基于SPOT VEGETATION数据的中国植被覆盖时空变化分析[J]. 资源科学,2011,33(2):335-340.
- [15] 孙雷刚,刘剑锋,徐全洪. 河北坝上地区植被覆盖变化遥感时空分析[J]. 国土资源遥感,2014,26(1):167-172.
- [16] 崔林丽,史军,肖风劲,等. 中国东部NDVI的变化趋势及其与气候因子的相关分析[J]. 资源科学,2010,32(1):124-131.
- [17] 许艳,濮励杰,张润森,等. 近年来江苏省海岸带土地利用/覆盖变化时空动态研究[J]. 长江流域资源与环境,2012,21(5):565-571.
- [18] 徐慧. 基于SPOT VEGETATION数据的长江流域植被覆盖变化特征分析[D]. 武汉:华中农业大学,2011.
- [19] 韩贵锋. 中国东部地区植被覆盖的时空变化及其人为因素的影响研究[D]. 上海:华东师范大学,2007.
- [20] 吕华丽. 长江流域植被覆盖变化及其驱动力因子研究[D]. 武汉:华中农业大学,2012.
- [21] 肖思思,吴春莺,储金宇. 1980—2005年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报,2013,28(23):1-11.
- [22] 陈云浩,李晓兵,史培军. 1983—1992年中国陆地NDVI变化的气候因子驱动分析[J]. 植物生态学报,2001,25(6):716-720.
- [23] 孙红雨,王长耀,牛铮,等. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系:基于NOAA时间序列数据分析[J]. 遥感学报,1998,2(3):204-210.