

引用格式: Zhu Mingming, Hou Xiyong, Wu Ting. Spatio-temporal Characters of Vegetation Cover in the Eastern China from 2001 to 2010 based on MODIS NDVI[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2013, 28(6): 1027-1032. [朱明明, 侯西勇, 毋亭. 基于 MODIS NDVI 的中国东部植被覆盖时空变化特征[J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(6): 1027-1032.]

# 基于 MODIS NDVI 的中国东部植被覆盖 时空变化特征

朱明明<sup>1,2</sup>, 侯西勇<sup>2</sup>, 毋亭<sup>2</sup>

(1. 山东正元数字城市建设有限责任公司, 山东 烟台 264670;  
2. 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003)

摘要: 基于 2001~2010 年逐月 MODIS NDVI 产品, 采用 Mann-Kendall 检验和 Hurst 指数, 研究中国东部及 5 个子区(东北区、黄淮海区、长江中下游区、江南区和华南区)植被覆盖的时空动态特征。结果表明: 10 a 期间中国东部植被覆盖以不显著改善和不显著退化特征为主, 前者稍占优势, 4 个季节中秋季改善状况最显著; 未来态势主要表现为不显著改善且未来将持续改善和不显著退化且未来将持续退化两种特征。植被覆盖为不显著退化且将持续退化的区域主要分布在大型城市或城市群周围; 5 个子区中, 除江南区年内主要表现为不显著退化且将持续退化特征外, 其余 4 区均主要表现为不显著改善且未来将持续改善特征。

关键词: MODIS; NDVI; Mann-Kendall; Hurst 指数; 植被覆盖; 中国东部

中图分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1004-0323(2013)06-1027-06

## 1 引言

植被在地球系统中扮演着重要的角色, 影响地球系统的能量平衡, 在气候、水文和生化循环中起着重要作用, 是气候和人文因素对环境影响的敏感指标, 因此, 针对植被及其变化的研究一直是科学界的热点<sup>[1]</sup>。卫星遥感是监测全球植被的有效手段, 卫星的可见光和近红外波段包含了 90% 以上的植被信息; NDVI 定义为近红外波段和可见光波段之差与这两个波段之和的比值, 能够非常精确地反映植被绿度、光合作用强度、植被动态变化特征, 在全球或区域尺度植被动态监测、植被分类、土地覆盖分类等方面应用广泛<sup>[2-3]</sup>。NOAA/AVHRR、SPOT/VGT、Terra/MODIS 等提供了多种地表参数数据集, 其中 NDVI 产品已有长时间的数据积累, 因而被广泛应用。例如: 孙红雨等<sup>[4]</sup>采用 1985~1990 年

NOAA/NDVI 时序数据, 分析中国植被覆盖变化特征, 指出植被指数空间格局受经度和纬度地带性影响, 大范围变化主要受水热条件驱动; Senay 等<sup>[5]</sup>运用 1990~1996 年 1 km 分辨率的 NDVI 和土地利用数据分析 Oklahoma 地区植被的时空动态特征; Chen 等<sup>[6]</sup>对 1989~1999 年中国 NDVI 的变化强度和变化类型等进行研究, 表明中国东部较西部变化显著, 台湾、福建、四川、河南等地 NDVI 增加, 而云南、新疆减少; Weiss 等<sup>[7]</sup>利用 1959~2001 年的 AVHRR/NDVI 数据对美国新墨西哥州中部半干旱区的植被在年内、年际和季节 3 个尺度的变化做了深入研究; 刘亚龙等<sup>[8]</sup>对 1998~2008 年胶东半岛海岸带 NDVI 进行分析, 指出近 10 a 来 NDVI 变化以衰减为主; 曹云峰等<sup>[9]</sup>采用 2000~2008 年生长季 MODIS/NDVI 数据对中国东北样带植被覆盖变化

收稿日期: 2012-11-05; 修订日期: 2013-01-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-224), 中国科学院战略性先导科技专项一应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05130703)。

作者简介: 朱明明(1985—), 女, 山东烟台人, 博士研究生, 主要从事海岸带环境与生态遥感研究。E-mail: mmzhu@yic.ac.cn。

通讯作者: 侯西勇(1975—), 男, 山东泰安人, 教授, 主要从事海岸带遥感与 GIS 应用研究。E-mail: xyhou@yic.ac.cn。

进行研究,发现 NDVI 变化过程有明显的时空分异特征。本文以中国东部为研究区,基于 2001~2010 年 MODIS NDVI 数据,分析 10 a 来植被覆盖的年内变化、年际变化及未来的演变趋势,以期为区域生态保护措施的制定提供参考。

## 2 研究区概况

中国东部地区位于亚欧大陆东缘、太平洋西岸,地理范围为  $104^{\circ}26' \sim 131^{\circ}19' E$ ,  $18^{\circ}15' \sim 46^{\circ}18' N$ ,东部和东南部濒临渤海、黄海、东海和南海。受海陆分布、大气环流和地形等的影响,季风气候典型,属于半湿润区和湿润区。大部分地区位于中纬度,光热条件优越,自北向南依次为温带—暖温带—亚热带—热带气候,以及针阔混交林—落叶阔叶林—常绿阔叶与常绿阔叶混交林—常绿阔叶林—季雨林—雨林<sup>[2]</sup>。大部分位于中国地势的第三级阶梯,海拔较低,自北向南分布着东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原、珠江三角洲平原,农业发达,是中国重要的粮食基地。集中分布了京津冀、长江三角洲、珠江三角洲三大都市圈和辽中南、山东半岛、江浙沿海、海峡西岸等经济区,是中国地理区位最优越、人口最密集、经济最发达、工业化和城市化水平最高的地带<sup>[10]</sup>。近年来,受气候变化和经济社会发展等因素的影响,区域地表过程剧烈,植被覆盖变化显著。为便于研究,参照中国科学院自然资源综合考察委员会的中国农业生态区划方案,将该区域划分为 5 个子区(图 1):1-东北区(吉、辽)、2-黄淮海区(京、津、冀、鲁、豫)、3-长江中下游区(鄂、皖、苏、沪)、4-江南区(湘、赣、浙、闽)和 5-华南区(桂、粤、琼、港、澳、台)。

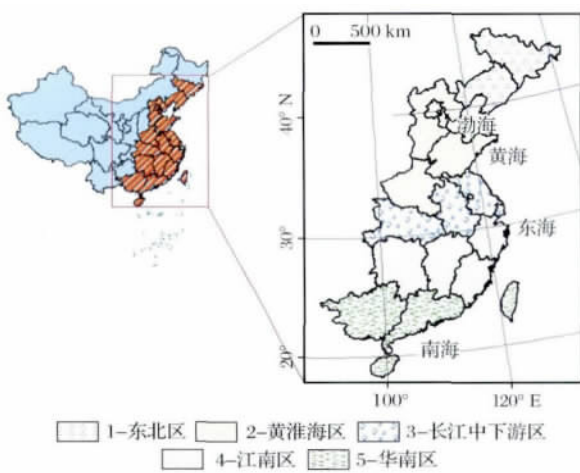


图 1 研究区地理位置和范围

Fig. 1 The location and extent of study area

## 3 数据和方法

### 3.1 数据介绍

采用 NASA 提供的 MOD13A3 数据产品 (<http://lpdaac.usgs.gov>),时间范围为 2001~2010 年,时、空分辨率分别为月和 1 km。利用 MRT(MODIS Re-projection Tool)软件提取 NDVI 数据层,经过格式转换、投影转换、影像拼接和裁剪,得到研究区 grid 格式的数据,采用 Albers 等积圆锥投影。为减少云等噪音对时间序列数据质量的扰动,借助 NDVI 像元可信度信息判断云污染的像元<sup>[11-12]</sup>,并采用均值迭代滤波法修正异常值<sup>[13-14]</sup>,重建后的 NDVI 序列消除了极端异常点,数据质量显著改善。

### 3.2 研究方法

#### 3.2.1 Mann-Kendall 非参数趋势检验

Mann-Kendall 方法能很好地揭示时间序列的变化趋势,已被广泛应用于趋势与突变分析<sup>[15]</sup>。在趋势检验中,原假设  $H_0$  表示数据集  $X$  的数据样本独立分布,没有趋势存在。可先假设  $H_1$  表示数据集  $X$  中存在一个单调的趋势, Mann-Kendall 统计检验如下<sup>[16]</sup>:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n \text{sgn}(x_k - x_j) \quad (1)$$

$$\text{sgn}(x_k - x_j) = \begin{cases} 1 & x_k - x_j > 0 \\ 0 & x_k - x_j = 0 \\ -1 & x_k - x_j < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

其中: $n$  为数据集长度; $x_k, x_j$  分别为样本数据值; $\text{Var}(s)$  为方差; $Z$  为正态分布统计量,  $\text{sgn}$  为符号函数。在双边检验中,如果  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z_s \leq +Z_{1-\alpha/2}$ , 则接受原假设  $H_0$ , 其中,  $\pm Z_{1-\alpha/2}$  是标准正态偏差,  $\alpha$  为置信水平。倾斜度  $\beta$  用来量化单调趋势<sup>[17]</sup>:

$$\beta = \text{Median}\left(\frac{x_k - x_j}{k - j}\right), \forall j < k \quad (5)$$

其中: $1 < j < k < n$ , 当  $\beta > 0$  时,表明时间序列存在上升趋势,反之则为下降趋势。在 95% 的置信度上如果  $|Z| \geq 1.96$ ,则表示时间序列的上升或下降趋势统计显著。

### 3.2.2 Hurst 指数

植被覆盖变化是对时间有依赖的自然现象, Hurst 指数(H) 是定量描述时间序列自相似性与长程依赖性的主要方法之一。H = 0.5, 表明时间序列随机; 0.5 < H < 1, 表明时间序列具有持续性, 未来将延续过去的变化趋势; 0 < H < 0.5, 表明时间序列具有反持续性, 即过去增加的趋势预示将来整体上减少<sup>[18]</sup>。R/S 分析是计算 Hurst 指数的常用方法<sup>[19]</sup>, 设有一时间序列: {ξ(t)}, t = 1, 2, ..., N; 取 τ = 1, 2, ..., N, 对于某个 τ 定义均值序列:

$$\langle \xi \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \xi(t) \quad (6)$$

对于在 τ 内的所有时刻, t 时刻累积离差:

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t (\xi(u) - \langle \xi \rangle_{\tau}), 1 \leq t \leq \tau \quad (7)$$

定义极差序列 R 为:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq T \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq T \leq \tau} X(t, \tau) \quad (8)$$

定义标准差序列 S 为:

$$S(\tau) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\xi(t) - \langle \xi \rangle_{\tau})^2} \quad (9)$$

$$\frac{R(\tau)}{S(\tau)} = (c\tau)^H \quad (10)$$

其中: H 为 Hurst 指数, c 为常数, τ 为时间序列的长度。

### 3.2.3 β-H 耦合分析

将 Mann-Kendall 检验的倾斜度 β 和 H 指数进行耦合, 从而既揭示 NDVI 变化的历史特征, 又反映其未来态势。具体而言, 不同的数值组合关系对应的生态学意义如表 1。

表 1 β-Hurst 耦合分析的指示作用  
Table 1 The indicator meaning of β-Hurst

β	H	植被覆盖演变特征
>0	>0.5	过去改善, 未来将持续改善
<0	>0.5	过去退化, 未来将持续退化
<0	<0.5	过去退化但未来将是改善趋势
>0	<0.5	过去改善但未来将是退化趋势

## 4 结果分析

### 4.1 NDVI 变化趋势

如图 2, 中国东部所有月份均以不显著变化为主。除 3 月和 12 月主导特征为退化外(包括退化趋势显著和不显著), 其余 10 个月的主导特征均为“改善”(包括改善趋势显著和不显著), 不同月份之间改善和退化面积比例差异较大, 月均改善面积比退化面积多 14.13%, 其中改善特征最明显的为 10 月份, 退

化特征最明显的为 12 月份。改善和退化趋势显著的区域面积均远远低于对应的不显著区域, 而变化较为离散的区域面积很小, 可以忽略不计。通过对 4 季植被覆盖变化特征的面积统计可知, 春、夏、秋、冬 4 季植被覆盖均为不显著的改善态势, 而秋季(9~11 月)植被覆盖改善状况最好, 其次为夏季、春季和冬季。

### 4.2 NDVI 变化趋势的持续性

在 95% 的置信区间上, β 所反映的 NDVI 变化规律主要表现为不显著的增加趋势, NDVI 逐月像元的 β-Hurst 耦合特征能够反映植被覆盖的变化趋势及其长程依赖性特征, 且该变化趋势中以不显著特征占主导。基于上述前提可知, 图 3 反映出中国东部整体和 5 个子区域绝大多数像元都表现为过去改善且将来持续改善和过去退化且将来持续退化两种特征, 而其他两种特征的像元很少, 表明绝大部分像元的变化态势均有长程自相关性, 并且都是正向持续性, 但各个月份表现出持续性特征的像元数量有所差异, 而且这种差异特征在 5 个子区域的空间分异特征也较为突出。

中国东部整体的 β-Hurst 耦合特征显示, 3 月份和 12 月份有 1/2 以上的区域植被覆盖表现出退化趋势且未来将持续退化, 面积比例分别为 51% 和 53%; 其他月份 1/2 以上的区域表现为改善且未来将持续改善趋势, 其中 10 月份改善情况尤为突出, 像元数量的比例为 70%, 其次为 9 月和 11 月, 面积比例均超过 60%, 4~7 月也均超过 55%; 由此可知, 中国东部整体植被覆盖的改善以秋季最为显著, 春季、夏季呈改善趋势但优势不明显, 而冬季整体改善和退化的区域基本上各占 1/2。

从 5 个子区的 β-Hurst 耦合特征来看, 不同区域 12 个月份均以持续的改善或退化特征为主, 变化态势具有正向可持续性。东北区除 12 月以外, 其余 11 个月份均以过去改善未来将持续改善为主要特征, 春、夏、秋、冬四个季节均以改善且持续改善特征为主导, 以秋季和夏季改善最明显、冬季最不明显。黄淮海区月均改善且将持续改善的面积比例为 63.24%, 退化且将持续退化的月份为 2、3 月; 该区域四季均表现为改善且将持续改善特征, 秋季和夏季较为突出, 其次为春季, 而冬季改善和退化面积基本持平。长江中下游区 9~11 月改善且将持续改善的面积均超过 70%; 退化且将持续退化为主要特征的月份为 1、3 和 12 月; 该区域不同月份改善与退化比例的动态消长的季节特征较为显著, 其中春、夏、秋 3 季均为改善且将持续改善特征, 以秋季改善状

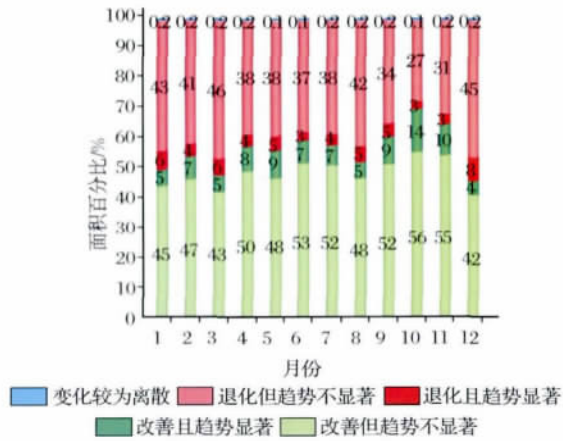


图 2 月尺度 NDVI 变化特征对比

Fig. 2 Comparative characters of monthly NDVI variations

况最优,而冬季则主要表现为退化且未来将持续退化特征。江南区 12 个月份整体上以退化且将持续退化特征为主,其中 5 月退化最为剧烈,占 65%; 10、11 月仍然保持良好的改善趋势;该区域只有秋季呈现改善且未来将持续改善趋势,而冬、春、夏 3 季均表现为退化且将持续退化特征。华南区内年持续改善和退化的面积基本相当,月均改善和退化的面积比例分别为 51.95%和 47.37%,6 月和 8 月的植被覆盖呈现退化且将持续退化趋势,因此该区夏季主要表现为退化且将持续退化特征,其他 3 个季节均为改善且将持续改善特征。

综上所述,10 a 来中国东部地区整体年内主要表现为改善且未来将持续改善和退化且未来将持续

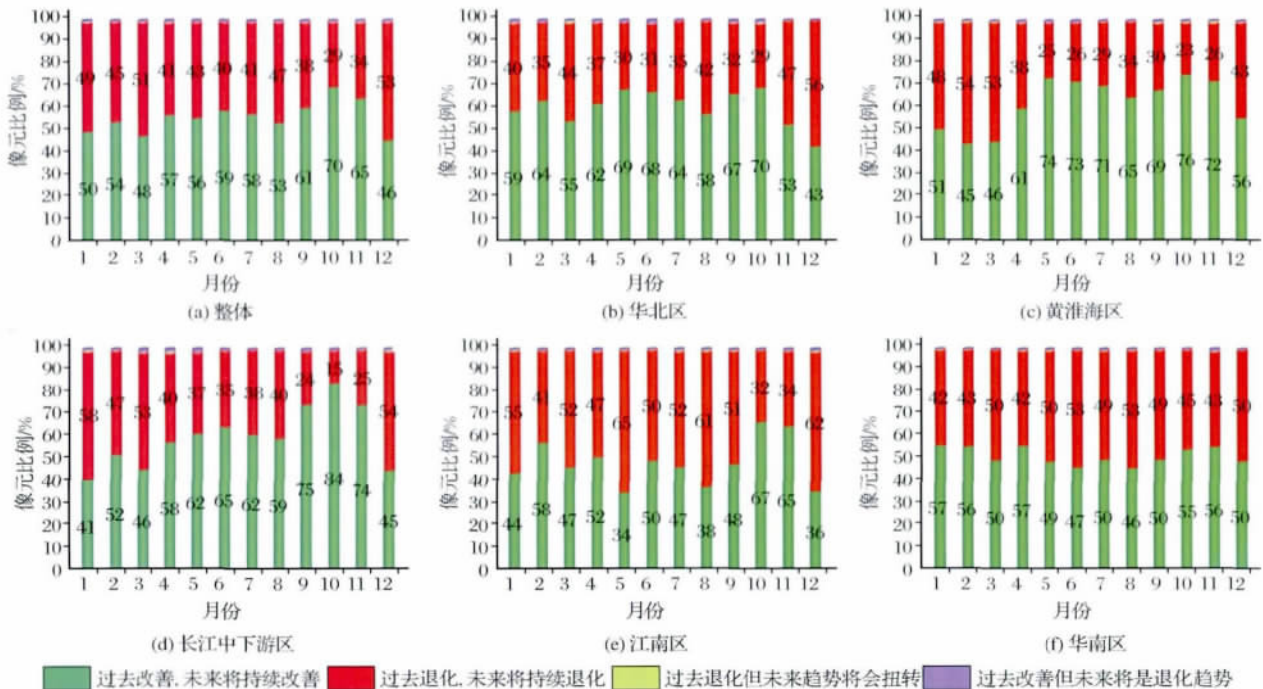


图 3 逐月 NDVI  $\beta$ -Hurst 耦合特征

Fig. 3 Patterns of  $\beta$ -Hurst for monthly NDVI

退化两种特征,前者稍占优势,其中秋季改善状况最明显。5 个子区中除江南区年内主要表现为退化且将持续退化特征外,其余 4 区均为改善且未来将持续改善特征,所有区域在秋季都表现为明显的改善且将持续改善趋势,且以 10 月的改善状况最优。

### 4.3 NDVI 季节演化态势图谱

在像元尺度综合各个季节的  $\beta$ -Hurst 耦合特征:某一季节的 3 个月份,如果有 2~3 个月份的  $\beta$ -H 耦合特征为过去改善且未来将持续改善特征,则标记该像元该季节的属性为 1;耦合特征为过去

退化且未来将持续退化,则标记为 2;耦合特征为过去改善但未来趋势将扭转和过去退化但未来将改善,均标记为 3;用 4 位整数的千、百、十和个位分别标记春、夏、秋、冬 4 个季节,从而得到 NDVI 季节演化态势图谱(图 4),中国东部整体以及 5 个子区植被覆盖在不同季节演化态势区域的面积比例如表 2。

无植被区主要是城市和水体,所占比例仅为 0.84%,但是空间分布的区域差异显著,长江中下游城市与水体均比较广泛,因此无植被区所占比例在 5 区中最高,达 2.28%;其次是黄淮海区,达 1.09%。

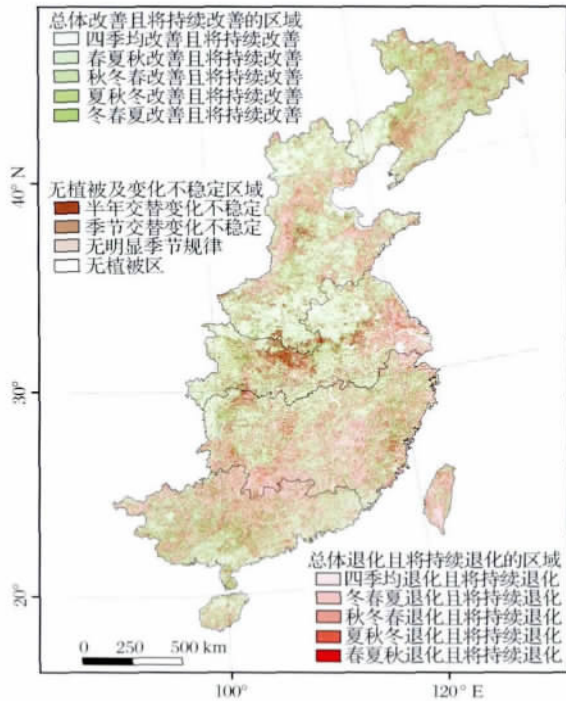


图 4 NDVI 的季节演化态势图谱

Fig. 4 Map of the seasonal NDVI successions

表 2 植被覆盖季节演化态势不同类型区域的面积比例(单位:%)

Table 2 Statistical characters of NDVI with different seasonal succession trends(Unit:%)

	总体改善且 将持续改善	总体退化且 将持续退化	变化 不稳定	无植 被区
东北区	55.65	19.68	24.21	0.47
黄淮海区	59.00	20.86	19.05	1.09
长江中下游区	52.56	21.03	24.12	2.28
江南区	39.81	38.98	20.84	0.37
华南区	43.65	37.16	19.10	0.09
整体	49.44	28.56	21.16	0.84

近一半地区覆盖变化态势属于总体改善且将持续改善,而总体退化且将持续退化的空间区域亦大量分布,占 28.56%,退化区域大致分布在大型城市或城市群周围。东北区持续改善和持续退化的区域面积分别占 55.65%和 19.68%,退化区域主要位于辽中南城市群(以沈阳为中心,包括铁岭、辽阳、鞍山、盘锦、营口等城市)周围、长春市周围及吉林中部地区;黄淮海区总体改善且将持续改善的区域面积占该区域面积的 59.00%,而退化区域主要分布在北京—保定—石家庄—邢台—邯郸—安阳—鹤壁—新乡—郑州—焦作—洛阳城市带周围、山东半岛沿海区域、微山湖周围及潍坊市周边等地;长江中下游区的武汉市周边、江苏南部大部分及长江三角洲周围植被覆

盖呈现退化且将持续退化特征,江南区和华南区植被覆盖持续退化和持续改善的区域面积大致相等,而这 3 个区域中呈退化且将持续退化态势的区域主要位于珠江三角洲、江南区和华南区行政边界附近、福建西部和台湾大部分地区。

### 5 结 语

本研究利用 2001~2010 年 MODIS NDVI 时间序列数据分析了中国东部地区 NDVI 的时空分布特征和演变趋势。得到下述结论:中国东部地区 10 a 来植被覆盖以不显著的改善特征和退化特征为主,月均改善面积占整体面积的 57.07%,以秋季改善状况最好;而未来的变化趋势主要表现为不显著的改善且未来将持续改善和退化且未来将持续退化两种特征,前者稍占优势,秋季改善且将持续改善的特征最为明显。5 个子区中,除江南区年内主要表现为不显著的退化且将持续退化特征外,其余 4 区均主要表现为不显著的改善且未来将持续改善特征;植被覆盖退化且将持续退化的区域大致分布在大型城市或城市群周围,如:辽中南城市群、北京—石家庄—郑州—洛阳城市带周围、武汉市周边、长江三角洲、珠江三角洲、台湾大部分地区。

### 参考文献 (References):

[1] Guo Ni. Vegetation Index and Its Advances[J]. Arid Meteorology, 2003, 21(4): 71-75. [郭妮. 植被指数及其研究进展[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 71-75.]

[2] Zhang Fengrong. China's Land Resources and Sustainable Utilization[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2000. [张凤荣. 中国土地资源及其可持续利用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.]

[3] Song Fuqiang, Xing Kaixiong, Liu Yang, et al. Monitoring and Assessment of Vegetation Variation in Northern Shannxi based on MODIS/NDVI[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 354-363. [宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 354-363.]

[4] Sun Hongyu, Li Bing. Analysis of the Vegetation Cover Change and the Relationship between NDVI and Environmental Factors by Using NOAA Time Series Data[J]. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(3): 204-210. [孙红雨, 李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系[J]. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.]

[5] Senay G. Combining AVHRR-NDVI and Landuse Data to Describe Temporal and Spatial Dynamics of Vegetation[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 128(1-2): 83-91.

[6] Chen Y H, Li X B, Xie F. NDVI Changes in China between 1989 and 1999 Using Change Vector Analysis based on Time

- Series Data[J]. Journal of Geographical Sciences, 2001, 11(4):383-392.
- [7] Weiss J L, Gutzler D S, Coonrod J E A, *et al.* Long-term Vegetation Monitoring with NDVI in A Diverse Semi-arid Setting, Central New Mexico, USA[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 58(2):249-272.
- [8] Liu Yalong, Wang Qing, Bi Jingzhi, *et al.* The Analysis of NDVI Trends in the Coastal Zone based on Mann-Kendall Test: A Case in the Jiaodong Peninsula[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 32(3):79-87. [刘亚龙, 王庆, 毕景芝, 等. 基于 Mann-Kendall 方法的胶东半岛海岸带归一化植被指数趋势分析[J]. 海洋学报(中文版), 2010, 32(3):79-87.]
- [9] Cao Yunfeng, Wang Zhengxing, Ke Linghong, *et al.* Vegetation Changes in North East China Transect During 2000~2008 Obtained by MODIS-NDVI[J]. Quaternary Sciences, 2010, 30(3):531-539. [曹云锋, 王正兴, 柯灵红, 等. 2000~2008 年中国东北样带植被变化[J]. 第四纪研究, 2010, 30(3):531-539.]
- [10] Hou Xiyong, Ying Lanlan, Gao Meng, *et al.* Character of Vegetation Cover Change in China's Eastern Coastal Areas 1998~2008[J]. Scientia Geographica Sinica, 2010, 30(5):735-741. [侯西勇, 应兰兰, 高猛, 等. 1998~2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征[J]. 地理科学, 2010, 30(5):735-741.]
- [11] NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). Vegetation Indices Monthly L3 Global 1km[EB/OL]. [https://lpdaac.usgs.gov/products/modis\\_products\\_table/mod13a3](https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod13a3), 2001, 2011.
- [12] Liang Shouzhen, Shi Ping, Xing Qianguo. A Comparison Between the Algorithms for Removing Cloud Pixel from MODIS NDVI Time Series Data[J]. Remote Sensing for Land & Resources, 2011, 88(1):33-36. [梁守真, 施平, 邢前国. MODIS NDVI 时间序列数据的去云算法比较[J]. 国土资源遥感, 2011, 88(1):33-36.]
- [13] Ma M G, Veroustraete F. Reconstructing Pathfinder AVHRR Land NDVI Time-series Data for the Northwest of China[J]. Advances in Space Research, 2006, 37(4):835-840.
- [14] Li Hangyan, Ma Mingguo, Tan Junlei. Integrated Reconstruction Methods of Time-series NDVI Dataset[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 25(6):891-896. [李杭燕, 马明国, 谭俊磊. 时序 NDVI 数据集重建综合方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2011, 25(6):891-896.]
- [15] Mann H B. Nonparametric Tests against Trend[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1945, 13(3):245-259.
- [16] Xu Zongxue, Zhang Nan. Long-term Trend of Precipitation in the Yellow River Basin during the Past 50 Years[J]. Geographical Research, 2006, 25(1):27-34. [徐宗学, 张楠. 黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J]. 地理研究, 2006, 25(1):27-34.]
- [17] Kang Shuyuan, Zhang Bo, Liu Jingfeng, *et al.* Analysis of the Spatio-temporal Distribution of Precipitation in Zhangye City Using Mann-Kendall Method[J]. Resources Science, 2009, 31(3):501-508. [康淑媛, 张勃, 柳景峰, 等. 基于 Mann-Kendall 法的张掖市降水量时空分布规律分析[J]. 资源科学, 2009, 31(3):501-508.]
- [18] Jing Tianhan, Deng Liantang. Some Problems in Estimating a Hurst Exponent——A Case Study of Applicatings to Climatic Change[J]. Scientia Geographica Sinica, 2004, 24(2):177-182. [江田汉, 邓莲堂. Hurst 指数估计中存在的若干问题——以在气候变化研究中的应用为例[J]. 地理科学, 2004, 24(2):177-182.]
- [19] Xu Hui. The Analysis for Characters of Vegetation Cover Change in Yangtze River Basin based on SPOT Vegetation Data[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [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.]

## Spatio-temporal Characters of Vegetation Cover in the Eastern China from 2001 to 2010 based on MODIS NDVI

Zhu Mingming<sup>1,2</sup>, Hou Xiyong<sup>2</sup>, Wu Ting<sup>2</sup>

(1. Shandong Zhengyuan Digital City Construction Co., Ltd., Yantai 264002, China;

2. Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China)

**Abstract:** Based on the MODIS NDVI products from 2001 to 2010, the spatio-temporal characters of vegetation cover in the eastern China are investigated. Study methods include Mann-Kendall and Hurst index. The main results are as follows: The NDVI at pixel scale generally shows two kinds of temporal dynamics, most of the pixels were improving in the past and will go on improving in the future, which is benign changes, and in nearly 30% pixels it was degenerating in the past and will go on degenerating in the future, which is malignant changes. Two sub-regions in the south China have more pixels that show the malignant changes.

**Key words:** MODIS; NDVI; Mann-Kendall; Hurst index; Vegetation cover; Eastern China