

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 33 卷 第 24 期 Vol.33 No.24 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 24 期 2013 年 12 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 中国南方红壤生态系统面临的问题及对策 赵其国, 黄国勤, 马艳芹 (7615)
- 《生态学基础》: 对生态学从传统向现代的推进——纪念 E.P. 奥德姆诞辰 100 周年
..... 包庆德, 张秀芬 (7623)
- 食物链长度理论研究进展 张 欢, 何 亮, 张培育, 等 (7630)

个体与基础生态

- 天山盘羊夏季采食地和卧息地生境选择 李 叶, 余玉群, 史 军, 等 (7644)
- 松果梢斑螟对虫害诱导寄主防御的抑制作用 张 晓, 李秀玲, 李新岗, 等 (7651)
- 菹草附着物对营养盐浓度的响应及其与菹草衰亡的关系 魏宏农, 潘建林, 赵 凯, 等 (7661)
- 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性 黄林芳, 李文涛, 王 珍, 等 (7667)
- 四年 O₃ 熏气对小麦根际土壤氮素微生物转化的影响 吴芳芳, 郑有飞, 吴荣军, 等 (7679)
- 重金属 Cd²⁺ 和 Cu²⁺ 胁迫下泥蚶消化酶活性的变化 陈肖肖, 高业田, 吴洪喜, 等 (7690)

种群、群落和生态系统

- 不同生境中橘小实蝇种群动态及密度的差异 郑思宁 (7699)
- 亚热带樟树-马尾松混交林凋落物量及养分动态特征 李忠文, 闫文德, 郑 威, 等 (7707)

景观、区域和全球生态

- 中国陆地生态系统通量观测站点空间代表性 王绍强, 陈蝶聪, 周 蕾, 等 (7715)
- 雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与风沙化土地演变的耦合关系 李海东, 沈渭寿, 蔡博峰, 等 (7729)
- 高精度遥感影像下农牧交错带小流域景观特征的粒度效应 张庆印, 樊 军 (7739)
- 高寒草原土壤有机碳及土壤碳库管理指数的变化 蔡晓布, 于宝政, 彭岳林, 等 (7748)
- 芦芽山亚高山草甸、云杉林土壤有机碳、全氮含量的小尺度空间异质性
..... 武小钢, 郭晋平, 田旭平, 等 (7756)
- 湘中丘陵区不同演替阶段森林土壤活性有机碳库特征 孙伟军, 方 晰, 项文化, 等 (7765)
- 东北黑土区片蚀和沟蚀对土壤团聚体流失的影响 姜义亮, 郑粉莉, 王 彬, 等 (7774)
- 滇西北高原纳帕海湿地土壤氮矿化特征 解成杰, 郭雪莲, 余磊朝, 等 (7782)
- 红壤区桉树人工林炼山后土壤肥力变化及其生态评价 杨尚东, 吴 俊, 谭宏伟, 等 (7788)
- 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等 (7798)
- 庐山森林景观格局变化的长期动态模拟 梁艳艳, 周年兴, 谢慧玮, 等 (7807)

暖温带-北亚热带生态过渡区物种生境相关性分析 袁志良,陈 云,韦博良,等 (7819)
不同生境和去趋势方法下的祁连圆柏径向生长对气候的响应 张瑞波,袁玉江,魏文寿,等 (7827)

资源与产业生态

大小兴安岭生态资产变化格局 马立新,覃雪波,孙 楠,等 (7838)
生态环境移动数据采集系统研究与实现 申文明,孙中平,张 雪,等 (7846)

城乡与社会生态

城市遥感生态指数的创建及其应用 徐涵秋 (7853)

研究简报

大明竹属遗传多样性 ISSR 分析及 DNA 指纹图谱研究 黄树军,陈礼光,肖永太,等 (7863)
干旱胁迫下 4 种常用植物幼苗的光合和荧光特性综合评价 卢广超,许建新,薛 立,等 (7872)
基于 ITS2 和 16S rRNA 的西施舌群体遗传差异分析 孟学平,申 欣,赵娜娜,等 (7882)
两种浒苔无机碳利用对温度响应的机制 徐军田,王学文,钟志海,等 (7892)
北京山区侧柏林冠层对降雨动力学特征的影响 史 宇,余新晓,张建辉,等 (7898)

学术信息与动态

景观生态学研究:传统领域的坚守与新兴领域的探索——2013 厦门景观生态学论坛述评
..... 杨德伟,赵文武,吕一河 (7908)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 296 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-12



封面图说:黄土丘陵农牧交错带——黄土丘陵是中国黄土高原的主要地貌形态,由于黄土质地疏松,加之雨季集中,降水强度较大,地表流水冲刷形成很多沟谷,斜坡所占的面积很大。这里千百年来的农牧交错作业,地表植被和生态系统均遭受了严重的破坏。利用高精度影像对小流域景观的研究表明,这里耕地、林地和水域景观相对比较规则简单,荒草地和人工草地景观比较复杂。农牧交错带小流域景观形态具有分形特征,各类景观斑块的分维数对粒度变化的响应不同,分维数随粒度的增大呈非线性下降趋势。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305281212

袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 刘颖慧, 王文杰, 陶亮亮, 郑华, 刘孝富. 2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化. 生态学报, 2013, 33(24): 7798-7806.

Yuan L H, Jiang W G, Shen W M, Liu Y H, Wang W J, Tao L L, Zheng H, Liu X F. The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7798-7806.

2000—2010 年黄河流域植被覆盖的时空变化

袁丽华^{1,2}, 蒋卫国^{1,2}, 申文明^{3,*}, 刘颖慧^{1,4}, 王文杰⁵, 陶亮亮^{1,2}, 郑华⁶, 刘孝富⁵

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875; 2. 北京师范大学环境演变与自然灾害教育部重点实验, 北京 100875; 3. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094; 4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 5. 中国环境科学研究院环境信息科学研究所, 北京 100012; 6. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

摘要:黄河流域位于干旱、半干旱和半湿润地区, 生态环境脆弱, 近年来, 在气候变化和人类活动影响下, 植被覆盖状况发生了变化。因此需要对黄河流域植被覆盖的变化进行监测, 进而掌握流域植被的动态变化特征。在此背景下, 利用 2000—2010 年的 250 m 分辨率的 MOD13Q1 数据来研究黄河流域植被覆盖区域的 NDVI 时空变化特征。采用 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验来研究 NDVI 的变化趋势特征, 通过对 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验的结果和 Hurst 指数的结果的叠加, 来研究 NDVI 的可持续特征。研究表明: 1) 从空间分布上看, 黄河流域 NDVI 呈现出西部和东南部高, 北部低的特征; 2) 从时间变化特征上看, 2000—2010 年植被覆盖区域年均 NDVI 均值在 0.3—0.4 之间波动, 其中 2000—2004 年 NDVI 波动较大, 但自 2005 年以来 NDVI 呈现快速增长的趋势; 3) 从变化趋势上看, 2000—2010 年黄河流域植被改善的区域远远大于退化的区域, 改善的区域占植被覆盖区域总面积的 62.9%, 退化的区域占 27.7%, 9.4% 的区域 NDVI 稳定不变; 4) 从可持续性来看, 86.0% 的植被覆盖区域 NDVI 呈现正向可持续性, 即 NDVI 的可持续性较强; 由变化趋势与 Hurst 指数的耦合信息得出, 持续改善的面积占植被覆盖区域总面积的 53.7%, 持续稳定不变的区域占 7.8%, 持续退化的区域占 24.5%, 另外 14.0% 的区域未来变化趋势无法确定, 持续退化和未来变化趋势无法确定区域的植被变化状况需要研究人员继续关注。

关键词:黄河流域; NDVI; 植被覆盖区域; 时空变化; 趋势分析; Hurst 指数

The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010

YUAN Lihua^{1,2}, JIANG Weiguo^{1,2}, SHEN Wenming^{3,*}, LIU Yinghui^{1,4}, WANG Wenjie⁵, TAO Liangliang^{1,2}, ZHENG Hua⁶, LIU Xiaofu⁵

1 State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2 Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China

4 College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

5 Institute of Environmental Information, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

6 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Vegetation cover is one of the primary indicators of changes to ecosystems. Large scale vegetation cover observations will indicate the effect of natural factors and human activities on the ecological environment, so it is one of the

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41171318, 41001160, 31240002); 国家科技支撑资助项目(2012BAH33B05, 2012BAH32B03); 全国生态环境十年变化遥感调查与评估专项资助项目

收稿日期:2013-05-28; **修订日期:**2013-09-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shenwenm@mep.gov.cn, jwg76@163.com

hot topics in global change research. The Yellow River Basin is located in an arid, semi-arid and semi-humid area and its ecological environment is vulnerable. In recent years, the vegetation in the Yellow River Basin has had a relatively large variance in spatial and temporal patterns, affected by changes in climatic conditions and perturbations from human activities. Therefore, improving the observation of vegetation will provide us with more information about vegetation status and make us better able to understand the variations of ecological environment characteristics.

With this background, this paper provides an analysis of spatio-temporal variations of MODIS/NDVI in the vegetation covered area of the Yellow River Basin. The MODIS product, which is assumed to be suitable for large scale observations of vegetation variation, was used, and MOD13Q1 data with a spatial resolution of 250 m×250 m from 2000 to 2010 was utilized as the data source. NDVI was used as a proxy for vegetation cover and the Theil-Sen Median trend analysis with the Mann-Kendall test were both used to analyze NDVI trends as they are new methods in the long term series analysis of NDVI. Theil-Sen Median trend analysis was used to describe the trend of NDVI and the Mann-Kendall test was used to estimate the significance of trend. The combination of the result of Theil-Sen Median trend analysis and Mann-Kendall test, as well as the result of Hurst index were conducted to analyze the sustainability in NDVI trend.

The results indicate that: 1) From the distribution of the annual NDVI in the Yellow River Basin, the NDVI values are high in the west and the southeast, but low in the north; 2) From the time variation of annual NDVI in the vegetation covered area in the Yellow River Basin, the values of NDVI fluctuate between 0.3 and 0.4, from 2000 to 2010, and NDVI from 2000—2004 shows high fluctuations, but rapid upward trend since 2005; 3) From the spatial trends of NDVI, the area where the values of NDVI increase is much larger than the area where the values of NDVI decrease and the area where the values of NDVI increase occupies 62.9% of the vegetation covered area, while the area where the values of NDVI decrease accounts for 27.7%. 9.4% of the vegetation covered area remained unchanged, during the period of 2000—2010; 4) From the spatial sustainability of NDVI trend, the overlaid result of the Theil-Sen Median trend analysis, Mann-Kendall test and Hurst index indicates that 86.0% of the area presents a positive sustainable development. From the overlaid result of the Theil-Sen Median trend analysis and Mann-Kendall map and Hurst index map, it can be concluded that 53.7% of the vegetation-covered area presents a sustainable-increased state, 7.8% of the vegetation-covered area presents a sustainable-unchanged state, 24.5% of the vegetation-covered area shows a sustainable-decreased state and 14.0% of vegetation-covered area cannot be identified in the future. These areas need to be focused upon and further researched.

Key Words: the Yellow River Basin; NDVI; vegetation covered area; spatio-temporal variations; trend analysis; Hurst index

植被具有明显的年际和季节变化特点,是连接大气、水体、土壤的自然纽带,在保持土壤、调节大气和维持生态系统稳定等方面具有十分重要的作用^[1-2]。NOAA/AVHRR、SPOT/VGT、MODIS 传感器获取的数据覆盖范围广、时间分辨率高并且数据免费,因此成为长时间序列植被覆盖年际变化研究的数据源^[3-8]。(NDVI)与生物量、叶面积指数有较好的相关关系,能够很好地反映地表植被的繁茂程度,在一定程度上代表地表植被覆盖变化^[9-12]。

黄河流域位于我国干旱、半干旱和半湿润地区,生态环境脆弱,在气候变化和人类活动影响下,流域植被覆盖的状况发生了改变^[13]。目前,黄河流域植被变化研究取得了一定成果。杨胜天、孙睿等利用 8 km 的 AVHRR/NDVI 数据,对黄河流域 1982—1999 年植被覆盖的空间变化及其与降水的相关关系进行分析,结果发现 20a 来黄河流域植被覆盖度有增加趋势;汛期降水量的多少对植被覆盖的年际变化起主导作用^[14-15]。李春晖等利用 8 km 的 AVHRR/NDVI 研究黄河流域 1982—1998 年 NDVI 空间分布、年际/季节变化以及与降水和径流的关系,结果发现 17a 来黄河流域各分区年平均 NDVI 都呈现增加趋势;NDVI 年内变化与降水、径流年内变化呈现明显的正相关;NDVI 年际变化与降水具有一定的相关性,但与径流变化的关系相对复杂^[16]。

刘绿柳等利用 1982—1999 年 8 km 的 NOAA/AVHRR 分析黄河流域 NDVI 与气温、降水的关系,发现流域 NDVI 与降水、温度相关显著的植被类型以草地、灌木为主^[17]。贺振等基于 1998—2011 年 1 km 的 SPOT/VGT 数据,分析黄河流域 NDVI 时空分布、时间变化特征和年际变化趋势,得出自 1998 年以来,黄河流域 NDVI 整体在不断提高,生态环境在不断改善的结论^[13]。目前的研究成果主要是基于 8km 的 NOAA/AVHRR 和 1 km 的 SPOT/VGT 数据,数据的空间分辨率偏低;其次,研究植被年际变化趋势采用一元线性回归,而线性回归规避误差能力较弱^[7];再者,利用 Hurst 指数研究植被可持续性的研究比较少见。

鉴于上述情况,本文以 250 m 的 MOD13Q1 为数据源,通过数据预处理获得 2000—2010 年黄河流域年均 NDVI 时间序列,采用规避误差能力较强的 Theil-Sen median 趋势分析和 Mann-Kendall 以及 Hurst 指数方法,研究黄河流域植被覆盖区域 NDVI 的空间分布特征、时间变化特征、变化趋势特征和可持续性特征,以期为黄河流域生态环境的保护提供依据。

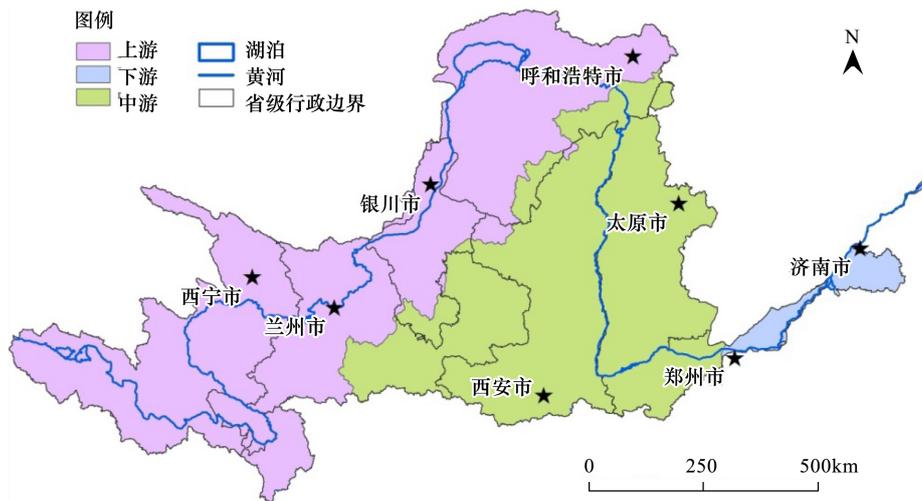


图 1 黄河流域位置示意图

Fig.1 Location of the Yellow River Basin

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

黄河流域发源于青海省巴颜喀拉山,流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古自治区、陕西、山西、河南和山东 9 省,在山东垦利县流入渤海,流域面积为 $79.46 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。黄河流域地势西高东低,西部河源地区平均海拔在 4000 m 以上,由一系列高山组成;中部地区海拔在 1000—2000 m 之间,为黄土地貌,水土流失严重;东部海拔不超过 100 m,主要由黄河冲积平原形成^[13]。黄河流域属于大陆性气候,东南部属半湿润气候,中部属半干旱气候,西北部属干旱气候。流域内地貌类型多样,生境复杂,为各种植被类型的发育创造了有利条件^[17];主要土地利用类型为林地、草地和耕地。

1.2 数据来源与处理

NDVI 数据来源于美国 NASA 的 MODIS 植被指数产品数据 MOD13Q1。数据空间分辨率为 250 m,时间分辨率为 16 d,时间范围:2000 年 2 月—2010 年 12 月。首先利用 MRT (MODIS ReProjection Tools) 软件进行格式转换和投影转换,把 Hdf 格式转换为 Geotiff 格式,把 Sinusoidal 投影转换为 WGS84/Albers Equal Area Conic 投影,重采样方法和重采样分辨率分别为邻近自然法和 250 m。然后采用最大值合成法获取 2000—2010 年逐月 NDVI 数据,有效地去除云、大气和太阳高度角等产生的影响^[18-19]。最后利用均值法获取逐年平均的 NDVI 数据,消除极端年份气候异常对植被生长状态的影响^[20]。

1.3 研究方法

采用 Theil-Sen median 趋势分析和 Mann-Kendall 以及 Hurst 指数方法,研究黄河流域植被覆盖区域,即

NDVI 值大于等于 0.1 的区域的 NDVI 的空间分布特征、时间变化特征、变化趋势和可持续性特征^[19]。

(1) Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验

Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验方法能够很好的结合起来,成为判断长时间序列数据趋势的重要方法,并且已经逐渐应用到植被长时间序列分析中^[7,21-23]。该方法的优点是不需要数据服从一定的分布,对数据误差具有较强的抵抗能力,对于显著性水平的检验具有较为坚实的统计学理论基础,使得结果较为科学和可信^[7]。其中,Theil-Sen Median 趋势分析是一种稳健的非参数统计的趋势计算方法,可以减少数据异常值的影响^[25-27]。Theil-Sen Median 趋势计算 $n(n-1)/2$ 个数据组合的斜率的中位数,其计算公式为:

$$S_{\text{NDVI}} = \text{Median}\left(\frac{\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i}{j - i}\right), \quad 2000 \leq i < j \leq 2010$$

当 $S_{\text{NDVI}} > 0$ 时,反映 NDVI 呈现增长的趋势,反之则反映 NDVI 呈现退化的趋势。

Mann-Kendall 是一种非参数统计检验方法,用来判断趋势的显著性,它无需样本服从一定的分布,也不受少数异常值的干扰^[28-29]。计算公式如下:

设定 $\{\text{NDVI}_i\}, i = 2000, 2001, \dots, 2010$

$$\text{定义 } Z \text{ 统计量为: } Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{s(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{s(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad \text{其中, } S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{sgn}(\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i)$$

$$\text{sgn}(\text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i) = \begin{cases} 1, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i > 0 \\ 0, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i = 0 \\ -1, & \text{NDVI}_j - \text{NDVI}_i < 0 \end{cases}, \quad s(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

式中, NDVI_i 和 NDVI_j 分别表示像元 i 年和 j 年的 NDVI 值, n 表示时间序列的长度; sgn 是符号函数; 统计量 Z 的取值范围为 $(-\infty, +\infty)$ 。在给定显著性水平 α 下, 当 $|Z| > u_{1-\alpha/2}$ 时, 表示研究序列在 α 水平上存在显著的变化。一般取 $\alpha = 0.05$, 本文判断在 0.05 置信水平上 NDVI 时间序列变化趋势的显著性。

(2) Hurst 指数

Hurst 指数是定量描述时间序列长程依赖性的有效方法^[30], 在水文学、经济学、气候学、地质和地球化学等领域有着广泛的应用, 近期在植被覆盖变化研究中应用起来^[2, 30-31]。其基本原理: 对于时间序列 $\{\text{NDVI}(t)\}, t = 1, 2, \dots, n$, 定义均值序列:

$$\overline{\text{NDVI}}_{(\tau)} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \text{NDVI}_{(t)} \quad \tau = 1, 2, \dots, n$$

$$1) \text{ 累积离差} \quad X_{(t, \tau)} = \sum_{i=1}^t (\text{NDVI}_{(i)} - \overline{\text{NDVI}}_{(\tau)}) \quad 1 \leq t \leq \tau$$

$$2) \text{ 极差} \quad R_{(\tau)} = \max_{1 \leq t \leq \tau} X_{(t, \tau)} - \min_{1 \leq t \leq \tau} X_{(t, \tau)} \quad \tau = 1, 2, \dots, n$$

$$3) \text{ 标准差} \quad S_{(\tau)} = \left[\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\text{NDVI}_{(t)} - \overline{\text{NDVI}}_{(\tau)})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \tau = 1, 2, \dots, n$$

对于比值 $R_{(\tau)} / S_{(\tau)} \triangleq R/S$, 若存在如下关系 $R/S \propto \tau^H$, 则说明分析的时间序列存在 Hurst 现象, H 称为 Hurst 指数。 H 值可以根据 $\log(R/S)_n = a + H \times \log(n)$ 利用最小二乘法拟合得到。

根据 H 的值判断 NDVI 序列是完全随机还是存在持续性。Hurst 指数 (H 值) 取值包括 3 种形式: 如果 $0.5 < H < 1$, 表明时间序列是一个持续性序列, 即未来变化与过去的变化趋势一致, 且 H 越接近 1, 持续性越强。如果 $H = 0.5$, 则说明 NDVI 时间序列为随机序列, 不存在长期相关性。如果 $0 < H < 0.5$, 则表明时间序列具有反持续性, 即未来的变化趋势与过去的变化趋势相反, H 越接近 0, 反持续性越强。

2 结果与分析

2.1 植被覆盖的空间分布特征

利用 2000—2010 年的年均 NDVI 数据,计算 11a 平均值得到平均 NDVI 空间分布图(图 2)。从图 2 可以看出,黄河流域 NDVI 空间分布呈现出西部和东南部高,北部低的分布特征。西部地区海拔较高,主要植被类型为森林、草地及草本湿地,具有较高的 NDVI 值;东南部地区属于半湿润气候,林地和农作物分布广泛,因此 NDVI 值明显较高;北部地区主要为山地、鄂尔多斯高原、黄土高原、河套平原和宁夏平原,其中鄂尔多斯高原和黄土高原植被覆盖较少,因此 NDVI 值较低,而河套平原和宁夏平原,有农作物种植,年均 NDVI 值介于 0.3—0.4 之间。NDVI 值小于 0.1 的无植被覆盖区域(红色部分)主要为流域西部的湖泊、冰川、裸岩、水库和荒漠以及流域北部的沙地和沙漠。

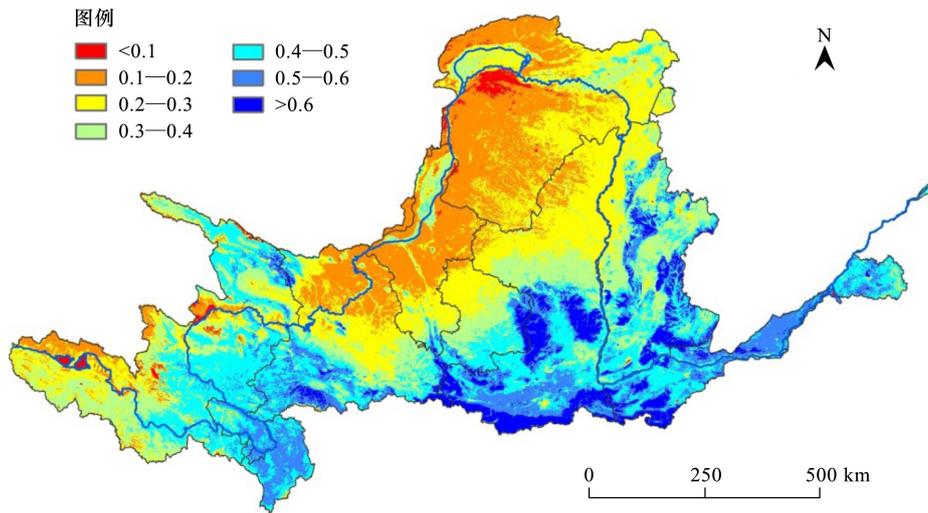


图 2 黄河流域 2000—2010 年平均 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index) 空间分布
Fig.2 Spatial distribution of average NDVI from 2000 to 2010

对 11a NDVI 平均值的分级统计结果表明:NDVI 值小于 0.1 的无植被区域占流域总面积的 1.7%,植被覆盖区域占 98.3%。0.1—0.4 的低值区占 53.3%,大于 0.4 的占 45%;其中 0.4—0.5 的区域占 19.5%,0.5—0.6 的区域占 10.5%,大于 0.6 的较高植被覆盖区占 5.0%。

2.2 植被覆盖的时间变化特征

为了研究黄河流域植被覆盖区域 NDVI 随时间变化的特点,取 2000—2010 年年均 NDVI 影像中植被覆盖区域的 NDVI 平均值,代表当年植被覆盖的状态,并制作年际 NDVI 变化图(图 3)。从图 3 可以看出,黄河流域植被覆盖区域的年均 NDVI 值在 0.3—0.4 之间波动,其中 2000—2004 年植被覆盖区域的 NDVI 波动较大,不存在明显的趋势特征;但自 2005 年以来,植被覆盖区域的 NDVI 呈现快速增长的趋势,表明植被整体生长状况开始好转。

2.3 植被覆盖变化趋势分析

将 Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验结合起来,可以有效地反映 2000—2010 年黄河流域 NDVI 的变化趋势的空间分布特征。由于基本上不存在 S_{NDVI} 严格等于 0 的区域,所以本文根据 S_{NDVI} 的实际情况,将 S_{NDVI} 介于 -0.0005 和 0.0005 的划分为稳定不变, S_{NDVI} 值大于等于 0.0005 的划分为改善区域, S_{NDVI} 值小于 -0.0005 的划分为退化区域。将 Mann-Kendall 检

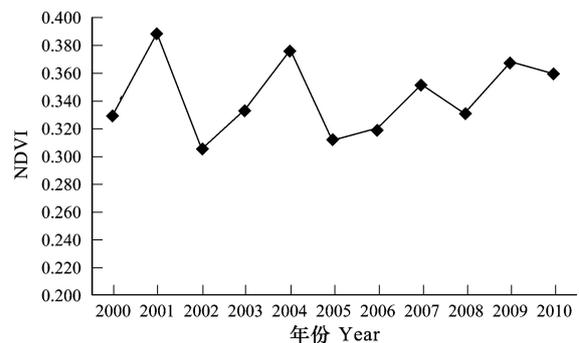


图 3 2000—2010 年黄河流域年际 NDVI 变化
Fig.3 Inter-annual variation of NDVI from 2000 to 2010

与持续性的耦合信息(图 5)。将耦合结果划分为 6 种情形:1 持续性与严重退化;2 持续性与轻微退化;3 持续性与稳定不变;4 持续性与轻微改善;5 持续性与明显改善;6 未来变化趋势不确定,包括反持续性与严重退化、轻微退化、稳定不变、轻微改善和明显改善 5 种组合,无法确定其未来变化趋势。

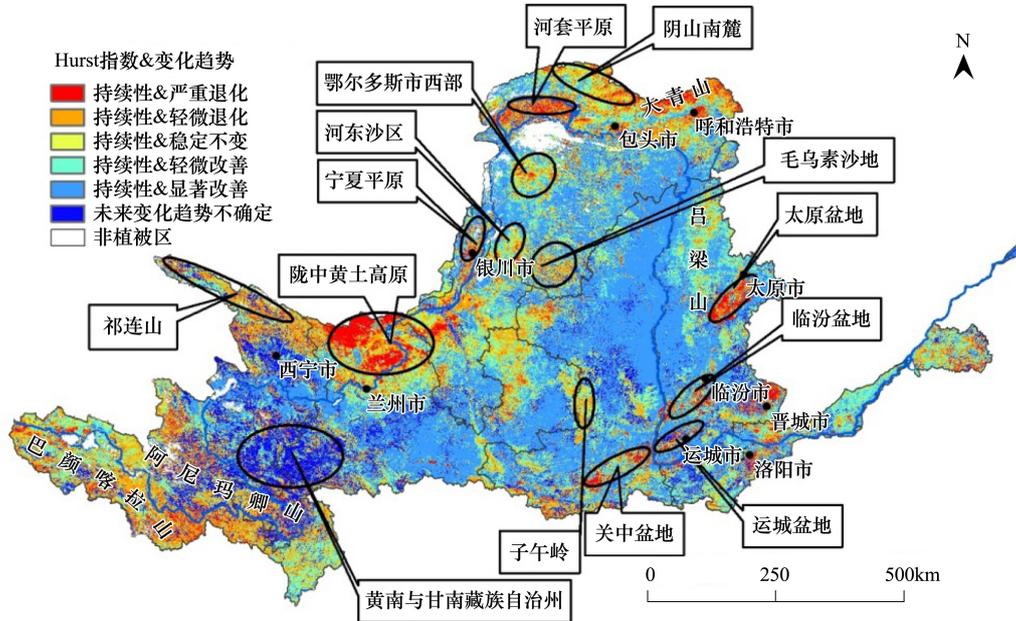


图 5 植被覆盖变化特征图空间分布

Fig.5 Spatial distribution of NDVI based on trend and Hurst index

持续改善的组合面积比重达 53.7%,主要分布在陕西省中部和北部、甘肃省东南部、山西省中部、狼山和鄂尔多斯市东部和北部地区(图 5);持续稳定不变面积组合达 7.8%,主要零散分布在内蒙古、宁夏、甘肃、青海、山西和河南省;持续退化所占比例为 24.5%,主要分布在巴颜喀拉山、阿尼玛卿山南部、祁连山、陇中黄土高原、宁夏平原、宁夏中部、甘肃省庆阳市中北部、河套平原、阴山南麓、大青山、包头至呼和浩特市、太原盆地、临汾盆地、运城盆地、晋城市、关中盆地、洛阳市以及山东省境内(图 5);14.0%的区域未来变化趋势无法确定,主要分布在阿尼玛卿山、黄南与甘南藏族自治州、西宁市、甘肃省中部和陕西省中部(图 5)。持续退化和未来变化趋势区域无法确定的区域的植被变化状况需要研究人员继续关注。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1)从空间分布上分析,黄河流域植被覆盖呈现出西部和东南部高,北部低的分布特征。

(2)从时间变化上分析,2000—2010 年黄河流域植被覆盖区域年均 NDVI 值在 0.3—0.4 之间波动,其中 2000—2004 年植被覆盖区域 NDVI 波动较大,不存在明显的趋势特征;但自 2005 年以来,植被覆盖区域 NDVI 呈现快速增长的趋势。

(3)从 NDVI 变化趋势上分析,2000—2010 年黄河流域地表植被覆盖改善的区域远远大于植被退化的区域。改善的区域占植被覆盖区域的 62.9%,退化的区域占 27.7%,9.4%的区域呈现稳定不变的状态。

(4)基于 Hurst 指数的数据分析表明,86.0%的植被覆盖区域 NDVI 呈现正向持续现象,NDVI 持续性较强。由变化趋势与可持续性数据叠加结果得出:持续改善的组合面积占植被覆盖区域总面积的 53.7%,持续稳定不变的区域占 7.8%,持续退化的区域占 24.5%,另外 14.0%的植被覆盖区域未来变化趋势无法确定,持续退化的区域和未来变化趋势无法确定的区域的植被的变化状况需要研究人员继续关注和研究。

3.2 讨论

本研究采用 250m 中等空间分辨率的长时间序列 MODIS/NDVI 数据,利用 Theil-Sen median 趋势分析和

Mann-Kendall 以及 Hurst 指数方法分析黄河流域植被的时间变化特征、变化趋势特征和可持续性特征。研究结果能够有效地反映黄河流域植被覆盖的变化状况,有助于促进区域生态环境的保护,具有一定的实用性。同时本研究也存在着一定的局限性,首先,没有针对不同植被类型的变化进行分析;其次,植被变化受气候、人文和政策的综合影响,因此需要进一步加强对 NDVI 变化的原因进行分析;最后,植被变化的地域差异性十分显著,需要加强对不同地域植被变化差异的研究。

致谢:北京师范大学资源学院 2011 级王萌杰博士帮助 IDL 编程,北京师范大学减灾与应急管理研究院 2013 级陈曦博士帮助 Mann-Kendall 检验编程。

References:

- [1] Sun H, Wang C Y, Niu Z, Bukhosor, Li B. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. *Journal of Remote Sensing*, 1988, 2(3): 204-210.
- [2] Fan N, Xie G D, Zhang C S, Chen L, Li W H, Cheng S K. Spatial-temporal dynamic changes of vegetation cover in Lancang river basin during 2001—2010. *Resource Science*, 2012, 34(7): 1222-1231.
- [3] Rigina O, Rasmussen M S. Using trend line and principal component analysis to study vegetation changes in Senegal 1986—1999 from AVHRR NDVI 8km data. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 2003, 103(1): 31-42.
- [4] Anyamba A, Tucker C J. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981—2003. *Journal of Arid Environments*, 2005, 63(3): 596-614.
- [5] Ma M G, Wang J, Wang X M. Advance in the Inter-annual variability of vegetation and its relation to climate based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2006, 10(3): 421-431.
- [6] Fensholt R, Rasmussen K, Nielsen T, Mbow C. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends — Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOTVGT data. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(9): 1886-1898.
- [7] Cai B F, Yu R. Advance and evaluation in the long time series vegetation trends research based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 2009, 13(6): 1170-1186.
- [8] Fensholt R, Proud S R. Evaluation of Earth Observation based global long term vegetation trends — Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 119: 131-147.
- [9] Tucker C J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 1979, 8(2): 127-150.
- [10] Baret F, Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 35(2): 161-173.
- [11] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [12] Zhao Y S. Principles and Methods of Analysis of Remote Sensing Applications. Beijing: Science Press, 2003, 374-376.
- [13] He Z, He J P. Spatio-temporal variation of vegetation cover based on SPOT-VGT in Yellow River Basin. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(10): 1655-1659.
- [14] Sun R, Liu C M, Zhu Q J. Relationship between the fractional vegetation cover change and rainfall in the Yellow River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(6): 667-672.
- [15] Yang S T, Liu C M, Sun R. The vegetation cover over last 20 years in Yellow River Basin. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 679-684.
- [16] Li C H, Yang Z F. Spatio-temporal changes of NDVI and their relations with precipitation and runoff in the Yellow River Basin. *Geographical Research*, 2004, 23(6): 753-759.
- [17] Liu L L, Xiao F J. Spatial-temporal correlations of NDVI with precipitation and temperature in Yellow River Basin. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(5): 477-481.
- [18] Holben B N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7(11): 1471-1434.
- [19] Piao S L, Fang J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(4): 294-302.
- [20] Zhang Y C, Zhao Z Q, Li S C, Meng X F. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China. *Geographical Research*, 2008, 27(4): 745-755.

- [21] Tucker C J, Newcomb W W, Los S O, Prince S D. Mean and inter-year variation of growing-season normalized difference vegetation index for the Sahel 1981—1989. *International Journal of Remote Sensing*, 1991, 12(6): 1133-1135.
- [22] Milich L, Weiss E. GAC NDVI inter annual coefficient of variation (CoV) images; ground truth sampling of the Sahel along north-south transects. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(2): 235-260.
- [23] Lunetta R S, Knight J F, Ediriwickrema J, Lyon J G, Worthy L D. Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote Sensing of Environment*, 2006, 105(2): 142-154.
- [24] Fensholt R, Langanke T, Rasmussen K, Reenberg A, Prince S D, Tucker C, Scholes R J, Le Q B, Bondeau A, Eastman R, Epstein H, Gaughan A E, Hellden U, Mbwo C, Olsson L, Paruelo J, Schweitzer C, Seaquist J, Wessels K. Greenness in semi-arid areas across the globe 1981—2007 — an Earth Observing Satellite based analysis of trends and drivers. *Remote Sensing of Environment*, 2012, 121: 144-158.
- [25] Theil H. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. I, II and III. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 1950, 53:386-392, 521-525, 1397-1412.
- [26] Sen P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 1968, 63(324): 1379-1389.
- [27] Hoaglin D C, Mosteller F, Tukey J W. *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*. New York: Wiley, 2000, 169-181.
- [28] Kendall M G. *Rank Correlation Methods*. London: Griffin, 1970.
- [29] Tošić I. Spatial and temporal variability of winter and summer precipitation over Serbia and Montenegro. *Theoretical and Applied Climatology*, 2004, 77(1/2): 47-56.
- [30] Hou X Y, Ying L L, Gao M, Bi X L, Lu X, Zhu M M. Character of vegetation cover change in China's Eastern coastal areas 1998—2008. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(5): 735-741.
- [31] Wang G G, Zhou K F, Sun L, Qin Y F, Li X. Study on the vegetation dynamic change and R/S analysis in the past ten years in Xinjiang. *Remote Sensing Technology and Application*, 2010, 25(1): 84-90.

参考文献:

- [1] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 布和敖斯尔, 李兵. 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. *遥感学报*, 1988, 2(3): 204-210.
- [2] 范娜, 谢高地, 张昌顺, 陈龙, 李文华, 成升魁. 2001 年至 2010 年澜沧江流域植被覆盖动态变化分析. *资源科学*, 2012, 34(7): 1222-1231.
- [5] 马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展. *遥感学报*, 2006, 10(3): 421-431.
- [7] 蔡博峰, 于嵘. 基于遥感的植被长时序趋势特征研究进展及评价. *遥感学报*, 2009, 13(6): 1170-1186.
- [12] 赵英时. *遥感应用分析原理与方法*. 北京: 科学出版社, 2003, 374-376.
- [13] 贺振, 贺俊平. 基于 SPOT-VGT 的黄河流域植被覆盖时空演变. *生态环境学报*, 2012, 21(10): 1655-1659.
- [14] 孙睿, 刘昌明, 朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系. *地理学报*, 2001, 56(6): 667-672.
- [15] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析. *地理学报*, 2002, 57(6): 679-684.
- [16] 李春晖, 杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系. *地理研究*, 2004, 23(6): 753-759.
- [17] 刘绿柳, 肖风劲. 黄河流域植被 NDVI 与温度、降水关系的时空变化. *生态学杂志*, 2006, 25(5): 477-481.
- [19] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. *第四纪研究*, 2001, 21(4): 294-302.
- [20] 张月丛, 赵志强, 李双成, 孟宪锋. 基于 SPOT NDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势. *地理研究*, 2008, 27(4): 745-755.
- [30] 侯西勇, 应兰兰, 高猛, 毕晓丽, 路晓, 朱明明. 1998—2008 年中国东部沿海植被覆盖变化特征. *地理科学*, 2010, 30(5): 735-741.
- [31] 王桂钢, 周克法, 孙莉, 秦艳芳, 李雪梅. 近 10a 新疆地区植被动态与 R/S 分析. *遥感技术与应用*, 2010, 25(1): 84-90.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.24 Dec., 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

The problems in red soil ecosystem in southern of China and its countermeasures ZHAO Qiguo, HUANG Guoqin, MA Yanqin (7615)

Fundamentals of Ecology: promoting ecology from tradition to modern; To Commemorate The 100th Anniversary of E. P. Odum's Birthday BAO Qingde, ZHANG Xiufen (7623)

Food chain length theory: a review ZHANG Huan, HE Liang, ZHANG Peiyu, et al (7630)

Autecology & Fundamentals

Foraging and bed site selection of Tianshan argali (*Ovis ammon karelini*) in Central Tianshan Mountains in Summer LI Ye, YU Yuqun, SHI Jun, et al (7644)

Inhibition of pine coneworm, larvae *Dioryctria pryeri*, on herbivore-induced defenses of *Pinus tabulaeformis* ZHANG Xiao, LI Xiuling, LI Xingang, et al (7651)

Response of periphyton to nutrient level and relationships between periphyton and decay degree of *Potamogeton crispus* WEI Hongnong, PAN Jianlin, ZHAO Kai, et al (7661)

Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma* Et Radix of endangered plateau plant HUANG Linfang, LI Wentao, WANG Zhen, et al (7667)

Induced changes in soil microbial transformation of nitrogen in maize rhizosphere by 4-year exposure to O₃ WU Fangfang, ZHENG Youfei, WU Rongjun, et al (7679)

Changes of digestive enzyme activity of *Tegillarca granosa* exposed to cadmium and copper CHEN Xiaoxiao, GAO Yetian, WU Hongxi, et al (7690)

Population, Community and Ecosystem

Population dynamics and density of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in different habitats ZHENG Sining (7699)

Litter fall production and nutrient dynamic of *Cinnamomum camphora* and *Pinus massoniana* mixed forests in subtropics China LI Zhongwen, YAN Wende, ZHENG Wei, et al (7707)

Landscape, Regional and Global Ecology

Assessing the spatial representativeness of eddy covariance flux observation stations of terrestrial ecosystems in China WANG Shaoqiang, CHEN Diecong, ZHOU Lei, et al (7715)

The coupling relationship between variations of NDVI and change of aeolian sandy land in the Yarlung Zangbo River Basin of Tibet, China LI Haidong, SHEN Weishou, CAI Bofeng, et al (7729)

Effects of higher resolution image and spatial grain size on landscape pattern in a small watershed of the farming-pastoral zone ZHANG Qingyin, FAN Jun (7739)

The changes of soil organic carbon and carbon management index in alpine steppe CAI Xiaobu, YU Baozheng, PENG Yuelin, et al (7748)

Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen at small scale in subalpine meadow and *Picea meyeri* forest in Luya Mountain WU Xiaogang, GUO Jinping, TIAN Xuping, et al (7756)

Active pools of soil organic carbon in subtropical forests at different successional stages in Central Hunan, China SUN Weijun, FANG Xi, XIANG Wenhua, et al (7765)

The impact of sheet and gully erosion on soil aggregate losses in the black soil region of Northeast China JIANG Yiliang, ZHENG Fenli, WANG Bin, et al (7774)

Net nitrogen mineralization in soils of Napahai wetland in Northwest Yunnan XIE Chengjie, GUO Xuelian, YU Leichao, et al (7782)

- Variation of soil fertility in *Eucalyptus robusta* plantations after controlled burning in the red soil region and its ecological evaluation YANG Shangdong, WU Jun, TAN Hongwei, et al (7788)
- The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000 to 2010 YUAN Lihua, JIANG Weiguo, SHEN Wenming, et al (7798)
- Long-term dynamic simulation on forest landscape pattern changes in Mount Lushan LIANG Yanyan, ZHOU Nianxing, XIE Huiwei, et al (7807)
- Species habitat correlation analysis in temperate-subtropical ecological transition zone YUAN Zhiliang, CHEN Yun, WEI Boliang, et al (7819)
- Responses of Qilian junipers radial growth of different ecological environment and detrending method to climate change in Qinghai Province ZHANG RuiBo, YUAN Yujiang, WEI Wenshou, et al (7827)
- Resource and Industrial Ecology**
- The pattern of ecological capital in Daxiaoxinganling, Heilongjiang Province, China MA Lixin, QIN Xuebo, SUN Nan, et al (7838)
- Research and implementation of mobile data collection system for field survey of ecological environment SHEN Wenming, SUN Zhongping, ZHANG Xue, et al (7846)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- A remote sensing urban ecological index and its application XU Hanqiu (7853)
- Research Notes**
- Genetic diversity and DNA fingerprint of *Pleioblastus* by ISSR HUANG Shujun, CHEN Liguang, XIAO Yongtai, et al (7863)
- Comprehensive evaluation on photosynthetic and fluorescence characteristics in seedlings of 4 drought resistance species LU Guangchao, XU Jianxin, XUE Li, et al (7872)
- Stock difference of *Coelomactra antiquata* based on nuclear (ITS2) and mitochondrial (16S rRNA) DNA sequence and secondary structure MENG Xueping, SHEN Xin, ZHAO Nana, et al (7882)
- The mechanism of the characters of inorganic carbon acquisition to temperature in two *Ulva* species XU Juntian, WANG Xuwen, ZHONG Zhihai, et al (7892)
- Research on changes of dynamic characteristics of rainfall though *Platyclus Orientalis* plantation canopy in Beijing Mountain Area SHI Yu, YU Xinxiao, ZHANG Jianhui, et al (7898)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 丁 平 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 24 期 (2013 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 24 (December, 2013)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元