

# 陕西省不同地区 NDVI 变化与气候因子的关系及响应研究

蒲 蕾, 任志远

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

**摘 要:** 利用 SPOT VEGETATION 数据分别研究了陕西省近 10 a 植被空间分布和动态变化, 比较了陕南、关中和陕北地区植被 NDVI 的年度变化和月变化。结果表明, 陕西省植被覆盖总体较好, 各地区植被总体轻微改善。这 3 个地区的植被 NDVI 年均值均逐年增加, 并且增长速度表现为: 陕南 > 关中 > 陕北, 不同地区植被夏季生长最好。通过对不同地区植被 NDVI 与气温、降水、日照时数的年际和年内相关关系及其响应的研究得出, 不同地区植被 NDVI 与气温、降水、日照时数的年际相关性不大, 而年内相关性显著。研究了不同地区植被 NDVI 对气温、降水、日照时数的滞后效应得出, 陕南地区植被 NDVI 对气温降水的响应不具有滞后性, 对日照时数的响应具有滞后性。关中和陕北地区植被 NDVI 对气温、日照时数的响应具有滞后性, 对降水的响应具有即时性。

**关键词:** NDVI; 气温; 降水; 日照时数

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)02-0265-05

中图分类号: K903

## Changes of NDVI in Different Areas of Shaanxi Province and Its Responses to Climate Factor

PU Lei, REN Zhi-yuan

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

**Abstract:** The spatial distribution and dynamic changes of vegetation in Shaanxi Province were analyzed using SPOT VEGETATION data for recent ten years. The NDVI values of different regions including the southern, Guanzhong and the northern areas were compared in regard to annual and monthly variations. It was showed that Shaanxi Province had good vegetation coverage that improved slightly as a whole during the past years. Annual average NDVI of the three regions were increasing each year, with increasing rates of the southern area > Guanzhong area > the northern area. By comparison, we found the vegetation NDVI had significant monthly and less significant annual correlations with temperature and precipitation in different areas. The responses vegetation NDVI showed no significant time lag to temperature and precipitation and exhibited noticeable lag to sunshine variations in Southern Shaanxi area. In Guanzhong and Northern Shaanxi area, in the response of NDVI was found one month of time lag to temperature and sunshine lagged while no lag to precipitation.

**Keywords:** NDVI; temperature; precipitation; sunshine time

归一化植被指数 (NDVI) 指植被在近红外波段与红光波段数值之差与其之和的比值<sup>[1]</sup>, 它是植被生长状态与植被覆盖度的最佳指示因子。所以在植被遥感研究中应用很广泛。而气候因子在植被生长过程中起着至关重要的作用, 研究植被 NDVI 变化可以反映区域植被生长和区域生态绿化状况, NDVI 对气候因子的响应作用可以为区域植被建设提供科学依据。

近年来, 国内学者对 NDVI 动态变化及其与气候因子关系和响应机制进行了多项研究, NDVI 的动态变化及与气候因子的关系一直受到国内学者的关注<sup>[2-19]</sup>。

由于陕西省独特的地形差异, 本研究分析了陕西省 1998—2007 年植被空间分布和动态变化, 并且比较 3 大地区植被 NDVI 的年际、月变化及其对气温、

收稿日期: 2012-03-06

修回日期: 2012-04-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“西北黄土高原台塬区土地资源开发利用与生态安全动态分析”(41071057); 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(2009JJD770025)

作者简介: 蒲蕾(1987—), 女(汉族), 陕西省宝鸡市人, 硕士研究生, 主要研究方向为资源环境遥感与 GIS。E-mail: px2266@163.com。

通信作者: 任志远(1953—), 男(汉族), 陕西省兴平市人, 博士生导师, 主要研究方向为遥感、地理信息系统与国土资源开发。E-mail: renzhiyuan@snnu.edu.cn。

降水、日照时数的不同响应程度,最后研究了植被 NDVI 对气温,降水,日照时数影响的滞后效应。

## 1 研究区概况

陕西省位于中国内陆腹地,从北到南可以分为陕北高原、关中平原、陕南山地这 3 个地貌区,并且横跨 3 个气候带,南北气候差异较大。该省降水南多北少,陕南地区为湿润区,关中地区为半湿润区,陕北地区为半干旱区。其中陕南地区包括汉中市、安康市和商洛市,关中地区包括宝鸡市、咸阳市、铜川市、西安市和渭南市,陕北地区包括延安市和榆林市。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与预处理

采用中国西部环境与生态科学数据中心提供的 SPOT VEGETATION/NDVI 的植被 NDVI 指数数据集,为 1998 年 4 月至 2007 年 12 月,空间分辨率为 1 km 的数据。该数据经过大气校正,辐射校正,几何校正,生成 10 d 最大化合成的 NDVI 数据。在 ArcGIS 9.3 软件中,将 DN 数据转换为 NDVI 标准值  $[-1, 1]$ 。气象数据包括气温、降水、日照时数,来源于陕西省统计年鉴。

本研究采用国际通用的 MVC 最大化合成法,得到陕西省逐月植被 NDVI 最大值,年均值与多年平均月值。虽然 1998 年的遥感数据是 4—12 月,但植被在 6—9 月生长最好,不会影响 NDVI 的年均值和多年平均月值。

### 2.2 研究方法

2.2.1 均值法分析 植被的生长季是每年的 4—10 月,采用公式(1)将研究区 10 a 的 4—10 月 NDVI 平均值作为陕西省植被空间分布的指标,记为  $K$ :

$$K = \frac{\sum_{i=4, j=1}^{i=10, j=10} NDVI_{ij}}{10} \quad (1)$$

式中:  $j=1, 2, 3, \dots$  时年份分别为 1998, 1999, 2000 年…。并且将陕西省 NDVI 空间分布情况划分等级为:  $K \leq 0.1$  时记为极低植被区,  $0.1 < K \leq 0.25$  时记为低植被区,  $0.25 < K \leq 0.4$  时记为中等植被区,  $0.4 < K \leq 0.6$  时记为较高植被区,  $K > 0.6$  时记为浓密植被区。

2.2.2 差值法分析 后一时期的 NDVI 值减去前一时期的 NDVI 值可以用来量化两个年份的 NDVI 动态变化,如公式(2):

$$C = NDVI_i - NDVI_j \quad (2)$$

式中:  $C$ ——第  $i$  年相对第  $j$  年的 NDVI 变化值;  $NDVI_i, NDVI_j$ ——第  $i$  年和第  $j$  年的 NDVI 值。将

每年的变化相加,就得到 10 a 来陕西省的植被动态变化。并且将其分为几个等级:  $C \leq -0.25$  时记为严重退化,  $-0.25 < C \leq -0.15$  时记为中度退化,  $-0.15 < C \leq -0.05$  时记为轻度退化,  $-0.05 < C \leq 0.05$  时记为无变化,  $0.05 < C \leq 0.15$  时记为轻微改善,  $0.15 < C \leq 0.25$  时记为中度改善,  $C > 0.25$  时记为高度改善。

2.2.3 相关分析 地理要素之间相互关系的密切程度是由地理要素之间的相关分析获得的,它主要通过计算相关系数的计算与检验来完成<sup>[20]</sup>。相关系数的计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中:  $\bar{x}, \bar{y}$ ——两个要素样本值的平均值;  $r_{xy}$ —— $x$  和  $y$  之间的相关系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 植被变化特征

3.1.1 植被 NDVI 空间变化 按照公式(1)计算得到陕西省植被空间分布图(图 1),并且与行政区划图叠加进行分析。其中,浓密植被区:高植被区:中等植被区:低植被区=5:2:2:1,说明 1998—2007 年陕西省植被覆盖总体较好。浓密植被区主要分布在陕南、关中南(即秦岭北麓)和陕北延安地区南部,高植被区主要分布在关中和陕北延安地区南部,中等植被区主要分布在陕北延安地区北部和榆林南部,陕北北部(即榆林地区北部)为低植被区。

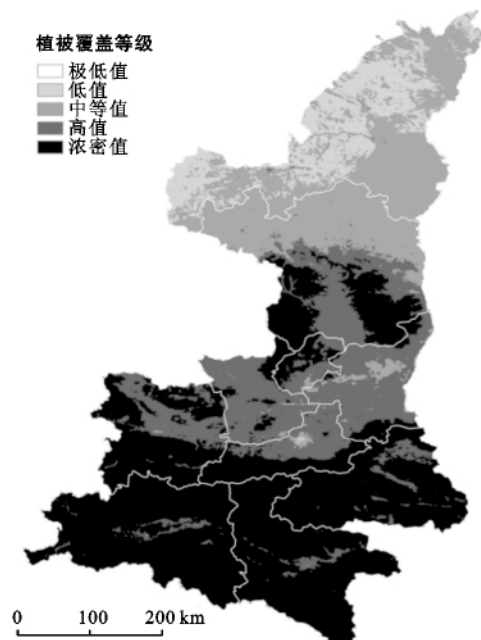


图 1 陕西省植被空间分布图

3.1.2 植被 NDVI 动态变化 按照公式(2)计算得到陕西省 10 a 来植被动态变化图(图 2)。由图 2 可以看出,陕西省严重退化:中度退化:轻微退化:无变化:轻微改善:中度改善:高度改善=2:1:4:35:41:10:7。这 10 a 间,陕西省植被覆盖状况轻微改善,植被严重退化和中度退化的地区主要是关中和陕北北部的部分地区,陕南地区 3 市部分地区植被都有轻微退化,3 个地区植被都有改善,关中地区植被高度改善面积最大。

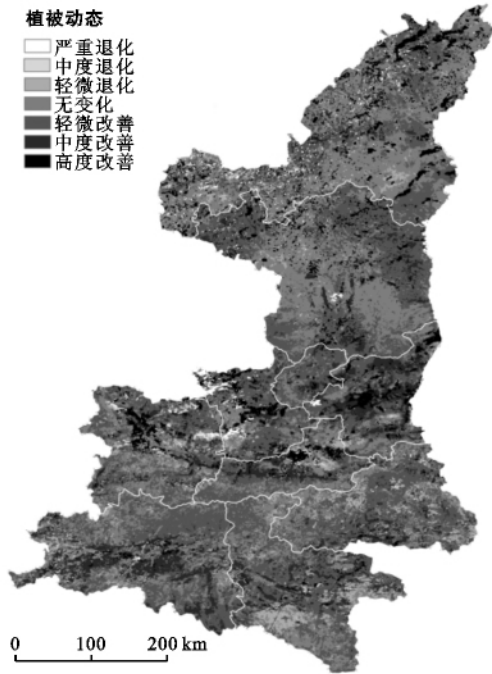


图 2 陕西省植被动态变化图

3.1.3 植被 NDVI 年际变化 陕西省不同地区植被 NDVI 的年均值逐年变化情况如图 3 所示。由图 3 可以看出,陕南、关中、陕北地区植被 NDVI 年均值呈现缓慢增加的趋势,从趋势线方程看出,陕南地区植被 NDVI 的年均值增加最快,为 0.006 5,关中地区次之,陕北地区增加最慢。总体来看,这 3 个地区的植被 NDVI 年均值大小关系呈:陕南>关中>陕北。

1998—2000 年,陕南和关中地区植被 NDVI 年均值逐年减少,分别达到最小值为 0.526 和 0.442,而陕北地区在这期间植被 NDVI 年均值先增加后减少,并且达到最大值为 0.376。

3.1.4 植被 NDVI 月变化 不同地区植被 NDVI 逐月变化情况如图 4 所示,由图 4 可以看出,从植物生长季(4—10 月)来看,植被 NDVI 多年平均月值在这一期间总体上呈现增加趋势,陕南和关中地区分别在 9 月(秋季)达到最大值,值为 0.776 和 0.668,陕北地区也在 8 月达到最大值为 0.459。从多年季节

变化来看,春季生长季(3—5 月),3 个地区植被 NDVI 迅速增加,其中陕南地区增加速度最快,增加率为 10.2%;夏季(6—8 月)陕南和关中地区植被 NDVI 缓慢增加,陕北地区植被 NDVI 仍然迅速增加,增加率为 3.93%,比春季的增加速率(2.49%)快,其中关中地区 6 月 NDVI 多年平均月值出现低谷,值为 0.55,是因为关中地区属于陕西省小麦主产区,此时小麦成熟,致使关中地区植被 NDVI 下降;这 3 个地区的植被 NDVI 在秋季(9—11 月)迅速减少,陕北减少的速率最大,值为 7.4%。

植被 NDVI 多年平均月值呈现明显的季节变化,与气候因子(气温、降水、日照时间)密切相关。

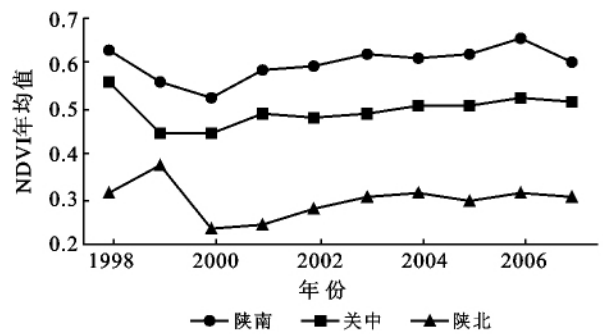


图 3 陕西省不同地区植被 NDVI 年际变化

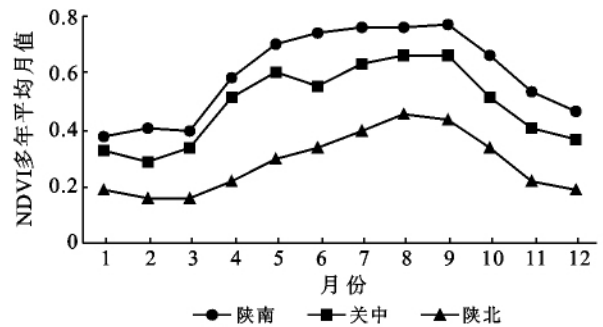


图 4 陕西省不同地区植被 NDVI 月变化

### 3.2 植被 NDVI 对气候因子的响应

3.2.1 植被 NDVI 与气候因子的年际关系 图 5 为不同地区气温、降水、日照时数的年际变化。

由图 5 可以看出,总体上,陕南、关中、陕北地区的气温和日照时数年均值在研究时段内都呈增加的趋势,降水呈现波动增加的趋势。3 个地区气候各不相同。气温和降水方面,由高到低的顺序为:陕南>关中>陕北,日照时数方面,表现为:陕北>关中>陕南。各地区植被 NDVI 与气候因子的年际相关系数详见表 1。植被 NDVI 与气温的年际相关性高的地区是关中和陕北地区,与降水相关性高的地区是陕南地区。并且陕南地区植被 NDVI 与降水的相关系数在 0.01 的置信水平上是显著的,其他地区植被 NDVI 与气候因子的相关系数均不显著。陕南地区

气温适中,日照时数较长,常年降水量大,有利于植被的生长,陕北地区气温较低,降水量偏少,成为制约植

被生长的主要因素,关中地区气温、降水量、日照时数都适中,植被生长较好。

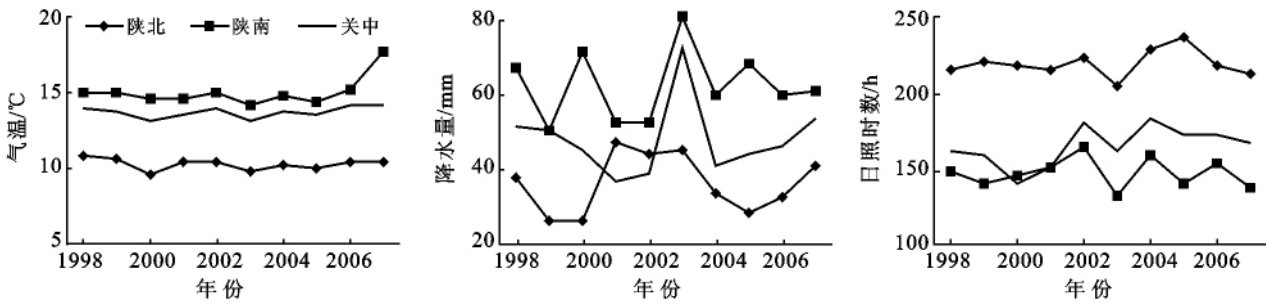


图 5 陕西省不同地区气候因子年际变化

表 1 不同地区植被 NDVI 与气候因子的年际相关系数

项目	气温	降水	日照时数
陕南	0.038	0.152	0.066
关中	0.482	0.067	0.449
陕北	0.551	-0.290	0.101

3.2.2 植被 NDVI 与气候因子的年内关系 表 2 分别列出不同地区植被 NDVI 多年平均月值与同期气温、降水和日照时数的相关系数,反映了它们与气候因子的相关程度,其中各地区植被 NDVI 值与气温和日照时数的相关关系表现为:陕南>关中>陕北,与降水的相关关系表现为:陕北>陕南>关中。并且从表 2 可以看出,陕南地区植被 NDVI 与气温降水的相关系数相当,关中与陕北地区植被 NDVI 与降水的相关性大于气温。

看出,陕南地区植被 NDVI 变化与气温降水的变化基本吻合,随着气温的升高而增加,随着降水的增多而增加,反之也成立。其中 NDVI 的最低值出现在 1 月份,即气温最低和降水量最小的冬季,NDVI 的最高值出现在 9 月份,该月气温不是年度的最高值,降水量也不是最大值。

图 6 分别为不同地区植被 NDVI 多年平均月值随着气温、降水、日照时数变化的对数图。由图 6 可以

看出,关中地区植被 NDVI 值出现了“两峰两谷”,第 1 谷出现在 2 月份,此时气温和降水都不是年度最低值,第 2 谷出现在 6 月份,此时降水较多,气温较高,并且关中地区为陕西省小麦主产区,6 月份小麦成熟,致使 NDVI 降低,出现低谷;第 1 峰出现在 5 月份,此时气温和降水量均增加,日照时数最大,日照时数是影响 NDVI 的主导因素,第 2 峰出现在 9 月份,此时是 NDVI 值最高的秋季,是因为关中地区小麦—玉米两季作物生长导致的。陕北地区 NDVI 最高值出现在 8 月份,这一时期降水量最大,所以降水对于陕北地区植被 NDVI 变化起到了主导作用。

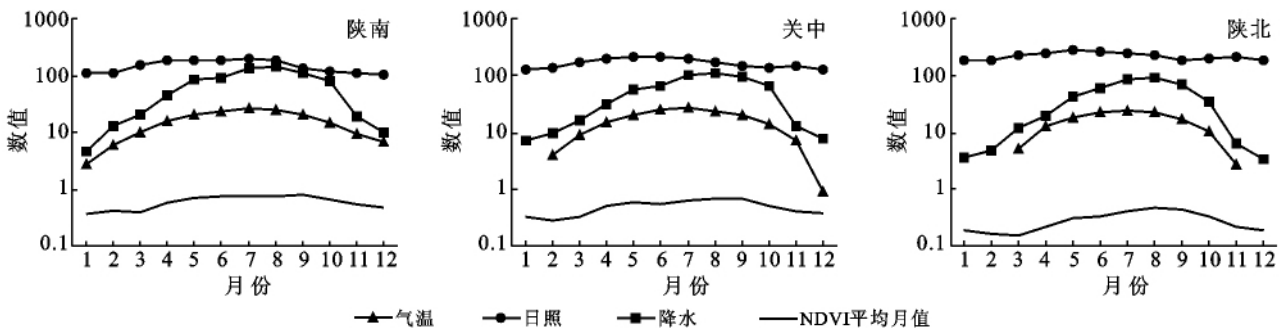


图 6 陕西省不同地区植被 NDVI 随着气温、降水、日照时数的变化

3.2.3 植被 NDVI 对气候因子的滞后效应 表 2 分别列出不同地区气温、降水、日照时数与滞后 1 个月、滞后 2 个月的植被 NDVI 多年平均月值的相关系数,并分别与同期的植被 NDVI 多年平均月值相关系数比较,可以得出,陕南地区气温降水与同期植被 NDVI

值相关性最大,日照时数与滞后 1 个月的植被 NDVI 值相关性最大;关中和陕北地区气温与滞后 1 个月的植被 NDVI 值相关性最大,降水与同期的植被 NDVI 值相关性最大,日照时数与滞后 2 个月的植被 NDVI 值相关性最大。所以陕南地区植被 NDVI 对气温降

水的响应不具有滞后性,对日照时数的响应具有滞后性,关中和陕北地区植被 NDVI 对气温和日照时数的

响应分别具有滞后 1 个月和 2 个月的特性,对降水的响应具有即时性,不具有滞后性。

表 2 陕西省不同地区植被 NDVI 与气候因子的年内相关系数

项目	陕 南			关 中			陕 北		
	气温	降水	日照时数	气温	降水	日照时数	气温	降水	日照时数
同 期	0.943	0.944	0.650	0.908	0.939	0.569	0.835	0.953	0.316
滞后 1 个月	0.942	0.833	0.929	0.916	0.724	0.829	0.958	0.927	0.684
滞后 2 个月	0.625	0.377	0.898	0.564	0.175	0.875	0.774	0.519	0.939

## 4 结 论

(1) 陕西省近 10 a 植被空间分布表明,1998—2007 年陕西省植被覆盖总体较好,陕南、关中、陕北地区植被覆盖各有差异。植被的动态变化表明,陕西省植被总体轻微改善,关中地区植被改善的程度最大,效果显著。

(2) 不同地区植被 NDVI 的年际变化说明实施植树造林,退耕还林,封山育林措施后取得了较好的效果。陕南地区气候湿润,降水量充足,气温适中,植被 NDVI 值高,植被覆盖度高;关中地区气温与降水量四季分明,具有较强的季节性,植被 NDVI 值较高,适宜种植既耐寒耐热,又耐旱的植被;陕北地区气候条件恶劣,冬季寒冷,植被 NDVI 较低,植被覆盖度小,又加之该地区自然资源丰富,近年来开采过度,地面塌陷等现象时有发生,所以这一地区环境改善工作、绿化工作任重道远。

(3) 不同地区植被 NDVI 的月变化及对气温、降水的响应说明,气温、降水是植被生长的必要条件,在某种程度上影响了植被 NDVI 变化,但并不是气温越高,降水量越大,植被 NDVI 就最大,植被覆盖度就越高。不同地区在植被生长季(4—10 月)的 NDVI 值变化情况各不相同,陕南地区植被 NDVI 值先增加,在 5—9 月平缓增加,然后减少;关中地区在 4—9 月植被 NDVI 总体上平缓增加,然后迅速减少;陕北地区在 4—8 月植被 NDVI 迅速增加,然后迅速减少。总的来说,不同地区植被在春季处于快速生长期,夏季生长状况最好。

(4) 不同地区气温、降水、日照时数年均值在研究时段内均有增加,并与植被 NDVI 的年际相关性不大。

(5) 不同地区气温、降水、日照时数与同期植被 NDVI 的年内相关性表明,气温与降水对陕南地区植被生长作用一致,降水对关中和陕北地区植被生长起到了主导性作用。最后分别与滞后 1 个月和滞后 2 个月的植被 NDVI 相关性比较得出,陕南地区植被生

长对气温降水的响应不具有滞后性,对日照时数的响应具有滞后性,关中和陕北地区植被生长对气温和日照时数的响应分别滞后 1 个月和 2 个月,对降水的响应具有即时性。

### [参 考 文 献]

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003:374.
- [2] 罗玲,王宗明,宋开山,等. 1982—2003 年中国东北地区不同类型植被 NDVI 与气候因子的关系研究[J]. 西北植物学报,2009,29(4): 800-808.
- [3] 王宗明,国志兴,宋开山,等. 中国东北地区植被 NDVI 对气候变化的响应[J]. 生态学杂志,2009,28(6): 1041-1048.
- [4] 王永立,范广洲,周定文,等. 我国东部地区 NDVI 与气温、降水的关系研究[J]. 热带气象学报,2009,25(6): 725-732.
- [5] 李登科. 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[J]. 西北植物学报,2009,29(5): 867-873.
- [6] 张艺,任志远. 基于 SPOT VEGETATION 数据的关中地区近 10 年来植被覆盖变化分析[J]. 农业系统科学与综合研究,2010,26(4): 425-430.
- [7] 李丽娜,杨联安. 陕西省近年 NDVI 变化及其与气候因子相关性分析[J]. 陕西师范大学学报:自然科学版,2008,36(S): 123-125.
- [8] 张树誉,李登科,景毅刚,等. 基于 MODIS 时序植被指数的陕西植被季相季节变化分析[J]. 中国农业气象,2007,28(1): 88-92.
- [9] 晏利斌,刘晓东. 1982—2006 年京津冀地区植被时空变化及其与降水和地面气温的联系[J]. 生态环境学报,2011,20(2): 226-232.
- [10] Chen Fujun, Shen Yanjun, Hu Qiaoli, et al. Responses of NDVI to climate in the Hai Basin[J]. 遥感学报,2011,15(2): 401-414.
- [11] 刘晓帆,任立良,袁飞,等. 老哈河流域 NDVI 动态变化及其与气候因子的关系[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(1): 1-5.
- [12] 丁涛,李远,刘艳. 巴音布鲁克草原主要植被 NDVI 变化与气候因子的关系[J]. 遥感应用,2009(1): 53-59.

(下转第 275 页)

- [12] 温丽燕,王选峰. 侵蚀及土地利用管理方式改变对土壤有机碳的影响[J]. 土壤肥料科学, 2007, 23(7): 362-365.
- [13] 贾松伟,贺秀斌,陈云明. 侵蚀逆境下土壤有机碳的迁移[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 78-80.
- [14] 张东辉,施明恒,金峰,等. 土壤有机碳转化与迁移研究概况[J]. 土壤, 2000(6): 305-309.
- [15] 赵同谦,欧阳志云,郑华,等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.
- [16] 中国可持续发展林业战略研究项目组. 中国可持续发展林业战略研究总论[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [17] Garten C T, Post W M, Hanson P J, et al. Forest soil carbon inventories and dynamics along an elevation gradient in the Southern Appalachian Mountains[J]. Biogeochemistry, 1999, 45(2): 115-145.
- [18] Fang Jingyun, Chen Anping, Peng Changhui, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998[J]. Science, 2001, 292(22): 2320-2322.
- [19] Anatoly S, Sten N, Vjacheslav R. Possibilities for increased carbon sequestration through the implementation of rational forest management in Russia[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1997, 94(1-2): 137-162.
- [20] Dvid P T, Greg J K. Carbon sequestration by forests of the United States: Current status and projections to the year 2040[J]. Tellus, 1995, 47(1/2): 232-239.
- [21] Sten N, Wolfgang S. The carbon-sequestration potential of a global afforestation program[J]. Climatic Change, 1995, 30(3): 267-293.
- [22] 季志平,苏印泉,贺亮. 黄土丘陵区人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(6): 54-57.
- [23] 李跃林,胡成志,张云,等. 几种人工林土壤碳储量研究[J]. 福建林业科技, 2001, 31(4): 5-7.
- [24] 方晰,田大伦,项文华,等. 杉木人工林土壤有机碳的垂直分布特征[J]. 浙江林学院学报, 2004, 21(4): 418-423.
- [25] 吴建国,张小全,徐德应. 土地利用变化对土壤有机碳贮量的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(4): 593-599.
- [26] 张城,王绍强,于贵瑞. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 97-102.
- [27] 攀后保,袁颖红,王强,等. 氮沉降对杉木人工林土壤有机碳和全氮的影响[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(1): 1-6.
- [28] 吴金水,董成立,刘守龙. 亚热带和黄土高原区耕作土壤有机碳对全球气候变化的响应[J]. 地球科学进展, 2004, 19(1): 131-137.
- [29] 周德成,赵淑清,朱超. 退耕还林工程对黄土高原土地利用/覆被变化的影响:以陕西省安塞县为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1866-1877.
- [30] 贾宇平,苏志珠,段建南. 黄土高原沟壑区小流域土壤有机碳空间变异[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 21-34.
- [31] 徐香兰,张科利,徐宪利,等. 黄土高原地区土壤有机碳估算及其分布规律分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 13-15.
- [32] 李凤民,徐进章,张国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. 生态学报, 2003, 23(9): 1901-1909.
- [33] 王进鑫,余清珠,刘增文,等. 人工刺槐改造更新林地土壤理化性质的变化及肥力评价[J]. 西北林学院学报, 1995, 10(S): 47-52.
- [34] 彭文英,张科利,陈瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(2): 272-278.

(上接第 269 页)

- [13] 蔡迪花,王润元,郭锐,等. 民勤春小麦 NDVI 与产量的关系及其对气候变暖的响应[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 376-382.
- [14] 杜加强,舒俭民,张林波. 1982—2006 年黄南州 NDVI 年际变化及其与气候的关系[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 229-234.
- [15] 毛德华,王宗明,宋开山,等. 东北多年冻土区植被 NDVI 变化及其对气候变化和土地覆被变化的响应[J]. 中国环境科学, 2011, 31(2): 283-292.
- [16] 王卫,陈建飞. 广东省封开县 NDVI 变化对气候因子的响应[J]. 热带地理, 2010, 30(2): 151-155.
- [17] 王强,张勃,戴声佩,等. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1613-1620.
- [18] 王海军,靳晓华,李海龙,等. 基于 GIS 和 RS 的中国西北 NDVI 变化特征及其与气候变化的耦合性[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 194-203.
- [19] 索玉霞,王正兴,刘闯,等. 中亚地区 1982 年至 2002 年植被指数与气温和降水的相关性分析[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1422-1429.
- [20] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 37-40.