

科尔沁沙地植被覆盖变化及其与气候因子的关系研究

魏丰良¹, 刘廷玺¹, 张圣微¹, 丁磊¹, 崔德新², 赵泽峰²

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古自治区灌溉排水发展中心, 呼和浩特 010018)

摘要:干旱半干旱地区生态系统脆弱, 植被覆盖变异性大, 明晰荒漠化地区植被覆盖变化, 进一步确定其时空变异性与气候因子之间的关系, 可为荒漠化防治提供理论依据。以我国北部荒漠化典型地区科尔沁沙地为研究区, 利用中分辨率成像光谱辐射计 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) 地表反射率产品数据, 提取土壤调节植被指数 (SAVI), 结合信息熵理论, 分析了研究区 SAVI 时空变异性, 进一步通过相关分析明确研究区植被覆盖变化和气候因子的关系。整体上, 研究区植被生长状况东部好于西部, 南部好于北部。植被覆盖时空变异性在时间上以 2000 年最大, 2005 年最小; 空间上以研究区西部南缘最大, 东部南缘最小。降雨量、气温均与 SAVI 呈正相关, 其中降雨对于 SAVI 的影响较大。

关键词:科尔沁沙地; SAVI; 气候因子; 信息熵; 时空变异

中图分类号: Q948.112

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)03-0254-05

Research for Vegetation Cover Change of Horqin Sandy Land and its Relationship with the Climate Factors

WEI Feng-liang¹, LIU Ting-xi¹, ZHANG Sheng-wei¹, DING Lei¹, CUI De-xin², ZHAO Ze-feng²

(1. Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Irrigation and Drainage Water Development Center of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010018, China)

Abstract: The ecological system of drought and semi-arid region area is vulnerable, and the variation of vegetation cover is obvious, it is particularly important to provide a theoretical basis for combating desertification through explicating the vegetation cover pattern of desertification area and determining its variability of spatial-temporal and the relationship with climate factors. In this study, Horqin sandy land of the typical desertification in the north China was taken as study area, and soil regulate vegetation index (SAVI) was extract by using the resolution imaging spectrum radiometer (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) surface reflectivity product data, the variability of spatial-temporal of SAVI in the study area was analyzed through the information entropy theory. The relationship between the change of the vegetation cover and the climate factors was further clear by performing the correlation analysis. As a whole, growth situation of vegetation in the east of the study area was better than that in the western region, and growth situation of vegetation in the south was better than that north. The spatial-temporal variability of vegetation pattern was the largest in 2000 and was the least in 2005; and it was the largest in southwest instead of southeast on the spacial scale. Precipitation and temperatures were positively correlated with SAVI, and precipitation had the larger effect on SAVI.

Key words: Horqin sandy land; SAVI; climate factors; information entropy; spatial-temporal variability

近年来,随着全球环境变化和人类的不合理利用,大部分干旱和半干旱地区的生态系统遭到严重的破坏,处于荒漠化的边缘^[1]。过度放牧和对森林的过度砍伐导致科尔沁草地大面积荒漠化^[2],对中国北部草原构成严重的生态威胁^[3]。尽管在过去的很多年

里,人们通过种植或建造沙漠流动障碍物等措施在一定程度上控制沙漠的移动^[4],但在依靠植被种植治沙效果不明显的区域,如何更好地通过合理的管理天然植被来治理和防止荒漠化成为了研究的焦点^[5]。近年来基于遥感技术的植被覆盖变化及其相关的研究

收稿日期: 2011-11-19

修回日期: 2012-01-09

资助项目: 国家自然科学基金重点项目 (51139002); 内蒙古自治区自然科学基金 (2011BS0607); 科技部国际科技合作项目 (2008GR1043)

作者简介: 魏丰良 (1984—), 男, 河北沧州人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源系统模拟研究。E-mail: weifengling05@126.com

通信作者: 刘廷玺 (1966—), 男, 内蒙古赤峰人, 教授, 主要从事水文水资源系统模拟研究。E-mail: txliu1966@163.com

方法应运而生。利用遥感技术较传统方法既节省了大量的野外调查和实验的时间和科学研究的经费,又提高了工作效率,最重要的是能更加直观的揭示植被分布的规律。植被指数是由可见光和红外波段建立起来的线性和非线性组合,大量研究结果表明,利用红光和红外波段的不同组合进行植被研究效果很好^[6]。段利民等^[7]通过遥感技术研究了科尔沁沙地地下水与NDVI的时空变异性。

虽然NDVI是应用最为广泛的植被指数,但也有其局限性,如高值区的饱和、没有考虑背景值对指数的影响等^[8]。秦鹏等^[9]基于ASTER影像提取NDVI与SAVI进行了比较,提出SAVI对于各种地类的值域较宽,反映绿色植被内部差异信息较明显。通过计算得到的SAVI序列很好地代表了研究区植被生长状况的好坏,但是进一步研究其植被覆盖变化的时空变异性及其与气候因子的关系,为荒漠化防治提供理论依据显得至关重要。

随机序列变异性研究的主要研究手段有地统计学方法、混沌理论及经验正交函数分解法等,其中熵作为度量不确定性和无序性的一种方法,自Shannon于1948年提出信息熵的概念后,近年来其应用得到了很大的推广,涉及了诸多研究不确定性问题的科学领域^[10]。董闯^[11]等运用了边际熵、分配熵和强度熵分别在年和年际尺度上对时间序列的变化进行了研究,分析了石羊河流域8个气象站50a的降雨时间序列的时空变异性。

以往对科尔沁沙地植被的研究中,仅仅局限于植被生长因素(如地下水位、降雨等)和植被(植被指数)之间的响应关系,或者针对某一种植物的生理特性展开研究,并没有从整体上针对研究区内的植被覆盖变化进行全面深入的阐述,对植被覆盖变化的时空变异性对比分析及与气候因子关系的研究不多,本文将针对该问题给出系统的分析。

1 研究区概况及研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于东经120°30′—123°30′,北纬42°00′—43°30′,研究区面积约为16807 km²,地处科尔沁沙地与松辽平原交接地带,为科尔沁沙地南缘,东北部与吉林省双辽县接壤,东部和南部与辽宁省彰武、康平、昌图县相邻;西部和北部与内蒙古通辽市库伦旗、奈曼旗和开鲁县、科尔沁区相连,属于西辽河流域的闭流区域,是典型的坳甸相间地区。

1.2 数据获取与处理

考虑研究区的气候条件,本文选择一年中植被的

生长季4—9月为研究期,遥感数据的获得是通过美国地质调查局(USGS)网站(<http://mrtweb.cr.usgs.gov>)下载2000—2009年MODIS地表反射率产品MOD09A1,其空间分辨率为500 m,时间分辨率为8 d,通过IDL平台提取SAVI,并通过傅里叶变换对原始数据进行去噪处理,运用去噪后的年际SAVI值对研究区植被覆盖变化的时空变异性进行分析。气象数据是通过中国地面气候资料日值数据集下载研究区内及周边气象站2000—2009年的年、月降雨量和气温。

1.3 选区原则

为便于讨论研究区内植被覆盖变化的时空变异性,经实地植被生态调查,考虑所选研究区特点,本着均匀分布、具代表性、便于分析的原则,在研究区内选择五条经线,五条纬线共选定了WA3, WA4, WA5, WB3, WB4, WC3, WC4, WD2, WD3, WD4, WD5, WE1, WE2, WE3, WE4, WE5共16个典型样本区域进行研究,样本区域大小为20×20 pixels,面积为133 km²,见图1。

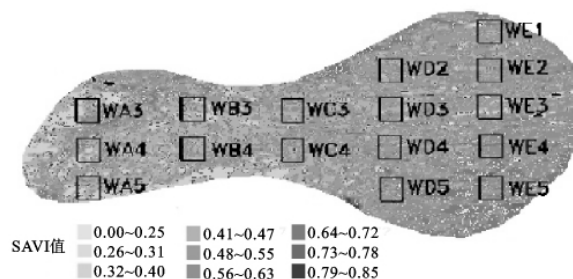


图1 研究区10年平均SAVI值及选定的16个典型样本区域位置

1.4 SAVI熵值估计

欧春平等^[12]定义了差异信息序列的熵如下:

$$I(x) = -K \sum_{j=1}^S y_j \ln y_j \quad (1)$$

式中: $K=1/\ln 2$; S ——差异信息序列 $X(S)$ 的长度; y_j ——差异信息序列 $X(S)$ 的分量值, 当且仅当序列各元素相同时, $I_{\max}(X) = K \cdot \ln S$ 。采用年代分配熵(DAE)^[12]度量SAVI在2000—2009年分配的不均匀性, 首先统计各年各月各样本区域的SAVI值并求和, 然后求各月各样本区域概率, 利用式(1)求年代分配熵; 另外用无序指标(DI)来描述变异性, DI为基于熵的最大可能熵值与根据实测数据序列计算得到的熵值的差。若无序指标(DI)用年代分配熵(DAE)计算时, 称其为分配无序指标(ADI)。无序指标越大, 变异性就越大。本文用平均分配无序指标MADI来比较研究区的时空变异性。其中:

$$MADI = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ADI \quad (2)$$

式中: N ——熵序列长度。

2 结果与分析

2.1 植被空间格局的时空变异性

图 1 表示了研究区 10 a 平均 SAVI 时空变异分布图,其值域为[0.284 0.859]。从整体上明显可以看出研究区内同时期的植被生长状况东部好于西部,南部好于北部。文中进一步运用平均分配无序指标(ADI)来度量 SAVI 在不同年份分布的变异性,某年的 ADI 愈大,那么此年 SAVI 变异性就愈大。用每年所有样本区 ADI 的均值(MADI)表示这种变异性,可得到研究区 16 个样本区域 2000—2008 年 SAVI 分布的 MADI,见图 2。由图 2 可以看出,研究区内 SAVI 变异性相对较高的年份出现在 2000 年、2002 年、2007 年、2008 年,而 2005 年相对最小,主要和降雨有关,较其他年份 2005 年的降雨充沛,更加利于植被的生长,而 2000 年等年份的降雨稀少,植被生长差且参差不齐,表现的变异性就相对较大。

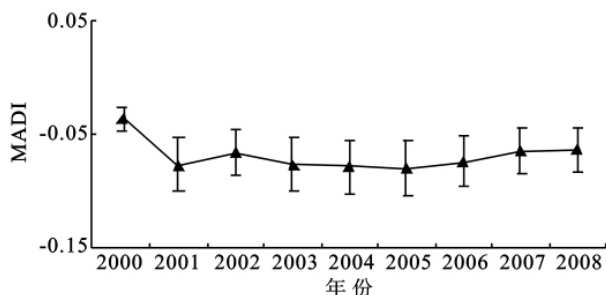


图 2 研究区年 SAVI 平均分配无序指标(MADI)的变化

同样用各样本区域 10 a 的 MADI 来表示 SAVI 的空间变异性,见图 3。可以看出,样本区 WA5 的变异性相对最高,位于研究区的西部南缘;WD5, WE4, WE5 相对较低,主要集中在研究区东部靠南位置,但从整体上看,研究区 SAVI 空间分布的变异性以东南部较低,而偏西和偏北部较高。

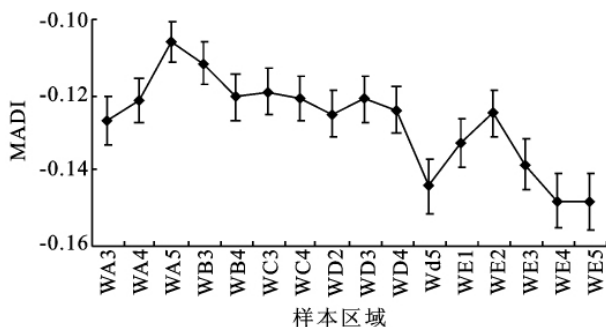


图 3 研究区 16 个样本区域 SAVI 的 10 a 平均分配无序指标(MADI)分布

2.2 植被空间格局与气象因子关系的分析

图 4—5 表明了 SAVI 与温度、降雨量的相关关系。由图可知,SAVI 与两者均呈正相关关系,且与降雨量的关系更加密切。

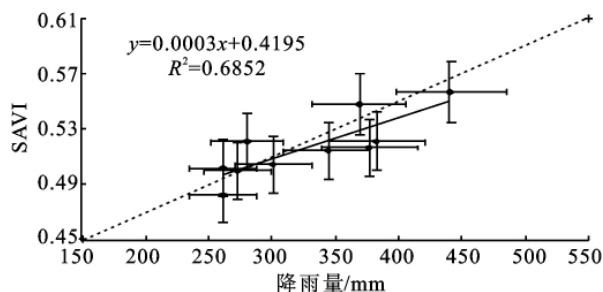


图 4 研究区 2000—2009 年内 SAVI 和降雨量关系

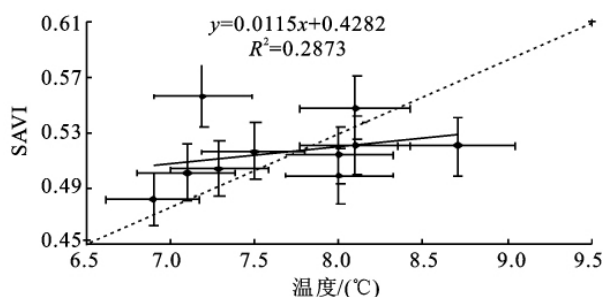


图 5 研究区 2000—2009 年内 SAVI 和温度关系

图 6—7 表示了研究区生长季内逐月的 SAVI 增长百分率、降雨量及气温累计增长百分率等值线图,其中图中颜色的深浅代表了 SAVI 增长百分率的大小,等值线代表了降雨量及气温累计增长百分率大小。可以看出,4—5 月,随着气温和降雨量逐渐增加,植被的生长速率开始逐渐增大,SAVI 增长百分率随之增加,增加较快的地方主要集中在研究区的中东部,西部相对较小,最小为 17.69%,虽然该时期温度累计增长百分率大于降雨量,但是很明显的降雨是该时期影响植被生长的主导因素(图 6—7)。进入 6 月,降雨量和气温累计增长百分率达到最大,尤其降雨量最高达到 275%,集中在研究区的西北部,而气温的累计增长百分率较前一个月整体有所增加,在研究区内空间上差异小。降雨量和气温的影响使得植被生长速率随之增长,SAVI 增长百分率更具规律性,东南部和西北部增长较快,其最高分别为 33.74%,28.97%,而中部增长相对最小。6—7 月 SAVI 增长百分率表现出基本相同的规律,虽然降雨量和气温的增长百分率明显降低,但是由于降雨对于植被生长的延迟作用,该时期研究区各样本区域 SAVI 增长百分率继续增长,最大、最小值分别为 55.84%,29.55%,由图 6 可以看出,西部和中部的地方 SAVI 增长百分率与气温累计增长百分率的变化趋势相同,因此,该时期内气温是影响植被生长的决定因素。

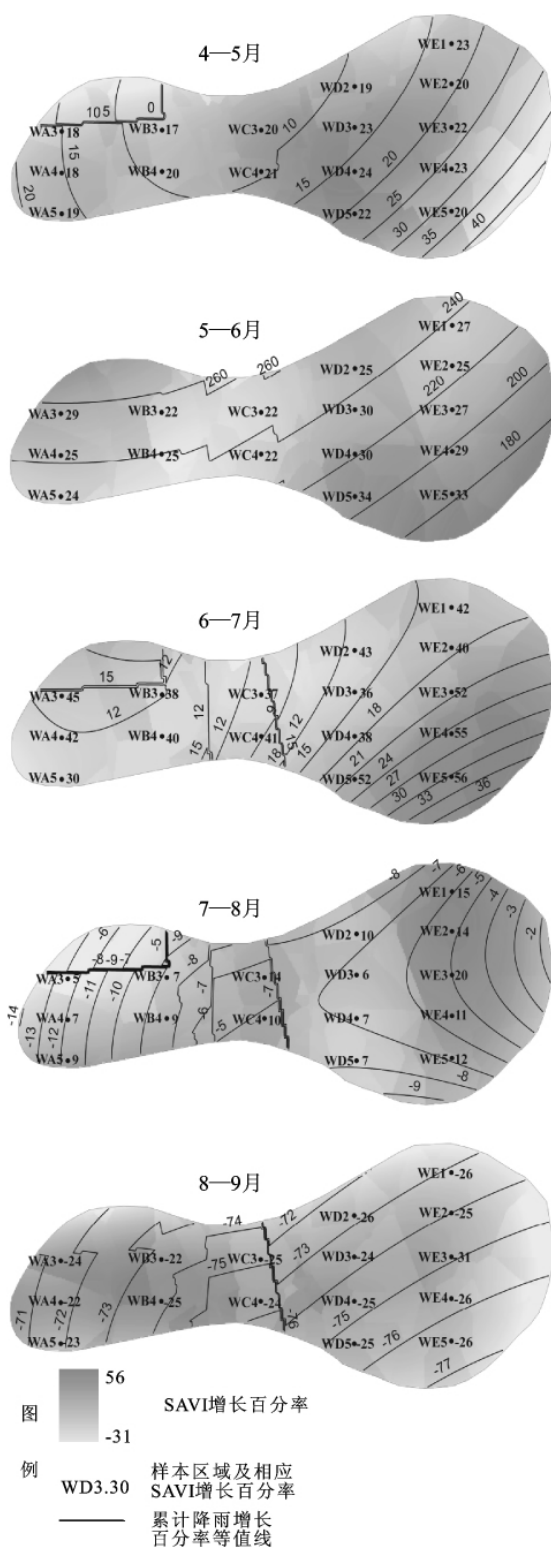


图 6 各样本区域 10 a 平均年内 SAVI 值增长百分率及累计降雨量增长百分率等值线

进入 8 月,降雨量和气温累计增长百分率持续降低,尤其降雨量开始出现负增长,主要集中在研究区西部边缘,但是前段时间的持续降雨量和升温使得 SAVI 值继续增大,SAVI 增长百分率也大大减小,最大仅为 20.35%,主要位于研究区东部中间,此外中

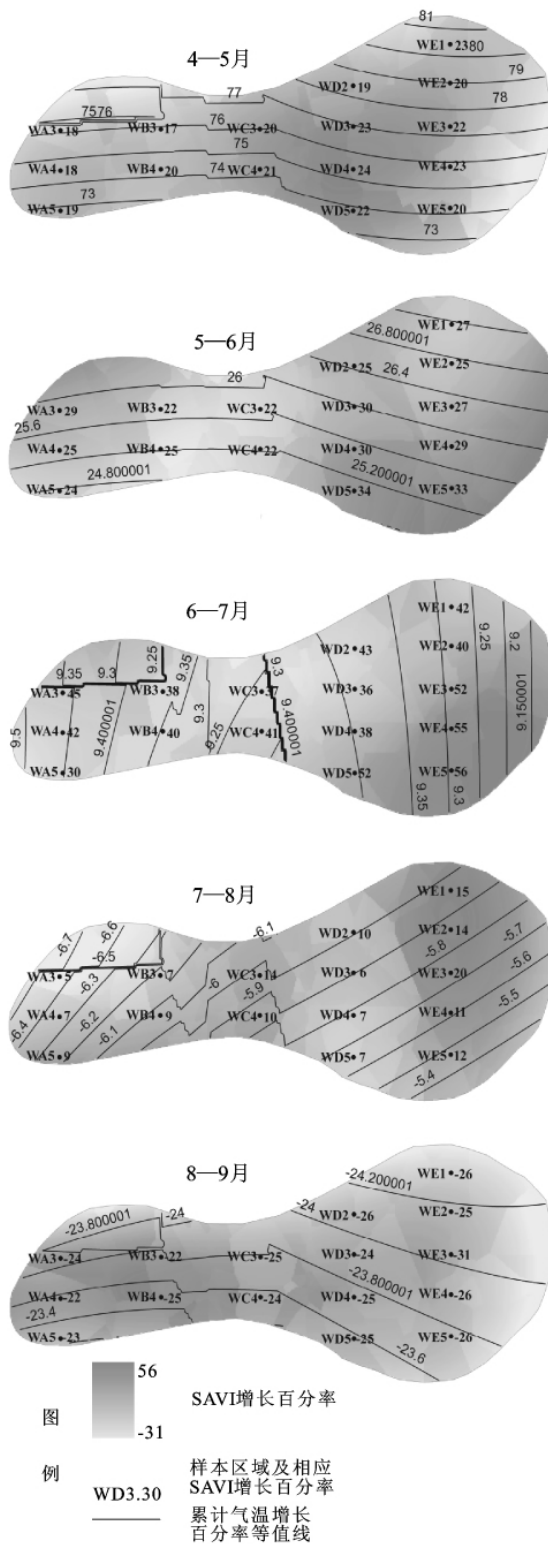


图 7 各样本区域 10 a 平均年内 SAVI 值增长百分率及气温累计增长百分率等值线

部和西部南缘增长也相对较快;最小 SAVI 增长百分率出现在研究区西部,为 5.31%,原因是降雨量大幅减少和气温大幅降低,其中降雨是主要影响因素;到了 8 月上旬,植被生长状况最好,此时 SAVI 值达到最大。随后至 9 月底,降雨量和气温累计增长百分率

大幅度降低,但空间上差异很小,此时的 SAVI 值处于负增长状态,植被开始进入衰退期。衰退速率最快的出现在研究区西北部北缘、中部偏东北缘及东部东缘,尤其是东部东缘,SAVI 增长百分率高达 -30.75%;而植被衰退速率最慢的区域主要分布于研究区西部的中间位置,SAVI 增长百分率最小为 -21.94%。

3 结论

本文针对干旱半干旱的荒漠化地区植被覆盖变化变异性展开了讨论,以科尔沁沙地为研究区,该研究区属于西辽河的闭流区域,位于科尔沁沙地南缘。在其内选取 16 个样本区域,运用遥感技术提取土壤调节植被指数(SAVI),结合信息熵理论,对 SAVI 的时空分布及变异性进行了分析,最后通过相关分析确定 SAVI 序列和气候因子之间的关系。整体来看,研究区内植被的生长状况为东部好于西部,南部好于北部。研究区内植被时间上的变异性 2000 年、2002 年、2007 年、2008 年较大,2005 年较小,空间上变异性东部较小,西部较大;整体上植被时空变异性不大。降雨量、气温均与 SAVI 呈正相关,降雨对于 SAVI 的影响较气温更大。降雨和气温使得不同时期的 SAVI 增长百分率及其时空分布也存在变异性,生长季内植被生长速率越高的地方,进入枯萎期其衰退的速率也越快。

另外,本文采用的遥感数据分辨率较低,且没有考虑经济数据,因此接下来应该进一步选取高分辨率遥感数据,结合土地利用情况,同时考虑植被的不同物候对研究区植被的水文生态过程展开进一步的研究。

参考文献:

- [1] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [2] Zhu Z, Chen G T. The Sandy Desertification in China [M]. Beijing: Science Press, 1994: 250-268.
- [3] Liu Z, Yan Q, Li X, et al. Seed mass and shape, germination and plant abundance in a desertified grassland in northeastern Inner Mongolia, China [J]. Journal of Arid Environments, 2007, 69(2): 198-211.
- [4] Li S G, Harazono Y, Zhao H L, et al. Micrometeorological changes following establishment of artificially established artemisia vegetation on desertified sandy land in the Horqin sandy land, China and their implication on regional environmental change[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 52(1): 101-119.
- [5] 蒋德明, 刘志民, 寇振华. 科尔沁沙地荒漠化及生态恢复研究展望[J]. 应用生态学报, 2002, 12(12): 1695-1698.
- [6] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327-333.
- [7] Duan L, Liu T, Wang X, et al. Water table fluctuation and its effects on vegetation in a semiarid environment [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2011, 8(2): 3271-3304.
- [8] 王正兴, 刘闯. 植被指数研究进展: 从 AVHRR—NDVI 到 MODIS—EVI[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 979-987.
- [9] 秦鹏, 陈键飞. ASTER 影像提取植被信息的 NDVI 与 SAVI 法比较: 以广州花都区为例[J]. 热带地理, 2008, 28(5): 419-422.
- [10] 张继国. 降水时空分布的信息熵研究[D]. 南京: 河海大学, 2004.
- [11] 董闯, 栗晓玲. 基于信息熵的石羊河流域降雨时空变异性研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2011, 39(1): 222-228.
- [12] 欧春平, 夏军, Huang G H. 基于信息熵的流域水文要素时空变异分析研究[J]. 大连理工大学学报, 2006, 46(增刊): 168-173.
- [1] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, et al. Biological feedbacks in global desertification[J]. Science, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [2] 卢波, 金勇章. 长沙市土地利用结构信息熵及驱动力研究[J]. 资源与产业, 2008, 10(6): 19-21.
- [3] 谭洁, 朱红梅, 金卫华. 长沙市土地利用结构熵值时序分析[J]. 经济地理, 2010, 30(1): 118-121.
- [4] 曾毅, 李茂席, 王志军, 等. 西藏山南地区土地利用结构信息熵值特征及演化规律研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5063-5065.
- [5] 陈彦光, 刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律[J]. 人文地理, 2001, 16(4): 20-24.
- [6] 郭雷, 马克明, 张易. 三江平原建三江地区 30 年湿地景观退化评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3126-3135.
- [7] 居玲华, 石培基. 甘肃省土地利用结构动态演变及其驱动力分析[J]. 广东土地科学, 2008, 7(5): 38-43.
- [8] 文博, 夏敏. 基于信息熵和灰关联分析的县域土地利用结构时空变化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 8119-8121, 8196.
- [9] 梁丽霞. 黄土高原南部土地利用动态变化及驱动机制分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [10] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 23-26.

(上接第 253 页)

- [2] 卢波, 金勇章. 长沙市土地利用结构信息熵及驱动力研究[J]. 资源与产业, 2008, 10(6): 19-21.
- [3] 谭洁, 朱红梅, 金卫华. 长沙市土地利用结构熵值时序分析[J]. 经济地理, 2010, 30(1): 118-121.
- [4] 曾毅, 李茂席, 王志军, 等. 西藏山南地区土地利用结构信息熵值特征及演化规律研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 5063-5065.
- [5] 陈彦光, 刘明华. 城市土地利用结构的熵值定律[J]. 人文地理, 2001, 16(4): 20-24.
- [6] 郭雷, 马克明, 张易. 三江平原建三江地区 30 年湿地景观退化评价[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3126-3135.
- [7] 居玲华, 石培基. 甘肃省土地利用结构动态演变及其驱动力分析[J]. 广东土地科学, 2008, 7(5): 38-43.
- [8] 文博, 夏敏. 基于信息熵和灰关联分析的县域土地利用结构时空变化[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(15): 8119-8121, 8196.
- [9] 梁丽霞. 黄土高原南部土地利用动态变化及驱动机制分析[D]. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [10] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 23-26.