

土地利用/覆盖变化对浑善达克沙地植被覆盖度的影响

元志辉^{1,2,4}, 雷军^{1,3}, 包刚², 萨楚拉^{1,2}, 苏日古格¹, 池勇峰⁴

(1. 内蒙古师范大学地理科学学院, 呼和浩特 010022;

2. 内蒙古师范大学内蒙古自治区遥感与地理信息系统重点实验室, 呼和浩特 010022;

3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 4. 内蒙古乌兰察布市城市规划地理信息中心, 内蒙古 乌兰察布 012000)

摘要: 利用卫星遥感资料, 估算了浑善达克沙地 2000—2014 年生长季(4—10 月)植被覆盖度(Vegetation coverage, VC), 并对其时空变化特征进行了分析, 讨论了气候因子和土地利用/覆被变化对植被盖度的影响。结果表明, 14 年间研究区生长季的植被盖度呈波动增加趋势, 多年平均 VC 为 0.423, 年平均递增率为 0.003 6。在空间分布上, 研究区的北部、中部和南部边缘区域的植被覆盖度增加趋势较明显, 而东部和西部部分区域未发生明显的趋势性变化。研究区植被盖度变化趋势与降水量呈正相关, 其相关系数为 0.86, 是驱动植被覆盖度年际波动的直接因素。植被盖度变化趋势与温度呈负相关, 相关系数为 -0.42。以研究区 2000, 2006, 2013 年 3 期遥感影像为信息源, 在 3S 技术支持下, 对不同时期土地利用动态变化进行分析。草地是土地利用的主要类型, 占研究区总面积的 85.42%。近 14 年来, 草地、林地的增加幅度较大, 分别由 29 637.30, 58.24 km² 增加到 30 619.36 km², 64.43 km²。除了建设用地, 其他类型的面积均出现不同程度的减少, 主要土地利用转移方向为耕地转化为草地和林地, 未利用地转化为草地和水域, 高覆盖度草地、林地及耕地呈现增加趋势。土地利用变化与植被覆盖度变化有密切的关系, 浑善达克沙地合理的土地利用是影响其植被覆盖度出现增加趋势的重要影响因素之一。

关键词: 浑善达克; 植被覆盖度; 沙地; 气候; 土地利用/覆被变化

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2016)06-0330-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.06.055

The Impacts of Land Use/Cover Change on Vegetation Coverage in the Otindag Sandland

YUAN Zhihui^{1,2,4}, LEI Jun^{1,3}, BAO Gang², SA Chula^{1,2}, SU Riguge¹, CHI Yongfeng⁴

(1. College of Geographical Science, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022;

2. Inner Mongolian Key Laboratory of Remote Sensing and Geographic Information System of Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022; 3. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University,

Beijing 100875; 4. Wulanchabu City Planning Geography Information Centre, Wulanchabu, Inner Mongolia 012000)

Abstract: Using remote sensing data, we estimated sandland vegetation coverage (VC) during the growing season from 2000 to 2014 in the Otindag Sandland, and analyzed the spatial-temporal characteristics of VC. Impacts of climatic factors and land use/cover change on the sandland VC were primarily distinguished by statistical analysis. The results showed that the sandland VC was increased with fluctuations during the growing season in the Otindag Sandland from 2000 to 2014, the average annual VC was 0.423 in the study area with an average increase rate of 0.003 6/yr. For the spatial pattern, the VC in the northern, central and southern fringe regions of the study area showed an increasing trend, but no obvious trend was observed in the eastern and part of the western regions. As a whole, the annual VC variation was positively correlated with precipitation, the correlation coefficient was 0.86, indicating that precipitation was the dominant driving force of vegetation dynamics. The correlation coefficient between VC and temperature is -0.42. The composition of land use structure was evaluated using data derived from the Landsat images obtained in 2000, 2006 and 2013 with the 3S technology. The study area was primarily comprised of grassland, which occupied 85.25% of the total study area. The results revealed that grassland and forest increased more than any other types of land (except for construction land), with their area increasing from 29 637.30 km² and 58.24 km² to 30 619.36

收稿日期: 2016-05-30

资助项目: 国家自然科学基金项目(41061042, 41301456); 内蒙古科技计划项目(201502095); 内蒙古自然科学基金项目(2016MS0409)

第一作者: 元志辉(1988—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 在读硕士研究生, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: 498805579@qq.com

通信作者: 萨楚拉(1977—), 男, 内蒙古科左中旗人, 副教授, 主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: sachula@immu.edu.cn

km² and 64.43 km², respectively, while other types of land decreased to different degrees. Overall, these results indicated that some farmland was transformed to grassland and forest, and some unused land was transformed to grassland and water body. High-coverage grassland, forest and farmland increased in the area. The annual VC variation was correlated with land use/cover change, which was an important factor driving the VC increase in the Otindag Sandland during the study period.

Keywords: Otindag; vegetation coverage; sandland; climate; land use/cover change

草地荒漠化是困扰我国干旱和半干旱地区的重要环境问题,我国的北方沙地也是草地荒漠化最为严重的地区,从生态学角度提高对沙地的认识,研究土地利用方式的变化是否改变了植被覆盖状况,并影响着许多生态过程,从而对环境的变化,具有极其重要的意义^[1]。植被覆盖度是指植物群落总体或个体的地上部分的垂直投影面积与样方面积之比的百分数,反映植被的茂密程度和植物进行光合作用面积的大小。作为重要的生态气候参数,植被覆盖率是许多全球及区域气候数值模型中所需的重要信息,也是描述生态系统的重要基础数据^[2]。在区域尺度上,由于植被覆盖率具有显著的时空分异特点,传统的草地 VC 监测方式还无法直接和全地面测量,不能及时有效反映草地 VC 的变化动态。遥感技术和计算机技术的成熟,使区域及全球尺度的草地 VC 估算成为可能^[3]。探讨利用遥感资料估算大面积植被覆盖率的方法已成为当前建立全球及区域气候、生态模型的基础工作之一^[4]。随着对全球环境变化研究的不断深入,各国科学家认识到土地利用/覆被变化是造成全球变化的一个重要原因,也是影响陆地生态恢复最直接的人为驱动因素之一,在全球变化研究中起着极其重要的作用。国际地圈生物圈研究计划与全球环境变化的人文因素研究计划联合提出了“土地利用/土地覆盖”研究计划,作为 8 个核心研究计划之一^[5]。国际上许多学者已经对全球历史时期土地利用变化对碳循环影响进行研究,并取得较大进展。沙地植被退化所诱发的沙尘暴,不仅对人类生活生产带来不便,同时带走的是不可弥补的大量珍贵的土壤物质。生态恢复的重要任务就是要控制土地继续退化^[6],最终实现生态系统结构和功能的恢复^[7]。位于首都圈北部内蒙古高原的浑善达克沙地是威胁京津区域的一个主要风沙源区,近十几年来该区域生态恢复极其迅速,但相应的自然和人类活动相结合导致生态恢复的研究却很薄弱。目前对该区一些局部地区的研究已经揭示了生态恢复快速发展的趋势^[8]。一些相关的研究结论表明,自然背景不是主要的原因,而同期的人为干扰明显,最为明显的是西部大开发背景下退耕还林还草工程的实施^[9];还有研究表明,我国北方地区曾经的植被退化和土地沙漠化主要是由于人类不合理经济活动过度干扰所致^[10],当人类干扰排除

或减轻之后,大部分退化、沙化植被都会趋于自然恢复^[11];也有研究多从年际变化尺度来探讨沙地植被和气候要素变化的关系,所得结论普遍认为降水对该地区植被覆盖影响最为明显^[12-13]。植被覆盖度的变化是气候变化和人类活动共同作用的结果,且随着人类活动程度的不断加剧,已对植被覆盖产生了显著影响,目前许多研究仍过多考虑气候变化,而对土地利用、植被建设等人类活动的研究仍有欠缺,从而限制了对植被覆盖度变化影响的正确认识。所以有必要对土地沙漠化的人类活动因子进行研究,同时为沙地的生态恢复提供依据。

本文在 GIS 的支撑下,使用 MODIS 数据和地面气象数据,基于一个普遍应用的植被覆盖度估算模型,模拟 2000—2014 年的内蒙古浑善达克沙地的植被的生长季,即 4—10 月的 VC,对该时段 VC 进行统计和分析,旨在揭示浑善达克沙地的植被覆盖度时空变化特征。在土地利用变化分析中,运用 ARCGIS 的空间分析功能对浑善达克沙地 2000,2006,2013 年的土地利用数据进行区域统计和叠加分析,得到 3 个时段的土地利用类型转移矩阵,分析了近 14 年浑善达克沙地时间和空间尺度上的土地利用动态变化特征。综合 14 年土地利用变化特征与 VC 动态变化,研究土地利用变化对植被覆盖度的影响,分析不同时段,不同土地利用变化引起的 VC 动态变化。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

浑善达克沙地横贯锡林郭勒盟东西,多分布于多伦县、正蓝旗、正镶白旗、镶黄旗北部、锡林郭勒市、阿巴嘎旗、苏尼特左旗南部及苏尼特右旗中部,部分进入内蒙古赤峰市境内和河北省境内^[14]。东西长约 400 km,南北最宽处为 120 km,加上周围的缓冲地带总面积达 5.3×10^4 km²^[15],约占锡林郭勒盟行政面积的 15.3%(图 1)。浑善达克沙地在地质构造上属于新生代的断陷沉降带,沉积有很厚的第三系湖相砂页岩、泥岩、薄层灰岩及中细砂岩等,为沙地的主要砂质来源^[16]。

浑善达克沙地自然区划属温带半干旱区的草原地带,温带大陆性季风气候控制,盛行西风,最热月平均气温 18.6℃,最冷月平均气温 -18.2℃,年均温

度 0.5~3.5 ℃,年平均降水量 250~400 mm,年均蒸发量 1 643.2~2 969.3 mm^[17]。浑善达克沙地的分布与主导风向相一致^[15]。主要生境类型有流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘、丘间低地和湿地。浑善达克沙地是干草原向森林草原带渐变的地区,地带性土壤为栗钙土型沙土,主要散布在滩地^[18]。主要建群植物有榆(*Ulmus pumila*,榆科 *Ulmaceae*)、褐蒿(*Artemisia intramongolicae*,菊科 *Compositae*)、小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*,豆科 *Leguminosa*)等^[19]。

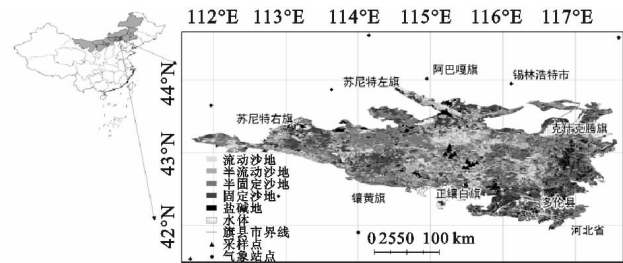


图 1 浑善达克沙地地理位置

1.2 数据来源及预处理

使用 NASA 免费提供的覆盖浑善达克沙地区域的 MOD13Q1 产品,该数据是 2000—2014 年 16 天合成的归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,NDVI)数据,空间分辨率为 250 m。由于锡林郭勒盟大部分地区的植被在冬季几乎停止生长或被积雪覆盖等原因,在此每年选取第 97~305 天的数据,即 4—10 月份的数据。这些数据经过最大值合成法(MVC)处理,生成月 NDVI 数据,降低云、大气、太阳高度角等的干扰^[20]。通过月 NDVI 求得月 VC 值,将每年生长季内 7 期月 VC 数据进行平均计算,分别生成 2000—2014 年的年 VC 数据集^[21]。

气象数据采取中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>)提供的 2000—2013 年的内蒙古及河北境内的 15 个气象站点的月降水量和月平均温度数据。浑善达克沙地是一个东西狭长,南北较窄的地区,沙区中心无气象观测站点,只在周边区域有 15 个相邻的气象观测站。按照各气象站点的经纬度信息,采取 ArcGIS 的 Geostatistical Analyst 模块对气象数据进行 Kriging 空间插值,获取与 VC 数据投影相同、像元大小一致的气象数据栅格图像。通过数据掩膜,剪取研究区月降水量和月平均温度的栅格图像^[22]。

提取 2000,2006,2013 年土地利用信息所使用的 Landsat 影像共 16 景(分辨率为 30 m),来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。应用 ENVI 5.0 遥感处理软件,对 3 期的遥感影像进行大气校正、几何精校正、影像拼接、裁剪等预处理,然后通过波段组合

进行图像增强,最后根据各种土地利用类型的解译标志对影像进行人工目视解译,根据前期建立的土地利用分类体系,将研究区划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地 6 种一级分类,并且结合野外实地考察结果,对初步解译的结果进行验证,对部分解译错的地类进行修改,使分类精度达到要求。

研究区涉及的行政区界线来自 1:400 万国家基础地理信息系统数据库,浑善达克沙地界线及范围数据来自于 Yang 等^[23]的研究结果(图 1)。在研究区的中部,以实测的 14 个样点的植被盖度均值表示该像元对应的地表实际 VC。2014 年 8 月在浑善达克沙地范围内共设计 14 个 1 m×1 m 样方,用手持 GPS 在样方中央获取经纬度。

1.3 植被覆盖度的估算和验证

1.3.1 植被覆盖度估算模型 遥感影像中 NDVI 值作为一个普遍使用的植被因子来代表植被覆盖状态^[24]。本文也同样使用 NDVI 来估算浑善达克的植被覆盖度。估算 VC 模型的表达式为:

$$VC = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$$

(1)

式中:VC 表示植被覆盖度;NDVI_{max}为完全被植被所覆盖像元的 NDVI 值,即纯植被像元的 NDVI 值;NDVI_{min}代表完全为裸地或无植被覆盖区域的 NDVI 值^[25]。NDVI_{max}和 NDVI_{min}随着时空变化而变化,由于 MOD13Q1—NDVI 数据的分辨率为 250 m,同时图像中不可避免的存在着噪声,NDVI 的极值并不一定是 NDVI_{max}和 NDVI_{min}。由于每年的土壤和植被存在差异性,应该寻找不同的值来代替 NDVI_{max}和 NDVI_{min}。本文通过对 NDVI 数据的观察和分析,决定取 NDVI>0.51 范围内的平均值作为 NDVI_{max},取 NDVI 值为(0~0.13)范围内的平均值作为 NDVI_{min}。取值结果见表 1。

表 1 植被覆盖度计算使用的 NDVI_{min}和 NDVI_{max}

年份(年)	NDVI _{min}	NDVI _{max}	年份(年)	NDVI _{min}	NDVI _{max}
2000	0.0999	0.5519	2008	0.0940	0.5481
2001	0.0774	0.5509	2009	0.0973	0.5502
2002	0.0998	0.5571	2010	0.0990	0.5506
2003	0.0812	0.5552	2011	0.0920	0.5528
2004	0.0824	0.5529	2012	0.0754	0.5512
2005	0.0997	0.5571	2013	0.0813	0.5535
2006	0.0877	0.5473	2014	0.0905	0.5543
2007	0.0881	0.5556			

本文将植被覆盖度分为三级:低级覆盖度区,植被盖度小于 30%,主要是强度沙化土地、裸地、低产草地、疏林地、荒耕地,属差等植被;中级覆盖度区,植被盖度 30%~60%,主要是中产草地、低郁闭林地、滩地、中高产草地、林地,属于良等植被;高级覆盖度地区,植被盖度 60%以上,主要是密林地、高产草地,属优等植被^[12]。

1.3.2 精度验证 研究利用 2014 年 8 月实测的浑善达克沙地 14 个样地的植被覆盖度。由于研究区范围大,无法收集所有植被的实测值,仅选取研究区内跨度为 41°—44°N 的样点区。每个样点用数码相机在 1.5 m 垂直上方拍摄记录,以数码照片方式作为实测数据进行取样分析,并将实测数据与模拟结果一一对应,进行模型精度验证浑善达克沙地 VC 实测值和模拟值相关性分析的结果(图 2)显示,VC 实测值与模拟值基本吻合($R^2=0.803, P<0.01$)。因此,可以认为模拟值适于浑善达克沙地植被覆盖度的估算^[26]。

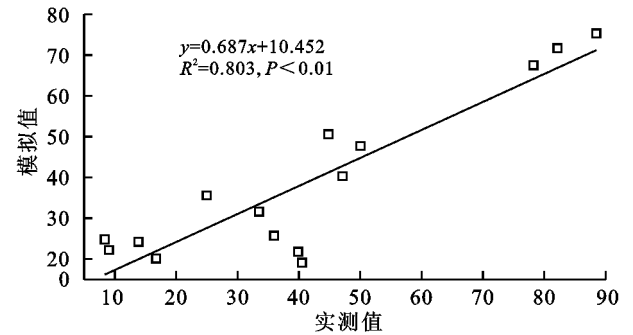


图 2 浑善达克沙地 VC 模拟值与观测值的比较

1.4 研究方法

采取一元线性回归分析法,分析 2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖度的整体变化趋势,单个像元多年回归方程中趋势线斜率即为年际变化率。通过时间序列(年份)和 VC 序列的相关关系来判断 VC 年际间变化的显著性,斜率为正表示植被覆盖度上升,反之则表示植被覆盖度下降^[27]。按照检验结果将变化趋势分为 5 个级别:显著负相关($a<0, P<0.05$);负相关不显著($a<0, P>0.05$);正相关不显著($a>0, P>0.05$);显著正相关($a>0, 0.01<P<0.05$);极显著正相关($a>0, P<0.01$)^[22]。

$$a = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times VC_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n VC_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

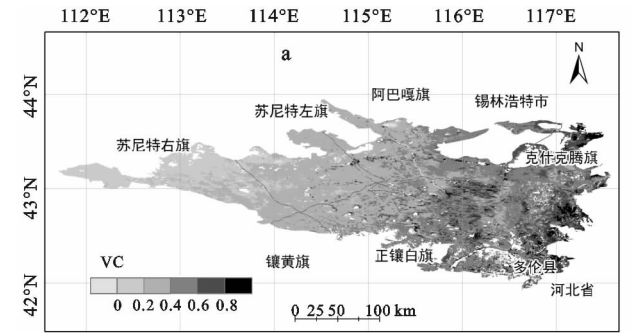


图 3 2000—2014 年浑善达克沙地平均 VC 的空间分布(a)和植被覆盖度年变化(b)

2.2 浑善达克沙地植被覆盖度空间变化趋势

2000—2014 年间浑善达克沙地 VC 均值为 0.416,且每年以 0.003 6 的速率在递增,说明 14 年

式中: a 为趋势斜率,代表 VC 变化趋势及其大小; VC_i 代表第 i 年的年平均植被覆盖度; n 为监测时间段的年数。

地理系统是一种多要素的复杂大系统,特别是在众多要素所构成的地理系统中,其中一个要素的变化必然影响到其他各要素的变化,偏相关分析应由而生。偏相关分析是指当两个变量同时与第三个变量相关时,将第三个变量的影响剔除,只分析其他两个变量之间相关性的过程^[22]。

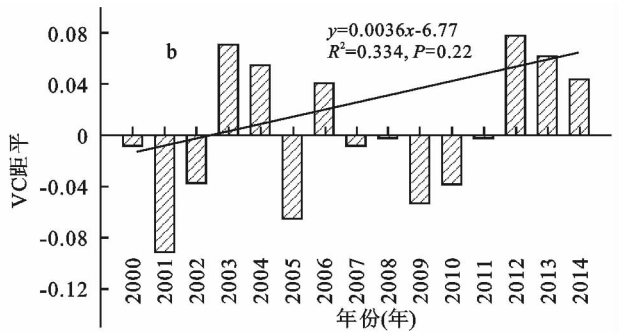
$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

式中: R_{xy} 为要素 x 与 y 之间的相关系数; n 为样本数; x_i, y_i 分别为第 i 年/月 VC 值和年/月均温或年/月降水量值; $\bar{x}, \bar{y}$ 分别为 VC 多年/月平均值和研究时间段的多年/月均温或月降水量值。

2 结果与分析

2.1 浑善达克沙地植被覆盖度空间格局和总体变化趋势

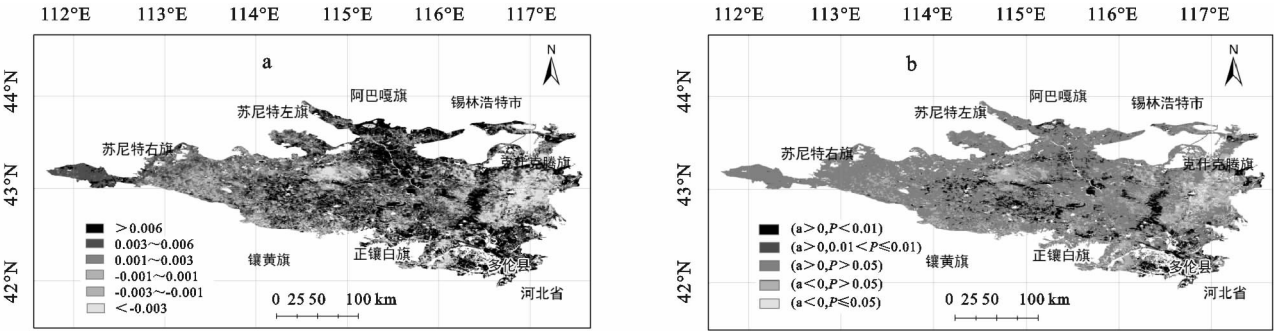
图 3a 为浑善达克沙地 2000—2014 年植被覆盖度平均值空间分布特征。研究区 14 年平均 VC 自西北向东南逐渐增大,低值区主要分布在苏尼特右旗东部,即研究区的北部地区,VC 值小于 0.2;而高值区主要分布正蓝旗、多伦县、克什克腾旗和河北境内,即研究区的东南部区域,VC 值高于 0.4。图 3b 为浑善达克沙地 2000—2014 年的年平均植被覆盖度值。在整个研究区内,浑善达克沙地植被覆盖度呈上升态势(斜率值为 0.003 6),表明研究区植被覆盖趋于好转态势,但增加趋势并不显著($P>0.05$)。14 年间 VC 平均值约为 0.423,2012 年 VC 值最高,约为 0.498,高于多年平均值 17.7%;2001 最低,约为 0.329,比多年平均值低 22.2%;只有 2003,2004,2006,2012,2013,2014 年高于多年平均值。



间植被覆盖度有增加趋势。从空间分布来看(图 4a),VC 上升趋势最明显的草地,主要分布在阿巴嘎旗、正蓝旗、多伦县和正镶白旗的东部地区;VC 下降

趋势最明显的植被零星分布于在克什克腾旗、正蓝旗南部地区和苏尼特左旗东部地区。年植被覆盖度平均值线性拟合分析显示(图 5a),14 年间浑善达克沙地 86.76% 的面积植被态势良好,13.24% 的沙地面积植被趋于恶化态势。而 14 年间研究区植被盖度变化趋势的显著性分析表明(图 4b),发生极显著增加、显著增加、增加、减少和显著减少的植被面积分别占全区总面积的 1.16%,65.78%,7.94%,17.13% 和

7.99%,VC 呈增加(显著和极显著)和减少(显著)的面积比率为 8.38 : 1(图 5b)。植被覆盖度极显著减少的地区分布相对较集中,除少数零星分布在克什克腾旗的部分地区外,其他地区整体呈现上升态势。中西部大部分区域植被状况趋于恢复改善,但恢复态势稍弱。说明在国家开展了大量的草原保护、治理措施后,效果相对明显,但研究区局部区域的植被状况恶化态势仍然存在。



注:a 为年平均 VC 时空变化;b 为变化趋势的显著性水平。

图 4 2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖度空间分布

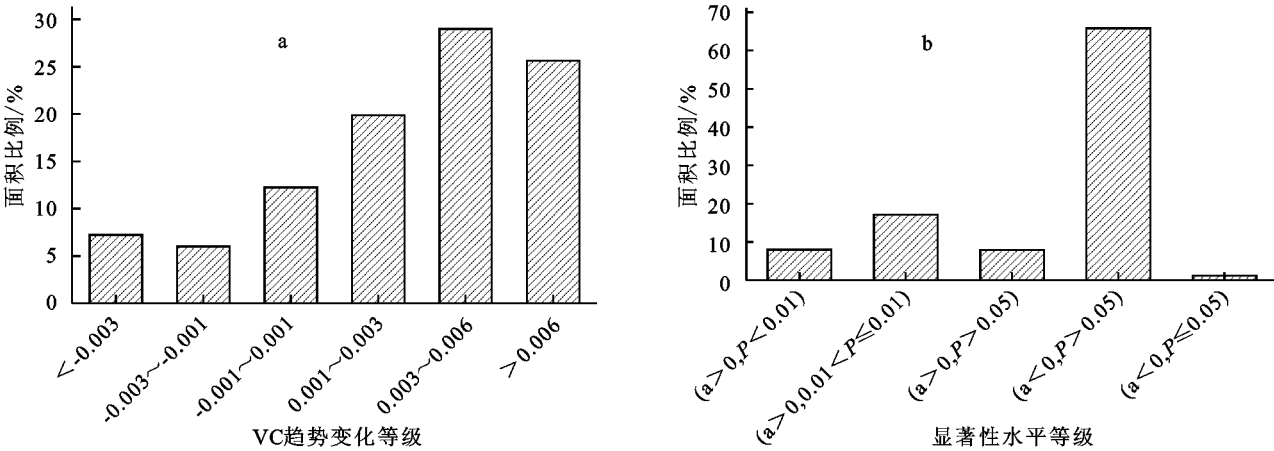


图 5 2000—2014 年浑善达克沙地年平均 VC 的线性拟合率(a)及其显著性水平(b)的面积百分比

2.3 浑善达克沙地气候波动及对植被覆盖度的影响

近 14 年来,浑善达克地区生长季总降水量为 162.4.9 ~373.9 mm 之间(图 6),其波动与 VC 的波动一致,降水量的增减是其区域植被覆盖度改变的一个主要原因。植被覆盖度的年内变化与气象因子关系密切,很多相关研究表明,VC 的年内变化与降雨具有很好的相关性,尤其与生长季的降水具有很好的正相关性^[28]。VC 与降水量之间的相关分析得出,两者相关系数为 0.86($P<0.01$)。而 14 年间生长季平均温度变化较平稳,基本在 2.07(2012 年)~4.77(2007 年) $^{\circ}\text{C}$ 之间波动。VC 与温度之的相关系数达到 -0.42,与降水量的作用相反,温度对研究区植被生长产生了显著的限制作用。这是因为生长季平均温度的升高加快蒸散发而导致干旱加剧和植被可利用水量减少,从而影响植被覆盖度的增加^[29]。特别是在降水量相对匮乏的草原化荒漠或荒漠草原地区,

当降水量比常年稀少时较高的温度对植被生长的抑制作用更加明显。VC 与温度和降水量的相关关系说明了在全球气候变暖大背景下,浑善达克沙地降水量的增加和温度在一定程度的下降都对研究区植被生长具有明显的促进作用,也对物种多样性的保护、风沙治理和生态恢复有深远影响^[30]。

2.4 土地利用/覆被变化及其对植被覆盖度的影响

2.4.1 土地利用总体变化 为了揭示当地生态恢复发展过程,选择交通便利、人类干扰频繁且保证生态政策一致,选择浑善达克沙地坐落在锡林郭勒盟境内的范围为土地利用变化研究区,该范围大部分地区属农业经济和牧业经济交错并存的地区,面积占浑善达克沙地总面积的 81%。研究区约有 85% 以上的土地为草地;其次为未利用地(11% 以上),包括沙地、盐碱地、沼泽地和裸地;其他土地类型主要包括耕地(2% 左右)、林地(0.18%)、水域(0.8%)和建设用地(0.32% 左右)。

2000—2006 年,草地和建设用地面积分别增加了 2.84%,17.33%;与此相反,耕地、林地和未利用地面积分别减少了 8.67%,0.32%和 15.02%;2006—2013 年,林地、草地和建设用地面积分别增加了 10.99%,0.46%和 35.91%,而耕地、水域和未利用地面积则分别减少了 9.20%,12.89%和 1.61%(表 2)。2000—2006 年林地、草地、建设用地和未利用地面积的变化程度要比 2006—2013 年剧烈。

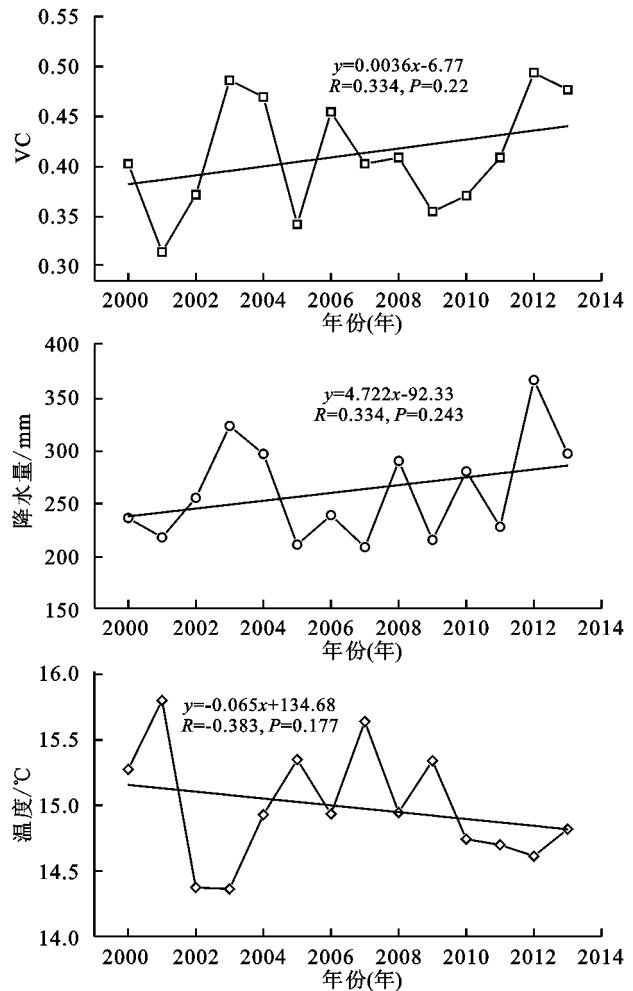


图 6 2000—2014 年浑善达克沙地 VC、
温度和降水量的变化趋势

2.4.2 土地利用类型转移情况 2000—2013 年浑善达克土地利用类型之间相互转换较为频繁。在整个研究时段,共有 4 421.23 km² 的土地利用类型发生转

换,占研究区土地总面积的 12.33%(表 3)。草地作为研究区最典型的土地利用类型,其转化量在其他土地利用类型中是最高的,在 14 年间共转出 1617.46 km²,占土地利用转出面积的 36.58%。其中,向未利用土地转出面积最多,占草地转出面积的 84.51%,其次依次转为耕地、水域、建设用地和林地。同时,共有 2 599.51 km² 的其他土地利用类型转为草地,占土地利用转入面积的 58.80%,其中未利用土地和耕地转为草地面积较大,占草地转化面积的 50.37%和 6.58%。林地、水域和建设用地也均有转化。在 14 年间草地面积净增加 982.05 km²,未利用土地与耕地为其面积增加的主要来源。说明 2000 年左右陆续开展的各项生态修复工程明显起到了缓解草地退化,抑制耕地增加的成效。

在 14 年间耕地面积净减少 138.92 km²,其中转出面积为 316.82 km²,占土地利用转出面积的 7.17%。减少面积几乎都转为草地,占耕地转出面积的 91.86%,只有极小部分减少面积转为建设用地、林地、水域和未利用土地,转出面积比例几乎相等。同时,有 177.90 km² 的其他土地利用类型转为耕地。其中主要转入源仍然是草地和未利用地,分别占耕地转化面积的 90.93%和 8.13%,也有部分林地、水域转为耕地,但转入面积小。林地面积变化与耕地相反,在整个研究时段,增加面积为 30.03 km²,占土地利用转入面积的 0.68%。草地是林地面积增加的主要来源,草地向林地转化面积占林地转化面积的 74.52%。同时也有大量林地转向草地,转出面积占林地转出面积的 93.37%,极小部分林地转为建设用地,耕地和未利用土地。共有 23.84 km² 的林地转为其他土地利用类型,林地面积净增加 6.19 km²。14 年间草地是林地与耕地主要转换源,其中耕地向草地转出的面积远大于林地向草地的转换,而草地转化耕地与林地面积相差不大。尽管当地退耕还林还草政策得到有效实施,并呈现显著效果,但由人类活动导致的草地开垦,森林砍伐等现象也时有发生,因此导致耕地与草地向林地转入的同时,也有部分林地转入草地、耕地和未利用地,甚至部分转入建设用地。

表 2 2000,2006,2013 年研究区各土地利用类型面积及变化率

土地利用 类型	2000 年		2006 年		2013 年		变化率/%		
	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	面积/km ²	百分比/%	2000—2006 年	2006—2013 年	2000—2013 年
耕地	813.56	2.27	743.00	2.07	674.62	1.88	−8.67	−9.20	−17.08
林地	58.24	0.16	58.05	0.16	64.43	0.18	−0.32	10.99	10.63
草地	29637.30	82.68	30478.67	85.03	30619.36	85.42	2.84	0.46	3.31
水域	377.53	1.05	328.20	0.92	285.90	0.80	−13.07	−12.89	−24.27
建设用地	72.60	0.20	85.18	0.24	115.77	0.32	17.33	35.91	59.46
未利用地	4887.18	13.63	4153.31	11.59	4086.33	11.40	−15.02	−1.61	−16.39

表 3 2000—2013 年土地利用转移情况

		km ²						
土地利用类型	时段	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	转出合计
耕地	2000—2006	700.66	0.94	107.45	—	1.77	2.73	112.89
	2006—2013	500.99	6.88	215.32	0.20	7.74	11.87	242.01
	2000—2013	496.73	6.08	291.04	0.20	9.14	10.36	316.82
林地	2000—2006	0.22	46.12	11.72	—	0.12	0.06	12.12
	2006—2013	0.57	41.95	14.96	—	0.16	0.40	16.09
	2000—2013	0.66	34.39	22.26	—	0.28	0.64	23.84
草地	2000—2006	38.10	7.95	28890.61	8.74	8.47	683.43	746.69
	2006—2013	158.29	15.48	29135.32	35.93	20.41	1113.23	1343.34
	2000—2013	161.77	22.38	28019.84	37.02	29.41	1366.88	1617.46
水域	2000—2006	0.32	—	26.94	297.66	—	52.60	79.86
	2006—2013	0.66	—	36.09	214.41	0.03	77.02	113.80
	2000—2013	1.00	—	58.58	205.84	0.03	112.08	171.69
建设用地	2000—2006	—	—	—	—	72.60	—	—
	2006—2013	—	—	0.60	—	84.59	—	0.60
	2000—2013	—	—	0.60	—	72.01	—	0.60
未利用地	2000—2006	3.69	3.04	1441.94	21.80	2.22	3414.49	1472.69
	2006—2013	14.12	0.12	1217.06	35.36	2.85	2883.81	1269.51
	2000—2013	14.47	1.57	2227.03	42.84	4.91	2596.36	2290.82
转入合计	2000—2006	42.33	11.93	1588.05	30.54	12.58	738.82	2424.25
	2006—2013	173.64	22.48	1484.03	71.49	31.19	1202.52	2985.35
	2000—2013	177.90	30.03	2599.51	80.06	43.77	1489.96	4421.23

2.4.3 植被覆盖度及其动态变化 1 代表植被覆盖率为 100%；而 0 代表植被覆盖率为 0，即裸地或水面。对照土地利用类型图(图 7)可知，6 种土地利用类型中林地的覆盖度最高，其次是耕地和草地，而未利用地的沼泽地导致部分区域植被覆盖度较高。研究区 2000,2006,2013 年植被覆盖度介于 0~1 之间(图 8)。在研究期间，由于滥砍滥伐、盲目开垦等掠夺式的开发利用土地资源方式的不断改善，使得该地区林地平均植被覆盖度提高；而林地中的植被主要以灌丛为主，而且株间距离较大，因此导致了该地区林地平均植被覆盖度最高^[31]；因人类合理的保护生态环境、加之实施退耕还林还草等工程的实施，增加了牧草的高度及密度使得该地区草地平均植被覆盖度提高；在研究期间大面积的未利用土地转化为草地，这使得未利用土地的面积有所减少，表明浑善达克沙地土地利用结构得到了一定的调整，草地、林地等土地利用类型开始发挥其生态功能。

2.4.4 不同土地利用类型的植被覆盖度变化 根据植被覆盖度的划分等级分别对 2000,2006,2013 年的各土地利用类型(主要类型为林地、草地、耕地和未利用地，由于水域及建设用地的植被覆盖度很难准确估算，故在此忽略)进行等级划分，得出研究区在研究时段内不同土地利用类型的植被覆盖度面积比例表(表 4)。从表 4 可以看出，林地和耕地的中级和高级植被覆盖度所占比例较高，约占林地和耕地总面积的 97%多。而草地和未利用地的低级和中级植被覆盖度所占比例较高。2013 年各土地利用类型的 3 个植被覆盖度等级面积与 2000 年相比发生了明显变化。以耕地、未利用地的变化最为显著。高级覆盖度的耕地面积比例由 43.82%增至 74.55%，而中级由 55.94%增至 25.25%；低级覆盖度的未利用地面积比例由 65.03%降至 45.42%，高级由 5.50%增至 8.24%。研究表明，尽管耕地和未利用地总面积在减少，但其植被高级覆盖度的面积逐年增加。

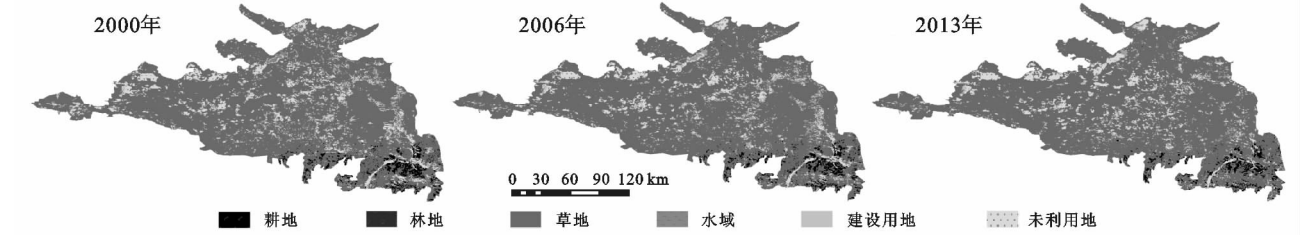


图 7 研究区土地利用分类

3 讨论

2000—2013 年研究区土地覆被结构发生了较大变化，其中以耕地和未利用地面积持续减少和建设

用地面积显著增加。14 年间在生态退耕还林还草政策影响下，草地与林地面积分别增加了 982.06 km² 和 6.19 km²，耕地面积共减少 138.93 km²。水域和

未利用地面积明显减少,减少幅度分别为 24.27%和 16.39%。建设用地面积在 14 年间明显增加,增加幅度较其他土地利用类型变化显著。人类活动影响主要体现在 2000 年以后在该地区实施的一系列生态保护政策与工程是浑善达克沙地的草地与林地面

积增加,耕地面积减少的主要原因。农村和城市人口不断增加积聚,城市交通规模不断扩张,导致大量草地与耕地被建设用地占用,建设用地面积大幅度增加也是人类活动导致土地利用类型发生变化的主要表征。

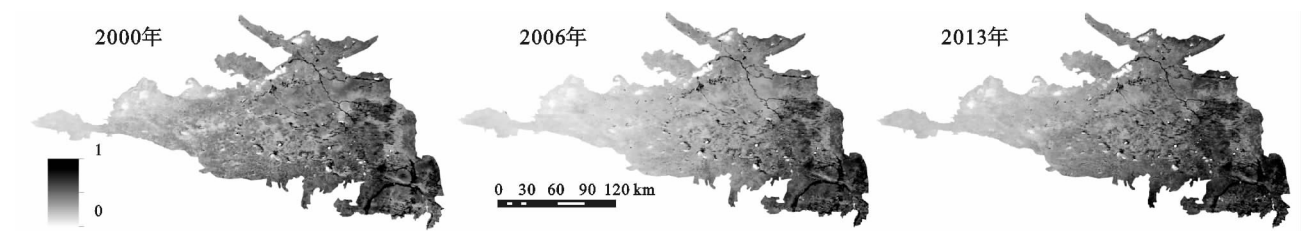


图 8 研究区植被覆盖度

表 4 2000,2006,2013 年研究区不同土地利用类型的植被覆盖变化率 %

土地利用 类型	低级覆盖度			中级覆盖度			高级覆盖度		
	2000 年	2006 年	2013 年	2000 年	2006 年	2013 年	2000 年	2006 年	2013 年
耕地	0.25	0.64	0.20	55.94	41.72	25.25	43.82	57.64	74.55
林地	1.41	1.98	2.05	25.98	19.01	9.19	72.61	79.01	88.76
草地	33.47	54.49	26.28	55.75	35.55	49.03	10.78	9.96	24.68
未利用地	65.03	72.69	45.42	29.47	21.43	46.34	5.50	5.88	8.24

在整个研究时段未利用土地共转出 2 290.82 km²,主要转移为草地和水域,其中转为草地面积就占未利用土地转出面积的 97.22%,转为水域面积只占 1.87%。同时也有大量草地和水域转入未利用土地,共计转入面积为 1489.96 km²。14 年间未利用土地面积净减少 800.86 km²,减少面积主要转为草地和水域,说明未利用土地得到有效开发利用。建设用地面积在 14 年间大幅度增加,净增加 43.17 km²,增加面积主要来源为草地,占建设用地增加面积的 67.20%。其它土地利用类型也均有转化,耕地与未利用土地分别向建设用地转化 9.14 km² 和 4.91 km²,林地和水域转化面积积极小。建设用地共计转入面积为 43.77 km²,占土地利用转化面积的 0.99%。由建设用地净增加量与合计转化面积可知,建设用地转出面积积极小。在研究时段,锡林郭勒盟社会经济的发展加速了该地区城镇化与工业化过程,使交通用地、工矿用地以及居民用地面积大幅度增加,加大对草地的占用。虽然建设用地增加面积主要来源为草地,但由于当地气候条件及相关生态保护政策,草地面积没有因为建设用地面积增加而减少。说明虽然建设用地面积增加对草地造成一定的破坏,但适当的气候条件和人类活动会对草地资源可持续利用起到推动作用。

总的来说,在 2000—2013 年期间,浑善达克沙地内的林地、草地的植被覆盖度均在增加,这种趋势与研究区土地利用变化的趋势基本一致,因此可以说明,2000—2013 年研究区土地利用变化导致了该地区植被覆盖度呈增加趋势,这与本文所得的近 14 年来浑善达克沙地植被覆盖度呈增加趋势的结论高度一致。表明浑善达克沙地土地利用的变化与该地区

植被覆盖度的变化是同步的^[32]。总而言之,土地利用变化与植被覆盖度变化有着密切的关系,浑善达克沙地合理的土地利用是影响其植被覆盖度出现增加趋势的重要影响因素之一。

4 结论

(1)在整个研究区范围内,14 年间研究区植被覆盖度变化的年际波动较大,但其植被平均 VC 总体上呈增长趋向,研究区多年平均 VC 为 0.423,年平均递增率为 0.003 6。在空间分布上,研究区的北部、中部和南部边缘区域的植被覆盖度增加趋势较明显,而东部和西部部分区域未发生明显的趋势性变化。表明最近 15 年间浑善达克沙地生态呈明显好转的态势,同时也说明 21 世纪初中国开始实施的退耕还林还草禁牧休牧轮牧等生态保护和环境改善工程取得了明显效果。

(2)研究区植被覆盖度变化趋势与降水量的关系密切,其相关系数达到 0.86,表明不论是时间还是空间尺度上,降水量是驱动植被覆盖度年际波动的最直接因素。而与温度呈负相关,相关系数为-0.42,在某种程度上对植被覆盖度起到抑制作用。

(3)2000 年到 2013 年研究区土地利用变化以草地的面积增加最大,林地、建设用地面积也略有增加,但增长显著。而耕地、水域和未利用土地呈减少趋势。耕地、未利用土地的减少和草地、林地的增加与该地区植被覆盖度的增加同步。耕地面积减少,草地和林地面积增加与该地区 2000 年以来实施的退耕还林还草工程有直接关联,未利用土地面积持续减少,在较大程度上补给草地和水域用地。

(4) 4 种主要土地利用类型中,林地的植被覆盖度较高,大部分集中在中级和高级植被覆盖度;耕地次之;未利用地的植被覆盖度最低。林地、草地面积增加的同时,植被覆盖度也在提高,尤其是其高级植被覆盖度区域。尽管耕地和未利用地总面积在减少,但其植被高级覆盖度的面积逐年增加。

(5) 随着人类活动的加强以及气候条件的变化,处于生态脆弱区的浑善达克沙地土地利用类型在数量和结构上均发生了较大改变,从而导致了植被覆盖度的变化,建议在浑善达克沙地继续加强宏观政策调控与生态工程建设,具体包括植树造林、保持草地、保护耕地和控制未利用土地。

参考文献:

- [1] 于兴修,杨桂山. 中国土地利用/覆被变化研究的现状与问题[J]. 地理科学进展,2002,21(5):51-57.
- [2] 元志辉,包刚,银山,等. 2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究[J]. 草业学报,2016,25(1):33-46.
- [3] 黄麟,曹巍,巩国丽,等. 2000—2010 年中国三北地区生态系统时空变化特征[J]. 生态学报,2016,36(1):107-117.
- [4] 马安青,王一谋,陈东景,等. 基于 RS 和 GIS 的甘肃省沙漠化现状及潜在沙漠化程度评价[J]. 水土保持学报,2003,17(6):1-4.
- [5] 盖永芹,李晓兵,张立,等. 土地利用/覆被变化与植被盖度的遥感监测:以北京市密云县为例[J]. 资源科学,2009,31(3):523-529.
- [6] 赵平,彭少麟. 种的多样性及退化生态系统功能的恢复和维持研究[J]. 应用生态学报,2001,12(1):132-136.
- [7] 丁运华. 生态恢复中的几个问题讨论[J]. 中国沙漠,2000,20(3):341-344.
- [8] 李爱敏,韩致文,许健,等. 21 世纪初科尔沁沙地沙漠化土地变化趋势[J]. 地理学报,2006,61(9):976-984.
- [9] 赵英伟,刘黎明,白晓飞. 西部大开发草地资源可持续利用评价与发展对策[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):15-18.
- [10] 王涛. 我国沙漠与沙漠化科学发展的战略思考[J]. 中国沙漠,2008,28(1):1-7.
- [11] 赵哈林,苏永中,周瑞莲. 我国北方沙区退化植被的恢复机理[J]. 中国沙漠,2006,26(3):323-328.
- [12] 白美兰,郝润全. 气候变化对浑善达克沙地生态环境演变的影响[J]. 中国沙漠,2006,26(3):484-488.
- [13] 马晓哲,王铮. 土地利用变化对区域碳源汇的影响研究进展[J]. 生态学报,2015,35(17):5898-5907.
- [14] 裴浩,张世源,敖艳青,等. 浑善达克沙地气候特征及其气候变化分析[J]. 气象科技,2005,33(1):63-67.
- [15] 白音达来,包额尔顿嘎,赛音巴雅尔. 浑善达克沙地生态系统现状分析及生态恢复对策[J]. 内蒙古农业科技,2008(5):71-73.
- [16] 陈玉福,蔡强国. 京北浑善达克沙地荒漠化现状、成因与对策[J]. 内蒙古农业科技,2003,22(4):353-358.
- [17] 刘美珍,蒋高明. 李永庚,等. 浑善达克退化沙地草地生态恢复试验研究[J]. 生态学报,2003,23(12):2719-2727.
- [18] 王石英,蔡强国,李忠武,等. 中国浑善达克沙地生态环境变化研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2006,33(2):110-113.
- [19] 刘树林,王涛. 浑善达克沙地地区土地沙漠化初步研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):99-103.
- [20] 延昊,王长耀,牛铮,等. 应用遥感技术估算东亚沙尘携带量[J]. 水土保持学报,2002,16(1):120-123.
- [21] 朴世龙,方精云. 1982—1999 年我国陆地植被活动对气候变化响应的季节差异[J]. 地理学报,2003,58(1):119-125.
- [22] 穆少杰,李建龙,陈奕兆,等. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报,2012,67(9):1255-1268.
- [23] Yang X P, Wang X L, Liu Z L, et al. Initiation and variation of the dune fields in semi-arid China-with a special reference to the Hunshandake Sandy Land, Inner Mongolia[J]. Quaternary Science Reviews, 2013, 78: 369-380.
- [24] 程博,刘常红. 内蒙古多伦县土地利用动态遥感监测应用研究[J]. 水土保持学报,2002,16(4):137-140.
- [25] 张宇,陈龙乾,王雨辰,等. 基于 TM 影像的城市地表湿度对城市热岛效应的调控机理研究[J]. 自然资源学报,2015,30(4):629-640.
- [26] Zhou W, Gang C, Chen Y, et al. Grassland coverage inter-annual variation and its coupling relation with hydrothermal factors in China during 1982 - 2010[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(4):593-611.
- [27] 穆少杰,李建龙,周伟,等. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系[J]. 生态学报,2013,33(12):3752-3764.
- [28] 李霞,李晓兵,王宏,等. 气候变化对中国北方温带草原植被的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2006,42(6):618-623.
- [29] 周彦昭,周剑,李妍,等. 利用 SEBAL 和改进的 SEBAL 模型估算黑河中游戈壁、绿洲的蒸散发[J]. 冰川冻土,2014,36(6):1526-1537.
- [30] 杨圆,杨建平,李曼,等. 冰川变化及其影响的公众感知与适应措施分析:以甘肃河西内陆河流域为例[J]. 冰川冻土,2015,37(1):70-79.
- [31] 张继平,常学礼,蔡明玉,等. 土地利用类型变化对沙漠化过程的影响:以科尔沁沙地为例[J]. 干旱区研究,2009,26(1):39-44.
- [32] 刘羽,王秀红,张雪芹,等. 巴丹吉林—腾格里沙漠间沙丘活化带发展过程及其驱动力分析[J]. 干旱区研究,2011,28(6):957-966.