

# 草地覆盖度变化对生态系统防风固沙服务的影响分析

## 以内蒙古典型草原区为例

巩国丽<sup>1,2</sup>, 刘纪远<sup>1\*</sup>, 邵全琴<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要** 锡林郭勒盟为我国北方典型草原区, 草地的退化与恢复影响生态系统的防风固沙服务功能。为了便于制定区域生态恢复的防治措施, 实现草地生态系统的可持续发展与防治土壤风蚀危害, 本文基于气象、遥感数据, 运用RWEQ(Revised Wind Erosion Equation)模型, 结合锡林郭勒盟的草地覆盖度变化对20世纪90年代以来的防风固沙服务功能的时空变化趋势进行了定量评估, 并分析了草地覆盖度变化对防风固沙服务功能的影响。研究表明: 锡林郭勒盟土壤风蚀以微度和轻度侵蚀为主, 主要集中在植被盖度较高、降水相对较多, 风场强度相对较低的东部、中部和南部地区; 中度以上区域主要集中在西部的荒漠草原区与浑善达克沙地区, 且侵蚀面积随侵蚀强度的增加而递减; 防风固沙服务功能量的分布趋势与土壤风蚀模数的分布趋势基本一致; 防风固沙服务功能保有率的分布特征与植被盖度的分布特征基本一致, 表现为由西北到东南逐渐增加的趋势; 在气候暖干化背景下, 受京津风沙源治理工程实施的影响, 以微度和轻度侵蚀为主的草地覆盖度减小区转为以微度和轻度为主的覆盖度增加区, 轻度和中度以上侵蚀为主的草地覆盖度减小区转为基本持衡区; 草地覆盖度的降低与增加对土壤风蚀的加剧和抑制作用明显, 大部分地区的防风固沙服务功能保有率的下降(提升)与风蚀季节草地覆盖度的减小与提升呈显著正相关( $r>0.6$ ,  $p<0.05$ )。

**关键词** 草地覆盖度; 土壤风蚀; RWEQ模型; 防风固沙; 锡林郭勒盟

**DOI:**10.3724/SP.J.1047.2014.00426

## 1 引言

防风固沙服务功能是我国北方地区生态系统的主要服务功能之一。中国科学院地学部<sup>[1]</sup>对华北沙尘天气成因分析认为, 造成沙尘暴的主要原因是退化的耕地和草地, 且中国风蚀区的耕地所占面积较小。草地是我国最大的生态系统, 其面积约占全国土地总面积的42%, 广大的草地成为主要的风蚀区<sup>[2-3]</sup>。而草地退化这一生态问题在我国十分严峻, 20世纪80年代初, 我国草地严重退化面积占草地总面积的30%, 90年代占到50%左右, 21世纪初已上升到80%以上<sup>[4]</sup>。草地的退化促使了新千年之际首都北京和华北广大地区的特大沙尘暴天气, 故此开展

草地恢复成为提高防风固沙服务功能的有效方式, 草地生态系统的恢复可以增大覆盖地表的面积、增大空气动力学粗糙度、提高摩阻速率、拦截运动沙粒等以降低土壤侵蚀, 起到“防风固沙”的作用<sup>[5-13]</sup>。本文从草地盖度出发, 研究草地覆盖度变化对“防风固沙”服务功能的影响。深入研究土壤抗风蚀效应对于阐明土壤风蚀机理, 丰富土壤风蚀研究理论。制定区域生态恢复的防治措施。这对实现生态恢复与草地生态系统的可持续发展具有重要的现实意义。

## 2 研究区地理特征

内蒙古典型草原区锡林郭勒盟是距京津唐最

收稿日期 2013-12-23; 修回日期: 2014-01-22.

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“国家尺度生态系统监测与评估技术集成应用系统”(2013BAC03B04); 国家“973计划”课题“国家尺度生态系统服务功能变化及综合评估”(2009CB421105)。

作者简介 巩国丽(1985-), 女, 山西平遥人, 博士生, 研究方向为土壤侵蚀, 生态服务功能。E-mail: gongguoli00@163.com

\*通讯作者: 刘纪远(1947-), 男, 上海人, 研究员, 博士生导师, 主要从事资源、环境及生态遥感研究。E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn

近的草原牧区,是京津地区主要风沙源地之一,在全国生态安全战略格局中处于北方防沙带,是首都和华北地区的重要生态屏障。锡林郭勒盟气候上属于中温带干旱、半干旱大陆性季风气候,气温偏低,雨季短促,雨量不足,春秋风大;土地总面积为20.2万km<sup>2</sup>,其中草地面积达19.7万km<sup>2</sup>,是内蒙古草原的主体部分。其大部分为典型草原区,西部部分地区为荒漠、半荒漠草原,植被覆盖度低;土壤以栗钙土、风沙土为主体,土壤中黏粒成分少、土质疏松,腹部的浑善达克沙地约占全盟总面积的10%左右<sup>[14]</sup>(图1)。气候有明显的暖干化趋势,在降水量偏少,气候变化以及人口增长,畜牧业迅速发展的背景下,区域的草地退化和沙漠化问题十分严重。在1999年到2001年之间,全盟大范围的浮尘、扬沙和沙尘暴天数增加<sup>[15]</sup>。2002年京津风沙源治理工程启动实施,通过围栏封育,禁牧、休牧和轮牧,飞播种草,小流域治理,人工种草等的实施,草原植被得到初步恢复。其特殊的生态屏障地位、敏感且脆弱的生态环境特点,使得该区的生态环境和演变态势对于保障首都北京和华北地区的生态安全、经济社会稳定具有重要意义。

### 3 数据与方法

#### 3.1 土壤风蚀量

在充分考虑气候条件、植被状况、地表土壤的粗糙度、土壤可蚀性、土壤结皮的情况下,利用修正的土壤风蚀方程定量评估土壤风蚀量<sup>[16]</sup>。

$$Q_{\max} = 109.8(WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K' \cdot COG)$$

$$Q_x = Q_{\max} \left[ 1 - e^{\left( \frac{x}{s} \right)^2} \right]$$

$$s = 150.71(WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K' \cdot COG)^{-0.3711} \quad (1)$$

式(1)中, $Q_x$ 表示地块长度 $x$ (距上风向的距离)处的沙通量(kg/m); $Q_{\max}$ 表示风力的最大输沙能力(kg/m); $s$ 表示关键地块长度(m); $WF$ 表示气象因子; $EF$ 表示土壤可蚀性因子; $SCF$ 表示土壤结皮因子; $K'$ 表示土壤粗糙度因子; $COG$ 表示植被因子,对农作物来讲,包括平铺、直立作物残留物和植被冠层,对其他植被而言包括枯萎植被和生长植被。

(1)气候因子

$$WF = \frac{\sum_{i=1}^N WS_2 (WS_2 - WS_1)^2 \times N_d \rho}{N \times g} \times SW \times SD \quad (2)$$

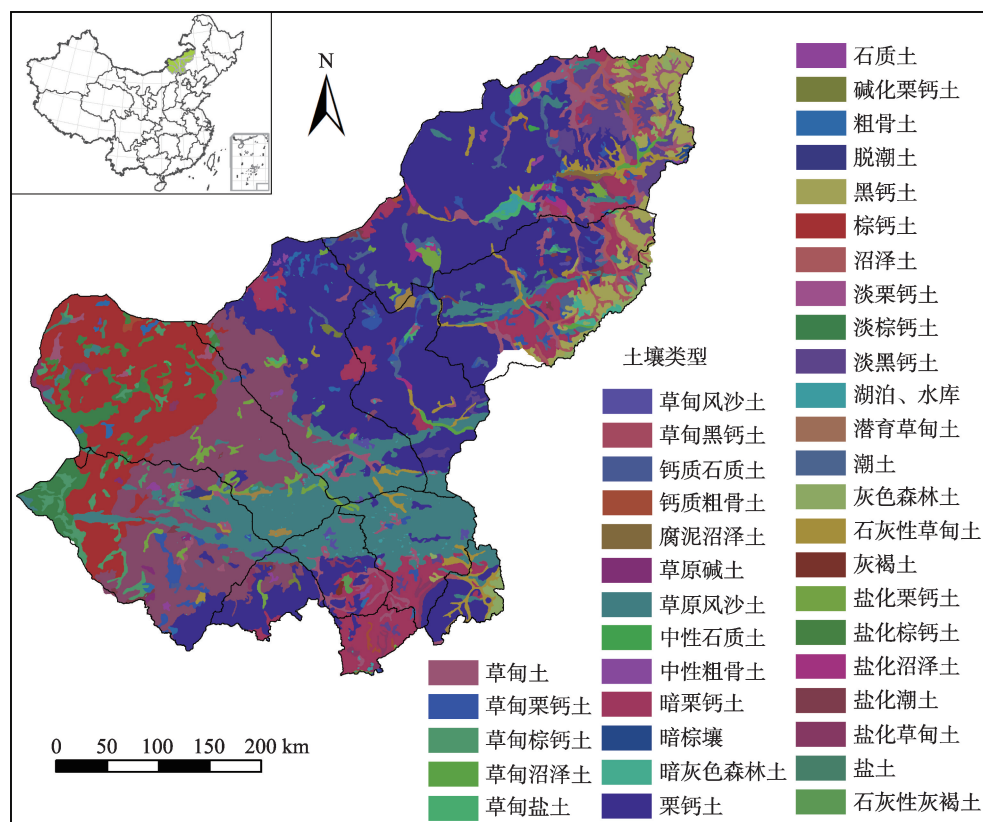


图1 锡林郭勒盟土壤类型分布图

Fig.1 Soil types in Xilingol League

式(2)中,  $WF$  为气候因子,  $\text{kg/m}$ ;  $WS_2$  为 2m 处风速,  $\text{m/s}$ ;  $WS_1$  为 2m 处临界风速(假定为  $5\text{m/s}$ );  $N$  为风速的观测次数;  $N_d$  为试验的天数,  $d$ ;  $\rho$  为空气密度,  $\text{kg/m}^3$ ;  $g$  为重力加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $SW$  为土壤湿度因子(无量纲);  $SD$  为雪覆盖因子。

气候因子中的风因子和土壤湿度因子的时间尺度均为半月, 利用从中国气象科学数据共享服务网上下载 (<http://cdc.cma.gov.cn>) 的国家台站的日均风速、降水、温度、日照时数、纬度等计算完成, 其中温度和降水选用 ANUSPLIN 插值软件进行插值<sup>[17]</sup>, 风速选用 kriging 方法进行插值<sup>[18]</sup>; 雪盖因子则利用从中国西部环境与生态科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn>) 下载的中国雪深长时间序列数据集来计算<sup>[19-20]</sup>, 空间分辨率较粗 ( $25\text{km}$ ), 但时间分辨率较细 (日), 可以由此得出每半月的雪盖因子。

### (2) 土壤可蚀性与结皮因子

土壤可蚀性因子 (EF) 和土壤结皮因子 (SCF) 由土壤砂砾、粉砂、粘土、有机质, 以及碳酸钙含量来计算<sup>[21]</sup>。土壤数据来源于中国西部环境与生态科学数据中心的 1:100 万土壤图所附的土壤属性表和空间数据。

### (3) 地表粗糙度因子

本文的土壤糙度因子  $K'$  采用 Ali Saleh<sup>[22]</sup> 提出的一种滚轴式链条法来测定, 为了准确获得土壤糙度因子, 于 2013 年 6-7 月在锡林郭勒盟测定了不同土壤属性下的农田、草地、沙地的土壤糙度, 最终确定沙地的糙度因子值为 0.96, 草地为 0.69。

### (4) 植被因子

由植被覆盖度计算而成的植被因子, 用来确定枯萎植被和生长植被对土壤风蚀的影响。本文采用照片来估算枯萎植被的覆盖度。用于计算植被盖度的遥感数据来源于美国国家航空航天局 NASA 的 EOS/MODIS 数据, 以及 AVHRR 的数据<sup>[23]</sup>。由于 NOAA/AVHRR 和 MODIS 数据由不同的卫星传感器观测得到, 为了保证 AVHRR NDVI 和 MODIS NDVI 数据具有一致、可比性, 本研究采用线性回归的方法, 对 2000 年的 AVHRR NDVI 数据进行了校正, 并对数据进行格式转换、重投影、图像的空间拼接、重采样和滤波处理。用最大合成法 (MVC) 得到半月 NDVI 数据, 并用像元二分法求取 1990-2010 年长时间序列的半月植被盖度值<sup>[24]</sup>。

## 3.2 防风固沙服务功能

当风经过地表时, 会受到来自植被的阻挡, 使得风力削弱, 风蚀量降低, 由植被作用引起的风蚀减小量定义为防风固沙服务功能量, 由裸土条件下的潜在土壤风蚀量与地表覆盖植被条件下的现实土壤风蚀量的差值表示。

$$SL_{sv} = SL_s - SL_v \quad (3)$$

式(3)中,  $SL_{sv}$  表示防风固沙服务功能量;  $SL_s$  表示裸土条件下的潜在土壤风蚀量;  $SL_v$  表示植被覆盖条件下的现实土壤风蚀量。

防风固沙服务功能量可以表示植被的实际固沙量, 但由于受风场强度等气候因素的影响, 单纯的防风固沙服务功能量并不能有效凸显生态系统本身对固沙的贡献作用大小, 为消除气候因素的影响, 进一步分析生态系统的固沙作用, 将防风固沙服务功能量与裸土条件下土壤风蚀量的比值定为防风固沙服务功能的保有率。

$$F = \frac{SL_{sv}}{SL_s} \times 100 \quad (4)$$

式(4)中,  $F$  表示防风固沙服务功能保有率;  $SL_{sv}$  表示防风固沙服务功能量;  $SL_s$  表示裸土条件下的土壤风蚀量。

## 3.3 趋势分析

防风固沙服务功能量、防风固沙服务功能保有率、风蚀季节植被的变化趋势使用最小二乘法所得的线性拟合函数。

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times v_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n v_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left[ \sum_{i=1}^n i \right]^2} \quad (5)$$

式(5)中,  $i$  为年;  $n$  为总年数;  $v_i$  为第  $i$  年的变量。

## 4 草地覆盖度对防风固沙服务功能的影响分析

### 4.1 锡林郭勒盟土壤风蚀量与防风固沙服务功能量的空间分布特征

锡林郭勒盟土壤风蚀 ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ) 以微度 [0, 200) 和轻度 [200, 2500) 侵蚀为主, 面积占整个锡林郭勒盟的 75% 以上, 主要集中在植被较好的东部、中部和南部地区; 其次为中度 [2500, 5000) 侵蚀, 面积占 16%; 侵蚀强度为中度以上的土壤风蚀面积所占比例不到 10%, 主要集中在锡盟西部的荒漠草原



区,且侵蚀面积随侵蚀强度的增加而减小。锡林郭勒盟的植被防风固沙服务功能量的分布趋势与土壤风蚀模数的分布趋势基本一致。土壤风蚀模数大的区域也是防风固沙服务功能量大的区域,主要集中在土壤湿度值较低,风蚀力作用较强的锡盟西部地区,其中,土壤类型为风沙土等区域的气候驱动力较大,土壤易蚀性大,裸土风蚀量很大,防风固

沙服务功能量也较大。

#### 4.2 防风固沙服务功能保有率的空间分布特征

防风固沙服务功能保有率的分布特征与植被盖度的分布特征基本一致(图4、5),表现为由西北到东南逐渐增加的趋势。红色区域的草地生态系统的防风固沙服务功能保有率较低,主要分布在西北部的苏尼特左旗,苏尼特右旗和二连浩特市为主

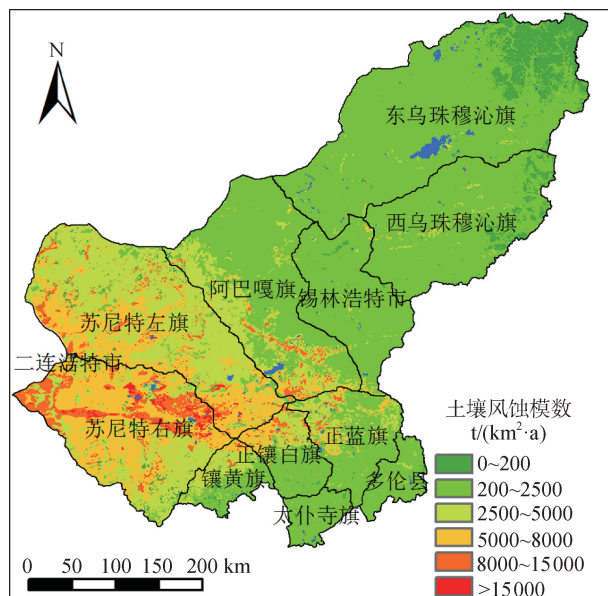


图2 1990~2010年多年平均土壤风蚀模数分布图

Fig.2 Distribution of average soil wind erosion modulus between1990 and 2010

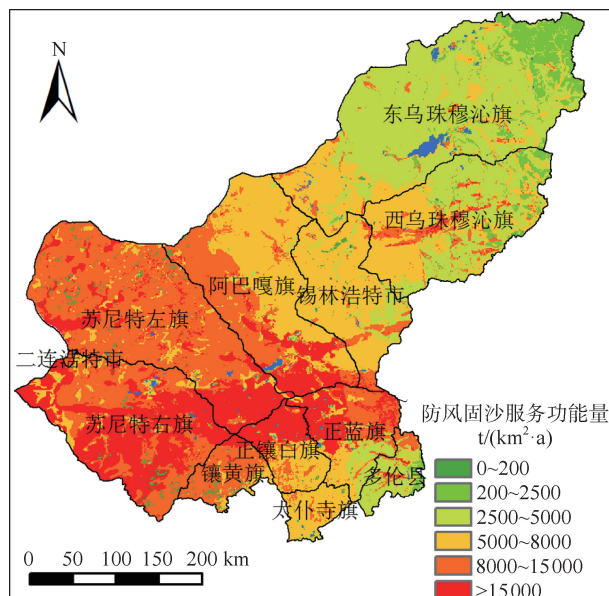


图3 1990~2010年多年平均防风固沙服务功能量分布图

Fig.3 Distribution of average soil retention between1990 and 2010

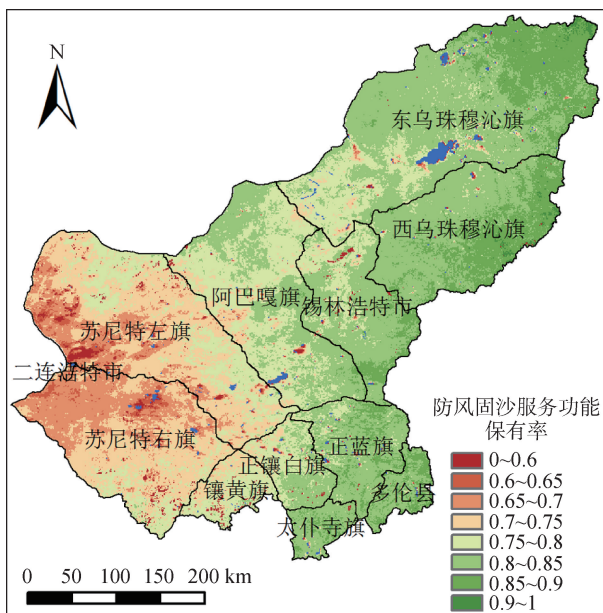


图4 1990~2010年多年平均防风固沙服务功能保有率分布特征

Fig.4 Distribution of average soil retention rate between1990 and 2010

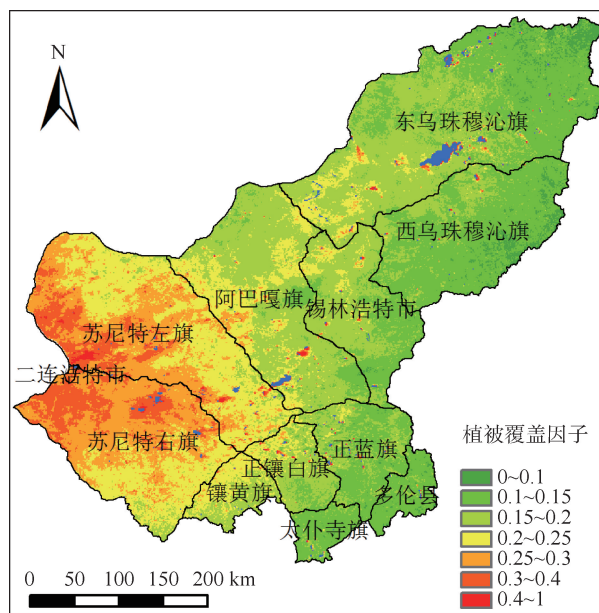


图5 1990~2010年多年平均植被覆盖因子空间分布特征

Fig.5 Distribution of average vegetation coverage factor between1990 and 2010



的植被覆盖状况较差的荒漠草原区。绿色区域的草地生态系统的防风固沙服务功能保有率较高,植被覆盖状况较好,主要分布在东乌珠穆沁旗,西乌珠穆沁旗的东部区域。浑善达克沙地的植被状况差,服务功能保有率低。

#### 4.3 防风固沙服务功能保有率的时间变化特征

锡林郭勒盟风蚀季节(春季)的植被覆盖度的变化趋势与生态系统防风固沙服务功能保有率的变化趋势基本一致,在1990–2010年间风蚀季节植被覆盖度总体没有发生显著变化,但是,在工程实施前的1990–1997年间,植被覆盖度处于上升期,使得防风固沙服务功能也有所提升,保有率从1992年的0.77升高到1998年的0.80。但由于连续发生以旱灾为主的严重自然灾害,导致锡林郭勒盟的草原生态环境日益恶化,草原退化、沙化面积不断扩大,植被覆盖度逐年降低,且幅度较大,从1998年的21.73%下降到2002年的16.65%,使得防风固沙服务功能保有率也有所下降,从1998年的0.8下降到2002年的0.76。为此,国务院于2002年3月启动实施京津风沙源治理工程,工程实施后,防风固沙服务功能较前两年有明显提升,在2006年之后提升效果明显,与风蚀季节植被覆盖度的变化趋势基本一致。此外,风蚀季节的植被盖度偏低,全区的年均风蚀季节植被盖度在0.16–0.21之间,而此时的风场强度较大,风蚀季节的植被并不能很好地发挥防风固沙服务功能(图6)。

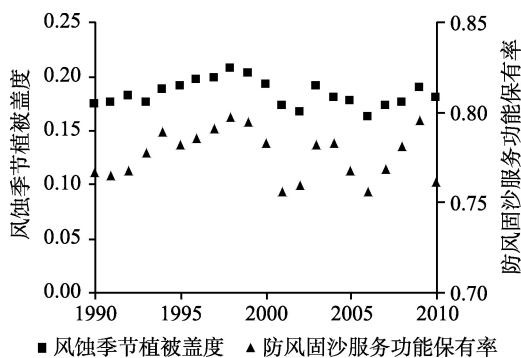


图6 防风固沙服务功能保有率和风蚀季节植被盖度的时间变化特征

Fig.6 Interannual variation of soil retention rate and vegetation coverage in wind erosion seasons

#### 4.4 草地覆盖度变化及其对防风固沙服务功能的影响

锡林郭勒盟的春季风场强度大,此时的草地盖度变化对防风固沙服务功能产生影响较大,为此本文研究春季草地的盖度变化对防风固沙服务

功能的影响,并根据春季草地覆盖度的变化趋势将草地分为7类:中度及以上减小区( $<-0.5\%$ ),轻度减小区 $[-0.5\%, -0.3\%)$ ,微度减小区 $[-0.3\%, -0.1\%)$ ,基本持衡区 $[-0.1\%, 0.1\%)$ ,微度增加区 $[0.1\%, 0.3\%)$ ,轻度增加区 $[0.3\%, 0.5\%)$ ,中度及以上增加区( $\geq 0.5\%$ )。

1990–2002年草地覆盖度减小的区域占整个锡林郭勒盟的44.71%,面积为89 749 km<sup>2</sup>,主要分布于锡林郭勒盟的西部和中部地区,以微度和轻度减小为主;覆盖度基本不变的草地占整个锡林郭勒盟的14.60%,面积为29 301 km<sup>2</sup>;覆盖度有所增加的草地占整个锡林郭勒盟的40.70%,面积为81 700 km<sup>2</sup>,主要分布于锡林郭勒盟的东部和南部地区(图7)。

在气候暖干化背景下,1990–2002年大部分覆盖度减小区域的草地在京津风沙源工程实施后(2002–2010年)覆盖度依然有所提升。苏尼特左旗中部地区、阿巴嘎旗的中南部地区及锡林郭勒盟的中北部地区的草地覆盖度由以微、轻度为主的减小转为以微度和轻度为主的增加;苏尼特右旗、苏尼特左旗东北部、阿巴嘎旗北部及东乌珠穆沁旗的西部草地覆盖度由以轻度和中度以上为主的减小转为基本持衡。2002–2010年覆盖度基本不变的草地面积占整个锡林郭勒盟草地面积的36.75%,为73 770 km<sup>2</sup>;覆盖度有所增加的草地占整个锡林郭勒盟的42.72%,面积为85 768 km<sup>2</sup>,主要分布于锡林郭勒盟的西部和中部地区;覆盖度发生减小的草地占整个锡林郭勒盟的20.58%,面积为41 316 km<sup>2</sup>,主要分布于锡林郭勒盟的东部和南部地区(图8)。

草地是遏制土壤风蚀最敏感的因素,在一定程度上起着削弱气候驱动力、保护表层土壤免受吹蚀,改变土壤物质组成,促进土壤团聚体形成等作用,从而达到减少土壤风蚀的目的。1990–2002年,锡林郭勒盟西部和中部的草地覆盖度减小区域的防风固沙服务功能保有率也处于下降趋势,且两者的相关系数在大部分区域均达到0.8以上,显著性检验 $p$ 值小于0.01;草地覆盖度增加区域的防风固沙服务功能保有率处于上升趋势,且两者的相关系数大,在部分区域均达到0.8以上,显著性检验 $p$ 值小于0.01。2002–2010年,锡林郭勒盟东部、南部和中部地区的防风固沙服务功能保有率的变化趋势与草地盖度的变化趋势一致,位于锡盟中西部的二连浩特市、苏尼特左旗、阿巴嘎旗,以及锡林浩特市的草地覆盖度增加区域的防风固沙服务功能保有

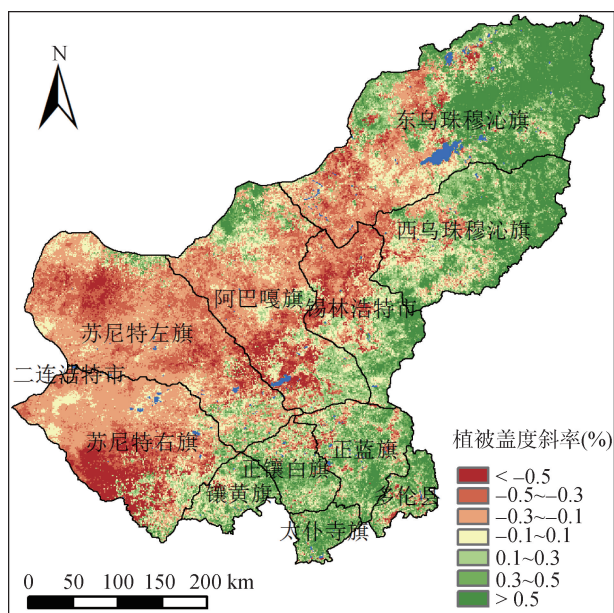


图7 1990–2002年春季植被盖度变化趋势分布图

Fig.7 The variation of spring vegetation coverage between 1990 and 2002

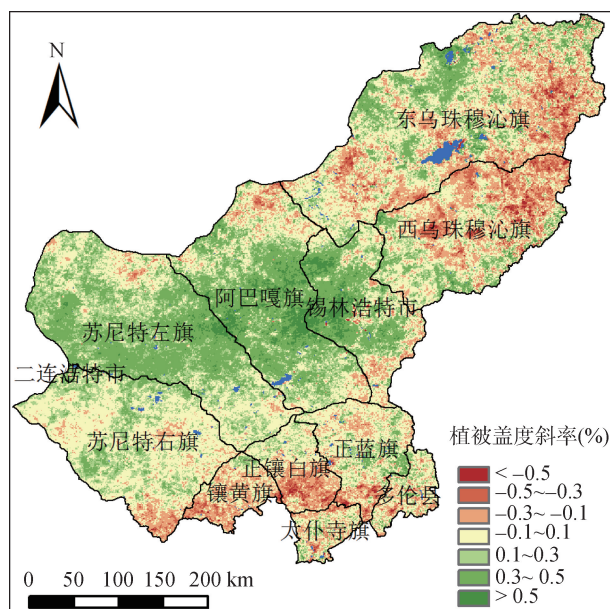


图8 2002–2010年春季植被盖度变化趋势分布图

Fig.8 The variation of spring vegetation coverage between 2002 and 2010

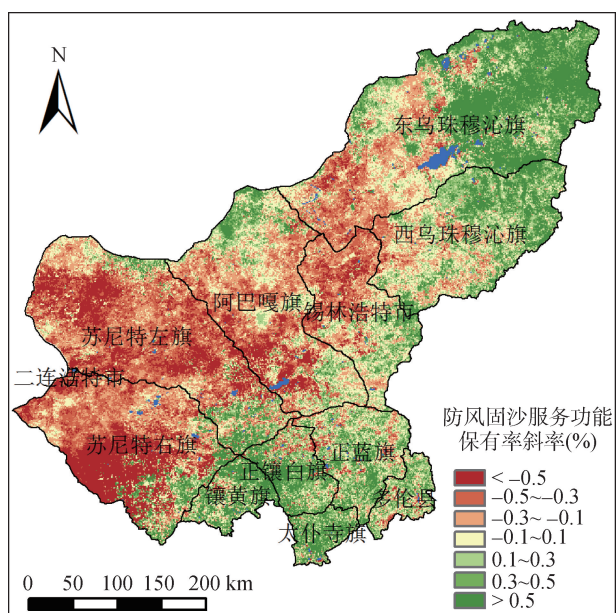


图9 1990–2002年防风固沙服务功能保有率变化趋势分布图

Fig.9 The variation of soil retention rate between 1990 and 2002

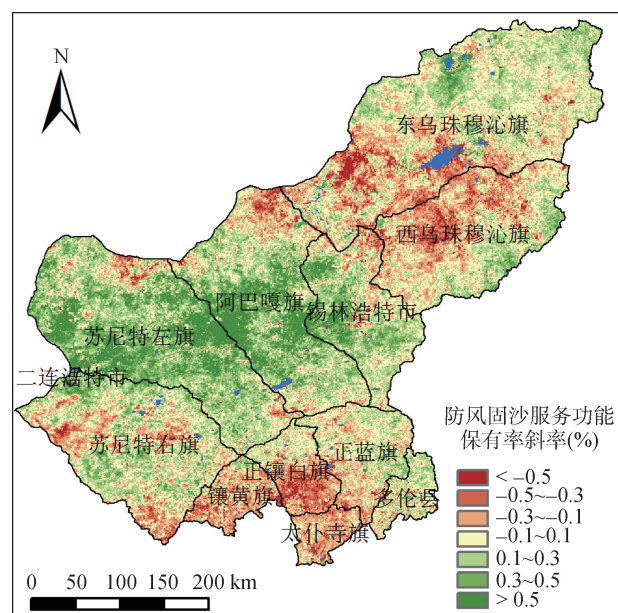


图10 2002–2010年防风固沙服务功能保有率变化趋势分布图

Fig.10 The variation of soil retention rate between 2002 and 2010

率也在提升,且相关系数达到0.6以上,显著性检验 $p$ 值小于0.05;苏尼特右旗、苏尼特左旗、阿巴嘎旗北部、锡林浩特市、镶黄旗以及正镶白旗中南部的草地覆盖度基本持衡和减小区域的防风固沙服务功能保有率也处于不变和下降趋势,两者的相关系数达到0.6以上,显著性检验 $p$ 值小于0.05;其他区域的草地退化恢复对防风固沙服务功能影响不显著,这与非风蚀季节的草地盖度对防风固沙的作用

有关(图9–12)。

## 5 结论与讨论

本文将RWEQ模型应用于我国草地,对土壤颗粒含量数据进行了粒径转换,并实测了土壤糙度数据与枯萎植被覆盖度。

此外,本文采用三次样条插值进行土壤粒径转



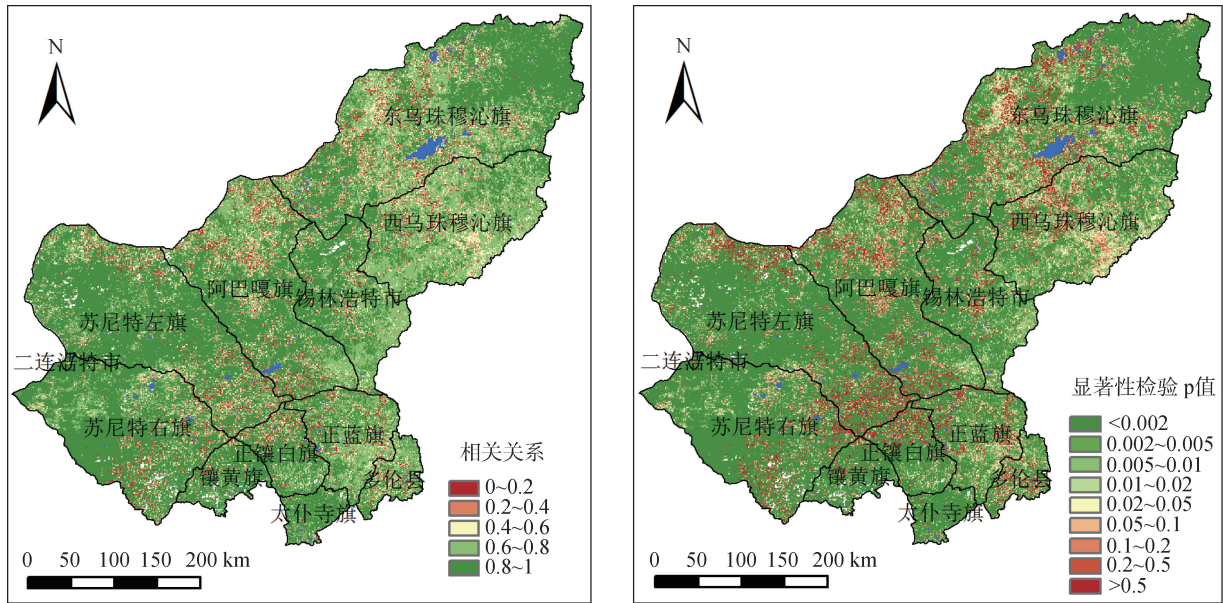


图11 1990-2002年春季植被与防风固沙服务功能保有率相关关系及其显著性分析

Fig.11 The relationship between spring vegetation and soil retention rate and its significance analysis in 1990-2002

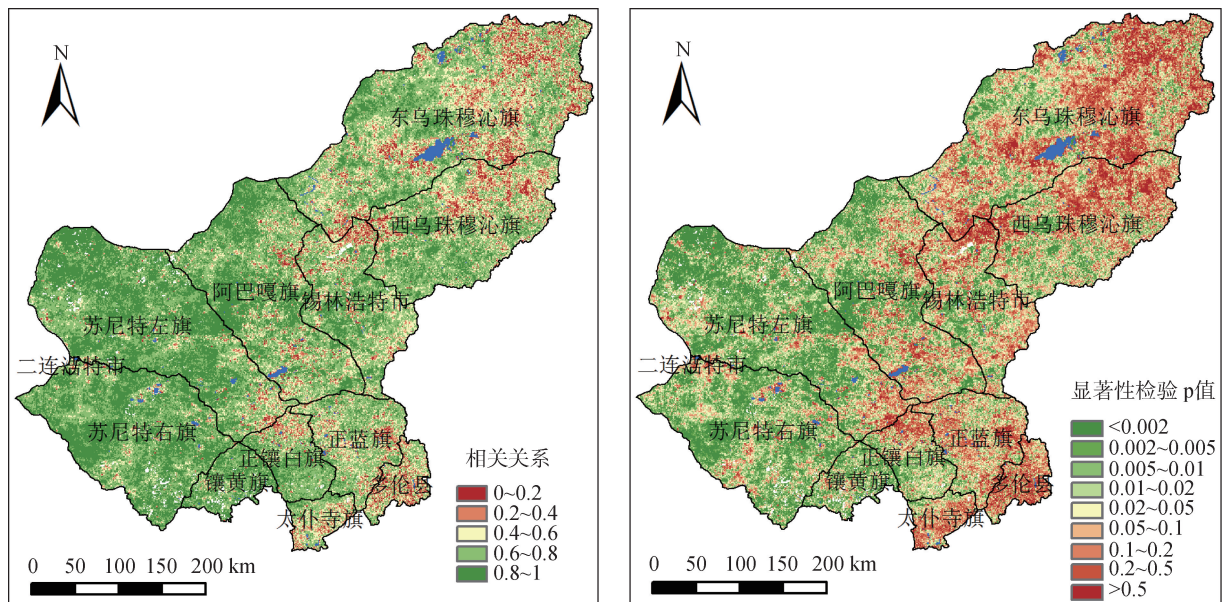


图12 2002-2010年春季植被与防风固沙服务功能保有率的相关关系及其显著性分析

Fig.12 The relationship between spring vegetation and soil retention rate and its significance analysis in 2002-2010

换。锡林郭勒盟的土壤颗粒含量数据并不完全在模型参数输入要求的范围内,当出现此情况时,选用模型中建议的土壤属性输入数据<sup>[16]</sup>。

土壤风蚀量的产生前提是风速大于临界起沙风速,而平均风速可能将瞬间的大于临界起沙的风速过滤掉,使得计算所得风蚀量较小,平均时间越长,估算的风蚀量越小<sup>[25]</sup>。虽然,REWQ中的风速输入数据时间分辨率为1 min,但很难获得分钟风速数据,本文估算风蚀量使用了日均风速,为准确

应用于模型,利用降尺度方法<sup>[26]</sup>提高日均风速时间分辨率,进一步应用于RWEQ估算风蚀量。

地形起伏度对土壤风蚀的影响,可蚀性边界的确定等还需要进一步研究。由于受风场强度等气候驱动力的影响,长势较差的草地的裸土条件下的土壤风蚀量与现实土壤风蚀量均很大,防风固沙服务功能量也相应很大,而东部地区的风场强度等的气候驱动作用较弱,裸土的风蚀量值相对很小,生长状况良好的植被的防风固沙服务功能量也很小,



为此不能直接以防风固沙服务功能量来评价生态系统的固沙作用,而消除气候波动影响的防风固沙服务功能保有率可较好地反映植被对防风固沙的贡献作用。

锡林郭勒盟土壤风蚀以微度和轻度侵蚀为主,防风固沙服务功能量分布趋势与土壤风蚀模数的分布趋势基本一致,防风固沙服务功能量大的区域,主要集中在植被状况较差的锡盟西部地区,以及浑善达克沙地。由于风场强度等气候驱动作用,防风固沙服务功能量不能直接表示生态系统本身对防风固沙服务功能的贡献率,为此利用防风固沙服务功能保有率分析生态系统对抑制土壤风蚀量的作用。防风固沙服务功能保有率的分布特征与植被盖度的分布特征基本一致,表现为由西北到东南逐渐增加的趋势。此外,锡林郭勒盟风蚀季节的植被覆盖度的变化趋势与生态系统防风固沙服务功能保有率的变化趋势基本一致。京津风沙源治理工程实施后,在气候暖干化背景下,大部分区域的草地覆盖度有所提升,微、轻度为主的草地覆盖度减小区转为以微度和轻度为主的覆盖度增加区,轻度和中度以上为主的草地覆盖度减小区转为基本持衡区。草地是遏制土壤风蚀最敏感的因素,大部分地区的防风固沙服务功能保有率的提升(下降)与风蚀季节草地覆盖度的变化呈正相关,部分区域的草地覆盖度变化对防风固沙服务功能影响不显著,这与非风蚀季节的草地盖度对防风固沙的作用有关。

风蚀季节的植被盖度较低,并不能很好地发挥防风固沙作用,使得土壤风蚀防治难度加大,解决这一问题防治风蚀的关键。

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院地学部.关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J].地球科学进展,2000,15(4):361-364.
- [2] 张国平,张增祥,刘纪远.中国土壤风力侵蚀空间格局及驱动因子分析[J].地理学报,2001,56(2):146-158.
- [3] 刘纪远,齐永青,师华定,等.蒙古高原塔里亚特-锡林郭勒样带土壤风蚀速率的<sup>137</sup>Cs示踪分析[J].科学通报,2007,52(23):2785-2791.
- [4] 周长江,陈前利,吴珊.草地退化研究刍议[J].农村经济与科技,2012,23(6):6-9.
- [5] Chepil W S, Woodruff N P, Siddoway F H, *et al.* Vegetative and non-vegetative materials to control wind and water erosion[J]. Soil Sci.Soc.Am.Proc.,1963,27(1):86-89.
- [6] Siddoway F H, Chepil W S, Armbrust D V. Effect of kind, amount, and placement of residue on wind erosion control[J]. Transactions of the ASAE,1965,8(3):327-331.
- [7] Fryrear D W. Soil cover and wind erosion[J]. Transactions of the ASAE,1985,28(3):781-784.
- [8] Van de Ven T A M, Fryrear D W, Spaan W P. Vegetation characteristics and soil loss by wind[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1989(44):347-349.
- [9] Wasson R J, Nanninga P M. Estimation wind transport sand on vegetated surface[J]. Earth Surface Processes and Landforms,1986(11):505-514.
- [10] Lee J A. The role of desert shrub size and spacing on wind profile parameters[J]. Physical Geography,1990(12):72-89.
- [11] Wolf S A, Nickling W G. The protective role of sparse vegetation in wind erosion[J]. Progress in Physical Geography, 1993,17(1):50-68.
- [12] Wolf S A, Nickling W G. Shear stress partitioning in sparsely vegetated desert canopies[J]. Earth surface processes and landforms,1996(21):607-620.
- [13] 张华.典型沙地环境不同类型植被生态服务功能评价[D].兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,2003.
- [14] 艳燕.3S技术支撑下的锡林郭勒盟草地变化研究[D].呼和浩特市:内蒙古师范大学,2011,10-12.
- [15] 孟克.围封转移对锡林郭勒盟草地生产力影响研究[D].北京:中国农业科学院,2007,8-14.
- [16] Fryrear D W, Saleh A, Bilbro J D, *et al.* Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) [M]. Washington: Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Technical Bulletin 1, Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, USDA-ARS. 1998:36-51.
- [17] 刘志红, Li L T, McVicar T R, *et al.* 专用气候数据空间插值软件ANUSPLIN及其应用[J]. 气象, 2008, 34(2):92-100.
- [18] 冯仲科. 空间数据的最佳内插法(kriging法)及其在GIS中应用的模型[J]. 测绘科学, 1995(3):22-26.
- [19] Dai L Y, Che T, Wang J, *et al.* Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China[J]. Remote Sensing of Environment, 2012(127):14-29.
- [20] 车涛. 中国雪深长时间序列数据集(1978-2012)[DB]. 兰州:中科院寒区旱区环境与工程研究所, 2011.
- [21] Fryrear D W, Krammes C A, Williamson D L, *et al.* Computing the wind erodible fraction of soils[J]. Soil water conservation, 1994, 49(2):183-188.
- [22] Saleh A. Soil roughness measurement: Chain method[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993, 48(6):527-529.
- [23] 李晓兵, 史培军. 基于NOAA/AVHRR数据的中国主要植被类型NDVI变化规律研究[J]. 植物学报, 1999, 41(3):

- 314-324.
- [24] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1998,19(8):1533-1543.
- [25] 郭中领.RWEQ模型参数修订及其在中国北方应用研究[D].北京:北京师范大学,2012,38-40.
- [26] Guo Z L, Zobeck T M, Stout J E, *et al.* The effect of wind averaging time on wind erosivity estimation[J]. *Earth Surface and Landforms*, 2012(37):797-802.

## Effects of Vegetation Coverage Change on Soil Conservation Service of Typical Steppe in Inner Mongolia

GONG Guoli<sup>1,2</sup>, LIU Jiyan<sup>1\*</sup> and SHAO Quanqin<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** China is one of the countries suffering severely from soil wind erosion in the world, especially in the typical northern steppe. Xilingol League in Inner Mongolia is a part of the typical steppe zone. Ever since Beijing-Tianjin Dust Storms Sources Control Project was established in 2002, the grassland degradation situation has been controlled. The change of vegetation coverage can affect the ecological function of windbreak and sand-fixation. In order to prepare the prevention and control measures for regional ecological restoration, to understand the practical significances of sustainable development of grassland ecosystem, and to control soil wind erosion, in this study, based on the meteorology and remote sensing data, combined with grassland degradation and recovery in Xilingol League, the Revised Wind Erosion Equation (RWEQ) was applied to quantitatively evaluate the spatio-temporal variations of soil conservation service function since the 1990s and to reveal the effects of the change of vegetation coverage on soil wind erosion control service. The results are shown as follows. The intensity of soil wind erosion was low in the most regions of Xilingol League, Especially in the eastern, central and southern regions, with higher vegetation coverage, lower wind field intensity, and abundant rainfall. The wind erosion regions with medium and higher soil wind erosion intensity were mainly distributed in the western desert steppe and Otindag Sandy Land, and the area of these regions decreased progressively as the erosion intensity increased. The distribution pattern of soil retention was similar to soil wind erosion modulus. The distribution characteristics of the soil retention rate were similar to the vegetation coverage, indicating a gradually increasing trend from northwest to southeast. Under the comprehensive influence of the warming-drying climate and the implementation of Beijing-Tianjin Dust storm Source Control Project, the vegetation coverage decreasing regions dominated by slight and micro erosion intensity turned into vegetation coverage increasing grassland dominated by slight and micro erosion intensity; the grassland having mild, medium or severe degree of vegetation coverage reduction turned into the grassland with balanced vegetation coverage. The decrease or increase of vegetation coverage can significantly intensify or mitigate the soil wind erosion. Additionally, the soil retention rate showed a significant positive relationship with the grassland vegetation coverage in the spring seasons in most regions( $r>0.6$ ,  $p<0.05$ ).

**Key words:** vegetation coverage; wind erosion; RWEQ model; soil retention; Xilingol League

\*Corresponding author: LIU Jiyan, E-mail: liujy@igsnrr.ac.cn