

京津风沙源区生态保护与建设工程对 防风固沙服务功能的影响

巩国丽, 要玲, 任丽霞, 段菲菲

(山西能源学院, 山西 榆次 030600)

摘要: [目的] 评价京津风沙源生态保护与建设工程自 2000 年启动实施近 20 a 以来的防风固沙效应, 以指导工程二期的实施。[方法] 选取植被覆盖度、风蚀量和防风固沙服务功能保有率等指标进行分析。[结果] 京津风沙源区以草地为主, 其次为林地和农田; 工程实施以来, 多年平均土壤风蚀量为 7.87×10^8 t, 以微度和轻度侵蚀为主; 一期工程实施期间的土壤风蚀量总体呈逐年减小趋势, 二期工程实施以来, 风沙源区遭受风蚀危害又逐渐加重, 尤其是沙化草原亚区, 该区风蚀模数变化趋势达到了 $8.96 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$; 就防风固沙服务功能保有率而言, 整个风沙源区均值达到了 0.82, 低值区主要分布于沙化草原亚区(0.743)和晋北山地丘陵亚区(0.752); 二期工程实施以来, 大部分区域保有率均显著提升, 这与二期工程实施期间全年及冬春季的植被覆盖度变化情况一致。[结论] 京津风沙源的风蚀防治区重点在保有率下降区域和以草地和沙地为主的沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区和科尔沁沙地亚区。

关键词: 防风固沙; RWEQ 模型; 植被盖度; 京津风沙源

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2020)05-0181-08

中图分类号: S157, K903

文献参数: 巩国丽, 要玲, 任丽霞, 等. 京津风沙源区生态保护与建设工程对防风固沙服务功能的影响 [J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 181-188. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.05.027; Gong Guoli, Yao Ling, Ren Lixia, et al. Effects of ecological protection and construction project on windbreak and sand fixation service function in Beijing-Tianjin area [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 181-188.

Effects of Ecological Protection and Construction Project on Windbreak and Sand Fixation Service Function in Beijing-Tianjin Area

Gong Guoli, Yao Ling, Ren Lixia, Duan Feifei

(Shanxi Institute of Energy, Yuci, Shanxi 030600, China)

Abstract: [Objective] Beijing-Tianjin sand control projects have been implemented for 20 years. This study intend to provide further guidance for the implementation of the second phase of the project by evaluating the effects of wind and sand fixation under the influence of the project implementation. [Methods] The vegetation coverage and wind erosion, retention rate of wind, and sand fixation service function were calculated by using a revised wind erosion equation model. [Results] The Beijing-Tianjin aeolian sand source area was dominated by grasslands, followed by forest and farmland. Since the implementation of the project, the average annual amount of soil wind erosion has been 7.87×10^8 tons, mainly with mired and mild erosion. The amount of soil wind erosion during the implementation of the first phase of the project generally decreased year by year. Since the implementation of the second phase of the project, wind erosion hazards gradually increased, especially in subregions of desertified grasslands, where the change trend of the wind erosion modulus reached $8.96 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$. The average retention rate of the wind and sand fixation service function of the entire sandstorm source area reached 0.82, and the low-value areas were mainly distributed in the desertified grassland subregion (0.743) and the hilly and mountainous area of Northern Shanxi Province

收稿日期: 2020-06-06

修回日期: 2020-06-28

资助项目: 山西能源学院院级科研资助项目“山西省矿产资源开发区生态综合探测分析与治理措施研究”(ZB-2018002); 2020 年度山西省高等学校科技创新“RWEQ 模型的改进及应用”(2020L0728); 国家“十二五”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”(2013BAC03B00)

第一作者: 巩国丽(1985—), 女(汉族), 山西省平遥县人, 博士, 讲师, 主要从事土壤侵蚀研究。Email: gongguoli00@163.com。

(0.752). Since the implementation of the second phase of the project, the retention rate in most areas increased significantly, which was consistent with the changes in vegetation coverage throughout the year as well as in winter and spring. [Conclusion] The focus of wind erosion prevention and control is on areas with a decrease in the retention rate and the desertified grassland subregions, Hunshandake sandy subregion, and Horqin sandy subregion.

Keywords: windbreak and fixation; revised wind erosion equation (RWEQ) model; vegetation coverage; Beijing-Tianjin sand source area

中国沙尘源的风沙路径主要有 3 条,其中一条为源自蒙古共和国中南部、内蒙古中东部和河北北部的北线,对京津地区构成直接威胁^[1-3]。为此国务院启动了京津风沙源治理工程,该工程区属于干旱、半干旱地区及部分半湿润地区,最易发生土壤风蚀^[4],一期工程实施时间为 2001—2010 年,累计治理面积超 $1.80 \times 10^5 \text{ km}^2$,起到了良好的防风固沙效果,改善了生态环境,减小了沙尘危害。为巩固工程实施效果,进一步减轻风沙危害,二期工程也相继实施。一期工程的实施成效以及对二期工程建设有啥建议这一问题尤为重要。目前大多数的文献都是根据生态服务功能或植被恢复情况来提出工程对生态的影响程度^[5-7],也有学者从工程在林业、农业、水利设施和生态移民等方面的任务完成情况进行了跟踪分析,并提出调整二期工程规划的政策建议^[8]。本文对京津风沙源治理工程实施以来区域植被的变化进行研究,从植被覆盖度出发,研究植被变化对防风固沙服务功能的影响,为进一步深入研究土壤抗风蚀效应提供理论基础和量化依据,达到阐明土壤风蚀机理,丰富土壤风蚀研究理论,制定区域生态恢复的防治措施,提高京津地区生态系统的防风固沙服务功能,构筑北方生态安全屏障的目的。

1 研究区概况

2000 年,中国北方发生了 50 a 来罕见的风沙危害,为此国务院紧急启动京津风沙源治理工程。京津风沙源治理工程区总面积为 $4.58 \times 10^5 \text{ km}^2$,四至范围为: $109^{\circ}30' - 119^{\circ}20' \text{ E}$, $38^{\circ}50' - 46^{\circ}40' \text{ N}$ 。涉及北京、天津、河北、山西及内蒙古等 5 省(区、市)的 75 个县(旗)。工程区由东南边缘的暖温带半湿润、温带半湿润区逐渐过渡为西北温带半干旱和干旱区。年均温为 $7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$,由东向西逐渐升高;年均降水量为 459.5 mm,由东向西逐渐减小。年均大风日数为 36.2 d,由南向北逐渐增多,且大都出现在春季。土壤类型以栗钙土、棕钙土、黑钙土、风沙土、褐土为主。为了更好地治理区域风蚀沙化等问题,根据气候及土壤特征,将该区分为 8 个治理亚区(见封 2 附图 1)。

2 数据与方法

2.1 土壤风蚀量

土壤风蚀量的获取多采用¹³⁷Cs 同位素示踪、集沙仪、风洞模拟试验等方法。此类方法多为固定时间的点状观测,不利于区域长时间序列数据的连续获取。为解决此问题,本文利用美国农业部的修正土壤风蚀方程(RWEQ)定量评估土壤风蚀量^[9]。

RWEQ 的基本控制方程:

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

当 $x = s$, $Q(s)$ 为 0.632 1 倍的最大输沙量。

为此在充分考虑气候条件、植被状况、地表土壤粗糙度、土壤可蚀性、土壤结皮的情况下,利用 RWEQ 模型定量评估土壤风蚀量^[9]。

$$Q_{\max} = 109.8(W \cdot E \cdot S \cdot K' \cdot C) \quad (2)$$

把关键地块长度 s 与风、土壤因子和植被参量之间的关系进行回归分析,得出方程:

$$s = 150.71(W \cdot E \cdot S \cdot K' \cdot C)^{-0.3711} \quad (3)$$

式中: Q_{\max} 表示最大沙通量; Q_x 表示地块长度 x 处的沙通量; s 表示关键地块长度,土壤风蚀量是在气候因子 W ,土壤可蚀性 E 和结皮因子 S ,土壤粗糙度 K' 以及植被因子 C 基础上估算而得。

风是产生风蚀的先决条件,降雪和土壤湿度增加可以有效缓解土壤风蚀。气候因子是在充分考虑风、土壤湿度、降雪等条件的基础上估算而成的。其中风因子和土壤湿度因子则利用下载(<http://cdc.cma.gov.cn>)的 2000—2015 年区域内 27 个和周边 23 个国家台站的日均风速、日照时数、温度、降水等来计算完成,其中风速数据利用了 90 m 空间分辨率的 SRTM (shuttle radar topographic mission) DEM 数据进行了高度转化。雪盖因子利用下载(<http://westdc.westgis.ac.cn>)的中国雪深长时间序列数据集来计算^[10-11]。

土壤可蚀性为土壤对风蚀破坏作用的敏感性,与颗粒粗细,土壤团聚体等有关,土壤结皮为土壤表面形成的有利于减小风蚀的微层^[12-13]。土壤可蚀性和结皮因子由不同土壤粒径百分比数据、土壤有机质及碳酸钙含量计算而得^[14-15]:

$$E = \frac{29.09 + 0.31Sa + 0.17Si + 0.33Sa/Cl - 2.59OM - 0.95CaCO_3}{100} \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{1 + 0.0066(Cl)^2 + 0.021(OM)^2} \quad (5)$$

式中:Sa 为土壤砂粒含量; Si 为土壤粉砂含量; Sa/Cl 为土壤砂粒和黏土含量比; OM 为有机质含量; CaCO₃ 为碳酸钙含量。

土壤可蚀性、结皮因子等所需的土壤特性资料(空间分辨率为 1 km)来源于中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)提供的中国土壤特征数据集,该数据集是依据 1:100 万土壤图和土壤剖面数据得到^[16],土壤碳酸钙含量来自于地球系统科学数据共享服务网(<http://www.geodata.cn>)的全国 1:400 万土壤碳酸钙含量分布图(1980s)。

草地、沙地等的土壤糙度因子采用一种滚轴式链条法于 2012 年在锡林郭勒盟进行了测定^[17]。在测定时选用节距与原文献中所用节距相同(1 cm)的链条来贴合地表,进行地表土壤粗糙度的估算,每个样点测 5 个重复样。农田的土壤糙度按照不同作物类型与耕作方式根据 RWEQ 中的建议参数来确定,其中用到的土地利用资料来源于资源环境数据云平台下载的 1 km 分辨率的栅格数据^[18]。

植被不仅可以增加地表粗糙度,提高临界起沙风速,而且可以对风蚀颗粒进行阻挡。用像元二分法^[19]对从 MODIS 官网下载的 NDVI 数据进行运算求得植被覆盖度进而获得植被因子。

土壤风蚀的基本特征依据中华人民共和国水利部于(2007)颁布的《土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)》来判断^[20]。土壤侵蚀类型分为 6 类:微度侵蚀[0~2 t/(hm²·a)],轻度侵蚀[2~25 t/(hm²·a)],中度侵蚀[25~50 t/(hm²·a)],强烈侵蚀[50~80 t/(hm²·a)],极强烈侵蚀[80~150 t/(hm²·a)],剧烈侵蚀[>150 t/(hm²·a)]。

2.2 防风固沙量

假设 RWEQ 模型计算所得的植被覆盖条件下的风蚀量为实际风蚀量 F_{sv} ,裸土条件下条件下的风

蚀量为潜在风蚀量 F_{ss} 。防风固沙量则为潜在风蚀量与实际风蚀量的差值 F_{sv} ,可以表示生态系统对土壤风蚀的实际防治量。

$$F_{sv} = F_{ss} - F_{sv} \quad (6)$$

2.3 防风固沙服务功能保有率

F_{sv} 可以表征植被对风蚀的实际减少量,但由于受风场强度等气候因素的影响,并不能单纯地表征生态系统本身对固沙的作用。为此将 F_{sv} 与 F_{ss} 的比值定为防风固沙服务功能保有率 B 。

$$B = \frac{F_{sv}}{F_{ss}} \times 100 \quad (7)$$

2.4 趋势分析

为了探求工程实施以来土壤风蚀等的变化方向和幅度,使用下式求取风蚀量、防风固沙服务功能保有率和风蚀季节植被覆盖度的变化趋势。

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times v_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n v_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (8)$$

式中: i 为年份; n 为总年数; v_i 为第 i 年的变量。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型基本特征

从表 1 可以看出,草地生态系统占地最大(2010 年面积比例大于 63%),主要分布在典型草原、沙化草原、浑善达克沙地和农牧交错带草原亚区;其次为林地(2010 年面积比例约 16%),主要分布在燕山丘陵山地和大兴安岭南亚区;再次为农田(2010 年面积比例约 14%),主要分布在农牧交错带草原、晋北山地丘陵和科尔沁沙地亚区。大兴安岭南亚区和农牧交错带草原亚区以农田和草地生态系统为主;典型草原亚区、沙化草原亚区和浑善达克沙地亚区均以草地生态系统为主;晋北山地丘陵亚区和燕山丘陵山地亚区以农田、森林和草地生态系统为主;科尔沁沙地亚区以农田、森林、草地和沙地生态系统为主。

表 1 2000—2015 年京津风沙源区各亚区不同土地利用类型面积

km²

治理分区	农田	森林	草地	湿地	聚落	沙地
I 大兴安岭南亚区	11 103	9 643	12 114	263	325	1 184
II 典型草原亚区	1 405	2 849	95 170	529	174	10 171
III 沙化草原亚区	4 295	280	88 654	519	138	8 594
IV 浑善达克沙地亚区	5 765	5 077	31 447	445	90	4 966
V 晋北山地丘陵亚区	9 603	4 542	5 697	121	550	34
VI 科尔沁沙地亚区	9 927	5 058	13 428	389	177	4 374
VII 农牧交错带草原亚区	20 155	922	10 574	361	280	1 166
VIII 燕山丘陵山地亚区	20 498	35 870	15 670	461	1 285	398

3.2 植被覆盖度基本特征及变化趋势分析

2000—2015 年,京津风沙源治理工程区的沙化草原亚区、晋北山地丘陵亚区、农牧交错带草原亚区西部

和典型草原亚区西北部的冬春季植被覆盖度较低;其次为大兴安岭南部亚区、浑善达克沙地亚区;燕山丘陵山地亚区的冬春季植被覆盖度值较高(见表 2,图 1)。

表 2 2000—2015 年京津风沙源区防风固沙服务功能保有率及植被覆盖度变化趋势统计

年份	分区	保有率(%/a)	植被覆盖度/%		
			春季	冬季	年均
2000—2010	大兴安岭南部亚区	-0.30	0.09	0.01	0.00
	典型草原亚区	-0.37	-0.04	-0.11	-0.12
	沙化草原亚区	-0.09	0.03	-0.07	-0.04
	浑善达克沙地亚区	-0.23	-0.04	-0.16	-0.13
	晋北山地丘陵亚区	-0.03	0.23	0.03	0.34
	科尔沁沙地亚区	-0.22	0.03	-0.02	0.03
	农牧交错带草原亚区	-0.29	-0.03	-0.17	-0.10
	燕山丘陵山地亚区	-0.18	0.12	-0.01	0.32
2010—2015	大兴安岭南部亚区	0.61	1.08	0.48	0.55
	典型草原亚区	0.06	0.52	-0.87	0.03
	沙化草原亚区	-0.14	0.16	0.11	-0.29
	浑善达克沙地亚区	-0.06	0.65	0.00	0.16
	晋北山地丘陵亚区	1.72	1.16	0.66	0.38
	科尔沁沙地亚区	0.24	0.73	0.62	0.42
	农牧交错带草原亚区	-0.14	0.51	0.05	-0.04
	燕山丘陵山地亚区	1.98	2.38	0.76	0.75
2000—2015	大兴安岭南部亚区	-0.02	0.23	0.13	0.15
	典型草原亚区	-0.39	0.10	-0.16	0.07
	沙化草原亚区	-0.07	0.10	0.03	-0.03
	浑善达克沙地亚区	-0.20	0.07	-0.02	0.02
	晋北山地丘陵亚区	0.83	0.31	0.21	0.32
	科尔沁沙地亚区	-0.16	0.17	0.11	0.21
	农牧交错带草原亚区	-0.10	0.07	-0.02	0.03
	燕山丘陵山地亚区	0.92	0.37	0.22	0.34

一期工程实施期间,京津风沙源区全年植被覆盖度各亚区有升有降,大兴安岭南部亚区基本不变,典型草原亚区、沙化草原亚区、农牧交错带草原亚区有所下降,晋北山地丘陵、科尔沁沙地亚区、燕山丘陵山地亚区有所上升。

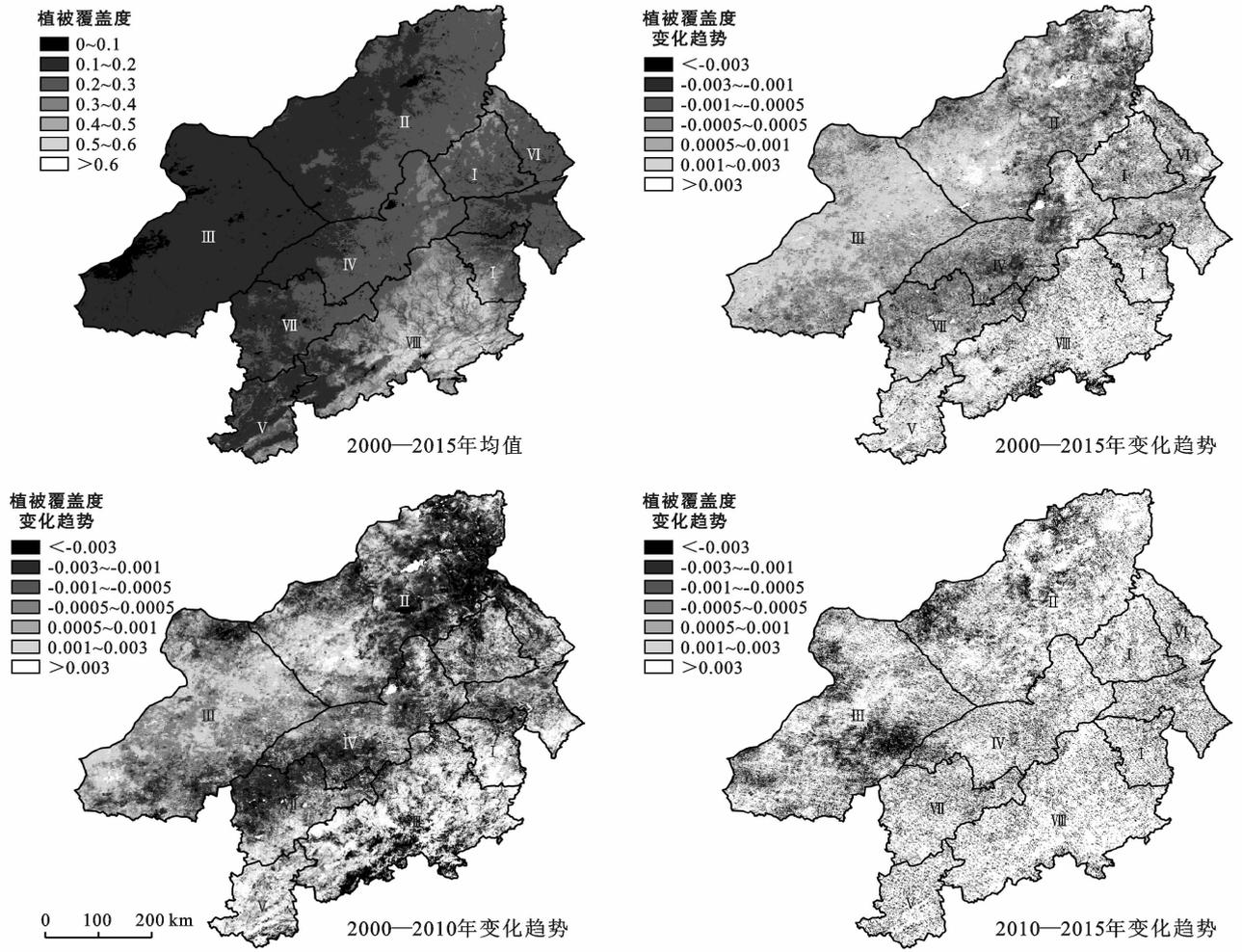
就对防风固沙服务功能影响较大的冬春季植被覆盖度而言,春季植被覆盖度除典型草原亚区、浑善达克沙地亚区和农牧交错带草原亚区有轻微下降外,其余区域均有所上升;冬季植被覆盖度除大兴安岭南部亚区和晋北山地丘陵亚区有轻微上升外,其余区域均有所下降。

二期工程实施期间,京津风沙源区全年植被覆盖度及冬春季植被覆盖度整体呈上升趋势,但典型草原亚区的冬季植被覆盖度有所下降,沙化草原亚区和农牧交错带草原亚区的全年植被覆盖度有所下降。整体而言,二期工程实施以来,京津风沙源区植被状

况有所好转,这与大部分区域防风固沙服务功能保有率二期工程实施期间普遍呈上升趋势一致(见表 2,图 1)。

3.3 土壤风蚀基本特征及变化趋势分析

如图 2 所示,土壤风蚀以微度(侵蚀面积占全区 14.02%,集中分布于燕山丘陵、大兴安岭南部亚区和晋北山地的落叶阔叶林区的南部区域)和轻度(侵蚀面积占全区 63.44%)侵蚀为主,其次为中度(面积比例为 12.52%)和强烈及以上侵蚀(面积比例为 10.03%),集中分布于植被覆盖度较低的沙化草原区以及浑善达克沙地和科尔沁沙地亚区。2000—2015 年,大兴安岭南部亚区、典型草原亚区、沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区、晋北山地丘陵亚区、科尔沁沙地亚区、农牧交错带草原亚区和燕山丘陵山地亚区的风蚀模数均值分别为 4.94, 10.88, 47.97, 13.94, 2.52, 9.30, 10.35, 3.08 t/(hm²·a)。



注:图中 I, II, III, …, 分别表示不同治理区,其具体名称见表 1。下同。

图 1 2000—2015 年京津风沙源区多年春季植被覆盖度均值及变化趋势分布特征

一期工程实施期间,京津风沙源区土壤风蚀量总体呈逐年减小趋势,土壤风蚀量基本稳定和有所减少的面积占全区面积的 64.1%。从空间分布上看,沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区和科尔沁沙地亚区土壤风蚀量下降较为明显,变化趋势分别为-3.14, -0.69, -0.55 t/(hm²·a);典型草原亚区中部、大兴安岭南部亚区北部、燕山丘陵山地亚区土壤风蚀量有所增加。二期工程实施以来,风沙源区遭受风蚀危害总体趋于加重,尤其是沙化草原亚区的风蚀越发严重,而这些区域正好是遭受土壤风蚀最为严重的草原区,导致整个工程实施期间,除浑善达克沙地亚区、科尔沁沙地亚区和大兴安岭南部亚区有较弱变好趋势外,其余区域均有所恶化(见表 3 及图 2)。

3.4 防风固沙服务功能保有率基本特征及变化趋势分析

工程实施以来,整个京津风沙源区生态系统防风固沙服务功能保有率均值为 0.82(见图 3),其中大兴安岭南部亚区、典型草原亚区、沙化草原亚区、浑善达

克沙地亚区、晋北山地丘陵亚区、科尔沁沙地亚区、农牧交错带草原亚区和燕山丘陵山地亚区的均值分别为 0.868, 0.865, 0.743, 0.860, 0.752, 0.865, 0.825, 0.818。高值区主要分布于燕山丘陵山地亚区的中部和东部区域、大兴安岭南部亚区的西南部、典型草原亚区的东部和浑善达克沙地亚区的北部,低值区主要分布于沙化草原亚区和晋北山地丘陵亚区。

表 3 2000—2015 年京津风沙源区土壤风蚀模数变化趋势

治理分区	模数变化趋势		
	2000—2010 年	2010—2015 年	2000—2015 年
大兴安岭南部亚区	0.18	-0.81	-0.01
典型草原亚区	0.11	0.04	0.07
沙化草原亚区	-3.14	8.96	0.64
浑善达克沙地亚区	-0.69	0.42	-0.15
晋北山地丘陵亚区	-0.01	0.17	0.04
科尔沁沙地亚区	-0.55	-0.84	-0.51
农牧交错带草原亚区	-0.17	0.46	0.06
燕山丘陵山地亚区	0.15	-0.14	0.20

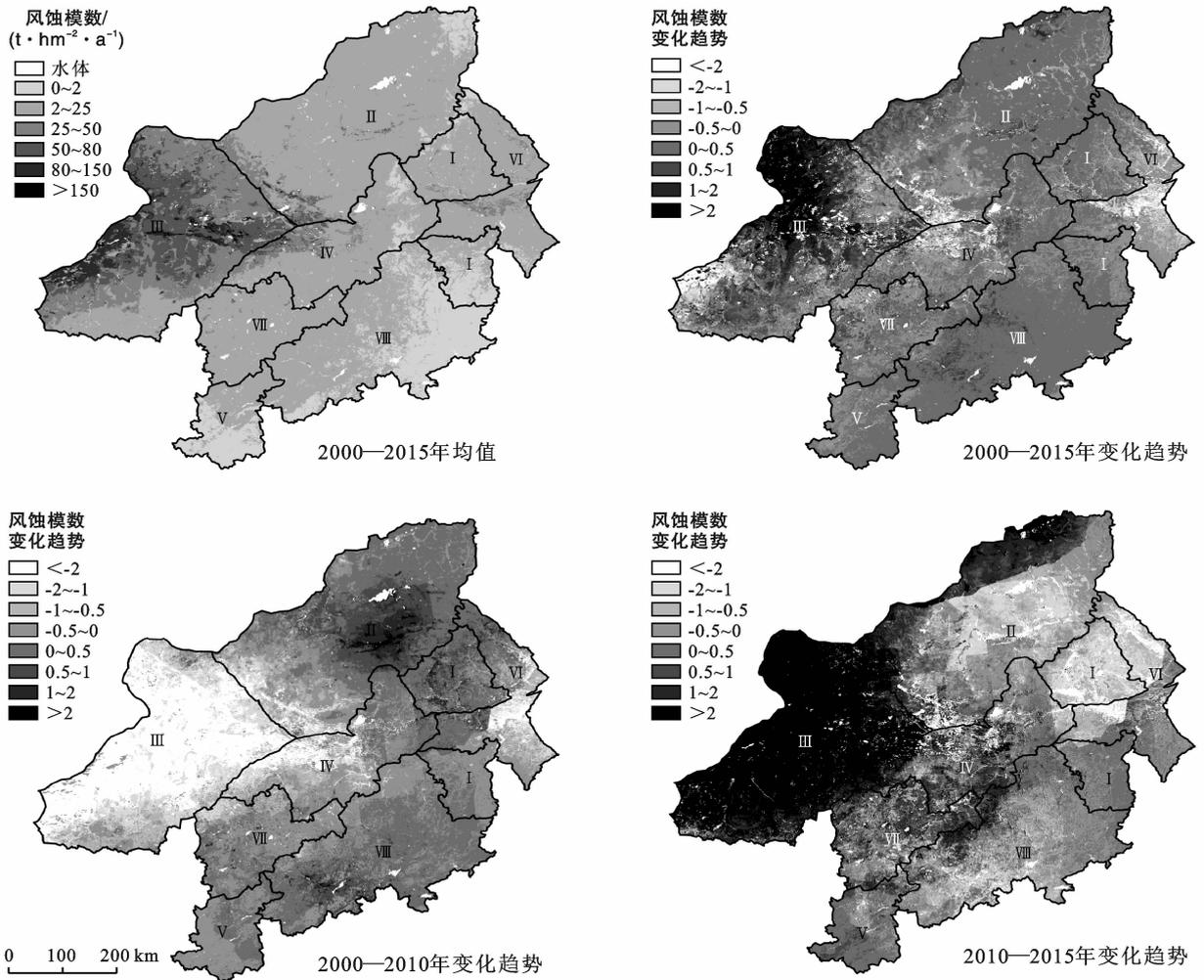


图 2 2000—2015 年京津风沙源区多年土壤风蚀模数均值及变化趋势分布

从表 2 可以看出,一期工程实施期间,京津风沙源区生态系统防风固沙服务保有率各亚区整体呈下降态势,但沙化草原亚区中部、晋北山地丘陵亚区西部等地有所上升;二期工程实施以来,大部分区域保有率均显著提升,说明生态工程措施效果明显,但沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区、农牧交错带草原亚区、典型草原亚区西部和南部区域仍有所下降。总体来看,整个工程实施期间服务功能保有率除晋北山地丘陵亚区和燕山丘陵山地亚区有所上升外,其余区域均有所下降。

3.5 植被对土壤风蚀的影响

植被生长受温度、降水、植被自身生长规律等的影响,不同时间段的植被对土壤风蚀的抑制作用不同,有研究表明冬春季植被可以明显降低农田土壤风蚀量^[21],京津风沙源区冬春季的风场强度最大,此时的植被覆盖对风蚀量的削弱作用最显著。对工程实施以来京津风沙源区冬春季植被盖度时空变化以及防风固沙服务功能保有率的时空变化进行相关性研究(见封 2,附图 2—3)。研究表明,沙化草原亚区、农牧交错带草原亚

区、晋北山地丘陵亚区、浑善达克沙地等亚区的大部分区域植被冬春季植被覆盖度与防风固沙服务功能保有率显著相关($r > 0.7, p < 0.05$)。且从保有率与冬春季植被覆盖度变化趋势图来看,冬春季植被覆盖度值呈上升趋势的区域也是防风固沙服务功能保有率呈上升趋势的区域。典型草原亚区、燕山丘陵山地亚区大部分区域的冬春季植被覆盖度与防风固沙服务功能保有率相关系数小($r < 0.7, p > 0.2$),这主要与非风蚀季节的植被盖度以及地表枯萎植被盖度的变化、农田直立残茬、林地本身枝杈对风蚀颗粒的阻挡等有关。

4 讨论与结论

(1) 京津风沙源区的草地生态系统占地最大(大于 63%),其次为林地(约 16%)和农田(约 14%)。就各亚区生态系统而言,大兴安岭南部亚区和农牧交错带草原亚区以农田和草地生态系统为主;典型草原亚区、沙化草原亚区和浑善达克沙地亚区均以草地生态系统为主;晋北山地丘陵亚区和燕山丘陵山地亚区以农田、森林和草地生态系统为主;科尔沁沙地亚区以

农田、森林、草地和沙地生态系统为主。就冬春季植被覆盖度而言,低值区分布于荒漠草原亚区、晋北山

地丘陵亚区、农牧交错带草原亚区西部和典型草原亚区西北部;高值区分布于燕山丘陵山地区。

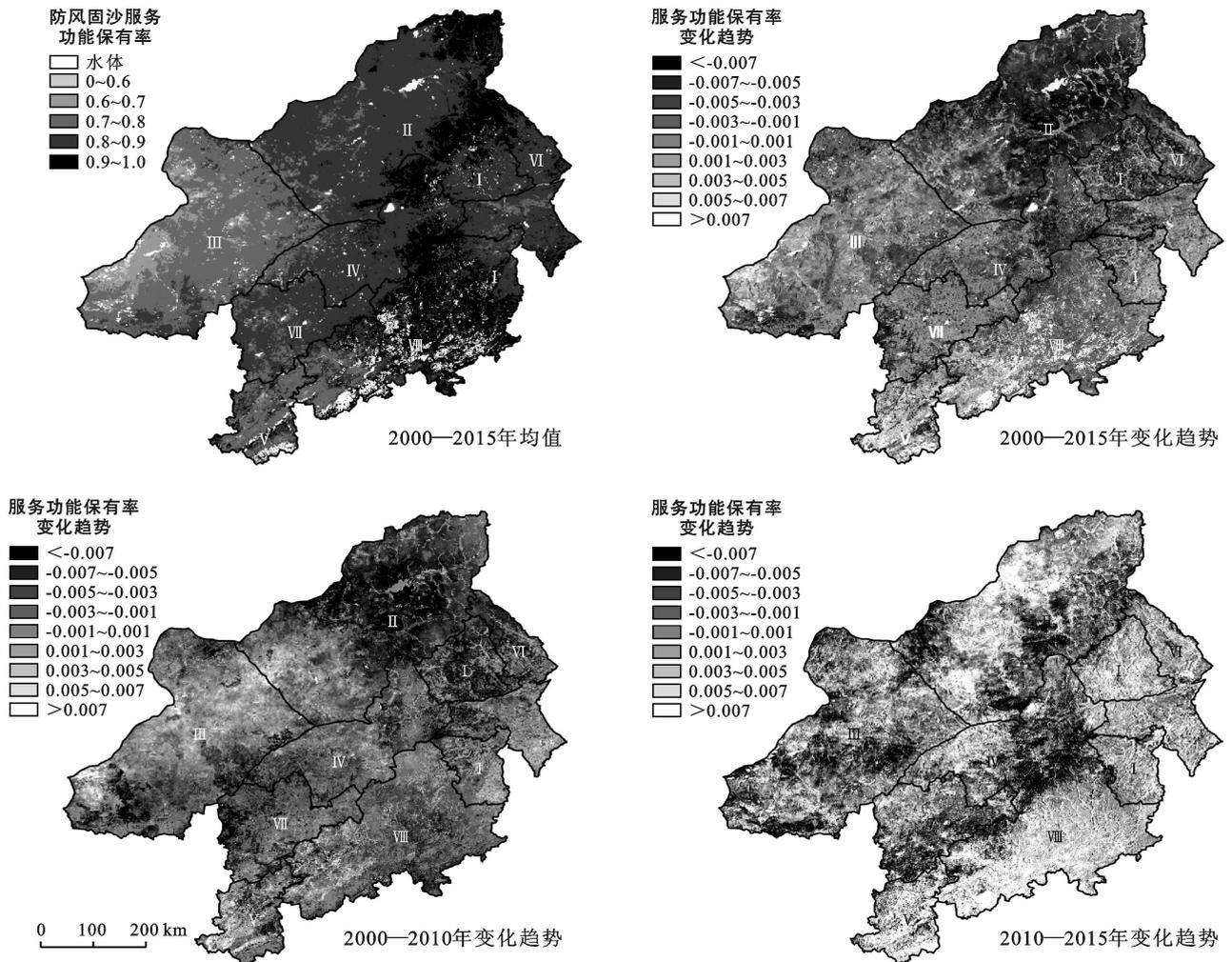


图 3 2000—2015 年京津风沙源区多年防风固沙服务功能保有率均值及变化趋势分布特征

(2) 土壤风蚀的空间分布特征揭示了风蚀防治的重点区域。工程实施以来,多年平均土壤风蚀量为 7.87 亿 t,以侵蚀面积占全区 14.02%的微度和 63.44%的轻度侵蚀为主,京津风沙源的风蚀防治区重点在以草地和沙地为主的沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区和科尔沁沙地亚区。

(3) 一期工程实施期间的土壤风蚀量总体呈逐年减小趋势。其中沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区和科尔沁沙地亚区土壤风蚀量下降较为明显,变化趋势分别为-3.14, -0.69, -0.55 t/(hm²·a);典型草原亚区中部、大兴安岭南部亚区北部、燕山丘陵山地区土壤风蚀量有所增加。二期工程实施以来,风沙源区遭受风蚀危害又逐渐加重,尤其是沙化草原亚区,该区风蚀模数变化趋势达到了 8.96 t/(hm²·a)。

(4) 就防风固沙服务功能保有率而言,整个风沙源区均值达到了 0.82,低值区主要分布于沙化草原

亚区(0.743)和晋北山地丘陵亚区(0.752)。一期工程实施期间,除沙化草原亚区中部、晋北山地丘陵亚区西部等地有所上升外,各亚区的防风固沙服务功能保有率整体呈下降态势。二期工程实施以来,大部分区域保有率均显著提升,这与二期工程实施期间,全区全年植被覆盖度及冬春季植被覆盖度整体呈上升趋势的结果一致,值得注意的是沙化草原亚区、浑善达克沙地亚区、农牧交错带草原亚区、典型草原亚区西部和南部区域有所下降,在今后工程治理中应特别注意。

(5) 沙化草原亚区、农牧交错带草原亚区、晋北山地丘陵亚区、浑善达克沙地等亚区的大部分区域植被冬春季植被覆盖度与防风固沙服务功能保有率显著相关,其余区域的冬春季植被覆盖度与防风固沙服务功能保有率相关性小,这主要与非风蚀季节的植被覆盖度及枯萎植被覆盖度的变化、农田直立残茬、林地

枝杈本身对风蚀颗粒的阻挡等情况有关。

(6) 总体而言,京津区植被状况较差区域是遭受风蚀力最强的区域,而东部的典型草原区等草地植被覆盖度相对较大区域受风蚀力的影响相对较小。此外冬春季节植被覆盖度低,不能很好发挥防治土壤风蚀的作用,使得土壤流失率较高。如何提高好风速较大时期的植被生长较差区域的植被覆盖度是防治风蚀的关键。

(7) 文中风蚀量的估算是基于 RWEQ 模型,而该模型是基于美国农田区域试验形成的经验方程,其中很多因子都需要进行本地化调整,如风速的高度值的改变,土地粗糙度的区域尺度的考量,土壤结皮和可蚀性因子计算时的土壤粒度分级转换等问题都是需要进一步深入探究的。

[参 考 文 献]

- [1] 钱正安,蔡英,刘景涛,等. 中蒙地区沙尘暴研究的若干进展[J]. 地球物理学报,2006,49(1):83-92.
- [2] 邱新法,曾燕,缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报,2001,56(3):316-322.
- [3] 叶笃正,丑纪范,刘纪远,等. 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.
- [4] 董光荣,李长治,金炯,等. 关于土壤风蚀风洞模拟试验的某些结果[J]. 科学通报,1987,32(4):297-301.
- [5] 石莎,邹学勇,张春来,等. 京津风沙源治理工程区植被恢复效果调查[J]. 中国水土保持科学,2009,7(2):86-92.
- [6] 覃云斌,信忠保,易扬,等. 京津风沙源治理工程区沙尘暴时空变化及其与植被恢复关系[J]. 农业工程学报,2012,28(24):196-204.
- [7] 高新中,姚继广,董宽虎,等. 山西省京津风沙源治理工程草地生态系统服务价值评估[J]. 草原与草坪,2010,30(5):30-35,40.
- [8] 王亚明. 京津风沙源治理工程效益分析[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2010,9(3):81-85.
- [9] Fryrear D W, Saleh A, Bilbro J D, et al. Revised Wind Erosion Equation(RWEQ)[R]. Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Technical Bulletin 1: Southern Plains Area Cropping Systems Research Laboratory, USDA-ARS. 1998.
- [10] 车涛,戴礼云. 中国雪深长时间序列数据集[DB/OL]. 中国西部环境与生态科学数据中心. 2011, doi:10.3972/westdc.001.2014. db.
- [11] Dai Liyun, Che Tao, Wang Jian, 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.
- [12] Belnap J. The world at your feet: Desert biological soil crusts [J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2003,1(4):181-189.
- [13] 赵哈林,郭轶瑞,周瑞莲,等. 植被覆盖对科尔沁沙地土壤生物结皮及其下层土壤理化特性的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(7):1657-1663.
- [14] Hagen L J, Skidmore E L, Saleh A. Wind erosion: Prediction of aggregate abrasion coefficients [J]. Transactions of the ASAE, 1992,35(6):1847-1850.
- [15] Fryrear D W, Krammes C, Williamson D L, et al. Computing the wind erodible fraction of soils [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1994,49(2):183-188.
- [16] Shangguan Wei, Dai Yongjiu, Liu Baoyuan, et al. A soil particle-size distribution dataset for regional land and climate modelling in China [J]. Geoderma, 2012, 171/172:85-91.
- [17] Saleh A. Soil roughness measurement: Chain method [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1993,48(6):527-529.
- [18] 徐新良,刘纪远,张树文,等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)[DB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统,2018.
- [19] 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.
- [20] 中华人民共和国水利部. SL 190-2007 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [21] 李琳,杜玲,王俊英,等. 京郊农田不同植被的土壤风蚀模数比较[J]. 中国农学通报,2011,27(3):457-461.