

DOI: 10.5846/stxb201806161346

黄麟, 吴丹, 孙朝阳. 基于规划目标的京津风沙源治理区生态保护与修复效应. 生态学报, 2020, 40(6): 1923-1932.

Huang L., Wu D., Sun C. Y. The ecological effects of ecosystem conservation and restoration in Beijing-Tianjin sand source regions based on the planning objects. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(6): 1923-1932.

基于规划目标的京津风沙源治理区生态保护与修复效应

黄 麟^{1,*}, 吴 丹², 孙朝阳³

1 中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

2 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042

3 国家气候中心, 北京 100081

摘要:为改善和优化京津及周边地区生态环境状况,减轻风沙危害,2003 年启动实施了京津风沙源治理工程。基于工程规划目标评估了京津风沙源治理区生态保护与修复效应,结果表明:(1)草地和林地作为京津风沙源治理区绿色生态屏障的主要组成,分别占治理区面积的 57.3%和 9.7%,而风沙策源地的耕地和沙地分别占 17.2%和 6.4%。(2)2003—2017 年,京津风沙源治理区草地、耕地、沙地面积减少,而林地和其他类型面积增加。治理区植被覆盖度平均提高了 2.3%,其中林地提高了 4.3%,草地提高了 2.4%。(3)沙尘天气发生的春季,治理区土壤风蚀量减少了 54%。在防风固沙服务总量的贡献中,草地和沙地贡献了 71%。因此,草地和沙地生态系统的植被恢复,对治理区生态系统防风固沙服务的提高发挥了最为重要的作用。(4)除治理区植被有所恢复外,由于气候整体变暖,近 15 年风场强度有所减弱,特别是沙尘天气易发生的春季风场强度减弱近 45%,也是影响京津风沙源治理区风蚀量下降的一个重要原因。

关键词:京津风沙源治理区;工程规划目标;生态保护与修复;生态效应

The ecological effects of ecosystem conservation and restoration in Beijing-Tianjin sand source regions based on the planning objects

HUANG Lin^{1,*}, WU Dan², SUN Chaoyang³

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China

3 National Climate Center, Beijing 100081, China

Abstract: In order to improve and optimize the ecological environment in Beijing, Tianjin and surrounding areas, and mitigate the hazards of wind and sand, the Beijing-Tianjin Sand Sources Control Project (BTSSCP) was launched in 2003. The ecological effects of the BTSSCP were assessed according to the planning objects. The results showed that (1) the main parts of green ecological barrier in Beijing-Tianjin sand source regions were grassland and forest that accounted for 57.3% and 9.7% of the total area respectively, followed by cropland and sandy land that accounted for 17.2% and 6.4% of the total area respectively. (2) In 2003—2017, the area of grassland and cropland in the project region of first-stage BTSSCP decreased, while the area of forest and sand land increased. The area of the grassland, sand land and cropland in the project region of second-stage BTSSCP increased and the forest area decreased. In the past 15 years, the average vegetation

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务专项(GYZX190204);国家重点研发计划项目(2017YFC0506500);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC005)

收稿日期:2018-06-16; 修订日期:2019-09-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanglin@igsrr.ac.cn

coverage in the project region of BTSSCP increased by 2.3%, and the natural vegetation with increased coverage accounted for about 63% of the total area, of which the vegetation coverage of forest increased by 4.2% and the grassland increased by 2.4%. However, the average vegetation coverage in desert steppe did not increase. (3) From 2003 to 2017, the amount of soil wind erosion in the project region of BTSSCP reduced by 54%. In the total amount of soil erosion, the dust materials that can be transported remotely and directly had a direct impact on Beijing, Tianjin and Hebei were also reduced. (4) Among the factors that control soil wind erosion, the dominant grassland and sandy land contributed to 71%, which played an important role in improving the sand fixation service of the vegetation in sand source regions. In addition, the intensity of wind in spring reduced by 45% was also an important factor affecting the decrease of wind erosion in the project region of BTSSCP.

Key Words: Beijing-Tianjin sand source regions; planning objects; ecosystem conservation and restoration; ecological effects

21 世纪初,连续多次扬沙和沙尘暴天气横扫我国华北和部分华东地区^[1-3]。沙尘策源地位于蒙古共和国中南部、内蒙古中东部和河北北部^[4-6],这些区域广布草地、沙地和旱作耕地,气候变化与人类活动导致植被退化、沙丘活化,为沙尘暴大面积发生提供了丰富的沙尘来源^[7]。春季地面回暖解冻、地表裸露,多细沙尘土,大风时在本地及风过境地带形成沙尘天气^[8]。风速变化直接影响沙尘暴,冬季地面风速越大,来年春季沙尘暴就越多,反之沙尘暴就越少^[9]。此外,沙尘天气的发生很大程度上受大风和降水的时空配合^[10]。近十几年,全球变暖导致亚洲大陆中纬度地区冬季风明显减弱^[11-13],加之各类生态工程,植被有所恢复,风沙天气和沙尘暴天气减少,沙尘天气的强度和频度显著下降^[14-17]。

为减轻京津地区风沙危害,2003 年启动了京津风沙源治理一期工程,投入资金 412 亿元^[1]。针对京津风沙源治理区生态环境变化开展了大量研究,分析了区域植被覆盖变化^[18-21]、沙化土地动态^[22-23]、沙尘天气变化^[13]、植被覆盖变化对生态系统防风固沙服务^[24]以及沙尘天气的影响^[16]等。聚焦京津风沙源治理工程,分析了工程对于土壤风蚀控制^[25]、土壤有机碳^[26]的影响,评价京津风沙源治理工程的生态成效^[27-29]或综合效益^[30-33]。研究表明,工程区沙化土地得到一定程度的治理与修复^[34-36],流动沙丘得到初步治理^[37],生态环境总体有所好转^[38]。人工植被恢复速度快、短期成效显现,然而,构建的人工植物群落结构较为单一、稳定性较差,生态系统的发展和维持不具可持续性^[36,39],人工固沙植被大面积退化,局部地区生态恶化趋势没有从根本上扭转,造林作为半干旱区草地退化和沙化治理的恢复手段具有局限性^[40-41]。

京津风沙源治理区作为我国北方地区重要的生态屏障、国家生态修复环境改善示范区^[42]和京津冀协同生态环境治理关键地带,凸显了京津风沙源治理工程的重要性^[34,39]。为了巩固一期工程成效,进一步改善京津地区生态环境,解决沙尘策源区风沙危害严重、人工固沙植被退化等问题,2013 年启动了京津风沙源治理二期工程,规划投入 878 亿元。近十几年来,京津风沙源治理工程是否取得了预期的生态效果?京津风沙源治理区生态状况如何变化?哪些措施产生了正面作用,哪些不利于工程规划目标的实现?本研究结合站点观测、遥感监测、模型模拟等方法,分析京津风沙源治理区宏观生态状况变化,揭示气候变化、植被覆盖、土壤风蚀、沙尘天气等相互作用关系,进一步基于工程规划目标评估京津风沙源治理工程的生态保护与修复效应。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

京津风沙源治理一期工程(2003—2012 年)涉及北京、天津、河北、山西及内蒙古等 5 个省域的 75 个县域^[1],工程区总人口 1958 万人,总面积 45.8 万 km²,沙化土地面积 10.1 万 km²。一期工程分为 4 个治理区,即北部草原沙化治理区、浑善达克沙地治理区、农牧交错地带沙化土地治理区和燕山丘陵山地水源保护区。二期工程(2013—2022 年)包括一期工程范围,并增加陕西省部分县域,共涉及 6 个省域的 138 个县域^[38]

(图 1)。

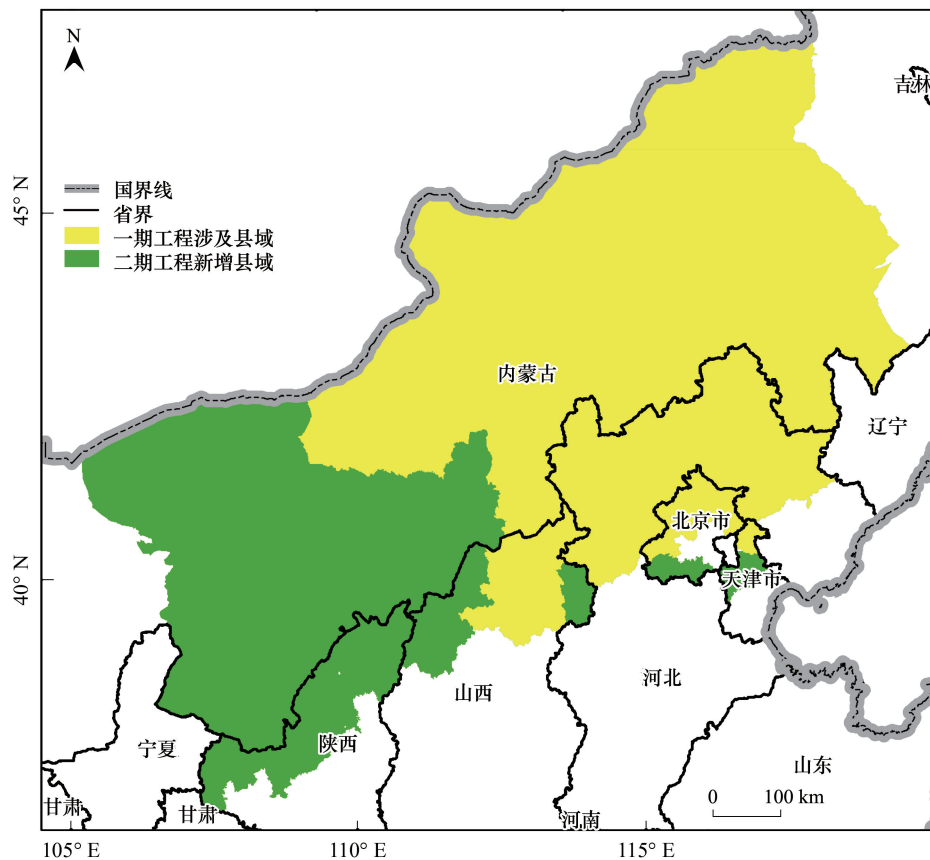


图 1 京津风沙源治理一期与二期县域分布范围

Fig.1 The project regions of the first-stage and second-stage of the Beijing-Tianjin San Sources Control Project (BTSSCP)

1.2 数据收集与处理

风速与沙尘天气数据:从国家气象科学数据共享服务平台 (<http://data.cma.cn/>) 收集并整理了 2003—2017 年京津风沙源治理区范围内 143 个气象台站的风速与沙尘、扬尘、浮尘天气日数。分析每个站点的春季起沙风速 ($>5.0 \text{ m/s}$)^[43]、年沙尘日数、年扬尘日数、年浮尘日数的变化趋势,划分为极明显减少、明显减少、轻微减少、无明显变化、轻微增加、明显增加、极明显增加等 7 种变化程度。

土地利用与土地覆盖变化数据:基于刘纪远等^[44]土地利用与土地覆被变化解译方法,以陆地卫星 TM/ETM+遥感图像为信息源,结合中巴资源卫星、环境小卫星图像数据,经图像精校正和拉伸处理后,通过人工解译获得治理区 2003 年、2012 年和 2017 年土地利用类型及 2003—2012 年、2012—2017 年土地利用变化数据,土地利用类型分为林地、草地、耕地、沙地和其他。利用野外调查资料和高分 GF—1、GF—2 号图像进行统一质量检查和精度验证,类型综合评价精度达到 90%以上。

植被覆盖度数据:收集 2003—2017 年治理区 1 km 空间分辨率、16 天时间分辨率的 MODIS 归一化植被指数 (NDVI) 数据,通过格式转换、重投影、拼接、重采样和 S—G 滤波处理,采用最大合成法 (MVC) 得到连续时间序列的半月 NDVI 数据。根据像元二分模型理论,认为一个像元的 NDVI 值是由绿色植被部分贡献的信息与无植被覆盖部分贡献的信息组合而成,利用 NDVI 计算半月尺度的植被覆盖度,根据如下公式估算得到:

$$F_c = \frac{\text{NDVI} - \text{NDVI}_{\text{soil}}}{\text{NDVI}_{\text{veg}} - \text{NDVI}_{\text{soil}}} \quad (1)$$

式中, F_c 为植被覆盖度, NDVI_{veg} 是纯植被像元的 NDVI 值, $\text{NDVI}_{\text{soil}}$ 是完全无植被覆盖像元的 NDVI 值, 依据 1

km 栅格百分比土地利用类型数据确定纯植被和完全无植被覆盖的像元。

采用最小二乘法分析植被覆盖度的年际变化趋势,计算公式为:

$$\text{slo} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times F_c) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n F_c}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中, i 为 2003 年到 2017 年的年序号, 某栅格像元的趋势线是这个像点的 F_c 值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势, slo 即这条趋势线的斜率, 斜率为正, 说明此像元植被覆盖度在该时间段的变化趋势是增加, 反之则是减少。

1.3 土壤风蚀模数估算方法

土壤风蚀模型是开展大时空尺度土壤风蚀研究的必要手段, 如 WEQ、RWEQ、WEPS、TEAM、风蚀预报与风蚀量统计模型等。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, 本文利用修正的土壤风蚀方程(RWEQ)估算区域尺度土壤风蚀模数^[45-46]。

$$M_w = \frac{Q_x}{x} = Q_{\max} [1 - e^{-(\frac{x}{s})^2}] \quad (3)$$

$$Q_{\max} = 109.8(WF \cdot EF \cdot SCF \cdot K' \cdot COG) \quad (4)$$

式中, M_w 表示土壤风蚀模数, x 表示地块长度, Q_x 表示 x 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 表示土壤可蚀性成分因子, SCF 表示土壤结皮因子, K' 表示土壤糙度因子, COG 表示植被因子。 K' 反映地表对风速减弱作用及对风沙活动的影响, 即粗糙度反映了地表抗风蚀的能力, 其大小取决于地表粗糙元的性质, 通过文献参数整理得到草地、沙地、农田等类型的土壤糙度因子值。COG 为枯萎植被、直立残茬和生长植被覆盖的土壤流失比率的乘积。

$$WF = \frac{\sum_{i=1}^N WS_2 (WS_2 - WS_i)^2 \times N_a \rho}{N \times g} \times SW \times SD \quad (5)$$

式中, WS_2 为 2 m 处风速(m/s), WS_i 为 2 m 处临界风速, 风速数据源自中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn>), 采用克里金插值为空间分布数据; N 为风速观测次数(一般 500 次), 由于日均风速数据达不到 500 次, 且滤掉了瞬间高风速, 使得估算结果偏小, 为此采用郭中领等^[47]的降尺度方法提高风速数据时间分辨率; N_a 为试验天数; ρ 为空气密度(kg/m^3), g 为重力加速度(m/s^2); SW 为无量纲的土壤湿度因子; SD 为雪覆盖因子, 即计算时段内积雪覆盖深度大于 25.4 mm 的概率, 利用中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)的雪深长时间序列数据集来计算。

$$EF = \frac{29.09 + 0.31 S_a + 0.17 S_i + 0.33 \frac{S_a}{C_l} - 2.59 OM - 0.95 \text{CaCO}_3}{100} \quad (6)$$

$$\text{SCF} = \frac{1}{1 + 0.0066 (C_l)^2 + 0.021 (OM)^2} \quad (7)$$

式中, S_a 为土壤砂粒含量, S_i 为土壤粉砂含量, C_l 为土壤粘土含量, OM 为有机质含量, CaCO_3 为碳酸钙含量。土壤颗粒含量和有机质含量数据源于中国西部环境与生态科学数据中心(<http://westdc.westgis.ac.cn>)的中国土壤特征数据集, 土壤碳酸钙含量源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。估算结果利用已发表基于地面测定的京津风沙源治理区范围内风蚀模数^[48-50]进行验证。

利用生态系统防风固沙服务量(S_w)衡量生态系统防风固沙能力, 即极度退化状态与实际地表覆盖条件土壤风蚀量的差值^[51]。

$$S_w = S_s - S_r \quad (8)$$

式中, S_r 表示极度退化状态下的潜在土壤风蚀量, S_s 表示实际地表覆盖条件下的现实土壤风蚀量。

1.4 基于工程规划目标的生态保护与修复效应评估

京津风沙源治理一期工程主要目标^[1]:通过保护现有植被、封沙育林、飞播造林、人工造林、退耕还林、草地治理等生物措施和小流域综合治理等工程措施,使工程区可治理的沙化土地得到基本治理,生态环境明显好转,风沙天气和沙尘暴天气明显减少,从总体上遏制沙化土地的扩展趋势,使京津周围生态环境得到明显改善。

二期工程第一阶段目标^[39]:到 2017 年,工程区林草植被总量进一步增加,沙化土地治理取得明显成效,有效控制沙化土地扩展趋势,生态环境有所改善,京津地区沙尘天气进一步减少;基本实现草畜平衡;工程区农牧民收入稳步增加、生产生活条件明显改善。

针对京津风沙源治理工程的规划目标,本文将通过回答如下几个问题,从土地利用类型、植被覆盖度、防风固沙量、风沙和沙尘天气、气候与人类活动驱动因素等方面,分别评估过去 10 年(2003—2012 年)一期工程和近 5 年(2013—2017 年)二期工程第一阶段的生态保护与修复效应:(1)京津及华北北部地区的绿色生态屏障是否初步构成?(2)京津风沙源治理工程是否有效地遏制了沙化土地的扩展趋势?(3)绿色生态屏障是否发挥防风固沙效应?(4)风沙天气和沙尘天气是否明显减少?

2 结果与分析

2.1 京津风沙源治理区绿色生态屏障建设效果

京津风沙源治理区绿色生态屏障主要由草地和林地构成,其中典型草原与荒漠草原是该区的主体生态系统。2017 年,草地面积占治理区各类生态系统总面积的 57.3%,林地占 9.7%。近 15 年间,京津风沙源治理一期工程区范围内,由于工程造林措施的实施,草地面积减少 1305.4 km²,而林地面积增加 275.3 km²。京津风沙源治理二期工程新增区域内,草地减少 1488.7 km²,而林地增加 1246.1 km²(表 1)。由耕地转为林地主要发生在京津风沙源治理区东部和南部,特别是山西、河北的北部及其与内蒙古交界的农牧交错带;由草地转林地多发生在京津风沙源治理区东南部,特别是山西、山西与内蒙古交界区域(图 2)。

表 1 2003—2017 年京津风沙源治理区土地利用类型面积统计/km²

Table 1 The areas of land use type in the region of BTSSCP from 2003 to 2017

空间范围 Spatial scope	土地覆盖类型 Land cover type	年份 Year		
		2003	2012	2017
一期工程 The first-stage of BTSSCP	林地	53441.33	53635.42	53654.75
	草地	280945.83	280444.10	279741.10
	耕地	75429.64	75334.84	75285.76
	沙地	14776.33	14734.30	14528.43
	其他	31985.87	32431.58	33371.12
二期工程新增区域 New additions in the second-stage of BTSSCP	林地	13732.47	14410.79	14638.54
	草地	124607.84	124088.80	123826.10
	耕地	46754.86	46050.24	45608.30
	沙地	32618.97	32114.45	30896.61
	其他	30399.39	31450.25	33145.69

BTSSCP: 京津风沙源治理项目

2003—2017 年,京津风沙源治理区植被覆盖度平均提高了 2.3%。林地平均植被覆盖度由 84.2% 提高到 88.5%,其中,原有林地的植被覆盖度由 85.3% 提高到 89.6%,新增林地的植被覆盖度由 70.3% 提高到 74.1%,分别比工程实施前提高了 4.3% 和 3.8%。草地平均植被覆盖度由 44.7% 提高到 46.1%。林地和草地植被覆盖度分别比工程实施前提高了 4.3% 和 1.4%。就治理区而言,全区植被状况趋好(图 2b),约占总面积 63% 的植

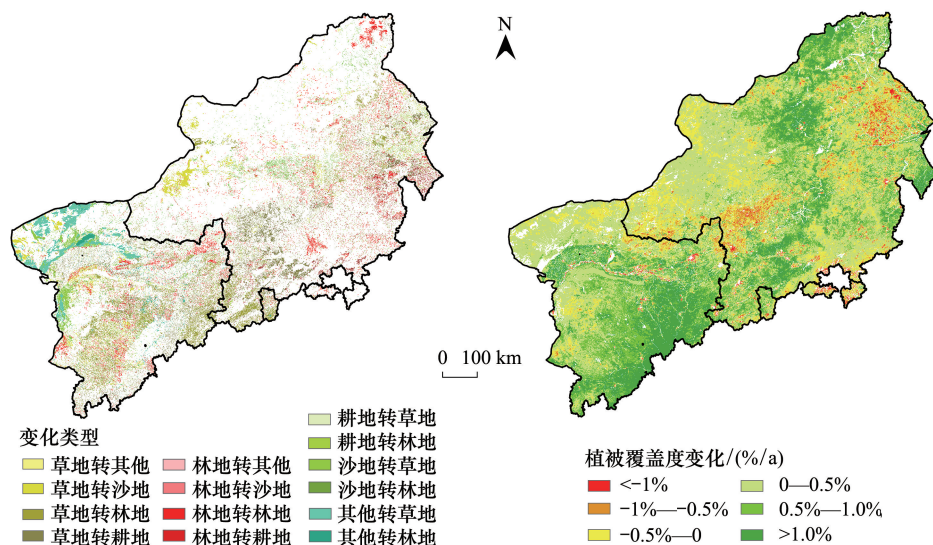


图2 2003—2017年京津风沙源治理区土地利用类型变化与植被覆盖度变化时空分布

Fig.2 The variations of land use change and vegetation coverage from 2003 to 2017 in the region of BTSSCP

被覆盖度提高。近15年,从植被覆盖度年际变化趋势来看(表2),大部分区域有所上升,特别是转草地和转林地区域。近5年,农牧交错地带沙化土地治理区、转草地区域、耕地的植被覆盖度则相对地有所下降。

表2 2003—2017年京津风沙源治理区植被覆盖度变化/(%/a)

Table 2 The trends of vegetation coverage from 2003 to 2017 in the region of BTSSCP

统计范围 Statistical scope	2003—2012 年	2012—2017 年
北部草原沙化治理区 Grassland desertification control area in northern region	2.21	0.14
浑善达克沙地治理区 Hunshandake Sandy Land Control Area	0.63	0.57
农牧交错地带沙化土地治理区 Desert land control area in Agro-pastoral Ecotone	1.67	-0.40
燕山丘陵山地水源保护区 Yanshan Hilly and Mountainous Water Resources Reserve	0.76	0.13
林地 Forest	0.58	0.26
草地 Grassland	1.83	0.29
耕地 Cropland	1.15	-0.09
沙地 Sandy land	1.79	0.39
转林地 From others to forest	1.99	0.66
转草地 From others to grassland	4.34	-0.13
二期新增工程区 New additions in the second-stage BTSSCP	3.01	0.31

2.2 京津风沙源治理区沙化土地治理效果

京津风沙源治理区沙化土地面积4.5万 km^2 ,占治理区各类生态系统总面积的6.4%,其中一期工程区沙地面积1.5万 km^2 ,占比3.2%,二期工程新增区域的沙地面积3.1万 km^2 ,占比12.5%。沙化土地主要分布在科尔沁沙地、浑善达克沙地、毛乌素沙地、乌兰布和沙漠、库布齐沙漠等(图3)。2003—2012年,京津风沙源治理一期工程区范围内,沙地面积减少了42.03 km^2 。2012—2017年,京津风沙源治理一期工程区范围内沙地面积减少了205.9 km^2 ,二期工程新增区域内沙地面积减少1217.8 km^2 (表1),说明治理区沙化土地面积的扩展趋势有所遏制。沙地转草地主要发生在内蒙古阴山山麓、乌兰布和沙漠、浑善达克沙地(图3)。

2.3 京津风沙源治理区绿色生态屏障的防风固沙效应

2003—2017年,在沙尘天气发生的春季,京津风沙源治理区的土壤风蚀量由5.21亿t减少至2.56亿t,减少幅度为54%。近十几年,京津风沙源治理一期工程区的土壤风蚀模数在大部分区域皆有所减少(表3),绿

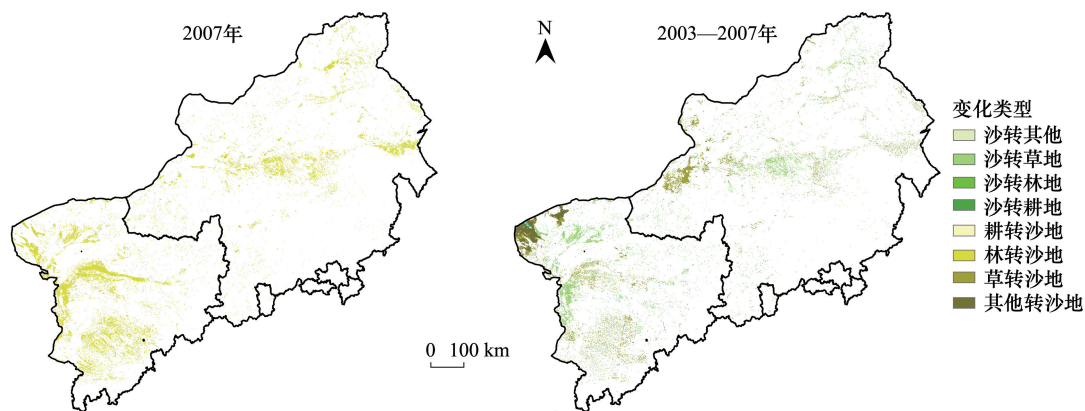


图3 京津风沙源治理区 2017 年沙化土地与 2003—2017 年沙化土地变化时空分布

Fig.3 The distributions of sandy land in 2017 and it's variations from 2003 to 2017 in the region of BTSSCP

色生态屏障发挥了防风固沙作用,特别是北部草原沙化治理区和浑善达克沙地治理区;二期工程区的土壤风蚀模数以减少为主,特别是阴山山麓与乌兰布和沙漠(图4)。在防风固沙服务总量的贡献中,草地、沙地和转草地的土壤风蚀模数减少速率最大(表3),由草地和沙地生态系统贡献 71%,耕地贡献 8.8%,林地 6.6%,其他生态系统 0.8%。就各类生态系统防风固沙服务而言,占主体地位的草地和沙地生态系统植被恢复,对京津风沙源治理区生态系统防风固沙服务的提高发挥了最为重要的作用。综上所述,观测分析数据说明京津风沙源治理一期工程初步遏制了风沙危害加剧的趋势。除治理区植被有所恢复外,由于气候变暖,一期工程 10 年间,京津风沙源治理区的风场强度有所减弱。其中,沙尘天气易发生的春季,风场强度减弱近 45%(图4),也是影响京津风沙源区风蚀量下降的一个重要原因。

表3 2003—2017 年京津风沙源治理区土壤风蚀模数变化统计/($\text{t hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$)

Table 3 The statistical trends of wind erosion modulus from 2003 to 2017 in the project region of BTSSCP

统计范围 Statistical scope	2003—2012 年	2012—2017 年
北部草原沙化治理区 Grassland desertification control area in northern region	-2.06	-1.45
浑善达克沙地治理区 Hunshandake Sandy Land Control Area	-0.65	-2.64
农牧交错地带沙化土地治理区 Desert land control area in Agro-pastoral Ecotone	-0.18	-1.16
燕山丘陵山地水源保护区 Yanshan Hilly and Mountainous Water Resources Reserve	0.29	-1.18
林地 Forest	0.18	-1.12
草地 Grassland	-1.55	-1.88
耕地 Cropland	-0.16	-1.18
沙地 Sandy land	-2.82	-2.56
转林地 From others to forest	-0.39	-2.02
转草地 From others to grassland	-1.30	-0.62
二期新增工程区 New additions in the second-stage BTSSCP	-3.46	-3.11

2.4 京津风沙源治理区风沙天气和沙尘天气变化

2003—2017 年,京津风沙源治理区约 33%站点的风速减小,60%站点的风速明显增大,其余无明显变化(图4)。近 15 年,沙尘天气日数呈现自西向东、自北向南逐渐递减的规律,其中,内蒙古部分地区为沙尘天气发生频率最高区域,而京津地区则表现为极明显或明显减少(图5)。扬尘天气日数呈现出极明显或明显减少趋势,特别是内蒙古部分地区,京津地区则表现为无明显变化(图5)。浮尘天气日数亦呈现自西向东、自北向南逐渐递减的规律,其中,内蒙古部分地区和北京表现为明显增加或极明显增加,而河北大部分地区则表现为极明显或明显减少(图5)。

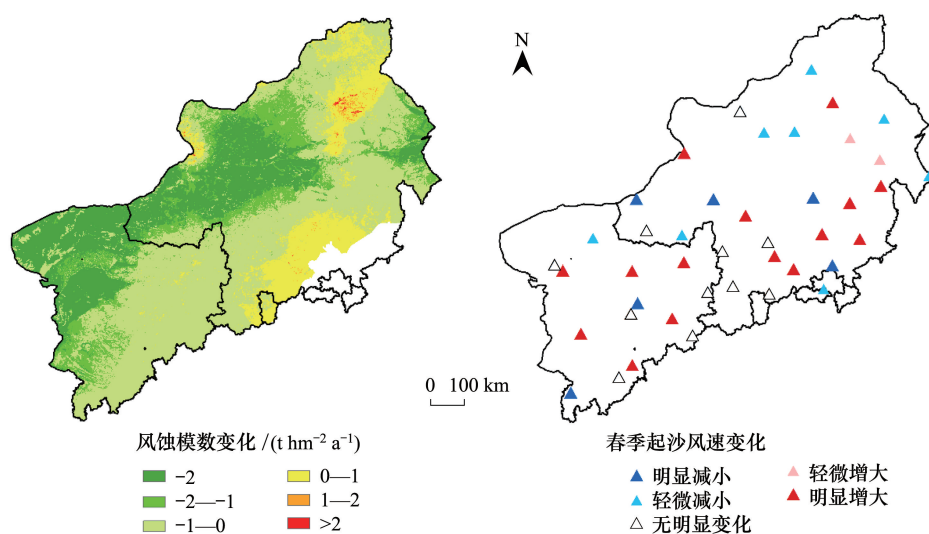


图4 2003—2017年京津风沙源治理区土壤风蚀模数与风速变化的空间分布

Fig.4 The spatial variation trend of wind erosion modulus and wind speed from 2003 to 2017 in the project region of BTSSCP

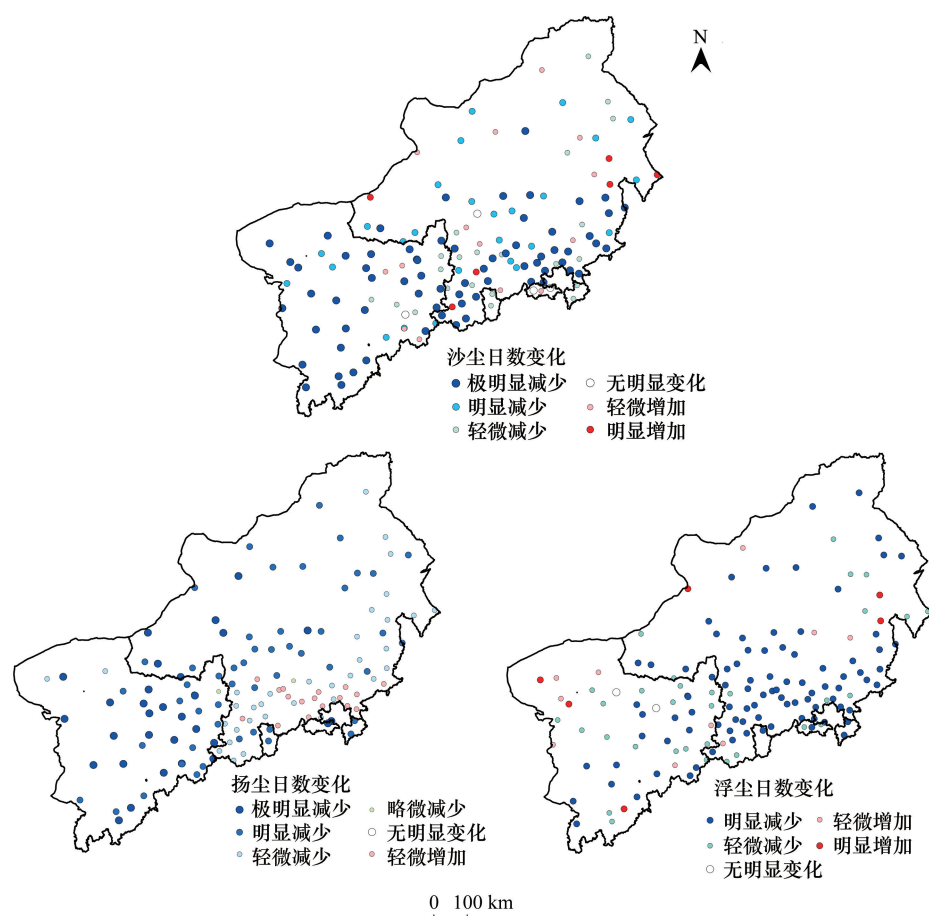


图5 2003—2017年京津风沙源治理区沙尘、扬尘、浮尘天气日数变化

Fig.5 The variation trends of dust, raise dust, floating dust weather frequencies from 2003 to 2017 in the project region of BTSSCP

3 讨论与结论

3.1 结论

本文对京津风沙源治理区生态系统变化的监测结果显示:

(1)过去 15 年,京津风沙源治理一期工程区和二期新增工程区的草地、耕地、沙地面积减少,而林地和其他类型面积增加。治理区植被覆盖度平均提高了 2.3%,其中,林地植被覆盖度比工程实施前提高了 4.3%,草地植被覆盖度提高了 2.4%。沙尘天气发生的春季,京津风沙源治理区的土壤风蚀量减少了 54%。上述结果说明,京津风沙源治理一期工程初步遏制了风沙危害加剧的趋势。

(2)在防风固沙服务总量的贡献中,草地、沙地和转草地的土壤风蚀模数减少速率最大,其中草地和沙地贡献了 71%。因此,占主体地位的草地生态系统植被恢复,对京津风沙源区生态系统防风固沙服务的提高发挥了最为重要的作用。

(3)除治理区植被有所恢复外,由于气候整体变暖,近 15 年京津风沙源治理区的风场强度有所减弱。其中,沙尘天气易发生的春季,风场强度减弱近 45%,也是影响京津风沙源治理区风蚀量下降的一个重要原因。

3.2 讨论

京津风沙源治理一期工程采取了行之有效的生态保护与修复措施,加之区域气候变化的影响,风沙危害加剧的趋势得到了初步遏制。但是,该区域仍有大面积退化和沙化草地有待持续治理,浑善达克等沙地生态系统仍十分脆弱,初步形成的有效治理模式有待坚持和推广,治理区生态保护与社会经济发展的矛盾较为突出。因此,二期工程滚动实施过程中需要注意,对京津冀地区构成重大威胁的沙尘灾害源于可以治理的退化草地和耕地,以内蒙古中部和河北省北部的退化草地、撂荒耕地及早作耕地为主,而不是难以治理的天然沙漠和戈壁。因此,退化草原和沙地是京津风沙源治理工程的主体,工程经费投入的侧重点应该转移到现有草地和沙地的保护与恢复上来,坚持“保护优先、自然恢复为主”的原则,有效地抑制影响京津地区的主要沙尘来源,形成京津冀地区的绿色生态屏障。

参考文献(References):

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 京津风沙源治理工程规划(2001-2010 年). 北京: 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2001.
- [2] 庄国顺, 郭敬华, 袁蕙, 赵承易. 2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响及其对全球环境的影响. 科学通报, 2001, 46(3): 191-197.
- [3] 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. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322.
- [4] 周自江, 章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954—2002 年). 科学通报, 2003, 48(11): 1224-1228.
- [5] 杨艳, 王杰, 田明中, 陈兴强. 中国沙尘暴分布规律及研究方法分析. 中国沙漠, 2012, 32(2): 465-472.
- [6] 王式功, 王金艳, 周自江, 尚可政, 杨德保, 赵宗锁. 中国沙尘天气的区域特征. 地理学报, 2003, 58(2): 193-200.
- [7] Tan M H. Exploring the relationship between vegetation and dust-storm intensity (DSI) in China. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(4): 387-396.
- [8] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 张增祥, 王一谋, 周自江, 鞠洪波, 黄笠. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策. 地理学报, 2000, 67(5): 513-521.
- [9] 陈亿, 尚可政, 王式功, 李艳. 21 世纪初中国北方沙尘天气特征及其与地面风速和植被的关系研究. 中国沙漠, 2012, 32(6): 1702-1709.
- [10] 张加琼, 张春来, 刘永刚, 周娜. 京津风沙源区沙尘天气与风力、降水的时空相关性. 中国沙漠, 2010, 30(6): 1278-1284.
- [11] 江滢, 罗勇, 赵宗慈. 全球气候模式对未来中国风速变化预估. 大气科学, 2010, 34(2): 323-336.
- [12] 贺圣平. 20 世纪 80 年代中期以来东亚冬季风年际变率的减弱及可能成因. 科学通报, 2013, 58(8): 609-616.
- [13] 丁一汇, 柳艳菊, 梁苏洁, 马晓青, 张颖娟, 司东, 梁萍, 宋亚芳, 张锦. 东亚冬季风的年代际变化及其与全球气候变化的可能联系. 气象学报, 2014, 72(5): 835-852.
- [14] Tan M H, Li X B. Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station

- data. *Land Use Policy*, 2015, 43: 42-47.
- [15] 顾卫, 蔡雪鹏, 谢锋, 李彰俊, 吴学宏. 植被覆盖与沙尘暴日数分布关系的探讨——以内蒙古中西部地区为例. *地球科学进展*, 2002, 17(2): 273-277.
- [16] 覃云斌, 信忠保, 易扬, 杨梦婵. 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. *农业工程学报*, 2012, 28(24): 196-204.
- [17] 徐兴奎, 陈红. 中国西部地区地表植被覆盖和积雪覆盖变化对沙尘天气的影响. *科学通报*, 2006, 51(6): 707-714.
- [18] 滑永春. 基于 MODIS 京津风沙源工程治理区植被动态监测[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [19] 石莎, 邹学勇, 张春来, 苏格日乐. 京津风沙源治理工程区植被恢复效果调查. *中国水土保持科学*, 2009, 7(2): 86-92.
- [20] 严恩萍, 林辉, 党永峰, 夏朝宗. 2000-2012 年京津风沙源治理区植被覆盖时空演变特征. *生态学报*, 2014, 34(17): 5007-5020.
- [21] 杨艳丽, 孙艳玲, 王中良, 康杰. 京津风沙源治理区植被变化的可持续性分析. *天津师范大学学报: 自然科学版*, 2016, 36(2): 47-53.
- [22] 阿如早. 近 50a 京津风沙源区土地沙漠化时空变化规律及其发展趋势研究——以内蒙古多伦县为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2007.
- [23] 晁雪林. 京津风沙源治理区近 10 年沙化土地动态变化研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.
- [24] 巩国丽, 刘纪远, 邵全琴. 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. *地球信息科学学报*, 2014, 16(3): 426-434.
- [25] 于宝勒, 吴文俊, 赵学军, 乌恩图, 蔡丽艳, 杨福俊. 内蒙古京津风沙源治理工程土壤风蚀控制效益研究. *干旱区研究*, 2016, 33(6): 1278-1286.
- [26] 张良侠, 樊江文, 张文彦, 唐风沛. 京津风沙源治理工程对草地土壤有机碳库的影响——以内蒙古锡林郭勒盟为例. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 374-380.
- [27] 吴丹, 巩国丽, 邵全琴, 曹巍. 京津风沙源治理工程生态效应评估. *干旱区资源与环境*, 2016, 30(11): 117-123.
- [28] 燕楠. 北京市京津风沙源治理工程生态效益评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [29] 王立群, 乔娜, 康瑞斌. 京津风沙源治理工程生态影响及评估研究进展和展望. *林业经济*, 2013, (6): 10-17.
- [30] 郭磊. 京津风沙源治理工程综合效益评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [31] 高尚玉. 京津风沙源治理工程效益(第二版). 北京: 科学出版社, 2012.
- [32] 刘拓, 李忠平. 京津风沙源治理工程十年建设成效分析. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [33] 王亚明. 京津风沙源治理工程效益分析. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2010, 9(3): 81-85.
- [34] 卢琦, 吴波, 包英爽. 京津风沙源治理工程二期规划思路研究. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [35] 吴波, 李晓松, 刘文, 杨晓晖, 卢琦. 京津风沙源工程区沙漠化防治区划与治理对策研究. *林业科学*, 2006, 42(10): 65-70.
- [36] 贾晓红, 吴波, 余新晓, 蒋德明, 白永飞, 哈斯, 李晓松, 庞营军. 京津冀风沙源区沙化土地治理关键技术研究示范. *生态学报*, 2016, 36(22): 7040-7044.
- [37] 蒋高明, 刘美珍, 牛书丽, 李永庚, 彭羽, 李刚, 苏本营. 浑善达克沙地 10 年生态恢复回顾与展望. *科技导报*, 2011, 29(25): 19-25.
- [38] 刘洛, 徐新良, 段建南, 刘晓芳. 京津风沙源区生态环境时空变化的遥感监测分析. *地球信息科学学报*, 2011, 13(6): 819-824.
- [39] 中华人民共和国国务院. 京津风沙源治理二期工程规划(2013—2022 年). 北京: 中华人民共和国国务院, 2013.
- [40] 刘美珍, 蒋高明, 李永庚, 高雷明, 于顺利, 牛书丽, 李凌浩. 浑善达克退化沙地草地生态恢复试验研究. *生态学报*, 2003, 23(12): 2719-2727.
- [41] 胡亚林, 曾德慧, 范志平, 艾桂艳. 半干旱区沙质退化草地造林对土壤质量的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(11): 2391-2397.
- [42] 中共中央, 中华人民共和国国务院. 京津冀协同发展规划纲要. 北京: 中共中央, 中华人民共和国国务院, 2015.
- [43] 贺晶, 吴新宏, 杨婷婷, 李鹏. 基于临界起沙风速的草地防风固沙功能研究. *中国草地学报*, 2013, 35(5): 103-107.
- [44] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.
- [45] 巩国丽. 中国北方土壤风力侵蚀研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [46] Fryrear D W, Bilbro J D, Saleh A, Schomberg H, Stout J E, Zobeck T M. RWEQ: improved wind erosion technology. *Journal of Soil and Water Conservation Ankeny*, 2000, 55(2): 183-189.
- [47] 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.
- [48] 刘纪远, 齐永青, 师华定, 庄大方, 胡云锋. 蒙古高原塔里亚特-锡林郭勒样带土壤风蚀速率的¹³⁷Cs 示踪分析. *科学通报*, 2007, 52(23): 2785-2791.
- [49] 王云超, 张立峰, 侯大山, 高运青. 河北坝上农牧交错区不同下垫面土壤风蚀特征研究. *中国农学通报*, 2006, 22(8): 565-568.
- [50] 郑兵, 吕伟, 姚洪林, 海拉苏, 张连根, 孟令东. 浑善达克沙地南缘风蚀量的研究. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(6): 112-117.
- [51] 黄麟, 祝萍, 肖桐, 曹巍, 巩国丽. 近 35 年三北防护林体系建设工程的防风固沙效应. *地理科学*, 2018, 38(4): 600-609.