

道路和居民点对锡林郭勒草地风蚀参数的影响

罗建勇, 张卓栋, 孙传龙, 刘宏远

(北京师范大学 地理科学学部 地理学院, 北京 100875)

摘要:土壤风蚀是锡林郭勒草地主要的生态环境问题之一,区域内道路和居民点对草地风蚀有重要影响而尚未受到足够的关注与研究。将遥感影像目视解译提取的道路和居民点信息,与表征土壤性质、地表植被覆盖等方面的 8 个风蚀参数进行空间叠加,采用掩膜处理等 GIS 方法分析各参数的空间变化特征,以探究道路和居民点对风蚀地表参数的影响。结果表明:距道路和居民点越近,植被覆盖率、高度均减小,表层土壤砂粒含量增加,土壤容重变大;居民点对风蚀参数影响的最大距离为 2 000 m,道路为 400 m;在影响距离内,植被覆盖各参数变化幅度大于土壤性质各参数,居民点对风蚀参数的影响大于道路;道路和居民点明显增加了周边区域的风蚀危险性,因此进行风蚀评价与估算时,应在相关指标体系与模型中考虑道路和居民点这两个影响因子。该研究可以为草原风蚀机理研究、风蚀治理提供科学参考。

关键词:道路;居民点;风蚀参数;掩膜处理;锡林郭勒草原

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)02-0021-08

Influences of Road and Residence on Wind Erosion Parameters in the Xilinguole Grassland

LUO Jianyong, ZHANG Zhuodong, SUN Chuanlong, LIU Hongyuan

(School of Geography, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Wind erosion is one of the main ecological problems in the Xilinguole grassland. Road and residence have the important influences on wind erosion in grassland. However, this phenomenon has not been well considered or studied. In order to assess the influences of road and residence on wind erosion parameters, road and residence information was obtained by visual interpretation of remote sensing images, and they were overlaid with eight wind erosion parameters including categories of soil properties and vegetation cover. GIS methods such as extract by mask were employed to explore the influences of road and residence on wind erosion parameters. The results show that as the distance to road and residence decreases, vegetation coverage and height decrease, and soil water content, sand content and soil bulk density increase. The maximal influencing distance of the residence on parameters is 2 000 m, and that of the road is 400 m. Within the influencing distance, the variation ranges of the vegetation cover parameters are larger than those of soil property parameters, and the influences of the residence on parameters are stronger than those of the road. Road and residence increase wind erosion risk, therefore, they should be considered in the index system and models for assessment and estimation of wind erosion. These results can provide scientific references for wind erosion mechanism research and wind erosion prevention in grasslands.

Keywords: road; residence; wind erosion parameters; extract by mask; Xilinguole grassland

土壤风蚀是干旱、半干旱地区主要环境问题之一,是制约区域可持续发展的关键因素^[1],风蚀的形成受地形条件、气候状况、土壤性质、植被覆盖等多方面因素的综合影响。人为扰动会改变地表土壤性质、植被覆盖情

况,因此研究这两个地表参数对于干旱、半干旱区的风蚀研究具有重要意义。放牧、耕作是影响风蚀的重要因素^[2],会降低植被覆盖率、干扰苔藓生长^[3],造成土壤保水能力减弱^[4]、土壤沙化^[5]等土壤退化后果,已有很多深

收稿日期:2017-02-27

修回日期:2017-04-27

资助项目:国家自然科学基金“融合地表参数与风场模拟的草地景观系统风蚀定量评价——以锡林郭勒草原为例”(41301282)

第一作者:罗建勇(1993—),男,湖北麻城人,硕士研究生,研究方向为土壤资源利用与保护。E-mail:jyluo@mail.bnu.edu.cn

通信作者:张卓栋(1984—),男,湖南湘潭人,博士,副教授,主要从事土壤侵蚀研究。E-mail:zzhang@bnu.edu.cn

人的研究。近年来有学者发现道路和居民点对风蚀也有重要影响,道路和定居容易引发风蚀坑的形成且定居诱发风蚀坑范围更广^[6];农地中的道路本身土壤侵蚀严重,而且还会加剧周围的风蚀^[7],然而这些研究均停留在定性描述阶段,缺乏进一步深入而系统的研究。

对于旱、半干旱地区土壤风蚀的研究,目前主要集中于地块尺度和区域尺度。地块尺度主要运用风洞试验^[8]对土壤进行土样分析探索风蚀因子的影响机制;区域尺度则多依靠遥感方法和风蚀模型^[9]研究风蚀空间分布、风蚀危险性等。这些研究为干旱、半干旱地区的风蚀机理与区域评价提供了重要依据,但小地块尺度的研究难以扩展到更大的空间范围,区域尺度的研究难以获取精细的地表数据。而景观尺度的研究既能获取地表精确数据又能在较大尺度下分析风蚀的空间分异,近年来逐渐引起学者的重视^[10-11]。在景观尺度上可以较好地研究道路、居民点对风蚀参数的影响。风蚀中的景观尺度类似于水蚀中的小流域尺度,小流域尺度中道路、居民点对土壤侵蚀的影响已有较为深入的研究,发现二者之间有很强的相关性^[12],而风蚀中还缺乏在景观尺度上的道

路、居民点对风蚀参数影响的研究。

本研究基于景观尺度,采用野外调查、遥感解译、GIS 空间分析等方法提取道路网、居民点并分析地表风蚀参数的空间分异。本文的目标是在景观系统内探索道路和居民点对风蚀参数的影响程度与作用机制,进一步讨论它们对区域风蚀的影响,为区域风蚀研究和风蚀防治提供理论参考。

1 研究区概况

研究区地处锡林郭勒河流域南部($43^{\circ}32'10''$ — $43^{\circ}33'2''$ N, $116^{\circ}32'10''$ — $116^{\circ}41'22''$ E)。位于锡林浩特市东南约 70 km,北京市以北约 400 km,东西长 12.4 km,南北宽 1.6 km,总面积 19.84 km²,海拔 1 146~1 388 m,地势东高西低,西部地形平坦,中东部有较多山区。研究区主要土壤类型为草原栗钙土,主要植被为羊草(*Leymus chinensis*)和大针茅(*Stipa grandis*),受降水影响,植被的生长季为 5—9 月。主要土地利用方式为牧草地,其次为耕地、灌木林地,耕地主要种植小麦。根据放牧程度的差别,草地可分为轻度放牧区、中度放牧区及重度放牧区。

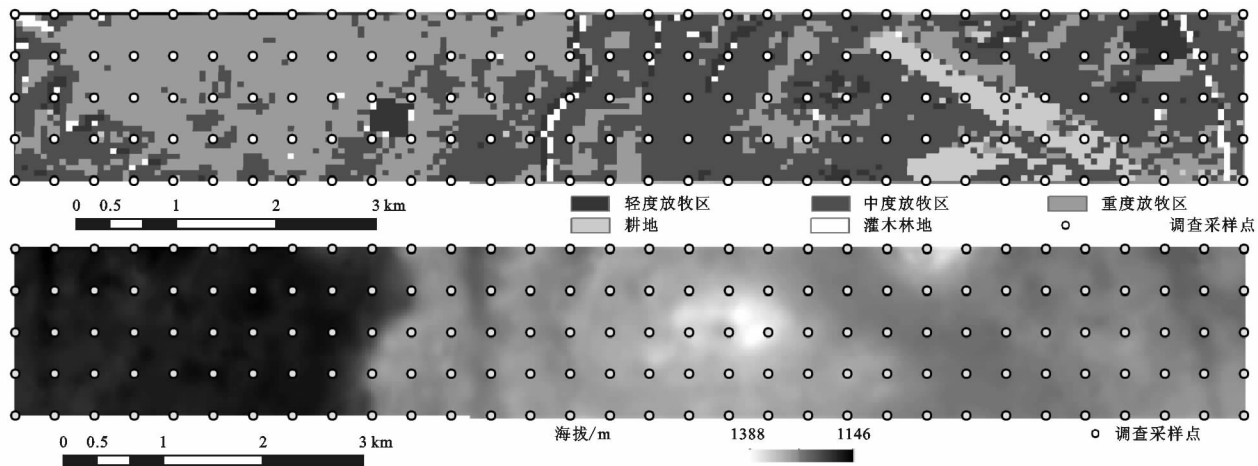


图 1 研究区概况及采样点分布

2 材料与方法

2.1 风蚀参数野外调查与测定

本研究野外调查、采样时间为 2014 年 5 月。利用 GPS 进行定位,在研究区内自西向东网格布 160 个点(图 1),点与点之间的间隔为 400 m,在各点进行土样采集、植被覆盖调查,土样在实验室处理分析。影响土壤风蚀的因子包括风力等级、植被覆盖、地表物质组成、土地翻耕等^[13],孙传龙等^[10]综合锡林郭勒风蚀草地的特征,利用地形条件、土壤性质、植被覆盖 3 个方面共 12 个参数来定量分析该区域的风蚀特征,地形条件受人为扰动影响较小,而土壤性质和植被覆盖是极易受人为扰动

影响的两个指标,因此本研究共获取表征土壤性质和植被覆盖的土壤含水量、砂粒含量、土壤容重、植被高度、植被盖度、苔藓盖度、结皮盖度、结皮厚度 8 个风蚀参数来展开研究。同时在野外还进行了道路和居民点的实地调查,如道路宽度、路面铺装、道路周围土地利用与生态景观,居民点的类型、大小、用途以及周围环境等。

2.2 道路及居民点提取

研究中使用的遥感影像(Copernicus-Sentinel)拍摄于 2013 年 12 月,空间分辨率为 2 m。基于野外调查,利用 ArcMap 10.2 进行目视解译提取区域内的居民点与省道、主干道、次干道,并与野外调查结果进行对比较正,最终得到研究区的道路网、居民点分布图。

2.3 GIS 与统计分析

运用 Kriging 插值得到各风蚀参数的空间分布。建立道路、居民点空间递增序列的缓冲区,缓冲区距离设置过大会导致要素之间缓冲区产生较大空间叠加,或缓冲区超出研究区范围,缓冲区设置过小则无法充分探索各参数的空间变异。经试验确定道路、居民点最大缓冲区距离为 600 m 和 3 000 m。考虑到距道路和居民点越近,周围环境参数对其变化越敏感,远离时的敏感程度降低,因此在设置缓冲区过程中进行了分段处理,距道路 300 m 内设置 10 个缓冲区,其间隔为 30 m,300 m 到 600 m 间设置 3 个缓冲区,间隔为 100 m;而居民点则是 1 000 m 内缓冲区间隔为 100 m,大于 1 000 m 时缓冲区间隔为 500 m。利用 ArcMap 10.2 对缓冲区与各参数插值图进行掩膜处理(Extract by Mask),统计各参数在缓冲区内数值的平均值作为各级缓冲区的统计值。

同时为了量化各参数在空间上的变化程度,引入变化幅度这一参数,如下:

$$A=\frac{H_{\max}-H_{\min}}{H_s}\times100\%$$

(1)

表 1 道路统计信息

道路等级	主要用途	长度/km	宽度/m	道路质量	路网密度/(km·km ⁻²)
省道	过境道路	0.3	9	沥青路面	0.02
主干道	交通联系、人行	9.8	3~4	碎石路、土质路面	0.52
次干道	区域内耕种放牧道路	48.6	2~3	土质路面	2.45

研究区内,仅有的省道分布在东北角(图 3);主干道广泛分布于地势平坦、海拔相对较低的西部牧区;次干道分布于整个区域,占总道路长度的 82.7%,为主要的生产生活道路。道路总体上呈现南北走向,在西部放牧区以西南—东北走向为主,且多为连接居民点、居民点

式中:A 为变化幅度;H_s 为道路或居民点初始缓冲区时风蚀参数统计值,对道路而言这个值为 30 m 缓冲区时的统计值,而对于居民点来说则是 100 m 时的统计值;H_{max} 为风蚀参数统计值在影响距离内的最大值;H_{min} 为在影响距离内的最小值。

3 结果与分析

3.1 道路及居民点空间分布特征

图 2 展示了研究区部分道路和居民点实地照片与遥感影像。实地调查发现该区域共有 3 种不同等级道路,包括省道、主干道、次干道,宽度在 2~10 m 不等(表 1),除省道为沥青道路以外,其余均未铺装,其中主干道部分多为土质路面(图 2A),部分为碎石路,而次干道均为土质路面;居民点有两种不同类型,一种是单独的居民房屋,一种是居民房屋与羊圈结合在一起(图 2D),羊圈围绕在居民房屋周围呈规则矩形,羊圈面积远大于房屋,为房屋面积的 20 倍以上,这也导致居民点面积出现较大的差异性。

与耕地牧场之间的直行道路,弯曲程度不大,这种道路特征与区域地形较为平坦、居民点少有关,而水蚀区中的小流域道路则由于地形起伏而导致弯曲程度相对较高,这也是水蚀区与风蚀区道路对土壤侵蚀的影响过程和结果存在差异的重要原因。

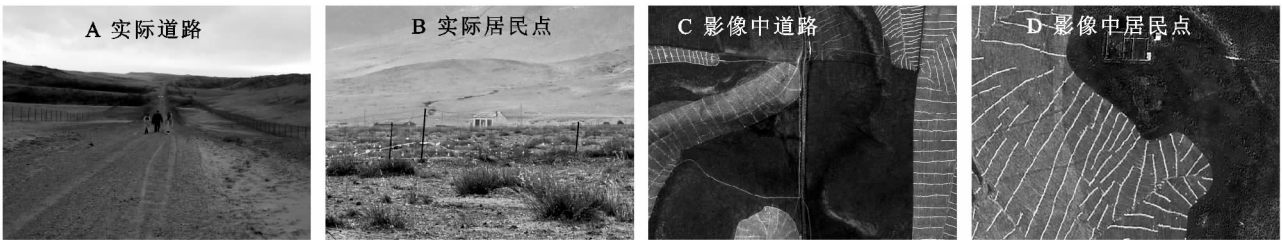


图 2 研究区道路、居民点

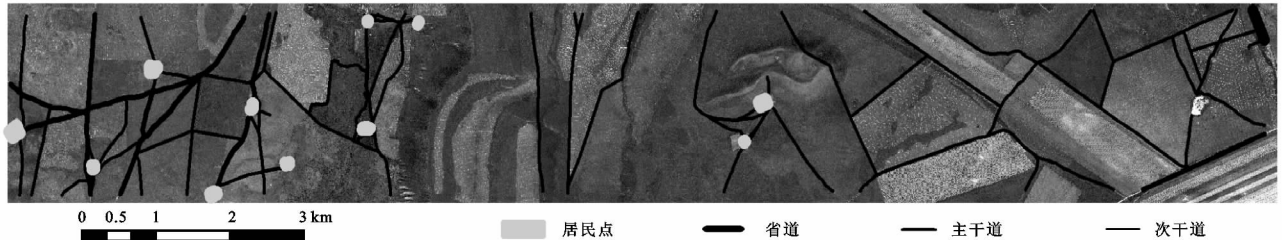


图 3 研究区道路、居民点空间分布

居民点集中分布于西部地势平缓放牧区,即主要的牧区,在研究区中部、东部多为山地丘陵区,海拔相

对较高,居民点分布较少。统计显示居民点总数为 18 处,最大的 4 400 m²,最小的 80 m² 均位于西部放

牧区,最小的房屋主要是牧区照看牧场所建。居民点总面积为 0.026 km²,占区域面积的 0.13%。

3.2 风蚀参数的空间分布以及地统计特征

图 4 显示研究区砂粒含量、土壤容重在空间分布上均呈西高东低的格局,在重度放牧区和耕地区较大。风蚀过程中较细的颗粒被风吹蚀,留下的土壤砂粒含量增加、土壤容重增大,统计显示研究区土壤容重均值为 1.21 g/cm³(表 2);土壤含水量在中西部区较大、东部区处于较低水平,对比土地利用结果表明含水量极大值区与重度放牧区分布较为一致,而中部

偏东以及东部区域含水量均在 10.2% 以下,总体上土壤水分含量较低。

土壤质地与土壤含水量的定量结果与分布表明,研究区土壤多为砂质土,土壤干燥,容易沙化从而导致风蚀,Zhao 等^[14]在本区域的研究表明放牧区土壤容重、含砂量较大导致草地生态景观更脆弱。各土壤性质参数的半变异分析表明,土壤含水量、土壤容重属于中度空间变异,而砂粒含量则属于极强的空间变异,表明砂粒含量相对于含水量和容重更易受影响而产生空间异质性。

表 2 风蚀参数的统计特征

参数	观测数	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数	块金系数/%
植被高度/m	160	0.67	100.00	12.79	16.07	1.26	68.5
植被盖度/%	160	5.00	100.00	78.63	17.70	0.23	73.0
结皮盖度/%	160	0.00	100.00	60.03	34.28	0.57	44.6
结皮厚度/cm	160	0.00	7.00	1.88	1.23	0.65	63.8
苔藓盖度/%	160	0.00	90.00	30.31	31.42	1.04	34.9
砂粒含量/%	160	40.13	81.37	54.90	7.37	0.13	7.5
土壤容重/(g·cm ⁻³)	160	0.93	1.47	1.21	0.11	0.09	65.0
土壤含水量/%	160	3.24	23.64	10.87	4.23	0.39	71.0

研究区苔藓盖度、植被高度、植被盖度、结皮盖度空间分布上具有较高一致性,呈现中部山地丘陵区较高,西部、东部偏低的格局。统计显示研究区超过三分之二的区域苔藓盖度、结皮盖度水平处于 50% 以下,而研究区超过 90% 的区域植被盖度处于 60% 以上,因而总体上植被覆盖率处于中间水平,且植被盖度较高的主要集中于受人为干扰较少的中部丘陵山区;结皮厚度呈现中东部高西部低的格局,西部重度放牧区处于 1.2 cm 以下,这也是放牧踩踏导致的结果。总体上区域植被覆盖情况处于一般水平,且空间分布上与土地利用相关。植被覆盖 5 个风蚀参数的半变异分析表明,植被盖度的块金系数最大、苔藓盖度最小,且均属于中等空间变异,但可以看出苔藓盖度受外界影响的程度要远大于植被盖度,发生了相对较大的空间变异。

3.3 道路、居民点缓冲区内风蚀参数随距离增加的变化特征

为了显示道路和居民点周围风蚀参数的空间变化情况,选取展示了典型道路和居民点的掩膜处理结果(图 5),用于定性描述风蚀参数距离道路和居民点远近的变化特征。由于篇幅限制且为避免缓冲区产生较大空间叠加,本文仅选取独立的道路和居民点各一个且对应两个不同的风蚀参数为例。对于整个区域而言,进行上述分析会难以区分变化趋势,因此采用统计各缓冲区所有道路或者居民点统计值的这种定量表示方式,这样能使结果更加精确且有全域代表性,能更加定量地分析各参数在道路和居民点影响距

离内的变化幅度。

图 6 揭示了各风蚀参数与道路距离的变化关系。随着与道路距离的增加,土壤容重、砂粒含量都呈下降趋势,在 400~500 m 处下降速率减缓,推测各参数受道路的影响在此处已经降到最低程度;同时表征地表覆盖的 5 个参数总体上呈增加趋势,其中结皮厚度在 400 m 处一个明显拐点;其他 4 个参数变化趋势单一,但在 400 m 处的变化趋势有明显的改变。结合上述土壤性质与植被覆盖情况的空间变化趋势,本文认为 400 m 为道路对风蚀参数影响的最大距离,这与 Shi 等^[15]在江西兴国县的研究具有较高的一致性,表明在不同的环境条件下,道路对周围景观的影响范围存在一个相似的阈值,而这个阈值受景观类型、环境条件等多方面的综合影响。

居民点周围风蚀参数随距离变化趋势见图 7。人们围绕居住区的活动改变表层土壤容重和砂粒含量、以及土壤含水量,这 3 个参数随着与居民点距离的增加,数值整体上呈现减小的趋势,在 0~500 m 内均未发生明显变化,且数值较高,表示在此区间更加敏感;而在 500~2 000 m 容重及砂粒含量下降速率增加,在 2 000 m 处出现拐点,而土壤含水量在 500 m 之后持续减小。同时随着与居民点距离的增加,植被高度呈单调增加趋势;而植被盖度、结皮厚度、结皮盖度、苔藓盖度 4 个参数变化情况则较为一致,与距离呈正相关关系,并在 2 000 m 处出现拐点。结合居民点周围土壤性质和植被覆盖情况的空间变化情况,本研究认为 2 000 m 是居民点对风蚀参数影响的最大距离。

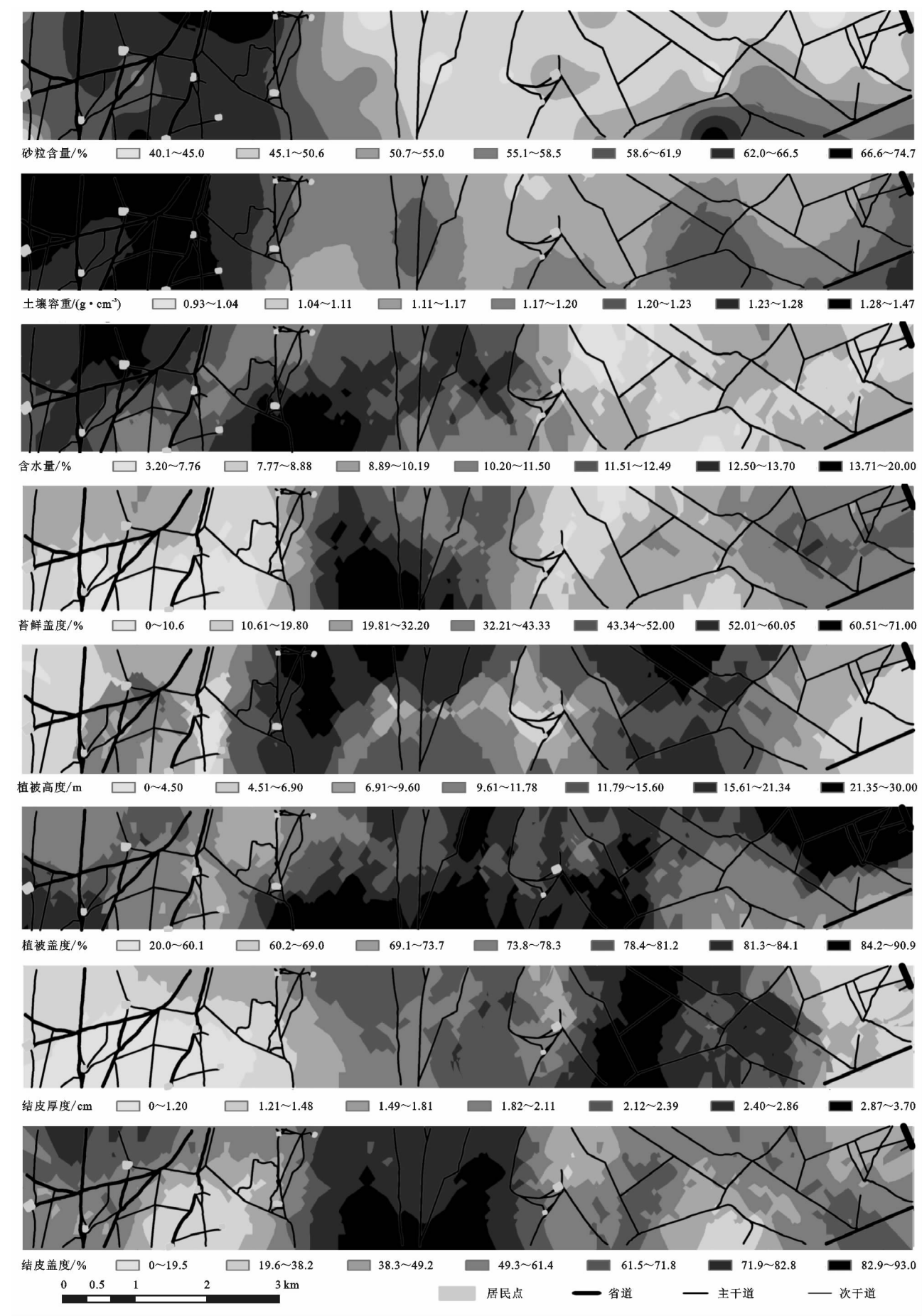


图 4 风蚀参数的空间分布

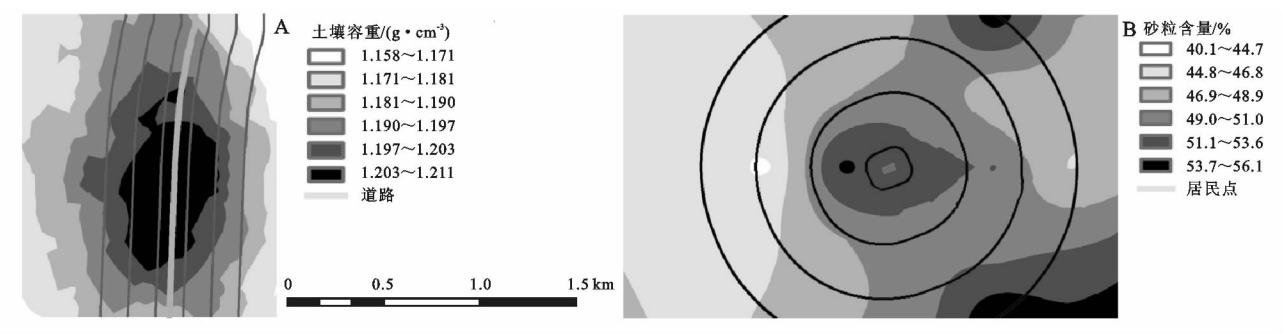


图 5 典型道路、居民点不同缓冲带区风蚀参数掩膜处理结果

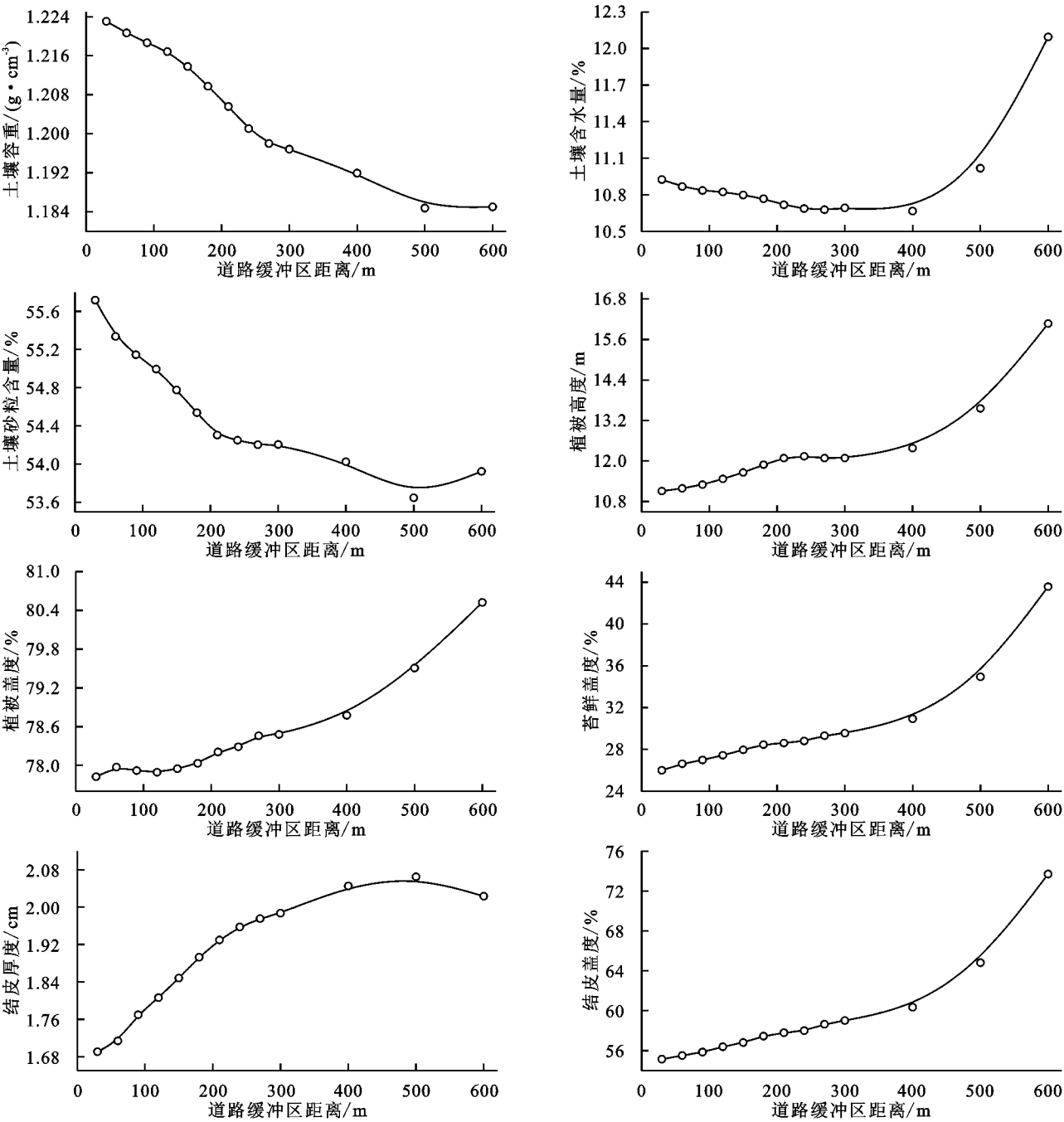


图 6 风蚀参数随道路距离增加的变化结果

研究区内各风蚀参数随与道路和居民点距离的变化趋势趋于一致,距离道路和居民点越近,土壤容重、砂粒含量等参数数值逐渐增加,植被盖度逐渐增大、结皮

厚度逐渐变厚。这是因为研究区主要生产活动是放牧、耕作,且围绕道路和居民点展开,距离越近则放牧、耕作等更方便快捷,导致越靠近道路、居民点,地表受扰动程

度越大。张钛仁等^[3]也指出人类活动中的滥垦、滥牧、滥采和滥伐等围绕居民点的行为,会破坏地表的植被覆盖,尤其随着放牧强度的增大,地表植被受损加重。在研究区内,远离道路和居民点,这种扰动逐渐弱化,因此各参数出现相应的变化趋势。

表 3 列出了道路与居民点周围各风蚀参数在影响距离内的变化幅度,总体上居民点的各参数变化幅

度都比道路大,且在影响距离上,道路为居民点的 20%,说明居民点对区域土壤风蚀的影响要强于道路,这也体现了道路是居民点与生产活动结合的产物^[16]。道路和居民点周围植被覆盖各参数变化幅度要明显大于土壤性质,这表明道路和居民点主要通过影响表征地表植被覆盖等一系列参数来影响风蚀,这也为草地风蚀治理提供了科学参考。

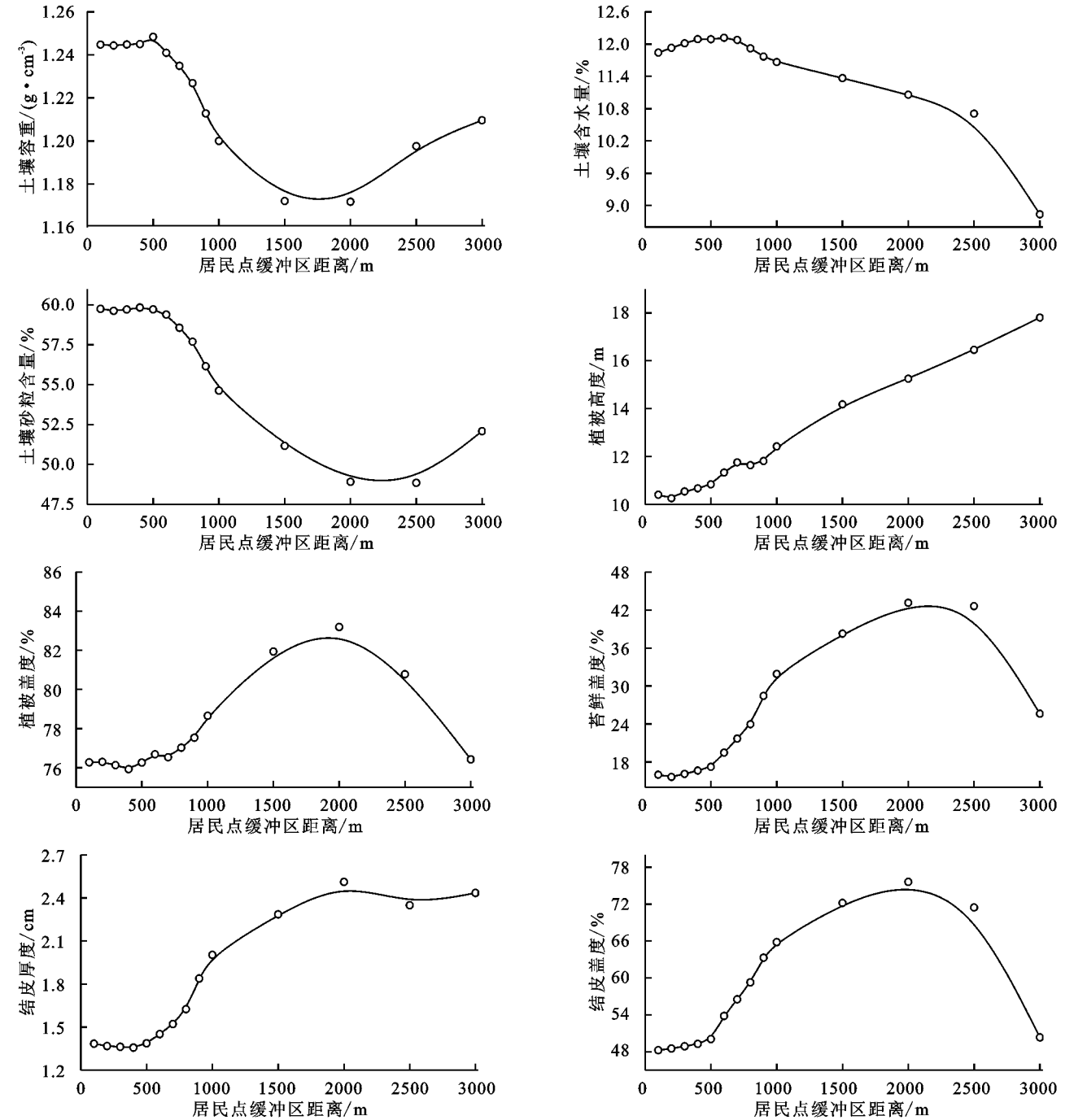


图 7 风蚀参数随居民点距离增加的变化结果

表 3 道路和居民点周围各风蚀参数数值变化幅度

参数	土壤容重	土壤含水量	土壤砂粒含量	植被高度	植被盖度	苔藓盖度	结皮厚度	结皮盖度
居民点	6.24	8.01	18.35	36.71	7.29	63.54	45.94	36.58
道路	2.64	2.78	3.40	10.64	1.27	17.37	18.52	8.92

%

3.4 道路和居民点对土壤风蚀的影响机制

本研究结果表明人们围绕道路和居民点的活动会破坏地表原有的植被覆盖以及使表层土壤沙化,整体上各参数呈现易风蚀趋势,进而加剧区域土壤风蚀。研究区位于干旱一半干旱的草原地区,干旱的气候迫使牧民通过定居抵抗自然灾害^[16],而道路网影响居民点的分布和周围土地利用^[17],因此大量的生产、生活活动均依托现有的道路以及居民点展开。牧民由居民点向耕地、草地、其他居民点等地开展生产生活,机械从道路深入农地,牲畜自居民点、道路进入牧草区,从而形成以居民点为核心向四周、自道路本身向两边辐射的影响区域,区域内农业机械轮胎的切割、动物践踏、耕地翻耕会导致地表结皮被破坏、植被盖度降低、土壤压实等后果^[18]。常月明^[19]、Jungerius^[20]等也表示道路本身受外界剪应力受损的同时也会改变周围的地理要素特征,进而引发土壤流失。在本研究中,受道路和居民点影响而发生改变的地理要素主要为 8 个风蚀参数,具体表现为植被盖度降低、结皮厚度减小、土壤粗化等。在风沙严重的 5 月,干旱的气候条件和大风使地表没有植被保护的松散细土粒被吹蚀,从而形成风蚀;由于风蚀吹蚀表土,导致土壤粗化、有机质流失使得土壤贫瘠,从而导致植被生长受阻,风蚀进一步加剧^[21]。因此形成了道路与居民点周围土壤风蚀严重,且越靠近道路居民点风蚀加剧的现象,这与胡霞等^[18]的草原交通使道路两旁风蚀参数明显减小,为风蚀的继续发生提供了条件,以及刘树林等^[16]关于以居民点为中心的区域发生土壤风蚀的结果相吻合。

同时研究区内主要道路类型为耕种放牧道路及车道,广泛分布于各地块之间,其开拓是为了方便生产活动,因此主要牧区与耕地等活动区离道路均较近,再结合统计数据本研究得出了道路对风蚀参数的影响距离为 400 m,也即道路对区域风蚀的影响距离。雷军等^[22]关于道路两边土壤砂粒含量随着与道路间的距离的增加而减少,且而影响距离为 210 m 的结果与本文具有较好的一致性,影响距离不同是因为选取道路数量不同以及地表特征的差异。Shi 等^[15]指出居民点周围 1~2 km 是人类活动最密集的区域,对土壤侵蚀的影响也最为明显,这与本研究中居民点的影响距离 2 km 一致,虽然两者侵蚀类型与尺度不一,但却基于相类似研究对象,表明人类活动对居民点周围的土壤侵蚀具有显著的影响。

研究区道路少、密度小,居民点数量少而且分布零散、占地面积小,但对区域的风蚀影响显著。而目前应用较为广泛的风蚀估算模型如 RWEQ 未考虑道路和居民点的影响,在过程模型 WEPS 中,只在其水文子模型中有提及道路的特征,而道路与居民点对

风蚀影响的重要性尚未得到足够的重视。因此在进行风蚀强度评价与估算时,应当加入道路和居民点的这两个影响因子,以提高模型模拟的精度。

4 结论

锡林郭勒草原景观尺度上道路以及居民点分布与区域地形、土地利用类型空间分布之间具有紧密联系,95%的道路以及 90%的居民点均分布在西部、东部地势平缓地区,主要的土地利用类型为重度牧区和耕地。

人类围绕道路、居民点的活动对区域土壤风蚀有加剧作用,体现在降低地表的植被覆盖率、植被高度、以及使砂粒含量增加、土壤容重变大;居民点对风蚀参数影响的最大距离为 2 000 m,道路影响距离为 400 m;在影响距离内,居民点对区域土壤风蚀的影响要强于道路,道路和居民点周围植被覆盖各参数变化幅度要明显大于土壤性质;随着与道路、居民点的距离的增加,风蚀强度及风蚀危险性降低。由于道路、居民点对风蚀地表参数有明显影响,因此进行风蚀评价与估算时,虽然道路和居民点所占面积较小,但在相关指标体系和模型中应考虑这两个影响因子以得到更精确的结果。

致谢:感谢北京师范大学地理科学部地理学院刘亮、邱倩倩、王静在野外采样及试验过程中做出的贡献。

参考文献:

- [1] 于国茂,刘越,艳燕,等. 2000—2008 年内蒙古中部地区土壤风蚀危险度评价[J]. 地理科学, 2011, 31(12): 1493-1499.
- [2] 海春兴,付金生,王学萌. 气候和人类活动对河北坝上丰宁县土壤风蚀沙化的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(1): 69-76.
- [3] 张钦仁,张玉峰,柴秀梅,等. 人类活动对我国西北地区沙质荒漠化影响与对策研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 228-234.
- [4] 海春兴,周心澄,李晓佳. 河北坝上不同土地利用方式下土壤表层水分变化对风蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 29-32.
- [5] 付华,王彦荣,吴彩霞,等. 放牧对阿拉善荒漠草地土壤性状的影响[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 339-343.
- [6] 张德平,王效科,孙宏伟,等. 呼伦贝尔沙质草原风蚀坑研究(Ⅳ): 人类活动的影响[J]. 中国沙漠, 2007, 27(2): 215-220.
- [7] Hoffmann C, Funk R, Reiche M, et al. Assessment of extreme wind erosion and its impacts in Inner Mongolia, China[J]. Aeolian Research, 2011, 3(3): 343-351.
- [8] 邢恩德,马少薇,郭建英,等. 植被盖度对典型草原区地表风沙流结构及风蚀量影响[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 331-334.
- [9] 江凌,肖焱,欧阳志云,等. 基于 RWEQ 模型的青海省土壤风蚀模数估算[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 21-25, 32.

水沙关系曲线,治理前的径流泥沙大于治理后的径流泥沙。1989年后累积年径流量与累积年产沙量的关系曲线斜率较1989年前的明显偏小,说明1989年是流域水沙关系的突变点。由于水土保持综合治理的作用,1989年后的多年平均径流量较1989年前减少33.11%,多年平均产沙量减少90.50%。

参考文献:

- [1] 李子君. 潮河流域不同水土保持措施配置方案对年径流量的影响[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1): 108-112.
- [2] 穆兴民, 王文龙, 徐学选. 黄土高原沟壑区水土保持对小流域地表径流的影响[J]. 水利学报, 1999(2): 71-75.
- [3] 王国庆, 兰跃东, 张云, 等. 黄土丘陵沟壑区小流域水土保持措施的水文效应[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5): 87-89.
- [4] 王飞, 穆兴民, 张晓萍, 等. 水土保持对偏关河径流和泥沙的影响分析[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 10-14.
- [5] 周旭, 穆兴民, 张鑫, 等. 秃尾河流域水土保持措施对河流泥沙变化的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 15-19.
- [6] 晏清洪, 原翠萍, 雷廷武, 等. 降水和水土保持对黄土区流域水沙关系的影响[J]. 中国水土保持科学, 2013, 11(4): 9-16.
- [7] 蔡强国, 吴淑安. 紫色土陡坡地不同土地利用对水土流失过程的影响[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 1-8, 35.
- [8] 刘刚才, 朱波, 代华龙, 等. 四川低山丘陵区紫色土不同土地利用类型的水蚀特征[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 96-99.
- [9] 蒋光毅, 史东梅, 卢喜平, 等. 紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 54-58, 63.
- [10] 王勇强, 王玉宽, 傅斌, 等. 不同耕作方式对紫色土侵蚀的影响[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 333-335.
- [11] 刘纪根, 李蓉. 紫色土区土地利用类型与降水变化对水土流失的影响[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(8): 10-14, 19.
- [12] 邓贤贵. 长江上游典型流域水土保持效益分析[J]. 水土保持通报, 1998, 18(2): 68-70.
- [13] 王学勤, 韦红, 何丙辉, 等. 鹤鸣观小流域综合治理减水减沙效益研究[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 246-253.
- [14] 刘刚才, 游翔, 张建辉, 等. 紫色土丘陵区小流域综合治理对水土保持的作用[J]. 山地学报, 2007, 25(5): 590-595.
- [15] 张晓明, 曹文洪, 余新晓, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用/覆被变化的径流调节效应[J]. 水利学报, 2009, 40(6): 641-650.
- [16] 许炯心. 无定河流域侵蚀产沙过程对水土保持措施的响应[J]. 地理学报, 2004, 59(6): 972-981.
- [17] 刘淑燕, 余新晓, 信忠保, 等. 黄土丘陵沟壑区典型流域土地利用变化对水沙关系的影响[J]. 地理科学进展, 2010, 29(5): 565-571.

(上接第28页)

- [10] 孙传龙, 张卓栋, 邱倩倩, 等. 基于层次分析法的锡林郭勒草地景观系统风蚀危险性分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(5): 1036-1042.
- [11] 邱倩倩, 张卓栋, 孙传龙, 等. 锡林郭勒草地景观系统土壤容重空间变异及其与风蚀的关系[J]. 水土保持通报, 2016, 36(6): 58-66.
- [12] Cao L, Zhang K, Liang Y. Factors affecting rill erosion of unpaved loess roads in China[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2014, 39(13): 1812-1821.
- [13] 董光荣, 李长治, 金炯. 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.
- [14] Zhao Y, Peth S, Krummelbein J, et al. Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland[J]. Ecological Modelling, 2007, 205(1): 241-254.
- [15] Shi X Z, Wang K, Warner E D, et al. Relationship between soil erosion and distance to roadways in undeveloped areas of China[J]. Catena, 2008, 72(2): 305-313.
- [16] 刘树林, 王涛. 浑善达克沙区沙漠化土地防治区划与对策研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(5): 1000-1005.
- [17] 梁婣芬, 曹龙熹, 张科利. 安塞县纸坊沟小流域道路网系分布与土地利用的关系[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 201-205.
- [18] 胡霞, 刘连友, 孙永亮. 交通对干草原土壤物理性质影响的试验研究[J]. 土壤学报, 2006, 43(2): 215-219.
- [19] 常月明, 雷俊义, 李永香, 等. 半干旱丘陵地区乡村道路侵蚀特点和影响因素研究: 以内蒙古四子王旗东南部为例[J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 116-121.
- [20] Jungerius P D, Matundural J, Vandeancker J A M. Road construction and gully erosion in West Pokot Kenya[J]. Earth Surf Process & Landforms, 2002, 27(11): 1237-1247.
- [21] 杨秀春, 严平, 刘连友. 土壤风蚀研究进展与评述[J]. 干旱区农业研究, 2003, 21(4): 148-153.
- [22] 雷军, 孙禹, 元志辉, 等. 呼伦贝尔道路对草地土壤表层颗粒组成空间变异的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 18-21.