

沙坡头自然保护区土壤水力侵蚀时空变化研究

王亚慧, 王文瑞, 王伟伟

(兰州大学 资源环境学院/干旱区气候变化与水循环研究中心, 兰州 730000)

摘 要:我国干旱荒漠区由于降雨强度大、周期短,存在着一定程度的水土流失风险。以腾格里沙漠东南缘的宁夏沙坡头国家级自然保护区 1990—2011 年的土壤水力侵蚀为研究对象,试图理解干旱荒漠区土壤水力侵蚀状况及动态变化规律。基于中国水土流失预报模型,在当地现有土壤类型数据、GDEM 数据和 TM 影像等基础上对该区 1990 年、2002 年、2011 年三年的土壤水力侵蚀计算并进行了分析。结果表明:沙坡头保护区土壤水力侵蚀模数最高可达 39 066.02 t/(km²·a);在时间尺度上,1990—2002 年该区土壤水力侵蚀强度基本不变,而 2002—2011 年明显降低,表明该区域的人为活动导致水域、用材林和栽培作物面积的增加可促使水土流失减弱;在空间上,裸地、低植被覆盖度地区以及坡度为 8°~25°地区水力侵蚀相对更明显。

关键词:水土保持; 水力侵蚀; 中国水土流失预报模型; 土地覆被; 沙坡头

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)01-0011-06

Spatiotemporal Analysis of Soil Erosion in Shapotou Reserve in China

WANG Yahui, WANG Wenrui, WANG Weiwei

(College of Earth and Environmental Sciences/Center for Climate Change
and Hydrologic Cycle in Arid Region, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The high intensity and short duration of the rainfall events in arid desert region would lead to acute erosion risk. This paper demonstrated the evolution of soil erosion by rainfall from 1990 to 2011 as a case of Shapotou National Nature Reserve of Ningxia that is located in edge of southeast of Tengger Desert. Based on the agrotyping mapping, GDEM and Landsat TM data, the water erosion in the 1990, 2002 and 2011 years was evaluated by using Chinese soil loss equation model. Results showed that the water erosion module in Shapotou Reserve reached up to 39 066.02 t/(km²·a), which is considerable volume even though less than the wind erosion. From 1990 to 2002, the water erosion intensity remained almost stable, but from 2002 to 2011, the value dropped sharply, this evolution change indicated that the increased water, timber reforestation and farmland which were associated with human activities resulted in a lower density of water erosion. There were also significant spatial differences of water erosion in Shapotou Reserve, the value in the bare area, lower vegetation coverage area and the slope of 8°~25° was significantly higher than that in other areas.

Keywords: soil and water conservation; water erosion; Chinese soil loss equation model; land cover; Shapotou

随着人类活动的增强,土壤侵蚀已成为当今资源与环境可持续发展所面临的重要问题之一,一定程度上威胁着人类的生存和发展^[1-2]。土壤侵蚀不仅受到诸如气候、地形、地质、土壤、植被等自然因素的影响,同时人类活动也会相应地增强或减弱土壤侵蚀的强度^[3],而且土壤侵蚀与土地覆被变化紧密相关,土地利用/土地覆被变化必然导致土壤侵蚀的变化^[4]。相对自然要素而言,人类的资源开发或生态建设活动对区域土地覆被的改变在较短时期内就可产生明显的

影响,而土壤侵蚀在短时间内可能对人类福祉的影响不甚明显,但在几年甚至几十年的时间尺度上就应该有非常显著的影响^[5],所以了解某区域在较长时间尺度上的土壤侵蚀状况对于如何改善人类获得的福利具有重要的意义,目前涉及较长时间尺度的土壤侵蚀变化研究较为丰富^[6-7]。我国的干旱荒漠区生态脆弱,沙漠化过程不断加重^[8],学者们对荒漠区的土壤风蚀给予了深入研究^[9-10]。由于干旱荒漠区降雨历时短、强度大的特点,也存在相当量的土壤水力侵蚀,

收稿日期:2014-07-09

修回日期:2014-09-02

资助项目:环保公益性行业科研专项“干旱沙漠自然保护区生态稳定性评估与社会服务功能研究”(201209034)

第一作者:王亚慧(1990—),女,山西长治人,硕士研究生,研究方向为干旱区生态环境影响研究。E-mail:wangyahui12@lzu.edu.cn

通信作者:王文瑞(1974—),男,甘肃环县人,副教授,博士,主要从事干旱区人类活动效应研究。E-mail:wwrhx@lzu.edu.cn

该方面的研究相对而言较少。本研究将对沙坡头国家级自然保护区(以下简称“沙坡头保护区”)使用中国水土流失预报模型来估算水力作用下土壤侵蚀量及其在 1990 年、2002 年和 2011 年三个时间段之间的变化和空间差异,试图理解近 20 a 间研究区内水土流失的状况、变化趋势,以及水土流失随着土地覆被变化而变化的情况,研究结果期望能对类似研究区的水土保持措施、土地利用、土地覆被变化以及生态建设提供科学依据。

1 研究区概况

沙坡头保护区位于宁夏回族自治区西部的中卫市沙坡头区,东经 $104^{\circ}49'26''$ — $105^{\circ}09'25''$,北纬 $37^{\circ}25'58''$ — $37^{\circ}37'26''$,面积 140.43 km^2 ,主要保护对象为自然沙生植被及人工治沙植被,并保障包兰铁路的畅通。该区属温带大陆性气候,年平均降水量 186.6 mm ,主要集中于 6—9 月份,根据 40 余年气象记录显示的历史最高年降水量为 495.8 mm (1978

年),2003 年^[11]和 2012 年有一日最大降水量超过 50 mm 的记录,虽然相对湿润区来说该降水量显得较低,但对于地处干旱荒漠区的沙坡头保护区来说仍然具有十分重要的意义。依据《中华人民共和国林业行业标准:自然保护区土地覆被类型划分》并结合沙坡头保护区的具体情况,我们将研究区的土地覆被类型划分为:水域、沙地、灌丛、用材林、防护林、草地以及栽培作物。沙坡头保护区以稀疏的灌木半灌木为主的天然植被和以防护林及用材林为主的人工植被覆盖(图 1)情况下,主要发育有风沙土和灰钙土等,薄瘠的土壤除了在风蚀作用下被侵蚀外,短时期集中的降水也对土壤产生强烈侵蚀作用。沙坡头保护区所在地区年平均风速为 2.8 m/s ,最大风速可达 16.7 m/s ,年平均气温 9.6°C ,7 月最高温为 38.1°C ,1 月最低温为 -25.1°C ^[11]。在 1990—2011 年近 20 a 间,沙坡头保护区的土地覆被类型发生了较大的变化,主要集中于保护区东北角的用材林面积的扩大以及沙地面积的减少,势必对该区土壤水土流失产生一定影响。

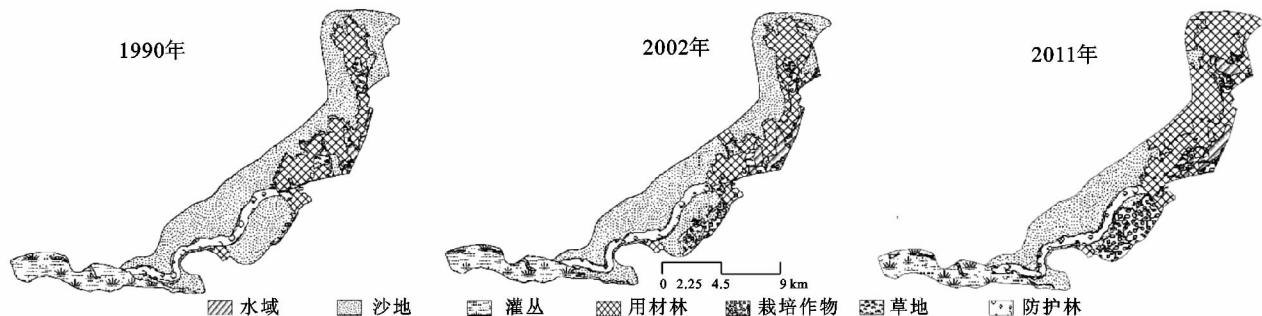


图 1 沙坡头保护区 1990 年、2002 年、2011 年土地覆被情况

2 数据来源与研究方法

研究中采用的数据主要包括:来自中国气象科学数据服务网提供的降雨量数据,美国 USGS 提供的 1990 年、2002 年、2011 年 TM 影像,宁夏中卫沙坡头保护区管理局提供的保护区 1:50 000 土壤分类图,从“地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)”下载的沙坡头保护区 30 m 分辨率 GDEM 数据,在这些数据基础上分别得到降雨侵蚀力因子、土壤可蚀力因子、坡度坡长侵蚀力因子、生物措施因子,人为赋予工程与耕作措施因子,利用中国水土流失预报模型求得 1990 年、2002 年以及 2011 年的水力侵蚀模数。在时间变化上,利用 ArcGIS 将不同时期的土地覆被类型面积进行叠加并得到转移矩阵,同时依据土壤侵蚀强度标准分析不同侵蚀强度级别的土壤面积变化,以及不同侵蚀强度级别土壤面积的转移矩阵;在空间差异上,对不同植被覆盖度、不同坡度下的水力侵蚀模数进行分区统计。

2.1 中国水土流失预报模型

USLE^[12]和 RUSLE^[13]是目前应用最为广泛的评价土壤水力侵蚀的模型,刘宝元在 RUSLE 的基础上结合我国水土保持措施的特点,提出了适合于中国的土壤水力侵蚀模型^[14]:

$$A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot B \cdot E \cdot T \quad (1)$$

式中: A ——单位面积的土壤侵蚀量 $[\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$; R ——降雨侵蚀力因子; K ——土壤可蚀力因子; L ——坡长因子; S ——坡度因子; B ——生物措施因子; E ——工程措施因子; T ——耕作措施因子。

2.2 中国水土流失预报模型参数的计算

2.2.1 降雨侵蚀力因子(R)的获取 降雨侵蚀力因子是中国水土流失预报模型中的重要因子,其值的大小表征了降雨对土壤的潜在侵蚀能力^[15],由于该研究区降雨情况与西吉县相似,主要集中于 5—10 月,所以本文借鉴孙保平在宁南西吉县大量实测数据基础上建立的方程^[16]计算降雨侵蚀力因子 R 值,计算公式为:

$$R=1.77 \times P_{5-10\text{月}} - 133.03 \quad (2)$$

其中: $P_{5-10月}$ ——该地 5—10 月降雨量之和, 5—10 月月降雨量和由研究区周围 5 个站点的降雨量插值得到(mm)。

2.2.2 土壤可蚀力因子(K)的获取 不同的土壤由于土壤质地的差异, 抗蚀性也不同, 通常用土壤可蚀力因子 K 表示, K 值越大说明该土壤抗蚀性越差, 反之越强。Williams 等在 EPIC 模型中通过土壤有机碳和粒径组成的资料计算得到 K 值^[17]:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 \text{SAN}(1 - \frac{\text{SIL}}{100})]\} \times (\frac{\text{SIL}}{\text{CLA} + \text{SIL}})^{0.3} \times [1.0 - \frac{0.25C}{C + \exp(3.72 - 2.95C)}] \times [1.0 - \frac{0.7\text{SN}_1}{\text{SN}_1 + \exp(-5.51 + 22.9\text{SN}_1)}] \quad (3)$$

式中: SAN——砂粒含量(%); SIL——粉粒含量(%); CLA——黏粒含量(%); C ——有机碳含量(%); $\text{SN}_1 = 1 - \text{SAN}/100$ 。本文在现有土壤类型资料的基础上计算得到不同类型土壤的土壤可蚀力因子, 利用 ArcGIS 将其与矢量化的土壤分类图叠加得到研究区土壤可蚀力因子栅格图。

2.2.3 坡度坡长因子(LS)的获取 坡长是影响坡面土壤水力侵蚀的重要因子, 有大量的研究涉及坡度与土壤水力侵蚀的关系^[18-19], 坡度又在一定程度上影响着坡长, LS 值在一定程度上反映着地形特征对土壤水力侵蚀的影响^[20]。本研究在 GDEM 数据基础上通过表面分析提取得到坡度, 由于研究区 GDEM 数据分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 所以具体到每个栅格, 坡长 λ 可表示为^[21]:

$$\lambda = 30 / \cos \beta \quad (4)$$

得到坡度、坡长后, 借鉴 Wischmeier 计算 LS 因子值的方法^[12]获取 LS 因子:

$$LS = (\lambda / 72.6)^m (65.41 \sin^2 \beta + 4.56 \sin \beta + 0.065) \quad (5)$$

式中: λ ——坡长; β ——坡度; m ——变化值: 当 $\beta \geq 2.86^\circ$ 时, $m = 0.5$; $1.72^\circ \leq \beta < 2.86^\circ$ 时, $m = 0.4$; 当 $0.57^\circ \leq \beta < 1.72^\circ$ 时, $m = 0.3$; 当 $\beta < 0.57^\circ$ 时, $m = 0.2$ 。

2.2.4 生物措施因子(B)的获取 地表植被可以有效地减少土壤水力侵蚀, 是水力侵蚀的抑制因子之一。植被减少土壤水力侵蚀一方面来自植被对于降雨能量的消减, 另一方面来自枯枝落叶的抗侵蚀能力^[22]。生物措施因子与 USLE 以及 RUSLE 模型中的植被覆盖因子 C 有相同的含义。马超飞通过研究发现植被覆盖因子 C 与植被覆盖度具有如下的关系^[23]:

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f & 0 < f < 78.3\% \\ 0 & f \geq 78.3\% \end{cases} \quad (6)$$

式中: C ——植被覆盖因子(即生物措施因子 B); f ——植被覆盖度。本文中植被覆盖度 f 为基于 TM

影像采用像元二分法获取的。

2.2.5 工程及耕作措施因子($E \cdot T$)的获取 土壤工程与耕作措施因子是抑制土壤水力侵蚀的因子, 采取不同的工程及耕作措施, 水力侵蚀也会有不同的变化。本文参考以往的研究成果并结合研究区的实际情况对不同的土地覆被类型赋予 $E \cdot T$ 值。其中沙地不作为土壤进行研究, 给沙地赋 0; 由于该区域在近 20 a 的过程中有沙地向其他土地覆被类型的转化, 主要表现为保护区东北部在近 20 a 中沙地向用材林的转化, 但是土地覆被的转化与土壤的变化并不一定一致(新种植的用材林下还未形成土壤, 而是沙地, 在经过若干年后, 沙地慢慢开始向土壤转化)。结合 2008 年土壤分类图以及不同年份的土地覆被类型情况确定不同土地覆被类型下是否为土壤, 若是土壤, 则作为水土流失的研究对象, 对其 $E \cdot T$ 值进行赋值, 若不是土壤而是沙地, 则给 $E \cdot T$ 值赋为 0。 $E \cdot T$ 值的范围为 $0 \sim 1$ 之间, 0 表示根本不发生侵蚀的土地覆被区域, 1 表示没有采取任何工程及耕作措施来减缓水土流失的土地覆被区域。再将 $E \cdot T$ 值与土地覆被类型图结合得到土壤工程与耕作措施因子栅格图。

3 结果与分析

3.1 土壤水力侵蚀时间变化

3.1.1 土壤水力侵蚀的动态变化 研究区内可侵蚀土壤包括除沙地之外的其他用地类型。由于沙地在人为改造过程中发生土地覆被转化, 因而导致可侵蚀土壤面积(存在潜在水力侵蚀风险的土壤面积)发生变化。从图 2 可以看出, 1990—2011 年沙坡头保护区可侵蚀土壤面积呈增加趋势, 由 1990 年的 59.83 km^2 增加至 2002 年的 61.46 km^2 , 再增至 2011 年的 74.60 km^2 , 主要集中于 2002—2011 年的增长。从图 2a 可以看出可侵蚀土壤的增加主要是缘于沙地转化为用材林和栽培作物面积。主要增加的部分为: 一部分为研究区北部沙地转化为用材林, 林下可被侵蚀土壤面积增加约 6.57 km^2 ; 另一部分是使用土壤改良剂或在沙地上覆盖土壤进行种植的耕作方式也不同程度的增加了土壤的面积, 约为 10.89 km^2 。

从侵蚀强度来看, 不同侵蚀强度的土壤面积也发生了变化。图 2b 中可以看出, 在 1990—2002 年期间, 主要表现为微度侵蚀土壤面积略有增加, 轻度、中度、以及强度侵蚀面积略有减少, 变化都十分不明显。2002—2011 年不同侵蚀强度土壤面积变化主要特征为: 轻度、中度以及强度水力侵蚀面积减少, 但微度水力侵蚀面积有所增加, 增加的微度侵蚀土壤面积主要是由沙地转化为土壤而增加可侵蚀土壤面积导致, 但微度侵蚀模数很小。

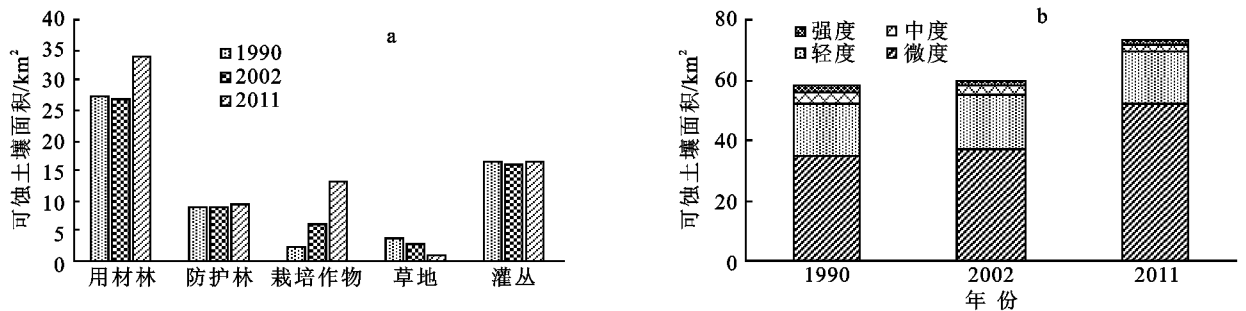


图 2 1990—2011 年沙坡头保护区不同土地覆被类型及不同侵蚀强度可蚀土壤面积变化

3.1.2 土壤水力侵蚀强度的时间变化 根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL190—2007)(以下简称《标准》)并结合沙坡头保护区水力侵蚀的具体情况,将《标准》中微度侵蚀细分为Ⅰ级[0~50 t/(km²·a)],Ⅱ级[50~100 t/(km²·a)],Ⅲ级[100~200 t/(km²·a)]三个等级,将轻度侵蚀细分为Ⅳ级[200~300 t/(km²·a)],Ⅴ级[300~500 t/(km²·a)],Ⅵ级[500~2 500 t/(km²·a)]共三个等级,与《标准》中无侵蚀、中度侵蚀和强度侵蚀共构成 9 个侵蚀级别。叠加 1990 年、2002 年和 2011 年水力侵蚀模数得到不同水力侵蚀强度的转移矩阵,具体结果见表 1 和表 2。

表 1 1990—2002 年沙坡头保护区水力侵蚀强度转移矩阵 km²

1990 年		2002 年								
		无侵蚀	微度侵蚀			轻度侵蚀			中度侵蚀	强度侵蚀
			I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	VI 级		
微度 侵蚀	无侵蚀	72.65	2.97	2.19	1.73	0.72	0.51	0.36	0.05	0.02
	I 级	1.75	7.59	1.54	0.55	0.09	0.03	0.02	0	0
	II 级	1.85	2.18	6.90	1.60	0.27	0.11	0.04	0	0
	III 级	1.31	0.64	1.77	5.56	0.74	0.30	0.11	0.01	0
	IV 级	0.41	0.09	0.28	0.83	1.51	0.40	0.21	0.02	0
	V 级	0.31	0.05	0.09	0.29	0.37	1.23	0.52	0.04	0.01
轻度 侵蚀	VI 级	0.62	0.03	0.07	0.11	0.23	0.80	8.00	0.67	0.17
中度侵蚀		0.09	0	0	0.01	0.02	0.06	0.98	1.92	0.25
强度侵蚀		0.03	0	0	0.01	0	0.03	0.24	0.47	1.33

从表 1 可以看出,1990—2002 年研究区水力侵蚀强度变化特征主要是:侵蚀强度基本保持不变,强度减少很不明显。虽然有微度及轻度范围内高级向低级、中度向轻度以及强度向中度的转化,但也存在着某一级别向高级及低级的同等力转化(Ⅱ级侵蚀向高一級及低一级侵蚀的面积相当,分别为 2.02 km²及 2.18 km²;Ⅴ级侵蚀分别为 0.57 km²和 0.8 km²)。叠加分析 1990 年及 2002 年水力侵蚀模数,水力侵蚀模数减少的面积只略小于水力侵蚀模数增加的土壤面积。此期间,虽然研究区植被覆盖度得到了很大的提高,但是不明显的土地覆被变化使得 1990—2002 年期间的水力侵蚀强度基本保持不变。

表 2 2002—2011 年沙坡头保护区水力侵蚀强度转移矩阵 km²

2002 年		2011 年								
		无侵蚀	微度侵蚀			轻度侵蚀			中度侵蚀	强度侵蚀
			I 级	II 级	III 级	IV 级	V 级	VI 级		
微度 侵蚀	无侵蚀	62.74	6.72	4.21	2.92	0.97	0.71	0.90	0.14	0.07
	I 级	0.73	11.59	1.22	0.05	0.01	0.01	0.01	0	0
	II 级	0.90	7.21	4.12	0.63	0	0.01	0.02	0	0
	III 级	0.91	0.94	5.75	2.87	0.20	0.01	0.04	0	0
轻度 侵蚀	IV 级	0.39	0.04	0.26	2.52	0.64	0.11	0.03	0	0
	V 级	0.29	0.03	0.21	0.78	0.99	1.06	0.15	0.01	0
	VI 级	0.37	0.01	0.05	0.27	0.27	0.83	8.69	0.13	0.03
中度侵蚀		0.04	0	0	0	0.02	0.08	1.10	1.95	0.02
强度侵蚀		0.01	0	0	0	0	0	0.10	0.48	1.20

从表 2 中可以看出 2002—2011 年水力侵蚀强度总体减小,主要表现为微度及轻度范围内高一級向低一级的转移(由Ⅱ级转为Ⅰ级的 7.21 km²),轻度向微度、中度向轻度(1.10 km²)以及强度向中度(0.48

km^2) 的转移,局部地区侵蚀强度增加,主要是由于沙地转化为用材林所致的可蚀土壤面积的增加。此段时间水力侵蚀明显减少的主要原因是其他土地覆被类型向用材林和栽培作物类型的转变使得研究区的植被覆盖度得到了明显的提高所致。

3.1.3 土壤水力侵蚀与土地覆被关系 综合比较 1990 年、2002 年和 2011 年各土地覆被类型的水力侵蚀模数(图 3),可以看出 1990—2002 年用材林及防护林水力侵蚀模数基本没有变化,由于栽培作物和灌丛在此期间的植被覆盖度有较大的提高,所以这两种土地覆被类型水力侵蚀强度减弱;草地面积减少,出现退化,植被覆盖度也相应降低,所以水力侵蚀模数增加。在 2002—2011 年,防护林、栽培作物基本保持不变,草地、灌丛及用材林由于植被覆盖度的大幅提高水力侵蚀模数明显降低。在 1990—2011 年的 20 a 间,保护区的水力侵蚀模数明显降低,除防护林基本维持稳定外,其余各土地覆被类型下水力侵蚀模数均明显降低。

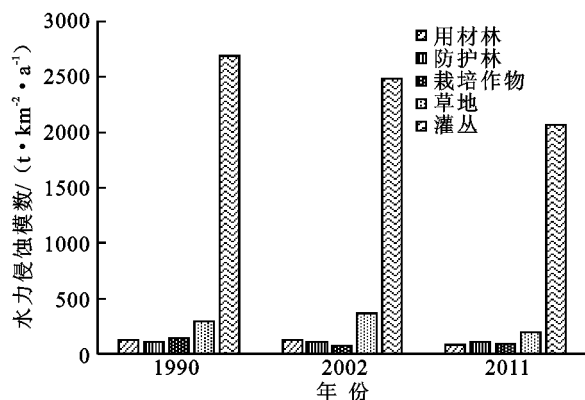


图 3 不同年份、不同土地覆被类型下水力侵蚀情况

从土地覆被类型来看,灌丛类型的侵蚀模数要远远高于其他几种土地覆被类型,约为数十倍,其次是草地,最后是林地(防护林和用材林);栽培作物波动较大(1990 年高于林地,2002 年及 2011 年小于林地)。

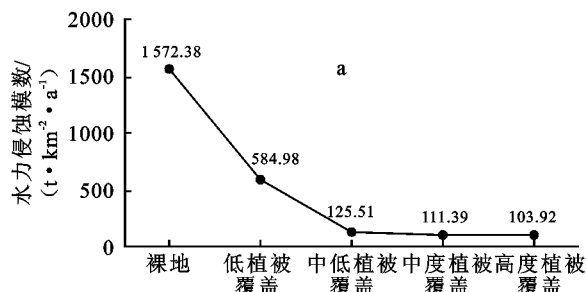


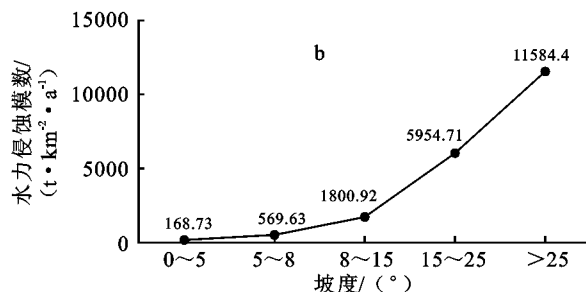
图 4 沙坡头保护区不同植被覆盖度及不同坡度下土壤水力侵蚀情况

3.2 土壤水力侵蚀区域空间/类型差异

研究区总体地势比较平缓,在边缘区坡度变化较明显,而植被覆盖状况在空间上存在比较明显的差异。按照植被覆盖度和坡度对研究区的水力侵蚀进行空间差异化分析,以便为研究区不同区域或不同类型区水土保持措施提供依据。研究区总体植被覆盖度较低,并且自然植被和人工植被兼有,按照这种实际情况将 2011 年沙坡头保护区的植被覆盖程度分为 5 级:裸地(植被覆盖率 $< 10\%$)、低植被覆盖度($10\% \sim 30\%$)、中低植被覆盖度($30\% \sim 45\%$)、中度植被覆盖度($45\% \sim 60\%$)、高植被覆盖度($> 60\%$);将坡度分为 5 级: $0^\circ \sim 5^\circ$, $5^\circ \sim 8^\circ$, $8^\circ \sim 15^\circ$, $15^\circ \sim 25^\circ$, $> 25^\circ$,并分别统计了不同植被覆盖度和不同坡度下 2011 年沙坡头保护区水力侵蚀的分布状况,结果见图 4a, b。

从图 4a 中可以看出,水力侵蚀模数与植被覆盖度密切相关,随着植被覆盖度的增加,水力侵蚀模数逐渐减小,裸地和低植被覆盖度的水力侵蚀模数分别为 1572.38 和 $584.98 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于轻度侵蚀;中低度植被覆盖度、中度植被覆盖度和高度植被覆盖度的水力侵蚀模数分别为 125.51 , 111.39 , $103.92 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于微度侵蚀;裸地与低植被覆盖度的侵蚀量占到总侵蚀量的 91.99% ,中低植被覆盖度、中度植被覆盖度和高度植被覆盖度下水力侵蚀模数明显较低。

从图 4b 中可以看出,水力侵蚀模数随着坡度增加有增加的趋势。坡度为 $0^\circ \sim 5^\circ$ 时,水力侵蚀模数是 $168.73 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于微度侵蚀;坡度为 $5^\circ \sim 8^\circ$ 和 $8^\circ \sim 15^\circ$ 时,水力侵蚀模数分别为 569.63 , $1800.92 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于轻度侵蚀;坡度为 $15^\circ \sim 25^\circ$ 时,水力侵蚀模数为 $5954.71 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,属于强烈侵蚀;当坡度 $> 25^\circ$ 时,水力侵蚀强度属于极强烈侵蚀。由于研究区 $> 25^\circ$ 地区面积只占到土壤水力侵蚀区的 0.08% ,所以水力侵蚀的主要发生在坡度为 $8^\circ \sim 25^\circ$ 区域。



4 结论与讨论

为了了解以沙坡头保护区为代表的干旱荒漠区土壤水力侵蚀情况,本文基于中国水土流失预报模型,运

用 RS, GIS 技术在研究区 TM 影像、土壤分类图、GDEM 数据以及气象数据的基础上分析了沙坡头保护区 1990—2011 年近 20 a 来水力侵蚀强度变化。

结果表明:(1) 水力侵蚀强度总体上呈现减弱趋

势。(2) 在时间演变过程中,水力侵蚀强度变化与土地覆被类型变化具有比较明显的相关性:1990—2002 年,土地覆被变化较少,水力侵蚀也基本保持不变,只有略微的降低;2002—2011 年,土地覆被变化明显,表现为沙地减少,水域、用材林和栽培作物面积增加,水力侵蚀虽有局部地区的增加,但总体呈现明显的降低。从植被类型来看,20 a 间灌丛、草地以及用材林的变化比较明显,一方面是由于植被生长引起植被覆盖度的增加所致,另一方面与人为因素的影响有关。(3) 空间类型上,水力侵蚀与植被覆盖度以及坡度具有密切的关系,水力侵蚀与植被覆盖度总体上呈负相关关系,而水力侵蚀与坡度之间总体上呈正相关关系。研究区内裸地和低植被覆盖度地区以及坡度在 $8^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 范围内是水力侵蚀比较严重的区域,是水力侵蚀防止的重点区域。

如果仅从水力侵蚀强度角度来看,沙坡头保护区应重点发展林地及栽培作物,并减少灌丛与草地的面积以降低区域水力侵蚀,但从研究区所在的生态系统综合考量,因其位于腾格里沙漠东南缘的干旱荒漠区,水资源是发展林地和栽培作物的重要制约因子,大力发展林地和栽培作物可能会导致地下水位下降和土壤盐渍化等问题;同时栽培作物受耕种季节影响,一个年度内的植被覆盖度变化很大,具有不稳定性;此外,对于沙坡头保护区来说,其主要功能体现在生物多样性保护和防风固沙,低覆盖度的灌丛和草地大多为适应于干旱半干旱气候的本地种甚至是特有种,因此在水土保持实践中须充分考虑到保护区主要功能和减少水力侵蚀之间的矛盾权衡,该问题值得进一步深入研究。此外,研究区面积较小,由于资料可获得性限制,本研究采用了 30 m 分辨率的 TM 影像,以及 30 m 的 GDEM 数据和 1:50 000 土壤分类图,如果在更高分辨率影像以及 DEM 数据和更大比例尺的土壤分类图的支持下可能会更精准。

参考文献:

- [1] 高峰,华瑾,卢远,等. 基于 GIS 和 USLE 的钦江流域土壤侵蚀评估[J]. 水土保持研究,2014,21(1):18-22,28.
- [2] 程先富,余芬. 安徽省土壤侵蚀空间分布及其与环境因子的关系[J]. 地理研究,2010,29(8):1461-1470.
- [3] 吴启蒙,朱志玲,吴咏梅,等. 宁夏水土保持的产业影响评价[J]. 水土保持研究,2012,19(4):116-121,295.
- [4] 杨子生,贺一梅,李云辉,等. 近 40 a 来金沙江南岸干热河谷区的土地利用变化及其土壤侵蚀治理研究:以云南宾川县为例[J]. 地理科学进展,2004,23(2):16-26.
- [5] 赵士洞,张永民. 生态系统评估的概念、内涵及挑战:介绍《生态系统与人类福利:评估框架》[J]. 地球科学进展,2004,19(4):650-657.
- [6] 姜琳,边金虎,李爱农,等. 岷江上游 2000—2010 年土壤侵蚀时空格局动态变化[J]. 水土保持学报,2014,28(1):18-25,35.
- [7] 梁音,潘贤章,孙波. 42 a 来兴国县土壤侵蚀时空变化规律研究[J]. 水土保持通报,2006,26(6):24-27,71.
- [8] 陈亚宁. 干旱荒漠区生态系统与可持续管理[M]. 北京:科学出版社,2009:23-35.
- [9] 王涛,陈广庭,赵哈林,等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展[J]. 中国沙漠,2006,26(4):507-516.
- [10] 王燕,王萍. 风蚀预报系统(WEPS)在民勤荒漠地区的应用分析研究[J]. 干旱区地理,2013,36(1):109-117.
- [11] 刘迺发,郝耀明,吴洪斌. 宁夏沙坡头国家级自然保护区二期综合科学考察[M]. 兰州:兰州大学出版社,2011.
- [12] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning [M]. Washington D C:United States Department of Agriculture,1978.
- [13] Renard G K, Foster G R, Yoder D C, et al. RUSLE revisited: Status, questions, answers, and the future [J]. Journal of Soil Water Conservation,1994,49(3):213-220.
- [14] 章文波,刘宝元. 基于 GIS 的中国土壤侵蚀预报信息系统[J]. 水土保持学报,2003,17(2):89-92.
- [15] 戴海伦,苑爽,张科利,等. 贵州省降雨侵蚀力时空变化特征研究[J]. 水土保持研究,2013,20(1):37-41.
- [16] 孙立达,孙保平,陈禹,等. 西吉县黄土丘陵沟壑区小流域土壤流失量预报方程[J]. 自然资源学报,1988,3(2):141-153.
- [17] Sharply A N, J R Williams. EPIC: Erosion/Productivity Impact Calculator;1. Model Documentation[R]. USA:Department of Agriculture,1990.
- [18] 陈晓安,蔡强国,张利超,等. 黄土丘陵沟壑区不同雨强下坡长对坡面土壤侵蚀的影响[J]. 土壤通报,2011,42(3):721-725.
- [19] 魏天兴,朱金兆. 黄土残塬沟壑区坡度和坡长对土壤侵蚀的影响分析[J]. 北京林业大学学报,2002,24(1):59-62.
- [20] 许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.
- [21] 王晓辉. 巢湖流域非点源 N,P 污染排放负荷估算及控制研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2006.
- [22] 王万忠,焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J]. 水土保持通报,1996,16(5):1-20.
- [23] 马超飞,马建文,布和散斯尔. USLE 模型中植被覆盖因子的遥感数据定量估算[J]. 水土保持通报,2001,21(4):6-9.