

基于 GIS 与 RS 的杨凌区土壤侵蚀时空变异性研究

张养安¹, 张鑫², 江仕嵘²

(1. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 土壤侵蚀是破坏黄土高原地区土地资源的重要因素, 为深入了解黄土高原杨凌区水土流失现状, 分析其土壤侵蚀空间分布规律及其时空变异性, 基于 GIS 和 RS 技术, 运用通用土壤流失方程(USLE)评估杨凌区侵蚀强度以及杨凌区土壤侵蚀的时空变异性。结果表明: 杨凌区土壤侵蚀主要以微度侵蚀和轻度侵蚀为主, 从 2010—2014 年间, 土壤各级侵蚀强度所占比例基本稳定。分析土壤侵蚀与坡度和高程之间的关系表明, 杨凌区 <15° 的缓坡地以微度和轻度侵蚀为主, 随着坡度的增加轻度侵蚀减少, 强烈、极强烈和剧烈侵蚀所占比例有所增加。各土壤侵蚀强度面积随着高程的增加呈先增大后减少的趋势, 其峰值多分布在 500~550 m 高程带。

关键词: 土壤侵蚀; GIS; RS; USLE

中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2018)06-0130-04

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.020

Spatiotemporal Variability of Soil Erosion in Yangling District Based on GIS and RS

ZHANG Yang'an¹, ZHANG Xin², JIANG Shirong²

(1. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Soil erosion is an important factor in destroying land resources in the Loess Plateau. In order to understand the current situation of soil erosion in Yangling District of the Loess Plateau, the temporal and spatial distributions of soil erosion were analyzed using GIS and RS techniques. The General Soil Loss Equation (USLE) was also used to evaluate the erosion intensity and its temporal and spatial variability. The results showed that the soil erosion in Yangling District was mainly dominated by slightly erosion and mild erosion. From 2010 to 2014, the proportion of soil erosion intensity was basically stable. The relationships between soil erosion and slope and elevation indicated that the gentle slope of less than 15° in Yangling District was dominated by slight and light erosion. With the increases of slope, the slight erosion decreased, and the ratios of strong, extremely intense and severe erosions increased. The areas of soil erosion intensity showed a trend of decreasing with the increase of elevation, and the peaks were mostly distributed in the 500~550 m elevation zone.

Keywords: soil erosion; GIS; RS; USLE

黄河中游的黄土高原地区存在着严重的土壤侵蚀问题, 导致该地区水土流失严重, 生态环境脆弱, 限制了黄土高原地区农业和经济的发展, 因此该区的土壤侵蚀治理研究一直是国内外学者研究的重点。常用的通用土壤流失方程(USLE)是美国研制的主要用于研究由降雨引起的水动力土壤侵蚀预报模型^[1-2], 在定量评价土壤侵蚀强度、土地资源合理利用和水土保持规划等方面起到了重要的作用, 且模型结构简单, 所需数据量少, 结果可靠, 在国内外得到广泛的应用^[3-4]。

土壤侵蚀与降水、土壤、植被、土地利用类型、地貌等因素密切相关, USLE 模型在不同的地域、时间

范围内其侵蚀因素的权重不同, 而 GIS 和 RS 技术是这些数据处理的绝佳工具^[5]。陆建忠等^[6]将 RS、GIS 和通用土壤流失方程(USLE)相结合对鄱阳湖流域土壤侵蚀空间分布及侵蚀强度进行分析, 并提出了针对研究区的水土保持规划措施; 赵磊等^[7]基于 GIS 的空间分析功能结合 USLE 模型估算了滇池宝象河小流域土壤侵蚀量, 为控制研究区非点源污染提供依据; Abdulkareem 等^[8]基于 GIS 的 USLE 模型研究土地利用方式和植被覆盖度对土壤侵蚀速率的影响并预测预测和评估土壤侵蚀。

基于上述研究, 本研究采用通用土壤流失方程

(USLE)结合 GIS 和 RS 技术,估算黄土高原南部地区土壤侵蚀量及侵蚀强度分布状况,分析土壤侵蚀强度时空变异特征及其规律,以期为黄土高原地区布设水土保持措施、改善生态环境提供理论支持与科学参考。

1 研究区概况

杨凌区(34°14′—34°20′N, 107°56′—108°08′E)位于陕西黄土高原南部、关中平原西部,东与武功县相邻,西倚扶风县,南濒渭河,与眉县、周至县相接,北与武功县、扶风县接壤。全区总面积 135 km²,地势总体平缓,呈现北高南低,西高东低。杨凌区属暖温带半湿润半干旱气候区,降雨多集中在夏秋季,年均降水量为 637 mm,年均气温 13 ℃。境内塬、坡、滩地交错,土壤肥沃,适宜多种农作物生长。

2 研究方法

2.1 数据来源

降雨量数据来源于西北地区气象站点;土壤数据来自陕西省土壤图,经数字化所得;高程数据为 ASTER GDEM V2(30 m 空间分辨率 DEM,中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台 <http://www.gscloud.cn>);遥感影像为 20 景 Landsat8-OLI(30 m 空间分辨率,美国地质调查局 USGS<https://www.usgs.gov>);土地利用数据来源于 30 m 遥感影像提取。

2.2 USLE 模型选择

本研究选择通用土壤流失方程(USLE)来计算杨凌区土壤侵蚀,并据此评估杨凌区土壤侵蚀时空变异,其表达式为^[1]:

$$A=R \cdot K \cdot LS \quad (1)$$

式中: A 为单位面积内年平均土壤流失量($t/hm^2 \cdot a$); R 为降雨侵蚀力因子; K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为植被覆盖与作物管理因子; P 为水土保持措施因子。

2.3 降雨侵蚀力因子 R

降雨侵蚀力因子 R 反映了降雨对土壤的潜在侵蚀能力。本文采用修订 Fournier 指数^[9]计算:

$$R=a \times MF \quad (2)$$

$$MFI=\sum_{i=1}^{12} i \quad (3)$$

式中: a, b 为气候带决定常数; i 为月份; P_i 为月降雨量(mm); P 为年降雨量(mm)。根据杨凌区的降雨量与土壤流失量情况,并结合气候环境与地理位置,参考王文娟等^[10]的研究成果, a 取值 4.17, b 取值 -152。

2.4 土壤可蚀性因子 K

土壤可蚀性因子 K 反映了不同土壤的侵蚀强度。土壤质地越粗或越细, K 值越低;土壤质地越适中则 K 值越高,其计算方法主要包括诺谟图法、公式法及查表法等^[11]。本文采用 Kirkb 建立的 K 值系数

表,查询各土壤剖面表层土 K 值,乘以修正系数 0.1317^[2,12],结果见表 1。

表 1 土壤可蚀性因子 K 值

编号	土壤类型	土壤可蚀性因子 $K/(t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1})$	文献作者
1	新积土	0.0314	任宗萍 ^[13]
2	褐土	0.0398	张鹏宇等 ^[14]
3	黄绵土	0.0348	任宗萍 ^[13]
4	潮土	0.0477	邹丛荣 ^[15]
5	水稻土	0.0671	刘文耀 ^[16]

2.5 坡长坡度因子 LS

坡长因子 L 和坡度因子 S 分别指在特定条件下,单位面积一定坡长/坡度土壤侵蚀量与标准坡长/坡度侵蚀量之比,常通过 DEM 计算获得。

坡长因子采用 Wischmeier 等公式^[1]:

$$L=\lambda/22 \quad (4)$$

式中: λ 为坡长; m 为坡长指数。 m 取值范围: $m=0.35$ (坡度 $\geq 27.5^\circ$); $m=0.30$; ($22.5^\circ \leq$ 坡度 $< 27.5^\circ$); $m=0.25$ ($17.5^\circ \leq$ 坡度 $< 22.5^\circ$); $m=0.2$ ($12.5^\circ \leq$ 坡度 $< 17.5^\circ$); $m=0.15$ ($7.5^\circ \leq$ 坡度 $< 12.5^\circ$); $m=0.10$ (坡度 $< 7.5^\circ$)。

坡度因子采用分段研究法,缓坡(坡度 $1 < 0^\circ$)采用 Don 等^[17]的公式,陡坡(坡度 $\geq 10^\circ$)采用 Liu 等^[18]提出的公式。

$$\begin{cases} S=10.8 \times \sin \theta + 0.03 & \theta < 5^\circ \\ S=16.8 \times \sin \theta - 0.5 & 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ S=21.91 \times \sin \theta - 0.96 & \theta \geq 10^\circ \end{cases} \quad (5)$$

2.6 植被覆盖与作物管理因子 C

植被覆盖与作物管理因子 C 是指在特定条件下,有植被覆盖或田间作物管理的土壤流失量与连续闲置的土壤总流失量之比,反映植被覆盖对土壤侵蚀的作用^[19]。本文利用 Landsat 8-OLI 遥感影像通过归一化植被指数和像元二分模型近似估算植被覆盖度^[20]:

$$VFC=(NDVI-NDVI_{soil})/(NDVI_{veg}-NDVI_{soil}) \quad (6)$$

式中: VFC 为植被覆盖度; $NDVI$ 为像元植被指数; $NDVI_{soil}$ 为裸土或无植被覆盖指数; $NDVI_{veg}$ 为完全被植被覆盖区域指数。参考蔡崇法等^[21]建立的 VFC 与 C 的函数关系计算 C 值。

$$\begin{cases} C=1 & VFC=0 \\ C=0.6508-0.3436 \times \log c & 0 < VFC < 78.3\% \\ C=0 & VFC > 78.3\% \end{cases} \quad (7)$$

2.7 水土保持措施因子 P

水土保持措施因子 P 指采用水土保持措施的土壤侵蚀量与顺坡种植条件下侵蚀量之比,其值为 0~1。本研究中,土地利用类型分类和 P 值的确定参考

钟德燕^[22]的研究成果,见表 2。

表 2 水土保持措施因子 P 值

编号	土地利用类型	P 值	编号	土地利用类型	P 值
1	水浇地	0.2	5	未利用地	1
2	旱地	0.5	6	水域	0
3	林地	0.7	7	住宅用地	0
4	草地	0.9			

3 结果与分析

3.1 2010—2014 年土壤侵蚀状况

将 USLE 模型中各因子在 Arc GIS 10.2 中进行栅格相乘,所得土壤侵蚀强度图单位为英制,将其转化为公制单位,并按照水利部颁布的 SL 190—2007 分级标准进行分类,获得杨凌区土壤侵蚀强度分级图(图 1)。

从图 1 可以看出,杨凌区 2010—2014 年内侵蚀强度主要为微度和轻度侵蚀。根据杨凌区土壤侵蚀强度统计结果(表 3)可知,2010—2014 年微度侵蚀面积分别为 88.51,76.74,95.81,92.08,85.72 km²,分别占总面积的 65.56%,56.84%,70.97%,68.20%,63.50%;轻度侵蚀面积分别为 29.53,26.53,27.70,27.40,29.45 km²,分别占总面积的 21.87%,19.66%,20.52%,20.30%,21.82%;中度侵蚀面积分别为 9.53,13.01,7.92,8.53,10.12 km²,分别占总面积的 7.06%,9.63%,5.86%,6.32%,7.50%;而 2010—2014 年研究区内强烈、极强烈和剧烈侵蚀总面积仅为 7.40,18.71,3.70,6.95,9.68 km²,分别占总面积的 5.49%,13.86%,2.73%,5.24%,7.18%。

3.2 坡度与侵蚀的关系

根据杨凌区 30 m DEM 数据得到的研究区坡度分布情况,将坡度栅格图层重分类为 <2°,2°~5°,5°~15°,15°~35°, >35° 5 个坡度带,然后与土壤侵蚀强度栅格图层进行叠加分析,得到研究区不同坡度等级下的土壤侵蚀强度空间分布情况(图 2)。

从图 2 可以看出,土壤侵蚀主要分布在平原(<2°)、缓坡地(2°~5°)和斜坡(5°~15°)这 3 个坡度较缓的坡度带,在这个坡度范围内各级土壤侵蚀强度面积均有增加的趋势。由于陡坡(15°~35°)的面积为 11.18 km²,仅占总面积的 8.4%,峭坡和垂直壁(>35°)的面积仅有 0.39 km²,占总面积的 0.3%,因而当坡度逐渐增加时,各级土壤侵蚀强度面积开始减少。

不同坡度带的各级土壤侵蚀面积占比也有所不同,当坡度为平原(<2°)、缓坡地(2°~5°)和斜坡(5°~15°)时,侵蚀强度主要以微度侵蚀为主,分别占总面积的 20.30%,19.73%,21.46%,极强烈和剧烈侵蚀仅占很小一部分,二者之和占总面积的 0.02%,

0.05%,0.40%,而当坡度增加时微度侵蚀占比逐渐减少,极强烈和剧烈侵蚀成为主要侵蚀。

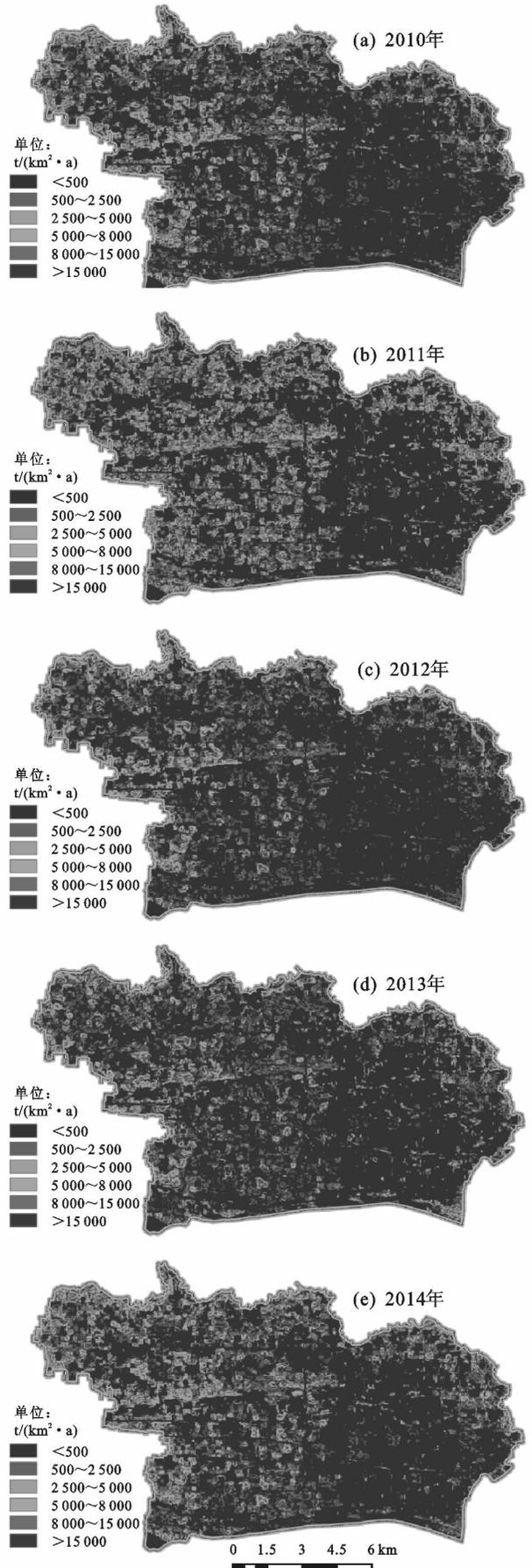


图 1 2010—2014 年杨凌区土壤侵蚀强度分级

表 3 杨凌区不同年际土壤侵蚀强度统计状况

单位: %

年份	微度	轻度	中度	强烈	极强烈	剧烈
	(<500	(500~2500	(2500~5000	(5000~8000	(8000~15000	(>15000
	$t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)					
2010	65.56	21.87	7.06	3.34	1.96	0.19
2011	56.84	19.66	9.63	5.07	5.63	3.16
2012	70.97	20.52	5.86	1.98	0.64	0.11
2013	68.20	20.30	6.32	2.46	1.53	1.25
2014	63.50	21.82	7.50	4.04	2.66	0.48

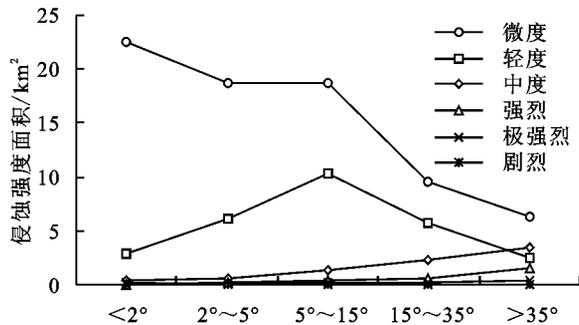


图 2 不同坡度带的土壤侵蚀强度

3.3 海拔与侵蚀的关系

根据实际海拔情况将杨凌区 30 m DEM 数据重分类为 <450, 450~500, 500~550, 550~600, >600 m 5 个海拔带, 然后与土壤侵蚀强度栅格图层进行叠加分析, 得到研究区不同海拔等级下的土壤侵蚀强度空间分布情况(图 3)。

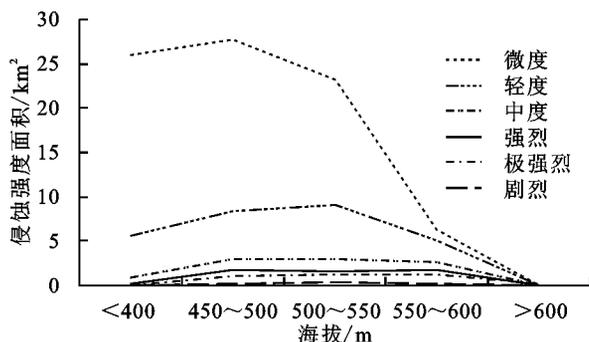


图 3 不同海拔带的土壤侵蚀强度

从侵蚀面积总体比例来看, 土壤侵蚀主要分布在海拔 <450, 450~500, 500~550 m 的海拔带, 其侵蚀面积分别占侵蚀总面积的 25.15%, 32.11%, 29.32%, 其次在 550~600 m 海拔带土壤侵蚀面积占总面积的 12.93%, 而在 >600 m 海拔带土壤侵蚀面积仅占 0.29%。分析不同海拔下各侵蚀强度分级状况, 根据图 3 可以看出, 微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈侵蚀面积均随着海拔的增加呈现先增大后减小的趋势。在海拔 <450 m 的微度侵蚀占该海拔带侵蚀面积的 79.89%, 而极强烈和剧烈侵蚀仅占 0.1%, 在海拔 >600 m 的微度侵蚀仅占 18.67%, 极强烈和剧烈侵蚀占 41.33%, 表明研究区内坡度较缓的海拔带主要以微度侵蚀为主, 随着海拔的增加侵蚀强度逐渐增强。

4 结论

(1) 杨凌区土壤侵蚀主要以微度和轻度侵蚀为主, 侵蚀强度从西北到东南逐渐递减, 且随着年际变化土壤侵蚀状况变化不显著;

(2) 从土壤侵蚀与坡度之间的关系表明, 杨凌区缓坡地以微度和轻度侵蚀为主要侵蚀, 随着坡度的增加, 各级土壤侵蚀强度呈先增加后减小的趋势, 5°~15°带为研究区主要侵蚀坡度段, 且随着坡度的增加轻度侵蚀占比减少, 强烈、极强烈和剧烈侵蚀占比有所增加;

(3) 分析土壤侵蚀与海拔之间的关系表明, 各土壤侵蚀强度面积随着海拔的增加呈先增大后减少的趋势, 其峰值大多分布在 500~550 m 海拔带。

参考文献:

- [1] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses[J]. USDA Agricultural Handbook, 1978, 537: 58.
- [2] 潘美慧, 伍永秋, 任斐鹏, 等. 基于 USLE 的东江流域土壤侵蚀量估算[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2154-2164.
- [3] 郭兵, 陶和平, 刘斌涛, 等. 基于 GIS 和 USLE 的汶川地震后理县土壤侵蚀特征及分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 118-126.
- [4] 高峰, 华璿, 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.
- [5] 宋根鑫, 翟石艳. 基于 GIS、RS 的黄土高原 USLE 模型改进方法[J]. 地理空间信息, 2009, 7(2): 48-50.
- [6] 陆建忠, 陈晓玲, 李辉, 等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 337-344.
- [7] 赵磊, 袁国林, 张琰, 等. 基于 GIS 和 USLE 模型对滇池宝象河流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持通报, 2007, 27(3): 42-46.
- [8] Abdulkareem J H, Pradhan B, Sulaiman W N A, et al. Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed[J]. Geoscience Frontiers, 2017.
- [9] Nyssen J, Vandenreyken H, Poesen J, et al. Rainfall erosivity and variability in the Northern Ethiopian Highlands [J]. Journal of Hydrology, 2005, 311(1/4): 172-187.

- 2015,127:64-71.
- [24] 党廷辉, 戚龙海, 郭胜利, 等. 旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3):573-577.
- [25] 杨振兴, 周怀平, 关春林, 等. 长期秸秆还田对旱地土壤硝态氮分布与累积的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28(3):179-182.
- [26] 张艳艳, 唐泽军. PAM 调控土壤养分元素迁移与流失试验研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(4):33-39.
- [27] 李映廷, 刘双营, 赵秀兰, 等. 秸秆—膨润土—聚丙烯酰胺对砂质土壤吸附氮素的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7):111-116.
- [28] 袁耀, 郭建斌, 尹诗萌, 等. 自制环保型土壤改良剂对一年生黑麦草生长的作用[J]. 草业学报, 2015, 24(10):206-213.
- [29] Paula F S, Tatti E, Abram F, et al. Stabilisation of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment [J]. Journal of Environmental Management, 2017, 196:476-486.
- [30] 郑亚楠, 赵铭钦, 贺凡, 等. 聚丙烯酸盐类改良剂对土壤理化性状及烤烟根系生长的影响[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(2):39-44.
- [31] 张莉, 王婧, 逢焕成, 等. 秸秆颗粒还田对土壤养分和冬小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(12):1770-1778.
- [32] 赵宏魁, 马真, 张春辉, 等. 种植密度和施氮水平对燕麦生物量分配的影响[J]. 草业科学, 2016, 33(2):249-258.
- (上接第 71 页)
- [9] 邓超月, 胡程耀, 霍冀川. 羟丙基甲基纤维素对碳纤维增强环氧树脂力学性能的影响[J]. 塑料科技, 2016, 44(3):31-35.
- [10] 齐伟明, 张莉, 王敏珠, 等. 分光光度法测定角膜接触镜护理液中的羟丙基纤维素[J]. 光谱实验室, 2012, 29(1):206-209.
- [11] 许伯慧, 郭丽慧, 徐洪玲. 氢氯噻嗪 HPMC 骨架片释药机制影响因素研究[J]. 中国现代应用药学, 2010, 27(6):527-531.
- [12] Fan N, He Z, Ma P, et al. Impact of HPMC on inhibiting crystallization and improving permeability of curcumin amorphous solid dispersions [J]. Carbohydrate Polymers, 2018, 181(1):543-550.
- [13] 谭帅, 周蓓蓓, 王全九. 纳米碳对扰动黄绵土水分入渗过程的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2):263-269.
- [14] Li L, Shan H, Yue C Y, et al. Thermally induced association and dissociation of methylcellulose in aqueous solutions [J]. Langmuir, 2002, 18:7291-7298.
- [15] 吴军虎, 陶汪海, 王海洋, 等. 羧甲基纤维素钠对土壤团粒结构及水分运动特性的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(2):117-123.
- [16] 贾晓辉, 沈青. 羟丙基甲基纤维素的流变性质及热凝胶化行为[J]. 纤维素科学与技术, 2008(3):48-53.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [18] 王小红, 杨智杰, 刘小飞, 等. 中亚热带山区土壤不同形态铁铝氧化物对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(9):2588-2596.
- [19] 赵文智, 刘志民, 程国栋. 土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J]. 土壤学报, 2002, 39(6):877-881.
- [20] Van Bavel C H. Meanweight-diameter of soil aggregates as a statistica lindex of aggregation [J]. Soil Science Society of America Journal, 1949, 14:20-23.
- (上接第 133 页)
- [10] 王文娟, 张树文, 李颖, 等. 基于 GIS 和 USLE 的三江平原土壤侵蚀定量评价[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(9):112-117.
- [11] 胡云华, 刘斌涛, 宋春风, 等. 基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4):232-236.
- [12] 梁音, 刘宪春, 曹龙熹, 等. 中国水蚀区土壤可蚀性 K 值计算与宏观分布[J]. 中国水土保持, 2013(10):35-40.
- [13] 任宗萍. 区域土壤侵蚀动态评价 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [14] 张鹏宇, 王全九, 周蓓蓓. 陕西省耕地土壤可蚀性因子 [J]. 水土保持通报, 2016, 36(5):100-106.
- [15] 邹丛荣. 沂蒙山区沂源县土壤可蚀性因子 (K) 研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [16] 刘文耀. 云南昭通盆地降雨侵蚀性与土壤可蚀性的初步研究[J]. 云南地理环境研究, 1999, 11(2):76-82.
- [17] Don K M, George R F, Mutchler C K, et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1989, 32:1571-1576.
- [18] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes [J]. Transactions of the ASAE, 1994, 37(6):1835-1840.
- [19] 冯强, 赵文武. USLE/RUSLE 中植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 生态学报, 2014, 34(16):4461-4472.
- [20] 吴志杰, 何国金, 黄绍霖, 等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. 遥感学报, 2017, 21(1):159-167.
- [21] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2):19-24.
- [22] 钟德燕. 基于 USLE 模型的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀研究 [D]. 陕西 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.