

# 基于黄土沉积速率的土壤侵蚀危险度评价

刘 刚<sup>1,2,3</sup>, 许文年<sup>1</sup>, 蔡崇法<sup>3</sup>, 刘普灵<sup>2</sup>, 杨明义<sup>2</sup>, 张 琼<sup>1</sup>

(1. 三峡大学 三峡库区生态环境教育部工程研究中心, 湖北 宜昌 443002;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,

陕西 杨凌 712100; 3. 华中农业大学 农业部 长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070)

**摘 要:**土壤侵蚀危险度是评估和预测侵蚀作用破坏土地资源和生态环境危险性的重要指标,也是科学防治水土流失的基础。利用<sup>14</sup>C 测年技术对陕北黄土高原黄土沉积速率进行研究,并通过计算土壤侵蚀模数与黄土沉积速率的比值,对该研究区的土壤侵蚀危险度进行评价。结果表明:洛川县、延长县和横山县采样点的黄土沉积速率分别为 0.017 9 cm/a、0.015 3 cm/a 和 0.021 3 cm/a,土壤侵蚀危险度分别为 14.1、43.3 和 24.8,均远远大于临界危险度值 1,因此该地区为水土流失重点防治区域。通过该项研究可以为水土保持治理及规划提供科学参考,并为环境治理决策部门提供理论依据。

**关键词:**<sup>14</sup>C 年龄; 黄土沉积速率; 土壤侵蚀速率; 容许土壤流失量; 全新世

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)02-0019-03

## Assessment of Soil Erosion Risk Based on Loess Deposition Rate

LIU Gang<sup>1,2,3</sup>, XU Wen-nian<sup>1</sup>, CAI Chong-fa<sup>3</sup>, LIU Pu-ling<sup>2</sup>, YANG Ming-yi<sup>2</sup>, ZHANG Qiong<sup>1</sup>

(1. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of

Education, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 2. State Key Laboratory of Soil

Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of

Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Key Lab of Farmland Conservation in the

Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Soil erosion risk is an important index for evaluation and prediction on risk of land resources and ecological environment which is destroyed by soil erosion, and also a basis for soil and water conservation. Radiocarbon dating method was used to examine loess deposition rate in north Shaanxi Province. And soil erosion risk in this area was assessed by the ratio of soil erosion modulus and loess deposition rate. The results indicated that the loess deposition rate in Luochuan, Yanchang, and Hengshan was 0.017 9 cm/a, 0.015 3 cm/a, and 0.021 3 cm/a, respectively. The soil erosion risks were 14.1, 43.3, and 24.8, individually, which were much larger than the critical value 1. Thus, the research area was an important region for soil and water conservation. This result could provide scientific references for management and programming of soil and water conservation, and theoretical basis for environmental treatment decision.

**Key words:** <sup>14</sup>C age; loess deposition rate; soil erosion rate; soil loess tolerance; the Holocene

水土流失所造成的资源与环境破坏是世界性的问题,中国黄土高原更是世界上水土流失最严重的地区之一。我国黄土高原地区水土流失分布范围广、面积大;侵蚀形式多样、类型复杂;治理难度大;因此,需针对不同区域的水土流失特征来制定不同的治理规划方案,并采取不同的治理措施来实现土地的可持续

利用,保护生态环境,发展区域经济。这就需要建立一种能够评估和预测侵蚀作用破坏土地资源和生态环境危险性的指标,并在此基础上提出科学防治水土流失的对策。

迄今已有许多研究<sup>[1-4]</sup>集中于土壤侵蚀强度的预测和确定上,但土壤侵蚀强度只能反映过去年平均土

收稿日期:2011-01-13

修回日期:2011-03-06

资助项目:湖北省教育厅自然科学基金项目(Q20111207, XD20100595);黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金(10501-1211);中国博士后科学基金(2011049162);三峡大学基金项目(KJ2009B033)

作者简介:刘刚(1982—),男,博士,副教授,从事水土保持与生态环境研究。E-mail:extreme0082000@yahoo.com.cn

壤侵蚀量,无法评价这种侵蚀作用破坏土壤和土地资源的危险性。例如,在某些地区虽然土壤侵蚀量不大,但在社会、经济和环境等方面造成的后果要比某些侵蚀强度大的地区严重的多;另外,土壤侵蚀强度也无法估测未来土壤侵蚀发生的可能性以及危害程度;因此,在判别土壤侵蚀强度的同时,应对土壤侵蚀危险程度进行评价。目前,土壤侵蚀危险度评价方法主要有以下 3 类<sup>[5]</sup>:土壤抗蚀年限评价法、土壤侵蚀危险度主导因子分级评价法和土壤侵蚀危险度模型评价法。这些方法以经验性或半定量评价为主,所得到的结果难以满足实际应用的需求。因此,应加强土壤侵蚀危险度定量评价方法的研究。利用<sup>14</sup>C 测年技术对陕北黄土高原黄土沉积速率开展研究,并通过计算土壤侵蚀模数与黄土沉积速率的比值,对该研究区的土壤侵蚀危险度进行评价。该项研究不仅可以为

水土保持治理及规划提供科学的参考,为水土保持方案的制定提供数据支撑,还可以为环境治理的决策部门提供理论依据。

## 1 材料与方法

黑垆土是中国土壤分类系统中特有的一个土壤类型<sup>[6]</sup>,在陕北黄土高原现仅存在于侵蚀轻微的塬面以及梁、峁顶部、沟头平坦地和川台地<sup>[7]</sup>。因此本文以陕北洛川县、延长县和横山县塬面土壤剖面为研究对象,对各剖面土壤年龄序列和黄土沉积速率进行研究。首先在陕北洛川县、延长县和横山县塬面分别选择采样点,并设置 LC、YC 和 HS 三个剖面,深度均为 2.0 m。用剖面刀对各剖面进行整理,使得剖面各发生层清晰可见,接着用皮尺测量各发生层的深度,同时观察各发生层特征,并作记录、拍照,其特征如表 1 所示。

表 1 土壤剖面特征

剖面	发生层	深度/cm	特征描述
LC	耕作层(Ap)	0—25	淡灰棕色(10YR7/3),黏壤土,屑粒状结构,较疏松,根系多,石灰反应较强
	黑垆土层(Ah)	25—80	暗褐色(7.5YR3/3),壤黏土,拟棱柱状结构,结构面上被覆有暗棕色铁锰胶膜,发亮,较紧实,有虫孔及蚯蚓粪便,有假菌丝状石灰淀积,少量根系,石灰反应较弱
	过渡层(A/B)	80—100	杂有棕褐色土块,颜色不均一,黏壤土,碎块状结构,较疏松,有石灰假菌丝体,有个别根系,强石灰反应
	石灰淀积层(Bk)	100—125	浅灰褐色(7.5YR5/3),黏壤土,块状结构,有多量石灰菌丝体和少量粒状石灰结核,较紧实,有个别根系,强石灰反应
	母质层(C)	125—200	黄棕色(10YR8/4),黏壤土,碎块状结构,较疏松,有个别根系,强石灰反应
YC	耕作层(Ap)	0—30	淡灰棕色(10YR7/3),壤土,屑粒状结构,疏松,根系多,石灰反应较强
	黑垆土层(Ah)	30—50	暗褐色(7.5YR3/3),壤黏土,棱块状结构,紧实,有少量假菌丝状或霜粉状白色石灰淀积,少量根系,石灰反应较强
	过渡层(A/B)	50—90	灰棕色(10YR6/6),块状结构,黏壤土,多量白色石灰菌丝淀积,紧实,强石灰反应
	石灰淀积层(Bk)	90—140	灰黄色(2.5Y7/6),黏壤土,块状结构,有豆粒状或核状石灰结核,紧实,强石灰反应
	母质层(C)	140—200	淡黄色(2.5Y8/6),黏壤土,块状结构,紧实,强石灰反应
HS	耕作层(Ap)	0—70	淡灰黄色(2.5Y8/3),砂壤土,团块状,疏松,多孔隙,根系多,石灰反应较强
	黑垆土层(Ah)	70—120	灰褐色(10YR5/4),砂壤土,块状,稍紧实,有假菌丝体,少量根系,石灰反应较弱
	过渡层(A/B)	120—150	灰棕色(10YR6/6),砂壤土,块状,紧实,少量孔隙,少量根系,石灰反应较强
	石灰淀积层(Bk)	150—170	灰黄色(2.5Y7/6),砂壤土,块状结构,紧实,强石灰反应
	母质层(C)	170—200	淡黄色(2.5Y8/6),砂壤土,块状结构,紧实,石灰反应较弱

采集各剖面样品时,首先清理剖面表层土壤,防止被污染土壤混入样品中,然后以 10 cm 为一层,自上而下将各剖面分为连续的 20 层,接着用环刀在每一层采集土壤容重样品,用塑料铲采集土壤样品 500 g 左右装入密封袋中并编号带回实验室。本实验中所有采集土壤样品送至中国科学院地球环境研究所加速器质谱中心完成<sup>14</sup>C 年龄样品的处理及测量工作。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄土年龄序列及沉积速率

<sup>14</sup>C 测年技术是一种利用死亡生物体中<sup>14</sup>C 不断

衰变的原理进行测年的技术,近些年来在土壤学中得到了广泛的应用<sup>[8-10]</sup>。它可以为近 5 万年以来的土壤提供精确、可靠的年代标尺,从而为土壤年龄序列的测定提供技术保障。本研究利用<sup>14</sup>C 测年技术建立了 LC、YC 和 HS 三个剖面的土壤年龄序列(图 1),测量误差值均介于 21~69 a,图中未标注。从图 1 中可以看出,在 3 个土壤剖面中<sup>14</sup>C 年龄与土壤深度表现出良好的线性关系,这与大多数学者的研究结果是一致的<sup>[11-13]</sup>,其斜率便为土壤的沉积速率。图 1 方程中  $Y$  为土壤<sup>14</sup>C 年龄(a), $H$  为土壤深度(cm),因此 LC、YC 和 HS 三个剖面全新世以来平均黄土沉积速率分

别为 0.017 9 cm/a,0.015 3 cm/a 和 0.021 3 cm/a。

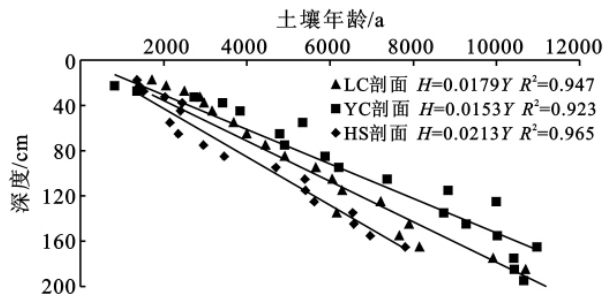


图 1 LC、YC 和 HS 剖面土壤年龄随深度变化及线性关系

2.2 土壤侵蚀危险度评价

有学者<sup>[14]</sup>提出以土壤侵蚀模数与成土速率之比作为土壤侵蚀危险度评价的标准:

$$V_{\text{dan}} = \frac{S_{\text{loss}}}{T_R} \tag{1}$$

式中: $S_{\text{loss}}$ ——土壤侵蚀模数 $[\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $T_R$ ——单位面积单位时间成土量 $[\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $V_{\text{dan}}$ ——危险度值,当该比值等于 1 时为土壤侵蚀危险度的临界值;大于 1 时表明土壤侵蚀危险,且比值越大危险程度越高;比值小于 1 时表明土壤侵蚀不危险,且比值越小,危险程度越低。该方法可以较容易地对土壤侵蚀危险度进

行定量评价。笔者认为土壤侵蚀模数与容许土壤流失量之比,则可以更好地反映土壤侵蚀的危险程度。但目前对于容许土壤流失量的研究还在探索之中,并且在土壤侵蚀剧烈的黄土高原地区,容许土壤流失量的确定仍应以保存土层厚度为主要指标<sup>[15]</sup>。因此,土壤侵蚀模数与黄土沉积速率之比在本研究区仍可以作为土壤侵蚀危险度评价的有效指标。

为便于计算,将黄土沉积速率换算为单位面积单位时间的沉积成土量:

$$T_R = F_R D_{\text{bulk}} \times 10^4 \tag{2}$$

式中:  $T_R$ ——单位面积单位时间的沉积成土量 $[\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \text{a})]$ ;  $F_R$ ——黄土沉积速率 $(\text{cm}/\text{a})$ ;  $D_{\text{bulk}}$ ——平均土壤容重 $(\text{g}/\text{cm}^3)$ ;  $10^4$ ——换算系数。

根据黄土沉积速率、土壤容重以及各地区多年平均土壤侵蚀模数(表 2),对各剖面所处地县的土壤侵蚀危险度进行计算,得出洛川县、延长县和横山县土壤侵蚀危险度分别为 14.1,43.3 和 24.8。总体上来看,陕北黄土高原的土壤侵蚀危险度均远远大于临界值 1,因此该地区土壤侵蚀危险度非常大,应成为今后水土流失防治的重点区域。

表 2 各地区土壤侵蚀危险度评价参数

地 区	黄土沉积速率/ ( $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$ )	平均土壤容重/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	黄土沉积速率/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	土壤侵蚀模数/ ( $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ )	土壤侵蚀 危险度值
洛川县	0.0179	1.33	238	3348	14.1
延长县	0.0153	1.36	208	9000	43.3
横山县	0.0213	1.48	315	7811	24.8

3 结 论

本研究通过在陕北洛川县、延长县和横山县塬面选择采样点并分别设置 LC、YC 和 HS 三个土壤剖面,利用<sup>14</sup>C 测年法建立了各剖面土壤年龄序列,得出 3 个地区全新世以来平均黄土沉积速率分别为 0.017 9 cm/a,0.015 3 cm/a 和 0.021 3 cm/a。

通过计算土壤侵蚀模数与黄土沉积速率的比值,可以定量评价区域及流域土壤侵蚀危险度。结果表明,洛川县、延长县和横山县土壤侵蚀危险度分别为 14.1,43.3 和 24.8,均远远大于 1,因此该地区为水土流失重点防治区域。

参考文献:

[1] Meyer L D. Evaluation of the universal soil loss equation [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1984, 39 (2):99-104.

[2] Laflen J M, Lwondard J L, Foster G R. WEPP a new generation of erosion prediction technology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991, 46(1):34-38.

[3] Branca M, Voltaggio M. Erosion rate in badlands of central Italy: Estimation by radiocaesium isotope ratio from Chernobyl nuclear accident[J]. Applied Geochemistry, 1993, 8(5):437-445.

[4] Darryl E, Granger, James W, et al. Spatially averaged long-time erosion rates measured from in situ-produced cosmogenic nuclides in alluvial sediment[J]. The Journal of Geology, 1996, 104(3):249-257.

[5] 刘刚,刘普灵,杨明义,等. 土壤侵蚀危险度评价研究进展[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5):100-105.

[6] Zhu Xianmo, Li Yushan, Peng Xianglin, et al. Soils of the loess region in China[J]. Geoderma, 1983, 29(3): 237-255.

[7] 郭兆元. 陕西土壤[M]. 北京:科学出版社, 1992.

[8] Brown R H. <sup>14</sup>C depth profiles as indicators of trends of climate and <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C ratio [J]. Radiocarbon, 1986, 28 (2A):350-357.

[9] Trumbore S. Age of soil organic matter and soil respiration: radiocarbon constraints on belowground C dynamics[J]. Ecological Applications, 2000, 10(2):399-411.

### 3 结论

本文提出以降雨侵蚀力为表征降雨—侵蚀背景的指标,对淮河流域近 60 a 降雨—侵蚀背景演变的时间、空间特征进行了分析。综合研究认为,淮河流域多年年均降雨侵蚀力为  $5\,269.12\text{ MJ}/(\text{mm} \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h})$ ,峰值分布在流域南部的大别山区,而谷值区域为流域西部。借助 Mann—Kendall 非参数检验,1951—2008 年间全流域内降雨—侵蚀背景未呈现显著增减趋势。

研究中还得到,近 60 a 间淮河流域内周口、大别山区以及蚌埠附近三个地区的降雨侵蚀力呈现显著上升趋势,北部鲁中南低山丘陵沿脉区域也呈现出一定上升趋势,也即上述地区的降雨—侵蚀背景逐渐增强。由于这里分布有国家级水土流失重点预防保护区(桐柏山—大别山区)、重点治理区(沂蒙山区)、主要的省级水土流失重点监督或治理区(如安徽省蚌埠南部等),因此以上区域应优先加强土壤侵蚀防治对未来降雨变化的适应研究。

#### 参考文献:

- [1] Morgan R P C. Soil erosion and conservation[M]. Oxford: Blackwell Publishing, 2005: 45-50.
- [2] Brown L C, Foster G R. Storm erosivity using idealized intensity distributions[J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 1987, 30(2): 379-386.
- [3] Van Dijk A I J M, Bruijnzeel L A, Rosewell C J. Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature review[J]. Journal of Hydrology, 2002, 261(1/4): 1-23.
- [4] 中国地面气象资料日值数据集[R/OL]. [2011-07-05]. [http://cdc.cma.gov.cn/shuju/index3.jsp?tpcat=SURF&dsid=SURF\\_CLI\\_CHN\\_MUL\\_DAY](http://cdc.cma.gov.cn/shuju/index3.jsp?tpcat=SURF&dsid=SURF_CLI_CHN_MUL_DAY)
- [5] 章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学, 2003, 25(1): 35-41.
- [6] Yue S, Pilon P, Cavadas G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series[J]. Journal of Hydrology, 2002, 259(1/4): 254-271.
- [7] Burn D H, Burn M A, Hag E. Detection of hydrologic trends and variability[J]. Journal of Hydrology, 2002, 255(1/4): 107-122.
- [8] Xu Z X, Takeuchi K, Ishidaira H. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation[J]. Journal of Hydrology, 2003, 279(1/4): 144-150.
- [9] Lukaszyk S. A new concept of probability metric and its applications in approximation of scattered data sets[J]. Computational Mechanics, 2004, 33(4): 299-304.
- [10] 魏义坤, 杨威, 刘静. 关于径向基函数插值方法及其应用[J]. 沈阳大学学报, 2008, 21(1): 7-9.
- [11] 马良, 左长清, 尹忠东, 等. 山东省降雨侵蚀力多年变化特征分析[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(4): 79-85.
- [10] Schmitt A, Rodzik J, Zglobicki W, et al. Time and scale of gully erosion in the Jedliczny Dol gully system, south-east Poland[J]. Catena, 2006, 68(2/3): 124-132.
- [11] Benoit G J, Turekian K K, Benninger L K. Radiocarbon dating of a core from Long Island Sound[J]. Estuarine and Coastal Marine Science, 1979, 9(2): 171-180.
- [12] Muhs D R. A soil chronosequence on quaternary marine terraces, San Clemente Island, California [J]. Geoderma, 1982, 28(3/4): 257-283.
- [13] Shen C D, Beer J, Ivy-Ochs S, et al.  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  distribution, and soil production rate in a soil profile of a grassland slope at Heshan Hilly Land, Guangdong[J]. Radiocarbon, 2004, 46(1): 445-454.
- [14] Kliment'ev A I, Tikhonov V E. Ecohydrological analysis of soil loss tolerance in agrolandscapes[J]. Eurasian Soil Science, 2001, 34(6): 673-682.
- [15] 陈奇伯. 宁南黄土丘陵区坡耕地水土流失对土地生产力影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2001.

(上接第 21 页)