

西藏高原东部矮西沟流域土壤可蚀性研究

辜世贤¹, 王小丹², 刘淑珍²

(1. 湛江师范学院, 广东 湛江 524048; 2. 中国科学院 成都山地灾害与环境研究所 山地环境演变与调控重点实验室, 成都 610041)

摘 要:藏东矮西沟流域水土流失严重, 土壤抗侵蚀能力差, 是金沙江上游大量泥沙的主要来源之一。对研究区的土壤可蚀性的研究, 无论是对草地和耕地的保护, 还是对金沙江泥沙量的缓减, 都具有重大的现实意义, 是水土保持工作的基础。该文通过调查研究土壤抗侵蚀能力与土壤侵蚀特征, 利用大量的实测资料, 比较研究了 3 种 K 值模型估算值的数值特征, 与调查结果的相关性以及估算值取值范围的可靠性, 确定了西藏高原东部土壤 K 值的最优估算模型为通用流失方程 K 因子模型, 不同土壤的 K 值大小顺序为灰褐土 > 高山草甸土 > 棕壤 > 暗棕壤, 流域 K 值的平均值为 0.005, 在全国范围内较小。

关键词:金沙江上游; 土壤可蚀性; 模型法

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)01-0077-05

The Preliminary Research on the Model Method of Soil Erodibility in the Aixigou Watershed of Jinsha River

GU Shi-xian¹, WANG Xiao-dan², LIU Shu-zhen²

(1. Zhanjiang Normal University, Zhanjiang, Guangdong, 524048, China; 2. Key Laboratory of Mountain Environment and Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu, 610041)

Abstract: In the Aixigou watershed of the Jinsha River, its production capability is backward, soil and water loss is heavy and the anti-erosion ability of soil is not good, all of which cause the Aixigou watershed the main sediment provider of the upper reaches in the Jinsha River. The study on the soil erodibility factor K is the foundation of the soil and water conservation in that area, not only could help to conserve the soil loss of the grassland and farmland, but also could help to reduce the sediment in the Jinsha River. Based on the investigation results of the soil anti-erosion ability and soil erosion characteristics, this paper compared 3 kinds of classical model methods of soil erodibility using various field investigation data. The digital feature, the relationship between the predicted value and the field investigated value and the reliability of the predicted value span were comparative studied. As a result, the best model for soil erodibility estimation in the study area was the USLE- K model, the K value order of different soils was grey cinnamonic soil > alpine meadow soil > brown soil > dark brown forest soil, and the average K value of the watershed was 0.005 which was low around the country.

Key words: upper reaches of Jinsha River; soil erodibility; model method

土壤可蚀性反映土壤在雨滴击溅、径流冲刷或者两者共同作用下, 被分散、搬运的难易程度。土壤可蚀性因子是指在长时间段内, 土壤及土壤剖面对降雨侵蚀力抗蚀程度的平均反映。实际上土壤可蚀性因子是一个综合参数。可蚀性因子值的大小是在通用流失方程中所规定的标准条件下, 土壤对各种侵蚀和

水动力过程的平均敏感程度的具体反映。确定土壤可蚀性因子的最好办法是在天然小区上直接测定。用田间小区研究土壤 K 值时, 必须有足够大且观测历时较长的数据库资料。目前有长期观测资料的研究不多。其实, 在自然状态下, 土壤类型十分丰富, 而具体的土地利用方式也会改变土壤的可蚀性特征。

因此,难以实现对每一种土壤都实施观测,人力物力还是时间上都存在很大的现实问题。所以,大量的研究都是通过获得一组可靠的实测土壤可蚀性资料后,通过建立预测模型进行估算可蚀性。

研究区矮西沟流域位于江达县岗托镇,介于东经 98°27′—98°36′,北纬 31°28′—31°39′。流域呈长条形,面积 164.23 km²。流域内相对高差为 1 600 多米,属典型的高山峡谷地貌,山体与峡谷并存,下游山高坡陡,河谷深。由于特殊的自然环境,流域内土壤垂直分布明显,依次为:高山草甸土、高山灌丛草甸土、棕壤、暗棕壤。同时土壤侵蚀也具有明显的空间分布特征。海拔 4 600~5 000 m 的高山草甸土,出现过度放牧的地方,一旦植被破坏,大量侵蚀沟发生。而海拔 3 300~4 300 m 为棕壤、暗棕壤,尽管肥力高,但在阳坡土壤较干燥,植被破坏的地方或开垦为坡耕地的区域,土壤侵蚀强度巨大,特别是在 5—9 月的雨季,降雨占全年 77.9%~95.8%雨量,冲刷大量

泥沙进入河道,成就了金沙江的漫漫黄沙。因此,对研究区的土壤可蚀性的研究,无论对草地和耕地的保护,还是对金沙江泥沙量的缓减,都具有重大的现实意义。

1 研究方法

1.1 野外调查

对研究区小流域的土地利用类型、土壤类型、植被类型、地形特征、水土流失类型和分布特征等进行野外调查。根据研究区土壤和植被类型的分布状况以及坡度、坡向、坡位等,分别在研究区内的不同垂直带上选择采样点:①海拔 3 000~3 500 m 区域内,为干热河谷灌木林地带,28 个采样点;②海拔 3 500~4 000 m 区域内,为灌丛草地带,32 个采样点;③海拔 4 000 m 以上区域,选择 6 个样地,31 个采样点;共 91 个采样点(见表 1)。对样品进行的测试包括土壤有机质含量、机械组成、N、P、K 含量等。

表 1 采样点土壤类型及土地利用类型

土地利用类型	高山草甸	高山草原	灌丛草地	林地	灌木林地	耕地		
采样数	11	18	12	18	10	22		
土壤类型	高山草甸土	山地灌丛草原土	棕壤	褐土	暗棕壤	灰褐土	黄壤	紫色土
采样数	11	12	13	18	14	21	1	1

调查发现,流域内主要水土流失类型包括冻融侵蚀和水力侵蚀。冻融侵蚀主要发生于海拔 4 500 m 以上的高山草甸区域。水力侵蚀主要发生在海拔 3 500~4 500 m 区间内的草地和人为开垦的坡耕地。坡耕地是造成小流域内人为加速水土流失的主要因素。坡耕地的起垦类型不同,其对水土流失的影响程度不同。调查发现,起垦于高原草甸和草地的坡耕地发生水土流失的可能性以及水土流失的强度都要大于起垦于灌木林地和林地的坡耕地。这主要是由于高山草甸和草地自身的脆弱性,以及发育于该两类土地利用类型土壤的低抗蚀性。矮西沟流域水土流失类型以面蚀为主,主要产生于坡耕地、退化草地、灌木林等区域。矮西沟流域的水土流失成因主要有自然因素和人为活动的影响两方面。自然因素方面,降雨集中,岩性松散、易破碎等特点是水土流失的直接动因,此外,高寒山区的冻融作用和积雪融化等因素也加速了水土流失的发展。人为活动对水土流失的影响主要包括:过度放牧,造成草场退化;开荒种地;过度砍伐,造

成植被覆盖度逐年下降。流域内的水土保持措施较少,仅有少量草地围栏措施,农田植物篱措施和农民自发性修建的少量梯地,水利灌溉设施基本上没有。

1.2 模型法

RUSLE 中土壤可蚀性因子(K)值大小是通过建立于土壤性质指标间的相关关系式来确定。Wis-chmeier 和 Smith 提出的代数关系式估算 K 值大小:

$$K=[2.1\times10^{-4}(12-OM)M^{1.14}+3.25(s-2)+2.5(p-3)]/100 \tag{1}$$

式中:M——优势粒径组成的乘积(修订的粉粒含量或 0.002~0.1mm 粒径)(粉粒含量+沙粒含量);OM——有机质含量;s——土壤结构等级;p——土壤渗透性;K——单位侵蚀力的土壤侵蚀量[(t·hm²·h)/(MJ·mm·hm²)]。将上式右边计算值除以 7.59,就变为国际单位制的可蚀性因子 K 值。另外具有代表性的土壤可蚀性预测模型还包括 EPIC 模型中的计算方法,以及 Shirazi 等建立的计算公式。EPIC 模型中,采用土壤有机碳和粒径组成来估算土壤可蚀性。

$$K=\{0.2+0.3\exp[0.0256S_{AN}(1-\frac{S_{IL}}{100})]\}[\frac{S_{IL}}{(S_{IL}+C_{LA})}]^{0.3} [1.0-\frac{0.25C}{C+\exp(3.72-2.95C)}][1.0-\frac{0.7SN1}{SN1+\exp(-5.51+22.9SN1)}] \tag{2}$$

其中,S_{AN}, S_{IL}, C_{LA} 分别为砂粒、粉粒、黏粒含量,按照美国制标准。C 则是土壤有机碳含量(%),

$S_{Ni} = 1 - SAN/100$ 。OM=1.72C,其中,OM 是有机质含量。由于以上两个公式需要粒径组成、有机质、土壤入渗的多种资料,在没有足够资料的情况下,Shirazi 等建议使用同让的几何平均粒径(D_g)来计算土壤可蚀性。

$$K = 7.954 \{ 0.0017 + 0.0494 \times \exp[-0.5(\frac{\lg D_g + 1.675}{0.6986})^2] \}$$

(3)

$$Dg = \exp(\frac{1}{100} \sum \ln D_i \times \Delta p_i)$$

(4)

式中: D_i ——上下两筛的中径; ΔP_i ——介于上下两筛孔间的重量百分比。

国内的研究者对 K 值也进行了大量的研究。用实测法^[4]和模型法^[5-6]等方法确定了我国大部分土壤类型的 K 值(见表 2)。

表 2 土壤可蚀性 K 值资料

学者	土类	K 值	学者	土类	K 值
1 刘吉峰等 (Krusle)	高山草甸土	0.199	2 王小丹等 (Kepic)	黄棕壤	0.4492
	高山灌丛草甸土	0.145		黄壤	0.3604
	高山草原土	0.257		棕壤	0.4306
	山地草甸土	0.338		暗棕壤	0.4747
	草甸土	0.485		褐土	0.4321
	灰褐土	0.005		灰褐土	0.4959
2 王小丹等 (Kepic)	高山草甸土	0.4696	3 张科利等	棕壤	0.0097
	亚高山草甸土	0.4996		粗骨褐土	0.0018
	高山草原土	0.3009		紫色土	0.0191
	亚高山草原土	0.3965		黑土	0.0381
	Ⅱ山地灌丛草原土	0.3951		Ⅱ红壤	0.0073
	草甸土	0.4258		黄壤	0.0167

注:表中可蚀性 K 值单位为 $(t \cdot \text{hm}^2 \cdot \text{h}) / (\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{hm}^2)$ 。

金沙江上游地区缺乏野外监测资料,难以用实测法获取土壤可蚀性因子,而水土流失又在加剧,因此通过模型法研究土壤可蚀性迫在眉睫。本文采用模型预测法研究金沙江上游小流域的土壤可蚀性,分别应用公式(1),(2),(3)计算研究区小流域不同土壤类型的 K 值,对应计算结果为 Krusle, Kepic, Kshirazi。并对三种计算方式的 K 值进行基于不同土地利用类型和不同土壤类型的讨论,比较前人研究 K 值和相应土壤类型预测的 K 值,分析不同模型估算 K 值的代表性,以确定模型预测值的可靠性。最后确定西藏东南横断山区小流域土壤可蚀性 K 值的最佳计算方法和取值范围。

2 结果与分析

2.1 矮西沟小流域土壤 K 值模型法估算结果分析

比较分析不同模型 K 值估算结果表明(见表 3),Krusle、Kshirazi、Kepic 的最大值和最小值分别为 0.008 6 和 $1.502\ 9 \times 10^{-7}$ (计算结果中,有两个灌木林地的结果为接近于 1 的负数,分别为 $-5.825\ 6 \times 10^{-6}$ 和 $-4.421\ 6 \times 10^{-5}$ 主要原因是土壤中的有机质含量较低,而大多数林地和灌木林地的 K 值估算结果都是小数点 7 位后的正数),0.038 7 和 0.020 9,0.143 8 和 0.056 6。其中 Krusle 与张科利等^[4]实测的我国土壤可蚀性 K 值变化范围最接近,介于 0.001

~0.04 之间。而 Kshirazi 和 Kepic 值则高出 10 倍以上。因此,从绝对数值上看 Krusle 更接近于实测值。

分析 3 种模型 K 值估算的分布特征发现(见图 1),3 种模型估算的土壤可蚀性 K 值具有一定的规律性。对于 Krusle,不同土地利用和土壤类型的 K 值估算结果具有很好的分段性,不同的土壤类型和土地利用类型估算的 K 值存在最大的差异,变异系数达到 74.90%,为三种方法中最大(表 3)。可见,通用流失方程中的 K 值计算方法对于区分不同土地利用类型和不同土壤类型的 K 值具有更好的效果。

对于相同的土地利用类型和相同的土壤类型, K 值估算结果基本一致,如高山草地、耕地、灌丛草地、褐土、灰褐土的最大值与最小值基本一致(见表 4—5)。说明通用流失方程中的 K 值模型法估算结果能够体现出土壤特性与土壤可蚀性之间相对稳定的关系。对于 Kshirazi 和 Kepic, K 值的估算结果在不同土地利用类型和土壤类型之间差异性不大,两种方法计算出来的 K 值难以体现出在同样土地利用类型和土壤类型上 K 值具有的统一性。3 种模型计算结果出现的差异主要是因为模型中选用的参数不同,在 Krusle 模型中,除了使用土壤颗粒组成因子外,还使用了有机质含量、渗透性、结构性等,更全面的将土壤的特性与可蚀性关联。而 Kepic 中只选用了土壤颗粒组成和有机碳含量, Kepic 则只选用了颗粒组成。

表 3 3 种不同方法估算 K 值统计参数

不同计算方法	Krusle	Kshirazi	Kepic
标准差	0.0035	0.0039	0.0162
平均值	0.0047	0.0298	0.0714
变异系数	0.7490	0.1316	0.2266
最大值	0.0086	0.0387	0.1438
最小值	0.00000015029	0.0209	0.0566

综上所述,3 种土壤可蚀性 K 值的预测模型的估

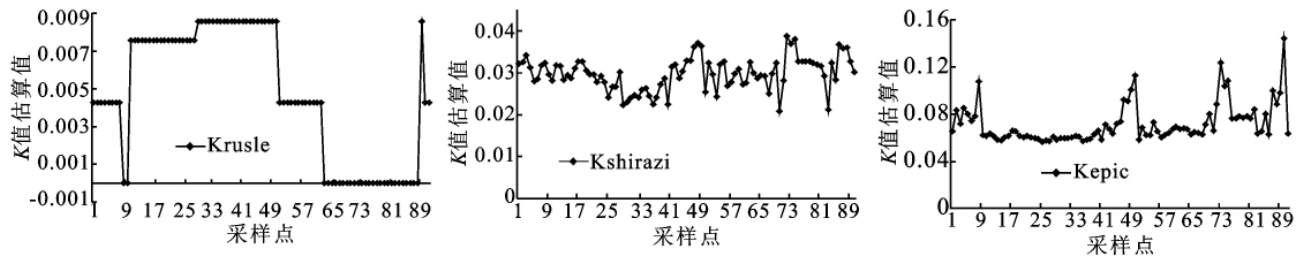


图 1 不同土地利用类型 K 值最值

表 4 不同土地利用类型 K 值最值

最大值	Krusle	Kshirazi	Kepic	最小值	Krusle	Kshirazi	Kepic
草甸	0.0043	0.0342	0.1077	草甸	0.00000018116	0.0280	0.0614
高山草原	0.0076	0.0328	0.0658	高山草原	0.0076	0.0242	0.0566
耕地	0.0086	0.0371	0.1129	耕地	0.0086	0.0222	0.0572
灌丛草地	0.0043	0.0327	0.0733	灌丛草地	0.0043	0.0243	0.0586
灌木林地	0.00000070967	0.0326	0.0883	灌木林地	0.0000015029	0.0209	0.0625
林地	0.0086	0.0387	0.1235	林地	0.00000026879	0.0212	0.0630

表 5 不同土壤类型 K 值最值

最大值	Krusle	Kshirazi	Kepic	最小值	Krusle	Kshirazi	Kepic
高山草甸土	0.0043	0.0342	0.1077	高山草甸土	0.00000018116	0.0280	0.0614
褐土	0.0076	0.0328	0.0658	褐土	0.0076	0.0242	0.0566
灰褐土	0.0086	0.0330	0.0919	灰褐土	0.0086	0.0222	0.0572
紫色土	0.0086	0.0362	0.0911	紫色土	0.0086	0.0362	0.0911
山地灌丛草原土	0.0043	0.0327	0.0883	山地灌丛草原土	0.00428	0.0270	0.0600
棕壤	0.000000710	0.0326	0.0800	棕壤	0.000000150	0.0251	0.0625
暗棕壤	0.00000108	0.0387	0.1235	暗棕壤	0.000000356	0.0212	0.0630
灰褐土沙土	0.0043	0.0327	0.1438	灰褐土沙土	0.0043	0.0327	0.1438
黄壤	0.0043	0.0302	0.0635	黄壤	0.0043	0.0302	0.0635

表 6 不同土壤类型平均 K 值

土壤类型	Krusle	Kshirazi	Kepic
高山草甸土	0.0043	0.0309	0.0769
褐土	0.0076	0.0294	0.0604
灰褐土	0.0086	0.0268	0.0642
山地灌丛草原土	0.0043	0.0288	0.0670
棕壤	6.24E-07	0.0347	0.0900
暗棕壤	7.20E-07	0.0294	0.0724
灰褐土沙土	0.0043	0.0327	0.1438
黄壤	0.0043	0.0302	0.0635
紫色土	0.0086	0.0362	0.0911
总计平均值	0.0050	0.0298	0.0714

算结果中,Krusle 值无论从区分不同土地利用类型和土壤类型的 K 值的不一致性上,还是从确定相同土地利用类型和土壤类型的 K 值的统一性上,或是在估算值与前人研究取值范围的相似性上,都远远要好于其他两种预测模型。因此通用流失方程中的 K 值估算模型最适用于藏东横断山去金沙江支流小流域的土壤可蚀性 K 值的估算。

2.2 矮西沟流域土壤 K 值分析

就研究区的土壤类型而言, K 值估算结果为 $1.5029\times10^{-7}\sim0.0086$ 。小流域内主要土壤类型为灰褐土、褐土、高山草甸土、山地灌丛草原土以及棕壤。 K 值平均值最大的为灰褐土,主要发育于耕地之上,平均值大小为 0.008 6;其次为褐土,为 0.076,主要发育于高山草地;高山草甸土和山地灌丛草原土 K 值为 0.004 3,分别发育于高山草甸上和山地灌丛草原;棕壤和暗棕壤的 K 值估算平均值最小,仅仅为 6.24×10^{-7} 和 7.20×10^{-7} ,分别发育于灌木林地和林地。采用通用流失方程中的 K 值估算模型估算的 K 值在不同土壤类型和土地利用类型的大小值与野外调查一致,依次为灰褐土>高山草甸土>棕壤>暗棕壤,耕地>

草甸>灌木林地>林地。整个流域土壤可蚀性 K 值的总体平均值为 0.005, 在全国范围内 K 值属于较小。

3 结论

对于西藏东部高原小流域, 环境恶劣, 研究基础薄弱, 科研难度大; 生态脆弱, 经济发展需求迫切, 发展与保护的矛盾突出。因此, 对该区域土壤的研究需要新思路。由于实测数据不足, 初期采用模型法估算土壤可蚀性是最佳选择。本研究证明, 应用通用流失方程的 K 值估算模型能够较准确的估算该区域的主要土壤类型的 K 值, 其估算值无论是在区分不同土壤类型 K 值的异同上, 还是同一土壤类型估算值的准确性上都能满足该区域水土流失研究的要求。研究区埃西沟小流域不同土壤类型 K 值大小次为灰褐土>高山草甸土>棕壤>暗棕壤; K 值大小在土地利用类型上的分布特征为: 耕地>草甸>灌木林地>林地。整个流域土壤可蚀性 K 值的总体平均值为 0.005。灰褐土, 发育于耕地之上, K 值平均值最大为 0.0086; 褐土, 发育于高山草地, K 值为 0.076。耕地和低覆盖度草地分别是研究区小流域土壤侵蚀强度最大的土地利用类型。研究也发现, 在该区域土地利用方式和土壤的垂直分布对土壤的可蚀性影响很大, 有待深入研究。

参考文献:

[1] Ashish Pandey V M, Chowdary B C Mal. Identification

(上接第 76 页)

- [10] 翟可, 刘茂松, 徐驰, 等. 盐城滨海湿地的土地利用/覆盖变化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(6): 1081-1086.
- [11] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.
- [12] 沈永明, 刘咏梅, 陈全站. 江苏沿海互花米草(*Spartina alterniflora* Loisel)盐沼扩展过程的遥感分析[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(2): 33-38.
- [13] 伍蓝. 基于 ALOS 等数据的盐城湿地植被分类及土地覆盖时空变化研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008: 42-49.
- [14] 李扬帆, 朱晓东, 邹欣庆, 等. 江苏盐城海岸湿地景观生态系统研究[J]. 海洋通报, 2005, 24(4): 46-51.
- [15] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通

of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing[J]. Water Resour. Manage, 2007, 21: 729-746.

- [2] Dabral P P, Neelakshi Baithuri, Ashish Pandey. Soil Erosion Assessment in a Hilly Catchment of North Eastern India Using USLE, GIS and Remote Sensing[J]. Water Resour Manage, 2008, 22: 1783-1798.
- [3] Shirazi M A, Boersma L. A unifying quantitative analysis of soil texture[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48: 142-147.
- [4] 张科利, 彭文英, 杨红丽. 中国土壤可蚀性值及其估算[J]. 土壤学报, 2007, 44(1): 7-13.
- [5] 刘吉峰, 李世杰, 秦宁生, 等. 青海湖流域土壤可蚀性 K 值研究[J]. 干旱地区研究, 2006, 29(3): 321-326.
- [6] 王小丹, 钟祥浩, 王建平, 等. 西藏高原土壤可蚀性及其空间分布规律初步研究[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 27(3): 343-346.
- [7] Nikolaus J K, Rorke B B. Drying, soil surface condition and interrill erosion on two Ontario soils[J]. Catena, 2004, 57(2): 113-133.
- [8] Tan Guoxin, Shibasaki R. Global estimation of crop productivity and the impacts of global warming by GIS and EPIC integration[J]. Ecological Modelling, 2003, 168: 357-370.
- [9] Hagen L J, Wagner L E, Tatatko J, et al. Wind Erosion Prediction System: technical description[C]//Proceedings of WEPP/WEPS Symposium, August 9, Des Moines, IA [J]. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, 1995.

报, 2000, 45(1): 17-22.

- [16] 向悟生, 李先琨, 丁涛, 等. 土地利用变化对漓江流域生态服务价值影响[J]. 水土保持研究, 2009, 16(6): 46-55.
- [17] 谢春花, 王克林, 陈洪松, 等. 土地利用变化对洞庭湖区生态系统服务价值的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 191-195.
- [18] 李进鹏, 王飞, 穆兴民, 等. 延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 110-114.
- [19] 李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440-446.