

土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法研究

—以南京市方便水库小流域为例

姜小三¹ 潘剑君¹ 杨林章² 卜兆宏²

(1 南京农业大学资源环境学院 南京 210095; 2 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 本文介绍了土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法。涉及利用公式法计算该区的土壤可蚀性 K 值的参数设置方法, 和运用地统计学的协同克里格空间插值的方法进行 K 值图的编制方法, 并对 K 值图在水土保持、水土流失定量监测、生态与环境等方面的应用作了简要说明。

关键词 土壤可蚀性 (K); K 值; 克里格插值; GIS

中图分类号 S157

土壤可蚀性 (Soil Erodibility) 是指土壤对侵蚀介质剥蚀和搬运的敏感性, 也就是土壤对侵蚀介质侵蚀和搬运的敏感力^[1]。土壤可蚀性 K 值的大小表示土壤被冲蚀的难易程度, 是影响土壤流失量的内在因素, 它也是定量研究土壤侵蚀的基础^[2]。1965 年 Wischmeier 等^[2]根据大量实测资料, 提出了著名的土壤流失方程 (Universal Soil Loss Equation, USLE), 方程中包含土壤可蚀性因子 K, 首次把土壤可蚀性因子 K 与土壤流失量建立定量关系。在其他条件相同下, K 值反映了不同土壤的不同侵蚀率。对于某一特定土壤, 土壤可蚀性因子 K 是一个与标准小区相比的单位侵蚀指数的侵蚀率。在 USLE 中, 土壤可蚀性因子 K 是某一土壤侵蚀每个指数单位 ($E I_{30}$) 的土壤流失率, 可在单位小区上测量得到, K 值量纲为: $s \cdot h \cdot t \cdot a \cdot c \cdot h \cdot r / (100 a \cdot c \cdot f \cdot t \cdot s \cdot h \cdot t \cdot i \cdot n)$, 即美短吨·英亩·小时 / (100 英亩·英尺·美短吨·英寸)。许多土壤学家认为土壤可蚀性与土壤的理化性质关系密切, 而土壤的理化性质又主要受成土母质和成土过程的影响。K 值可用于数学模型监测土壤年流失量, 因此, 国际上把土壤可蚀性研究一直作为水土保持学科研究的重要内容^[3]。

南京市地处丘陵区, 土壤类型和土壤侵蚀特征在我国具有一定的代表性, 土壤可蚀性研究对于该地区的土壤侵蚀预报和防治具有普遍指导意义。本文旨在探讨南京市方便水库小流域土壤可蚀性特

征, 着重研究 K 值图的编制方法, 为水土流失定量遥感监测提供基础资料。

1 研究资料与方法

1.1 研究区概况

方便水库小流域地处南京市东南 50 km、位于溧水县城东北 7 km 处、紧靠国道宁杭高速公路, 距禄口国际机场 25 km, 毗邻茅山道院、傍依大金坛。小流域区内面积 76 km², 覆盖了东屏镇、共和乡、白马乡; 集水区方便水库 (东屏湖) 面积 6.8 km²。流域为东西走向, 东起最高山为浮山海拔 216 m, 西至方便水库 (东屏湖) 海拔 25 m。

1.2 研究资料

南京市溧水 1:5 万地形图、2000 年 TM 和 2001 年 ETM⁺ 遥感影像、1996 ~ 2002 年的小流域水文资料、2002 年 6 月初和 2002 年 11 月初两次采集的 200 多个土壤样品测试结果 (土壤机械组成、有机质、全 N、全 P、速效 N、速效 P、土壤容重、pH)。

1.3 研究方法

1.3.1 数字化图件 将地形图用 ArcMap 数字化, 得到整个小流域的边界图、等高线图、高程点图 3 个图, 并用 ArcGIS 的 Spatial Analyst 模块制作 DEM (30 m × 30 m); 用 ERDAS IMAGINE 对遥感图像进行处理, 首先用边界图进行 TM 图像的子区裁剪, 得到小流域的遥感图像, 再根据野外调查的记录进行分类, 得到小流域的土地利用与植被解译图。

1.3.2 土壤样品的采集 在小流域区选取一条主要支流所在区为研究区(从朝阳洞经过浮山桥、土桥到方便水库 10 km²),采取 30 m × 30 m 网格法取样;同时记录样点 GPS 数据,当天将 GPS 仪连接笔记本电脑,将样点数据直接导入 GIS 数据库,并地图化存储。采样时间放在当地汛期前后 2002 年 6 月初和 2002 年 11 月,分 2 次,每 1 次采集 100 多个土壤样品。

1.3.3 土样测定与地图信息提取^[4,5] 土壤容重:环刀法;土壤颗粒机械组成:吸管法(1~0.02 mm、0.02~0.002 mm、<0.002 mm);土壤水分:烘干法;有机质:浓硫酸-重铬酸钾氧化法;全 N:凯氏法(瑞典产定氮仪);全 P:氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法;水解 N:碱解扩散法;速效 P:氢氧化钠浸提-钼锑抗比色法;坡度:用 ARCGIS 的 Spetial Analyst 模块进行 DEM 提取 Slope 坡向:用 ARCGIS 的 Spetial Analyst 模块进行 DEM 提取 Aspect;样点位置:GPS 仪测定(结合地形图)。

1.3.4 土壤可蚀性因子 K 值的计算 K 值的求法主要有 3 种:直接测定、诺谟图法、公式法^[6]。直接测定 K 值方法综合了所有土壤性质对土壤侵蚀的影响,被认为是最符合田间实际土壤对侵蚀力的敏感尺度,但是直接测定 K 值所需的时间较长,经费较多;诺谟图法也比较烦琐;公式法则比较快捷。但是,公式法有好几种方法,我们进行了类比,发现 Wishchmeier 等人于 1971 年根据 23 种美国主要的土壤性质与实测到的土壤可蚀性因子 K 值,建立的土壤可蚀性因子 K 与土壤性质之间的关系式,比较实用可行,即: $100K = 2.1 \times (10)^{-4} \times M^{1.14} \times (12-a) + 3.25 \times (b-2) + 2.5 \times (c-3)$ 。式中 M 表示颗粒分析参数;a 表示有机质含量;b 表示土壤分类中土壤结构的级别,c 表示土壤坡面渗透级别^[7]。

我们选用了以上的公式法。具体计算时,参数的确定方法如下:

a 值为有机质含量(%),如果单位是 g/kg,应该换算为百分含量(%)。

将 M 用下式表示: $M = (s + t) \times (100 - N)$ 。

式中:s 为粉砂百分含量,

t 为极细砂百分含量,

N 为粘粒百分含量。

b 与土壤的有机质正相关,可以用土壤有机质的百分含量的高低来划定土壤结构的级别作为参数 b 的值。

c 与土壤颗粒的粘粒含量正相关,可以此来划定土壤坡面渗透级别,按照粘粒含量划分 6 个等级(1、2、3、4、5、6)。

1.3.5 K 值图的生成 K 值图的生成是通过空间插值实现的,一般借助 ArcGIS 中的空间分析模块 Spatial Analyst 来完成。以往人们求出 K 值后,将剖面点 K 值标注在土壤类型图上,往往会有如下情况发生:同一图斑内出现 2 个或多个的 K 值点,同一类图斑有不不同的 K 值,多数图斑因无剖面点而无法计算 K 值,需要对图斑界线进行分并、确定图斑 K 值,实际确定时常常遇到问题^[6,8-11]。ArcGIS 中空间插值提供了 3 种方法:反距离权重插值(IDW)、样条法插值(Spline)、克里格插值(Kriging)。前 2 种方法是直接基于周围已知点的值进行计算或用指定的数学公式来决定输出表面的平滑度的插值方法,后 1 种方法是基于一定的包括诸如自相关(已知点的统计关系)的统计模型。前 2 种属于确定性的插值方法,后 1 种则属于地统计学的插值方法^[12]。在 ArcGIS 的地统计学模块(Geostatistical Analyst)中,提供了强大的基于地统计学的空间插值与预测模型,我们采用克里格插值(Kriging),选用其中的协同克里格插值(CoKriging),用土壤粘粒百分含量和土壤有机质参加插值过程,运用可变搜索半径、指定输入点的数目 12 个、设置

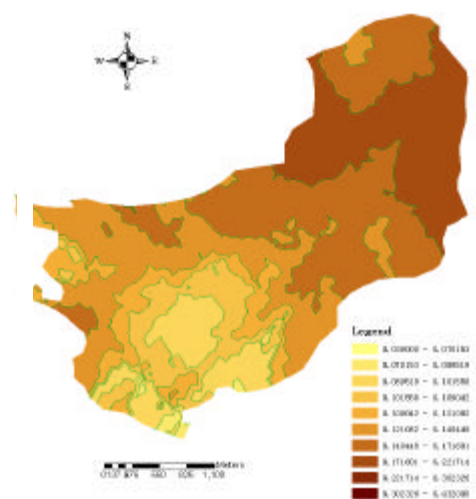


图 1 南京方便水库小流域 K 值分布图

Fig. 1 Distribution of soil erodibility factor K in Fangbian watershed of Nanjing

输出栅格的像元为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ，并以研究区边界为插值的“中断线”，获取空间关系的同时用半变异函数、交叉验证函数进行拟合，会自动产生对比性均方根预测误差、置信度。这样就会得到研究区的 K 值栅格图。将 K 值栅格图（像元为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ ）进行重新分级为 6 级，用不同颜色表示，并导出各级 K 值范围内的面积（ km^2 ），能够自动用线条产生边界（图 1）。

2 结果与讨论

2.1 研究区土壤可蚀性特征

研究区土壤可蚀性 K 值平均为 $0.039 \sim 0.431$ 。砂性土壤，K 值较高，土壤抗蚀能力较差；粘性

土壤，K 值较小，土壤抗蚀能力较强，详见表 1。

2.2 不同土地利用方式下的可蚀性特征

不同土地利用方式下的可蚀性特征，我们以小流域的林地、针叶林、阔叶林、草地、水田、竹园、旱地、果园、裸地进行了设置试验，以裸地作对照，试验地植被状况见表 2。

表 1 研究区土壤可蚀性 K 值范围及其分级
Table 1 Ranges and grades of soil erodibility factor K

K 值类型	K 值变化范围	K 值类型	K 值变化范围
难蚀土	0.039~0.080	较易蚀土	0.200~0.300
较难蚀土	0.080~0.120	易蚀土	0.300~0.400
不易蚀土	0.120~0.200	极易蚀土	0.400~0.431

表 2 研究区不同利用方式的 K 值变化概况
Table 2 Variety of soil erodibility factor K by different landuse

土地利用方式	地面覆盖状况	K 值变化
竹园	郁闭度 0.9，林下植被发育好	0.040~0.197
林地	郁闭度 0.4，覆盖度 0.5，林下有杂草	0.120~0.250
草地	覆盖度 0.70 以上，主要有两耳草、茅草	0.171~0.345
水田	郁闭度 0.7，覆盖度 0.8	0.039~0.246
针叶林	郁闭度 0.3，覆盖度 0.5，林下有茅草	0.120~0.200
阔叶林	郁闭度 0.6，覆盖度 0.6，林下植被发育好	0.039~0.237
针阔混交林	郁闭度 0.5，覆盖度 0.6，林下有茅草	0.080~0.162
旱地	A 层部分流失	0.223~0.431
裸地	A、B 层流失几乎殆尽，有少量苔藓	0.039~0.040

不同土地利用方式，土壤可蚀性特征也不同。植被能明显提高土壤抗蚀性，减轻土壤侵蚀程度。但由于土壤性状有一定差异，所以不能够从土地利用方式上来直接判断土壤可蚀性 K 值，只能定性地反映一定的特征。

2.3 K 值图的应用探讨

从 K 值图上，可以显示每一个像元（ $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ ）的 K 值、经纬度，可以显示不同等级 K 值的空间分布、面积等信息，可以预测 K 值的变化趋势。反映小流域土壤可蚀性差异的 K 值，在指导水土流失治理、监测土壤年流失量、评价生态环境质量方面都有实用性。在水土流失定量遥感监测方面，有了小流域的 K 值图和 R 值，并数字化获得了每个像元的 K_i 、 R_i 值后，运用 D E M 并计算出像元的地形因子 $S_i L_i$ ，以及利用 T M 影像数据算出像元的 $C_i P_i$ 值，应用 U S L E 就可求出每个像元的流失量 A_i 值，整个流域 A_i 的累加则为小流域的年流失量。用此方法得到的 K 值、R 值与当年实测水文观

测计算的泥砂量结果能够有很好的一致性。另外，K 值图对农业生态环境的保护具有指导意义，减少过度开垦，退耕还林还草，可以减小 K 值，从而减少泥砂下坡进入水库、河流，减小水质污染。农业上，可以通过保土培肥，增施有机肥、减少化肥使用，也可以改善土壤结构，减小 K 值，增强土壤的抗蚀性。土壤可蚀性 K 值也是土壤侵蚀预报、土地利用规划、水土保持规划、土地利用评价和土壤环境潜在危险性评价的重要参数，缺少土壤可蚀性 K 值，上述许多实际工作也就缺少足够的依据^[13, 14]。因此，对土壤可蚀性 K 值的研究无论在水土保持学科理论上，还是生产应用实践上都具有重要的意义。

参考文献

1 Lal R.可蚀性和侵蚀性. 见: 水土保持学会, 黄河水利委员会宣传出版中心译. 土壤侵蚀研究方法. 北京: 科学出版社, 1991, 137 ~ 146

2 Wischmeier WH, et al. Predicting Rainfall Erosion Losses:

- A Guide to Conservation Planning, USDA, ARS, Agricultural Handbook, Washington D.C, 1978, 537
- 3 卜兆宏, 唐万龙, 杨林章, 席承藩: 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用. 土壤学报, 2003, 40 (1): 1 ~ 9
- 4 孙鸿烈, 刘光崧主编, 土壤理化分析与剖面描述—中国生态系统研究网络观测与分析标准方法系列丛书, 北京: 中国标准出版社, 1996
- 5 ArcGIS Training Books Series: Introduction to ArcGIS Exercises Book. ArcInfo Consulting and Training Center, China, 2002
- 6 卜兆宏, 李全英. 土壤可蚀性 (K) 值图的编制方法的初步研究, 遥感技术与应用, 1994, (4): 22 ~ 27
- 7 Renard KG, et al. Revised Universal Soil Loss Equation. J of Soil and Water Conservation, 1991, 1: 30 ~ 33
- 8 吕喜玺, 沈荣明. 土壤可蚀性 K 值的初步研究. 水土保持学报, 1992, (1): 63 ~ 70
- 9 郭志民, 陈永宝, 陈志伟. 土壤可蚀性特征及其 K 值图制作研究. 山西水土保持科技, 2002, (3): 15 ~ 17
- 10 王万忠, 焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报, 1996, 16 (5): 1 ~ 20
- 11 卜兆宏, 刘邵清. 土壤流失量及其参数实测的新方法. 土壤学报, 1995, 32 (2): 210 ~ 220
- 12 ArcInfo 中国技术咨询与培训中心 (姚永慧, 潘志强, 孙英君等编译), ArcGIS 地统计分析实用指南. 2002, 58 ~ 63
- 13 梁音, 史学正. 长江以南东部丘陵山区土壤可蚀性 K 值研究. 水土保持研究, 1999, (2): 47 ~ 52
- 14 张科利, 蔡永明, 刘宝元, 江中善. 黄土高原地区土壤可蚀性及其应用研究. 生态学报, 2001, (10): 1686 ~ 1695

METHODS OF CALCULATING AND MAPPING SOIL ERODIBILITY K —A CASE STUDY OF FANGBIAN WATERSHED OF NANJING

JIANG Xiao-san¹ PAN Jian-jun¹ YANG Lin-zhang² BU Zhao-hong²

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095 ;

2 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008)

Abstract Methods of calculating and mapping soil erodibility (K) are introduced in this paper. Besides, a brief explanation is made of the method of setting parameters of the equation for calculating soil erodibility K value, use of the Cokriging method of ArcGIS Geostatistics in mapping soil erodibility (K), as well as application of the soil erodibility (K) map to soil erosion control, monitoring and prediction of soil losses, ecology, environment, etc.

Key words Soil erodibility, Value of K, Cokriging, GIS