

深圳市土地利用对土壤侵蚀的影响研究^{*}

穆天龙¹, 谢婧^{1,2}, 吴健生¹, 王秀茹², 郑茂坤³

(1. 北京大学深圳研究生院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东深圳 518055; 2. 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083; 3. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要:运用修正通用土壤流失方程(RUSLE)对深圳市土壤侵蚀进行定量计算,并依据城市水土流失标准进行分级,应用并修正土壤侵蚀强度综合指数和区域土壤侵蚀强度综合指数,对深圳市全市及下辖各区的土地利用和土壤侵蚀关系进行比较分析。结果表明:深圳市较少侵蚀等级以上土壤侵蚀面积为 81.588 km²;全市平均土壤侵蚀模数为 3 570.676 t/(hm²·a),土壤侵蚀模数最大值为 447 621.594 t/(hm²·a);以土地利用类型划分,最易引起侵蚀的三种土地利用类型是采矿地、未利用地以及工地和推平未建地,最不易引起土壤侵蚀的三种土地利用类型是林地、草地和水田,最易引起土壤侵蚀并造成最大影响的用地类型是果园;而从区域分异来看,南山区和龙岗区发生土壤侵蚀的可能性较大,应及早预防。

关键词:土地利用;土壤侵蚀;RUSLE;土壤侵蚀强度综合指数

中图分类号:S157.1;F301.24

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)03-0053-06

Effects of Land Use on Soil Erosion in Shenzhen, China

MU Tian-long¹, XIE Jing^{1,2}, WU Jian-sheng¹, WANG Xiu-ru², ZHENG Mao-kun³

(1. The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen, Guangdong, 518055, China; 2. Water and Soil Conservation School, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. School of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: This paper calculates soil erosion in Shenzhen based on GIS and RUSLE, classifies it in accordance with standards of urban soil erosion, introduces and amends the composite indexes of soil erosion intensity and regional soil erosion intensity in order to analyze the spatial relationships between land use and soil erosion. Several data, including land use distribution, the rainfall records, soil type distribution, the landforms, are used in this paper. The land use types can be classified into 10 types: paddy field, cultivated lands, orchard, bush, forest, grassland, construction site, mining field, unused land and urban area on the basis of common classification standards. In this paper, 30 × 30 meters is chosen as the basic pixel size. RUSLE consists of six factors—rainfall-runoff erosivity factor, soil erodibility factor, slope length factor, slope steepness, cover-management factor and support practice factor. These six factors give the total soil loss, which comes to 1 733.23 t/(hm²·a) on average. The composite indexes of soil erosion intensity and regional soil erosion intensity are employed to discuss how much land use affects soil erosion, the degree of which is represented by a series of indexes. The results are as follows: three land use types which are most likely to cause soil erosion are mining, unused land and building sites (razed ground included); three land use types which are most likely to retain soil are forest, grassland and paddy fields; agricultural land-use type which is most likely to cause significant soil erosion is the orchard; Nanshan District and Longgang District are the key districts in which to improve soil and water conservation.

Key words: land use; soil erosion; RUSLE; composite index of soil erosion intensity

^{*} 收稿日期:2009-12-24

基金项目:国家自然科学基金重点基金(40635028);国家自然科学基金青年项目(40801066);中国博士后科学基金项目(200801017)
作者简介:穆天龙(1984-),男,辽宁海城人,在读硕士,研究方向为地理学(城市与区域规划)。E-mail:mutianlong@yahoo.com.cn
通信作者:吴健生(1965-),男,湖南娄底人,副教授,研究方向为景观生态学与土地利用。E-mail:wujs@szpku.edu.cn

根据全国第三次水土流失普查数据,我国土壤侵蚀面积为 356.92 万 km²,占国土总面积的 37.2%^[1],已经严重影响到人们的生活乃至生存。近年来,由于城市化进程的不断推进,建设开发项目等人类活动加剧了土壤侵蚀,约 180 倍于农业用地的自然土壤侵蚀^[2],这与人类“花园城市”的理想是相悖的,因此,对城市土壤侵蚀进行定性及定量化研究是势在必行的。

国外城市土壤侵蚀的研究集中于应用基础理论、应用技术和开发治理^[3],国外水土保持规划在小流域上采用 RUSLE、GIS 与计算机技术等先进技术进行统一规划^[4]。我国的城市土壤侵蚀研究始于 1995 年在深圳召开的城市水土保持工作会议,会上首次提出城市水土保持问题^[5]。但目前国内对城市土壤侵蚀的研究多集中在定性描述^[6]上,定量计算较少,仅有部分学者对西宁^[7]、济南^[8]等城市进行了土壤侵蚀计算并划分等级。

迄今为止,深圳的土壤侵蚀研究仅限于现状描述^[9]和具体项目^[10],还没有全市尺度上系统的定量研究,因此,定量探讨深圳市土壤侵蚀是十分必要的。本研究采用修正通用土壤流失方程 RUSLE^[11],对深圳市土壤侵蚀量进行计算,统计各区土壤侵蚀面积,并分析土地利用类型与土壤侵蚀的关系;应用土壤侵蚀强度综合指数和区域土壤侵蚀强度综合指数^[12],确定不同土地利用类型对土壤侵蚀的影响作用,以为今后的城市水土流失监测和治理提供依据,同时为城市土地利用规划提供理论支持。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

深圳市位于祖国的南疆,属亚热带海洋性气候,平均年降雨量 1 933.3 mm,土壤以赤红壤为主,植被为热带季雨林型的常绿季雨林。深圳市自改革开放以来,经过三十年的建设,由一个边陲小镇发展到现代化都市,是我国快速城市化的典型城市。截至 2004 年,深圳下辖 6 个行政区,即福田区、罗湖区、南山区、盐田区、宝安区和龙岗区。近年来,快速城市化的开发进程逐步破坏了土体的自然结构,加剧了土壤侵蚀,打破了原有的生态平衡,已严重影响到人们的日常生活。

1.2 研究方法

1.2.1 RUSLE 模型 USLE 模型^[13]是 W. Wischmeier 和 D. Smith 等对美国东部地区 30 个州 10 000 多个径流小区近 30 a 的观测资料进行系统分析后提出的。随着对土壤侵蚀机理认识的不断深

入,同时也为了实现计算机技术在土壤侵蚀预报中的广泛应用,1997 年美国农业部(USDA)及其下属机构研究建立了 RUSLE(USLE 的修订版),该模型被广泛应用于土壤侵蚀的定量计算和分析^[14]。

RUSLE 模型的土壤流失预测公式为

$$A = R K L S C P \quad (1)$$

式中:A——单位面积年平均土壤侵蚀量[t/(hm²·a)];R——降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)];K——土壤可蚀性因子[(t·hm²·h)/(hm²·MJ·mm)];L——坡长因子,无量纲;S——坡度因子,无量纲;C——覆盖与管理因子,无量纲;P——水土保持措施因子,无量纲。

(1)降雨侵蚀力因子 R。降雨侵蚀力反映降雨对土壤侵蚀的潜在作用能力,基于研究区雨量资料的可得性,本研究采用王万忠等^[15]的降雨侵蚀力计算公式,即:

$$R = 2.72 (P \times I_{60} / 100)^{1.205} \quad (2)$$

式中:R——降雨侵蚀力因子;P——年平均降雨量(mm);I₆₀——侵蚀性降雨最大 60 min 雨强的年代表值[MJ/(hm²·h·a)]。

(2)土壤可蚀性因子 K。土壤可蚀性因子反映土壤被降雨侵蚀力分离、冲蚀和搬运的难易程度,查广东省土壤可蚀性因子分布图^[16]得出研究区不同类型土壤的 K 值。本研究以深圳市 1980 年土壤类型分布图为基础数据源,经矢量化和坐标校准,按 30 m×30 m 的网格大小进行栅格化并赋值得土壤可蚀性分布图(图 1)。

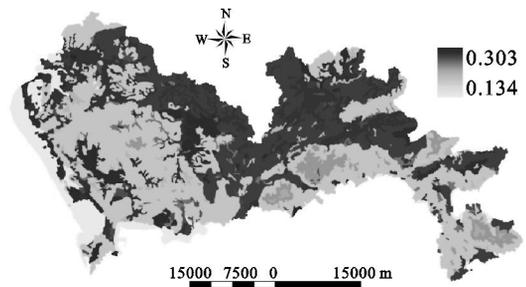


图 1 深圳市主要土壤类型的可蚀性 K 值

(3)坡长坡度因子 LS。坡长(L)与坡度(S)因子计算地形因素、地形地貌特征对土壤侵蚀的影响,是降雨侵蚀动力的加速因子。本研究采用卜兆宏^[17]的 LS 因子计算公式,即:

$$LS = (l/22.13)^m \times 0.8252 \times 8.5319 \sin \theta \quad (3)$$

式中:l——图斑坡面坡长(m);22.13(m)相当于 72.6 英尺,为标准径流小区的坡长值;m——指数;θ——坡度角。m 值随坡度而变:当坡度 θ < 9° 时,m = 0.5;当 9° > θ > 3° 时,m = 0.4;当 3° > θ > 1° 时,m = 0.3;当 θ < 1° 时,m = 0.2。

本研究以深圳市 1:10 000 数字地形图为基础数据源,经坐标校准后,按 30 m ×30 m 的网格大小进行栅格化,在 ArcGIS 9.2 进行坡长坡度提取及计算,得到各栅格的 LS 因子值。

(4) 覆盖与管理因子 C 和水土保持措施因子 P 。覆盖与管理(C)因子表征所有植被特征,如植被类型、作物种植顺序等因素对土壤侵蚀的综合影响,变化值域为 $[0, 1]$,其值越小,表示植被覆盖对土壤侵蚀的抑制作用越明显。水土保持措施(P)因子指特定水土保持措施下的土壤侵蚀量与相应未实施该措施的顺坡种植时的土壤流失量之比值。变化值域

为 $[0, 1]$,其值越小,表示水土保持措施对土壤侵蚀的抑制作用越明显。

以 2004 年深圳市土地利用类型分布图为基础,根据深圳市《土地利用分类(修订)》和土地的用途、经营特点、利用类型和覆盖特征等因素作为土地利用的分类依据,区分差异性,归纳共同性,将土地利用类型分水田、旱地和水浇地、菜地、果园、灌木林、林地、草地、工地和推平未建地、采矿地、未利用地、建成区共 10 个类型。参考相关学者^[18-21]的研究结果,根据土地利用类型对地块进行赋值,得到 C 值和 P 值(表 1)。

表 1 深圳市不同土地利用类型的 C 值和 P 值

土地利用类型	水田	旱地水浇地菜地	果园	灌木林	林地	草地	工地推平未建地	采矿地	未利用地	建成区
C	0.180	0.310	0.100	0.040	0.006	0.040	1.000	1.000	1.000	0.000
P	0.150	0.350	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000

1.2.2 土壤侵蚀强度综合指数 土壤侵蚀强度综合指数,指某种土地利用类型引起的土壤侵蚀强度加权等级值,可反映不同土地利用类型单元内土壤侵蚀的严重程度。其计算式为

$$I_j = \sum_{i=1}^n C_i \times A_i / A_j \quad (4)$$

式中: j ——土地利用类型; i ——土壤侵蚀强度分级; n ——土壤侵蚀分级数; I_j ——单元土壤侵蚀强度综合指数; C_i ——第 i 级土壤侵蚀强度分级值(为一常量); A_i ——各土地利用类型 i 级土壤侵蚀面积(m^2); A_j ——各土地利用类型面积(m^2)。

区域土壤侵蚀强度综合指数,指区域内不同土地利用类型引起的土壤侵蚀强度综合等级值,可反映不同土地利用类型对区域土壤侵蚀的影响程度以及区域土壤侵蚀发生率。其计算式为

$$I = 100 \times \sum_{j=1}^m A_j / A \times I_j \quad (5)$$

式中: I ——区域土壤侵蚀强度综合指数; A ——该区总面积(m^2); j ——土地利用类型; m ——第 j 单元土地利用类型总数;其他符号意义同式(4)。

一般情况下,自然状态下的土壤侵蚀强度分级值采用如下标准:微度、轻度、中度、强度、极强度和剧烈侵蚀的分级值分别为 0,2,4,6,8,10,重力侵蚀和工程侵蚀的分级值为 4。土壤侵蚀强度越大分级值越大,对土壤侵蚀强度综合指数的贡献就越大。但是,土壤侵蚀强度的增加对区域环境和水土流失的影响并不是等差关系,为了更逼真地反映土壤侵蚀状况,有必要对土壤侵蚀强度分级值进行修正。参考表(2)中不同土壤侵蚀强度的平均侵蚀模数,无明显侵蚀、较少侵蚀、一般侵蚀和严重侵蚀的平均侵

蚀模数分别为 1 000,5 000,14 000 和 20 000 $t / (hm^2 \cdot a)$,把土壤侵蚀强度分级值修正为无明显侵蚀、较少侵蚀、一般侵蚀和严重侵蚀分别为 1,5,14,20。

表 2 深圳市土壤侵蚀现状

强度等级	土壤侵蚀模数/ ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	面积/ km^2	面积比例/ %
无明显侵蚀	(0,2000)	652.880	34.105
较少侵蚀	[2000,8000)	153.299	8.008
一般侵蚀	[8000,20000)	62.868	3.284
严重侵蚀	[20000,)	18.720	0.978

2 结果分析

2.1 土壤侵蚀空间分布

在 ArcGIS 9.2 下将上述各因子相乘,并根据深圳市水土流失强度分级标准^[22](表 2)对土壤侵蚀进行分级得到深圳市 2004 年土壤侵蚀空间分布图(图 2)。

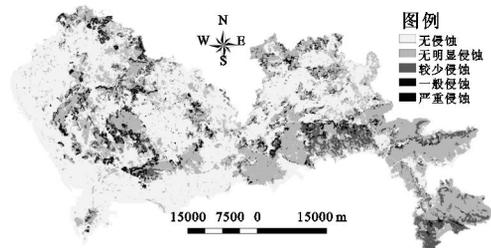


图 2 深圳市 2004 年土壤侵蚀分布图

2004 年,深圳市较少侵蚀等级以上土壤侵蚀面积为 81.588 km^2 ,占全市总面积的 4.162%,零星分布于全市;各区土壤侵蚀面积占区面积比例不同,盐田区土壤侵蚀面积占区面积比例最大,为 67.868%;各区均存在不同等级的土壤侵蚀,且均以无明显侵蚀

为主;全市平均土壤侵蚀模数为 3 570.676 t/(hm²·a);土壤侵蚀严重地区主要分布于宝安区和龙岗区;土壤侵蚀模数最大值为 447 621.594 t/(hm²·a),分布于龙岗区采矿地,建成区侵蚀计为 0。

土壤侵蚀模数可以反映单位面积单位时间内发生的土壤侵蚀量,对各土地利用类型的侵蚀模数和侵蚀面积比例统计得表 3,由表 3 可知:

(1)耕地中,旱地和水浇地、菜地的平均土壤侵蚀模数为 1 387.142 t/(hm²·a),是水田(499.489 t/(hm²·a))的近三倍,而耕地和水田引起的侵蚀面积占各类型面积的比例相差不大,分别为 90.412%和 94.463%。这可能是由于深圳降雨丰沛,耕地表层土壤扰动较大,土质结构疏松,易被水冲散冲走。

(2)采矿地的平均土壤侵蚀模数(80 001.545 t/(hm²·a))远高于农业用地,甚至是工地和推平未建地以及未利用地的近十倍,而且侵蚀面积比例也居首位,达 96.630%,这表明采矿地一旦开发即引起高强度高密度的土壤侵蚀,对环境造成极大的威胁。同时,工地和推平未建地以及未利用地的土壤侵蚀模数分别居第二和第三位,表明这两种土地利用类型对环境也造成着巨大的影响。

(3)草地的平均土壤侵蚀模数为 165.225 t/(hm²·a),是 9 种引起土壤侵蚀的土地利用类型中侵蚀模数最小的一种类型。林地的平均土壤侵蚀模数为 817.005 t/(hm²·a),灌木林的平均侵蚀模数为 9 901.405 t/(hm²·a)。通常情况下,水土保持效用的排序是草>灌>林,而从本次计算结果来看,灌木林的平均侵蚀模数甚至大于林地,但灌木林的侵蚀面积比例为最小(0.809%),林地的侵蚀面积比例为 96.130%,因此,林地和灌木林对全市的土壤

侵蚀贡献不能仅凭土壤侵蚀模数来看,不能确定二者对深圳市土壤侵蚀的作用。

(4)果园是深圳市山区的主要用地类型,平均土壤侵蚀模数为 3 021.792 t/(hm²·a),在各种用地类型中排名中等,侵蚀面积比例为 1.633%,仅略大于灌木林地。从表(3)来看,果园引起的土壤侵蚀对深圳市的土壤侵蚀贡献并不大。

表 3 深圳市不同土地利用类型的土壤侵蚀分布

土地利用类型	平均土壤侵蚀模数/ (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	侵蚀比例/ %
水田	499.489	94.463
旱地和水浇地、菜地	1387.142	90.412
果园	3021.792	1.633
灌木林	9901.405	0.809
林地	817.005	96.130
草地	165.225	46.119
工地和推平未建地	10511.105	89.417
采矿地	80001.545	96.630
未利用地	13443.510	86.062
建成区	0.000	0.000

注:侵蚀比例=侵蚀面积/本类型总面积×100%

2.2 不同土地利用类型对土壤侵蚀的影响

平均侵蚀模数和侵蚀比例可以表明土壤侵蚀现状和土壤侵蚀程度,但都不能完全表征土地利用类型与土壤侵蚀之间的关系。将二者进行有机的结合才能共同表征影响作用,因此引入土壤侵蚀综合指数进行综合评判分析。

按式(4)计算不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度综合指数值,计算结果如表(4)所示。土壤侵蚀强度综合指数值越大,说明此种土地利用类型下的土壤侵蚀发生率越大。

表 4 不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度综合指数值

土地利用类型及编号	福田	罗湖	盐田	南山	龙岗	宝安	深圳全市
水田(T ₁)	-	-	-	-	1.218	1.700	0.847
旱地和水浇地、菜地(T ₂)	2.789	4.290	2.701	4.068	1.906	2.028	2.069
果园(T ₃)	4.778	3.614	4.287	6.751	4.381	5.462	4.982
灌木林(T ₄)	4.020	1.592	3.031	3.594	3.671	3.129	3.528
林地(T ₅)	1.000	0.997	1.007	1.000	1.014	1.034	1.016
草地(T ₆)	1.000	1.033	1.000	1.011	1.218	1.042	1.050
工地和推平未建地(T ₇)	1.635	15.986	-	4.432	7.889	4.977	5.847
采矿地(T ₈)	14.302	17.701	18.014	9.508	16.183	16.712	15.315
未利用地(T ₉)	20.000	20.000	-	19.933	7.521	4.662	6.190

把不同土地利用类型按照土壤侵蚀强度综合指数排列而形成的序列定义为土地利用类型的土壤侵蚀序列,该序列可以说明不同土地利用类型下的土壤侵蚀发生率,因此将不同土地利用类型下的土壤侵蚀强度综合指数和土壤侵蚀序列进行比较和

分析。

(1)不同区域土壤侵蚀序列基本一致,表现为采矿地、未利用地以及工地和推平未建地较易引起侵蚀,林地、草地和水田不易引起土壤侵蚀;不同区域土壤侵蚀序列存在差异,这可能是由于各区土壤结

构和降雨分布存在地区性差异,使得土壤侵蚀分布存在地区性差异,对土壤侵蚀强度综合指数贡献不同。

表 5 不同土地利用类型的土壤侵蚀序列

区划	不同土地利用类型的土壤侵蚀序列
福田	$T_9 > T_8 > T_3 > T_4 > T_2 > T_7 > T_5 > T_6$
罗湖	$T_9 > T_8 > T_7 > T_2 > T_3 > T_4 > T_6 > T_5$
盐田	$T_8 > T_3 > T_4 > T_2 > T_5 > T_6$
南山	$T_9 > T_8 > T_3 > T_7 > T_2 > T_4 > T_6 > T_5$
龙岗	$T_8 > T_7 > T_9 > T_3 > T_4 > T_2 > T_1 = T_6 > T_5$
宝安	$T_8 > T_3 > T_7 > T_9 > T_4 > T_2 > T_1 > T_6 > T_5$
深圳全市	$T_8 > T_9 > T_7 > T_3 > T_4 > T_2 > T_6 > T_5 > T_1$

(2) 农用地中,果园比耕地更易引起土壤侵蚀,

表 6 不同土地利用类型下的区域土壤侵蚀强度综合指数值

土地利用类型	福田	罗湖	盐田	南山	龙岗	宝安	深圳全市
水田	-	-	-	-	0.031	0.002	0.010
旱地和水浇地、菜地	0.415	2.309	1.019	3.198	3.935	6.561	4.512
果园	11.634	18.762	9.462	134.473	81.763	77.244	76.563
灌木林	14.464	0.654	57.035	12.722	29.242	4.451	18.126
林地	9.588	39.075	45.708	6.034	29.427	13.900	22.037
草地	1.209	0.581	0.368	1.612	0.171	0.577	0.504
工地和推平未建地	0.395	3.888	-	4.774	2.955	4.193	3.385
采矿地	9.666	5.504	12.789	14.672	11.842	13.259	12.280
未利用地	0.266	0.734	-	0.991	2.799	2.530	2.261
合计	47.637	71.507	126.381	178.475	162.166	122.717	139.677

(1) 土地利用类型对不同区域土壤侵蚀影响程度基本一致,最可能发生土壤侵蚀的土地利用类型是果园,其次是灌木林、林地和采矿地。果园发生土壤侵蚀的可能性最大是因为一方面,果园的平均土壤侵蚀模数大[3 021.792 t/(hm²·a)],仅次于采矿地、未利用地以及工地和推平未建地;一方面,果园面积占深圳市总面积的 26.831%,是非建成区中面积最大的土地利用类型。而采矿地一旦采矿完毕即进行生态修复,相对农用地属于短期用地类型,造成的土壤侵蚀危害属短期高强度危害。

(2) 区域土壤侵蚀强度综合指数均不相同,南山区和龙岗区最大,表明一旦植被发生破坏,该两区发生土壤侵蚀的可能性最大,该两区是全市水土保持工作的重点预防区域;各区防治重点略有差别,如罗湖区防治重点是林地,盐田区则是灌木林地。

3 结 论

土壤侵蚀强度不仅与自然条件(土壤可蚀性、降雨量、坡度、海拔等)各项因素有关,还受土地利用类型制约。采矿地、未利用地以及工地和推平未建地较易引起侵蚀,其共性是土壤侵蚀模数大,而采矿地

这是由于深圳市果园多位于山区或坡地,原有的自然环境比较脆弱,自然植被破坏后水土保持功能丧失;耕地中旱地比水田更易引起土壤侵蚀,这与上一节的分析一致,由于旱地表层土壤经过强烈的人为扰动后团粒结构变得松散,而水田中的土壤长期处于潮湿状态不易立即被雨水冲走。

2.3 不同土地利用类型对区域土壤侵蚀的影响

按公式(5)计算不同土地利用类型对区域土壤侵蚀的影响程度及区域土壤侵蚀强度综合指数,计算结果如表(6)所示。由表可知,值越大表明这种土地利用类型对该区域土壤侵蚀的影响就越大,该区域的土壤侵蚀发生的可能性也就越大。

引起的土壤侵蚀会一直持续到地表植被形成,在建土地一旦建成则土壤侵蚀减小为零;果园是深圳市防治的重点,要杜绝毁林种果树的现象,并加强水土保持林的建设。

根据人工调查和遥感影像判读,2004 年深圳全市的土壤侵蚀面积是 80.26 km²,与本文计算的较少侵蚀以上面积与实际面积大体相符,因此在深圳市应用通用土壤流失方程计算土壤侵蚀是可行的,但对 RUSLE 模型在城市土壤侵蚀研究上的应用以及城市土壤侵蚀的分级标准还有待更广泛的验证和修正。此外,本文将土壤侵蚀综合指数和区域土壤侵蚀综合指数应用到城市土壤侵蚀分布的分析中,能够较好地反映不同土地利用类型作用下的土壤侵蚀分布特征,对于研究城市土地利用类型与土壤侵蚀分布具有一定的现实意义。

参考文献:

[1] 李智广,曹炜,刘秉正,等.中国水土流失现状与动态变化[J].中国水土保持,2008(12):7-11.

[2] 王向东,匡尚富,等.城市建设和采矿对土壤侵蚀及环境的影响[J].泥沙研究,2000(12):39-45.

[3] 张侠,赵德义.水土保持研究综述[J].地质技术经济管

理,2004,26(3):26-30.

[4] 邵颂东,王礼先,周金星. 国外土壤侵蚀研究的新进展[J]. 水土保持科技情报,2000(1):32-36.

[5] 柳礼奎,张国云,路紫. 城镇水土保持生态建设的理论探索[J]. 河北水利,2006(6):18-19.

[6] 王继增,吴志峰,朱立安,等. 关于城市水土流失研究中若干问题的探讨[J]. 水土保持通报,2005,25(4):106-110.

[7] 刘得俊,李润杰,王文卿,等. 基于地理信息系统的西宁市土壤侵蚀监测的实现[J]. 水土保持研究,2006,13(5):111-114.

[8] 孙希华. 济南城市扩展对水土流失的影响研究[J]. 水土保持研究,2004,11(1):50-53.

[9] 杨德生,肖卫国,陈冬,等. 深圳市水土流失动态变化遥感监测分析[J]. 人民珠江,2002(6):55-57.

[10] 卓慕宁,李定强,郑煜基. 高速公路弃土场的水土流失监测及其生态治理[J]. 水土保持通报,2007,27(4):96-99.

[11] Renard K G. RUSLE: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. USDA Agricultural Handbook No. 703 [M]. Washington D C: USDA, 1995.

[12] 高杨,吕宁,薛重生,等. 不同区域土地利用与土壤侵蚀空间关系研究[J]. 中国水土保持,2006(11):21-23.

[13] Wishchmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion loss cropland east of the Rocky Mountains [M]. USDA Agricultural Handbook,1965.

[14] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [M]. Washington:USDA Handbook, 1997.

[15] 王万中,焦菊英,郝小品,等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布() [J]. 水土保持学报,1995,9(4):5-18.

[16] 朱立安,李定强,魏秀国,等. 广东省土壤可蚀性现状及影响因素分析[J]. 亚热带水土保持,2007,19(4):4-8.

[17] 卜兆宏,唐万龙,潘贤章. 土壤流失量遥感监测中 GIS 像元地形因子算法的研究[J]. 土壤学报,1994,31(3):322-329.

[18] 游松财,李文卿. GIS 支持下的土壤侵蚀量估算:以江西省泰和县灌溪乡为例[J]. 自然资源学报,1999,14(1):62-68.

[19] 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.

[20] Zhang Yan, Liu Baoyuan, Effect of Different Vegetation Types on Soil Erosion by Water [J]. Acta Botanica Sinica,2003,45(10):1204-1209.

[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] 陈法杨. 城市水土流失强度分级标准商榷[J]. 中国水土保持,1999(3):30-36.

(上接第 52 页)

参考文献:

[1] 鲁春霞,谢高地,李双成,等. 青藏铁路沿线土壤重金属的分布规律初探[J]. 生态环境,2004,13(4):546-548.

[2] 张甘霖. 城市土壤研究的深化和发展:简评首届“城市、工业、交通和矿区土壤”国际会议[J]. 土壤,2001,33(2):111-112.

[3] 王金达,刘景双,于君宝,等. 沈阳市城区土壤和灰尘中铅的分布特征[J]. 中国环境科学,2003,23(3):300-304.

[4] 汪权方,陈百明,李家永,等. 城市土壤研究进展与中国城市土壤生态保护研究[J]. 水土保持学报,2003,17(4):142-145.

[5] 陈维新,张玉龙. 沈阳东郊沈抚公路两侧土壤铅含量分布规律的初步研究[J]. 农业环境保护,1990,9(2):10-13.

[6] Smith M A B. An urban soil study: Heavy metals Glebe[J]. Australia Aust. J. Soil Res.,1996,34:453-465.

[7] 殷云龙,宋静,骆永明,等. 南京市城乡公路绿地土壤重金属变化及其评价[J]. 土壤学报,2005,42(2):206-210.

[8] 陈爱侠. 路域生态系统环境功能与稳定性的初步研究[J]. 长安大学学报,2003,20(1):11-13

[9] 余海龙,顾卫,姜伟,等. 高速公路路域土壤质量退化演变的研究[J]. 水土保持学报,2006,20(4):195-198.

[10] 马建华,张丽,李亚丽. 开封市城区土壤性质与污染的初步研究[J]. 土壤通报,1999,30(2):93-96.

[11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:147-211.

[12] 张甘霖,朱永官,傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应[J]. 生态学报,2003,23(3):539-546.

[13] 中华人民共和国国家标准. 土壤环境质量标准(GB 15618-1995) [S]. 北京:中国标准出版社,1995.

[14] 李天杰,宫室国,潘根兴,等. 土壤环境学[M]. 北京:高等教育出版社,1995.