

# 东北丘陵漫岗区坡耕地土壤抗蚀性研究

许晓鸿, 隋媛媛, 张瑜, 王永丰, 刘明义

(吉林省水土保持科学研究院, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 采用室内分析与野外试验测定相结合的方法, 对研究区坡耕地土壤理化性状和土壤崩解速率进行了分析, 并采用 EPIC(土壤侵蚀和生产力影响估算)模型计算了土壤可蚀性因子  $K$  值, 研究了东北丘陵漫岗区坡耕地抗蚀性分布特征。结果表明: (1) 该区土壤容重的变化趋势为: 0—5 cm 土层 < 20—25 cm 土层 < 40—45 cm 土层, 坡下部 < 坡上部,  $7^\circ < 10^\circ$ 。土壤有机质含量变化趋势相反, 中值粒径无明显变化规律。(2) 土壤崩解速率随土层深度增加而逐渐增大, 它与土壤容重和有机质相关性较好。容重越小, 有机质含量越高, 崩解速率越小。(3) 土壤崩解速率随坡度和坡位变化规律一般表现为: 坡上部 > 坡下部,  $7^\circ < 10^\circ$ 。(4) 该区坡耕地土壤可蚀性  $K$  值处于 0.20~0.40 之间, 土壤抗蚀性能较弱, 应加强土壤抗侵蚀研究及水土流失方面的防治工作。

**关键词:** 丘陵漫岗区; 坡耕地; 崩解速率; 抗蚀性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)04-0032-04

中图分类号: S157.1

## Anti-erodibility of Sloping Land Soil in Upland Region of Northeast China

XU Xiao-hong, SUI Yuan-yuan, ZHANG Yu, WANG Yong-feng, LIU Ming-yi

(Water and Soil Conservation Research Institute of Jilin Province, Changchun, Jilin 130033, China)

**Abstract:** With indoor experiment and field test, soil physical and chemical properties, soil disintegration rate and related influential factors of sloping land were determined. The formula calculation method of EPIC (erosion productivity impact calculator) was applied to investigate the erodibility factor  $K$  of the soil in sloping lands in northeastern upland region of China. The results indicate that soil bulk density increased in an ascending order of soil depth as 0—5 cm < 20—25 cm < 40—45 cm. The soil of lower slope had smaller bulk density than that of upper slope. Similarly, the soil from gentle slope ( $7^\circ$ ) had smaller bulk density than that from steeper slope ( $10^\circ$ ). The organic matter contents showed an exactly opposite trend to bulk density. The median diameter of grain sizes did not show clear trend. The soil disintegration rates gradually increased with soil depth and correlated closely with soil bulk densities and organic matter contents; soil disintegration rate decreased with increase of organic matter content and decrease of soil bulk density. The soil from upper slope often had higher soil disintegration rate than that from lower slope, and the soil from gentle slope ( $7^\circ$ ) had smaller soil disintegration rate than that from steeper slope ( $10^\circ$ ). The calculated soil erodibility  $K$  varied between 0.20 ~ 0.40, indicating weak anti-erodibility. Therefore, water and soil conservation should be strengthened in the research area.

**Keywords:** upland region; sloping land; soil disintegration rate; soil anti-erodibility

土壤侵蚀是引起水土流失的重要原因, 能够导致土壤贫瘠, 土地生产力下降, 生态环境恶化。土壤抗蚀性是土壤侵蚀研究的重要内容之一, 是指土壤抵抗径流的分散和悬浮的能力, 主要取决于土粒和水的亲和力以及土壤颗粒之间的胶结力<sup>[1]</sup>。从 20 世纪 30 年代开始, 国外学者最先从可蚀性角度研究土壤抗蚀

性, 并取得了一定成果<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代初, 国内学者开始了对土壤抗蚀性的研究与探索, 研究表明土壤的抗蚀性与土壤理化性质密切相关<sup>[3-8]</sup>, 同时受到地形及土地利用状况的影响, 在土质相同或相近区域, 土壤的抗蚀性存在一定的分布规律<sup>[1,9-10]</sup>。东北丘陵漫岗区具有独特的自然地理地貌, 坡耕地土壤侵

收稿日期: 2011-09-27

修回日期: 2011-11-07

资助项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目“黑土区坡耕地水土流失治理技术集成与示范”(200901048); 吉林省科技发展计划重点项目“第二松花江流域坡耕地水土流失治理技术集成与示范”(20070430)

作者简介: 许晓鸿(1971—), 男(汉族), 陕西省汉中市人, 硕士, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀及水土保持与生态环境建设方面工作。

E-mail: jlsbyxxh191@163.com, knowyou0429@yahoo.com.cn.

蚀现象日益加剧,严重威胁着区域粮食生产和经济发展。本研究通过对土壤崩解速率的测定和分析,研究了坡耕地土壤抗蚀性的分布规律,并分析探讨其主要影响因素,以期为东北黑土丘陵漫岗区坡耕地土壤侵蚀及水土流失防治提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于吉林省东辽县杏木小流域,地处长白山余脉,地理坐标为东经  $125^{\circ}22'40''$ — $125^{\circ}26'10''$ ,北纬  $42^{\circ}58'05''$ — $43^{\circ}01'40''$ ,属寒温带半湿润大陆性季风气候,多年平均气温  $5.2^{\circ}\text{C}$ ,有效积温  $2\ 700\sim 2\ 800^{\circ}\text{C}$ ,最高气温  $38^{\circ}\text{C}$ ,最低气温  $-40^{\circ}\text{C}$ , $\geq 10^{\circ}\text{C}$  的积温  $2\ 900^{\circ}\text{C}$ 。无霜期平均 137 d,年平均日照时数为 2 497.9 h,多年平均降水量 658.1 mm,坡耕地以棕壤土为主,属于典型的东北丘陵漫岗区。

### 1.2 土壤理化性质测定

2011 年 7 月在研究区选取坡度为  $7^{\circ}$  和  $10^{\circ}$  两块坡耕地,坡长约为 200 m,于坡上和坡下分 0—20 cm 和 20—40 cm 两层进行取样,坡上部为自坡顶垂直向下 50 m 范围,坡下部为自坡脚向上垂直 50 m 范围,采用对角线法在坡上部和坡下部分别选取 13 个样点,在  $7^{\circ}$  和  $10^{\circ}$  两块坡耕地的坡下部和坡上部分两层共取 104 个土样,风干、过筛后进行实验分析。土壤容重采用环刀法进行测定,土壤有机质采用硫酸重铬酸钾法<sup>[11]</sup>,利用 MS2000 激光粒度分析仪进行颗粒分析,土壤机械组成颗粒划分采用美国制。

### 1.3 土壤崩解速率测定

土壤崩解是指土壤在水中发生分散、破碎、塌落或者强度减弱的现象<sup>[12]</sup>,土壤的抗崩解性可以反映土壤在抗蚀抗分散方面的特性,是衡量土壤抗蚀性的一个综合评价指标<sup>[13]</sup>。土壤抗崩解能力一般用土壤崩解速率表示,指土壤样品在浸水后单位时间内崩解的试样体积,土壤崩解速率计算公式:

$$B = \frac{Sl_0 - l_t}{r \cdot t} \quad (1)$$

式中: $B$ ——崩解速率( $\text{cm}^3/\text{min}$ ); $S$ ——浮筒底面积( $\text{cm}^2$ ); $r$ ——各土层容重( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); $l_0, l_t$ ——崩解开始(已放土样)的浮筒刻度初始值和时刻  $t$  的读数( $\text{cm}$ ); $t$ ——土样完全崩解时间( $\text{min}$ ),未完全崩解计为 30 min。

采用静水崩解法进行测试<sup>[14]</sup>,试验仪器为根据崩解试验原理自制的测试装备。每隔 30 s 观测一次读数,试验观测最长时间为 30 min。具体操作方法为:于 2011 年 7 月在野外土壤剖面 0—20 cm 和

20—40 cm 两土层取  $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$  的原状土崩解样,置于自制的带浮标的铁丝网上( $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ),放在静水中崩解,测定土样崩解时间与崩解量,并计算土样平均崩解速率。崩解试验采取  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  网格法分别在坡耕地坡上和坡下分 0—20 cm 和 20—40 cm 两土层进行取样,坡度为  $7^{\circ}$  和  $10^{\circ}$  的两块坡耕地坡上部和坡下部的取样面积分别为  $50\text{ m} \times 150\text{ m}$  和  $50\text{ m} \times 120\text{ m}$ ,两块坡耕地坡上部和坡下部分两层分别取样  $75 \times 2 \times 2$  个和  $60 \times 2 \times 2$  个,共采集土样 540 个。

### 1.4 土壤可蚀性 $K$ 值的测定

土壤可蚀性  $K$  值作为土壤抗侵蚀性指标具有较多的估算方法<sup>[15]</sup>,本研究采用 Williams 提出的侵蚀—生产力评价模型 (EPIC) 进行计算,其计算公式<sup>[16]</sup>为:

$$K = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 S_a (1 - \frac{S}{100})] \right\} \left\{ \frac{S}{(C_l + S)} \right\}^{0.3} \left\{ \frac{1.0 - 0.25C}{[C + \exp(3.72 - 295C)]} \right\} \left\{ \frac{1.0 - 0.7S_n}{S_n + \exp(-5.51 + 22.9S_n)} \right\} \quad (2)$$

式中: $S_a$ ——砂粒含量( $2\sim 0.05\text{ mm}$ ); $S_i$ ——粉粒含量( $0.05\sim 0.002\text{ mm}$ ); $C_i$ ——黏粒含量( $< 0.002\text{ mm}$ ); $S_n = 1 - S_a/100$ ;  $C$ ——有机碳含量(有机碳含量 = 有机质含量/1.724)

## 2 结果与讨论

### 2.1 坡耕地不同坡度和坡位的土壤理化性质

2.1.1 土壤容重的分布特点 土壤容重是反映土壤物理性状的一项重要指标,是土壤物质组成、结构坚实程度及保水保土性能的综合反映。土壤容重越小,则土壤的通透性越好,保水抗侵蚀能力越强。由表 1 分析可知,对于坡度和坡位相同的坡耕地土壤剖面,土壤容重随土层深度变化表现为一致的变化规律,均随土层深度的增加而逐渐增大,这是由于研究区域土质较为疏松,随取样深度的增加,土壤紧实度不断增加,空隙减少,容重变大;在坡度为  $7^{\circ}$  和  $10^{\circ}$  的坡面,不同土层深的土壤容重表现为:坡上  $>$  坡下,  $7^{\circ} < 10^{\circ}$ ,说明坡下土壤物理通透性较坡上土壤好,坡面坡度越大,土壤侵蚀程度越严重,土壤通透性越差。

2.1.2 土壤有机质的分布特点 土壤有机质是土壤结构形成和稳定的核心物质,其腐殖物质在土壤团聚体的形成过程和稳定性方面起着重要作用,有机质含量的增加,能够改善土壤结构,增加土壤黏结力,改善土壤通气性、透水性及土壤胶体情况,增强土壤吸附

作用,增强土壤的抗侵蚀能力。由表 1 分析可得,土壤有机质随坡度、坡位及土层深度的变化规律为:0—5 cm > 20—25 cm > 40—45 cm,坡下 > 坡上,7° > 10°。分析结果表明,土壤有机质含量随土层深度的增加而逐渐减少,坡下有机质含量高于坡上,坡耕地坡度越高,有机质含量越少,原因主要是研究区耕层土壤为东北黑土,有机质含量丰富,但可能由于水土流失,使得坡上部及高坡度坡面有机质流失较坡下部和低坡度坡面养分流失更为严重,有机质含量降低。

### 2.1.3 粒度组成与分布 土壤颗粒组成状况是影响

土壤抗蚀能力的重要因素,是构成土壤抗蚀特性的基础,吴淑安<sup>[17]</sup>通过试验研究,指出土壤颗粒组成是制约土壤抗蚀性的重要因素。

通过试验分析,研究区域土壤中值粒径随不同坡度和坡位坡耕地土层深度变化无明显规律;并且土壤中砂粒和粉粒含量较高,根据中国土壤质地分类标准,区域土壤类型属砂质壤土,原因主要是该区域坡耕地耕种年限较长,达 100 a 以上,耕地管理不善的现象严重,长期的土壤流失加剧了土壤沙化,从而导致土壤中黏粒含量不断降低。

表 1 研究区坡耕地土壤物理化学性状

坡度	坡位	土层/ cm	容重/ (g · cm <sup>-3</sup> )	有机质/ %	砂粒/% (2~0.05 mm)	粉粒/% (0.05~0.002 mm)	黏粒/% (<0.002 mm)
7°	坡上	0—5	1.06	5.78	23.85	71.26	4.90
		20—25	1.11	3.69	64.70	32.86	2.43
		40—45	1.19	3.24	40.01	56.48	3.52
	坡下	0—5	1.02	6.95	45.72	50.98	3.31
		20—25	1.08	6.26	40.09	56.71	3.21
		40—45	1.11	5.81	5.97	86.68	7.34
10°	坡上	0—5	1.07	5.70	6.45	86.20	7.35
		20—25	1.13	3.71	9.05	85.31	5.64
		40—45	1.20	2.85	68.96	29.16	1.89
	坡下	0—5	1.06	6.12	80.99	18.01	0.94
		20—25	1.11	5.59	79.08	19.70	1.16
		40—45	1.15	4.86	57.59	39.40	3.01

## 2.2 土壤崩解速率

土壤崩解速率测定结果表明(表 2),坡度和坡位相同的坡耕地土壤,崩解速率随土层深度的增加而逐渐增大,抗蚀能力逐渐减弱。研究区土壤理化性质的测定结果表明,土壤崩解速率与容重具有相同的变化趋势,土壤容重增大,土壤崩解速率也增大,抗蚀能力越弱,而与土壤有机质具有相反的变化趋势,有机质含量越大,崩解速率越小,抗蚀能力越强。崩解速率与土壤容重、有机质相关分析结果表明,不同土层深度的土壤崩解速率分别与土壤容重和有机质具有较好的相关性。这可能是由于研究区位于典型的东北丘陵漫岗区,表层土壤有机质含量高,土质疏松,土壤紧实度小,透水通气性好,土壤的抗崩解能力强,随土层深度的增加,有机质含量降低,土壤紧实度增大,土壤持水固土能力减弱,加快土体在水中的分散和分解。魏朝富<sup>[18]</sup>和 Le Bossonais 等<sup>[19]</sup>的研究同样表明,土壤有机质能够增加土壤团聚体对土体在水中的消解和分散作用的抵抗性,土壤结构稳定性随有机碳含量的减少而降低。同时,由于受农业耕作活动的影响,表层土壤植物根系较多,根系能够改善土壤结构,

增加土壤中水稳性团聚体结构,提高土体的抗崩解和抗蚀能力,因此,土层越深,土壤的崩解速率越大。

表 2 研究区坡耕地土壤崩解速率

坡度	坡位	崩解速率/(cm <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup> )		
		0—5 cm	20—25 cm	40—45 cm
7°	坡上	1.85	22.98	45.59
	坡下	0.42	16.35	39.60
10°	坡上	2.61	32.23	59.56
	坡下	0.31	17.89	40.08

在坡度相同的坡面,坡上部 0—5 cm, 20—25 cm, 40—45 cm 这 3 个土层土壤崩解速率明显高于坡下部,坡上部土壤比坡下部更易发生土壤侵蚀而导致土壤的流失。坡位的变化,实际上是光照、土壤水分、养分和土壤条件的生态序列,从坡上到坡下,土壤逐渐由流失到堆积,土壤厚度、有机质、含水量和其他养分含量都逐渐增加,土壤结构性和稳定性逐渐好转,因而土壤的崩解速率降低,土壤抗蚀能力增强;不同坡度土壤崩解速率的分析结果表明,对于坡上部土壤,坡度越大,土壤崩解速率越大,抗蚀性越低,对于

坡下部土壤,0—5 cm 土层土壤崩解速率表现为  $7^\circ > 10^\circ$ ,而 20—25 cm 和 40—45 cm 土层的土壤崩解速率表现为  $7^\circ < 10^\circ$ 。由于坡耕地坡度越大,重力作用越明显,降水冲刷导致水土流失愈重,土壤结构状况愈差,土壤的崩解速率愈大,抗蚀能力也愈弱,但坡度为  $10^\circ$  的坡下部表层土壤崩解速率却小于坡度为  $7^\circ$  的坡面,原因可能是坡度为  $10^\circ$  的坡面坡上部冲刷较严重,在坡下部堆积了大量的有机质及作物残茬,使得表层土壤的崩解速率降低,抗蚀能力增强。

### 2.3 可蚀性因子 $K$ 值

可蚀性因子  $K$  值与土壤机械组成、有机质、土壤结构及渗透性等性质有关,利用 EPIC 公式计算坡耕地不同坡度、坡位土壤可蚀性因子  $K$  值,依据我国东

部丘陵地区土壤可蚀性  $K$  值的分级标准<sup>[20]</sup>,研究区域土壤可蚀性  $K$  值基本在 0.20~0.40 之间,属于中高可侵蚀性土壤,土壤抗蚀性较弱,应加强研究区坡耕地土壤抗侵蚀研究及水土流失防治工作。根据表 3 分析结果,坡度为  $10^\circ$  的坡下部土壤可蚀性较  $7^\circ$  坡面低,而坡上部可蚀性则高于  $7^\circ$  坡面,与崩解试验得到的分析结果一致;同时,在相同坡度的坡耕地上部和坡下部可蚀性  $K$  值存在差异,这与土壤可蚀性的内在性质和暂时性质有关<sup>[21]</sup>,研究区坡耕地由于长期从事农业耕种活动,土壤侵蚀和水土流失现在严重,造成坡上部和坡下部土壤质地差异明显,研究区域复杂的微地形地貌也是土壤可蚀性  $K$  值存在差异的原因之一。

表 3 研究区坡耕地土壤可蚀性  $K$  值

项目	$7^\circ$ 坡面						$10^\circ$ 坡面					
	坡上			坡下			坡上			坡下		
土层/cm	0—5	20—25	40—45	0—5	20—25	40—45	0—5	20—25	40—45	0—5	20—25	40—45
可蚀性 $K$ 值	0.330	0.217	0.296	0.271	0.289	0.362	0.361	0.364	0.212	0.139	0.151	0.236

## 3 结论

(1) 研究区坡耕地各土层土壤容重变化趋势表现为:0—5 cm < 20—25 cm < 40—45 cm,坡下部 < 坡上部,  $7^\circ < 10^\circ$ ;土壤有机质含量具有相反的变化趋势,即 0—5 cm > 20—25 cm > 40—45 cm,坡下部 > 坡上部,  $7^\circ > 10^\circ$ ;研究区土壤中砂粒和粉粒含量较高,属沙壤土,中值粒径无明显变化规律。

(2) 研究区坡耕地土壤崩解速率随土层深度的增加而逐渐增大,抗蚀能力不断减弱,其分布特征为:0—5 cm < 20—25 cm < 40—45 cm,;土壤崩解速率与土壤容重和有机质含量具有较好的相关性,土壤容重越小,有机质含量越高,土壤崩解速率越小,抗蚀能力越强。

(3) 土壤崩解速率在不同坡度和坡位的分布特征表现为:坡上部 > 坡下部,  $7^\circ < 10^\circ$ ,研究区坡耕地土壤抗蚀性自坡上到坡下逐渐增强,随坡度增大而逐渐减弱。坡下部 0—5 cm 土层土壤崩解速率在  $10^\circ$  坡面上低于  $7^\circ$  坡面,可能是由于降雨冲刷使  $10^\circ$  坡面的坡下部堆积了大量的有机质及农作物残茬,增强了土壤的抗蚀能力。

(4) 研究区坡耕地不同坡度、坡位及土层深度的土壤可蚀性  $K$  值基本在 0.20~0.40 之间,属于中高可侵蚀性土壤,土壤抗蚀性较弱,应加强研究区坡耕地土壤抗侵蚀研究及水土流失防治工作。

### [参 考 文 献]

- [1] 方学敏,万兆惠,徐永年. 土壤抗蚀性研究现状综述[J]. 泥沙研究,1997,6(2):88-91.
- [2] Bouyoucos G J. The clay ratio as a criterion of susceptibility of soil erosion[J]. Soil Sci. Am. Proc., 1922,27(9):738-741.
- [3] 林秋月. 花岗岩区土壤抗蚀性评价因子体系研究[D]. 福建福州:福州农林大学,2006.
- [4] 高维森,王佑民. 土壤抗蚀性研究综述[J]. 水土保持通报,1992,12(5):59-63.
- [5] 吴淑芳,刘建凯. 黄土高原沙棘林抗侵蚀性能研究综述[J]. 国际沙棘研究与开发,2005,3(2):43-47.
- [6] 阮伏水,吴雄海. 关于土壤可蚀性指标的讨论[J]. 水土保持通报,1996,16(6):68-72.
- [7] 史学正,与东升,吕喜奎. 用人工模拟降雨仪研究我国亚热带土壤的可蚀性[J]. 水土保持学报,1995,9(3):38-42.
- [8] 张宪奎,许靖华,卢秀琴,等. 黑龙江省土壤流失方程的研究[J]. 水土保持通报,1992,12(4):1-9.
- [9] 王佑民,郭培才,高维森. 黄土高原土壤抗蚀性研究[J]. 水土保持学报,1994,8(4):11-16.
- [10] 郭培才,张振中. 黄土区土壤抗蚀性预报及评价方法研究[J]. 水土保持学报,1992,6(3):48-52.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社,1986:33-89.
- [12] 袁勇,高华端,孙泉忠. 黔中喀斯特地区不同地类土壤侵蚀研究[J]. 中国水土保持,2010(6):50-51.

(下转第 47 页)

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 崔鹏,庄建琦,陈兴长,等.汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42(5):10-19.
- [2] 唐川,梁京涛.汶川震区北川“9·24”暴雨泥石流特征研究[J].工程地质学报,2008,16(6):751-758.
- [3] 徐强.四川省“8·13”特大泥石流灾害特点、成因与启示[J].工程地质学报,2010,18(5):596-608.
- [4] 游勇,柳金峰,陈兴长.“5·12”地震后北川苏保河流域泥石流危害及特征[J].山地学报,2010,28(3):358-366.
- [5] 陈宁生,张军.泥石流源区弱固结砾石土的渗透规律[J].山地学报,2001,19(1):169-17.
- [6] 陈晓清,崔鹏,陈杰,等.云南东川蒋家沟宽级配砾石土原位渗透试验初步研究[J].山地学报,2006,24(S):190-197.
- [7] 蒋定生.黄土高原水土流失与治理模式[M].北京:中国水利水电出版社,1997.
- [8] 邹翔,崔鹏,陈杰,等.小江流域土壤抗冲性实验研究[J].水土保持学报,2004,18(2):71-73.
- [9] 康志成,李焯芬,马蔼乃,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [10] Reid M E, Lahusen R G, Iverson R M. Debris-flow initiation experiments using diverse hydrologic triggers [M]//Chen Chenglung. Debris-flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment. ASCE, 1997:1-11.
- [11] Chen H, Lee C F. A dynamic model for rainfall-induced landslides on natural slopes[J]. Geomorphology, 2003,3(51):269-288.
- [12] Cannon S H, Gartner J E, Wilson R C, et al. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in Southwestern Colorado and Southern California [J]. Geomorphology, 2008, 96(3):250-269.
- [13] 陈晓清,崔鹏,冯自立,等.泥石流源地的滑坡转化泥石流起动试验研究[J].岩石力学与工程学报,2006,25(1):106-116.
- [14] Chen Ningsheng, Zhou Wei, Yang Chenglin, et al. The processes and mechanism of failure and debris flow initiation for gravel soil with different clay content[J]. Geomorphology, 2010,121(3/4):222-230.
- [15] Cui Peng. Studies on condition and mechanism of debris flow initiation by means of experiment[J]. Chinese Science Bulletin, 1992,37(9):759-763.
- [16] Takahashi T. Debris Flow[M]. Rotterdam: Monograph of IAHR, 1991.
- [17] 吴淑安,蔡强国,靳长兴.内蒙古东胜地区土壤抗蚀性实验研究[J].干旱区资源与环境,1996,10(2):38-45.
- [18] 魏朝富,高明,谢德体,等.有机肥对紫色水稻土水稳性团聚体的影响[J].土壤通报,1995,26(3):114-116.
- [19] Le Bissonnais Y. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility I: Theory and methodology[J]. Eur. J. Soil Sci., 1996,47(4):425-435.
- [20] 赵其国.中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理及调控[M].北京:科学出版社,2002.
- [21] 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):4-16.

(上接第35页)

- [13] 高华端,孙泉忠,袁勇.喀斯特地区不同土地利用类型土壤侵蚀特征研究[J].水土保持通报,2010,30(2):92-96.
- [14] 李智广.水土流失测验与调查[M].北京:中国水利水电出版社,2005:77-85.
- [15] 钟壬琳.江西省土壤抗侵蚀性指标区域分布特征分析[D].湖北 武汉:长江科学院,2010.
- [16] Williams J R, Sharply A N. EPIC Erosion Productivity Impact Calculator I: Model documentation[C]. USA: Agricultural Research Service, 1990:20-28.