

我国亚热带土壤可蚀性的对比研究*

邢廷炎 史学正 于东升

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要 本文用人工模拟降雨法和田间实测法对比研究了我国亚热带七种有代表性土壤的可蚀性, 结果表明, 两种方法测得的土壤可蚀性 K 值都以红砂岩发育的(耕作)铝质湿润淋溶土和紫色砂页岩发育的紫色湿润锥形土为最高, 最低的是第四纪红色粘土发育的红色湿润新成土。本文还对每个供试土壤分别建立了这两种条件下求得 K 值间的定量关系, 为今后利用人工模拟降雨试验开展各种研究提供了基础。

关键词 土壤可蚀性, 人工模拟降雨法, 田间实测法, K 值

中图分类号 S157.1

土壤退化越来越受到世界各国的重视, 尤其是土壤侵蚀退化, 它不仅降低了土壤养分和有机质的含量, 而且破坏了土壤结构, 使作物的产量下降^[1]。尽管我国亚热带土壤退化类型众多, 但最主要的和最严重的是土壤侵蚀退化。决定土壤侵蚀量大小的因素包括两个方面, 一个是土壤侵蚀介质等外营力, 另一个是土壤自身的抗蚀能力, 后者国际上习惯用土壤可蚀性 (Soil erodibility) 来衡量^[2]。研究表明, 尽管侵蚀外营力一样, 但是由于土壤性质差异可造成土壤侵蚀量相差 10 倍多, 土壤可蚀性的增大会加剧全球土壤侵蚀和生态环境恶化, 因此, 土壤可蚀性已被广泛应用于土壤侵蚀预报、水土保持规划、生态环境和土壤潜在危险性评价等领域, 开展对土壤可蚀性的研究在水土保持理论和实践中都具有重要意义^[3]。

1 小区设计与试验方法

1.1 小区试验设计

七种土壤可蚀性研究小区(9-15号)建在江西鹰潭中国科学院红壤生态试验站, 试验地原先是一块坡度约为 5° 的稀疏马尾松荒地, 试验开始之前这块荒地平均每 30m² 仅有一棵矮小的马尾松。七种华中地区有代表性的土壤分别是第四纪红色粘土发育的网纹层出露的红色湿润新成土(9号)、旱耕地上的粘淀湿润富铁土(10号)和荒地上的粘淀湿润富铁土(11号), 红砂岩发育的荒地上的铝质湿润淋溶土(12号)和旱耕地上的铝质湿润淋溶土(13号), 紫红色砂页岩发育的紫色湿润锥形土(14号)和花岗岩发育的铝质湿润淋溶土(15号)。对每个试验小区, 每次自然降雨后都即时测量和采集地表径流水样, 并用烘干法

* 本研究工作得到国家自然科学基金资助(批准号: 49571045)。本文是第一作者硕士毕业论文中的部分内容, 目前他已在武汉大学环境科学系工作。

收稿日期: 1996-08-29; 收到修改稿日期: 1997-09-18

测定径流中的泥沙含量^[4]。

1.2 人工模拟降雨设计

人工模拟降雨仪产自联邦德国,其模拟降雨面积为宽 5.5m,长 20m,合 110m²,降雨量大小用降雨喷头的个数多少来调节,其范围是 20-100mm / hr。本试验在人工模拟降雨之前,对小区土壤进行翻耕并耙平。试验时降雨 1 小时(第一次降雨),停 1 小时,再降雨 1 小时(第二次降雨),停 1 小时,再降雨 1 小时(第三次降雨),降雨强度约 70-80mm / hr。试验时待地表径流出现后每 10 分钟测量和采集一次径流水样,并用烘干法测定地表径流中的泥沙含量。

2 结果

2.1 试验小区的产流特点

1994 年自然降雨条件下,各个小区的地表径流量均以 4、5、6 月为最高,这 3 个月的地表径流量分别占全年地表径流量的百分比,除紫色湿润锥形土(14 号)、铝质湿润淋溶土(15 号)外,都在 70% 以上,全年的地表径流量以紫色湿润锥形土(14 号)最高,其次是铝质湿润淋溶土(13 号),最少的是红色湿润新成土(9 号)。1995 年逐月变化趋势与 1994 年相同,各小区地表径流量的大小也与 1994 年的趋势相同,但 4 至 6 月的地表径流量占全年地表径流量的比例已有很大的提高,除紫色湿润锥形土(14 号)、铝质湿润淋溶土(15 号)接近于 80% 以外,其余小区都超过 80%。

1994—1995 年 9—15 号小区的地表径流量和径流系数分别列于表 1。1994 年,铝质湿润淋溶土(13 号)、紫色湿润锥形土(14 号)和铝质湿润淋溶土(15 号)的地表径流量均在 700mm 以上,以紫色湿润锥形土(14 号)最高,为 759.0mm,但它们之间的差异较小,仅相差 35.5mm;其余各型土壤的地表径流量都小于 500mm,红色湿润新成土(9 号)仅 259.1mm,只有紫色湿润锥形土(14 号)的 1/3。1995 年的地表径流量特点与 1994 年基本相同,但地表径流量比 1994 年有所提高,铝质湿润淋溶土(13 号)、紫色湿润锥形土(14 号)和铝质湿润淋溶土(15 号)的地表径流量均大于 800mm,其余各类土壤都小于 600mm;此外,耕作土壤的地表径流量和径流系数都比相同类型非耕作土壤要大。

表 1 1994—1995 年各小区的地表径流量(mm)和径流系数

Table 1 Runoff (mm) and runoff coefficients of plots in 1994 and 1995

项目 Item	年份 Year	小区号(Plot No.)						
		9	10	11	12	13	14	15
径流量	1994	259.1	437.9	361.6	400.4	726.7	759.0	723.5
径流系数		0.13	0.23	0.19	0.21	0.38	0.39	0.37
径流量	1995	440.2	592.0	488.8	514.3	894.0	915.1	846.9
径流系数		0.22	0.30	0.25	0.26	0.45	0.46	0.43

2.2 试验小区的产沙特点

1994 年自然降雨条件下,红色湿润新成土(9 号)和粘淀湿润富铁土(10 号)产沙量最高的是 5、6 和 8 月,这 3 个月的产沙量之和分别占全年产沙量的 79% 和 74.7%,而 11—15

号小区的产沙量都以4至6月最多,这3个月的产沙量分别占全年产沙量的65%以上,其中铝质湿润淋溶土(13号)占90%以上。全年的总产沙量以紫色湿润锥形土(14号)最多,达143.6t/ha,其次是铝质湿润淋溶土(13号),为124.6t/ha,最少的是红色湿润新成土(9号),仅32.3t/ha,只有紫色湿润锥形土(14号)的22.4%。

1995年9—15号小区的产沙量均以4至6月最多,这3个月的产沙量分别占全年产沙量的百分比,除粘淀湿润富铁土(10号)和铝质湿润淋溶土(12号)接近于90%以外,都超过90%。全年的总产沙量以紫色湿润锥形土(14号)最多,达188.1t/ha,其次是铝质湿润淋溶土(13号),为148.2t/ha,最少的是红色湿润新成土(9号),仅42.9t/ha,只有紫色湿润锥形土(14号)的22.8%。

2.3 人工模拟降雨试验

表2列出了人工模拟降雨试验的结果,从表中可知,第一次降雨过程中,产流时间最长的是红色湿润新成土(9号),为35分钟,最短的是铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号),仅3分钟;第二次和第三次降雨的产流时间差异不大,均在3分钟内产流;各

表2 人工模拟降雨试验结果

Table 2 Experimental results obtained by rainfall simulator

小区号 Plot No.	雨次 Rainfall order	产流时间 Time of runoff appearance (min)	断流时间 Time of runoff disappearance (min)	地表径流量 Runoff (mm)	径流系数 Runoff coefficient	产沙量 Soil loss (t/ha)
9	1	35.0	1.2	9.4	0.135	1.77
	2	2.0	2.5	46.6	0.639	6.07
	3	1.2	2.8	48.5	0.749	8.96
10	1	24.0	1.5	11.5	0.177	4.03
	2	2.5	1.7	35.4	0.563	8.04
	3	1.5	1.5	43.6	0.633	13.10
11	1	22.5	1.2	20.3	0.312	1.84
	2	3.0	2.2	43.1	0.686	4.61
	3	1.9	2.0	49.5	0.718	4.71
12	1	11.6	1.2	27.3	0.331	3.34
	2	1.7	0.7	48.8	0.637	3.21
	3	0.7	0.3	51.4	0.642	1.35
13	1	3.0	1.8	53.0	0.643	24.09
	2	0.6	1.0	64.2	0.830	16.78
	3	0.3	0.8	61.5	0.768	15.92
14	1	3.3	0.7	50.9	0.608	21.40
	2	1.3	0.3	60.9	0.829	18.49
	3	0.8	0.3	58.6	0.722	16.52
15	1	13.5	0.9	37.3	0.446	4.68
	2	1.8	0.5	54.2	0.737	9.10
	3	1.0	0.3	63.9	0.789	12.14

小区第一次降雨的径流系数均比后两次的小,红色湿润新成土(9号)第一次降雨的径流系数只有后两次的1/6;在这三次降雨过程中,红色湿润新成土(9号)、粘淀湿润富铁土(10号)、粘淀湿润富铁土(11号)和铝质湿润淋溶土(15号)的产沙量呈递增趋势,而铝质湿润淋溶土(12号)、铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号)则呈递减趋势;总产沙量以铝质湿润淋溶土(13号)最高,达56.79t/ha,其次是紫色湿润锥形土(14号),为56.05t/ha,最少的是铝质湿润淋溶土(12号),仅7.90t/ha,只有铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号)的1/7。

人工模拟降雨试验中,第一次降雨的地表径流量比第二和第三次要低,第二和第三次降雨的累积地表径流量曲线呈稳定增加的趋势。

3 讨论

3.1 人工模拟降雨条件下测得的土壤可蚀性 K 值

表3列出了人工模拟降雨仪法所求得的土壤可蚀性因子 K 值,为了便于与国际上通用的英制单位 K 值进行比较, K 值和降雨侵蚀力因子 R 值的单位都采用 SI 制单位前乘以一个系数来表示,即 K 值单位为 $0.132t \cdot hr / MJ \cdot mm$, R 值单位为 $17MJ \cdot mm / ha \cdot hr^{[1]}$,这样不管是 K 值还是 R 值,它们的绝对值都与英制单位的绝对值相同。根据通用土壤流失方程 $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ 所规定的条件,本试验中植被覆盖与管理因子 $C = 1$,工程管理因子 $P = 1$,所以,通用土壤流失方程可以简化为: $A = R \cdot K \cdot LS$ (地形因子),因此,土壤可蚀性因子 K 值 $K(0.132t \cdot hr / MJ \cdot mm) = A(t / ha) / R(17MJ \cdot mm / ha \cdot hr \cdot LS)$ 而求得。由表3可知,耕作铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号)的 K 值最高,分别达到0.390和0.332,而荒地铝质湿润淋溶土(12号)的 K 值最低,只有0.054,与 K 值最高的耕作铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号)土壤相差6倍多。同时还发现,无论土壤是干态还是湿态,耕作土壤的 K 值比相同荒地土壤的 K 值要大,这一结果与自然降雨条件下测得的 K 值相似。

表3 人工模拟降雨条件下求得的 K 值

Table 3 Soil erodibility factor K measured by rainfall simulator

项目	小区号(Plot No.)						
	9	10	11	12	13	14	15
K	0.115	0.201	0.105	0.054	0.390	0.332	0.153

K : $0.132t \cdot hr / MJ \cdot mm$.

3.2 自然降雨条件下测得的土壤可蚀性 K 值

利用试验的测定结果,同样由通用土壤流失方程 $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$ 来求取自然降雨条件下的土壤可蚀性因子 K 值。本试验中植被覆盖与管理因子 $C = 1$,工程管理因子 $P = 1$,所以 $K = A / (R \cdot LS)$,表4列出了1994—1995年的土壤可蚀性 K 值。从表中可知,两年实测的土壤可蚀性 K 值都以红砂岩发育的耕作铝质湿润淋溶土(13号)和紫红色砂页岩发育的紫色湿润锥形土(14号)为最高,耕作铝质湿润淋溶土(13号)分别达到0.452和0.391;紫色湿润锥形土(14号)分别达0.455和0.446。最低的是第四纪红色粘土

发育的红色湿润新成土(9号),分别为0.107和0.106,只有铝质湿润淋溶土(13号)和紫色湿润锥形土(14号)土壤的1/4。本试验还表明,由第四纪红色粘土发育的粘淀湿润富铁土(10和11号)和由红砂岩发育的铝质湿润淋溶土(12和13号)耕作土壤的可蚀性 K 值比荒地土壤 K 值要大,这就意味着华中地区的典型土壤在翻耕条件下更容易遭受侵蚀。因此,耕作土壤更应当加强水土保持措施。

表4 1994—1995年自然降雨条件下不同类型土壤的可蚀性 K 值

Table 4 Soil erodibility factor K measured under natural rainfall in 1994 and 1995

小区号 Plot No.	LS	年份(Year)			年份(Year)		
		1994			1995		
		R	A	K	R	A	K
9	0.47	287	32.40	0.107	385	42.85	0.106
10	0.45	287	82.89	0.286	385	92.78	0.239
11	0.39	287	59.05	0.235	385	85.33	0.254
12	0.44	287	67.82	0.240	385	84.22	0.222
13	0.43	287	125.21	0.452	385	148.19	0.391
14	0.49	287	143.53	0.455	385	188.09	0.446
15	0.43	287	73.28	0.265	385	93.21	0.252

R: $17\text{MJ} \cdot \text{mm}/\text{ha} \cdot \text{hr}$; A: t/ha ; K: $0.132\text{t} \cdot \text{hr}/\text{MJ} \cdot \text{mm}$.

3.3 两种方法测得土壤可蚀性 K 值的比较

前面讨论了用人工模拟降雨法和田间实测法求取七种不同类型土壤的可蚀性 K 值, K 值的求取应该以自然降雨条件下(即田间实测法)测得的 K 值为基准。表5表明了自然降雨和人工模拟降雨两种条件下求得 K 值的差异,从表中可知,人工模拟降雨法测得的 K 值除第四纪红色粘土发育的红色湿润新成土(9号)外,其余类型土壤的可蚀性因子 K 值都比自然降雨条件下测得的 K 值要小;红色湿润新成土(9号)、耕作的粘淀湿润富铁土(10号)和铝质湿润淋溶土(13号)在两种条件下求的 K 值间的差值都小于0.07,其中红色湿润新成土(9号)只相差0.008,其余类型土壤求得的 K 值间的差值均大于0.1,红砂岩发育的荒地铝质湿润淋溶土(12号)在自然降雨条件下测得的 K 值是人工模拟降雨条件下测得 K 值的4倍,二者相差0.177。此外,耕作土壤在自然降雨和人工模拟降雨两种条件下求得 K 值的差值比同类型荒地土壤 K 值的差值要小,也就是说,在耕作土壤上采用人工模拟降雨法

表5 人工模拟降雨和自然降雨两种条件下求得的土壤可蚀性 K 值的比较

Table 5 Comparison of soil erodibility factor K between simulated rainfall and natural rainfall

项目 Item	小区号(Plot No.)						
	9	10	11	12	13	14	15
K_n	0.107	0.263	0.245	0.231	0.422	0.451	0.259
K_s	0.115	0.201	0.105	0.054	0.390	0.332	0.153
K_{n-s}	-0.008	0.062	0.140	0.177	0.032	0.119	0.106
β	0.930	1.308	2.333	4.278	1.082	1.358	1.693

K_n : 1994年和1995年自然降雨条件下求得 K 值的平均值; K_s : 人工模拟降雨条件下求得的 K 值(土壤干湿状态下求得的平均值); K_{n-s} : K_n 与 K_s 之差。

来估算土壤的可蚀性 K 值是比较可靠的。

由于田间实测法综合了所有土壤性质对土壤侵蚀的影响,因而被认为是最可取的,同时也是一种最符合土壤田间实际侵蚀状况的测定方法,这种方法实际上已被看成是一种测定土壤可蚀性 K 值的“经典”^[5,6]方法,用其它方法测定的土壤可蚀性 K 值都要与这一方法的测定值进行比较和验证。本试验中,根据人工模拟降雨法和田间实测法求得的 K 值,就可以建立这二者之间的定量关系式: $K_s = \beta \cdot K_n$, 其中, β 为校正系数(见表 5)。

4 结论

1. 自然降雨条件下,1994 和 1995 年实测的土壤可蚀性 K 值都以红砂岩发育的(耕作)铝质湿润淋溶土和紫色砂页岩发育的紫色湿润锥形土为最高,其中耕作铝质湿润淋溶土分别达到 0.452 和 0.391,紫色湿润锥形土分别达到 0.455 和 0.446;最低的是第四纪红色粘土发育的红色湿润新成土,分别只有 0.107 和 0.106。这些结果可作为华中地区今后从事土壤侵蚀研究的定量对比基准。

2. 人工模拟降雨条件下,仍然是红砂岩发育的耕作铝质湿润淋溶土和紫色砂页岩发育的紫色湿润锥形土的 K 值最高,分别达到 0.390 和 0.332;荒地铝质湿润淋溶土的 K 值最低,只有 0.054。

3. 人工模拟降雨条件下测得的 K 值除第四纪红色粘土发育的红色湿润新成土外,其余类型土壤的可蚀性 K 值都比自然降雨条件下测得的 K 值要小。这两种不同方法所求得土壤可蚀性 K 值之间的定量关系,可为今后利用人工模拟降雨试验开展各种研究提供基础。

参 考 文 献

1. 吕喜玺. 土壤可蚀性因子 K 值的初步研究. 水土保持学报, 1992, 6(1): 63—70
2. 隆肯恩 M J M, 李中魁译. 土壤可蚀性因子研究展望. 水土保持科技情报, 1988, (4): 16—22
3. 史学正, 于东升, 吕喜玺. 用人工模拟降雨仪研究我国亚热带土壤的可蚀性. 水土保持学报, 1995, 9(3): 38—42
4. 史学正, 于东升等. 用田间实测法研究我国亚热带土壤的可蚀性 K 值. 土壤学报, 1997, 34(4): 399—405
5. Bryan R B. The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. Geoderma, 1968, 2: 5—26
6. Laflen J M et al. WEPP soil erodibility experiments for range-land and cropland soils. J. Soil and Water Conservation, 1991, 46(1): 40—44

COMPARISON OF SOIL ERODIBILITY FACTOR K MEASURED BY FIELD PLOTS UNDER RAINFALL SIMULATOR AND NATURAL RAINFALL

Xing Ting-yan Shi Xue-zheng Yu Dong-sheng

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)

Summary

Soil erodibility factor K of seven representative soil types in subtropical China was studied using field plots under rainfall simulator and natural rainfall respectively. The results showed that soil erodibility factor K of tilled Alfisol derived from red sandstone and Cambisol on purple shale was the highest, and of eroded Entisol derived from Quaternary red clay was the lowest. The relationships between soil erodibility factors measured by rainfall simulator and natural rainfall were also established respectively.

Key words Soil erodibility, Rainfall simulator, Field plots, Factor K