

土壤崩解速率的一种修正方法

李强¹, 张正², 孙会², 徐伟洲¹

(1. 榆林学院, 陕西 榆林 719000; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了获得更为准确的土壤崩解速率测定及计算方法, 以便客观评价土壤侵蚀程度, 借助子洲县坡耕地原状土壤样品, 通过土块在水中受力分析, 对比了拉力计方法和修正拉力计方法计算的土壤崩解速率结果。结果表明, 拉力计方法测定土壤崩解速率中土壤自身含水量对崩解过程有重要的影响。修正拉力计方法所得的土壤崩解速率与已有报道更为吻合, 其变异性较未修正前有所减小。因此, 建议在土壤崩解速率测定和计算应按以下步骤: (1) 利用方形环刀在野外取原状土样并用塑料薄膜密封; (2) 将土样带回实验室称重, 垫上滤纸, 用浅层水盘自下而上浸润土壤, 直至土壤饱和; (3) 将饱和的土样放置在一铁架台上去除重力水后再次称重; (4) 轻轻移开方形环刀, 将土样放置在拉力计的吊盘网板上测定; (5) 计算需乘以校正系数 k 。

关键词: 土壤; 崩解速率; 重力; 浮力; 计算方法

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)06-0344-05

A New Modified Method for Calculation of Soil Disintegration Rate

LI Qiang¹, ZHANG Zheng², SUN Hui², XU Weizhou¹

(1. Yulin University, Yulin, Shaanxi 719000, China; 2. Institute of Soil and

Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: To obtain a more accurate calculation method of soil disintegration rate and evaluate soil erosion degree correctly. In the present paper, two calculation methods of soil disintegration rate are compared by focusing on the force analysis of soil sample in static water. The soil samples were taken from a slope farmland in Zizhou. Results showed that soil moisture content of samples has the significant influence on the process of disintegration when using the method of tension meter to determine the soil disintegration rate. The results of soil disintegration rate under the method of modified tension meter are in accordance with the theories that have been reported and the variability also reduces to some extent. The dynamic changes of buoyancy should be taken into account when calculating soil disintegration rate. Thus, it suggests that soil disintegration rate test should follow steps such as: (1) collecting undisturbed soil sample with plastic film sealing using the square-ring knife; (2) bringing soil sample back to laboratory, weighing soil sample, and matting the filter paper, then, putting it in a plate with shallow water infiltration of soil from bottom to top, until the soil was saturated; (3) placing saturated soil samples in a hob on stage again after removing gravity water, and weighing soil sample again; (4) removing the square-ring knife gently, putting soil sample in the stage of the tension gauge sheet; (5) its calculation should be multiplied by the correction coefficient of k .

Keywords: soil disintegration rate; gravity; buoyancy; calculation method

土壤崩解, 土工上称之为湿化, 是指土壤在静水中发生分散、碎裂解体、塌落或强度减弱的现象^[1]。土壤崩解强度一般用土壤崩解速率表示, 即单位时间内土壤崩解的体积数或质量数。土壤崩解速率大, 表示土壤在静水中被分散、碎裂、塌落的越快, 即土壤抗冲性小, 产生土壤侵蚀的几率就越高。因此, 土壤崩

解速率是评价土壤侵蚀严重程度的重要指标之一^[2]。然而, 土壤崩解速率的测定和计算一直是土壤侵蚀研究的薄弱环节^[3]。20 世纪 60 年代, 朱显谟用静水崩解法的结果, 提出土体在静水中的崩解情况可以作为评价土壤可蚀性的重要指标^[4]。90 年代中期, 蒋生等利用浮筒原理, 自制了一套测定土壤崩解的简易

仪器,根据土壤崩解速率大小,将黄土高原分为5个区。随后的土壤崩解研究大都参考这种方法^[5-6],该方法计算土壤崩解速率公式为:

$$v = a \frac{l_0 - l_t}{t} \quad (1)$$

式中: v ——单位时间内所崩解的试样体积(cm^3/min); l_0 ——试样浸入水中时浮筒的起始读数,或是浮筒沉降稳定时的最大读数; l_t ——土样完全崩解时或第30 min时浮筒的读数; t ——土壤完全崩解时的时间,未崩解完则为30 min; a ——体积换算系数,为1.276。

近些年来,部分学者将普通电子推拉力计,结合自制网架应用到土壤崩解速率的测定,并评价了黄土丘陵区不同土地利用类型下的崩解速率状况,取得了较好的成果^[7]。与此同时,市面上也出现了精密的土壤崩解速率仪。然而,浮筒法因浮筒刻度较粗,测定费时费力而应用越来越少,精密的土壤崩解速率仪因价格昂贵在试验研究领域应用也较少^[8]。普通电子推拉力计法正是克服了以上的缺点,在土壤崩解速率测定中应用越来越多^[7]。

普通电子推拉力计法是利用方形环刀($5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$)取原状土样并称重,然后将数显推拉力计 HP-500 与电脑连接,运行软件,并将推拉力计的模式选择重量。调试完成后,将已取原状土样轻轻放到网板上,而后将网板架悬挂在拉力计下的固定挂钩上,随即网板架缓缓地放入盛有清水的崩解水缸中,待其稳定立即点击软件“开始”按钮,同时用秒表开始计时。

一次土壤崩解试验时间为30 min,若不到30 min土样已全部崩解,则应记录下全部崩解时推拉力计相应的读数和时。其计算公式为:

$$v = \frac{f_{t1} - f_{t2}}{g\Delta t} \quad (2)$$

式中: v ——崩解速率(g/min); Δt ——崩解时间, $\Delta t = t_1 - t_2$ (min)。

假设待试土壤为一均质土块,土壤容重为 ρ_s ,在静水中崩解时间 t 后($0 < t \leq 30\text{ min}$),对该土块在静水中的受力分析可知:

$$f_t = G_t - F_t \quad (3)$$

式中: f_t —— t 时刻推拉力计显示读数,即合力(N); G_t —— t 时刻土块所受的重力; F_t —— t 时刻土块所受的浮力。

由公式(2)可得:

$$v = \frac{f_{t1} - f_{t2}}{g\Delta t} = \frac{(G_{t1} - G_{t2}) - (F_{t1} - F_{t2})}{g\Delta t} = \frac{m_{t1} - m_{t2}}{g\Delta t} - \frac{F_{t1} - F_{t2}}{g\Delta t} \quad (4)$$

式中: $G_{t1}, G_{t2}, F_{t1}, F_{t2}$ —— t_1, t_2 时刻土块所受重力、

浮力。

通过以上公式可以发现,按照定义,土壤崩解速率的真实值应是公式(4)展开式中的第一项,而拉力计法在土壤崩解速率的计算中忽略了浮力的动态变化,即公式(4)展开式的第二项,这在一定程度上会影响土壤崩解速率的计算精度。基于此,本文借助子洲坡耕地土壤样品,通过土块在崩解过程中的受力分析,对比了忽略和考虑浮力的土壤崩解速率,期望获得更为准确的土壤崩解速率算法。

1 材料与方法

1.1 供试土壤及测定

供试土壤来自子洲县坡耕地,共计20个样点。土壤基本特征见表1。土壤容重采用环刀法^[9],土壤密度采用国际通用土壤密度 $2.65\text{ g}/\text{cm}^3$ 。土壤孔隙度(P)是由土壤容重和土壤密度推导获得。其计算公式为:

$$P = (1 - \frac{\text{土壤容重}}{\text{土壤密度}}) \times 100\% \quad (5)$$

土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法^[10]。另外,每个样点利用方形环刀($5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$)取原状土样并称重,分别用拉力计法和修正的拉力计算方法测定并计算处土壤崩解速率。其中,浮筒法数据是经过土壤容重转化获得的。

1.2 公式推导

土块在水中的受力分析可得公式(3):

$$f_t = G_t - F_t \quad (3)$$

在崩解的过程中,土块由于分散、碎裂、塌落,体积不断减小,因此,所受的浮力和重力都是变量,但二者在变化过程中仍存在恒定的比例关系:

$$G_t = \rho_s v_t g (1 + \beta) \quad (6)$$

$$F_t = \rho_w v_t g \quad (7)$$

由公式(6)与公式(7)可得:

$$\frac{G_t}{F_t} = \frac{\rho_s v_t g (1 + \beta)}{\rho_w v_t g} = \frac{\rho_s (1 + \beta)}{\rho_w} = \rho_s (1 + \beta) \quad (8)$$

式中: v_t —— t 时刻土块体积(cm^3); ρ_w ——水的密度; $\rho_s (1 + \beta)$ ——对于某一特定均匀土壤,表示一个常数; β ——土壤饱和含水量。

由公式(3)和公式(8)可知:

$$f_t = \frac{G_t [(1 + \beta)\rho_s - 1]}{(1 + \beta)\rho_s} \quad \text{即} \quad M_t = \frac{f_t \rho_s (1 + \beta)}{g[(\rho_s (1 + \beta) - 1)]} \quad (9)$$

式中: M_t —— t 时刻土块质量(g);

设土壤崩解速率的真实值为 v_0 :

$$v_0 = \frac{m_{t1} - m_{t2}}{\Delta t} \quad (10)$$

式中： m_{t1}, m_{t2} —— t_1, t_2 时刻土块质量
由公式(9),(10)可得：
$$v_0 = \frac{(f_{t_1} - f_{t_2})(1 + \beta)\rho_s}{g\Delta t[(1 + \beta)\rho_s - 1][(1 + \beta)\rho_s - 1]} \quad (11)$$

$$\text{设: } k = \frac{(1 + \beta)\rho_s}{(1 + \beta)\rho_s - 1} \text{ 因此: } v_0 = kv$$

故拉力计法计算土壤崩解速率的公式(2)乘以校正系数 k 才是真正的土壤崩解速率。

表 1 供试土壤的基本特征

编号	容重/(g·cm ⁻³)	密度/(g·cm ⁻³)	孔隙度/%	有机质/(g·kg ⁻¹)	M_0 /g	M_1 /g
1	1.19	2.65	55.09	3.19	148.8	113.27
2	1.17	2.65	55.85	3.51	146.3	130.00
3	1.13	2.65	57.36	3.06	141.3	117.34
4	1.12	2.65	57.74	2.29	140.0	119.39
5	1.14	2.65	56.98	2.22	142.5	140.82
6	1.29	2.65	51.32	2.90	161.3	138.78
7	1.17	2.65	55.85	3.19	146.3	120.10
8	1.15	2.65	56.60	3.51	143.8	147.96
9	1.15	2.65	56.60	3.06	143.8	134.69
10	1.16	2.65	56.23	4.44	145.0	121.02
11	1.27	2.65	52.08	4.78	158.8	148.98
12	1.31	2.65	50.57	5.29	163.8	150.00
13	1.23	2.65	53.58	2.90	153.8	121.73
14	1.13	2.65	57.36	3.66	141.3	109.18
15	1.14	2.65	56.98	3.26	142.5	121.53
16	1.28	2.65	51.70	3.67	160.0	134.90
17	1.33	2.65	49.81	3.86	166.3	140.00
18	1.32	2.65	50.19	3.97	165.0	140.24
19	1.23	2.65	53.58	3.90	153.8	126.97
20	1.12	2.65	57.74	3.77	140.0	117.48
变异系数(%)	6.12	0.00	5.08	21.42	6.12	19.68

注： M_0 为初始土壤质量， M_1 是土壤崩解结束后的质量。

1.3 数据分析

数据分析采用 Excel 2003 和 SPSS 15.0 统计软件,差异显著性检验采用配对 t 检验 ($p < 0.05$, 双尾)。

2 结果与分析

2.1 土壤崩解过程

图 1 是 20 个样本土壤崩解速率的动态过程。每 6 秒一次读数,共计 10 分钟。可以看出,用拉力计方法测定土壤崩解速率过程中土壤样品在放入水中前 110 s 呈先吸水膨胀,拉力计度数迅速增加,而后土壤开始崩解,拉力计度数逐步减小,并趋于稳定。这一结果说明土壤自身含水量对土壤崩解过程有重要的影响。类似的研究结果表明,含水率大的土样,愈接近饱和密度,土样越容易崩解^[11]。然而对粘性土而言,当土壤含水量增大到 22%时,基本无崩解性^[12],这可能与不同土壤的渗透性、吸水量和吸水速度差异有关^[13-14]。因此,在不同处理之间进行土壤崩解速率比较时要先自下而上浸润土壤,直至土壤达到饱和后

方可进行崩解试验。

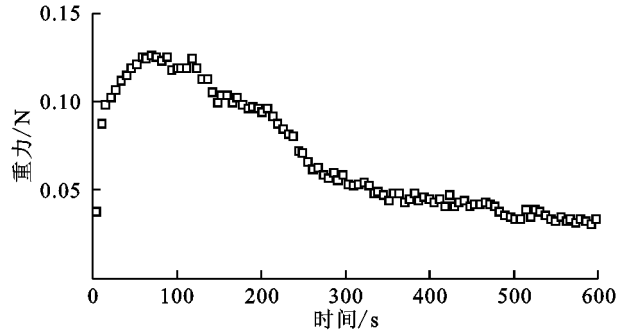


图 1 土壤崩解过程

2.2 不同方法计算土壤崩解速率

表 2 是拉力计法和修正的拉力计法计算了待测 20 组土壤崩解速率。由表可以看出,修正的拉力计算法比原先算法高出 2.16~2.76 倍。然而,当土壤崩解速率转化成浮筒法后,与该区 20 世纪 90 年代农地土壤崩解速率相比(表 3),修正的拉力计算法所得的土壤崩解速率更接近于已有数据,其变异性较未改进前有所减小。同时,这一结果一定程度上可以说明该区农地土壤与 90 年代相比,其结构趋于稳定,发生

水土流失的几率变小^[15]。可见,修正的拉力计算法所得的土壤崩解速率可能更接近于真实值。然而,虽然黄绵土质地较为均一,但本文在受力分析中假定待

测土壤为一理想均质土块,这在一定程度上会带来计算结果的误差。因此,本研究结果还需要在不同土壤类型和土地利用类型上进行验证。

表 2 不同方法计算的土壤崩解速率

编号	拉力计法/ (g·min ⁻¹)	转化为浮筒法/ (g·min ⁻¹)	系数 <i>k</i>	修正的拉力计法/ (g·min ⁻¹)	转化为浮筒法/ (g·min ⁻¹)
1	1.18	0.99	2.50	2.96	2.49
2	1.04	0.89	2.57	2.67	2.28
3	0.80	0.71	2.72	2.17	1.92
4	0.69	0.61	2.76	1.90	1.69
5	0.88	0.77	2.68	2.35	2.07
6	1.43	1.11	2.24	3.20	2.48
7	0.87	0.74	2.57	2.24	1.91
8	0.90	0.78	2.64	2.37	2.06
9	0.98	0.85	2.64	2.59	2.25
10	0.80	0.69	2.60	2.08	1.79
11	1.39	1.10	2.29	3.19	2.51
12	1.56	1.19	2.20	3.42	2.61
13	1.07	0.87	2.39	2.55	2.07
14	1.07	0.95	2.72	2.91	2.57
15	0.70	0.61	2.68	1.87	1.64
16	1.42	1.11	2.26	3.21	2.51
17	1.60	1.20	2.16	3.45	2.59
18	1.55	1.17	2.18	3.37	2.56
19	1.26	1.02	2.39	3.00	2.44
20	0.75	0.67	2.76	2.07	1.85
变异系数(%)	27.94	22.15	8.51	19.82	14.94

表 3 黄土丘陵区农地表层(0—5 cm)土壤崩解速率^[4]

地名	种植作物	土壤崩解速率/(cm ³ ·min ⁻¹)
洛川	玉米	7.66
甘泉	糜子	8.5
安塞	糜子	20.73
米脂	糜子	35.5
靖边	糜子	21.87

2.3 两种算法在不同容重上的土壤崩解速率

黄土丘陵区以黄绵土为主要土壤类型。农地黄

绵土土壤容重处于 1.10~1.35 g/cm³。因此,为了验证拉力计法和修正的拉力算法所得的土壤崩解速率在不同土壤容重上的差异,本文将待测的 20 组土壤样品按照容重小于 1.15 g/cm³ 和大于 1.20 g/cm³ 进行分类,各自均有 8 个重复。将传统拉力计算法和修正的拉力算法所得到的土壤崩解速率数据进行统计学配对 *t* 检验。由表 4 可以看出两种梯度的土壤容重按照传统的拉力计算法和修正的拉力算法所得到的土壤崩解速率均达到极显著差异。因此,在以后利用拉力计计算土壤崩解速率时需要考虑浮力动态变化,即乘以修正系数 *k*。

表 4 不同容重土壤崩解速率

土壤容重/ (g·cm ⁻³)	土壤崩解速率/(g·min ⁻¹)		重复数 <i>N</i>	<i>t</i>	<i>p</i>
	拉力计法	修正的拉力计算法			
≤1.15	0.85±0.14A	2.28±0.35B	8	-18.51	0.00
≥1.20	1.41±0.18A	3.17±0.29B	8	-41.13	0.00

注:同一行不同大写字母表示差异极显著,*p*<0.01。

3 结论

本文借助子洲坡耕地土壤样品,通过土块在水中的受力分析,对比了传统拉力计算法和修正的拉力计算法计算的土壤崩解速率,期望获得更为准确的土壤崩解速率算法。结果表明,拉力计方法测定土壤崩解速率中土壤自身含水量对崩解过程有重要的影响。修正的拉力计算法所得的土壤崩解速率更接近于已有报道,其变异性较未修正前有所减小。不同土壤容重计算土壤崩解速率均需要考虑浮力动态变化,即乘以校正系数 k 。另外,本文选取的黄绵土因颗粒较细、质地均一,结果规律性较为理想,在我国土石山区或红壤区(质地粘重)该方法的实用性需要进一步研究。因此,本文认为,在以后黄土高原的土壤崩解速率测定和计算中应按以下步骤:(1)利用方形环刀在野外取原状土样并用塑料薄膜密封;(2)将土样带回实验室称重,下面垫上滤纸,用浅层水盘自下而上浸润土壤,直至土壤饱和;(3)将饱和的土样放置在一铁架台上去除重力水后再次称重;(4)轻轻移开方形环刀,将土样放置在拉力计的吊盘网板上测定;(5)计算需乘以校正系数 k 。

参考文献:

- [1] 蒋定生,李新华,范兴科,等.黄土高原土壤崩解速率变化规律及影响因素研究[J].水土保持通报,1995,15(3):20-27.
- [2] 邹翔,张平仓,陈杰.小江流域土壤抗崩性试验研究[J].水土保持研究,2008,15(1):244-246.
- [3] 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.
- [4] 朱显谟,张相麟,雷文进.泾河流域土壤侵蚀现象及其演变[J].土壤学报,1954,2(4):209-222.
- [5] 曾光,杨勤科,姚志宏.黄土丘陵沟壑区不同土地利用类型土壤抗蚀性研究[J].水土保持通报,2008,28(1):6-9.
- [6] 张爱国,李锐,杨勤科,等.水蚀土壤因子野外测试问题讨论[J].人民黄河,2002,24(2):28-29.
- [7] 杨晓芬,吴发启.坡耕地玉米作物根系对土壤侵蚀的影响研究[J].西北农林科技大学学报,2012(2):13-17.
- [8] 李家春,崔世富,田伟平.公路边坡降雨侵蚀特征及土的崩解试验[J].长安大学学报,2007,27(1):23-26.
- [9] 周雪青,李洪文,何进,等.土壤容重测定用分段式原状取土器的设计[J].农业工程学报,2008,24(8):127-130.
- [10] Nelson D W, Sommers L E. Total carbon, organic carbon, and organic matter[J]. Methods of Soil Analysis,1982:539-579.
- [11] 谭瑾益.广西覆盖型岩溶区土层崩解机理研究[J].工程地质学报.2001(3):272-276.
- [12] 李家春,田伟平.工程压实黄土崩解试验研究[J].重庆交通学院学报,2005,24(5):74-77.
- [13] 许明祥,刘国彬,卜崇峰等.圆盘入渗仪法测定不同利用方式土壤渗透性试验研究[J].农业工程学报,2002,18(4):54-58.
- [14] 闫永利,于健,魏占民,等.土壤特性对保水剂吸水性能的影响[J].农业工程学报,2007,23(7):76-79.
- [15] 李强,刘国彬,许明祥,等.黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J].农业工程学报,2013,29(10):153-159.
- [14] 李义玲,乔木,杨小林,等.干旱区典型流域近30a土地利用/土地覆被变化的分形特征分析:以玛纳斯河流域为例[J].干旱区地理,2008,31(1):75-81.
- [15] 苏广实,王世杰,胡宝清,等.基于空间洛伦茨曲线的喀斯特县域土地利用结构变化分析:以广西都安为例[J].安徽农业科学,2009,37(27):13404-13407.
- [16] Gastwirth J L, Modarres R, Bura E. The use of the Lorenz Curve, Gini Index and related measures of relative inequality and uniformity in securities law[J]. METRON,2005,63:451-469.
- [17] 武鹏飞,宫辉力,周德民.近30年官厅水库流域景观结构的时空演变[J].生态学杂志,2011,30(10):2335-2342.
- [18] Gastwirth J L. A General Definition of the Lorenz Curve[J]. Econometric, 1971,39,1037-1038.
- [19] Yitzhaki, S. Relative Deprivation and the Gini Coefficient. The Quarterly Journal of Economics, 1979, 93(2):321-324.
- [20] 张建华.一种简便易用的基尼系数计算方法[J].山西农业大学学报:社会科学版,2007,6:273-278.
- [21] 张会新,杜跃平,白嘉.陕北资源产业集群的区位熵和RIS模型分析[J].资源科学,2009,31(7):1205-1210.
- [22] 延庆县志编纂委员会.延庆县志[M].北京:北京出版社,2006.
- [23] 许海丽,潘云,宫辉力,等.1959—2000年奶水河流域气候变化与水文响应分析[J].水土保持研究,2012,19(2):43-47.

(上接第343页)