

原状土冲刷法与人工模拟降雨法 研究土壤抗冲性对比分析

刘国彬 张光辉

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘要 在相同条件下,对比研究了人工模拟降雨小区(2m×5m)和用大型抗冲槽(10cm×20cm×10cm)测定的土壤侵蚀量、产沙过程及抗冲性异同。结果表明在0.65mm/min和0.84mm/min雨强15min冲刷时间内,大型抗冲槽侵蚀模数为人工降雨小区的200~400倍,但二者存在一定量关系。抗冲槽侵蚀过程与人工降雨小区呈相反趋势。径流深为小区的50~145倍,单位径流深引起的侵蚀模数为小区的5~7倍(裸地)和1.8~4.5倍(人工草地)。本文分析了二者侵蚀过程差异及形成原因。研究还发现大型抗冲槽与小型抗冲槽所测侵蚀模数存在定量关系,在一定范围内小型槽可以取代大型槽进行抗冲性测定。

关键词 原状土冲刷法 抗冲性 侵蚀量估测

Comparison Analysis on Soil Anti-scourability Between Undisturbed Sampling and Artificial Rainfall Plot

Liu Guobin Zhang Guanghui

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling District, Xianyang Municipality, Shaanxi Province)

Abstract The soil loss, sediment yield and process as well as soil anti-scourability were tested on field artificial runoff plot and undisturbed soil sampling (10cm×20cm×10cm) under the same conditions. The result showed that soil sample washing method was 200~400 times of soil loss than in the runoff plot in 15 minutes with rainfall of 0.65 and 0.84 mm/min. The erosion process in soil sample washing was different from in runoff plot. The runoff depth in former was 50~150 times and erosion modulus was 5~7 times (bare land) and 1.8~4.5 times (pasture) of in runoff plot. The reason of such difference was analysed. It was also found that there existed relation of sediment yield between samples of large size (10cm×20cm×10cm) and small size (3.5cm×20cm×4cm), and sediment yield in former can be estimated by small one.

Keywords undisturbed soil sample washing; anti-scourability; sediment yield estimation

野外研究土壤抗冲性较常用的方法有两大类,即原状土冲刷水槽法及野外小区放水

法^[1,2]。原状土冲刷水槽测定法最早由蒋定生设计,用特制的取样器(3.5cm×20cm×4cm),采集原状土样放置槽中,在不同流量、坡度下进行冲刷试验^[3]。苏宁虎^[4]等扩大取样器尺寸(10cm×10cm×20cm),以减少采样过程中对土体的扰动,增加代表性。由于原状土冲刷法具有简单方便之优点,故目前被广泛用于野外,研究土壤抗冲性强弱及其影响因素^[5~7]。

但是,原状土冲刷法无论是取样大小,还是采用各种不同的计算方法^[8],都不能克服其自身的不足。一是取样时对土体的扰动和根系(或地被物)较多时的选样误差;二是流量的设计依据是以某一强度的暴雨及其历时下标准小区(20m×5m)单宽流量作为冲刷水量,而这个冲刷水量远大于小区实际产流量。尽管不少研究者都认识到这个问题,但对由此产生的与传统人工模拟降雨小区试验差别有多大,目前尚无试验数据。且不同的方法限制了抗冲性研究结果的可比性及数据资源的开发利用。

本研究针对上述问题,对原状土冲刷法与野外小区人工模拟降雨法所得的侵蚀量,产沙过程及抗冲性进行了比较研究,探讨了两种方法产生差异的原因及冲刷试验应注意的问题。同时对两种不同尺寸抗冲槽测定侵蚀量的相关性进行了分析,为原状土冲刷方法评价提供依据。

1 研究方法

作为方法比较,本试验充分注意了条件的一致性,即相同的土壤、植被条件。试验分野外小区人工降雨与原状土冲刷两部分,冲刷槽所选坡度、流量、历时与人工降雨完全相同。

1.1 人工降雨试验

野外人工降雨试验在中科院水保所安塞站定位观测场进行。人工降雨方式,试验地条件见文献^[9]。人工降雨小区面积2m×5m,坡度23°,分裸地、草木樨、沙打旺3种处理。沙打旺密度8株/m²,草木樨2株/m²。人工降雨选择0.84mm/min和0.65mm/min两种雨强。采用两个侧喷式喷头对喷。降雨历时15min,在降雨开始后记录产流时间,产流后每隔2min记录总径流量,同时取水样测定含沙量,分析产流、产沙过程。

1.2 原状土冲刷试验

在完成人工降雨试验后,分别用10cm×20cm×10cm和3.5cm×20cm×4cm取样器,取小区表层原状土。每个小区3次重复。大取样器冲刷方式与文献^[4]相似,但此处作了重要改进。(1)在白铁皮稳流水槽上粘了一层直径小于1mm的砂子,以增加表面粗糙度,使之接近自然坡面,减小流速,增加水层厚度。测定表明较不加沙子流速由0.5m/s减小到0.4m/s;(2)在样品浸水前,将取样器前沿土样削成45°斜面,减小土块因重力剥落引起的误差。

抗冲槽冲刷流量按人工降雨小区0.84mm/min和0.65mm/min雨强,10cm单宽流量分别为420ml/min和325ml/min。放水后开始产流取1次样,以后每隔3min取样200ml,测定冲刷泥沙含量,并记录冲前、冲后总重量及含水量,计算总冲刷土样及产沙过程。小型取样器规格为3.5cm×20cm×4cm,按上述雨强单宽流量为147ml/min和114ml/min,冲刷方法与大型取样器相同,但未测定产沙过程。

2 结果与讨论

2.1 人工降雨小区与冲刷槽法总侵蚀量

大型冲刷槽与人工降雨试验结果表明,在相同条件下(坡度、雨强、历时),两种方法测定土壤流失量呈相同趋势,即裸地>草木樨>沙打旺草地。但抗冲槽土样面积仅0.02m²,为径流小

区的1/500,其单位面积流失量为后者的200~400倍。分析侵蚀量发现二者有较好的相关性,可以用下列方程描述:

$$y = -4.7763 + 1.0346x^{1/3} \quad (F_{0.05(1,4)} = 7.71, F = 7.96^* \quad R^2 = 0.67)$$

其中: y —— 人工降雨小区侵蚀量(g/m^2); x —— 冲刷槽侵蚀量(g/m^2)。

经 F 检验,方程在0.05水平上显著。看来,在本试验较小雨强下(0.84mm/min),有可能用原状土冲刷法估算小区土壤侵蚀量,进行土壤侵蚀预报参数确定。二者的流失量接近于线性递增关系。其单位面积流失量的差异在于:(1)考虑到与过去方法的统一性,冲刷试验所取土样经过浸水12min,充分饱和,冲刷时土样已达稳定入渗,径流系数95%以上,而野外人工降雨小区在降雨初期入渗量较大,流量小,为避免破坏小区,冲刷试验土样只有在完成降雨试验后挖取,在实际操作中二者很难达到土壤含水量一致。(2)冲刷试验流量所给流量虽然以人工降雨雨强为依据,但按照10cm宽,5m(小区长度)长的单宽流量计算,实际上是小区整个坡面汇流的径流量。降水在小区汇流中,若忽略不同坡位入渗差异,小区上缘为0,中部为下部的1/2,下缘为最大径流量亦即冲刷槽的流量。

由于试验条件所限,人工降雨雨强仅有0.65mm与0.84mm两个处理,雨强大于0.84mm及在其它土类、坡度条件下,原状土冲刷试验与人工降雨法的关系及其趋势尚待进一步研究。

2.2 产沙过程

2.2.1 含沙量动态 研究表明,人工降雨与原状土冲刷法土壤侵蚀过程呈相反趋势(图1)。

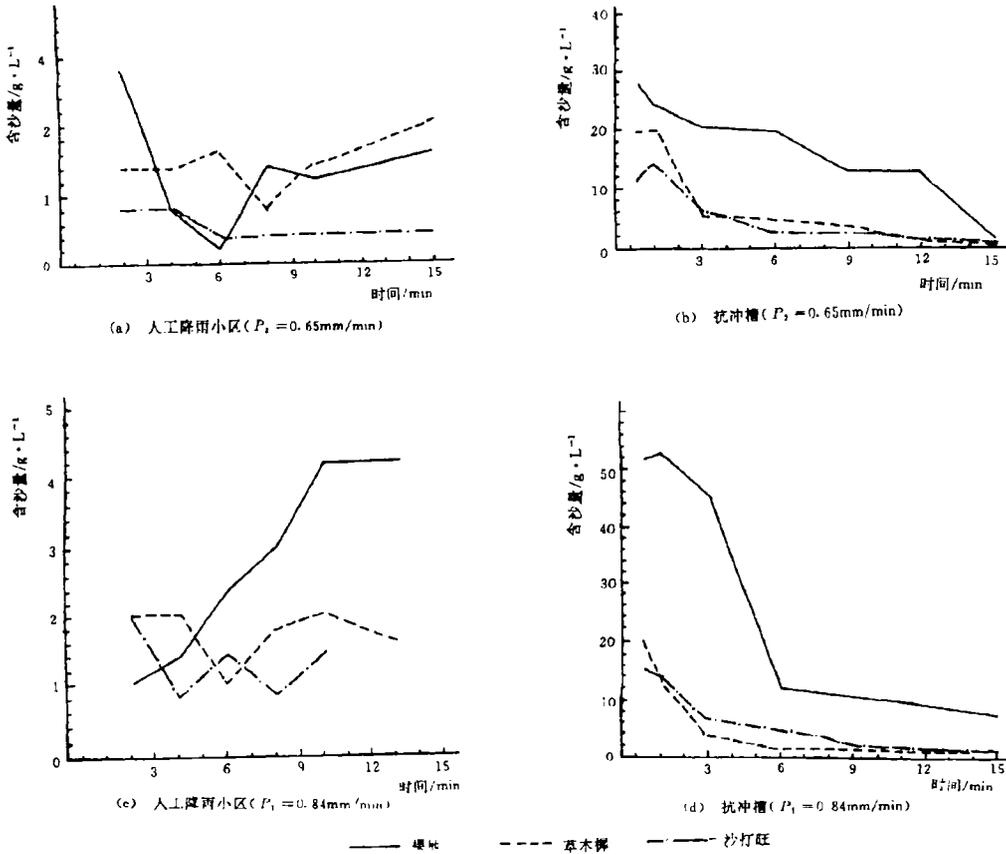
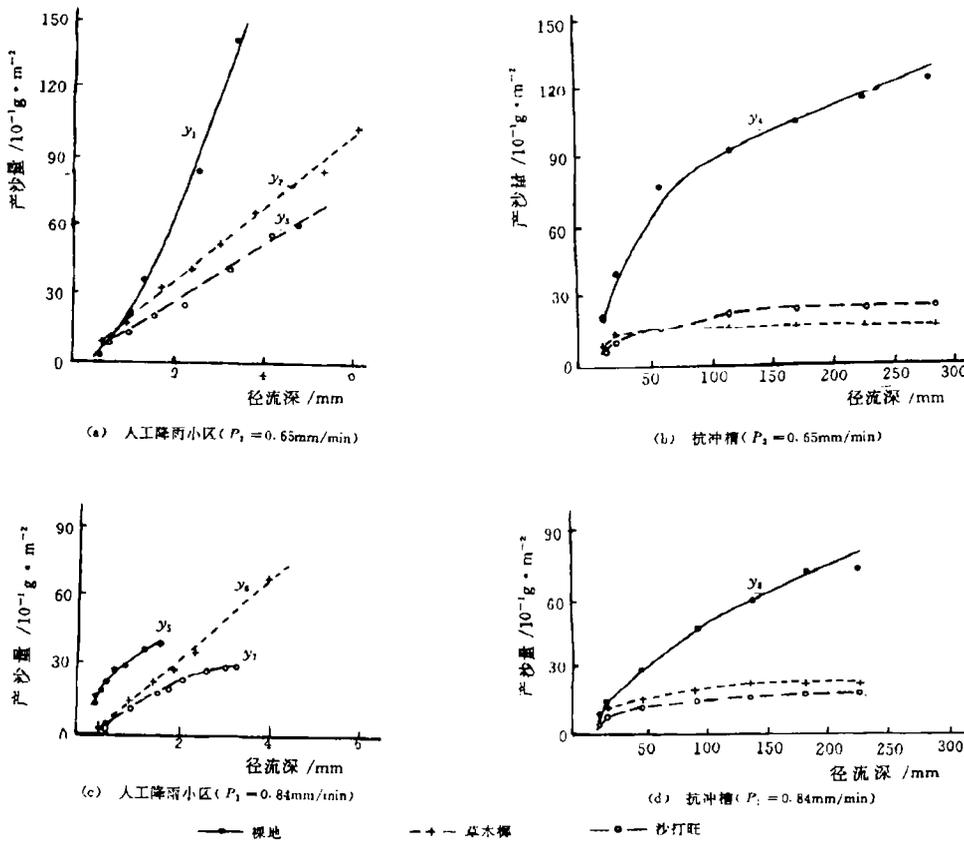


图1 人工降雨小区与抗冲槽法径流含沙量动态

原状土冲刷法含沙量由高到低的变化特征,主要在于取样时对表土的扰动,因此一有径流即冲走上部松动的土粒,而后才是径流对土体的冲蚀。这种差异表明,在15min的冲刷条件下,用原状土冲刷法不能反映野外小区实际土壤侵蚀过程。由图1可以看出,两种方法含沙量裸地在15min时接近,草地在6~9min后接近。裸地土样冲刷时,我们观测到有细沟形成、发展,但到一定时间当土样(10cm厚)上部全部被冲走后,此时水流开始作用于取样器底部,继续冲刷已无实际意义。草地土样在强大的根系固结作用下,除少量松动土粒外,几乎无侵蚀发生。因此,用原状土冲刷法研究土壤可蚀性,需根据不同植被、土壤确定最小冲刷时间,在本试验条件下,裸地(母质)需15min,人工草地需6min以上。

2.2.2 产沙量与径流深 为了进一步分析两种方法冲刷量与径流量特征,我们计算了在两种雨强下,沙打旺、草木樨草地及裸地径流深与产沙量的关系,从图2可以看出,当雨强为0.84mm/min时,人工降雨小区裸地径流深与产沙量为指数函数关系,草地为线性关系,递增速度依次为裸地、草木樨、沙打旺草地。在15min降雨时期,裸地表现出加速侵蚀过程,有细沟形成,而人工草地侵蚀轻微,仅表现为片蚀。当雨强减小时,裸地和草地侵蚀量的递增减小。原状土冲刷法产沙量与径流深关系与人工降雨小区不同:(1)在同一时段内,抗冲槽径流深为小



$$y_1 = 23.4983x^{1.5} \quad r_1 = 0.9993; \quad y_2 = 4.7386 + 15.7804x \quad r_2 = 0.9945; \quad y_3 = 1.2995 + 12.5534x \quad r_3 = 0.9972;$$

$$y_4 = 8.1241x^{0.5017} \quad r_4 = 0.9797; \quad y_5 = 32.7463x^{0.3622} \quad r_5 = 0.9963; \quad y_6 = -2.6807 + 17.3446x \quad r_6 = 0.9993;$$

$$y_7 = -1.34 + 12.969x - 0.1029x^2 \quad r_7 = 0.9971; \quad y_8 = 2.1082x^{0.6746} \quad r_8 = 0.9951$$

图2 两种方法产沙量与径流深关系

区的50~145倍左右。如裸地在0.84mm/min雨强下第10min径流深1.3mm,15min3.2mm;草地为3.5mm和5.5mm,而同期冲刷槽径流深分别为188mm和282mm。亦即我们通常进行的抗冲试验模拟某一暴雨下的单宽流量,并用由此得出的抗冲性推算减沙作用^[6],与小区实际侵蚀冲刷力相差甚远。(2)裸地侵蚀量随径流深增加而增加,但递增量逐渐减小,即随径流深增加侵蚀逐渐减弱。人工草地产沙量远远小于裸地,当径流深达100mm后,即不再有侵蚀;在同一径流深下,裸地产沙量与草地的差值大于人工降雨小区。

2.3 土壤抗冲性比较

周佩华等人^[1]最近提出用野外小区放水冲刷试验及径流小区观测资料统计法研究土壤抗冲性,并建议用单位径流深引起的侵蚀模数作为土壤抗冲性的定量指标。从不同冲刷时段人工降雨小区和原状土冲刷法单位径流深的侵蚀模数(表2)可以看出,无论哪一时段,和何种植被,原状土冲刷法测得的抗冲性远远小于径流小区测定值;两种方法都表明,随着雨强增加抗冲性减小;抗冲性随着降雨历时延长而增加。进一步计算表明(表3)原状土冲刷法与人工降雨小区抗冲性的比值随着冲刷进程逐渐减小,在第13~15min时趋于稳定。裸地为其5~7倍,沙打旺地为其3~4.5倍,草木樨为其1.8~3.3倍。不管方法如何,对于同一地块,抗冲性是一定的,只能有一个值。这种抗冲性的差异主要由于取样及汇流面积不同引起,但这正是原状土冲刷法方便、灵活的优点。无论如何,两种方法计算出的抗冲性差异远小于绝对侵蚀量的差异。本试验的测定值可对今后不同方法的比较提供参考。另外,由此可以看出,无论是原状土冲刷法或人工降雨小区降雨试验,确定冲刷或降雨时间是极其重要的。

表2 人工降雨和抗冲槽法土壤抗冲性比较

g/m²·mm

| 时间(min) | 处理 | 裸地 | | 沙打旺 | | 草木樨 | |
|---------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | P ₁ | P ₂ | P ₁ | P ₂ | P ₁ | P ₂ |
| 6 | A | 22.2 | 26.1 | 9.8 | 7.6 | 7.6 | 10.6 |
| | R | 1.7 | 7.1 | 1.4 | 1.2 | 1.7 | 1.5 |
| 9 | A | 31.0 | 22.0 | 7.1 | 5.9 | 5.2 | 8.3 |
| | R | 2.6 | 4.5 | 1.2 | 1.1 | 1.8 | 1.6 |
| 13 | A | 24.3 | 18.5 | 5.0 | 4.4 | 3.6 | 5.9 |
| | R | 3.5 | 2.9 | 1.3 | 0.98 | 1.6 | 1.8 |
| 15 | A | 22.1 | 16.2 | 4.3 | 3.8 | 3.1 | 5.1 |
| | R | 4.4 | 2.5 | 1.3 | 0.93 | 1.7 | 1.7 |

注:A——抗冲槽法;R——人工降雨小区;P——雨强,P₁=0.84mm/min;P₂=0.65mm/min。

表3 抗冲槽法与人工降雨法抗冲性比值

| 时间 (min) | 裸地 | | 沙打旺 | | 草木樨 | |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | P ₁ | P ₂ | P ₁ | P ₂ | P ₁ | P ₂ |
| 3 | 61.9 | 3.0 | 9.3 | 11.5 | 5.0 | 11.7 |
| 6 | 13.1 | 3.7 | 7.0 | 6.3 | 4.4 | 7.2 |
| 9 | 11.9 | 4.9 | 5.9 | 5.4 | 3.0 | 5.4 |
| 13 | 6.9 | 6.4 | 3.9 | 4.5 | 2.3 | 3.3 |
| 15 | 5.0 | 6.5 | 3.3 | 4.1 | 1.8 | 3.0 |

2.4 不同尺寸冲刷槽测定侵蚀量的异同

蒋定生^[3]最早设计的冲刷槽取样器尺寸较小,为3.5cm×20cm×4cm。冲刷面积70cm²,土

块厚度4cm。后经苏宁虎^[4]等人扩大为10cm×20cm×10cm,俗称大槽。冲刷面积200cm²,土块厚度10cm。目前这两种规格抗冲槽都得到广泛应用。比较而言,小型槽取样器体积小,试验所需水量少,更便于野外大范围考察现场测定。一般认为扩大的取样器可以减小取样时对土体的扰动,提高代表性及精度,但无试验证据说明二者的差异及其大小。

我们用上述裸地、沙打旺、草木樨人工草地土样做了对比分析。冲刷单宽流量相当于人工降雨小区0.84mm/min和2mm/min的雨强,每一处理4次重复。为了便于比较,我们将大槽和小型槽侵蚀量换算成冲刷面积为1m²时的值,即侵蚀模数。从图3可以看出,当条件完全相同时,大型抗冲槽测得的侵蚀模数小于小型槽。后者是前者的1.1~8.6倍。二者关系可用一多项式方程描述:

$$y_l = 113.3592 - 0.272y_s + 3.26 \times 10^{-9}y_s^4$$

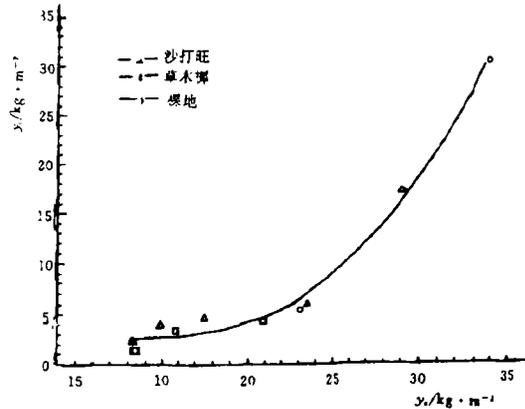
式中: y_l —— 大型槽侵蚀模数(kg/m²);

y_s —— 小型槽侵蚀模数(kg/m²); $R^2 = 0.$

9823, $F^{**} = 251.4 > F_{0.001}$ 。

进一步分析二者关系表明,当大型槽侵蚀模数小于5kg/m²时,其值与小型槽侵蚀模数相差较大,可以达到18~21kg/m²,相差4~8倍。当大型槽侵蚀模数大于5kg/m²时,二者差异变小。裸地在4L流量下,大型槽侵蚀模数30.45kg/m²,小型槽侵蚀模数33.85kg/m²,二者相对相差仅10.6%。由此可见,在一定范围内,小型槽可以取代大型槽进行抗冲性测定。凡是植物根系发达,抗冲性强的地块,二者差别就大。究其原因,当植被较好时,小型槽在取样时为减小扰动土壤,往往避开较大根系,引起测定误差,同时,对于抗冲性较小的农地,由于小型槽取土样较薄(4cm),可冲刷时间较短,这是该取样器不足之处。

由于本次试验作者首次在所使用大型抗冲槽铁皮稳流槽上粘了一层砂子,减小水流流速0.1m/s,使之更接近于自然土面,所得大型槽和小型槽侵蚀模数关系定量方程不能用于未加砂子的大型槽试验数据与小型槽的估算。对于不同的土壤,这种关系也可能有所变化。



y_l —— 大型抗冲槽侵蚀模数(kg·m⁻²);

y_s —— 小型抗冲槽侵蚀模数(kg·m⁻²)

图3 两种抗冲槽侵蚀模数关系

参 考 文 献

- 1 周佩华,武春龙.黄土高原土壤抗冲性试验研究方法探讨.水土保持学报,1993,7(1):29~34
- 2 高维林,王幼民.土壤抗蚀抗冲性研究综述.水土保持通报,1992,12(5):59~63
- 3 蒋定生.黄土区不同利用类型土壤抗冲刷能力研究.土壤通报,1979,(4)
- 4 苏宁虎.林地枯落物最佳贮积量的探讨.生态学报,1988(2)
- 5 蒋定生等.黄土高原水土流失严重地区土壤抗冲性的水平和垂直变化规律研究.水土保持学报,1995,9(2)
- 6 李勇,朱显谟等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性.科学通报,1991,36(12):935~938
- 7 蒋定生等.黄土高原水土流失危险程度预警研究.土壤侵蚀与水土保持学报,1995,1(1):12~19
- 8 汪有科等.林地枯落物抗冲机理研究.水土保持学报,1993,7(1):75~80
- 9 张光辉,梁一民.黄土丘陵区人工草地径流起始时间研究.水土保持学报,1995,9(3):78~83