

堆土容重与土壤侵蚀量关系及其在水土流失监测中的应用设想

李凤鸣,李纯乾,李娜,李菲,丁宏宇

(辽宁省水土保持研究所,辽宁朝阳 122000)

[关键词] 人工模拟降雨;堆土;容重;土壤侵蚀量;雨强

[摘要] 开发建设项目中临时或永久弃土场是水土流失产生较为集中的区域。根据弃渣场堆土边坡水土流失发生机理,通过人工模拟降雨试验研究堆土容重变化与土壤侵蚀量的关系,进而探讨通过测定容重精准监测土壤侵蚀量方法的可行性。SPSS相关性分析结果表明,容重和土壤侵蚀量呈极显著负相关,随着容重增大,土壤侵蚀量呈明显减少趋势,且这种相关性的存在并不受雨强和堆积体坡度这两个因素影响。利用数据分析方法,建立了容重与土壤侵蚀量的关系模型。但是要利用这种方法监测开发建设项目土壤侵蚀量还需要进行大量试验,这是今后研究的重点。

[中图分类号] S157 [文献标识码] A [文章编号] 1000-0941(2017)07-0052-03

1 研究设想

土壤侵蚀模数监测是开发建设项目水土保持监测工作的重点和难点^[1]。目前常用的一些侵蚀模数监测方法^[2],手段比较落后,工作效率低,而且野外工作量大、周期长,不适应水土保持监测便捷化、自动化、精准化的发展趋势。因此,有必要试验性地将一些用于科学研究的仪器设备、方法与思路,用于开发建设项目水土保持监测,以寻求提高监测精度和效率的有效途径。开发建设项目水土保持监测结果表明,水土流失最为严重的区域为临时或永久弃土场。弃土堆放形成了以边坡和平台为主的重塑地貌,这些地段虽然布设有苫盖和拦挡措施,但多数受限于工期、弃土场规模而未能及时跟进,甚至是未能实施,从而形成措施真空期,造成特定时期的水土流失。以边坡、平台等重塑地貌形式存在的弃土堆积体,初期土体疏松、颗粒间胶结作用微弱,造成土体抗蚀能力下降,随着堆积时间增加,受自身重力、降雨等外力影响,土体发生沉降变得紧实,颗粒间胶结作用增强,抗蚀力提升。具体表现为:一方面沉降作用导致土壤容重逐步加大(变得密实),进而引起土壤的孔隙结构发生变化,最终影响了土体表面径流及内部径流分配,入渗速率减小,地表径流流速和流量加大,从而导致土壤表层的侵蚀动力增加^[3-5];另一方面,随着容重的增大,土壤凝聚作用逐步增强,土壤抗蚀力提升。也就是说,堆土在自重及外力作用下

的沉降作用,引发的土体容重变化在水土流失上的本质特征表现为侵蚀动力与抗蚀力的相互制约、此消彼长的影响过程,而这一过程可以通过容重这个指标来具体反映。考虑到在开发建设项目中土方容重的改变贯穿整个过程,若能通过模拟、试验等手段找出容重增减与土壤侵蚀量大小的变化关系,并以数学模型的形式表现出来,则每次现场监测可以仅通过对表层取样测定其容重从而将土壤侵蚀量精准量化,这样不仅可以大大减轻外业工作量,提高土壤侵蚀量的计算精度,而且可以进一步研究堆土沉降条件下的水文循环变化过程及其对土壤抗蚀性的影响,定量分析水土流失过程及其特征,为防护措施配置及应用寻求新的切入点,为开发建设项目水土流失监测和预警奠定新的理论基础。

2 可行性分析

2.1 试验设计

试验采用盛土钢槽模拟开发建设项目弃渣场边坡,通过人工模拟降雨试验,测定不同雨强条件下钢槽中土壤容重变化规律,并分析土壤容重与土壤侵蚀量之间的关系。考虑到堆土作业结束后土方总体坡度在大规模人为扰动下仅存微弱变化^[6],甚至近似于不变,试验采用定坡度变雨强的设计,即保持钢槽坡度不变(15°),雨强设计为40、60、80、100 mm/h。试验是在辽宁省水土保持重点实验室的人工模拟降雨大厅进行

的,主要供试材料包括试验场地周边挖取的褐土和人工降雨水源等,主要试验设备包括人工降雨模拟器(QDJY)、移动式液压变坡钢槽(规格 2.0 m×1.0 m×0.5 m)3 个、备用钢槽(规格 1.0 m×0.5 m×0.5 m)1 个、径流监测系统、水土流失监测仪、TDR 设备等,以及环刀、铝盒、广口瓶(30 个)、水桶(30 个)、量筒等小型试验器材,其中水桶用于收集每 3 min 时段的径流量,广口瓶用于盛装滤液,均按试验顺序编号。

取试验场地周边土壤(褐土),充分松散混匀后装入 3 个钢槽(装土深度 0.5 m)用于人工模拟降雨试验,备用钢槽内的土壤用于填补 3 个试验钢槽的土壤损失。3 个钢槽中 1 个作为主试验槽,另 2 个作为对比试验槽,与主试验槽的土壤侵蚀量变化趋势进行对比,以降低试验误差。采用慢速浇水法充分湿润,待沉降、干燥,土壤质量含水量降至 12%时再进行试验。每个雨强降雨 3 次,每次降雨历时 30 min。每次试验后将土槽推至降雨大厅外晾晒 3 d,目的是在保持钢槽内土壤原状不遭到破坏的前提下降低土体的含水量,避免外力干扰,保证影响土壤沉降压实的作用力为自身重力及降雨动力。晾晒结束后,重新测定每个槽内的土体容重,进行第二次降雨试验。同理,第三次降雨试验前仍需进行晾晒与容重测定。

试验数据的获取。①容重。降雨前,用环刀法在钢槽上、中、下位置(与钢槽上边坡距离分别为 0.05、1.00、1.95 m)取土样,将土样密封运至实验室,分别测定土壤容重,取平均值。②土壤侵蚀量。人工模拟降雨结束(30 min)后,先测量每个水桶中水样的体积,再搅拌均匀,取 100 mL 用滤纸过滤,烘干称量后算出水样中的泥沙质量,即 3 min 土壤侵蚀量,则单次降雨的泥沙总量(土壤侵蚀量)计算公式为

$$M = \sum_{i=1}^{30} m_i V_i / 100$$

式中: M 为单次降雨泥沙总量(土壤侵蚀量),g; m_i 为第 i 个水桶 100 mL 水样中泥沙质量,g; V_i 为第 i 个水桶中水样总体积,mL。

2.2 试验分析

图 1 为试验条件下土壤侵蚀量与土壤容重的关系。由图 1 知,次降雨过程中随着容重的逐渐增加,钢槽内土壤侵蚀量呈明显减少趋势;随着雨强增大(40~100 mm/h),最大土壤侵蚀量由 0.74 kg 增加到 1.35 kg,最小土壤侵蚀量由 0.25 kg 增加到 0.51 kg,说明降雨强度的增加会导致土壤侵蚀量增加。雨强的变化影响了次降雨造成的土壤侵蚀量,但并未影响土壤侵蚀

量与容重之间的相互关系。根据基于 SPSS 分析获得的土壤侵蚀量与土壤容重相关性分析结果,不同雨强条件下土壤侵蚀量与土壤容重的相关系数分别为 -0.843、-0.898、-0.937、-0.968,显著性水平均 <0.01,说明土壤侵蚀量和土壤容重呈极显著负相关,即随着容重的增大,土壤侵蚀量呈明显降低趋势。

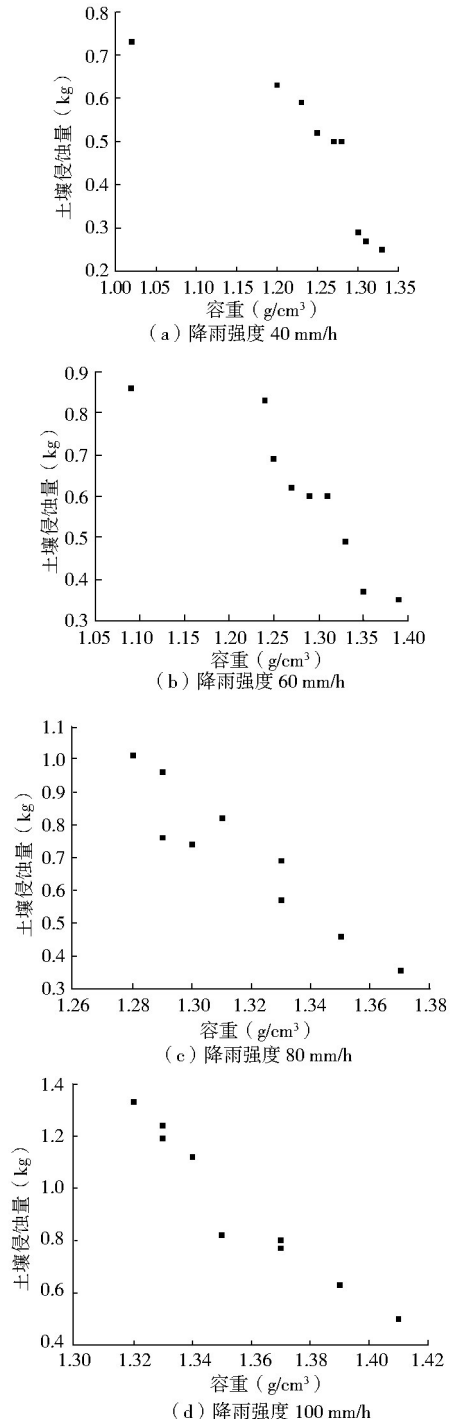


图 1 人工模拟降雨条件下土壤侵蚀量与容重的关系

土壤侵蚀量与土壤容重的拟合关系为 $y = a + bx$, 其中: x 为容重; y 为土壤侵蚀量; a 、 b 为参数($b < 1$),通过人工模拟降雨试验确定。经分析,在降雨强度 40、60、

80、100 mm/h 条件下,拟合优度分别为 0.71、0.81、0.88、0.94。但在实际水土保持监测工作中,影响堆土水土流失的因子更加多元化,通常还包括土壤粒径^[7]、边坡坡度等,因此表达式可近似为 $y = k_{\text{粒径}}(a + bx_1 + cx_2 + dx_3)$,其中: x_1 为容重, x_2 为坡度, x_3 为降雨强度, $k_{\text{粒径}}$ 为粒径修正系数。通过室内模拟降雨试验确定 a 、 b 、 c 、 d 的值,再通过径流小区试验校核,最终得出因变量 y 与自变量 x_1 、 x_2 、 x_3 之间的数学表达式。而在此表达式中,需要多次现场实测的只有容重,一次堆土过程坡度基本固定(自然状态下,堆土的天然休止角相对比较稳定),降雨强度可通过气象资料获得,粒径修正系数可查表获得。因此,通过测定临时或永久堆土的容重来监测土壤侵蚀量从理论上讲是可行的,前提条件是需要进行大量的试验和数据分析。

3 结果与讨论

(1)容重、土壤侵蚀量、雨强之间的关系。土方从堆积之初的松散状态到自然的紧实定形要经历一个相当长的过程,期间受降雨等外力及土体自重的作用,随着堆积时间的延长,土壤颗粒被压实,土壤抗侵蚀能力逐渐提高,归根结底是土壤容重的变化导致土体对降雨的蓄渗能力发生改变。试验过程中,在发生水土流失的同时,也导致了土壤容重的改变,土壤侵蚀量与容重呈极显著负相关。雨强的增减在这种联系中起到了一定的作用,但不是决定性作用。

(2)容重临界点假设与水土流失防治。大多数开发建设项目是以土方的开挖堆存为始、以回填平覆为终,期间产生的堆土体若得不到很好的防护甚至是基本的压实处理,则会发生水土流失。土方堆置过程中土壤侵蚀量随土体容重的不同变化比较明显,随着土方堆积时间的逐渐增长,土壤侵蚀量与容重的关系会出现一个临界点(此时土壤侵蚀量最低)。开发建设项目产生的堆土,在坡角自然休止、整体沉降的条件下,土体初始容重与容重临界点差距较大。在无人为干预的条件下,土方堆积体从松散到接近容重临界点需经历一个相当长的过程,而在这个过程中受降雨侵蚀力的影响,会伴随着水土流失的发生。反之,若对土方的堆存实施前期干预,分层压实土体,那么土体的起始容重将更接近容重临界点,容重变化幅度减小,相应的变化过程也就缩短,大规模水土流失发生的概率也将降低。这也能很好地解释为什么压实的泥土路面在坡度、雨强相同的条件下,土壤侵蚀量比扰动过的地表和土方堆积体要低很多。

(3)粒径修正系数。纯土方粒径比较均一($k_{\text{粒径}} = 1$),但实际弃渣中纯土方较少,往往掺杂着砂石,导致堆积体粒径发生变化,因此需要引入粒径修正系数。粒径修正系数的确定是以纯土方作为基准试验材料,逐步掺混砂石,以改变供试体粒径,然后根据土壤侵蚀量的变化,推算粒径修正系数。通过多次粒径调整,反复试验建立粒径修正系数表格。野外工作时可根据单位体积土体的平均粒径,查表获得粒径修正系数,进而计算土壤侵蚀量。

4 结 语

根据弃渣场堆土边坡水土流失发生机理,通过人工模拟降雨试验研究堆土容重变化与土壤侵蚀量的关系,进而探讨通过测定容重精准监测土壤侵蚀量方法的可行性。为了能更好地表述该方法中容重变化与土壤侵蚀量的关系,下一阶段的试验将尝试变换基质,调节基质的粒径及试验坡度,建立包含土壤侵蚀量、容重、基质粒径、坡度等的表格查询系统,以实测结合表格查询的方式精准量化弃土场土壤侵蚀量,使开发建设项目水土保持监测工作更加简便化。

[参考文献]

- [1] 王继增,邓岚,郭新波.开发建设项目水保监测中土壤侵蚀模数监测方法探讨——以“东深供水改造工程水土保持监测”项目为例[J].水土保持研究,2006,13(1):21-23.
- [2] 喻权刚.新技术在开发建设项目水土保持监测中的应用[J].水土保持通报,2007,27(4):5-9.
- [3] 李雪转,樊贵盛.土壤有机质含量对土壤入渗能力及参数影响的试验研究[J].农业工程学报,2006,22(3):188-190.
- [4] 李卓,吴普特,冯浩,等.容重对土壤水分入渗能力影响模拟试验[J].农业工程学报,2009,25(6):40-45.
- [5] 马海龙,金晓琴,刘国彬,等.黄土丘陵区不同农田类型土壤抗蚀性分异研究[J].水土保持研究,2013,20(2):5-8.
- [6] 赵暄,谢永生,王允怡,等.模拟降雨条件下弃土堆置体侵蚀产沙试验研究[J].水土保持学报,2013,27(3):1-8.
- [7] 陈奇伯,黎建强,王克勤,等.水电站弃渣场岩土侵蚀人工模拟降雨试验研究[J].环境科学学报,2006,26(12):2065-2071.

[作者简介] 李凤鸣(1981—),男,辽宁阜新市人,助理研究员,硕士,主要从事水土保持监测、矿业迹地恢复等方面的研究工作。

[收稿日期] 2016-12-20

(责任编辑 李杨杨)