

关于土壤可蚀性指标的讨论*

阮伏水 吴雄海

(福建省水土保持试验站·福州市·350003)

摘 要 该文对主要土壤可蚀性指标进行了评述,指出土壤的可蚀性是一个相对概念,同一土壤在不同侵蚀动力条件下,其抗侵蚀能力是不同的。每一土壤均具有抗蚀性和抗冲性,在土壤侵蚀过程中,何者居主导地位,主要取决于侵蚀动力的方式和强度。建议加强利用人工降雨等手段对不同土地利用和土壤类型的土壤可蚀性进行系统研究,并使其标准化、定量化,为土壤侵蚀量预测和坡地治理开发服务。

关键词 土壤可蚀性 土壤抗蚀性 土壤抗冲性 侵蚀动力

A Review on the Indexes of Soil Erodibility

Ruan Fushui Wu Xionghai

(Soil and Water Conservation Experimental Station of Fujian Province, 350003, Fuzhou Municipality)

Abstract The main indexes of soil erodibility have been discussed. Soil erodibility is a relative concept, it is suggested that the soil anti-erodibility and soil scourability should be separated in the study of soil erodibility. Soil has different erodibilities under the various forms and intensities of erosive force, so the condition of erosive force should be considered for selecting the indexes of soil erodibility.

Keywords soil erodibility; soil anti-erodibility; soil anti-scourability; erosive force

土壤可蚀性(Soil Erodibility)是指土壤是否易受侵蚀动力破坏的性能,也就是土壤对侵蚀介质剥蚀和搬运的敏感性^[1],是控制土壤承受降雨和径流分离及输移等过程的综合效应。土壤侵蚀营力是土壤流失过程的外部因素,而土壤本身的性质才是内在因素。因此,研究土壤可蚀性成为认识降雨侵蚀机制的一个重要环节,国际上把土壤可蚀性研究一直作为水土保持学科研究的重要内容之一。由于土壤可蚀性并不是一个简单的物理或化学的定量可直接测定指标,而是一个综合性因子,因此,只能在一定的控制条件下通过实际测定土壤流失量(Soil Loss)或测定土壤某些性质作为土壤可蚀性指标,从而达到估价土壤可蚀性的目的。

1 根据土壤性质的室内分析评定土壤的可蚀性

研究人员根据土壤性质的常规试验确定的指标来评定土壤对侵蚀的相对敏感度。其中大多数指标是评定土壤耐溅击的能力或抵抗分离的能力。Bennet^[2]于 1926 年在研究古巴砖红壤

① 收稿日期:1995-08-10 * 本文得到省自然科学基金课题(93D008)的资助

土壤侵蚀基础上,认为土壤侵蚀与 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 之间有明显相关性,提出 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 可作为土壤可蚀性指标, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 越小,土壤抗侵蚀能力越强。Middleton^[3]于 1930 年根据试验结果,提出分散率(Dispersion Ratio)作为估价土壤的可蚀性指标,即:分散率=(水散性粉沙+粘粒)/(总的粉沙+粘粒),并指出一般易蚀土壤的分散率 $>15\%$,不易蚀土壤的分散率 $<15\%$ 。他还指出,土壤胶体含量与水分当量的比值可以表征土壤水分运移能力,而土壤水分运移能力直接影响土壤侵蚀。因此,他提出了侵蚀率(Erosion Ratio)概念,即:侵蚀率=分散率/胶体含量/含水当量,并指出,易蚀土壤侵蚀率 >10 ,不易蚀土壤则侵蚀率 <10 。Baver^[4]于 1933 年提出了分散-渗透性指标即 $E = KD/AP_p$, E 表示土壤侵蚀量, K 为关系常数, D 表示分散难易程度, A 表示吸附能力, P 为渗透率。Lutz 于 1934 年提出,最细部分团聚体含量对土壤可蚀性影响很大^[5]。Bouyoucos^[6]于 1935 年提出用粘粒率(Clay Ratio)作为土壤可蚀性的直接指标,即粘粒率=(沙+粉沙)/粘粒,粘粒率越小,土壤越不容易侵蚀。同时指出粘粒率测定快速、简便,可广泛应用。Voznesenskil(1938,1940)和 Astruni(1936,1938,1940)继续 Middleton 的研究工作^[5]提出 $E = dh/a$ 为土壤可蚀性的最好指标, d 是分散率, h 是土壤亲水性,即 lg 胶体的持水量, a 是在流速为 100cm/min 水流作用 1h 条件下,仍保持不分散的 $\geq 0.25\text{mm}$ 的团聚体含量。Anderson^[7]于 1954 年提出,团聚体表面率(Surface-Aggregation Ratio)可作为土壤可蚀性指标,其表达式为:团聚体表面率= $<0.05\text{mm}$ 颗粒表面积/(粉沙+粘土)团聚体的表面积。Leenheer De 和 DeBoodt M^[8]于 1959 年提出了团聚体不稳定指标,即 $I =$ 干筛和湿筛加权平均粒径差,Woodburn 等^[9]于 1956 年提出 $>0.5\text{mm}$ 的水稳性团聚体含量可作为土壤可蚀性指标。田积莹等^[10]利用分散率、侵蚀率、团聚度、结构系数等指标首次对甘肃东部子午岭地区进行土壤可蚀性研究。认为这些指标均可作为评价土壤可蚀性指标。

60 年代,日本学者川村秋男^[11]提出了水稳性团聚体风干率,即是从风干土测得的水稳性团聚体含量与从毛管饱和水土样所测水稳性团聚体含量之比,并得出侵蚀量与风干率成反相关。同时,也有人用水稳性指数、崩解度和抗剪强度等作为土壤的可蚀性指标^[12~15]。上述这些指标只是反映土壤对侵蚀营力的相对敏感性,无法定量求取已知侵蚀营力下的土壤侵蚀量,但这些指标对评价土壤侵蚀潜在危险性方面有重要意义。选用哪种指标合适,取决于许多因素,其中最重要的是那些与控制大田自然环境中的侵蚀过程有关的因素。由于影响因素复杂,研究者不可能只用一个指标来表征各类土壤可蚀性,可能要用组合指标来表征各类土壤的可蚀性。

2 根据一定侵蚀动力下的流失量确定土壤可蚀性

1956 年 Wischmeier 等根据大量实测资料,提出了著名的通用土壤流失方程(USLE),方程中包含土壤可蚀性因子 K ,首次把土壤可蚀性因子与土壤流失量建立定量关系。在其它条件相同下, K 值反映了不同土壤的不同侵蚀率。对于某一特定土壤,土壤可蚀性因子 K 是一个与标准小区相比的单位侵蚀指数的侵蚀率^[16]。在美国,对 23 种主要土壤的 K 值作了直接的测定,其 K 值范围为 $0.03\sim 0.69$ ^[16]。直接测定 K 值方法综合了所有土壤性质对土壤侵蚀的影响,被认为是最符合田间实际土壤对侵蚀力的敏感尺度,但直接测定 K 值所需时间较长,经费较多,Wischmeier 等人于 1971 年根据土壤性质与实测到的土壤可蚀性 K 值,建立了土壤可蚀性因子 K 与土壤性质之间的关系式,即 $100K = 2.1M^{1.14}(10)^{-4}(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$ 。式中 M 表示颗粒分析参数; a 表示有机质百分含量; b 表示土壤分类中土壤结构的级别, c 表示土壤剖面渗透级别,他们还绘制了两幅关联诺谟图以便直接查定 K 值^[16]。近

年来,随着对 USLE 的改进,对 K 值也进行了调查,如考虑到其季节变化因素、有机质含量范围等^[17]。

苏联学者 B. b 古沙克用 B. b 古沙克型水槽,内装风干碎过筛的扰动土壤进行冲刷试验。而目前则主要用原状土冲刷槽法^[18],即将原状土置于一定水流中冲刷和使用 C. c 索波列夫仪用恒压水柱直接冲刷土层以冲刷模数、抗冲强度及抗冲指数等来评价土壤抗冲性,其实质是以单位水体或单位时间冲走的土量来表示土壤抗冲能力的大小^[18,19,20]。研究者们先后就这两种方法进行了不同程度的改进和应用并分别就黄土高原地区的不同土壤抗侵蚀性进行了较系统的研究^[18,20~24]结果表明:土壤抗冲性随土壤中根系含量和土壤坚硬度减少而减弱,以林地抗冲性最强,草地次之,农地最弱,林地和草地开垦后抗冲性显著减弱,农地放荒后抗冲性很快增强。由于上述研究方法的试样与原状土相差甚大,同时所用的侵蚀动力也与野外天然降雨径流动力不同,所以,得到的结果也只具相对意义。

利用人工模拟降雨研究土壤可蚀性是目前国外普遍采用的方法^[25],即模拟天然降雨动力,以取得不同土壤侵蚀量,从而求得土壤可蚀性。人工降雨研究土壤可蚀性具有快速、易控制和适应性强等优点,研究人员可以在短期内模拟当地天然降雨特征,对不同土壤进行研究。早期人工降雨装置较小,无法模拟天然降雨,其得到的土壤可蚀性主要是在降雨溅蚀动力条件得到,这些土壤可蚀性是相对值,只能用于不同土壤之间的比较,而不能直接用于说明土壤流失量。随着人工降雨的改进和人们对天然降雨特征认识的深入,规模较大的人工降雨模拟装置不断被设计出来,其产生的侵蚀动力更接近大田试验区^[25],所得到的可蚀性资料较可靠。我国山西省水土保持研究所和中科院地理所等与加拿大多伦多大学合作,在黄土高原地区对这方面进行了初步探讨^[26]。

3 土壤可蚀性指标问题的讨论与今后研究方向

为何有上述许多土壤可蚀性指标?作者认为一方面是由于不同区域的土壤特征差异所致;另一方面更重要的是土壤侵蚀动力过程的差异所致。1947年,Ellison 提出,天然降雨侵蚀过程是降雨雨滴打击和径流冲刷引起的,可以将土壤的抗溅蚀力和抗冲蚀力分开测定^[27]。

50年代后期,朱显谟发现在疏松黄土进行的水蚀常是分散和冲刷同时进行,而且冲刷过程非常强烈,常常大大地掩盖分散的强度,随后于1960年提出抗冲性概念并将土壤的抗侵蚀力区分为抗蚀性和抗冲性。Wischmeier Meyer 和 Ovens 等学者也相应提出相似概念。朱显谟^[28]认为土壤抗蚀性是指土壤抵抗水的分散和悬浮之能力,其大小主要取决于土粒和水的亲和力。亲和力越大,土壤愈易分散和悬浮,结构体越容易受到破坏和解体,同时导致土壤透水性能降低和地表泥泞,在这种情况下,即使径流很小,机械破坏有限,因土壤微小颗粒悬浮也会发生侵蚀。土壤抗冲性表示土壤抵抗地表径流机械破坏和搬运的能力。它主要取决于土粒间和微结构体间的胶结力。如果土壤颗粒间接胶结力很强,结构体大,结构体之间相互不易分离,则可以抵抗较强的冲刷作用。以往的许多研究常把抗蚀性和抗冲性作为同一性质来对待。所以出现了许多土壤可蚀性指标。

根据土壤抗蚀性和抗冲性概念,上述的 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$,分散率、侵蚀率、水稳性团聚体、团聚体表面率、水稳性团聚体风干率等应属土壤抗蚀性方面指标,这些指标主要反映了土壤的结构性质和土壤抵抗降雨和径流分离悬浮能力。 KE 指标和微型人工降雨所测的土壤可蚀性主要是对降雨溅蚀而言,也属土壤抗蚀性内容。中国科学院、水利部水土保持研究所采取的原状土

壤冲刷槽法得到土壤抗冲强度、抗冲指数和中科院所采用的土壤抗剪强度、粘粒率等均应属土壤抗冲性方面指标。大规模野外人工降雨得到的土壤可蚀性指标,包括抗蚀性和抗冲性两方面,能综合反映大田土壤实际抗蚀能力。

从胶体的亲水性和其特征来看,除有机胶体外,矿质胶粒的 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 值越大,抗蚀性越强,分散率和侵蚀率愈低,但在黄土中,胶粒的 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$,要比粘重的红土高得多,抗蚀性强,但表现在土壤侵蚀方面却恰恰相反。这是由于黄土中胶粒含量少,胶粒和骨架颗粒的胶结以接触式为主,胶结力弱,土体疏松多孔,抗冲性弱所致,而红土粘粒含量高,并常以基底式胶结,密实坚硬,抗冲性强,但 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 低,抗蚀性相对较弱。土壤的抗冲性和抗蚀性二者之间哪一特征在土壤侵蚀中起主导作用,这要看土壤侵蚀的动力方式和强度,而几乎所有国内外学者在进行土壤可蚀性研究中,均未考虑到这一点。这也是造成土壤可蚀性指标繁杂的重要原因。

黄土与花岗岩土壤相比,具有较强的抗蚀性和较弱的抗冲性,但黄土地区的土壤侵蚀则远比花岗岩地区剧烈(除了少数崩岗沟集中区外)。说明黄土地区抗冲性是土壤可蚀性的主导因素。但就黄土而言,因渗透率较高,在有一定植被覆盖或坡地工程措施拦蓄时,地表径流冲刷营力减弱,这时土壤的渗透性和水稳性团聚体、分散率、结构系数、 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 率等土壤抗蚀性特征就会上升为主要矛盾,而土壤抗冲性则退居次要地位。南方黄红壤区也一样。坡耕地松耕措施使土壤抗冲性急剧减弱。根据我们在安溪官桥的试验结果,顺坡松耕裸地的年土壤侵蚀量为相同条件下自然裸地侵蚀量的 10 倍左右^[29],但降雨量 $<15\text{mm}$ 降雨产生的侵蚀量前者仅为后者的 48%;在有较好坡地工程拦蓄条件下,松耕的结果有利降雨入渗,而很少产生地表径流,有利于土壤保护,而未松耕板结坡地,因入渗率低,地表净雨量多,常常溢漫梯埂而造成冲刷,这时反而不利于土壤保持。土壤表层有机质含量高、土体疏松,有利于入渗,抗蚀能力也强。在有较好植被覆盖时,侵蚀营力以降雨雨滴冲击和地表漫流为主,冲刷力弱,土壤抗蚀性在侵蚀中起主导作用,所以土壤抗侵蚀能力较强。若一旦坡地植被被毁,根系腐烂后,在强大暴雨冲击下,地表径流冲刷占重要地位,这时土壤抗冲性在侵蚀中居主要矛盾,表土层因疏松,结持力弱,抗冲性弱,所以土壤侵蚀强,这就是为什么植被遭到破坏的坡地,表土层可在较短时期内被冲蚀殆尽的内在原因。上述说明:同一土壤在不同侵蚀动力条件下,其抗侵蚀特征是不同的。

选用哪种可蚀性指标和研究方法合适,取决于许多因素,必须针对侵蚀动力条件而定。在径流冲刷动力较弱的坡地,如有坡地工程,较好植被覆盖的坡地,宜选用抗蚀性指标较合适;在地表径流冲刷力较强的坡地,如自然裸地,顺坡耕地,宜选用有关抗冲性指标。

土壤可蚀性及其有关指标的研究属基础研究,它对认识土壤机理和预测土壤侵蚀过程以及合理进行土壤侵蚀防治均有极重要的意义。土壤的抗蚀性和抗冲性概念已提出 30 多年,但至今尚未见到较成功地应用此概念进行土壤可蚀性评价的报道。作者认为今后应加强以下几方面研究:(1)加强研究的系统性。针对不同土地利用和土壤类型,根据其侵蚀动力特征(包括不同方式和强度),对土壤可蚀性进行系统研究,并提出不同条件下有关可蚀性参考指标,使其标准化,以利于进行区域土壤可蚀性评价,为区域治理和开发服务。(2)加强人工模拟降雨方法在土壤可蚀性中的应用。人工模拟降雨特征应与当地降雨特征相近,以便在相似大田侵蚀动力条件下,研究土壤可蚀性。(3)加强土壤抗侵蚀特征的机理研究,即土壤在侵蚀力条件下的变化和反映的机理分析。该研究是土壤可蚀性研究的基础,是认识土壤侵蚀特征的关键。目前只有中科院地理研究所等对此有初步探讨,今后应加强这方面的研究。

参 考 文 献

- 1 Lal R. 可蚀性和侵蚀性. 土壤侵蚀研究方法. 水土保持学会, 黄河水利委员会宣传出版中心译. 北京: 科学出版社, 1991. 137~146
- 2 Bennet H H. Some Comparisons of the Properties of Humid-tropical and Humid-Temperat American Soil, with Special Reference to Indicated Relations Between Chemical Composition and Physical Properties. *Soil Science* 1926, 21: 349~375
- 3 Middleton H E. Properties of Soil Which Influence Soil Erosion. *USDSA Technical Bulletin* 1930, 173: 16
- 4 Baver L D. Some Factors Effecting Erosion. *Agri Eng*, 1933, 14: 51~52
- 5 Dusan Zachar. Soil Erosion. *Developments in Soil Science*. New York; 1982, 10: 164~166
- 6 Bouyoucos G J. The Clay Ratio As a Criterion of Susceptibility of Soils to Erosion. *Toural of American Society of Agronomy*, 1935, 27: 738~741
- 7 Anderson H W. Suspended Sediment Discharge As Related to Stream Flow. *Topography, Soil and Land used. Fransactions. American Geophysical Union*, 1954, 35: 268~281
- 8 De LeenheRr L, De M. Determination of Aggregate Stability by the Change in Weight-diameter, *Med-edelingen ran de Land-bouwhoghe school. Gent*, 1959, 24: 290~351
- 9 Woodburn R, Kozachyn J. A Study of Relative Erodibility of a Group of Mississippi Gully Soils. *Trans. Am. Geographical Union*, 1956, 35: 745~753
- 10 田积莹等. 子午岭连家砭地区土壤物理性质与土壤抗侵蚀指标的初步研究. *土壤学报*, 1991, 12(3):
- 11 高维森, 王佑民. 土壤抗蚀抗冲性研究综述. *水土保持通报*, 1992, 12(5):
- 12 史德明. 土壤侵蚀调查方法的试验研究和侵蚀定量测定问题. *中国水土保持*. 1983(3):
- 13 陆兆熊, 了东浩, 王贵平等. 黄土抗剪力及可蚀性的时空变化规律. *晋西黄土高原土壤侵蚀规律实验研究文集*, 北京: 水利电力出版社, 1990. 1~11.
- 14 吴淑安, 蔡强国, 朱同新等. 王家沟流域不同土壤的抗蚀性研究. *晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究*, 北京: 科学出版社, 1992, 45~53
- 15 Cruse R M. Effect of Soil Shear Strength on Soil Detachment due to Raindrop Impact. *Soil Scin Soe. Am. J.* 1977, 41: 777~781
- 16 Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Congenation Planning. *Su-persedes Agri. Handbook No. 282*: 15.
- 17 Renard K G, et al. Revised Universal Soil Loss Equation. *J of Soil and Water Conservation*. 1991. 30~33
- 18 蒋定生. 黄土抗冲性研究. *陕西省土壤学会 1978 年学术年会论文集*, 1978.
- 19 史德明. 红壤地区土壤侵蚀及防治. *中国红壤*, 北京: 科学出版社, 1983, 237~253
- 20 窦葆璋. 土地利用方式对黄绵土抗冲性的影响. *陕西省土壤学会 1973 年学术年会论文集*, 1978.
- 21 李勇. 黄土高原土壤抗冲性机理初步研究. *科学通报*, 1990(5):
- 22 刘秉正等. 刺槐林地土壤抗冲性的试验研究. *西北林学院学报*, 1984(1):
- 23 郭培才等. 黄土高原沙棘林地土壤抗蚀抗冲性及其指标的研究. *西北林学院学报*, 1989(1):
- 24 吴钦孝等. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的研究 I. *水土保持学报*, 1990, 4(4):
- 25 Meyer L D. 用于水土保持研究的降雨模拟装置. *土壤侵蚀研究方法*. 水土保持学会, 1988. 72~91
- 26 陆兆熊, 曾伯庆等. 全坡面大型模拟降雨装置的设计与应用实例. *晋西黄土高原土壤侵蚀管理与地理信息系统应用研究*. 北京: 科学出版社, 1992, 242~249
- 27 哈德逊 N W, 窦葆璋译. *土壤保持*. 北京: 科学出版社, 1975, 66~67
- 28 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素. *水土保持通报*, 1982, (1):
- 29 阮伏水. 花岗岩不同土地利用坡地水土流失特征. *地理研究*, 1995, 14(2):