

目 录

序

第一章 土壤的风蚀和水蚀：问题和展望	1
1.1 改善资料的必要性	2
1.2 走向标准化	5
第二章 室内和野外小区的土壤侵蚀研究	8
2.1 研究大纲	8
2.2 侵蚀过程	9
2.3 微型小区	11
2.4 通用方程小区	14
2.5 大面积小区——单源流域	31
2.6 结 论	34
第三章 流域产沙量测量	38
3.1 全球概况	38
3.2 现有产沙量资料的可靠性	43
3.3 产沙量监测计划的设计	49
3.4 下游泥沙和上游侵蚀的联系	61
第四章 用于水土保持研究的降雨模拟装置	72
4.1 降雨模拟装置的性能	73
4.2 降雨模拟装置的类型	75
4.3 人员要求与有关设备	79
4.4 模拟降雨研究方法	81
4.5 降雨模拟装置：有益还是负担？	89
第五章 土壤侵蚀模拟和产沙	92

5.1	侵蚀预报方法的特点	93
5.2	侵蚀类型	95
5.3	侵蚀预报	96
5.4	产沙预报	99
5.5	集中水流侵蚀和切沟侵蚀的预报	100
5.6	未来的侵蚀预报方法	101
5.7	评估对产量的影响	101
5.8	预报的讨论	102
附:	侵蚀和产沙量模型应用举例	104
第六章	土壤侵蚀过程研究的进展与水土保持 实践的依据	115
6.1	土壤侵蚀模型的类型和目的	115
6.2	侵蚀和泥沙输移的基本研究方法	117
6.3	侵蚀/沉积过程模型	119
6.4	侵蚀过程的简化模型	123
6.5	地块长度对单位面积上土壤流失量的影响	126
6.6	地面覆盖和坡度对土壤流失的影响	129
6.7	结论	133
附:	主要符号表	134
第七章	可蚀性和侵蚀性	137
7.1	土壤的可蚀性	137
7.2	侵蚀性	146
第八章	评估植被和经营管理的效果	157
8.1	植被和经营管理如何发挥作用	157
8.2	作物被覆和经营管理研究的关键领域	161
8.3	研究方法	164
第九章	土壤侵蚀对作物产量影响的监测	182

9.1	土壤侵蚀造成减产的证据和原因	183
9.2	侵蚀对作物产量影响的监测	184
9.3	结论	195
第十章	风蚀	197
10.1	土壤风蚀的可能性	198
10.2	风蚀能力	203
10.3	上垄糙度	207
10.4	田块长度	209
10.5	植被因子	211
10.6	风蚀模型	216
10.7	管理作用	218
10.8	结论	222
附 录		230
汉英名词对照索引		233

第一章 土壤的风蚀和水蚀：问题和展望

R.Lal

土壤加速侵蚀是一个全球性的严重问题，这已得到广泛的承认。但是，精确而可靠地估价土壤侵蚀的规模——范围、大小和速率，以及它在经济和环境方面的后果，是困难的。现有的文献资料往往是以调查或粗略的资料为基础进行外推而得到的。

Judson 1981年在“*What's happening to our continents*（我们的大陆正在发生什么事）”^[8]一书中估计，由河流输送入海的泥沙，从集中农业和放牧开始以前的每年100亿吨，增至250~500亿吨。Dudal在参考文献[4]中报道，世界范围内土壤侵蚀和其它因素的农地缩减率，导致每年不可逆转地损失约600万公顷肥沃土地的生产力。依据联合国环境规划的资料^[15]，由于土壤侵蚀引起的退化，每年约有2000万公顷土地的作物生产力化为乌有或变得不能经济地利用。基于世界范围内关于土壤侵蚀的现有资料，Higgins及其合作者在文献[7]中写道，旱作区域的作物产量在未来25年中可能会降低29%。自从人口定居从事农业以来，土壤侵蚀已毁掉了约4.3亿公顷的生产地。Buringh在文献[2]中估计，全球每年农地因土壤侵蚀约损失300万公顷，因沙漠化损失约200万公顷。美国大陆河流每年输送的10亿吨泥沙中，约有60%来自农地^[10,11]。美国因泥沙淤塞危害，估计每年损失60亿美元^[8]，包括自全美河流、港口、水库疏

漫数百万立方米泥沙的5.7亿美元。

风蚀的不利影响有同样的破坏性。虽然就世界范围而言，风蚀较水蚀轻，但在很多半干旱和干旱地区，问题是严重的。现有的风蚀研究资料比水蚀的更少。治理风蚀过程和控制它的基本原理与应用于水蚀的相似。但是，特殊的因果关系、不同生态环境下风蚀的大小以及侵蚀控制措施对于经营系统的影响，还没有得到广泛的研究。

1.1 改善资料的必要性

耸人听闻的统计数字，在资料来源、资料收集和推断，以及资料的精确性和可靠性等方面，留下了许多未解答的问题。土壤侵蚀研究是一种费钱、费时的工作。在用各式各样非标准化方法收集起来的少量资料的基础上作全球性的外推可能导致总体上的误差。谬误的和不可靠的资料比没有资料更糟，因为它可能导致代价很高的错误和在制定关键政策时在判断上出现失误。

使方法标准化以增加土壤侵蚀资料的可靠性和精确性，是一项紧迫的需要。资料必须实事求是和避免哗众取宠。有关资料收集的几个主要问题如下。

1.1.1 资料外推

基于有限资料外推到实验区域的生态环境限度之外常导致误入歧途。图1.1是两幅试编的非洲和南美洲的悬沙产量图，Fournier在文献[6]中以其它地方（例如欧洲大陆）特有的产沙量和集流区地貌之间的关系推算为基础，确定了撒哈拉沙漠以南非洲各地的产沙量。在另一种情况下，Stra-

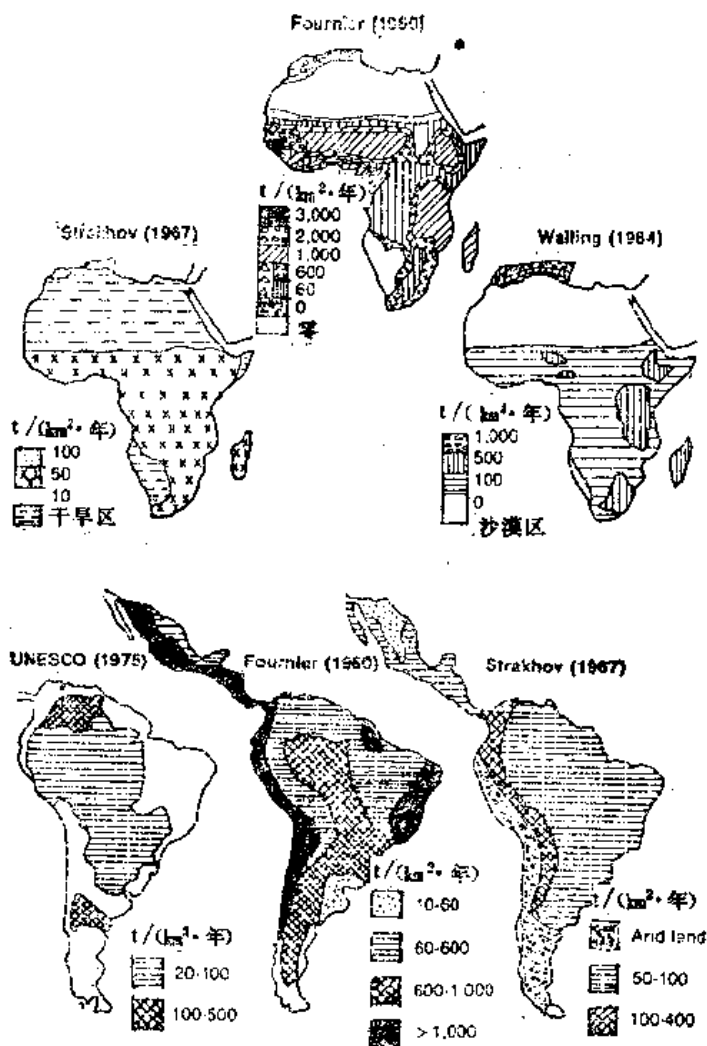


图 1.1 非洲和南美洲泥沙产量分布

分别取自Fournier^[9], Strakhov^[13], UNESCO^[14]和Walling^[16]的资料

khov在文献[13]中采用贫乏的资料外推到整个非洲大陆的产沙量。这两幅图在产沙量和变化趋势两方面相差几个数量级。

更近一些，Walling^[14]与联合国教科文组织协作，以非洲和世界其它地区的产沙资料为基础，编制了最新的产沙地图。它与上述两幅图均有差异。Walling 指出了资料不足的危险，并且说明他自己的地图仍然是暂定的，有待于进一步精炼。如果 Walling 的资料更可靠，则采用 Strakhov 和 Fournier的地图造成的误差就的确惊人了。

与土壤流失的量测不同，田间评估通常包含土壤侵蚀的分级。土壤移动可以用肉眼判断为无、轻微、中等或严重。用这种技巧估计土壤侵蚀有较大的不定性并依赖于个人的判断。在侵蚀对土壤特性和作物产量的影响与土壤侵蚀之间建立定量的相关也是困难的。这类性质的资料尽管有用，但仅有相对的重要性。除非有土壤剖面特性资料的配合，否则这种性质的信息很难一般化。在贫瘠的土地上，轻微的侵蚀可能对作物产量有严重的影响，而在土层深厚的肥沃土壤，严重的侵蚀可能对作物产量没有什么影响。

1.1.2 方法的标准化和资料的可靠性

目前，用于在不同生态环境监测侵蚀严重的小区面积和径流侵蚀的观测方法差别很大。使用的设备通常不足以应付观测的径流，因而经常发生溢流问题。形形色色的多级分流系统、蓄水沉沙箱和贮存罐、沉积物收集和过滤方法，使得土壤侵蚀研究更像一门技巧，而不像科学。

在用以确定河流中悬移质和推移质泥沙的采样方面，Walling^[14]列举出一些重要的考虑因素，例如采样设备和

操作规程、取样频度、相对于河岸的取样点分布、取样深度以及数据计算和分析方法。事实上，数据可靠性是土壤侵蚀研究中的一个严重问题，用不标准化的方法测算的侵蚀率是不可靠的。令人遗憾，一些文献受到了这一类数据的污染。

到处都在按经验公式估算土壤可蚀性。如此估计的可蚀性往往与实测值相差2~5倍。不用雨滴粒径分布、强度、动能和上述参数之间的关系估算降雨的侵蚀力，也有类似的问题，根据有问题的 R 因子绘制的等侵蚀量图，其害大于利。

1.1.3 观测期限和数据连续性

数据必须用标准设备测取，并具有足够长的观测期限，以提供长期趋势。土壤可蚀性和溅散性都是时间的函数。降雨和风力侵蚀力的评定必须在降雨或风速的长期趋势的基础上作出。河流的输沙量有季节和年际的波动。这些参数的年际变化只能根据用标准方法取得的长期资料确定。可蚀性、侵蚀力或输沙量的点测可能导致错误。

1.2 走向标准化

土壤侵蚀是当代危害最大的环境灾害之一。如果侵蚀继续不减，则大面积的现有耕地可能不能耕种或最少不能经济地耕种。虽然加速侵蚀和侵蚀导致土壤退化是无处不有的祸害，但很多地区没有可用的、不同环境和土地利用方式下土壤侵蚀率的定量数据。猜测、感情冲动的声明、定性的评价，应代之以核查过的资料所支持的事实和数据。需要更多的基础研究以取得精确的、可靠的、用标准化方法取得的资

料 关于侵蚀严重性的议论够多了，但对土壤侵蚀的速率知之甚少。什么是评价侵蚀造成土壤退化的判据？如何用经济上的数据评价土壤侵蚀的影响？

为了比较成果和将一个地区的成果外推到另一个地区，方法的标准化是重要的。本书力图确定用于土壤侵蚀和沉积研究的标准方法和技术，着重点在于基本数据的收集。书中阐述了现有的模型，并讨论了那些可用于填补知识的空白和将数据外推到其它地区的模型。

参 考 文 献

1. Brown, L. R., and E. C. Wolf, 1984. *Soil erosion: Quiet crisis in the world economy*. Paper No. 60. Worldwatch Institute, Washington, D.C. 50 pp.
2. Buringh, P. 1981. *An assessment of losses and degradation of productive agricultural land in the world*. Working Group on Soils Policy, Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome, Italy.
3. Clark, E. H. 1985. *The off-site costs of soil erosion*. Journal of Soil and Water Conservation 40: 19-22.
4. Dudal, R. 1981. *An evaluation of conservation needs*. In R.P.C. Morgan [editor] *Soil Conservation, Problems and Prospects*. J. Wiley & Sons, Chichester, England. pp. 3-12.
5. Fournier, F. 1960. *Climat et erosion*. Presses Universitaires de France, Paris.
6. Fournier, F. 1962. *Map of erosion danger in Africa south of the Sahara*. Commission for Technical Cooperation in Africa, European Economic Community, Paris, France.
7. Higgins, G. M., A. H. Kassam, and L. Naiken. 1982. *Potential population supporting capacities of land in developing world*. Project INT/75/P13. Food and Agriculture Organization, United Nations, Rome, Italy.
8. Judson, S. 1981. *What's happening to our continents*. In B. J. Skinner [editor] *Use and Misuse of Earth's Surface*. William Kaufman, Inc., Los Altos, California. pp. 12-139.
9. Kovda, V. A. 1983. *Loss of productive land due to salinization*. Ambio 12: 91-93.
10. Larson, W. E., F. J. Pierce, and R. H. Dowdy. 1983. *The threat of soil erosion to long-term crop production*. Science 219: 458-465.
11. National Academy of Science. 1974. *Productive agriculture and a quality environment*. Washington, D.C. 189 pp.
12. Pimental, D., J. Allen, A. Beers, L. Guirand, R. Linder, P. McLaughlin, D. Meer, D. Mussonds, D. Perdue, S. Poisson, S. Siebert, K. Stoner, R. Salazar, and A. Hawkins. 1987. *World agriculture and soil erosion: Erosion threatens*.

- world food production*. BioScience 37(4): 277-283.
13. Strakhov, N. M. 1967. *Principles of lithogenesis* (volume 1). Oliver & Boyd, Edinburgh, England.
 14. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and International Association of Hydrological Sciences. 1975. *Gross sediment transport into the oceans*. Paris, France.
 15. United Nations Environmental Program. 1980. *Annual Review*. Nairobi, Kenya.
 16. Walling, D. E. 1984. *The sediment yields of African rivers*. Publication 144. International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, England. pp. 265-283.

胡晓铎 译

龙沛霖 校

第二章 室内和野外小区的 土壤侵蚀研究

C.K.Mutchler C.E.Murphree K.C.McGregor

土壤侵蚀研究必须依据某种形式的试验成果。通常利用室内和野外小区取得试验数据来预报和估算土壤侵蚀和产沙量。

小区仅是为达到某种研究目的获取资料的手段。小区应设计成能取得可供分析的数据以检验设想和提供对土壤保持有用的知识和技术。

2.1 研究大纲

任何研究项目的第一步都应制订工作大纲，以具体指导试验的进行和完成。首先是确定研究目的和缘由。这样做有两个理由：获取研究经费和材料以及指导研究的全过程。

大纲的第二部分是查阅文献，以便避免做重复的研究，查阅文献的详略和所用的时间取决于研究者的经验和提供的技术指导。

大纲的程序部分应详细地叙述需要的测试设备和收集资料的方法。除目的和缘由部分外，大纲中没有一部分能够独立存在。尤其是程序的章节必须与研究大纲其它各部分相呼应。

大纲的最后部分是分析的计划，利用侵蚀小区进行试验通常是昂贵的，因此研究者必须谨慎地去收集完成分析所需

要的各种资料。分析的计划还有助于回答实验项目中的问题。

由于侵蚀研究的特殊性，精心准备研究大纲是关键。很多研究步骤趋于破坏侵蚀小区。花费昂贵的室内试验，花费很多时间用于模拟降雨小区的努力尤其如此。总之，为防止室内小区的重新制作，第一次就必须准确地收集所有的数据，以避免再次建立小区和长时间等待小区达到试验条件。

有无植被土壤表面的实物模拟都应按 1:1 比尺去做。沙土、粉土和粘土颗粒不能作缩小比例的试验。农业土壤的许多化学和物理性质，特别是其凝聚作用，各类土壤均不同。土地总是受耕作制影响而具有某些不变的径流流向趋势。这些因素要求小区都要用 1:1 的比尺。同样，除原型比尺外也难以利用植被。最重要的是降雨不能比例缩小，每一个雨滴都有其本身的形状和速度，这又取决于雨滴大小。所以，小区的尺寸十分重要，它应能代表取样的土壤和植被状况。研究大纲应能保证正确地使用小区。

2.2 侵蚀过程

“侵蚀”这一术语通常作为描述地表风化的综合性术语。然而，我们倾向于把侵蚀定义为土壤颗粒被溅离或被挟移，以区别于淤积（沉积）和泥沙的输移。我们用产沙量这一术语表示通过小区、田块、沟槽或流域集水区一定地点流出的侵蚀物质的数量。土壤流失量以单位面积和时间的量表示，常用于小区。即使在最易侵蚀的地方，土壤流失或产沙量也受制于径流的输送能力。当径流流经一个流域时，地面、植被、土壤特性的变化常减小其输送能力，使泥沙有各

种机会沉积下来。一个流域的总侵蚀量用小区成果估计时，必须用泥沙输送比（每个流域不同）折算方能得到期望流域的产沙量。

事实上，坡面上任何薄层水流，由于水的表面张力特性会集中流向下坡。这种现象的后果可以从地表在水流集中作用下遭受了侵蚀之后看到。研究者已设计出各种系统以研究不同级别河流径流集中侵蚀的后果，尽管农场操作者最关心河道之间的可耕面积，但是在耕种操作不能跨越的河槽之间，上述水流集中的一般影响还是可以观测到的。

雨滴的击溅侵蚀细沟间的地表，脱开的土壤颗粒开始向细沟输移。完整的输移系统包括从雨滴击溅地点开始的土粒移动到小的细沟、较大的细沟、间歇性沟槽和长久性的河流。侵蚀和沉积可以发生在系统的任何地点。当无人影响时，这种过程称为地质侵蚀。当有人类活动，如耕作扰动土地引起侵蚀增加时，这个过程称为加速侵蚀。

在农业操作期间，耕作、作物的排列方向以及为不发生过量侵蚀输送径流而设计的水的管理措施，都改变着天然细沟系统。在条播农作中，细沟一般沿犁沟形成，尤其在中耕之后。对于顺坡垄作，径流汇集使细沟扩大和加大细沟侵蚀。等高耕作，因为径流速度低，细沟扩展较缓，但是，在大暴雨情况下，常常超过平行于犁沟的细沟的容量，形成与坡面平行的细沟。横坡修建的梯田隔断顺坡型细沟，并将其控制在初级阶段。

因为用作侵蚀研究的小区是大面积的样本，所以需要有关侵蚀过程的知识。这种研究成果必须来自土地范围内有代表性的样品才有效。当然，研究者可利用各种类型小区来研究土壤侵蚀，主要关心的是任何小区应是地表的一个样品，应

能提供可供分析、可形成土地利用公式的资料。

总之，土地面积包括细沟和沟槽以及它们之间的地块。就侵蚀而言，农地可描述为细沟和细沟间的面积，侵蚀过程可描述为细沟间侵蚀、细沟输移、细沟侵蚀和沉积。小区能够以实际尺度分别表示细沟间侵蚀或细沟侵蚀的面积，或者也可表示包括所有过程的面积。这样，侵蚀小区就可分成三种类型：微型小区、USLE（通用土壤流失方程，简称通用方程）小区和大型小区。

2.3 微型小区

研究者利用微型小区分别研究细沟或细沟间的侵蚀，其有代表性的是Meyer和Harmon^[12]用于研究条播作物农地细沟间侵蚀的平方米小区。因场地限制而常采用室内小区，以用于侵蚀过程的某些小部分的单因子强化研究。

微型小区通常使用降雨模拟装置（见第四章）。有大量关于微型土壤小区的土壤物理学方面的文献。这里，我们仅讨论对侵蚀研究是重要的一些原理。

2.3.1 目的

研究者通常利用微型小区研究在较大的小区难以详细研究的基本的侵蚀状态，例如地表板结、团粒的稳定性、雨滴的溅离作用和击溅输移。需要指出的是，这些问题仅涉及到细沟间的过程。细沟过程的试验需要的小区长度应足以形成足够大的径流。Meyer的细沟和细沟间侵蚀的研究是在野外使用模拟降雨利用微型小区研究细沟和细沟间侵蚀的实例。

微型小区试验应以补充野外小区试验或实用为目的。例如, Moldenhauer利用微型小区研究土壤特性对可蚀性的影响^[13]。他利用室内小区提出侵蚀过程的一些状态,然后用野外降雨、气候和土壤来检验和修正。

建立侵蚀过程的数学模型是当前时尚,因此微型小区用于建立或检验控制土壤侵蚀物理过程的基本操作方程。

2.3.2 合理性

微型小区的最大好处是可用于详细研究土壤侵蚀的各个基本方面。研究者在微型小区上比在大的小区上更能够接近实际地控制侵蚀过程的参数。如果预期的成果能得到有计划的应用,则微型小区实验研究便是有利的。在大多数情况下,这些实验能为有效的发展研究提供需要的基本概念和知识。

2.3.3 步骤

影响微型小区研究过程的问题包括尺寸问题和复制与田间相同土壤的问题。

在各种小区中都必须考虑边界的影响,在微型小区更为突出。边界影响包括小区的溅入或溅出,来自易侵蚀的周边土的侵蚀增量,隔离对土壤水分的运动和植物根系扩展的影响以及因小区限制击溅或径流造成的其它边界影响。室内小区还有一个小区底部边界的问题。

边界影响可以通过收集所有的或几乎所有的溅蚀量减少到最低限度; Al-Durrah和Brandford^[1]曾使用过的土样靶子适用于单个雨滴试验;或者在状态相同的地块中用薄金属当边界隔出小区。对于室内外的很小的小区,最好使用1m

长的边界，以保证溅入和溅出小区相抵。具有薄层水的地表，雨滴溅蚀最大，因此如果地表水不能保持与野外相同时，任何微型小区的成果必将产生偏差。这薄层水的深度以开始出现径流时的细沟地面水量来描述最恰当。这种现象通过检查人工降雨小区的径流和含沙量记录亦可证实，因为在径流开始时的含沙量比实验的任何其它时间都高。

室内小区必有底（以便装土），底的设计取决于试验的目的。对于侵蚀试验，径流和土壤流失量是不同处理的基本指标时，可用筛网当底，上铺滤布，使土壤水自由通过。这是层状土壤的一种特例，例如壤土下面有一层粗颗粒材料。Moldenhauer^[13]发现，在小区底加吸力产生相当大的变化，特别是薄层土壤时。因此，他用15cm厚的土壤层加自由排水。考虑模拟降雨期间发生的事件，为了支持上述系统的使用，大多数模拟暴雨历时为30~60min，使得在径流产生之前地表肯定先饱和。野外小区的流量过程线常在干土喷水45~50min后或干土喷水4~20h后再湿土喷水5~15min后出现不变的流量（和不变的入渗率），问题在于，15cm土壤剖面入渗和饱和所需要的时间比用6.4cm/h的降雨模拟机评估侵蚀力的试验还长。当然，较低降雨强度会改变上述时间，而极高入渗率的某些独特的火山土壤不在此例。由于室内小区土壤是已被扰动的，因此发生了模拟野外土壤的另一个问题。一个解决办法是试验土壤仅取自野外耕作层，在空气中贮存干燥，放入小区之前用大孔筛过筛，并一层一层装入^[13]。必须均匀地制备所有土壤，以使复制之间的差异减小到最低限度。

小区准备的许多问题可以用罩住野外场地的办法加以避免，仅让模拟降雨落在小区上。因此田间耕作、降雨固实作

用以及其它事件不需要模拟。

2.3.4 分析

由于微型小区资料用于各种目的，因此讨论具体的资料分析是困难的。前已述及的目的和理由这里也适用。最重要的是研究者在规划试验和应用野外研究成果时，或土壤保持工作者或土地所有者应用研究成果时，都必须重视分析。

2.4 通用方程小区

侵蚀研究小区的第二种类型是足以反映细沟和细沟间侵蚀全过程的大小区。一个好的例子是用于建立通用方程的小区^[27]。这些小区测量从径流产生的坡顶开始的侵蚀。它们的宽度能有效地使边界影响减小到最小限度，其长度足以使下坡的细沟发育。这种小区局限于沟平行于坡向。通用方程中使用的坡长和坡度等地形参数，按不同坡长和坡度的小区确定。使用凹形和凸形小区研究坡面不均匀的影响。地表糙率，残茬覆盖、植被、前期耕作影响以及其它作物和经营影响，在标准小区上通过特定的作物和耕作顺序加以考虑。有可能通过评价每一土壤类型的可蚀性和降雨的侵蚀力来预测其它地区的土壤流失量。为了将收集的资料推广应用到大田范围，通过折减系数考虑等高耕作、带状耕作或梯田的作用。

通用土壤流失方程小区应取有代表性的坡长。通用方程为 $A = RKLSCP$ ，式中， A 为单位面积土壤流失量； R 为降雨因子； K 为土壤可蚀性因子； L 、 S 分别为坡长和坡度因子； C 为植被和经营管理因子； P 为水土保持措施因子，仅