

土壤容许流失量研究的方法

——以东北典型黑土区为例

杨传强¹, 蔡强国¹, 范昊明^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 沈阳农业大学水利学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要: 概述了国内外土壤容许流失量的发展历史、国内外的应用及研究方法。对东北典型黑土分布、形成、及其侵蚀现状做了阐述。结合前人经验对东北典型黑土区 T 值的确定进行了方法上的分析。

关键词: 土壤容许流失量; 东北典型黑土区; 土壤侵蚀

中图分类号: S 157.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2004) 04-0066-03

Process of Soil Loss Tolerance Research
——in the Phaeozem Region of Northeast China

YANG Chuan-qiang¹, CAI Qiang-guo¹, FAN Hao-ming^{1,2}

(1. Institute of Geographical Sciences & Natural Resources Research, C.A.S., Beijing 100101, China;

2. College of Water Conservancy, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China)

Abstract: The history of soil loss tolerance research are outlined. The distributing , formation, soil erosion actuality of phaeozem region of northeast China is expounded in details. The method to confirm T value in phaeozem region of northeast China is analyzed.

Key words: soil loss tolerance; phaeozem region of northeast China; soil erosion

土壤容许流失量(Soil Loss Tolerance)即 T 值, 每年每单位面积上可容许的最大土壤流失量, 单位常用($t/(km^2 \cdot a)$)表示。 T 值在土壤侵蚀强度分级标准中是划分侵蚀区与非侵蚀区的判别指标^[1], 为制定合理的水土流失控制目标, 进行水土保持规划, 配置水保措施等提供理论指导。特别是随着人类文明的不断提高, 环保意识的逐渐增强, 建立更详细更合理的 T 值标准对保护我国土地资源, 进行水土保持规划, 防治水土流失和生态环境建设具有重要的指导意义。

1 T 值的提出及其发展

1.1 T 值的提出

20 世纪 30 年代, 美国开展了大规模的水土保持实践^[2], 主要是研究土壤侵蚀的机理以及控制土壤侵蚀的措施。许多政府机构和研究单位进行了大量全面的调查研究, 此时土壤保持工作者意识到制定一种估算控制侵蚀措施的量化标准是必须的, 这个标准就是后来人们所熟知的 T 值。

1.2 T 值定义的发展

T 值从提出到最终确定和应用于生产实践, 其定义主要是围绕维持土地生产力这一核心而展开的。1941 年 Dwight

Smith 把 T 值理解为“随时间的推移, 因土壤侵蚀而不会导致土壤肥力下降的最大土壤流失速率”^[3], 此 T 值定义的基础是土壤肥力, 其主要指土壤养分和有机质两方面。在 1947 年, George Browning 和他的助手出版了一份关于土壤 T 值的手册。他们把土壤侵蚀和土地生产力以及切沟侵蚀的发生联系起来, 认为 T 值是“在一定的历史时期维持土地生产力基本不变并且没有切沟形成的年均土壤流失量”^[4]。基于此, 他们把 $1\ 100\ t/(km^2 \cdot a)$ 作为 T 值的最大值。他们认为侵蚀的危害对那些有限制层(例如有黏盘或黏重、肥力低的底层)的土壤更为严重, 而对剖面通体一致深厚的黄土性土壤危害较轻。1948 年, D. D. Smith 和 D. M. Whitt 提出“土壤保持的最终目标是维持土壤肥力以保证作物产量”^[5], 这和早期的 Dwight Smith 定义 T 值思想基本是一致的。他们用有机质作为衡量肥力的指标, 他们通个对几个地区的研究, 建议在密苏里州的绝大部分地区的土壤以 T 值为 $900\ t/(km^2 \cdot a)$ 的标准是合适的。可以看出, 早期的科学家对 T 值的定义主要体现为“所能保证土地肥力不下降, 而能维持作物生产力基本稳定的土壤流失量”。20 世纪 50 年代早期, 由于考虑到土壤侵蚀的严重危害, 美国举行多次会议讨论通用土壤流失

① 收稿日期: 2004-07-10
基金项目: 国家自然科学基金委员会重点基金支持研究项目(40235056); 国家自然科学基金资助项目(40271075)
作者简介: 杨传强(1980-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀方面的研究。

方程(USLE)和 T 值,此时对于具有深厚适宜根系生长的底土层的土壤 T 值制定讨论非常激烈。最终,美国土壤保持局(SCS)的土壤学家呼吁把 T 值的最大值定为 $1\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。直到 50 年代后期,把 $1\,120\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 作为 T 值最大值才被人们所接受^[6]。在此之前, T 值一直没有得到广泛的应用。

美国农业研究局、SCS 等机构于 1956 年举办了一次研究会议,试图根据补偿土壤侵蚀所流失植物养分的成本来定义更广义的 T 值。后来,Smith 和 Wischmeier 指出:“制定 T 值的思想就是限制土壤流失到一定的水平,在此基础上可以经济地保持土壤生产力。”此种观点在美国的农业手册 No. 537 也有所体现: T 值表明了允许土壤流失的最大水平限制,从而可以长期经济地维持作物高的生产力水平^[2]。随着美国 USLE 应用和发展,才使估计在给定的农业条件下 1 cm 土壤所能保持多长时间成为可能,这就更进一步推动了 T 值的应用和发展。1961~1962 年间,美国农业部土壤保持局举行了 6 次区域土壤流失预测工作会议,探讨了制定容许土壤流失量的程序。经过各个工作组的讨论,最终提出了全美大多数土壤类型 T 值的最大值为 $1\,120\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,此时 T 值才用于生产实践,同时 T 值也被进一步定义为“能长期经济地维持高的作物生产力水平的年最大土壤流失量”,此定义为世界各国所承认,并一直延用至今。1973 年美国农业部土壤保持局颁布的土壤通告参考(Advisory Notice Sio1)要求各州按照表 1 修订农业用地的 T 值。土壤通告参考(Advisory Notice Sio1)把适宜作物生长的土壤厚度做为决定 T 值的因素^[7]。

表 1 不同土层厚度的土壤容许流失量

土壤厚度/cm	土壤容许流失量/ $(\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$	
	可再生土壤 ¹	不可再生土壤 ²
< 25	220	220
25~51	450	220
51~102	670	450
102~152	900	670
> 152	1120	1120

注: 1、可再生土壤指的是有适宜的母质,在耕作条件或其它的管理措施下再生能力较强的土壤; 2、不可再生土壤没有适宜的母质,比如岩石,用一般的措施不容易生成土壤。

由 T 值发展的历史,我们可以看出在确定 T 值的标准时,水土保持和土壤专家主要考虑的是土层厚度、土地生产力及土壤肥力。尽管这个 T 值的标准已经修改,但是专家在制订 T 值标准时所考虑的因子都离不开以下三个方面: (1) 一定时间内,土壤流失不致于减少适宜作物生长的根层深度而影响作物的生产力。(2) 土壤流失不致于引起农田内切沟的出现、河道和排水渠等设施的严重淤积。(3) 植物养分的损失不致于引起肥力下降。

在美国公布 T 值之后,随后其它一些国家和地区也制订了相应的 T 值标准,如英国广泛采用的最大容许流失量为 $1\,100\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$; 非洲中部地区的 T 值标准为^[30]: 砂土质土壤为 $1\,500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,黏土质土壤为 $180\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$; 前苏联定为 $340\sim1\,090\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$; 印度为 $450\sim1\,120\text{ t}/$

$(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。我国在全国范围内对 T 值没有进行系统的研究,1997 年水利部参考美国的标准制订了我国的 T 值,并定义 T 值为“在长时期内能保持土壤的肥力和维持土地生产力基本稳定的最大土壤流失量”^[1],《土壤侵蚀分类分级标准》中根据水力侵蚀把全国划分为五大土壤侵蚀类型区: 西北黄土高原区、东北黑土区、北方土石山区、南方红壤丘陵区 and 西南土石山区。并拟定了相应的 T 值。

表 2 我国不同侵蚀类型区土壤容许流失量

侵蚀类型区	土壤容许流失量/ $(\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1})$
西北黄土高原区	1000
东北黑土区	200
北方土石山区	200
南方红壤丘陵区	500
西南土石山区	500

综合国内的有关的研究,这个标准过于宽泛,在某些地区不能付诸实践。柴宗新(1989)从岩石溶蚀速度角度讨论了西南岩溶地区土壤容许流失量为 $68\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ^[8]; 阮伏水(1997)从成土速率的角度出发确定 $200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 为福建省花岗岩地区土壤容许流失量^[9]; 陈奇伯(2000)从黄土成土速度、水土流失对作物产量的影响、表土养分平衡、黄河河道容许来沙量四个方面对半干旱黄土丘陵区坡耕地的 T 值进行讨论,认为以 $200\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 作为半干旱黄土丘陵区坡耕地的 T 值,在较长时期内是比较合理的^[10]。由此看出广西岩溶区、黄土高原区的 T 值《土壤侵蚀分类分级标准》的标准有矛盾之处,因此我国的 T 值标准需要进一步研究,为不同的地区制订更加科学合理详细的 T 值。

2 东北黑土的形成及侵蚀现状

2.1 黑土形成

东北典型黑土区主要分布在东北平原,北起黑龙江右岸,南至辽宁的昌图,西界直接与松辽平原的草原和盐渍化草甸草原接壤,东界可延伸至小兴安岭和长白山山区的部分山间谷地以及三江平原的边缘。黑土总面积 $7.346\,5\times10^4\text{ km}^2$ 主要分布在黑吉两省,约占黑土总面积的 80%^[11]。黑土地区的地形大都是在现代新构造运动中间歇上升,并受不同程度割切的高平原和山前洪积阶地。黑土的成土母质比较单纯,主要有三种(1) 第三纪砂砾、黏土层;(2) 第四纪更新世砂砾黏土层;(3) 第四纪全新世砂砾、黏土层。其中以第二种分布面积最广。黑土地区多是过去的拗陷地带,堆积着很厚的沉积物。从第四纪更新世开始,由于新构造运动的影响,这些底层才逐渐升起来,形成山前洪积平原和高平原。岩层组成,上部以黏土层为主,中下部砂质增加或为砂黏间层,底部则以砂砾层为主。但与黑土形成和发展关系最为密切的则是上部黏土层。黑土绝大部分发育于这些黏土层的上部,只有少数地势起伏较大,割切比较严重的地方,在黑土层下部则可见到砂砾层。黑土地区的干燥度 1,气候条件比较湿润,年降雨量一般是 $500\sim600\text{ mm}$ 。黑土的成土过程是一种特殊的草甸过程。在黑土形成过程最为活跃的季节里,土壤水分较为丰富,有时并形成上层滞水^[12]。在这种条件下,草甸草本植物有了顺利的发展,在地上和地下都积累了大量的有机

物,所以黑土的腐殖质含量高,黑色土层深厚,粒状结构良好,肥力水平高。

2.2 黑土的现状

中国东北地区在全新世气候时为草原或森林草原环境,并广泛发育了富含有机质和养分的黑土层,黑土层下面主要为厚层的沙层母质,一旦表层黑土层流失,露出下面的成土母质或沙层,将几乎不能满足作物生长。东北黑土区开垦历史一般较短,多为 100 年左右,短则 50 年。但就在此短暂的时间内,黑土的侵蚀十分严重,退化速度很快,造成土地生产力的下降。开垦初期,黑土厚度一般为 70~100 cm,土地肥沃,有机质含量为 6%~15%。到 80 年代,进行的第二次土壤普查时(1979),根据对 81 个典型剖面的统计^[13],土壤厚度仅剩 16~72 cm,平均为 43.7 cm,土壤有机质含量仅为 1.98%。根据黑龙江省水土保持研究所观测数据,坡耕地年土壤流失厚度为 0.6~1 cm。当土层厚度小于 20 cm 时,就出现“破皮黄”低产田。因此开展保护黑土资源及对其进行系统科学研究、制定并完善相关的法律法规体系势在必行。本研究的主要就是想通过对黑土区土地资源和土壤流失现状的调查,确定更科学更合理的 T 值,为我国水土保持机构和地方政府进行水土保持规划以及保护黑土资源制定相关的法律法规提供理论依据。

3 黑土区 T 值的决定因素

3.1 土壤厚度

在研究 T 值的时候,研究人员首先关注的是土壤的形成速度。多数专家认为要保持土壤肥力和土地生产力的稳定,必须有一个适宜的土壤厚度,进而要求土壤流失速率与土壤形成速率的相对平衡。Skidmore(1979)拟定一个 T 值的函数方程,其 T 值能维持土壤资源的可持续性利用,阻止侵蚀所带来的严重的污染。他认为 T 值是当前土壤厚度的一个函数,其关系可用下式表示。

$$T(x, y, t) = (T_2 - T_1) / 2 - [(T_2 - T_1) / 2] \cos[\pi(Z - Z_1) / (Z_2 - Z_1)]$$

式中: $T(x, y, t)$ ——点 (x, y) 处 t 时刻的土壤容许流失速率; T_1 和 T_2 —— T 值的下限和上限($T_1 < T < T_2$), T_1 相当于土壤的再生速率, T_2 表示最大容许流失速率; Z_1 和 Z_2 ——满足作物生长所需的最小和最适的土层厚度; Z ——指目前的土层厚度, T 函数决定于土层厚度;在点 (T_1, Z_1) 和之间 (T_2, Z_2) ——余弦曲线, $(T_2 - T_1) / 2$ ——其振幅^[14]。

例如某点要求 (x, y) 的 T 值,目前的土层厚度为 1.4 m,估计满足作物生长最适宜土层深度为 2.0 m,最小土层深度为 0.5 m 土壤的再生速率是 0.2 mm/a,当时的最大容许流失速率为 2.0 mm/a。那么,根据方程,其最终计算的 T 值为 1.38 mm/a,相当于 1 400 t/(km²·a)。在这个方程中之所以没有考虑养分的因子,是因为从 20 世纪 40 年代末大量化肥的应用,科学家把土壤适宜的根层厚度等物理特性做为决定 T 值的主要因素^[7]。在现有的耕作方式下,坡耕地中在雨季不回收大量的草甸植被,因而也就不能形成有机物质。黑土的形成速率接近零,即可以认为耕地中的黑土即使没有流失的

情况下土层厚度也不会增加。根据美国经验一般把 T_2 定为 0.8~2.0 mm/a(800~2 000 t/(km²·a)), Z_1 为 0.5 m, Z_2 取 0.8~2.0 m。考虑到东北黑土区土层已经比较薄,最小的厚度暂根据前人经验定位 30 cm,最适宜的厚度定为 80 cm。根据现在黑土厚度分布情况,可以得出黑土 T 值的分布。

3.2 养分的流失及控制沟道的继续发展

水土流失发育的第一、第二阶段是击溅侵蚀和面蚀,尤其是面蚀,使大量的表层耕作土壤流失。其结果大量土壤养分丧失,土地生产力下降,作物减产。据初步估计:黑土平均每年表土流失厚度约为 0.6~1 cm;沟头侵蚀速度每年平均 1 m 左右。每年平均流走的有机质为 3.9 t/hm²,全氮 0.28 t/hm²,全磷 0.12 t/hm²。据黑龙江省克山县水土保持试验站资料记载,开垦 80~100 a 的土地,黑土层被剥蚀掉约 2/3,残留黑土层只有 20 cm 左右;开垦 60~70 a 的,黑土层被剥蚀约 1/2,残留黑土层 30 cm 左右;开垦 30~40 a 的,黑土层被剥蚀约 1/3,残留黑土层 40 cm 左右。^[15]在黑土区确定合理的 T 值就是养分的流失量等于或小于耕地上的施肥量,不能让农民施用的肥料以另一种方式白白的损失掉。

3.3 水环境安全及其河道、水库的淤积

水土流失不仅造成土地生产力下降,洪水携带泥沙在河道、水库淤积,降低水库调洪蓄水能力,抬高河床,增加防洪费用和抗洪风险。泥沙中携带的大量有害物质污染水体,加重了水源污染,造成生态环境恶化。松花江哈尔滨段的河床比 50 年代普遍抬高 30~50 cm,滨州铁路桥下淤积的河滩长达 3 400 m,淤积量达 490 × 10⁴ m³,不仅河道行洪能力下降,也影响额航运事业的发展。所以在制订 T 值的时候要考虑这几点,利用河道的容许来沙量,确定进入河道的最大侵蚀产沙的数量。推导出流域单位面积上的侵蚀模数做为制订 T 值的参考标准。

4 讨 论

我国东北黑土区土层厚度普遍较低,表土的相对生产力较高,且主要是丘陵、漫岗缓坡地,流失相当严重,土壤生产力下降迅速,高产田向低产田转化速度加快。因土层厚度减小而引起“跑水、跑土、跑肥”,而引起干旱频数增高,粮食减产非常严重,并且一旦表层土壤流失殆尽,其下部的厚层第四纪沙源活化,从而使东北黑土区面临着严重的荒漠化危机。因此吸取国内外研究的成果并结合我国的实际,加强保护我国黑土区的耕地资源,保证我国商品粮基地粮食生产的安全,配置合理的水土保持措施和农业耕作制度,制定相关的法律法规,迫切需要制定更为详细的 T 值标准,而保护黑土层厚度这一关键性的肥力要素才是持续发展黑土区农业的根本,应根据黑土层厚度区域分布,制定不同的 T 值标准,对于具有较深的宜根层厚度的土壤,给以较高的 T 值,而对于那些流失严重,土层极薄(如小于 25 cm)几乎不能满足作物生长的地区,应制定较低的 T 值,可以考虑禁止耕作,退耕还林还草或休闲。可以建立适合我国东北黑土区实际的 T 值和厚度的关系模型,最终根据我国黑土区的土层

(下转第 96 页)

制宜采取适合李子口小流域的水土保持措施。

4.2 土地利用格局变化对水土流失影响分析

土地利用格局变化对水土流失影响分析研究三个方面的问题:(1)不同土地利用的水土流失规律定量研究;(2)土地利用格局变化对侵蚀产沙的影响分析;(3)水土流失规律研究。

4.3 试验小流域的土壤侵蚀模拟研究

目前,模拟试验方法正被越来越多的研究者所重视,并逐渐构成土壤侵蚀研究的重要支撑技术。结合野外人工模拟降雨试验,在地理信息系统支持平台松散耦合的基础上,利用DEM提供地形特征的功能,运用水文模型进行流域径流水文分析,在此基础上,结合侵蚀泥沙模型及其沿程传递模型,建立分布式小流域土壤侵蚀模拟模型。

4.4 试验小流域的水土流失量和水土保持效益计算

水土流失量的计算关系到水土保持方案的合理性。根据实测采样结果来验证模型计算精度,水土保持效益研究的内容是多方面的,主要包括经济效益、蓄水保土效益、生态效益和社会效益。而每一种效益本身和各种效益之间的界定范围却不十分清楚或准确,往往造成遗漏或重复计算,影响了分析结果的可靠性。这里主要考虑经济效益,在分析计算水土

参考文献:

[1] 陈月红,汪岗.嘉陵江水土保持与区域可持续发展[J].水土保持研究,2001,8(4):133-135.
[2] 蔡强国,王贵平,陈永宗.黄土高原小流域侵蚀产沙过程与模拟[M].北京:科学出版社,1998.
[3] 田磊,戴静,祁永刚.流域侵蚀产沙模型述评[J].水土保持研究,2002,9(4):77-79.
[4] 杨武德,王兆骞,等.红壤坡地不同利用方式下土壤侵蚀模型研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1999,5(1):52-58.
[5] 牛志明,解明曙,孙阁,等.ANSWER2000在小流域土壤侵蚀过程模拟中的应用研究[J].水土保持学报,2001,15(3):56-60.
[6] 张明波,郭海晋,徐德龙,等.嘉陵江流域水保治理水沙模型研究与应用[J].水土保持学报,2003,17(5):110-113.
[7] 黄平,召吉国.流域分布型水文数学模型的研究及应用前景展望[J].水文,1997,(5):5-9.
[8] 张德喜.水土保持效益计算浅议[J].山西水土保持科技,2003,(9):3.

(上接第68页)

厚度区域分布确定相应的 T 值分布,结合土壤侵蚀模型的应用和现在的厚度分布对我国东北黑土资源进行退化预警。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部.SL190-96土壤侵蚀分类分级标准[S].北京:中国水利水电出版社,1997.
[2] Johnson,Leonard.Soil loss tolerance:Fact or myth[J].Soil and Water Cons,1987,42(3):155-160.
[3] Smith D D. Interpretation of soil conservation data for field use [J]. Agr.Eng,1941,22:173-175.
[4] Browning G M,G L Parish,John Glass. A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in the control of soil erosion in Iowa[J]. Am.Soc. Agro,1947,39:65-73.
[5] Smith,D D,D M·Whitt. Evaluating soil losses from field areas[J]. Agr. Eng, 1948,29:394-396.
[6] Cook,Ken·Soil loss: a question of values [J]. Soil and Water Cons,1982,37(2):82-89.
[7] R F Follett,B A. Stewart. Soil erosion and crop production[M]. Madison: Society of Agronomy,1985. 174-176.
[8] 柴宗新.试论广西岩溶区的土壤侵蚀[J].山地研究,1989,7(4):255-260.
[9] 阮伏水,吴雄海,等.福建省花岗岩地区土壤允许侵蚀量的确定[J].福建水土保持,1995,(2):26-31.
[10] 陈奇伯,齐实,孙立达.土壤容许流失量研究的进展与趋势[J].水土保持通报,2000,20(1):9-13.
[11] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.319.
[12] 中国科学院林业土壤研究所.中国东北土壤[M].北京:科学出版社,1980.124-129.
[13] 全国土壤普查办公室.中国土种志[M].北京:中国农业出版社,1994.276-286.
[14] David M K. Determinants of Soil Loss Tolerance[M]. American: Society of Agronomy of America,1982.87-93.
[15] 岳红光,沈波,刘运河.保护黑土资源,建好东北粮仓[J].吉林水利,1999,(1):42-45.