

# 半干旱黄土丘陵区坡耕地土壤容许流失量研究

陈奇伯<sup>1</sup>, 王克勤<sup>1</sup>, 齐实<sup>2</sup>, 孙立达<sup>2</sup>, 吴晓伟<sup>3</sup>

(1. 西南林学院, 云南 昆明 650224; 2. 北京林业大学, 北京 100083;

3. 宁夏回族自治区西吉县农田基本建设办公室, 宁夏 西吉 756200)

**摘要:** 在理论分析、试验观测、外业调查的基础上, 从黄土成土速度、坡耕地表土养分平衡、保持坡耕地土地生产力基本稳定、黄河河道的容许来沙量、当地经济的不断发展及土壤培肥和施肥能力的巨大潜力等角度综合分析, 确定  $2.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  作为半干旱黄土丘陵区坡耕地的土壤容许流失量, 在较长时期内是比较合理的。

**关键词:** 黄土丘陵区; 土地生产力; 坡耕地; 土壤容许流失量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2003)04-0001-04

中图分类号: S157.1

## Soil Loss Tolerance of Sloping Field in Semi-arid Hilly-gully Area of Loess Plateau

CHEN Qi-bo<sup>1</sup>, WANG Ke-qin<sup>1</sup>, QI Shi<sup>2</sup>, SUN Li-da<sup>2</sup>, WU Xiao-wei<sup>3</sup>

(1. Southwest Forestry College, Kunming 650224, Yun'nan Province, China; 2. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Agricultural Construction Office of Xiji County, Xiji 756200, Ningxia Hui Autonomous Region, China)

**Abstract:** Based on theoretical analysis, field examination and investigation, it is considered that the  $2.0 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  is the rational soil loss tolerance of sloping field in semi-arid hill-gully area of the Loess Plateau during the long period according to soil formation velocity, top soil nutrient balance, land productivity stability in sloping field, sediment transport tolerance of the Huanghe River course, and regional economic development and so on.

**Keywords:** loess hill-gully area; sloping field; soil loss tolerance

土壤容许流失量(简称  $T$  值)是在长时期内能够保持土壤肥力和维持土地生产力基本稳定的最大土壤流失量<sup>[1]</sup>。从理论上讲,它是土壤流失速率与基岩风化成土速率基本平衡时的土壤流失量。 $T$  值是土壤侵蚀强度分级标准中划分非侵蚀区与侵蚀区的判别标准,在理论上可以确定常态自然侵蚀和人为加速侵蚀之间的关系,在实践上可为制定合理的水土流失控制目标、进行水土保持规划设计、合理配置水土保持措施体系提供理论指导,特别是随着我国依法保护生态环境和土地管理工作力度的加强, $T$  值研究将为水土流失区的综合防治提供科学标准和为制定相关的法律法规提供理论依据。

美国是国际上开展  $T$  值研究最早的国家,始于 20 世纪 30 年代初,而直到 50 年代中期,美国政府和农业及土壤专家们才形成了比较趋于一致的意见,认为制定  $T$  值应考虑 7 个方面。尽管后来几经修改,但

直到 20 世纪 80 年代,专家们还是坚持认为,任何情况下,成土速率、土地生产力因素、沟道侵蚀的控制以及泥沙异地淤积损失是制定  $T$  值绝不可少的最主要因素。20 世纪 70 年代中期,美国政府根据科学家们的研究成果,公布实施了全美较系统全面的  $T$  值,变幅范围为  $2.20 \sim 11.20 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。由于我国目前还没有开展水土流失与土地生产力关系方面的系统研究,全国范围和整个黄土地区还没有按照不同的土壤类型或不同的土地利用类型确定比较精确的  $T$  值。中国水利主管部门借鉴国外的  $T$  值标准并参照我国水土流失综合防治的实际经验,于 1997 年颁布了全国 5 大类型区的  $T$  值标准,其变幅为  $2.00 \sim 10.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[2-4]</sup>。

我国近几年才有了  $T$  值研究的相关报导<sup>[5]</sup>。对黄土高原来说,由于缺乏一致的成土速度资料和难以确定黄河下游河道的容许来沙量等原因, $T$  值标准

收稿日期:2003-01-20

修回日期:2003-04-18

资助项目:国家“九五”科技攻关项目(96-004-05-10);国家自然科学基金项目(30170779)

作者简介:陈奇伯(1965—),男(汉族),甘肃省通渭县人,博士,副教授。研究方向为土壤侵蚀与流域管理,发表论文 20 余篇。电话(0871) 3862778, E-mail:chenqb2000@21cn.com。

很难确定。孙保平等根据水土流失治理措施的减沙效益,认为黄土坡面的  $T$  值应为  $2.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ;刘秉正等提出,渭北高原农坡地的  $T$  值应小于  $5.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ;而唐克丽等认为,通常以小于  $10.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  作为黄土区无明显侵蚀的界限较合适<sup>[17]</sup>。

本文将从黄土成土速度、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等方面对半干旱黄土丘陵区坡耕地的  $T$  值进行初步讨论。

## 1 黄土成土速度决定的 $T$ 值

在  $T$  值研究中,科学家们关注最多的是土壤的形成速度,特别是表层土壤的熟化速度。科学家们认为,要保持土壤肥力和土地生产力的稳定,土壤流失速率必须要保持与土壤形成速率的相对平衡。另外,土壤流失中腐殖质层的损失与土地生产力的关系最密切,因此,腐殖质的积累速度与土壤养分流失速度的平衡是决定  $T$  值的关键<sup>[5]</sup>。

一旦表土损失掉,土壤从它的母质中再生的速度非常缓慢。在任何最优越的条件下,包括很好的森林覆被、草地或其它植被保护,重新形成同样厚度土壤的时间要缓慢得多,而第 2 个同样厚度土壤的成土速度更慢,再往下层都是如此。因此如果开始把  $T$  值定得过高,其损失将无法弥补。土层厚的土壤,在理想的土壤经营条件下,以大约 12 a 形成 1 cm 厚的土壤计,它相当于  $11.20 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  的成土速度,这就是美国人制定  $T$  值的根据。

刘东生先生从黄土风成说的观点出发,认为马兰黄土的堆积速度约为  $0.93 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[6]</sup>;另外,基岩本身风化成土的速度约为  $0.114 \sim 1.620 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。那么,黄土的成土量是堆积量和基岩风化成土量之和,为  $1.04 \sim 2.55 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。这就是理论上黄土区要保持与成土速度相平衡的  $T$  值。

基于目前黄土区平均侵蚀速率高于成土速率约 20~40 倍的现实,刘东生先生认为,若不改变每年入黄泥沙  $1.60 \times 10^9 \text{ t}$  的现状,再过  $1.48 \times 10^4 \sim 7.44 \times 10^4 \text{ a}$ ,所有堆积黄土将全部被侵蚀。而朱显谟先生认为,黄土平均侵蚀速率已超过地质沉积速率 50~100 倍,长此以往,3 000 a 后,我们的子孙后代将在戈壁滩上挣扎谋生<sup>[7]</sup>。不容乐观的前景告诫我们,深厚的黄土如果没有限定的容许流失量,总有一天,它将无力再养育黄土地上的人们。

## 2 保持坡耕地作物产量基本稳定所要求的 $T$ 值

根据半干旱黄土丘陵区宁夏西吉县的水土流失

对土地生产力影响小区模拟试验结果,  $10^\circ \sim 20^\circ$  坡耕地上,干旱年份水土流失造成的作物减产为 42.80%~79.90%,其中径流损失的影响比重占 95.80%~98.20%,而土壤流失的影响比重仅为 1.80%~4.20%<sup>[8]</sup>。显然,强化坡面治理措施,减少径流损失,是黄土丘陵区坡耕地土地生产力得以提高的关键。然而,径流损失与土壤流失是相辅相成的,暴雨产生的地表径流是土壤流失发生的动力基础。许多研究结果表明,产流量与土壤流失量呈指数函数关系,因此减少产流量的治理措施也同时相应地阻止了土壤流失的发生。所以,要从水土流失降低作物产量角度来确定  $T$  值,就要以容许的径流损失来核定容许的土壤流失量。因此,对黄土丘陵区不同坡度的坡耕地来说,只要有径流损失,粮食产量就会降低,所以,保持干旱半干旱黄土丘陵区坡耕地粮食产量长期稳定的径流损失应接近于零。

根据黄委会天水水保站的试验结果,当坡耕地坡度由  $4^\circ$  增加到  $18^\circ$  左右时,多年平均土壤流失量由  $8.54 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  上升为  $30.56 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,粮食产量由  $2.09 \text{ t}/\text{hm}^2$  下降到  $1.55 \text{ t}/\text{hm}^2$ ,减产 25.70%,平均坡度每增加  $1^\circ$ ,由水土流失所造成的粮食减产幅度为 1.80%<sup>[9]</sup>。刘秉正等在渭北高原缓坡耕地的小区试验结果表明, $2^\circ 31'$  和  $4^\circ 14'$  坡度的坡耕地,在生育期不发生干旱的情况下,虽然后者比前者的产流量高 20%,但产量和反应小麦质量指标的千粒重变化不大,而当坡度增加到  $7^\circ 20'$  时,小麦产量却降低了  $561 \sim 59850 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,减产幅度为 12.60%,如果生育期降水偏少的话,减产幅度就会更大<sup>[10]</sup>。

根据在半干旱黄土丘陵区宁夏固原县连续 10 a 的小区观测资料,坡度为  $5^\circ$  坡耕地的侵蚀模数为  $2.08 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,径流深  $5.30 \text{ mm}$ <sup>[11]</sup>。由于低坡度径流小区资料比较缺乏,加之农业耕作措施的不同,观测数据存在一定差异,但以上是引用较多和在水土流失规律研究中可信度较大的研究成果。

根据张兴昌、卢宗凡等人在黄土丘陵区的多年试验观测,各种草粮等高带状间作与传统平播方式相比,可减少侵蚀量  $1/5 \sim 1/3$ ,比裸露坡耕地减少侵蚀量  $1/3 \sim 1/2$ ;抗旱丰产沟,可减少径流 92.5%,减少土壤侵蚀量 95%<sup>[12]</sup>。由此可以看出, $5^\circ$  以下坡耕地通过合理的农业耕作和栽培措施,经过部分消除土壤流失后,作物产量可以基本保持稳定。如果按照农业耕作措施可消除  $1/3$  土壤流失计算,半干旱黄土丘陵区坡耕地的  $T$  值就可定为  $1.50 \sim 5.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。实际上,越是干旱少雨的地区,地表径流损失和土壤水分亏缺引起的作物减产幅度越大。考虑干旱半干旱地

区径流损失造成的作物减产远大于土壤流失,以坡耕地土壤容许流失量的下限为依据确定黄土丘陵区的  $T$  值较符合实际,所以,半干旱黄土丘陵区坡耕地的  $T$  值应不超过  $2.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  为宜。而  $5^\circ$  以上坡耕地如果仍然要作为农业用地,就必须修整为水平梯田或采取类似措施,否则,水土流失就会引起土地生产力的严重下降。

### 3 保持坡耕地表土养分平衡所要求的 $T$ 值

根据北京林业大学“九五”国家科技攻关课题组和西吉县农业技术推广中心的多年反复合作试验,并采用二次正交旋转设计和分析方法<sup>[13]</sup>,得出在目前自然环境、耕作制度和农艺措施水平等条件下,西吉县主要粮食和油料作物的最佳施肥标准如表 1 所示。并根据 2000 年在西吉县 14 个乡镇 54 个农户的抽样调查,并和所代表区域的面积加权平均,求得了西吉全县坡耕地的实际施肥水平。研究表明,并不是在土壤水分条件不改善的情况下,施肥越多越好;反之,也不是在肥力水平不改善的情况下,灌水越多越好。

表 1 西吉县主要粮食和油料作物的最佳施肥量及坡耕地的平均实际施肥量  $\text{kg}/\text{hm}^2$

作物 种类	最佳施肥量			实际施肥量		
	农家肥	N	$\text{P}_2\text{O}_5$	农家肥	N	$\text{P}_2\text{O}_5$
春小麦	33 000	105.8	146.3	10 250	24.8	25.9
豌豆	49 700	0.0	74.3	8 325	5.7	16.9
马铃薯	51 000	96.8	76.5	13 530	25.9	14.7
胡麻	30 000	87.8	45.0	9 750	12.4	9.0

根据表 1 最佳施肥量和施肥现状,与西吉县目前作物的种植结构相比较<sup>[13]</sup>,求得农家肥、N 和  $\text{P}_2\text{O}_5$  的平均最佳施肥量分别为  $40\ 800$ ,  $87.80$  和  $96.80 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,而坡耕地平均实际施肥量分别为  $11\ 340.00$ ,  $21.40$  和  $18.00 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ,那么 3 种养分肥料目前的实际施肥量分别只满足了最佳施肥量的  $27.80\%$ ,  $24.70\%$  和  $18.60\%$ 。显然,坡耕地的实际施肥量远没有达到目前自然环境、农艺水平等条件下维持作物最大生长量所需要的施肥水平。

根据西吉县各坡度级坡耕地的土壤侵蚀模数和表土层养分含量及养分富集率计算<sup>[7]</sup>,坡耕地目前土壤养分全 N 的平均流失量为  $58.80 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  为  $164.00 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,分别是西吉县目前坡耕地实际施肥量的 2.7 和 9.1 倍。表明,坡耕地目前的实际施肥量还远远不能补偿由于土壤流失而导致的养分流失量。

另外,吴以敦先生认为,黄土区水土流失严重的

地方,土壤层早已不存在了,现在地表留存的黄土母质,其生产力已经降到了最低,若从增加投入改良土壤以提高土地生产力的角度考虑,则不容许有新的流失了,流失就等于增加无效投入<sup>[14]</sup>。所以,严重水土流失黄土丘陵区坡耕地的  $T$  值应为零。

### 4 保持黄河河道泥沙冲淤平衡所要求的 $T$ 值

从理论上讲,入黄泥沙的多少应与黄河河道输送泥沙的能力成正比。陈永宗等曾设想研究黄河下游河道的容许来沙量,据此来推断黄河中上游地区的土壤容许流失量,从而确定土壤侵蚀强度分级和治理标准等问题<sup>[15]</sup>。那么,黄河各河段能输送多少来自黄土高原的泥沙呢?黄河自古多沙,我国自 20 世纪 30 年代和 50 年代以来在黄土区建立的一批径流泥沙观测站,为该地区土壤侵蚀量的计算积累了大量数据,也为侵蚀量和输沙量关系问题的解决提供了条件。

20 世纪 70 年代末,龚时赐等分析了黄土丘陵区大理河流域的泥沙资料后得出,该流域的泥沙输移比接近于 1,并认为黄土高原绝大部分地区沟道和河道的地貌特点与大理河流域相似,所以河流输沙量基本上可以代表侵蚀量。牟金泽等根据自动泥沙悬浮理论证实输移比接近 1 是可靠的<sup>[16]</sup>。根据这个结论,流域内控制  $1 \text{ t}$  泥沙,河道输沙量就减少  $1 \text{ t}$ ,那么,黄土高原实施的水土流失控制措施拦截了多少泥沙,相应地就减少多少入黄泥沙。

泥沙在河道的大量淤积是黄河的主要问题之一。从理论上讲,如果黄土高原的水土流失治理使入黄泥沙小于黄河河道的容许来沙量,问题就可解决。但是,黄河容许来沙量与河道特征、水文条件等息息相关,又与人类活动紧密联系。断流多年的黄河,2000 年和 2001 年通过全流域水资源的合理调度和几个大型水电站牺牲较长时间的发电运行后,实现了 20 世纪 90 年代以来的首次不断流,而这 2 a 全流域的降水量仍较平水年偏少。另外,河道的输沙能力还与来水来沙的数量、过程等有关。如三门峡水库修建之前和之后、以及水库运行方式不同,下游河段水流的输沙特性也不一样。近年,黄河中上游又有几座大坝和引黄工程正在修建,有的黄河水利工程还在酝酿讨论之中。随着我国经济的发展和综合国力的不断壮大,治黄策略也在不断创新。所以,只能说某一个时期,河道的输沙能力和输沙特性会相对稳定,而在自然和人为因素的不断影响中,黄河河道不可能有稳定的输沙能力。因此,全流域坝、库、电站等水利设施的不同调度及运行方式对黄河输沙能力的影响,会抵消黄土高原漫长的

水土流失治理和人为破坏综合因素对入黄泥沙量的影响。从而有理由认为,黄河下游河道不可能存在较稳定的输沙能力和容许来沙量值。

## 5 半干旱黄土丘陵区坡耕地建议 $T$ 值

尽管从坡耕地表土养分平衡的角度考虑,半干旱黄土丘陵区坡耕地不再允许有新的土壤流失发生,但随着我国综合国力的不断增强和区域经济的不断发展,土壤培肥能力和施肥水平还大有潜力可挖;另外,坡耕地的综合经营开发措施,特别是耕作措施、农艺措施都不可能使  $T$  值减小为零;而保持坡耕地作物产量基本稳定和决定土壤容许流失量关键因子的黄土成土速度还容许有  $2.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  左右的土壤流失;黄土高原区坡耕地这样的土壤流失速度对进入黄河河道的泥沙量来说,截至目前也是最少的。所以,综合考虑,以  $2.00 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  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。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中华人民共和国行业标准(SL 190—96). 土壤侵蚀分类分级标准[S]. 中华人民共和国水利部发布. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [2] McCormack D E, Yong K K, and Kimberlin L W. Current criteria for determining soil loss tolerance[M]. In: Determinants of Soil Loss Tolerance. No. 45. Am. Soc. Agron., Madison, Wisc. 1982.
- [3] Johnson Leonard C. Soil loss tolerance: fact or myth [J]. J. Soil and Water Cons. 1987, 42(3): 155—160.
- [4] 陈奇伯,齐实,等. 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): 12—17.
- [5] 陈奇伯,王克勤,齐实,等. 黄土丘陵区宁夏西吉县土地利用动态与坡耕地生产力变化[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 28—31.
- [6] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社,1985.
- [7] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策[J]. 水土保持通报, 1991, 11(1): 1—17.
- [8] 陈奇伯,齐实,孙立达,等. 宁南黄土丘陵区坡耕地土壤侵蚀对土地生产力影响研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1): 34—37.
- [9] 孟庆枚. 黄土高原水土保持[M]. 郑州:黄河水利出版社,1996.
- [10] 刘秉正,吴发启. 渭北高塬水土流失降低土壤肥力与生产力的研究[M]. 中国科学院资源环境科学局. 黄土高原小流域综合治理与发展. 北京:科学技术文献出版社,1992.
- [11] 巨仁,赵满礼. 固原试区综合治理减沙效益观测初报[J]. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊. 1989(第10集): 144—148.
- [12] 张兴昌,卢宗凡. 陕北黄土丘陵区坡耕地土壤肥力退化原因及防治对策[J]. 水土保持研究, 1996(2): 2—6.
- [13] 刘东海. 旱作农业理论与实践[M]. 陕西:西北大学出版社,1997.
- [14] 吴以钊. 略论水土保持型生态农业问题(续)[M]. 中国水土保持, 1993(1): 45—47.
- [15] 陈永宗. 黄土高原土壤侵蚀规律研究工作回顾[J]. 地理研究, 1987, 6(1): 76—85.
- [16] 牟金泽,孟庆枚. 论流域产沙量计算中的泥沙输移比[J]. 泥沙研究, 1982(2): 60—65.
- [17] 唐克丽. 中国土壤侵蚀与水土保持学的特点及展望[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 1—7.