

土壤容许流失量研究的进展与趋势

陈奇伯, 齐实, 孙立达

(北京林业大学 水土保持学院, 北京市 100083)

摘要: 概述了国内外土壤容许流失量 (T 值) 研究的历史、目前研究的现状和未来的发展趋势。对 T 值研究的主要内容如成土速度、土壤养分流失、泥沙淤积损失、土壤流失与土地生产力的关系、保护沟道侵蚀的重要性等做了详述。介绍了 T 值的数学表达和不同国家的 T 值标准, 阐述了进行 T 值双值性研究的必要性, 并对 T 值研究中存在的问题进行了分析。

关键词: 土壤容许流失量 T 值 成土速率 土地生产力 表土养分流失

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2000)01-0009-05 **中图分类号:** S157.1

Process and Trend of Soil Loss Tolerance Research

CHEN Qi-bo, QI Shi, SUN Li-da

(Soil and Water Conservation College of Beijing Forestry University, Beijing 100083, PRC)

Abstract The history, present situation and developing trend of soil loss tolerance research are outlined. The main content in T value research including soil formation rate, soil nutrient loss, off-site sediment damage, relationship between soil loss and soil productivity, and gully prevention is discussed in details. The mathematical expression of soil loss tolerance and T value criteria in different countries are also introduced. The existing problems in T value research and significance of making double T value research are analyzed as well.

Keywords soil loss tolerance; T value; soil formation rate; soil productivity; topsoil nutrient loss

土壤容许流失量 (Soil Loss Tolerance) 即 T 值作为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^[1], 为制定合理的水土流失控制目标, 进行水土保持规划, 配置水土保持措施体系等提供理论指导。特别是随着我国生态环境建设工作力度的加强, 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。

T 值的概念是在水土保持实践中逐渐形成并不断发展的。20 世纪 40 年代初, T 值研究的先驱 Dwight Smith (1941) 把 T 值理解为“随时间推移, 土壤肥力不会得到下降的最大土壤流失速率”, 他研究初期的着眼点在于土壤肥力^[3]。后来定义的 T 值概念把土壤流失和土地生产力联系起来, 认为 T 值是“维持土地生产力不至于下降的年平均土壤流失量”^[4]。而直到 1962 年, 美国农业部土壤保持局提出了全美大多数土壤类型的 T 值, 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水平作物生产能力的年最大土壤流失量”, 这一定义为世界各国所承认, 并一直沿用至今。前苏联^[10]、非洲^[7]、印度、英国^[9] 等水土流失最严重的几个国家

在美国公布它的 T 值之后也相继制定了各自国家的 T 值标准。我国还没有开展过关于 T 值的系统研究, 但为了弥补缺乏 T 值在生产实践中所造成的缺憾, 水利部于 1997 年参考美国的标准制定了我国的 T 值, 并定义 T 值为“在长时期内能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”^[11], 这个定义与美国现行的 T 值定义非常接近。世界各国对 T 值的研究主要集中在水土流失最严重的坡耕地上。虽然也有一些对林地和草地 T 值研究的报导^[17, 30], 但都缺乏较系统的观测数据, 因此, 据此所提出的建议 T 值在实践中还很难广泛应用。

1 决定 T 值的因素分析

1956 年美国政府在正式提出 T 值时, 通过政府官员和农业及土壤专家的共同讨论, 认为制定 T 值应考虑 7 个方面的内容^[16]: (1) 维持作物产量基本稳定的适宜土壤深度; (2) 土壤养分的流失量; (3) 保证洪水和泥沙不对水利设施等构成威胁; (4) 控制沟道侵蚀的继续发展; (5) 表土流失对作物产量的影响; (6) 径流损失; (7) 水土流失过程中所造成种子和秧

苗的损失 尽管这个标准后来几经修改,但直到 1982 年,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 3 个最主要因素。

1.1 成土速率

科学家们在研究 T 值的时候,关注最多的是土壤的形成速度,特别是 A 层土壤的熟化速度^[12, 32-37]。多数科学家认为,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,土壤流失中腐殖质层的损失与土地生产力关系最密切,^[10, 42]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。

由于土壤的形成过程比较复杂,不同研究者从不同的角度出发所得到的土壤形成速度值不尽一致 美国最权威的芝加哥大学地质系主任 Chamberlin (1908)认为,自冰川时期以来,土壤形成的平均速度至少为 330 a 形成 1 cm^[16]。知名的土壤专家 Bennett (1939)在研究了全美各种土壤类型的成土历史后认为^[16],一旦表土被损失掉,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 1 cm 的土壤,要花 120~400 a 的时间,而第 2 个 1 cm 的成土速度会比表层第 1 个 1 cm 的成土速度更慢,再往下都是如此。土壤保持学家 Normal Hudson (1985)认为,在理想的土壤经营情况下,土壤的形成速度可以达到大约 1 cm /12 a^[35],它相当于 11.2 t / (hm² · a) 的成土速度,这就是美国人制定 T 值上限的根据。由于气候和地形等方面的原因,贵州碳酸盐岩的成土速度比广西低近 1/2,而非碳酸盐岩的成土量大致是碳酸盐岩的 10 倍^[17, 19-20]。黄土的成土速度是 0.93 t / (hm² · a)^[21]。南方花岗岩地区的成土速度是 1.5~2.0 t / (hm² · a)^[13, 18]。

虽然到目前为止,还没有对土壤形成速度的精确测量,但从薄层土壤由于不采取任何土壤侵蚀控制措施而造成大量土地因砂砾化严重而弃耕的事实,人们已认识到,成土速度研究是 T 值研究的基础所在。

1.2 表土养分损失

水土流失导致土地生产力下降的最直接原因是土壤表层养分随泥沙和径流的损失^[14-15, 31],确定合理的 T 值就是要使自然和人为因素对土地耕作层的作用能够补偿这种损失,或者把这种损失控制在长时期内能够维持土地生产力基本稳定的范围之内。

Beasley 和 Taylor (1985)估计,在全美每年从农业、林业及牧业用地上流失掉的 2.7×10^9 t 泥沙中,

氮、磷和钾的损失量分别占 0.10%, 0.07% 和 1.25%, 总量达 3.8×10^7 t^[37]。据不完全统计,我国水蚀区每年因水土流失而造成的氮、磷、钾损失约 4.0×10^7 t^[41]。黄土高原的情况更是十分惊人,陕北黄土丘陵区每年的土壤养分流失量折合化肥 2250 kg / hm², 坡耕地的养分损失量相当于当年肥料总投入量的 17.9 倍^[24]。南方红壤区坡耕地的养分每年随泥沙的损失量为:全氮 89.8 kg / hm², 水解氮 16.3 kg / hm², 全磷 244.4 kg / hm², 全钾 3870.3 kg / hm²^[39]。而且在养分流失的过程中,夹带养分的泥沙多来自土壤耕作层,多细粒和复粒,因此流失泥沙中有机质和养分含量均大于耕作层的富集现象比较明显。

1.3 土壤流失所造成的作物减产

水土流失引起表土养分损失的结果是导致土地生产力的下降^[33, 40],其表现形式是作物产量的减产。在美国华盛顿州 Whiteman 县的试验结果表明,平均每流失 1 cm 表土,小麦产量就会减少 54 kg / hm²^[61]。他们的研究结果还显示,在 1936-1975 年的 40 a 间,尽管包括化肥等的科技进步在该地区平均每年提高了 144.5 kg / hm² 的小麦产量,但科技含量的增产作用主要在立地条件较好的土地上,科技进步仍然弥补不了陡峭贫瘠土地上由于严重水土流失而造成的产量下降趋势。他们特别强调,在美国 80 年代已经比较高水平的单产情况下,靠科技进步提高粮食产量的速度已经变得越来越小。在陕西渭北高原的模拟试验结果显示,平均每流失 1 cm 表土,小麦减产 22.5~43.5 kg / hm²^[2]。

F. L. Pierce 和 W. E. Larson 等 (1983)在他们的研究报告中把不同厚度土壤的土地由于土壤流失而导致土地生产力下降的情况概括为 3 种类型^[8]。第 1 种类型为适宜土层厚度超过 1.5 m 的情况,它说明土层比较深厚时,随着侵蚀的发生,土地生产力下降的速度较弱;第 2 种类型为表土层较好而亚表层较差地区的情况,它表明当土壤发育到取得一定的生产力以后,会在一定时间内保持在一个稳定的水平,但如果表土层由于土壤流失而逐渐丧失掉的话,那么其土地的生产力将逐步下降;第 3 种类型为表土层适宜而亚表层为坚硬的岩石,在此情况下,一旦侵蚀发生,土地生产力仅能维持较短的时间,侵蚀继续发生时,土地生产力会退化非常快。

很多科学家担忧^[5, 34],由于科技进步掩盖了土壤流失对土地生产力的严重危害,使得一些国家的政府部门忽视了制定严格 T 值的紧迫性。因此,制定合理的 T 值,靠法律手段强化农民控制水土流失的意识,

已显得更加重要

1.4 控制沟道侵蚀的继续发展

有很多国家根据不同的土壤类型来制定适用于坡耕地的 T 值^[10]。但是,水土流失在造成耕地生产力下降的同时,来自坡面的集中股流在沟道的进一步汇集会加重沟道的横向扩张和纵向溯源及下切侵蚀,从而不断蚕蚀有利用价值的土地。我国黄土区沟坡侵蚀关系研究结果显示^[11,23,26-29],沟道土壤流失量占全流域土壤流失总量的 40%~70%,坡面与沟道流失量的消长也是同步的。由此可知,沟道侵蚀的治理在 T 值标准的实现过程中是非常重要的,不考虑沟道侵蚀发展而制定的 T 值是不准确的,不控制沟道侵蚀的 T 值标准是难以达到的。

1.5 保证洪水和泥沙对下游生命财产的安全及 T 值的双值性

水土流失不仅造成土地生产力下降,大量洪水下泄和泥沙在江河下游淤积,还会造成河道、水库淤积,影响航运,降低水库调洪蓄水能力,磨蚀损坏水利水电设施,抬高河床影响行洪能力,增加防洪费用和抗洪风险,对江河两岸人民生命财产造成极大威胁。

美国在 50 年代开始制定 T 值的时候,一些环境学家、社会学家、政治家和经济学家都对泥沙异地淤积损失等问题非常关注和焦虑^[5]。

我国黄土区的水土保持工作尽管近 20 a 取得了令世人瞩目的成就,但同时,由于人口压力的不断增大和人们对于发展经济的极度渴望,造成陡坡开荒和开发建设项目中人为所造成的严重水土流失,多年来进入黄河的泥沙仍是居高不下,由此所造成的潜在危险越来越令政府部门和中下游沿黄两岸的人民群众所担忧。20 世纪 50 年代、80 年代和 90 年代长江流域的几次洪水也给沿江地区的经济发展和人民生命财产造成了严重破坏。几次大水过后,专家们反思最多的还是怎样协调治理与人为破坏之间突出矛盾的问题。因此,这一地区的 T 值制定必须要与区域的防洪减灾标准联系起来,把大江大河的调洪与减沙指标逐级分解到各级支流直至各源头的中小流域,控制其 T 值标准,这样才能实现全局较明显的治理效益。

随着人们对洪水和泥沙淤积危害认识的提高, T 值的双值性正在得到越来越多科学家的重视。 T 值的双值性是指每一个地域或地类的 T 值应该包括 T 值下限 T_1 和 T 值上限 T_2 ^[5,8]。 T_1 在土层较薄时是与土壤更新速度相一致的 T 值,在土层较厚时,是维持作物产量在人们可以接受范围之内的 T 值。世界各国凡已正式公布的 T 值实际上都指的是 T_1 ,而 T_2 是基

于环境、社会、经济甚至政治的需要而制定的 T 值,主要包括防洪安全、水质污染、可以接受的泥沙淤积损失等。因为洪水不但是流失土壤的载体,表土养分随洪水进入饮用水源后还会降低水质标准甚至造成严重污染^[25],一些对水溶物质和异地泥沙敏感鱼类、鸟类会迁移它处甚至灭绝。因此,随着人类的进步和工业化进程的不断发展,制定 T 值的上限值 T_2 在某些特殊地域已显得非常重要。

1.6 不同国家的 T 值标准

为了提出科学合理而农民们又能够达到的 T 值标准,各国的科学家们在充分研究的基础上,相互借鉴,依据各种不同具体情况提出了各自国家的 T 值。

1973 年,美国农业部土壤保持局根据不同的土层厚度和土壤更新能力建立了全美较系统全面的 T 值系统,变幅范围为 2.2~11.2 t/(hm²·a),这个标准一直延用至今。非洲中部国家规定的 T 值为,砂土 1.5 t/(hm²·a),粘土 1.8 t/(hm²·a);印度为 4.5~11.2 t/(hm²·a);前苏联为 3.4~10.9 t/(hm²·a);中国政府 1997 年颁布的全国 5 大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 西南土石山区的 T 值标准分别为 10.0, 2.0, 2.0, 5.0 和 5.0 t/(hm²·a)。

2 T 值的数学表达

在基岩残积物母质上发育的土壤,其风化成土过程取决于母岩的风化速率和风化残积物转化为成熟土壤的速率。当发生水土流失时,既有表层土壤的机械冲刷即侵蚀速率,也有土壤中可溶物质的淋失速率。要使侵蚀速率维持在可以接受的限度内,与风化成土作用要保持平衡,那么就存在以下的平衡方程^[9,13]。

$$W = E + D \quad (1)$$

$$E = WP \quad (2)$$

式中: W ——风化速率 ($\mu\text{m/a}$); E ——侵蚀速率 ($\mu\text{m/a}$); D ——淋溶速率 ($\mu\text{m/a}$); P ——成土转化速率 (%)。 (1) 式表示每年基岩转化为母质的数量,与剖面物质损失相平衡; (2) 式表示表土侵蚀量,应与母质转化为成熟土壤的数量相平衡。

(1), (2) 式联解, E 与 T 平衡时用 T 代替 E , 则

$$T = D \{ P / (1 - P) \} \quad (3)$$

表明, T 值取决于母质的土壤转化率与土壤中可溶物质的淋失量。 D 值目前主要根据河流中的离子流量进行估算。 P 值可通过测定基岩和风化壳中某一稳定元素含量的变化来估算。根据阮伏水等人 (1995)

的研究,基岩转化为土壤的比率 P 为 0.5~0.9,在大区域一般取 0.8^[13]。

W. L. Stamey 和 R. M. Smith(1964)很早就提出了土壤在某观测点的 T 值数学表达式^[22]:

$$I(x, y) - \int_{t_0}^{\infty} \sum_{t_0}^{\infty} (x, y, t) - R(x, y, t) dt \geq M(x, y) \quad (4)$$

式中: $I(x, y)$ ——地点函数,是 t_0 时刻土壤性质的量测值; $M(x, y)$ ——点 (x, y) 处土壤性质的最小容许值; $E(x, y, t)$ —— (x, y) 处的土壤流失速率; $R(x, y, t)$ —— (x, y) 处的土壤再生速率

后来 E. L. Skidmore(1982)把方程(4)中的土壤性质质量测值改为具体的土层厚度,定义了如下的 T 值函数表达式^[30]:

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

式中: $T(x, y, t)$ ——点 (x, y) 处 t 时刻的土壤容许流失速率, $T_1 \leq T(x, y, t) \leq T_2$; T_1 —— T 值下限,当土层厚度为最小容许值时, $T(x, y, t) = T_1$; T_2 —— T 值上限,当土层足够厚时, $T(x, y, t) = T_2$; Z_1 ——点 (x, y) 处的最小容许土层深度; Z_2 ——点 (x, y) 处的最适土层深度; Z ——目前的土层深度

由此可知,土壤容许流失量是土层厚度的函数

3 T 值研究的发展趋势

3.1 降低 T 值的呼声越来越高

自从政府部门正式公布全美的 T 值标准以后,农民们一直抱怨他们控制 T 值的经济付出是不合算的。出于政治需要,美国农业部土壤保持局在 20 世纪 70 年代末起草了一份为减轻农民负担,在土层超过 2.0 m 的地区适当提高 T 值的文件,结果在专家们的一致反对声中能正式出台。美国现已执行的 T 值标准大部分都大于成土速度的补偿能力。Ken Cook(1982)认为,随着人们经济承受能力的增加, T 值的调整应该是趋小而不是趋大^[32]。科学家们估计,到 80 年代末期,全美还有 23% 的农地土壤流失速率超过 11.2 t/(hm²·a),有 10% 超过 22.4 t/(hm²·a) 进入 80 年代后,美国的不少学者认为,规定的 T 值比天然的成土速度大许多倍,给国家和人民造成了巨大的损失。据美国官方的有关资料,由于缺乏防治水土流失的有效措施,在最近 50 a 内,农产品的生产成本已增加了 1 倍^[38]。前苏联科学家认为^[10], 0.2~0.5 t/(hm²·a) 的 T 值才是符合他们实际的标准,任何大于这个标准的 T 值都会降低土壤肥力,破坏耕地。集中分布于我国长江以南,占我国国土面积约 14.3% 的喀斯特地区,土层薄,侵蚀严重,根据成土速度和土

壤流失速度的平衡关系计算,超过 0.5 t/(hm²·a) 已属不可忍受的 T 值极限,而我国政府规定的 T 值标准为 2.0 t/(hm²·a) 因此,从全球范围来看,科学界降低 T 值的呼声已越来越高。

3.2 水土流失临界点概念的提出

随着人们对洪水发生原因的剖析和对其危害越来越清醒的认识,美国科学家早在 80 年代已把洪水危害与 T 值研究结合了起来。从 T 值研究所包含的客观内容出发,我国水土保持专家关君蔚先生(1996)近年提出了水土流失临界点(Critical Point of Soil and Water Loss)的概念^[7]。他认为划分水土流失是否有害的临界值应该既包括土壤流失的界限值,也应该包括径流损失的界限值,两者都达到标准才属正常的水土流失范围,任何一方低于标准值,都要有具体的措施进行治理。关君蔚先生的这一观点对沿用多半个世纪的 T 值概念在继承其研究成果的基础上进行了开拓性的发展,其概念不但涵盖了影响 T 值的最主要因素,更明确了不仅是土体的损失也包括了水体的损失都降低了土地的生产能力,为生产实践中制定更合理的水土流失治理措施提供了更明晰的理论依据,为我国刚刚起步的该研究领域指明了方向。

3.3 对中国开展 T 值研究的思考

自我国政府主管部门于 1997 年正式颁布 5 大类型区的 T 值标准后,引发了一些关于 T 值标准问题的讨论。对 T 值研究的历史当属美国最长,参照他们的标准并结合我国的具体情况,在我国的系统研究中首先应该在全国范围划定较为详细的制定 T 值标准的不同类型区,并确定各类型区影响 T 值的主导因子。如在土层深厚的黄土区,表土养分流失、土壤流失与作物产量的关系、坡沟侵蚀关系等应该是制定 T 值的关键因素;而在土层较薄的土石山区和南方碳酸盐岩分布区等,成土速度应该是影响 T 值的主导因素;在某些特殊地域,如饮用水的水源涵养区,水质的富营养化等则是 T 值研究的主要内容。然后,根据以前的相关研究,花 5 a 左右的时间,定位观测与模拟实验相结合,研究制定我国主要侵蚀类型区与亚区的 T 值标准及几大江河流域以防洪为目的和饮用水源区以保护水质为目的的 T_2 值,在这个范围之内各地再制定更详细的 T 值标准。关键是最终要在相关的法律法规中予以体现,以加速和巩固我国水土流失区的治理速度和治理效果。

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] 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主编. 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. 317- 325.
- [3] Smith D D. Interpretation of soil conservation data for field use[J]. Agr. Eng., 1941, 22: 173- 175.
- [4] Browning G M, Parish C L, Lass J G. A method for determining the use and limitations of rotations and conservation practices in the control of erosion in Iowa[J]. Agron. J, 1947, 39: 65- 73.
- [5] Schertz D L. The basis for soil loss tolerance [J]. J Soil and Water Cons., 1983, 38(1): 10- 14.
- [6] Pierce F J, Dowdy R H, Larson W E et al. Soil productivity in the Corn Belt: An assessment of erosion's long-term effects[J]. J. Soil and Water Cons., 1984, 39(2): 131- 135.
- [7] 关君蔚. 水土保持原理 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996. 155- 180.
- [8] Pierce F J, Larson W E, Dowdy R H et al. Productivity of soils: Assessing long-term changes due to erosion [J]. J. Soil and Water Cons. 1983, 38(1): 39- 44.
- [9] 可克比 M. J. 摩根 P P C 著, 王礼先等译. 土壤侵蚀 [M]. 北京: 水力电力出版社, 1987. 280- 281.
- [10] 扎斯拉夫斯基 M 著, 王礼先译. 是允许侵蚀量还是破坏土壤肥力的侵蚀量 [J]. 水土保持科技情报, 1985(2): 1- 7.
- [11] 雷阿林, 唐克丽. 坡沟系统土壤侵蚀研究回顾与展望 [J]. 水土保持通报, 1997, 17(3): 37- 43.
- [12] 严平, 董光荣, 等. 土壤风蚀容许量 (T 值) 研究的现状与问题 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(1): 13- 16.
- [13] 阮伏水, 吴雄海, 等. 福建省花岗岩地区土壤容许侵蚀量的确定 [J]. 福建水土保持, 1995(2): 26- 31.
- [14] 刘秉正, 李光录, 吴发启, 等. 黄土高原南部土壤养分流失规律 [J]. 水土保持学报, 1995, 9(2): 77- 86.
- [15] 李松. 陇东半干旱地区土壤养分流失的初步研究 [J]. 中国水土保持, 1987(11): 31- 34.
- [16] Johnson, Leonard C. Soil loss tolerance: Fact or myth [J]. J. Soil and Water Cons., 1987, 42(3): 155- 160.
- [17] 陈廉杰. 森林土壤允许流失量的研究 [J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 18- 22.
- [18] 阮伏水. 花岗岩坡地土壤侵蚀强度分级参考指标探讨 [J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 113- 119.
- [19] 韦启潘. 我国南方喀斯特区土壤侵蚀特点及防治途径 [J]. 水土保持研究, 1996, 3(4): 72- 76.
- [20] 柴宗新. 试论广西岩溶区的土壤侵蚀 [J]. 山地研究, 1989, 7(4): 255- 259.
- [21] 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [22] Stamey W L, Smith R M. A conservation definition of erosion tolerance [J]. Soil Sci., 1964, 97: 183- 186.
- [23] 石辉, 田均良, 等. 小流域沟坡侵蚀关系的模拟试验研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 30- 33.
- [24] 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.
- [25] 欧阳球林. 水土流失对清林径水库水质的影响研究 [J]. 水土保持通报, 1999, 19(3): 19- 22.
- [26] 陈浩. 黄河中游小流域的泥沙来源研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 15(1): 19- 26.
- [27] 焦菊英, 刘元保, 唐克丽. 小流域沟间与沟谷地径流泥沙来量的探讨 [J]. 水土保持学报, 1992, 6(2): 24- 28.
- [28] 景可. 黄土高原沟谷侵蚀研究 [J]. 地理科学, 1986, 6(4): 340- 347.
- [29] 徐雪良. 韭园沟流域沟间地、沟谷地来水来沙量的研究 [J]. 中国水土保持, 1987(8): 23- 26.
- [30] David Mkral. Determinants of Soil Loss Tolerance [J]. Am. Soc. Agron., 1982. 45.
- [31] 白红英, 唐克丽, 等. 坡地土壤侵蚀与养分流失过程的研究 [J]. 水土保持通报, 1991, 11(3): 14- 19.
- [32] Cook, Ken. Soil loss: Question of values [J]. J. Soil and Water Cons., 1982, 37(2): 89- 92.
- [33] Stefano Pagiola 著. 孟晓棠译. 土壤退化对产量影响的评价 [J]. 水土保持科技情报, 1994(4): 33- 36.
- [34] Williams J R, et al. Soil erosion effects on soil productivity: A research perspective [J]. J. Soil and Water Cons., 1981, 36(2): 82- 90.
- [35] Hudson Norman. Soil Conservation [M]. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1985.
- [36] Troeh Frederick R, Hobbs J Arthur, Donahue Roy L. Soil and Water Conservation. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1984.
- [37] Follett R F, Stewart B A. Soil erosion and crop productivity [M]. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA Inc., Crop Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Publishers, 1985.
- [38] W. E. Laron, 等著, 黄宝林译. 美国土壤侵蚀引起的长期生产力损失 [J]. 水土保持科技情报, 1988(2): 34- 38.
- [39] 吕喜玺, 史德明. 第四纪红粘土侵蚀劣地土壤养分随径流和泥沙的迁移规律 [J]. 中国水土保持, 1994(5): 12- 15.
- [40] Hagen L L, Dyke P T. Yield-soil loss relationship. In Proc., Workshop on influence of soil erosion on soil productivity [M]. USDA, Washington. D. G. Sci. and Educ. Admin- Agr. Res. 1980.