

紫色土容许侵蚀量的定位试验确定

刘刚才¹, 李兰^{2,3}, 周忠浩^{1,3}, 杜树汉^{1,3}

(1. 中国科学院 水利部 成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院 北京地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

摘要: 容许侵蚀量(T 值)是土壤侵蚀程度分级和评价水土保持措施有效性的基础。应用以物质循环理论为基础的 Barth 模型, 估算了不同母质类型, 不同种植植被和不同土层厚度下的成土速率, 并在田间定位试验点测定了这 3 种不同处理条件下的成土速率。研究表明, 用 Barth 模型估算的成土速率, 与田间测定值比较, 总体上明显偏小; 而且, 它所确定的成土速率主要与径流量相关($R = 0.6396, P = 0.0504$)。田间测定的成土速率, 在不同的条件下差异明显, 并都反映出了一定的变化规律; 综合考虑田间不同试验条件下的成土速率并分析转换, 确定四川丘陵区沙溪庙组和蓬莱镇组紫色土的 T 值为 $1200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 遂宁组的 T 值为 $800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

关键词: 紫色土; 容许侵蚀量; 成土速率; 定位试验

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0090-05

中图分类号: S157

Determination of Soil Loss Tolerance for Purplish Soils

LIU Gang cai¹, LI Lan², ZHOU Zhong-hao¹, DU Shu-han¹

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Soil loss tolerance (T -value) is an important value to judge gradation of soil erosion and efficiency of its control countermeasures. In this study, soil formation rates (SR) of the purple soils (a Regosols) in the hilly area of Sichuan, China were determined by Barth equation (SR-estimated) and field measurements (SR-measured) with the three treatments of soil types (J1s, J3s, and J3p soils), vegetations (wheat maize, loquat tree, and ryegrass), and soil depths (10, 20, 40, and 60 cm). SR-estimated values are generally smaller than SR-measured values. SR-measured values vary significantly among the treatments. Based on the SR-measured values, the T -value was determined as $800 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ for J3s purple soil, and $1200 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ for J1s and J2s soils in the studied region.

Keywords: purplish soil; soil loss tolerance (T -value); soil formation rate; position fixed experiment

紫色土是我国的一种主要土壤类型^[1], 占我国土地面积的 2.2%, 是我国分布比重大于 2% 的 22 种土壤之一。紫色土是西南地区的最主要土壤类型, 占该区总土壤面积的 14.7%, 是该区第一大土壤类型。因此, 其 T 值的确定具有重要的现实意义。

作为土壤侵蚀的一个基础问题, 容许侵蚀量(T 值)越来越受到人们的关注。但是, 从国内外目前有关 T 值的研究, 还存在以下问题和不足。

(1) 容许侵蚀量的定义还没有统一, 不同学者考虑的因素和侧重点不一样。例如, 20 世纪 40 年代 Dwight Smith 着眼于土壤肥力, 将 T 值定义为“随时

间推移, 土壤肥力不会得到下降的最大土壤流失速率”。1962 年, 美国农业部水土保持局进一步将 T 值定义为“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”^[2]。

我国水利部也于 1997 年, 将 T 值定义为“在长时期内能保持土壤肥力和维持土地生产力所容许的最大土壤侵蚀强度”^[3]。对于土层较薄的土壤, T 值应该不大于成土速率^[4-5]。

(2) 容许侵蚀量的确定方法不统一。而且, 哪一种成熟的方法也没有确定, 因为, 不同方法存在不同缺陷^[6]。

①按土层厚度确定^[7-8]。土层愈厚, T 值愈大。而理论上, 土层愈厚, 母岩成土速率愈小, 反之则反。而且, 与根据 Barth^[9] 方程计算的结果有相反趋势。

②根据 Barth 方程确定^[10]。 T 值大小与测定的元素含量有关, 而且要求测定母岩和土壤的多种元素(易移动和非易移动的); 其次是与径流量及其易移动元素含量直接相关。由于径流量年间差异较大, 单次径流间元素含量也有一定的差异。因此, 本方法往往由于这些测定的局限性, 造成 T 值的准确性和精确性降低。

③按养分平衡确定^[11-12]。它完全忽略了成土速率这一重要属性, 主要考虑了肥料的输入和土壤养分流失。也就是肥料投入愈多, T 值愈大。很明显, 该方法会导致土地生产成本的不断增加, 而肥料的过多施用, 会导致土壤多种功能退化。

④根据侵蚀模型估算^[13-15]。仅仅是根据侵蚀模型的一个或几个参数确定, 有一定片面性和经验性。可能对某种土壤是适合的, 但对其它土壤类型或区域, 不一定可靠。另一方面, 没有反映土壤容许侵蚀量的实质意义。

(3) 还有众多的土壤类型和区域的容许侵蚀量未确定。我国土壤和区域环境类型众多, 目前仅确定了个别土壤和一些区域的 T 值, 而在有些国家如美国, 对不同区域和不同类型的土壤都确定了 T 值^[6]。随着水土保持科学的发展和水土保持生态建设的实践需要, 全面而系统确定我国不同区域和不同类型土壤的 T 值将势在必行。

紫色母岩的快速风化特性, 为成土速率的田间实际测定提供了得天独厚的条件。因此, 本研究的目标如下: (1) 田间测定覆盖土层下紫色土的成土速率, 并与 Barth 方程估算的成土速率进行比较; (2) 根据成土速率确定紫色土的 T 值。

1 研究方法

1.1 试验研究地点及其概况

试验地位于四川省盐亭农田生态系统国家野外科学观测研究站(盐亭站), 该区地形为深丘低山, 海拔 400~600 m, 由水平砂泥岩互层形成多级梯地, 山顶为园丘、长岗状。沟谷切割较深, 冲沟发育, 相对高差 100~200 m, 谷底宽 50~150 m, 比降 1/100~1/350, 两侧山坡较陡, 平均坡度为 8.7%~36.4%。试验区(1952—1982)年均温度 17.3℃, 平均降雨量 880.7 mm, 径流深 240.2 mm; 无霜期 294 d; 年均日照数 1300 h; 年均蒸发量 1070 mm。试验地土壤为石灰性紫色土。植被以桉柏混交林和农作物为主。

1.2 田间试验处理

田间定位试验设在盐亭站(土壤为蓬莱镇组紫色土)。做以下 3 种处理。

(1) 土壤类型。4 个处理——蓬莱镇组(J3p)、遂宁组(J3s)和沙溪庙组(J2s)紫色土。为了探索试验站外来母岩原态定位的非扰动实际情况, 试验站母质组(蓬莱镇组)作扰动(把母质掘出后放在小区水泥底板上, 母质厚 20 cm)和非扰动(就地围圈)观测处理。试验站外来母岩(沙溪庙组和遂宁组)只作扰动(先从试验站外搬运来)观测处理。母质上覆盖 10 cm 厚土壤, 地表不留植被。

沙溪庙组新鲜泥岩和土壤采至资中县双龙镇滑头村(距盐亭站 220 km), 遂宁组新鲜泥岩和土壤采至遂宁市船山区南强镇凉水井村(距盐亭站 110 km)。

(2) 土层厚度。在试验站原地母岩(蓬莱镇组)上设覆盖土层厚度分别为 10 cm(扰动和非扰动), 20 cm, 40 cm, 60 cm 的 4 个处理, 地表不留植被。

(3) 植被覆盖。在试验站母岩(蓬莱镇组)且土层厚度为 40 cm(该区的代表性土层厚度)的种植条件下, 设栽培矮密枇杷树(*Eriobotrya japonica*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、小麦(*Triticum aestivum*)—玉米(*Zeamays L.*)农作物(一年两季作物)3 个处理。

为了便于观测, 观测场修建和减少边际影响, 各处理(重复 2 次)小区按土层厚度依次排列; 并且在地块内按土壤母质类型、土层厚度、植被覆盖 3 种处理分区布置。

1.3 小区设计与修建

小区面积 4 m×2 m。小区具体修建方法如下。

(1) 事先全部移去土层, 使母岩裸露, 并找均匀裸露母岩面, 使其坡度为 10°, 再正式修建小区。小区四周有砖砌水泥砂浆抹平的隔墙, 隔墙嵌入母岩 20 cm 深, 出露母岩面 60 cm 高, 尽量不扰动小区底面的母岩(称之为非扰动处理), 小区底面为原母岩面。若母质及其对应土壤是外地运来的, 以及蓬莱镇组作扰动处理的小区, 其隔墙不嵌入原母岩, 隔墙高为 90 cm, 小区底面用混凝土做成, 其厚度为 10 cm。小区修好后, 把土壤母质装进小区(称之为扰动处理), 使母质层的厚度为 10 cm。

(2) 小区坡脚端外接表面径流收集槽, 且槽底部中间留一出水口, 用 PVC 导水管(伸进表面径流收集池 5 cm 以便于采样)引径流到表面径流收集池(图 1)。小区坡下端的隔墙内壁是粗沙砾石墙, 使壤中流汇集并从壤中流排出口流出, 其表面盖上一层 100 目的尼龙网, 以防土泥堵塞壤中流出口, 该出水口也用 PVC 导水管引径流到壤中流收集池。

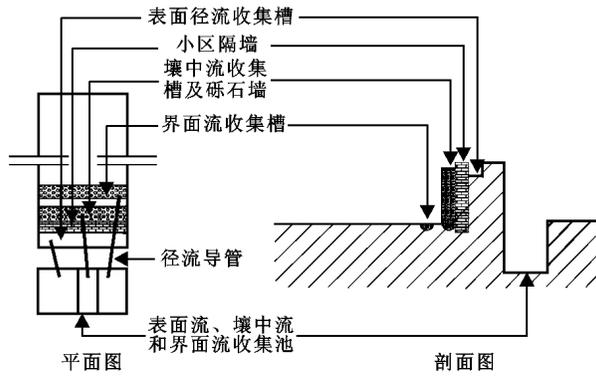


图 1 修建小区的结构示意图

小区修建好后,用尼龙网覆盖小区底面的母岩或母质上,尽量使母岩或母质表面平整,以防损坏尼龙

网,回填所需要土层厚度的土壤,再修建小区下端的表面径流和壤中流观测池(各约 1.0 m^3)和小区保护带部分。整个观测场于 2003 年 4 月中旬建成。

1.4 观测项目与方法

(1) 常规气象因子通过本试验站气象站观测。

(2) 小区水土流失量通过记录水位并用称重法测定。

(3) 岩石、土壤中的 Al_2O_3 , SiO_2 等和径流中的 Na, K, Ca, Mg 等,以及本底样(土壤和母质)分析项目 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O , CaCO_3 和有机质、全氮、磷、钾;有效氮、磷、钾,颗粒组成等,按有关理化分析的标准方法^[16-18]进行测定;本底样的分析结果如表 1—3 所示。

表 1 三种紫色土的养分含量

地层	有机质/%	全 N/%	全 P/%	全 K/%	碱解 N/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效 P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效 K/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
J _{3p} 泥岩	0.30	0.03	0.06	2.02	9.95	0.51	88.90
J _{3p} 土壤	0.71	0.05	0.06	1.93	28.49	3.39	108.97
J _{3s} 泥岩	0.30	0.02	0.08	1.76	3.07	0.00	101.04
J _{3s} 土壤	0.89	0.07	0.06	1.95	35.85	12.84	110.79
J _{2s} 泥岩	0.33	0.03	0.08	2.15	9.17	0.00	119.59
J _{2s} 土壤	0.95	0.06	0.04	1.80	39.89	14.13	48.08

表 2 三种紫色土颗粒组成

地层	颗粒组成							洗失量 CaCO ₃
	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
J _{3p} 泥岩	0.05	0.01	0.13	9.15	33.08	30.55	10.79	16.24
J _{3p} 土壤	0.00	0.00	0.09	6.90	16.66	45.24	15.21	15.91
J _{3s} 泥岩	0.00	0.00	0.47	13.11	23.14	39.11	9.34	14.83
J _{3s} 土壤	0.04	0.12	0.11	2.15	13.03	56.81	14.62	13.12
J _{2s} 泥岩	9.89	2.32	9.81	27.95	15.08	24.52	10.43	0.00
J _{2s} 土壤	27.31	4.02	12.75	6.83	18.10	22.65	8.34	0.00

表 3 试验地三种紫色土风化壳和土壤化学成分

样品编号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaCO ₃
J _{3p} 泥岩	58.26	13.03	4.68	0.64	5.01	1.25	2.43	0.87	14.65
J _{3p} 土壤	57.70	13.16	4.76	0.62	5.50	1.27	2.33	0.78	13.73
J _{3s} 泥岩	57.64	12.82	4.95	0.66	5.65	1.34	2.12	0.89	14.12
J _{3s} 土壤	54.93	14.89	6.30	0.65	4.44	1.64	2.34	0.69	11.08
J _{2s} 泥岩	61.51	16.21	6.55	0.78	0.86	2.04	2.59	1.29	2.15
J _{2s} 土壤	64.90	15.18	5.71	0.71	0.82	1.53	2.17	1.42	2.04

(4) 根据 Barth 方程^[9]计算 T 值(成土速率)的步骤如下。

① 计算 S/W 。 $S/W = c_j/s_j$, j 表示稳定性元素硅或铝(Al or Si)。

② 量测易移动元素钾(K)的化学剥蚀量。

③ 根据公式 $W_i = D_i / (1 - \frac{s_i S}{c_i W})$ 计算 W_i , i 表示

移动元素钾(K)。

④ 根据 W_i 在基岩中的比例,求 W ,再据 S/W ,求出 S ; 据流域面积,计算流域内的平均成土速率。

在上述计算式中, W 为紫色母岩减少量; S 为形成的风化壳量, 即成土速率; D 为随径流泥沙的迁移量, 根据径流量和径流中移动元素 K 的含量确定; s 表示土壤中某元素的含量; c 是母岩中某元素的含量。

根据不同土壤的特点, 我们选择硅作为沙溪庙组的稳定元素, 铝作为遂宁组和蓬莱镇组紫色土的稳定元素, 它们的 S/W 分别是 0.947 8, 0.861 0, 0.990 1。

(5) T 值(成土速率)的田间测定。

紫色土是初育土, 母岩风化物 $< 2\text{ mm}$ 的颗粒就被人为成土了^[19]。因此, 田间成土速率的测定, 就是测定母岩风化物小于 2 mm 的颗粒量。本研究于 2005 年 11 月按以下步骤测定。

①小心移去各个小区尼龙网上面的土壤, 揭开土层。

②选定一定大小的测定面积(非扰动处理小区, $1\sim 2.0\text{ m}^2$)。

③削剥风化和成土的母质(扰动处理的小区, 直接称 30 kg 风化和成土的母质)。

④将上述削剥或称重过的母质和土壤风干, 过 2 mm 筛, 称重并测定其含水量。

⑤计算成土速率。

2 结果与讨论

2.1 不同母质类型的成土速率

不同土壤母质经搬运扰动后在覆盖 10 cm 土层的情况下, 其成土速率如图 2 所示。结果显示, 沙溪庙组和蓬莱镇组的成土速率较大, 达到 $12\ 000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 遂宁组的稍小些, 约为 $8\ 300\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。这与 3 种母岩在裸露情况下的风化速率有所不一致^[20]。裸露情况下的成土速率都在 $15\ 800\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上, 且其大小次序是遂宁组 $>$ 蓬莱镇组 $>$ 沙溪庙组。这是由于母岩在覆盖 10 cm 土层后, 其水热条件与裸露情况不一致, 致使风化成土的次序有所变化; 在覆盖土层后, 其水热条件及变化强度减弱, 使风化成土速率有所减少。

与上述 Barth 模型估算成土速率比较可以发现, 田间测定的明显较估算的偏大, 但两种方法得到 3 种母质类型成土速率的大小次序是一致的, 即沙溪庙组、蓬莱镇组 $>$ 遂宁组。估算的成土速率表明蓬莱镇的成土速率与沙溪庙组、遂宁组的差异达到极显著水平($F=17.596\ 0, P=0.003\ 1$), 而沙溪庙组与遂宁组成土速率的差异未达显著水平。

2.2 不同植被覆盖下的成土速率

不同植被种植情况下, 成土速率的大小次序是种植作物 $>$ 种植果树 $>$ 种植牧草, 成土速率依次为 3

$005.1\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, $2\ 496.9\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, $2\ 036.4\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。造成这种结果的原因, 我们认为有 2 点: 一是植物根系对母岩成土的促进作用, 二是土壤因肥料的施用而造成的土壤溶液的酸碱化对母岩成土的促进作用。这二者的具体作用机制有待进一步研究。在田间现场测定时, 我们看到种植作物和果树的小区的母岩表面都有不同密度和不同直径的根系。根系对母岩的风化促进作用, 一是根系本身伸长对母岩的机械破碎而加快成土过程; 二是根系分泌的有机酸等物质对母岩风化的促进作用。

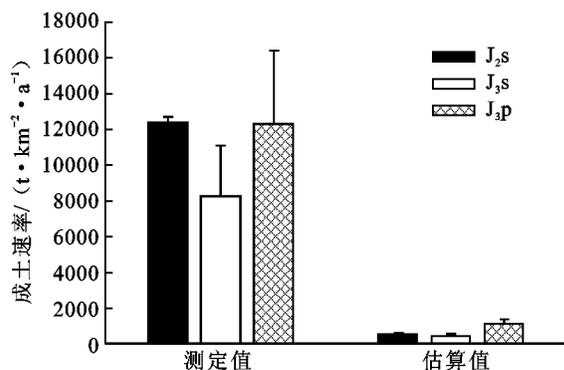


图 2 不同紫色土母岩的田间成土速率

与 Barth 模型的估算值相比, 田间测定值较估算的成土速率大 10 倍以上, 但二者成土速率大小次序基本一致, 即种植牧草的成土速率最小。不同植被处理间估算的成土速率未达差异显著水平($F=2.414, P=0.170\ 1$)。

2.3 不同土层厚度下的成土速率

不同土层厚度情况下, 不同土层厚度下成土速率的大小规律是土层愈薄, 成土速率愈大。土层厚度为 $10, 20, 40$ 和 60 cm 的状况下, 成土速率分别为 $2\ 912.5\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, $3\ 442.3\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, $1\ 857.3\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 和 $1\ 190.3\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。产生这种结果的原因, 我们认为是土层愈厚, 母岩表面的水热变化就愈弱, 从而母岩的风化愈慢。

与 Barth 模型的估算值比较发现, 田间测定的较估算值成土速率大, 且不同土层厚度下的成土速率差异较大, 有土层愈薄成土速率愈大的趋势, 而估算值没有这种趋势, 且不同土层厚度间的估算值未达差异显著水平($F=0.165\ 0, P=0.917\ 0$)。

2.4 紫色土容许侵蚀量的确定

上述结果都表明了估算的成土速率较测定的速率明显偏小, 因此, 紫色土的成土速率应该由测定值来确定才是较合理的。紫色土属于初育性土壤, 土层通常浅薄, 一般不超过 100 cm 厚, 且多为耕作土壤。由于薄层土壤的容许侵蚀量即 T 值不应大于其成土

速率,因此,我们确定其 T 值时,以本研究中不同植被处理和土层 60 cm 厚的田间成土速率为基础。

蓬莱镇组 40 cm 厚土层时,成土速率为 $1\ 857.3\ t/(km^2 \cdot a)$,但种植植物后,是 $2\ 036.4\ t/(km^2 \cdot a)$,说明种植植物能加速成土作用。蓬莱镇组 60 cm 厚土层时,成土速率为 $1\ 190.3\ t/(km^2 \cdot a)$,同理,种植植物后,其成土速率会大些。按照上述确定 T 值的原则,我们取这二者的最小值作为其 T 值,即蓬莱镇组紫色土的 T 值确定为 $1\ 190.3\ t/(km^2 \cdot a)$,当土层小于 60 cm 厚,其 T 值可以取较大一些。

根据试验中扰动和不扰动处理的成土速率关系,即蓬莱镇组扰动处理(土层厚度 10 cm)测定的成土速率是 $12\ 318.9\ t/(km^2 \cdot a)$,而原态(非扰动)处理土层厚度为 60 cm 时的成土速率是 $1\ 190.3\ t/(km^2 \cdot a)$,是扰动处理的 9.66%。假定沙溪庙组和遂宁组紫色土的扰动和不扰动处理间的关系不变,则一般情况(土层 60 cm)下,沙溪庙组和遂宁组紫色土的 T 值分别为 $1\ 197.9\ t/(km^2 \cdot a)$ 和 $800.8\ t/(km^2 \cdot a)$ 。

这样,可以初步把沙溪庙组和蓬莱镇组紫色土的 T 值确定为 $1\ 200\ t/(km^2 \cdot a)$,遂宁组定为 $800\ t/(km^2 \cdot a)$ 。我们所研究的三种类型紫色土都是具有代表性的紫色土,因此,紫色土的 T 值也可以初步定为 800 到 $1\ 200\ t/(km^2 \cdot a)$ 范围。

3 结论

(1) 用根据物质循环理论的 Barth 模型估算的成土速率,与田间测定值比较,总体上明显偏小。

(2) 田间测定的成土速率反映了一些初步规律,不同母质紫色土的大小次序是沙溪庙组 > 蓬莱镇组 > 遂宁组;不同植被下的成土速率大小次序是作物 > 果树 > 牧草;不同土层厚度下的成土速率,总的趋势是土层愈薄,成土速率愈大。

(3) 综合田间不同试验条件下的成土速率和分析转换,四川沙溪庙组和蓬莱镇组紫色土的 T 值确定为 $1\ 200\ t/(km^2 \cdot a)$,遂宁组的 T 值为 $800\ t/(km^2 \cdot a)$ 。

[参 考 文 献]

[1] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇)[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
[2] Stamey W L, Smith R M. A conservation definition of

erosion tolerance[J]. Soil Science, 1964, 97: 183—186.

- [3] 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.
- [4] David M K. Determinants of soil loss tolerance [M]. American: American Society of Agronomy, 1982: 87—93.
- [5] Johnson, Leonard. Soil loss tolerance: Fact or myth[J]. Soil and Water Cons., 1987, 42(3): 155—160.
- [6] 李兰, 周忠浩, 刘刚才. 容许侵蚀量的研究现状及其设想[J]. 地球科学进展, 2005, 20(10): 1127—1134.
- [7] 陈奇伯, 王克勤, 齐实, 等. 半干旱黄土丘陵区坡耕地土壤容许流失量研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(4): 1—4.
- [8] 杨传强, 蔡强国, 范昊明. 土壤容许流失量研究的方法: 以东北典型黑土区为例[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 66—68.
- [9] Earl B Alexander. Rate of soil from bedrock or consolidated sediment[J]. Physical Geography, 1985, 6(1): 25—42.
- [10] 阮伏水, 吴雄海, 施悦忠, 等. 福建省花岗岩地区土壤容许侵蚀量的确定[J]. 福建水土保持研究, 1995, 2: 26—31.
- [11] 谢庭生, 何英豪. 湘中紫色土丘岗区水土流失规律及土壤允许侵蚀量的研究[J]. 水土保持研究, 2005, 12(1): 87—90.
- [12] 水建国, 叶元林, 王建红, 等. 中国红壤丘陵区水土流失规律与土壤容许侵蚀量的研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(2): 179—183.
- [13] 赵焕勋. 对皇甫川流域土壤侵蚀规律的再认识: 小流域土壤估算模型的应用[J]. 水土保持研究, 1998, 5(3): 101—105.
- [14] 张燕, 彭补拙, 窦贻俭, 等. 水质约束条件下确定土壤允许流失量的方法[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(1): 109—113.
- [15] 陈廉杰. 森林土壤容许流失量的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 18—22.
- [16] 刘光崧, 蒋能慧, 张连第, 等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京: 中国标准出版社, 1996.
- [17] 谢贤群, 王立军. 水环境要素观测与分析[M]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [18] 鲁如军, 周健民. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国科技出版社, 1999.
- [19] 中国科学院成都分院土壤研究所. 中国紫色土(上篇)[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- [20] 朱波, 高美荣, 刘刚才, 等. 紫色页岩风化侵蚀与环境效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3): 33—37.