

岩溶区土壤允许流失量与土地石漠化的关系

白晓永^{1,2}, 王世杰^{1,2*}

(1. 中国科学院 地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002;
2. 中国科学院 普定喀斯特生态系统观测研究站, 贵州 普定 562100)

摘要: 为了解岩溶区土壤允许流失量(T 值)与土地石漠化的关系, 根据岩溶土壤圈系统论, 采用实地调查与GIS空间分析技术, 结合贵州碳酸盐岩岩石组合类型测算了 T 值, 并探讨了其对石漠化的影响。结果发现: ①岩溶区的 T 值可分为三大类, 在极纯、较纯和不纯的碳酸盐岩地区, T 值分别为20、100和250 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$, 在无土可流、完全是石山的地区, T 值只有几吨或更低; ②在 $T=20$ 、100和250 $t \cdot km^{-2} \cdot a$ 的地区, 石漠化发生率分别为29.86%、28.12%和23.25%, 石漠化严重度分别为73.55%、60.57%和52.19%。因此, 岩溶区的 T 值总体偏小, 且具有多样性和异质性的空间分布特点; 在相同社会背景下或不考虑人类活动的干扰差异, T 值对石漠化的发生率和严重度有明显影响, T 值越低, 阈值越小, 抗干扰能力越弱, 石漠化的发生率越高, 程度也越严重。

关键词: 土壤流失; 侵蚀; 岩溶; 土地石漠化

中图分类号: S158.1; X171 文献标志码: A 文章编号: 1000-3037(2011)08-1315-09

岩溶区脆弱的生态环境与地表少土关系密切, 这些地区土壤先天总量不足, 土被分布不连续, 水土流失后, 常会出现土地石漠化^[1-2]。水土流失与土地石漠化是同一生态退化过程中的不同阶段, 石漠化是土壤侵蚀长期作用的结果, 土壤侵蚀是石漠化过程中某一阶段作用强度的体现, 二者在成因上存在因果关系^[3-5]。部分学者提出岩溶区水土流失严重是形成石漠化的重要原因, 大量的野外考察使笔者注意到: 石漠化最严重的地区不一定是水土流失最剧烈的地区, 很多地区的土壤流失量很小, 但石漠化却异常严重(如贵州的紫云、水城、关岭等)。相反地, 在土壤流失量很大的地区(如威宁、遵义、松桃等), 石漠化却显得相对较轻。说明岩溶地区土壤亏损的负增长过程并不完全依赖于水土流失量^[6]。此外, 在对贵州省水土流失的调查中发现, 在土壤“先天就很薄”的地区, 石漠化普遍严重; 在“土壤先天很厚”的地区, 石漠化却相对偏轻, 同样是在岩溶区, 这种现象却是非常的明显和普遍, 空间差异性也是十分显著。这似乎说明: 在同等干扰下, 决定石漠化严重程度的可能根本就不是土壤“实际”流失量的大小, 而是土壤“允许”流失量本身。鉴于这种思考, 本文主要对岩溶区土壤允许流失量与土地石漠化的关系进行探讨。

1 土壤允许流失量的测算

世界上通用的土壤允许流失量是根据成土速度、农作物正常生长要求与土壤性状特点

收稿日期: 2010-11-24; 修订日期: 2011-01-19。

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项重大课题(XDA05070400); 国家自然科学基金项目(41001162); 贵州省社会发展科技攻关计划项目(黔科合SY字(2011)3076号); 贵州省省长基金项目(黔省专合字2010-95)。

第一作者简介: 白晓永(1978-), 男, 河北石家庄人, 博士, 助研, 研究方向为岩溶环境与土地利用。E-mail: baixiao-yong@126.com

* 通信作者简介: 王世杰(1966-), 男, 浙江温岭人, 研究员, 博士生导师, 博士, 主要从事岩溶生态环境研究。E-mail: wangshijie@vip.skleg.cn

来确定的^[7]。此方法在中国土层深厚的黄土高原、东北黑土地地区等的应用较为广泛,却难以应用于南方岩溶区,原因是岩溶区的土壤主要属于岩成土,因此土壤允许流失量的大小在很大程度上取决于特定环境地质背景下的成土速率^[1-2]。当允许土壤流失速率大于母岩的成土速率时,则若干年以后,土壤就会失去其成土母质,就会出现土壤粗砾化、石漠化现象。反之,若土壤流失速率小于母岩的成土速率时,理论上土壤的总量是逐年增加的。因此根据木桶盛水的“短板理论”,要保持土壤肥力和土地生产力的稳定,土壤流失速率至少要与土壤形成速率保持相对的平衡。目前国内已有很多学者^[3-5, 8-10]直接根据碳酸盐岩地区的成土速率来确定其土壤允许流失量,这也是国际上一种比较通用的方法^[7]。但是笔者发现各位学者的数据存在差异,柴宗新^[8]提出了广西岩溶区的土壤允许流失量为 $68 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;陈晓平^[9]提出滇东南喀斯特峰丛山地的土壤允许侵蚀量为 $46 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;李阳兵等^[10]认为贵州的土壤允许流失量介于 $6.84 \sim 103.46 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,曹建华等^[3-5]认为西南岩溶区土壤允许流失量为 $30 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 等。此外,张信宝等^[11]提出“岩溶区的水土流失主要存在化学流失、物理流失和生物流失等三种主要方式”。因此,笔者认为,有必要把各位学者和张信宝等的观点融合起来思考。

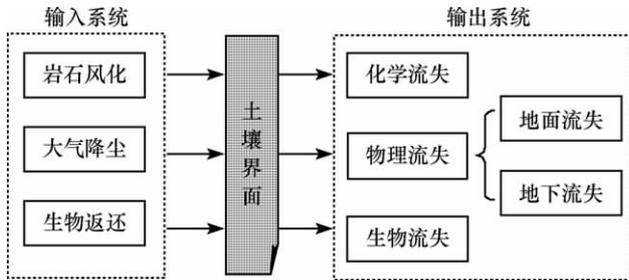


图1 岩溶区土壤圈层的输入与输出系统

Fig. 1 Input and output system of pedosphere in karst areas

出系统,即

$$W_i + F_i + B_i = C_o + P_o + B_o \tag{1}$$

式中: W_i 为岩石风化成土速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); F_i 为大气降水和降尘输入速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B_i 为生物返还输入速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); C_o 为化学流失输出速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); P_o 为物理流失输出速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); B_o 为生物流失输出速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

众所周知,岩溶区地质背景属于可溶性岩石,存在大范围的孔隙、裂隙、管穴等,有土壤漏失的现象,因此,物理流失有地表流失和地下流失两种方式^[11],即

$$P_o = P_s + P_u \tag{2}$$

式中: P_s 为地表流失速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); P_u 为地下流失速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

据张小曳的研究,我国黄土高原的大气降尘通量为 $210 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,东南地区迅速减少到 $27 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[12]。广东沿海一带更低,大亚湾海面仅 $7.44 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[13]。西南喀斯特地区的大气降尘基本不受西北沙漠和黄土高原影响,应和大亚湾海面相近。据王世杰等的研究,西南喀斯特地区风化壳物质主要是碳酸盐岩酸不溶物原地风化残积产物^[14],硅酸盐降尘通量应远低于成土速率。张信宝等^[11]认为,喀斯特地区硅酸盐矿物输入速率不会高于 $5 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。刘丛强^[15]认为,世界上河流硅酸盐的化学流失速率莱茵河最低,为 $3.18 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$;亚马逊河最高,为 $12.72 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,河流的硅酸盐化学流

如果把岩溶区的土壤圈层看作是一个系统的话,那么这个系统既有输入系统,又有输出系统。输入系统为岩石风化成土、大气降尘和生物返还等,均是向土壤圈层输送土壤;输出系统为化学流失、物理流失和生物流失等,均是由土壤圈层输出土壤(图1)。要达到这个系统的稳定平衡,必须要输入系统 = 输出系统,即

失速率主要取决于流域的气候和流域的岩石组成关系不大。张信宝等认为, 碎屑岩含量对化学流失速率影响有限, 因此西南喀斯特地区河流的化学流失速率变幅不大 ($3 \sim 10 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)^[11]。综上所述, 可以得出: 在中国西南喀斯特地区, 化学流失速率与大气降尘输入速率可能有 $2.56 \sim 4.44 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 的差异, 但基本相当。生物返还输入速率和生物流失输出速率, 二者作用和成土或流失的时间概念不一样, 二者在成土的时空尺度上也不好量算, 鉴于生物成土相对于碳酸盐岩酸不溶物风化成土作用来讲, 是微乎其微的, 因此, 在理论上可以认为二者是大致平衡的。则联立式 (1) 和式 (2), 可得

$$P_s = W_i - P_u \quad (3)$$

岩溶区的地表流失速率等于岩石风化成土速率减去地下流失速率, 即为岩溶区的地表土壤允许流失量 (T 值)。事实上, 在黄土高原区、川中丘陵区、东北黑土地区等, 土壤允许流失量也都是指地表流失量, 并没有计算地下流走的。但是, 在喀斯特的一些纯碳酸盐岩地区、地下管网广泛分布的地区, 不仅存在地下漏失, 而且“相对数量”还相当可观。

在岩溶区, 广泛分布的是碳酸盐岩, 而碳酸盐岩的溶蚀速率与气温、降雨量、水文、植被、地貌等环境条件息息相关, 而且每年、每季度、每月、每天都在变化, 即使在同一天, 白天和晚上的差异也很大。平均溶蚀速率虽然忽略了时间、空间点上的代表性, 但是却更能概括长时间宏观上的共性。

大量、长期的野外监测记录表明, 碳酸盐岩的溶蚀速率介于 $30 \sim 89.7 \text{ mm/ka}$ 之间^[3-5], 白云岩平均溶蚀速度为 55.27 mm/ka , 石灰岩的溶蚀速率是白云岩的 $1.5 \sim 2$ 倍, 则石灰岩的溶蚀速度约为 82.91 mm/ka 。根据许多室内岩石实验结果, 石灰岩方解石密度为 2.75 t/m^3 , 白云石密度 2.86 t/m^3 , 酸不溶物含量以 5% 计^[8-10], 碎屑岩的允许流失量 (相当于成土速率) 以 $500 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[16] 计算, 在地下河广泛发育的连续性碳酸盐岩区, 地下流失速率取 $13.6 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ ^[11]。碳酸盐岩各类岩石类型及其组合方案参见文献 [2, 10], 则根据式 (4) 可以计算出得岩溶区不同环境地质背景下的土壤允许流失量 (图 2):

$$W_i = v \cdot Q \cdot \rho \cdot P + R \cdot (1 - P) \quad (4)$$

式中: v 为碳酸盐岩溶蚀速率 (mm/a , 换算为 $\text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Q 为酸不溶物含量 (%); P 为碳酸盐岩含量 (%); ρ 为碳酸盐岩容重 (t/m^3); R 为非碳酸盐岩成土速率 ($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

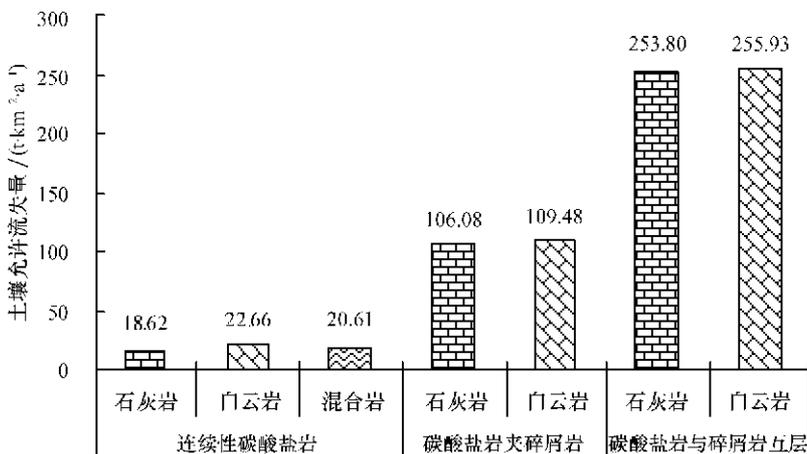


图 2 不同岩溶区的土壤允许流失量

Fig. 2 T value in different karst areas

2 土壤允许流失量的多样性与异质性

2.1 土壤允许流失量的多样性

根据图2所得结果,以贵州岩性空间分布格局为底图^[2,10],在GIS操作平台上,利用其

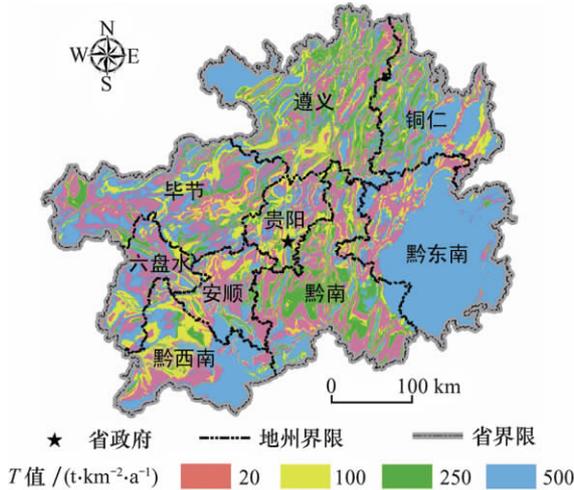


图3 土壤允许流失量空间分布
 Fig.3 Distribution of different T values

查找、分析、植入功能,可以得到土壤允许流失量空间分布信息图(图3)。由图2、图3可知,岩溶区存在多个土壤允许流失量,而非仅仅一个,具有多样性的特点。此外,不同的地质背景区,空间差异也很大,具有环境异质性的特点。

尽管石灰岩与白云岩的溶蚀速率和岩石密度有所差别,但是其成土速率差别并不是很大。原因是无论石灰岩还是白云岩,其岩石中的酸不溶物含量都很低,一般都在5%以下^[3-5,8-10],溶蚀速度都在50 mm/ka左右^[10],而方解石或白云石的密度均是基本恒定的,为 $2.8 t/m^3$ 左右,所以其

成土量折算下来一般在 $10 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 以下。

因此,仅靠碳酸盐岩岩石风化,其酸不溶物来形成土壤,其数量是有限的。但是,同样是碳酸盐岩,在连续性碳酸盐岩、碳酸盐岩夹碎屑岩、碳酸盐岩与碎屑岩互层中,其土壤允许流失量却是差别很大,说明在岩溶区,影响其土壤允许流失量大小的关键因素是“地层”中碎屑岩的含量,而非“岩石”中的酸不溶物的多少,前者的影响要远远大于后者。因此,无论石灰岩地区还是白云岩地区,判断土壤允许流失量的大小,关键是看“地层中碎屑岩的含量”,而不是“碳酸盐岩岩石中的酸不溶物的多少”。就某块岩石来讲,可能只有一种风化成土方式(要么是碳酸盐岩,要么是碎屑岩);但就某一地区来讲,可能2种方式都有,一般以后者为主。

鉴于上述分析和图2~3,岩溶区的土壤允许流失量大体可分为3类:在极纯的、连续性碳酸盐岩区,土壤允许流失量为 $20 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ($T=20$),为土壤侵蚀强度敏感区;在较纯的、碳酸盐岩夹碎屑岩区,土壤允许流失量为 $100 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ($T=100$),为土壤侵蚀中度敏感区;在不纯的、碳酸盐岩与碎屑岩互层区,土壤允许流失量为 $250 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ($T=250$),为土壤侵蚀轻度敏感区。非碳酸盐岩地区,土壤允许流失量为 $500 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ ($T=500$)。本文所指的“纯”与不“纯”是针对地区、针对地层而言的,并非特指岩石。

2.2 空间格局及其代表地层

在岩溶区,土壤允许流失量的大小明显受地质背景的控制,有必要对其简要分区,并对其空间分布格局和代表地层做一交代。

(1) I级区,土壤允许流失量为 $20 t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ 。主要分布在连续性碳酸盐岩区,碳酸盐岩在地层含量在90%以上,连片集中于黔南、黔西南一带地区。代表地层主要有:寒武系娄山关组(ϵ_{01})、石冷水组(ϵ_{2sl});石炭系的南丹组(CPn)、黄龙组(C_2h)、马平组

(C_{2m})、威宁组(C_{1-2w})、大埔组(C_{1-2d})；三叠系安顺组(T_{1a})、杨柳井组(T_{2y})、嘉陵江组(T_{1j})、坡段组(T_{2p})、茛头组(T_{2-3lt})；二叠系的栖霞组(P_{2q})、茅口组(P_{2m})、吴家坪组(P_{2w})；泥盆系高坡场组(D_{gp})等。

(2) II级区,土壤允许流失量为 $100 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。主要分布在碳酸盐岩夹碎屑岩区,碳酸盐岩含量介于 70%~90% 之间,连片集中于铜仁—玉屏—凯里—丹寨沿线一带地区,代表地层主要有:寒武系清虚洞组(ϵ_q)、敖溪组(ϵ_{2a})、高台组(ϵ_{2g})；泥盆系者王组(D_{3z})、革老河组(D_{3g})；石炭系汤耙沟组(C_{1t})；三叠系关岭组(T_{2g})、大冶组(T_{1d})、罗楼组(T_{1l})等。

(3) III级区,土壤允许流失量为 $250 \text{ t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。主要分布在碳酸盐岩与碎屑岩互层区,碳酸盐岩含量介于 30%~70% 之间,连片集中于毕节、纳雍一线以东与瓮安、修文、安顺、贞丰一线之间的地区,代表地层主要有:寒武系的毛田组(ϵ_{0m})；三叠系夜郎组(T_{1y})；奥陶系的桐梓组(O_{1t})；二叠系合山组(P_{2h})等。

(4) IV级区,属于非岩溶区。主要分布在非碳酸盐岩区,集中于赤水、习水和黔东南,代表地层主要有:侏罗系、白垩系的紫色砂页岩,前震旦系的板岩、千枚岩,以及中、上三叠系的砂岩、粉砂岩、粘土岩及第四纪沉积物等。

3 土壤允许流失量对土地石漠化的影响

3.1 土壤允许流失量对石漠化发生率的影响

石漠化土地数据使用课题组前期研究成果^[2-22] 主要根据 TM 遥感影像 结合地形图、土壤图、地质图、坡度图以及社会经济等,采用 RS、GIS、GPS 技术进行石漠化人机交互式详细判译^[17-22],生成石漠化空间分布图,然后利用 GIS 平台的空间分析功能,叠加土壤允许流失量空间分布图,可以得到二者的关系,详见图 4~6。

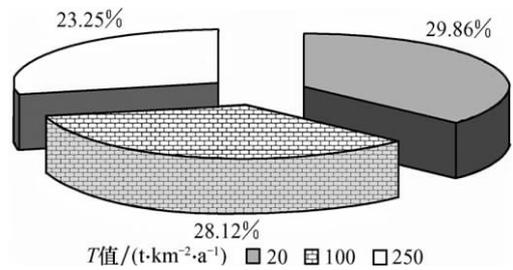


图 4 土壤允许流失量对石漠化发生率的影响
Fig. 4 T value impacts on incidence rate of rocky desertification

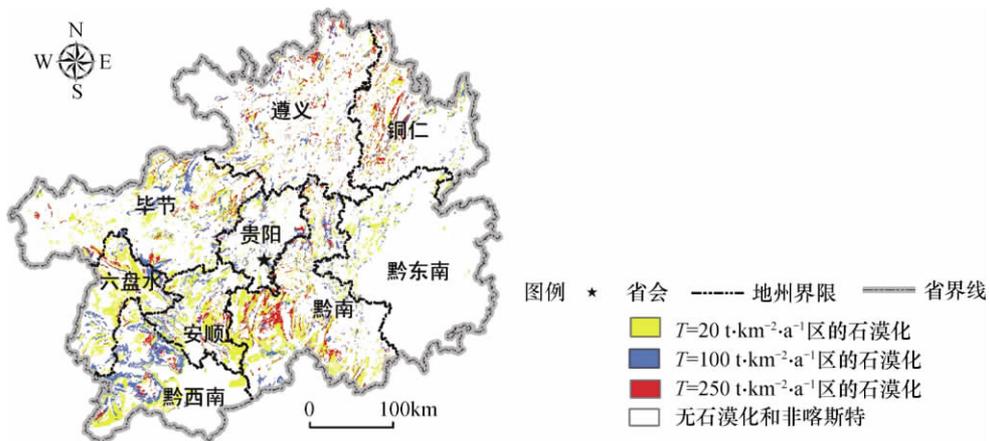


图 5 不同 T 值区各种石漠化的空间分布

Fig. 5 Distribution of rocky desertification in different T value areas

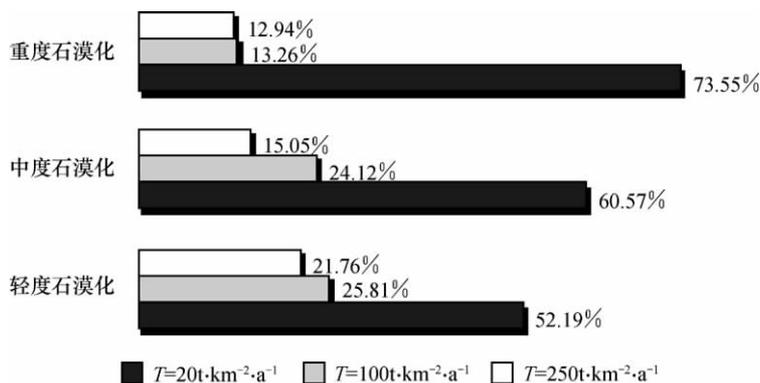


图6 土壤允许流失量对石漠化严重程度的影响

Fig. 6 T value impacts on severity of rocky desertification

石漠化是在脆弱的岩溶地质基础上形成的一种荒漠化生态现象, 由于其主要发生在喀斯特地区, 所以, 石漠化发生率等于石漠化面积与喀斯特面积的商。不同土壤允许流失量地区的石漠化的分布规律见图4与图5。由图4不难看出, 石漠化发生率与土壤允许流失量有很大关系。在 $T=20$ 、 100 和 $250\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区, 石漠化发生率分别为 29.86% 、 28.12% 和 23.25% , 说明在相同社会背景下或是不考虑人类活动的干扰差异, T 值越低, 阈值越小, 抗干扰能力越弱, 生态环境越敏感和脆弱, 石漠化的发生率越高。这里也解释了一些笔者观察到的现象: 在一些土壤“允许”流失量高的地区, 在相同条件下其“实际”流失量虽然很高, 但是石漠化却“不严重”; 但是在一些土壤“允许”流失量低的地区, “实际”流失量虽然很小, 但是经不住流失, 土壤一旦流失就是石漠化, 而石漠化以后再恢复土壤是很困难的。

土壤允许流失量的大小反映了土壤侵蚀的敏感性, 但不能反映其危险程度, 衡量其岩溶区土壤侵蚀状况好坏的指标, 不只是其土壤侵蚀强度的大小, 更是实际流失量与允许流失量的关系, 若前者 \gg 后者, 即使实际流失量数值很小, 也是极其危险的; 相反地, 若前者 \ll 后者, 即使实际流失量数值再大, 也是安全的。

3.2 土壤允许流失量对石漠化严重程度的影响

由图6可知, 在轻度、中度、强度石漠化中, $T=20\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区的比例分别是 52.19% 、 60.57% 和 73.55% 。随着石漠化程度的严重, $T=20\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区的分布比例增加。也就是说, 土壤允许流失量越是低的地区, 石漠化越是严重。从另一个角度也可以印证这一点。

对于 $T=250\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 的地区, 轻度、中度、强度石漠化的比例是递减的, 说明在土壤允许流失量越是大的地区, 石漠化越是轻微。此外, 无论哪种类型的石漠化在 $T=20\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区的比例都超过了 50% , 说明石漠化主要还是发生在土壤允许流失量低的地区。针对强度石漠化来讲, 在 $T=20\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区的分布比例是最大的, 其次是在 $T=100\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区, 再次是在 $T=250\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 区。轻度石漠化和中度石漠化也有相同的规律。

4 结论

(1) 岩溶区的土壤允许流失量(T 值)总体偏小, 且具有多样性和异质性的空间分布特点。在极纯、较纯和不纯的碳酸盐岩地区, T 值分别为 20 、 100 和 $250\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, 在无土可流、完全是石山的地区, T 值可能只有几吨或更低。

(2) T 值对石漠化的发生率和严重度有明显影响, 在 $T=250$ 、 100 和 $20\text{t}\cdot\text{km}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$

区石漠化发生率分别为 23.25%、28.12% 和 29.86% ,石漠化严重度分别为 52.19%、60.57% 和 73.55% ,证明在相同社会背景下或是不考虑人类活动的干扰差异, T 值越低, 阈值越小, 抗干扰能力越弱, 生态环境越敏感和脆弱, 石漠化的发生率越高。

参考文献 (References):

- [1] YUAN Dao-xian. Rock desertification in the subtropical karst of South China [J]. *Zeitschrift für Geomorphologie N. F.*, 1997, 108(2): 81-90.
- [2] WANG Shi-jie, LI Rui-ling, SUN Chen-xin. How types of carbonate rock assemblages constrain the distribution of karst rocky desertified land in Guizhou Province, P R China: phenomena and mechanisms [J]. *Land Degradation & Development* 2004, 15(1): 123-131.
- [3] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生. 我国西南岩溶区土壤侵蚀强度分级标准研究 [J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 1-7. [CAO Jian-hua, JIANG Zhong-cheng, YANG De-sheng. Grading of soil erosion intensity in southwest karst area of China. *Science of Soil and Water Conservation* 2008, 6(6): 1-7.]
- [4] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生. 贵州省岩溶区水土流失、石漠化受岩溶环境制约 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 20-23. [CAO Jian-hua, JIANG Zhong-cheng, YANG De-sheng. Soil erosion and rocky desertification constrained by karst conditions in Guizhou Province. *Science of Soil and Water Conservation* 2009, 7(1): 20-23.]
- [5] 曹建华, 蒋忠诚, 杨德生. 中国西南岩溶区土壤允许流失量及防治对策 [J]. 中国水土保持科学, 2009, 6(12): 40-45. [CAO Jian-hua, JIANG Zhong-cheng, YANG De-sheng. Soil loss tolerance and its prevention and control measures in Southwest China. *Science of Soil and Water Conservation* 2009, 6(12): 40-45.]
- [6] 周忠发, 安裕伦. 贵州省水土流失遥感现状调查及空间变化分析 [J]. 水土保持通报, 2000, 12(6): 23-41. [ZHOU Zhong-fa, AN Yu-lun. Remote sensing investigating of soil erosion present condition and analysising of spatial changeable in Guizhou Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation* 2000, 12(6): 23-41.]
- [7] LIU G C, WU L. Determination of soil loss tolerance of an Entisol in Southwest China [J]. *Soil Science Society of American Journal*, 2009, 73(2): 412-417.
- [8] 柴宗新. 试论广西喀斯特区的土壤侵蚀 [J]. 山地研究(现山地学报), 1989, 7(4): 255-260. [CHAI Zhong-xin. Soil erosion in karst area of Guangxi Autonomous Region. *Mountain Research* 1989, 7(4): 255-259.]
- [9] 陈晓平. 喀斯特山区环境土壤侵蚀特性的分析研究 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 13(4): 31-36. [CHEN Xiao-ping. Research on characteristics of soil erosion in karst mountainous region environment. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation* 1997, 13(4): 31-36.]
- [10] 李阳兵, 王世杰, 魏朝富. 贵州省碳酸盐岩地区土壤允许流失量的空间分布 [J]. 地球与环境, 2006, 34(4): 36-40. [LI Yang-bing, WANG Shi-jie, WEI Chao-fu. The spatial distribution of soil loss tolerance in carbonate area in Guizhou Province. *Earth and Environment*, 2006, 34(4): 36-40.]
- [11] 张信宝, 王世杰, 曹建华. 西南喀斯特山地的土壤硅酸盐矿物物质平衡与土壤流失 [J]. 地球与环境, 2009, 37(2): 97-101. [ZHANG Xin-bao, WANG Shi-jie, CAO Jian-hua. Mass balance of silicate minerals in soils and soil losses in the karst mountains of Southwest China. *Earth and Environment* 2009, 37(2): 97-101.]
- [12] 张小曳. 亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积 [J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 29-39. [ZHANG Xiao-ye. Source distributions, emission, transport, deposition of Asian dust and loess accumulation. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(1): 29-39.]
- [13] 杜完成, 何悦强, 张兢希. 大亚湾大气降尘中污染物入海量的研究 [J]. 热带海洋, 1994, 13(4): 92-96. [DU Wan-cheng, HE Yue-qiang, ZHANG Jing-xi. A study on the quantity of pollutions in the dustfall entering the sea in Daya Bay. *Tropic Oceanology* 1994, 13(4): 92-96.]
- [14] 王世杰, 孙承兴, 周德全. 贵州高原岩溶台地红色风化壳的物源辨析 [J]. 第四纪研究, 2002, 22(6): 595. [WANG Shi-jie, SUN Cheng-xing, ZHOU De-quan. Provenance of red clay weathering crusts in karst terrains of Guizhou Province. *Quaternary Sciences* 2002, 22(6): 595.]
- [15] 刘丛强. 生物地球化学过程与地表物质循环 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 608. [LIU Cong-qiang. Biogeochemical Processes and Cycling of Nutrients in the Earth's Surface. Beijing: Science Press 2007: 608.]

- [16] SL190—96. 土壤侵蚀分类分级标准[S]. [SL190—96. Standards for classification and gradation of soil erosion.]
- [17] 熊康宁, 黎平, 周忠发, 等. 喀斯特石漠化的遥感-GIS 典型研究: 以贵州省为例[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 33-182. [XIONG Kang-ning, LI Ping, ZHOU Zhong-fa, *et al.* Remote Sensing-GIS Based Study on Karst Rocky Desertification: The Case Study of Guizhou Province. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 33-182.]
- [18] 白晓永, 熊康宁, 苏孝良, 等. 喀斯特石漠化景观及其土地的生态效应: 以贵州贞丰县为例[J]. 中国岩溶, 2005, 24(4): 276-281. [BAI Xiao-yong, XIONG Kang-ning, SU Xiao-liang, *et al.* The ecological effects of karst rocky desertification landscape—With a special reference to Zhenfeng County. *Carsologica Sinica* 2005 24(4): 276-281.]
- [19] 胡宝清, 蒋树芳, 廖赤眉. 基于 3S 技术的广西喀斯特石漠化驱动机制图谱分析: 以广西壮族自治区为例[J]. 山地学报, 2006, 24(2): 234-241. [HU Bao-qing, JIANG Shu-fang, LIAO Chi-mei. TUPU analysis on driving mechanism of Guangxi karst rocky desertification based on 3S technique. *Journal of Mountain Science* 2006 24(2): 234-241.]
- [20] 胡宝清, 廖赤眉, 严志强, 等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特石漠化驱动机制分析: 以广西都安瑶族自治县为例[J]. 山地学报, 2004, 22(5): 583-590. [HU Bao-qing, LIAO Chi-mei, YAN Zhi-qiang, *et al.* Driving mechanism diagnosis of karst rocky desertification in Du'an Yao Autonomous County of Guangxi based on RS and GIS. *Journal of Mountain Science* 2004 22(5): 583-590.]
- [21] 李阳兵, 白晓永, 周国富, 等. 中国典型石漠化地区土地利用与石漠化的关系[J]. 地理学报, 2006, 61(6): 624-632. [LI Yang-bing, BAI Xiao-yong, ZHOU Guo-fu, *et al.* The relationship of land use with karst rocky desertification in a typical karst area, China. *Acta Geographica Sinica* 2006 61(6): 624-632.]
- [22] 白晓永, 王世杰, 陈起伟, 等. 贵州土地石漠化类型时空演变过程及其评价[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 609-618. [BAI Xiao-yong, WANG Shi-jie, CHEN Qi-wei, *et al.* Spatio-temporal evolution process and its evaluation method of karst rocky desertification in Guizhou Province. *Acta Geographica Sinica* 2009 64(5): 609-618.]

Relationships between Soil Loss Tolerance and Karst Rocky Desertification

BAI Xiao-yong^{1,2}, WANG Shi-jie^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China;

2. Puding Monitoring and Research Station for Karst Ecosystem, CAS, Puding 562100, China)

Abstract: To understand the relationships between soil loss tolerance (T value) and karst rocky desertification (KRD), T value was calculated using digital-distribution map of carbonate rock assemblages types in this paper, based on pedospheric system theory. And the impacts of T value on KRD were discussed also based on GIS and field survey comprehensively. The results showed that: 1) T values in karst areas can be divided into three categories, which are 20, 100 and 250 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ respectively in the purest, purer and nonpure carbonate rock areas but only less than 20 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ in rocky mountain region. 2) In the three carbonate areas where $T = 20, 100$ and 250 $t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$ respectively, KRD incidence rates are 29.86%, 28.12% and 23.25% with KRD severity being 73.55%, 60.57% and 52.19%. Therefore, T value in karst areas is very low, and has such characteristics as diversity and heterogeneity in spatial distribution. T value has great impacts on incidence rate and severity of rocky desertified land. In the same social context, or neglecting the differences of human activities, the lower T value is, the smaller the threshold, the weaker anti-jamming capability is, the higher KRD incidence rate is, and the more KRD severity is.

Key words: soil loss; erosion; karst; karst rocky desertification