

西南碳酸盐岩石质山地土壤-植被系统中 矿质养分不足问题的思考

张信宝^{1,2}, 王克林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. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

3. 中国科学院长沙农业现代化研究所, 湖南 长沙 410125)

摘要: 本文提出了矿质养分不足可能是西南石漠化喀斯特山地植被生产力低和植被修复困难重要原因的观点。桂西北环江喀斯特农业生态站和黔中清镇王家寨小流域碳酸盐岩石灰土坡地的平均土壤质量厚度($< 2 \text{ mm}$), 分别为 21.95 kg/m^2 和 16.04 kg/m^2 。以地上部分生产力 $4.8 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$, 灰分含量 9.5% 计, 植被每年要从土壤中吸取 $45.6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$ 的矿质养分, 相当于两地土壤总量的约千分之二。土壤总量少导致的西南碳酸盐岩石质山地土壤矿质养分不足, 可能是植被生产力低下的重要原因。纯碳酸盐岩硅酸盐矿物含量低, 成土速率低。长期不断的收获植物, 不可避免地要带走矿物质, 导致喀斯特山地土壤矿质养分的减少, 进而抑制植物生长。施用矿质肥料可能是促进喀斯特石质山地植被修复的重要措施。

关键词: 喀斯特山地; 土壤-植被; 矿质养分; 碳酸盐岩

中图分类号: X142; X141; S153 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2009)04-0337-05

1 问题的提出

近年来, 笔者承担了国家重点基础研究发展计划“西南喀斯特山地石漠化与适应性生态系统调控”项目的水土流失课题。鉴于水土流失和植被、土壤紧密相关, 笔者在考察、研究石漠化岩溶山地水土流失的同时, 也对植被和土壤予以了关注, 拜读了大量的相关文献^[1-11], 并和长期研究石漠化岩溶山地植被、土壤、水文和地球化学方面的专家进行了有益的探讨。如同大部分研究者, 笔者过去一直也认为水分是西南碳酸盐岩石质山地植被修复最主要的限制性因子, 但考察贵州茂兰国家级喀斯特森林自然保护区时, 发现和花岗岩等非碳酸盐岩石质山地不同, 碳酸盐岩石质山地的原始森林没有高大的树木, 询问后得知碳酸盐岩石质山地树木胸径小, 生长慢。安徽黄山和山东泰山的花岗岩山地和晋陕蒙接壤处的砭砂岩山地, 几乎没有土壤, 高大的松树扎根于岩石裂隙中, 生长健康^[12, 13]。显然, 以上三地的气候

条件并不优于茂兰, 特别是晋陕蒙接壤地带地处北温带, 气候干冷, 年降水量仅 400 mm , 远较茂兰为差。为什么以上三地非碳酸盐岩石质山地, 气候条件并不优越, 也没有土壤, 但森林植被却好于茂兰碳酸盐岩石质山地? 笔者由此产生联想, 除水分条件外, 矿质养分短缺也可能是西南碳酸盐岩石质山地植被修复的重要限制性因子。本文力图阐明这一观点, 抛砖引玉, 以期引起学界同仁对西南碳酸盐岩石质山地土壤-植被系统中矿质养分不足问题的关注, 以及开展施用矿质肥料和促进植被修复的试验研究。

2 碳酸盐岩石质山地的植被特点

西南喀斯特地区为亚热带湿润气候, 地带性植被为亚热带常绿阔叶林, 纯碳酸盐岩石质山地可见常绿、落叶混交林。贵州荔波茂兰喀斯特森林国家自然保护区, 地层为中下石炭统石灰岩和白云岩, 年均降水量 1752.6 mm , 80% 集中于 $4 \sim 9$ 月, 年均气

收稿日期: 2009-04-02; 改回日期: 2009-08-26

基金项目: 中国科学院西部行动计划(KZCX2-XB2-08); 国家科技部项目(2006CB40320, 2008BAD98B07)中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-306)

第一作者简介: 张信宝(1946-), 男, 研究员, 主事从事山地环境和土壤侵蚀方面的研究工作。E-mail: zxbao@imde.ac.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

温 15.3°C , 积温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 4598.6°C 。保护区内天然喀斯特森林植被保存完好。杨汉奎先生对保护区内鸡子山石质坡地的常绿、落叶混交林群落进行了生物量调查, 调查样地的裸岩面积率 90%。样地有乔木树种 23 种, 青冈、樟木、圆叶乌桕和圆果化香为主要树种, 覆盖度 65%, 平均胸径 11 cm。群落的地上部分生物量: 乔木层 89.2 t/ha , 灌木层 5.7 t/ha , 草本层 0.275 t/ha , 枯枝落叶层 6.5 t/ha 。茂兰喀斯特森林乔木层的生物量不但低于南方哀牢山木果石栎林的 348.7 t/ha 和湖南会同 66 年生杉木林的 274.9 t/ha , 也低于北方长白山阔叶红松林的 275.7 t/ha 和长白山云、冷杉林的 242.6 t/ha 。加上地下部分, 调查样地的群落总生物量 $146.3\sim 190.9\text{ t/ha}$, 与 L. E. Rodin 等估算的亚热带半干旱地区旱生林 (170.0 t/ha) 和寒温带湿润区北部泰加林 (150.0 t/ha) 的生物量接近, 低于其估算的中部泰加林 (260.0 t/ha) 与南部泰加林 (300.0 t/ha)。同样, 也低于温带落叶林 (如比利时 Mylwarthe 的山车榛林, 地上部分 369.0 t/ha) 和温带混交林 (如美国 Santa Catalina Mountain 松栎林, 地上部分 113.5 t/ha)。与世界现存各类森林相比, 茂兰喀斯特森林为低生物量森林^[2]。

石漠化过程中, 喀斯特山地的植被种类组成从高大乔木向灌草退化, 并随着环境干旱程度的加剧向旱生化演替, 退化趋势依次为次生乔林—乔灌林—灌木林或藤刺灌丛—稀坡或草坡—稀疏灌草丛。王德炉和朱守谦等在贵州安顺、普定、关岭和荔波等四县市设置了 64 个样地, 进行了不同植被类型的地上部分生物量调查。调查结果表明, 未退化的顶极原生乔林群落的地上部分生物量为 79.5 t/ha , 次生乔林, 乔灌林, 灌木林或藤刺灌丛, 稀灌草坡或草坡和稀疏灌草丛的生物量分别为未退化的顶极原生乔林群落的 99.7%, 96.3%, 94.7%, 74.6% 和 48.3%^[7]。宋同清等对桂西北中国科学院环江喀斯特农业生态系统研究观测站内的白云岩丘陵坡地不同退化阶段的植被群落进行了生物量调查, 乔灌丛, 藤刺灌丛, 灌丛, 草灌丛, 草丛和石漠化稀疏草丛群落的生物量依次为 131.42 t/ha , 68.76 t/ha , 89.4 t/ha , 27.18 t/ha , 17.46 t/ha 和 7.74 t/ha ^[5]。

不纯碳酸盐岩石质山地的人工造林效果较好, 树木生长健康; 纯碳酸盐岩石质山地上的人工林多为小老头树, 生长缓慢。

3 碳酸盐岩石质山地的地面物质组成特点

顾名思义, 石质山地是石多土少。前述茂兰自然保护区喀斯特山地的裸岩面积率 80%, 调查坡地更高达 90%。按地面物质组成的分类, 裸岩面积率 $> 80\%$ 的坡地为石质坡地, $60\% \sim 80\%$ 的坡地为石质为主坡地, $40\% \sim 60\%$ 的坡地为土石质坡地。按石漠化强度分级, 极强度、强度、中度和轻度石漠化坡地的裸岩面积率分别为 $> 90\%$, $90\% \sim 80\%$, $80\% \sim 70\%$ 和 $70\% \sim 60\%$ ^[12]。碳酸盐岩石质坡地异质性强, 地面土壤分布于岩石裂隙和溶沟、溶槽和洼地内, 厚度差异极大, 平均土壤厚度难以确定, 石漠化强度分级给出的平均土壤厚度指标比较概略, 极强度、强度、中度和轻度石漠化坡地的平均土壤厚度分别为 $< 3\text{ cm}$, $3\sim 5\text{ cm}$, $5\sim 10\text{ cm}$ 和 $10\sim 15\text{ cm}$ ^[13]。

笔者等在桂西北中国科学院环江喀斯特农业生态站和黔中清镇王家寨小流域开展了 ^{137}Cs 法测定土壤侵蚀量的研究。为了尽可能减少土壤异质性的影响, 我们采用取样带法采集大面积样方土壤样品, 实测了单位面积的土壤总量 (土壤质量厚度)。环江站取样坡地为塔状丘峰中、下部的薄层撒落物覆盖坡地, 坡长 122 m, 平均坡度 22.5° 。坡地表土层, 顺坡而下逐渐由含黑色石灰土的松散角砾过渡为含细角砾的黑色石灰土, 厚度多不足 30 cm, 下伏裂隙密集的糜棱状风化的白云岩。坡地的植被为完密的藤刺灌丛。取样带宽 3 m, 共布设了 10 个样方 (表 1), 每个样方面积 $1\text{ m} \times 3\text{ m}$ 。设计取样深度 30 cm, 由于表土层薄, 多不足 30 cm, 取样时将样方内的土壤全部挖取采集。坡地表层土壤中 $< 2\text{ mm}$ 沙、粘粒的含量介于 $20.40\% \sim 30.00\%$, 无明显顺坡变化; $< 2\text{ mm}$ 颗粒中酸不溶物的含量介于 $46.69\% \sim 95.50\%$, 顺坡呈明显增加的趋势; 酸不溶物中 $< 0.005\text{ mm}$ 的含量介于 $38.76\% \sim 86.47\%$, 也呈顺坡增加的趋势。土壤质量厚度 (单位面积 $< 2\text{ mm}$ 颗粒的干土重, kg/m^2), 除一个样方偏低外 (11.05 kg/m^2), 其余 9 个样方变化不大, 介于 $18.32\text{ kg/m}^2 \sim 24.14\text{ kg/m}^2$, 10 个样方的平均值为 20.95 kg/m^2 。

王家寨取样坡地为从坡顶到坡脚的全坡, 坡长 47.9 m, 平均坡度 22° , 有 4 级台坎。平坦的丘顶和坡度较缓的台面上, 有薄层黑色石灰土分布, 生长有稀灌草坡; 陡峭的台坎, 白云岩基岩裸露。土壤异质

表1 环江取样坡地土壤粒度、酸不溶物含量
和土壤质量厚度顺坡变化

Table 1. Variations of particale sizes insoluble residue
contents and mass thicknesses of soils along the
Huanjiang sampling slope

编号	坡度 (°)	距坡脚 距离 (m)	<2mm 沙、粘粒 含量 (%)	<2mm 颗 粒中酸 不溶物 含量(%)	<2mm 酸 不溶物中 <0.005mm 含量(%)	土壤质 量厚度 (kg· m ⁻²)
1	28	164.86	26.91	59.08	64.60	24.14
2	28	145.93	28.39	61.43	55.67	26.76
3	19	128.46	21.03	67.90	57.43	19.98
4	28	110.00	31.01	76.13	62.23	18.32
5	28	96.56	33.26	78.28	81.91	19.09
6	30	87.13	24.65	46.69	38.76	11.05
7	23	72.72	26.48	56.27	59.13	23.92
8	16	60.78	20.40	73.20	77.20	21.53
9	10	48.14	21.73	87.98	86.47	22.72
10	15	42.53	30.00	95.50	83.92	21.95

性调查表明,裸岩面积率介于 29.05%~0.45%,顺坡而下呈减少的趋势^[14]。取样带宽 1 m,布设了 13 个样方(表 2),每个样方面积 1m×1m。同环江站,由于表土层薄,取样时将样方内的土壤全部挖取采集。坡地的土壤质量厚度介于 5.61~48.57 kg/m²,呈明显的顺坡增加趋势,平均值为 16.04 kg/m²。坡地表层土壤中<2 mm 沙、粘粒含量介于 44.91%~64.90%,全坡土壤的平均沙、粘粒含量为 46.28%。坡脚两个样方的沙、粘粒含量高,其余的差异不大。

表2 王家寨取样坡地的土壤质量厚度和沙、粘粒含量
Table2. Sand and clay contents and mass thicknesses
of soils on the Wangjiazhai sampling slope

编号	距坡顶距离 (m)	坡度 (°)	土壤质量厚度 (kg·m ⁻²)	沙、粘粒含量 (<2mm)(%)
W001	0	0	5.61	54.45
W002	1.3	35	6.41	50.22
W003	3.6	28	22.02	55.23
W004	6.4	41	11.39	50.33
W005	9.1	23	6.91	44.91
W006	14	28	10.49	52.64
W007	16	33	11.24	52.10
W008	19.6	23	19.38	49.72
W009	25	19	10.81	54.20
W010	29.2	23	20.85	51.43
W011	35.1	18	14.47	54.26
W012	43.8	11	20.42	63.93
W013	47.3	5	48.57	64.90
平均			16.04	53.72

环江站和王家寨坡地的平均土壤质量厚度分别为 21.95 kg/m² 和 16.04 kg/m²,以土壤容重 1.0 g/cm³ 计,相应的土壤厚度分别为 2.2 cm 和 1.6 cm。

4 土壤—植被系统中矿质养分的循环

在一定气候条件下,山地自然植被的生产力主要取决于土壤提供水分和养分的能力。土壤总量少而引起的干旱缺水,一直被认为是喀斯特山地植被生物量低和石漠化坡地植被难以恢复的主要原因^[15]。西南非碳酸盐岩石质山地(干旱河谷区除外)的土壤条件也不好,但自然植被均为茂密的森林,许多还是我国主要的林区,如地处三江峡谷的川滇接壤处的林区。山东泰山的花岗岩山地和晋陕蒙接壤处的砒砂岩山地,几乎没有土壤,气候条件远不如西南亚热带湿润气候,森林植被生长良好^[16]。在“天无三日晴”的气候条件下,即使缺少土壤,自然森林植被理应能生长良好。笔者认为,土壤总量少引起的矿质养分供应不足,可能是西南碳酸盐岩石质山地是植物生长受限,植被生产力低和石漠化坡地植被难以恢复的重要原因。

图 1 显示矿质养分在土壤—植被系统中的循环。自然状况下,没有侵蚀和堆积发生的土壤—植被系统中的矿质养分循环处于平衡状态,来自岩石风化的养分输入和来自大气的养分输入与土壤流失和淋溶造成的养分输出处于平衡状态,植物从土壤中吸收的矿质养分和死亡植株或凋落枝叶腐烂后返还到土壤中的相等。非碳酸盐岩石质山地土壤总量少,提供的矿质养分有限,但岩石风化的养分输入较多,树木根系能够直接从硅酸盐矿物中直接吸取矿质养分供应植物生长。纯碳酸盐岩的硅酸盐矿物含量很低,岩石风化的养分输入极为有限,所组成的石质山地的植物无法从岩石中吸取足够的矿质养分,支持高生物量的植被,树木生长到一定年龄后就不得不死亡,将矿质养分返还到土壤中,因此纯碳酸盐岩石质山地的原始森林难见胸径超过半米的大树。土壤地下流失,是纯碳酸盐岩山地土地石质化的重要原因。在自然石质化过程中,伴随土壤总量的逐渐减少,山地森林植被也不断退化。

人类通过砍伐、刈割等方式收获喀斯特山地上生长的植物,不但摄取了有机物,也摄取了矿质养分。地球上生态系统的生产力,热带雨林最高,20 t/ha·a;荒漠灌丛,0.71 t/ha·a^[18]。我们取疏林

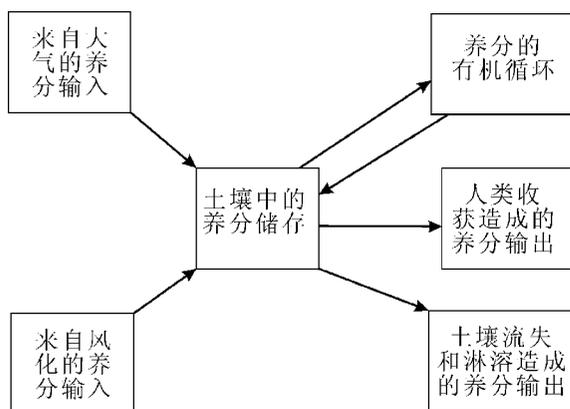


图1 土壤—植被系统中矿质养分循环示意图
(据文献 17 修改)

Fig. 1. A diagram on mineral nutrient cycling in the soil-vegetation system (revised from reference 17)

和灌丛的 $6.4 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ ，表征喀斯特石质山地森林的年生物量。地上部分以 $3/4$ 计，年生物量 $4.8 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ 。石灰岩山地季雨林阔叶树的灰分含量为 9.5% ，每公顷森林地上部分每年要从土壤中吸取 0.456 t/ha 的矿质养分 ($45.6 \text{ g/m}^2 \cdot \text{a}$)^[19]。环江站和王家寨坡地的平均土壤质量厚度分别为 21.95 kg/m^2 和 16.04 kg/m^2 。这也就是说，每年森林从土壤中吸取的矿质养分重量约相当于土壤总重量的千分之二。喀斯特森林灰分中 CaO 和 MgO 的含量高，占 36% ^[20]，其余的为 Si 、 Al 、 K 、 Na 、 Fe 、 P 、 N 等元素的氧化物。

纯碳酸盐岩石质山地土壤总量虽少，但植物根系可以直接从岩石中吸取 Ca 和 Mg 含量高，人类收获植株和果实，不会影响植被系统的 Ca 和 Mg 供应。但纯碳酸盐岩以硅酸盐矿物为主的酸不溶物含量极低，一般低于 5% ，植物根系又不能像从花岗岩中吸取矿质养分一样，直接从纯碳酸盐岩中吸取除 Ca 、 Mg 以外的其他矿质养分。人类长期不断的收获喀斯特山地上的植物，势必导致土壤除 Ca 和 Mg

外的其他矿质养分的全面减少，进而抑制了植物生长。西南喀斯特山区烧山普遍的一个重要原因，就是群众希望加速矿质养分回返土壤，促进来年植物快速生长，但这不能抑制土壤矿质养分总量不足和逐渐减少的趋势。

5 建议

本文提出了喀斯特石质山地土壤—植被系统中矿质养分不足的问题，顺而言之，施用矿质肥料可能是促进喀斯特石质山地植被修复的重要措施。须指出的是，本文提出的仅仅是一种观点，这项措施的实际应用推广，必须提供坚实的科学支撑。对相关科学研究工作的建议如下：

(1) 在西南喀斯特石质山地区，开展土壤总量和各种矿质养分含量与植被群落组成和生物量的普查，查明土壤的矿质养分储量和供应能力的区域分布规律和与植被群落组成和生物量含量的相关关系。

(2) 开展薄土层条件下，喀斯特石质山地土壤（石灰土和黄壤）矿质养分抑制和促进植物生长的基础研究。

(3) 在不同类型区，选择具有代表性的薄土层石质坡地，开展施用矿质肥料促进植被修复的田间试验。

(4) 在基础研究阐明机理和田间试验取得成功的基础上，形成施用矿质肥料促进喀斯特石质山地植被修复的技术体系，提出不同类型区施用矿质肥料的指导意见。

致谢：本文得到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和中国科学院亚热带农业生态所环江喀斯特农业生态试验站的部分资助，在此表示感谢！

参 考 文 献

- [1] 袁道先. 中国岩溶学 [M]. 北京: 地质出版社, 1993
- [2] 杨汉奎 程仕泽. 贵州茂兰喀斯特森林群落生物量研究 [J], 生态学报, 1991, 1(4): 307—312
- [3] 王世杰, 李阳兵, 李瑞玲. 喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理 [J], 第四纪研究, 2003, 23(6): 657—666
- [4] 喻理飞, 朱守谦, 叶镜中. 退化喀斯特森林自然恢复过程中群落动态研究 [J]. 林业科学, 2002, 38(1): 1—7
- [5] 宋同清, 彭晚霞, 曾毓平, 等. 桂西北喀斯特人为干扰区植被的演替规律与更新策略 [J], 山地学报, 2008, 26(5): 597—604
- [6] 王韵, 王克林, 邹冬生, 等. 广西喀斯特地区植被演替对土壤质量的影响 [J], 水土保持学报, 2007, 21(6): 130—134
- [7] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化 [J], 南京林业大学学报 (自然科学版), 2003, 27(3): 26—30

- [8] 梅再美, 熊康宁, 孙建昌, 等. 贵州喀斯特石漠化土地的植被恢复技术研究[J], 贵州林业科技, 2004, 32(3): 1—7
- [9] 刘方, 王世杰, 刘元生, 等. 喀斯特石漠化过程土壤质量变化及生态环境影响评价[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 639—644
- [10] 李阳兵, 谢德体, 魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表土植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报, 2004(2): 196—202
- [11] 司彬, 姚小华, 任华东, 等. 黔中喀斯特植被恢复演替过程中土壤理化性质研究[J], 江西农业大学学报, 2008, 30(6): 1122—1125
- [12] 张信宝, 王世杰, 贺秀斌, 等. 西南岩溶山地坡地石漠化分类议[J], 地球与环境 2007, 35(2), 188—192
- [13] 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: 183
- [14] 严冬春, 文安邦, 鲍玉海, 等. 黔中高原岩溶丘陵坡地土壤中的¹³⁷Cs 分布[J], 地球与环境 2008, 36(4), 342—346
- [15] 张信宝. 造林困难地区植被恢复的科学检讨及建议[J], 人民长江, 2004, 35(10): 6—10
- [16] 张信宝, 安芷生. 黄土高原地区森林与黄土厚度的关系, 水土保持通报, 1994, 14(6): 1—4
- [17] Trudgill. Soil and Vegetation Systems[M]. Clarendon Press, Oxford, 1977 T.
- [18] 林鹏. 植被群落学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1986: 290
- [19] 侯学煜. 中国植被地理及优势植物化学成分[M]. 北京: 科学出版社, 1982: 418
- [20] 曹建华, 袁道先. 受地质条件控制的中国西南岩溶生态系统[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 188
- [21] 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

Ponderation on the Shortage of Mineral Nutrients in the Soil-Vegetation Ecosystem in Carbonate Rock-distributed Mountain Regions in Southwest China

ZHANG Xin-bao^{1,2}, WANG Ke-lin³

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, PR China; 2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, PR China; 3. Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 41012, PR China)

Abstract: A piece of opinion is pointed out in this paper that the shortage of mineral nutrients is one of the key factors leading to low vegetation productivities and difficulties of vegetation remediation in the rocky-desertification karst regions in Southwest of China. The mean soil mass depths (< 2mm) on the slopes are 21.95 kg/m² in the Huanjiang Experimental Station of Karst Ecosystem, CAS, Northwest Guangxi and 16.04 kg/m² in the catchment of Wangjiazai Gully central part of Guizhou, respectively. Taking that the overground vegetation productivity is 4.8 t/ha, and the mineral ash content of plants is 9.5%, vegetation will adsorb 45.6g/m² of mineral nutrients of vegetation per year, which account for about 2% of the total soil mass in the two places. The shortage of mineral nutrients resulting from the limited amount of total soil mass, may be the key factor leading to low vegetation productivities in the carbonate rock-distributed mountain regions. Pure carbonate rocks have low silicate mineral contents and low soil formation rates too. Continuous harvesting of plants in the long period should take out mineral matter and result in reduction of mineral nutrients in the soils, consequently, restraining vegetation growth. Application of mineral fertilizers may be a significant measure for vegetation emaciation in the rocky desertification karst mountain regions in Southwest China.

Key words: karst; soil-vegetation; mineral nutrient; carbonate rock