DOI ：10. 16461 cnki. 1000 一4734. 2007. 01. 013

第27卷第1期 矿 物 学 报

2 0 0 7 年 3 月 ACTA MINERAIjOGICA SINICA

文章编号：1000-4734 (2007 )01-0077-07

广西岩溶区土壤修复对策研究

——以桂林奶牛场为例

张俊鹏1,陈远荣1,王晓慧1,于波2

（1.桂林工学院，广西桂林541004,2.陕西奥盟诺斯矿业有限公司，陕西西安710075）

摘要:土壤是人类生存的基本资源，土壤在岩溶区生态重建中有着重要的地位。通过实验数据分析探讨了土 壤肥力、土壤含水率、土壤酸碱度等变化对广西岩溶区土壤生物多样性和土壤修复的影响。试验发现,优良牧 草可在短期内快速修复岩溶区的土壤环境，不同牧草和灌木品种对土壤修复的作用不同，采用牧草与灌木混 种的方式进行土壤修复是今后值得重视的途径。

关键词:土壤;岩溶区;生态重建;生物多样性保护

中图分类号:S154.4； X171.1 文献标识码:A

作者简介:张俊鹏，男，1981年生，硕士研究生，从事生态学研究.

土壤是人类生存的基本资源，是农业发展的 重要基础，而岩溶山区的独特环境条件，赋予了岩 溶山区土壤不同寻常的特征和在生态重建中特殊 的地位中国是岩溶大国，总面积达344. 3万 km2o西南岩溶地区以贵州、云南、广西、四川等省 区为主，总面积达111.6万km2,占全国岩溶面积 32.4%。长期以来，由于自然和人为的原因，造成 了岩溶山区生态环境日趋恶化，严重影响当地经 济和社会的可持续发展。因此，如何合理开发、利 用和保护土壤资源，将是岩溶区生态重建的核心， 也是西部大开发战略中着重要解决的问题国。

岩溶生态系统的一个重要特点是脆弱性。同 样，岩溶区土壤也具有脆弱性。生态系统中，生物 群落是其核心，其中绿色植物在整个生态系统中 起着平衡的作用，土壤则是这一系统的调节者，它 供给植物所需要的水分和其它各种养分。然而, 土壤瘠薄、水分少，影响植物的光合作用，是这一 环境植物生长缓慢、生物生产量低的主要因素，而 且岩溶地区的成土条件差，土壤一旦流失就难以 恢复，植物群落将产生逆向替演，石漠化很容易发 生。对此，曹建华等⑺和李阳兵等［出强调，改变过 去岩溶研究重基岩、轻土壤的传统思想，强化土壤

收稿日期：2006£9-29

基金项目：中斯国际合作项目（桂科合05922-21 ）；广西高校人才 小高地创新团队建设项目研究,根据岩溶表层生态系统的运行过程把握岩 溶生态系统土壤的动态特征和相互间的反馈关系 是岩溶区生态环境恢复重建的关键。不少研究者 还从不角度纷纷提出了退耕还林还草，封山育林, 生态移民，构建防护林体系，开展特色农业，实行 乔灌藤草优化配置等岩溶区土壤修复和生态重建 的建议和措施［口。

然而，由于我国西南岩溶区居住人口众多，又 多是少数民族，耕地少，经济落后，简单的种植和 还林还草模式很难推广。为此，我们借鉴了斯洛 文尼亚的成功经验，即针对不同岩溶区的生态和 功能特征，在分别构建优良牧草草地系统，经济、 速生饲料型灌木系统，乔木森林系统的基础上，通 过合理的养殖和放牧，实现岩溶区的生态恢复和 重建，并提高当地居民的生活水平。

本实验以桂林奶牛场为基地，主要开展牧草 草地系统和灌木系统的试验研究，其中主要研究 内容之一就是:通过对不同季节、年度、种植区（牧 草区、灌木区与空白区）、合理放牧区和过度放牧 区的生物多样性、土壤肥力、酸度、微量元素和土 壤的水分涵养能力等方面的监测与对比，了解各 项因子在牧草和灌木不同生长阶段以及不同放牧 时期的变化规律，从而获取最佳效果的生物多样 性保护条件以及广西岩溶区土壤修复的有效措 施。本文重点探讨牧草、灌木初始生长阶段各因 子的变化特征及其对岩溶区土壤修复的影响。

**1**实验区基本情况

**1 1**气候和地理条件

实验区位于桂林市奶牛场，地处该市南约 3 km，座标为北纬28°18；东经110°17：地形以 丘陵式地貌与盆地开阔地为主。属亚热带季风 气候区。据市气象站资料统计：年平均气温 18. 8 °C有效积温5920 °C月平均温度20 °C的 月份为4 — 10月，长达7个月，月平均最低温 8 °C月最高温28. 3 °C无霜期309山年均降雨 > 1873. 6 mm,年雨日175. 4 d,相对湿度76%， 潮湿系数1.28,常年主导风向为北北风，频率 36%，风率2. 6 m/So区内土壤成土母质属于第 四纪红土，按照其形成条件可分红壤、红泥土、 黄土、碳质黑泥土等四个土种。红壤是主要土 种，占总面积的52.2%,主要分布于境内的中 部、东部及西部末端。土层厚度一般在Im以 上，层次不明显，质量粘重，pH值4〜4. 5,呈强 酸反应，因周围是岩石峰丛呈碱性恰好可以中 合，耕性好。有机质含量2. 5%〜3.0%,肥力中 上。其次为红泥土，面积33.5%。区内地下水 资源较丰富。

本区的地理气候等条件均有利于项目实 施。

**1.2**实验实施的基本情况

项目的实施始于2001年，2001年度主要对试 验基地开展基础生态特征调查，2002年主要是根 据基础调查结果确定实验实施的具体方案,2003 年开始各项种植试验。

试验基地分为两个大区，其中第一大区面积 240亩，第二大区面积350亩。

首先在第一大区根据地形特点分为牧草和灌 木两个试验系统，牧草种植区位于相对平坦的坡 地,灌木种植区则位于相对较陡的山坡，后按照不 同牧草和灌木的生长特性再分小区进行各类牧草 和灌木适生性筛选试验，然后将筛选出来的优良 牧草与灌木品种在第二大区进行扩大试验。第一 大区分区种植试验分布图见图**lo**

一**0 30 60**

**90 m**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 5 | | 訂一 | 1a |  |
| 一 | 一殺合M |  | 7 |  |
| - | **2OZ** | ■站■ |  | 「机—平路 |

第**1**小区f'-

**U W** =叶草

聘詢草

■树

任 豆

第**2**小区

**17.2 W**

巴检草 合萌

二叶珞

鸡脚草

任已直皤

50

笫**3**小疋

**21. 6**山狗牙草 堅尼草

三叶草

对照区

低|0.$

（原生植被）

板 栗

15 (? ■

**8**。

**4**水区 '

**.5**亩夠尾草 木豆 三叶草

东非狼尾草

桑h树

**14%**

Tod

第**5**小区

**30. 2**茴宽叶雀稗 巴哈雀稗 柱花草

空白

第**6**小区

**14.5 m**

120

对照区

（机耕地）

■生物监测样方

80 土填养分监测 采样点和编号

桂林市区



图1第一试验区牧草、灌木种植示意图

Fig. 1. The sketch plan map of plant herbage and shrub in the No. 1 test area.

**2**实验数据与结果讨论

在第一试验区，各种植小区经两年种植后有 关生物多样性、土壤养分、土壤水涵养性等方面各 项因子的变化状况见表b 2, 3,4。

经过对牧草区监测，结果表明每一个牧草试 验区的植物生长状况均比空白对照区好，实验2 年后植物种类比对照区明显增多，空白对照区仅 有10种，而在牧草种植区最少的有17种，最多达 91种，说明经过优良牧草种植后，试验区的植物 多样性均已有所提高。显然，优良牧草的种植，活 化了土壤的肥力、降低了土壤的酸性、扩大了土壤 的空隙度、提高了土壤的水分涵养性，从而更有利 于各类植物的生长，改善原有的生物群落结构。 这与魏江春院士同提出的沙漠治理方案一一沙漠 生物地毯工程具有类似的效果。

在土壤肥力方面，在没有进行任何人工施肥 的情况下，至2004年12月，全N、全P、水解氮、 速效P等指标均具有逐年增高的趋势，其中速 效P、有机质的增幅最大，分别增加了近6倍和2 倍;而全K、速效K，有机质则显示为小幅度的下 降。在各类牧草和灌木种植区，由于植物对土 壤养分的消耗，许多指标在2003年时还属于下 降阶段，而到了 2004年，由于植被迅速恢复和群 落替演，植被枯落物增多，土壤的养分也随着植 物指数增加而增加，绝大部分土壤养分变为积 累或少量消耗阶段（表3）,体现了优良牧草的种 植可以迅速自行修复土壤的养分体系凹。这与 黄土区退耕地土壤养分的变化状况⑷也有类似 之处。

表1实验两年后各试验小区生物多样性变化状况

Table 1. The variety of plant diversity in different test parts after two years5 test

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 试验区 | 种植物种 | 物种数 | 主要物种 |
|  | 1 | 合萌、三叶草、鸡 | 样方1:22 | 狗尾草、胜红蓟、耳草、合萌、飞蓬、飞扬草、田麻、土荆芥、辣蓼、独行菜、 |
|  | 脚草 | 样方2：91 | 牡荆、艾蒿、决明、苍耳、车前草、革命菜 |
|  | 2 | 巴拉草、合萌、三 | 样方1：16 | 巴拉草、合萌、耳草、狗尾草、胜红蓟、决明、苍耳、宽叶雀稗、飞蓬、辣蓼、 |
|  | 叶草、鸡脚草 | 样方2： 28 | 构树、鹅冠草、勾儿茶 |
|  | 3 | 狗芽根、坚尼草、 | 样方1：14 | 狗芽根、坚尼草、合萌、三叶草、胜红蓟、决明、苍耳、土荆芥、马唐、田麻、 |
| 牧  草•  区 | 合萌、三叶草 | 样方2： 19 | 癫茄 |
| 4 | 狗尾草、木豆、三  rrX 'ST 药白目'ST vik | 样方1：17 | 狗尾草、木豆、三叶草、狼尾草、鸡脚草、胜红蓟、马唐、田麻、决明、苍耳、 |
|  | 叶早、狠尾早、％与  脚草 | 样方2： 12 | 酢浆草 |
|  | 5 | 宽叶雀稗、巴哈雀 | 样方1：18 | 宽叶雀稗、巴哈雀稗、柱花草、狗尾草、决明、牵牛花、马唐、田麻、酢浆 |
|  | 稗、柱花草 | 样方2： 22 | 草、白莲蒿、轮环藤、辣蓼 |
|  | 对照区 |  | 样方1：10 | 飞蓬、决明、耳草、商陆、苍耳、胜红蓟、辣蓼 |
|  | 山茶 | 山茶 | 样方1：12 | 山茶、大狗尾草、白莲蒿、耳草、胜红蓟、飞蓬、决明、田麻 |
|  | 山葡萄 | 山葡萄 | 样方1：17 | 山葡萄、葛藤、牡荆、上莲下柳、芒麻、华山矶、野蔷薇、枫香、白茅、马兰、 苍耳、华泽兰、鸡眼草、苦箕菜、车前草、鹅冠草 |
| 灌 | 任豆 | 任豆 | 样方1：12 | 任豆、桑树、芒麻、狗尾草、胜红蓟、田麻 |
| 木 区. | 构树 | 构树 | 样方1：12 | 构树、飞蓬、狗尾草、胜红蓟、田麻 |
| 桑树 | 桑树 | 样方1：10 | 桑树、王草、耳草、胜红蓟、飞蓬、田麻 |
|  | 板栗 | 板栗 | 样方1：8 | 板栗、胜红蓟、飞蓬、苍耳、马唐 |
|  | 银合欢 | 银合欢 | 样方1：18 | 银合欢、耳草、苍耳、胜红蓟、一年蓬、狗尾草、飞蓬、牧荆 |

注:样方1—指监测统计的第一个样方，其后的数字代表该样方内包含的生物种数.

表2 试验区不同年度各土壤养分变化特征(平均值)

Table 2. The variation characteristics of different soil nutrients in different test periods (on average)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 2001(5) | 2003-07(8) | 2003-12(17) | 2004-12(5) | 植物正常生 长需求量 |
| 全N/% | 0.108 | 0.102 | 0.176 | 0.186 |  |
| 全P/% | 0.0556 | 0.0719 | 0.0788 | 0.108 |  |
| 全K/% | 1.232 | 1.086 | 1.041 | 1.021 |  |
| 速效 P/mg/kg | 1.866 | 7.61 | 14.66 | 47.67 | 5~20 |
| 速效 K/mg/kg | 65.38 | 60 | 47 | 23.26 | 50-150 |
| 水解 N/mg/kg | 61.68 | 76.25 | 97.2 | 91.87 | 60 〜120 |
| 有机质/% | 1.454 | 1.718 | 2.161 | 3.294 | 1〜3 |
| As/10-6 | 26.59 |  | 30.80 | 31.80 | <40 |
| Hg/XlO-6 | 0.48 |  | 0.416 | 0.300 | <0.3 |
| Pb/X 10—6 | 56.74 |  | 60.30 | 61.30 | <250 |
| Cu/X 10—6 | 49.56 |  | 61.80 | 52.00 | <200 |
| Zn/X 10—6 | 198.6 |  | 240.9 | 228.2 | <500 |
| Mn/X 10-6 | 1448 |  | 1007 | 1347.0 | <3000 |
| Cr/XlO-6 | 134.4 |  | 146.6 | 118.4 | <150 |
| NI/X10^6 | 86.3 |  | 67.9 | 114.9 | <200 |
| pH/X 10-6 | 4.2 |  | 5.2 | 5.6 |  |

注:年度后面的括号内数值为统计样品数

表3 2004.2003年度不同牧草种植区土壤养分增减百分数(与空白区比较)

Table 3.The up/down percentage of soil nutrients in different herbage test parts in 2003 and 2004

(compared with the contrast area)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分析项目 | 年度 | 牧草种 | | 植区 | |
| 第一小区 | 第二小区 | 第三小区 | 第五小区 |
|  | 2004 | -7.03 | +3.78 | +2.16 | + 3.78 |
| 全N | 2003 | — 5.83 | —6.67 | — 27.5 | — 17.5 |
|  | 2004 | + 17.55 | +2.11 | + 19.98 | + 17.12 |
| 全P | 2003 | +21.6 | -5.4 | — 10.6 | -19.8 |
|  | 2004 | — 1.64 | +7.37 | + 7.88 | +4.30 |
| 全K | 2003 | —4.2 | -11.9 | -7.0 | +5.3 |
|  | 2004 | + 89.5 | -11.11 | +54.32 | +46.60 |
| 速效P | 2003 | + 186 | -11.7 | -46.8 | — 62.3 |
|  | 2004 | + 36.69 | -45.32 | -23.74 | + 161.2 |
| 速效K | 2003 | + 130 | -46.4 | -41.1 | +41.1 |
|  | 2004 | -5.61 | -42.95 | -67.62 | -34.86 |
| 水解N | 2003 | —6.1 | -14.3 | — 35.7 | — 26.5 |
|  | 2004 | + 5.69 | + 8.53 | + 11.91 | + 14.55 |
| 有机质 | 2003 | + 13.1 | —3・1 | -24.7 | -29.0 |

表4 各种植区不同年度土壤特性和含水性特征

Table 4. The characteristics and water conservation of soil from different test parts in different periods

种植区

土壤特性

2003年水涵养量/ % 2004年水涵养量/ %

1. 地表15 cm内较疏松、潮湿、往下稍有板结。
2. 地表20 on内较疏松、潮湿、往下稍有板结、硬实。
3. 地表10 on内较疏松、较潮湿、往下稍有板结、硬实、较干。

牧草区 4 地表20 on内较疏松、较潮湿，往下板结、硬实。

5 地表30 cm内较疏松，往下呈弱板结、硬实。

空白

亠*十* 地表15 cm内较疏松但较干，往下板结、硬实。

对照区

桑树 地表10 cm内较疏松、较潮湿，往下板结、硬实。

板栗 地表15 an内较疏松、潮湿、往下板结、较干。

灌木区

任豆 地表10 cm内较疏松,往下稍有硬实、强板结。

银合欢 地表15 cm内较疏松、潮湿、往下稍有板结、也较潮湿。

12.07

12.42

9.89

10.21

10.83

13.29

10.52

12.93

11.51

12.7

12.54

14.24

14.20

16.33

12.41

11.84

11.54

12.68

12.37

土壤pH值在2001年进行基础调查时为4. 2, 显示开展试验前当地土壤属于强酸性，而牧草种 植一年后的2003年，土壤的pH提高至5. 2,并于 牧草种植的第二年，即2004年进一步提高为56 这说明牧草的种植可快速调整土壤的酸碱度，使 土壤更容易疏松，不再板结。

在金属元素方面，有害元素Hg.Cr逐年下 降,Hg由2003年的0.416X 10^降至2004年的 0. 3X IO—,下降幅度达28%,而Cr则由2003年 的 146. 6X lor 降至 2004 年的 118. 4X 10-6,下 降幅度也有19%。其他元素则保持在有利植物 生长的范围内。表明所种植的牧草不仅对土壤 的养分具有修复作用，而且对其中的有害元素 具有迅速调节作用，降低有害金属的毒性。究 其原因，可能与大量牧草的生长可以提高土壤 的pH值，降低酸度，同时增加土壤的有机质，局 部环境还原性增强，降低有毒金属的活性等因 素有关。虽然，利用植物法对受重金属污染区 的土壤进行修复已成为当今国内外有关研究者 所高度关注口―然而使用什么样的植物进行修 复效果好并产生经济效益更是人们热衷的研究 方向，本项研究无疑为怎样利用优良牧草对受 重金属污染的土地进行快速修复提供了新的线 索。

在种植的头一年，各种植区由于所种植的牧 草或灌木对水分的大量吸收，土壤的水涵养性反

而比对照区低，而到了种植的第二年，土壤的水涵 养性得到了较大幅度的改善，在长势优良的牧草 区甚至已经远高于对照区，其中最好的牧草第五 种植小区，已高出对照区近4个百分点（表4）。 然而在灌木种植区，尽管任豆种植小区于第二个 年头时其水涵养性已经略高于对照区，但总体上， 桑树、板栗、银合欢等种植区至种植后第二年时其 土壤水涵养性仍然低于对照区。这表明其一，在 岩溶区土壤修复的初期，在提高其水涵养性方面， 由于草类的根系很发达，能在短期内迅速疏松土 壤，同时，草类的枝叶能迅速腐烂变为有机质，增 加其水涵养性，因而种草比种植灌木（包括乔木） 效果更好;其二，牧草与灌木混种，可能是岩溶区 土壤修复的另一有效途径;其三，不同种类的牧草 和灌木对土壤水涵养性的提高是存在差异的，其 中，牧草类中，宽叶雀稗、巴哈雀稗、坚尼草、狗牙 根、巴拉草的保水性最好,而灌木之中，任豆树与 银合欢保水性能最好;其四，岩溶区土壤的完全修 复是一个需要坚持的漫长过程。

从牧草试验区和灌木试验区的土壤特性看 （表4）,种植两年后,牧草试验区表土疏松层明显 加深，达20 ~30 cm,而对照区为15 cm,几乎提高 了 1倍。但在灌木种植区，变化不大。这从另外 一个角度说明了在植物修复土壤的初始阶段，牧 草比灌木更有效。

**3**结论

1. 适生优良牧草和灌木的种植，对岩溶区生 态恢复与重建，土壤修复的影响巨大,可在短期内 通过生物作用，活化土壤养分和矿物成分，进而达 到改良土壤特性的效果。
2. 不同类型的牧草种植组合对岩溶区土壤 环境的改善有一定的差异。其中，巴拉草+合萌 +三叶草+鸡脚草、宽叶雀稗+巴哈雀稗+柱花 草，狗压根+坚尼草+合萌+三叶草等组合效果 较好。
3. 在用植物法修复土壤的过程中，在开始阶 段，牧草的作用远大于灌木的作用，采用牧草与灌

木混种的方式进行土壤修复可能是今后值得重视 的途径。

1. 生态监测结果表明，经过两年种植后，各 试验小区的生物多样性、土壤肥力、土壤特性、 土壤水分涵养性等都不同程度地得到了提高和 改善，其中以牧草试验区尤为明显。同时由于 植物根系发育，土壤中的微生物增加，使粘重的 土壤变得疏松，调节土壤的pH值，降低土壤酸 度，有害元素降低，有益元素增高，从而改善了 岩溶区的土壤环境，使之更适合于植物生长。 显示试验区所采取的种植方式对岩溶区土壤的 修复行之有效，对岩溶区的生态环境具明显改 善作用。

参考文献：

1. 何子平，蒙福贵.广西岩溶石山区生态重建中土壤资源开发利用与保护对策[J].中国岩溶,2001,20(2)=117-120.
2. 袁道先.中国岩溶学[M].北京:地质出版社，1993:130-133.
3. 曹建华，袁道先，潘根兴.岩溶生态系统中的土壤[J].地球科学进展，2003, 18(1)： 37-44.
4. 李阳兵，王世杰，李瑞玲.岩溶生态系统的土壤[J].生态环境,2004, 13(3)： 434-438.
5. 李先琨，何成新，蒋忠诚.岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法[J].中国岩溶,2003,22(1)：12-17.
6. 李彬.西南岩溶区石漠化防治现状及对策[J].国土资源科技管理,2002,19(4)：1-4.
7. 赖兴会.云南岩溶地区石漠化生态恢复的思路[J].中南林业调查规划,2005, 24(1)： 12-15.
8. 魏江春.沙漠生物地毯工程——干旱沙漠治理的新途径[J].干旱区研究，2005, 22(3):287-288.
9. 莫剑锋，田昆，常凤来，陆梅.滇黔桂岩溶山区退化土壤环境生态修复的探讨[J].贵州林业科技，2005, 33(2)：15-18.
10. 焦峰,温仲明，焦菊英,李锐.黄土丘陵区退耕地土壤养分变异特征[J].植物营养与肥料学报,2005,11(6)：724-730.
11. 李法云，曲向荣,吴龙.污染土壤生物修复理论基础与技术[M].北京:化学工业出版社,2006.

STUDY ON COUNTERMEASURES FOR SOIL REMEDIATION IN KARST DISTRICTS

OF GUANGXI ZHUANG AUTONOMOUS REGION, CHINA

—A CASE STUDY ON A DAIRY FARM OF GUILIN QTY

ZHANG Jun-peng1, CHEN Yuan-rong1, WANG Xiao-huiS YU Bo2

(1. *Guilin Institute of Technology, Guilin* 541004, *China* ； 2. *Omennasi Mining Ltd. Company, XV an* 710075, *China )*

**Abstract：** Soil is a basic resource for human beings and plays an iirp)rtant role in ecorestoration of Karst Areas. The pre­sent paper investigated the effect of soil fertility, water conservation, acid and alkaline feature on plant diversity and soil re­mediation on the basis of our e^erimental data. It was found that planting high quality herbage could restore the karst soil environment in a short period of time with diflferent species of herbage and shrub showing various effects on soil remediation. It was concluded that mixing planting of herbage and shrub was an inportant way needed to be paid attention to in the future for karst soil restoration.

**Key words：** soil；karst area； ecorestoration； biodiversity conservation