

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2016.06.007

四川岩溶区石漠化土地立地分类研究

兰立达¹, 陈勇², 蔡凡隆^{1*}, 李德文¹, 张军¹

(1. 四川省林业调查规划院, 四川成都 610081; 2. 攀枝花市林业调查规划设计院, 四川攀枝花 617000)

摘要: 本文从植被恢复角度出发, 针对四川岩溶区石漠化土地的特殊性, 依据主导因子的不同, 逐级控制、逐级分类, 将四川岩溶区石漠化土地划分为4个立地区、26个立地类型组和127个立地类型。

关键词: 四川; 石漠化土地; 立地分类

中图分类号: S714.6 文献标识码: A 文章编号: 1003-5508(2016)06-0032-06

A Study of the Site Classification of Rocky Desertification Land in Sichuan Province

LAN Li-da¹ CHEN Yong² CAI Fan-long^{1*} LI De-wen¹ ZHANG Jun¹

(1. Sichuan Forest Inventory and Plan Institute, Chengdu 60081, Sichuan, China;

2. Panzhihua Forest Inventory and Plan, Panzhihua 617000, Sichuan, China)

Abstract: In this paper, based on the vegetation restoration, particularity the features of rocky desertification land in Sichuan Province, and the differences of key factors, the rocky desertification lands of karst areas in Sichuan are divided into 4 areas, 26 site type groups and 127 site types by progressive control and classification.

Key words: Sichuan Province, Rocky desertification land, Site classification

四川岩溶区石漠化土地具有面积大、程度深、分布广和区域特点明显等特征, 其脆弱生态环境严重制约着区域经济社会的可持续发展, 是当前生态建设的重点和难点。本文从石漠化土地植被恢复角度出发, 利用四川岩溶区石漠化监测数据, 依据主导因子的不同, 逐级控制、逐级分类, 建立四川岩溶区石漠化土地立地分类系统, 在理论上丰富立地分类的内容, 同时能指导四川岩溶区石漠化土地植被恢复, 加快推进绿化全川行动和筑牢长江上游生态屏障。

1 石漠化土地立地分类研究文献综述

1.1 立地分类方法的理论演进

立地分类实践与理论研究起源于芬兰; 发展于

德国、美国以及加拿大等林业发达国家, 并形成著名的巴登-符腾堡综合多因子分类方法; 丰富完善于前苏联, 形成了“林型学”和“立地学”两大分类方法。我国对森林立地类型的研究和实践开始于20世纪50年代, 主要采用前苏联立地学派和林型学派的方法, 以立地类型作为林型分类的基础进行宜林地的立地类型划分(1926年由G. A. Kranss提出, 具体内容就是对一个地区或一个局部的生态系统, 按重要生境因子进行综合分类。该系统有地区级和局部级两个分类水平级。地区级由两个等级组成, 生长区根据地质、气候和土壤方面的主要差别划分生长亚区主要用小气候, 同时还可以用母岩、土壤和植被方面的差别来细分。局部级即立地单元, 主要根

收稿日期: 2016-08-30

基金项目: 2015年度四川省学术和技术带头人培养资金资助项目。

作者简介: 兰立达(1973-), 男, 高级工程师, 长期从事森林资源调查规划设计工作。

* 通讯作者: 蔡凡隆(1963-), 教授级高级工程师, 长期从事林业生态环境建设的科学研究及科技推广、营造林设计和沙化、石漠化土地监测工作。

据地形、土壤质地、结构、酸度、深度和持水能力等、小气候、二层林木和林下植被等方面的局部性差异来区分。来源于:<http://baike. so. com/doc/2388660-2525720. html>,2016. 5. 12 日访问。)。立地分类是一种逐级控制的分类系统,不同级别的划分,依据不同的主导因子,并为不同对象服务(周政贤、杨世逸,1987)^[2]。由于评价的目的或侧重点不同,分类级别主要在 3 级~5 级,立地分类的指标或综合多因子各有不同,其中:地形地貌、土壤、坡向、坡度、海拔、植被盖度、侵蚀强度等成为重要的分类因子。

1.2 国内外石漠化土地立地分类研究动态

尽管森林立地的分类与评价研究已经较为成熟,但针对岩溶区石漠化土地立地分类却较少。近 30 多年来,世界上许多国家都十分重视对岩溶环境问题的研究。1979 年 H. E. Legrad 首次提出了岩溶区的生态环境问题。1983 年在美国科学促进会第 149 届年会上,正式把岩溶和沙漠边缘地区等地列为脆弱环境。国外早期的岩溶研究侧重地质成因、地貌特征、水文特征及发育过程,结合经济社会发展需要,对岩溶水文地质、工程地质、地球物理勘探、岩溶洞穴、岩溶发育理论等做了大量研究。目前比较关注岩溶环境的理论基础和应用研究,诸如退化岩溶生态系统的恢复重建,生物多样性保护,岩溶区人口-资源-环境与区域经济发展等。因世界其他各国石漠化发生机率小,且分布相对零散、面积小、危害轻,因而在国际上针对岩溶区石漠化开展的相关研究不多,从已收集的资料看,国外有关石漠化土地立地分类未见有研究。

长期以来,我国岩溶区的自然环境与社会经济活动之间处于不协调状态,石漠化给社会和生态环境带来了严重的影响。20 世纪 90 年代,我国开始重视石漠化研究,逐步开展了岩溶区石漠化现状评价、成因、过程、危害和预警机制研究(王德炉,2003;熊康宁等,2002;胡宝清,2004;李瑞玲等,2004)。近年来根据石漠化治理试点示范的主要经验模式和措施进行总结分析(甘露,2001;钟爱平,2000;苏维词,1998;王克林,1999)。而针对岩溶区石漠化土地立地分类研究整体不多,并以贵州、广西为主要研究对象。周政贤等(2002)^[3]按照岩性和地貌类型组合将贵州石漠化退化土地划分为 5 种类型区;王德炉等(2005)^[4]根据岩性、小生境种类及组合、土壤特性等基本特征,将石漠化分为显性石漠化和隐性石漠化两大类型。高瑞华等(2011)^[5]根

据贵州省地质地貌条件的特殊性,通过立地因子筛选,确立立地类型组划分的主导因子为岩性,立地类型划分的主导因子为坡性,并将贵州石漠化区分为 5 个立地类型区、两个立地类型组和两个立地类型,共形成 20 个立地类型组合。吕仕洪、陆树华、李先琨等(2005)^[6]以石漠化严重和扩展趋势明显的广西平果县果化镇布尧村龙何屯为例,在现有土地利用类型的基础上,综合坡度、土层厚度、裸岩率、植被盖度等因子,将该屯土地划分为 8 个立地类型。陈平等(2009)^[7]以坡度划分立地类型小区,以土被连续性划分立地类型组,以土层厚度划分立地类型,共分出 3 个立地类型小区,12 个立地类型组和 30 个立地类型。这些立地分类指标选择和层级划分对四川岩溶区石漠化土地立地分类分具有借鉴意义。

2 研究区概况

四川岩溶地区涉及 10 个市(州)46 个县(市、区),介于东经 100°07'~107°15'、北纬 26°10'~30°41'之间,岩溶地区面积 277.7 万 hm^2 ,占全省国土面积的 5.7%;其中,石漠化土地 73.2 万 hm^2 ,占岩溶地区面积的 26.3%;潜在石漠化土地 76.9 万 hm^2 ,占 27.7%。四川石漠化土地集中分布在川西南山地区、川南盆地边缘区、川东平行岭谷区和盆地丘陵区,地貌类型以中、低山石丘坡地、溶蚀残丘、宽谷盆地为主,成土母岩主要为石灰岩、白云质灰岩以及灰岩夹粉砂岩、砾岩等,土壤类型主要为黄壤、黄色石灰土、棕色石灰土、红色石灰土和黑色石灰土,受发育程度和淋溶作用的影响,有部分山地黄壤。总的来说,四川岩溶区土壤土层薄,石砾多,岩土间附着力极低,在缺乏植被保护的情况下土壤容易被冲刷流失。

3 研究方法

运用 2011 年四川岩溶地区石漠化监测获得的 58159 个图斑数据(信息),数据(信息)包括岩溶区土地类型、石漠化程度、土地利用类型和环境因子,通过统计分析、专家咨询、主导因子筛选和借鉴巴登-符腾堡分类方法及立地学分类方法,利用综合多因子逐级控制、逐级分类,建立岩溶区立地分类系统。

4 立地分类原则、层级和依据

4.1 立地分类原则

依据四川岩溶区的自然地理条件,遵循以下原则:

(1)多层次多级序原则

立地因子的控制层次不同,影响范围不同,共性及特性不同,因而应用的区域尺度不同。

(2)主导因子原则

岩溶区土地石漠化受多种因素的作用,立地因子类型多,有自然因素,也有社会因素。以自然因素为立地分类的依据已广泛接受和采用,包括地貌(含岩溶地貌)、地形、气候、石漠化、土壤条件等。为便于分类,对同一层次控制的因子确定 1 个~2 个,即,主导因子。

(3)相关性原则

选择的立地因子,必须与植被恢复措施与决定植物生长的因素有关,能客观地反映立地的生产力水平。

(4)科学实用性原则

选择的立地因子必须具有明确的科学含义,且可以直观识别,信息数据易于采集、掌握和判定,具有一定的空间尺度。

4.2 立地分类的层级和依据

根据岩溶区的自然地理特点,在立地分类原则指导下,对四川岩溶区石漠土地立地分类采用 3 层级分类,即:第 1 层级为立地区,第 2 层级为立地类型组,第 3 层级为立地类型。

(1)立地区:立地区是立地分类系统中的最高分类单位,它是较大范围的地理区域划分,划分主要依据能反映不同区域特征的因子。划分出的具体区域是一个较大的、完整的生态系统,在空间上具有唯一性。分类依据大地貌、气候条件。

(2)立地类型组:立地类型组是分类系统中分类的重要单位,是立地类型的组合,没有特定的地理位置,在同一立地区内可能重复出现。分类依据为岩溶地貌和土壤。

(3)立地类型:立地类型是立地分类的基本单位,也是落实植被恢复技术的基本单位,立地类型之间的差异,就是生态系统的局部差异。一个立地类型即为一个小生境,同一个立地类型,其小地形、土壤特征,石漠化特征、小气候、适宜树种及限制条件

都基本相同,并具有相似的生产力。本级分类依据为基岩裸露度、土层厚度。

各层级主导因子见表 1。

层级	主导因子	备注
立地区	大地貌 气候	①丘陵 ②低山 ③中山 亚热带湿润季风气候
立地类型组	岩溶地貌 土壤	①岩溶丘陵 ②岩溶山地 ③岩溶峡谷 ④岩溶槽谷 ①黄壤 ②黄色石灰土 ③黑色石灰土 ④棕色石灰土 ⑤红色石灰土
立地类型	基岩裸露度 土层厚度	①轻度:30%~49% ②中度:50%~69% ③重度:≥70% ①中厚:≥40 cm ②薄:20 cm~39 cm ③极薄:<20 cm

5 结论与讨论

5.1 结论

根据前述立地分类原则、立地分类层级和各层级主导因子,建立以“4 个立地区—26 个立地类型组—127 个立地类型”构成的四川岩溶区石漠化土地立地分类系统(详见表 2)。

(1)立地区:根据地貌、气候条件的相似性,将岩溶区划分为盆中丘陵岩溶立地区、川南盆地边缘岩溶立地区、川东北平行岭谷岩溶立地区、川西南山地岩溶立地区 4 个区,这是最大尺度区域的划分。

盆中丘陵岩溶立地区:包括资中、威远两县,属于典型的丘陵地貌,岩溶区面积 1.6 万 hm^2 。

川南盆地边缘岩溶立地区:包括叙永县、古蔺县、乐山市五通桥区、峨眉山市、犍为县、沐川县、洪雅县、高县、长宁县、筠连县、珙县、兴文县、屏山县 13 个县(市、区),是云贵高原向四川盆地的过渡地带,岩溶区面积 79.4 万 hm^2 。

盆东平行岭谷岩溶立地区:包括广安市的前锋区、华蓥市、邻水县 3 个县(市、区),岩溶区面积 7.9 万 hm^2 。

川西南山地岩溶立地区:包括凉山州 17 县市,甘孜州康定市,攀枝花市西区、仁和区、盐边县、米易县 4 个县(区),雅安市石棉县、汉源县、芦山县 3 个县,乐山市金口河区、峨边县、马边县 3 个县(区),共计 28 个县(市、区),岩溶区面积 188.9 万 hm^2 。

(2)立地类型组:在 4 个立地区的控制下,依据岩溶地貌和土壤类型(土壤亚类)的相同性,将岩溶区石漠化土地划分为 26 个立地类型组,其中盆中丘陵岩溶立地区两个,川南盆地边缘岩溶立地区 9 个,

盆东平行岭谷岩溶立地区 6 个,川西南山地岩溶立地区 9 个。

(3) 立地类型:在 26 个立地类型组的控制下,依据基岩裸露度、土层厚度,将岩溶区石漠化土地划

分为 127 个立地类型,其中盆中丘陵岩溶区 10 个,川南盆地边缘岩溶立地区 45 个,川东平行岭谷岩溶立地区 30 个,川西南山地岩溶立地区 42 个。

表 2 四川岩溶区石漠化土地立地分类表

立地区	立地类型组	立地类型
盆中丘陵岩溶立地区	岩溶丘陵黄壤组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄壤型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶丘陵黄色石灰土组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄色石灰土型
川南盆地边缘岩溶立地区	岩溶槽谷黄壤组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶槽谷黄色石灰土组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层黄色石灰土型
	岩溶槽谷黑色石灰土组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黑色石灰土型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黑色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黑色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黑色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露黑色石灰土型
	岩溶丘陵黄壤组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄壤型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶丘陵黄色石灰土组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄色石灰土型
	岩溶丘陵黑色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层黑色石灰土型
		岩溶山地轻度裸露薄层黑色石灰土型
		岩溶山地中度裸露薄层黑色石灰土型
		岩溶山地中度裸露极薄层黑色石灰土型
		岩溶山地重度裸露极薄层黑色石灰土型
岩溶山地黄壤组	岩溶山地轻度裸露中厚层黄壤型	
	岩溶山地轻度裸露薄层黄壤型	
	岩溶山地中度裸露薄层黄壤型	
	岩溶山地中度裸露极薄层黄壤型	
	岩溶山地重度裸露极薄层黄壤型	
岩溶山地黄色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层黄色石灰土型	
	岩溶山地轻度裸露薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露极薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地重度裸露极薄层黄色石灰土型	
岩溶山地黑色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层黑色石灰土型	
	岩溶山地轻度裸露薄层黑色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露薄层黑色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露极薄层黑色石灰土型	
	岩溶山地重度裸露极薄层黑色石灰土型	

(续表2)

立地区	立地类型组	立地类型
盆东平行岭谷岩溶立地区	岩溶槽谷黄壤组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶槽谷黄色石灰土组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层黄色石灰土型
	岩溶丘陵黄壤组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄壤型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄壤型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶丘陵黄色石灰土组	岩溶丘陵轻度裸露中厚层黄色石灰土型
		岩溶丘陵轻度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵中度裸露极薄层黄色石灰土型
		岩溶丘陵重度裸露极薄层黄色石灰土型
	岩溶山地黄壤组	岩溶山地轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶山地轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶山地中度裸露薄层黄壤型
		岩溶山地中度裸露极薄层黄壤型
岩溶山地重度裸露极薄层黄壤型		
岩溶山地黄色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层黄色石灰土型	
	岩溶山地轻度裸露薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露极薄层黄色石灰土型	
	岩溶山地重度裸露极薄层黄色石灰土型	
川西南山地岩溶立地区	岩溶槽谷黄壤组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层黄壤型
		岩溶槽谷中度裸露薄层黄壤型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶槽谷红色石灰土组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层红色石灰土型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层红色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层红色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露薄层红色石灰土型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层红色石灰土型
	岩溶槽谷棕色石灰土组	岩溶槽谷轻度裸露中厚层棕色石灰土型
		岩溶槽谷轻度裸露薄层棕色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露中厚层棕色石灰土型
		岩溶槽谷中度裸露薄层棕色石灰土型
		岩溶槽谷重度裸露极薄层棕色石灰土型
	岩溶山地黄壤组	岩溶山地轻度裸露中厚层黄壤型
		岩溶山地轻度裸露薄层黄壤型
		岩溶山地中度裸露薄层黄壤型
		岩溶山地中度裸露极薄层黄壤型
		岩溶山地重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶山地红色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层红色石灰土型
		岩溶山地轻度裸露薄层红色石灰土型
		岩溶山地中度裸露薄层红色石灰土型
		岩溶山地中度裸露极薄层红色石灰土型
岩溶山地重度裸露极薄层红色石灰土型		
岩溶山地棕色石灰土组	岩溶山地轻度裸露中厚层棕色石灰土型	
	岩溶山地轻度裸露薄层棕色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露薄层棕色石灰土型	
	岩溶山地中度裸露极薄层棕色石灰土型	
	岩溶山地重度裸露极薄层棕色石灰土型	

(续表 2)

立地区	立地类型组	立地类型
	岩溶峡谷黄壤组	岩溶峡谷轻度裸露中厚层黄壤型 岩溶峡谷轻度裸露薄层黄壤型 岩溶峡谷中度裸露极薄层黄壤型 岩溶峡谷重度裸露极薄层黄壤型
	岩溶峡谷红色石灰土组	岩溶峡谷轻度裸露中厚层红色石灰土型 岩溶峡谷轻度裸露薄层红色石灰土型 岩溶峡谷中度裸露极薄层红色石灰土型 岩溶峡谷重度裸露极薄层红色石灰土型
	岩溶峡谷棕色石灰土组	岩溶峡谷轻度裸露中厚层棕色石灰土型 岩溶峡谷轻度裸露薄层棕色石灰土型 岩溶峡谷中度裸露极薄层棕色石灰土型 岩溶峡谷重度裸露极薄层棕色石灰土型

5.2 讨论

(1) 由于四川岩溶区岩溶地貌多样, 为避免立地类型组划分时组合数量过多而繁杂, 本文将峰丛洼地和孤峰残丘及平原两个具有小地形特征、面积小的岩溶地貌进行了归并, 其中峰丛洼地归入岩溶槽谷, 孤峰残丘及平原归入岩溶丘陵。

(2) 本文在立地类型划分的主导因子选择了基岩裸露度, 主要考虑的是基岩裸露度是土地石漠化的重要指标之一, 与植被恢复的技术措施有直接关联, 且直观、易判别和掌握, 与传统选择海拔、坡位等有所不同, 这是否适合还需要在实践中检验。

参考文献:

[1] 吴菲. 森林立地分类及质量评价研究综述[J]. 林业科技情报,

2010(1):12~13.

[2] 周政贤, 杨世逸. 试论我国立地分类理论基础[J]. 林业科学, 1987(1).

[3] 王德炉, 朱守谦, 黄宝龙. 贵州喀斯特石漠化类型及程度评价[J]. 大学学报, 2005(5):1057~1063.

[4] 周政贤, 毛志忠, 喻理飞, 等. 贵州石漠化退化土地及植被恢复模式[J]. 贵州科学, 2002, 20(1).

[5] 高华端, 林泽北, 罗婷, 等. 贵州省强度石漠化区立地分类系统研究[J]. 水土保持研究, 2011(2).

[6] 吕仕洪, 陆树华, 李先琨, 等. 广西平果县石漠化地区立地划分与生态恢复试验初报[J]. 中国岩溶, 2005(3).

[7] 陈平, 万福绪, 秦飞, 等. 徐州市石灰岩低山丘陵地立地分类及应用研究[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2009(3):69~72.

(上接第 26 页)

[11] Dick R P. Soil enzyme activities as integrative indicators of soil health[A]. In: Parkhurst CE, Doube BM, Gnpa VVSR. Bioindicators of Soil Health[C]. United Kingdom, Oxon; CAB International, 1997:121~156.

[12] Doran J W, Parkin T B. Defining and assessing soil quality [A]. Soil Society of America Spatial Publication (SSSA Spec. Publ). 35. SSSA and ASA, Madison. Wisconsin, 1994:3~211.

[13] Hoger D. Effects of crop rotation and soil cover on alteration of the soil micro flora generated by the culture of transgenic plants producing opines[J]. Molecular Ecology, 2000, 9:881~890.

[14] Tschirko D, Kandeler E. Classification and monitoring of soil microbial biomass, mineralization and enzyme activities to indicate environmental changes [J]. Die Bodenkultur, 1999, 50: 215~226.

[15] Harris J A. Measurements of the soil microbial community for estimating the Success of restoration[J]. Eur J Soil Sci, 2003, 54: 801~808.

[16] Dung X Z, Hung J H. Diversity of prokaryotic microorganisms [J]. Biodiv Sci, 2001, 9(1):18~24.

[17] 吴雅琼, 刘国华, 傅伯杰, 等. 《中国森林生态系统土壤 CO₂ 释放分布规律及其影响因素》[J]. 生态学报, 2007, 27(5):2126~.

[18] 胡金明, 袁寒, 李杰, 等. 《滇西北山地湖沼纳帕海湿地地区土壤速效氮组分的分异及指示意义》[J]. 山地学报, 2011(3).

[19] 齐伟, 张凤荣, 牛振国, 等. 《土壤质量时空变化一体化评价方法及其应用》[J]. 土壤通报, 2003(1).

[20] 刘德春, 何鑫, 王昌全. 《马尔柯夫法在土壤质量动态评价中的应用》[J]. 国土与自然资源研究, 2004(2).