

桂林红壤侵蚀区植被恢复过程的土壤理化性质变化*

Soil Change of Physical and Chemical Characteristic during Vegetation Restoration in Eroded Area of Red Soil in Guilin

陆树华,李先琨,吕仕洪,向悟生,欧祖兰,覃家科,王晓英,叶文培

LU Shu-hua, LI Xian-kun, Lü Shi-hong, XIANG Wu-sheng, OU Zu-lan, QIN Jia-ke, WANG Xiao-ying, YE Wen-pei

(广西植物研究所,广西桂林 541006)

(Guangxi Institute of Botany, Guilin, Guangxi, 541006, China)

摘要:在广西桂林兴安县红壤侵蚀区人工设置4种植被恢复模式(阔叶树区、药材区、果树区和毛竹杉木区),研究不同人工植被恢复模式下林地土壤的理化性质与变化趋势,并与桂林灵川县境内自然植被演替过程的草丛阶段、灌丛阶段、针阔混交林阶段和常绿阔叶林阶段的土壤理化特性进行对比分析。结果表明,4种人工植被恢复模式下的土壤容重明显降低,含水量明显增加,与自然演替4个阶段的土壤容重和含水量变化一致。植被恢复过程中人工恢复模式和外套自然演替的土壤pH值均趋向增加,有机质含量和氮素含量均呈现增加趋势,但是土壤钾素含量与磷素含量都偏低,需要通过施肥加以缓解。在红壤侵蚀区通过人工手段进行植被恢复,能够改良土壤,提高土壤保肥培肥功能,对加速侵蚀区植被恢复有意义。

关键词:红壤 侵蚀区 特性 植被

中图法分类号:S158.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2006)01-0052-06

Abstract: In this paper, soil physical and chemical characteristics of red soil under four modes of vegetation restoration (broadleaved tree area, herb area, fruit tree area, Mao bamboo and fir area) in eroded area and different stages of vegetation natural succession (grass mass, shrub mass, coniferous and broadleaved mixed forest, evergreen broadleaved forest) in Xing'an county were analyzed. The results show that in four artificial restoration modes, soil bulk density decline and soil moisture increase, which has the same trend with nature succession area. In both artificial restoration area and nature succession area, soil pH value and the content of organic matter and N increase but the content of K and P are too low and need to apply more fertilizer. The restoration of vegetation by artificial method in eroded area of red soil can improve the soil fertility, help the soil to keep and cultivate fertility, to accelerate the vegetation restoration in eroded area as well.

Key words: red soil, eroded area, characteristic, vegetation

红壤侵蚀区指土壤侵蚀强烈、水土流失严重和生态退化趋势明显的红壤分布区。红壤地区已成为我国水土流失范围最广、程度较高的地区,严重程度仅次于

黄土高原,是我国治理土壤侵蚀和水土流失的重点区域之一^[1]。红壤侵蚀区是热带和亚热带典型的退化生态系统,其生态系统的结构和功能已发生了根本性的变化,水土流失、土地退化是其最重要的特征。在红壤侵蚀区形成与发展的过程中,人类活动居于主导因素的作用^[2]。唐克丽^[3]指出,侵蚀环境的主要特点表现为土地切割破碎,自然植被退化,生物多样性消失,土壤质量急剧下降等。合理利用红壤,特别是侵蚀型红壤的恢复重建是目前土壤学家关注的热点。植被恢

收稿日期:2005-04-21

修回日期:2005-09-06

作者简介:陆树华(1979-),男,广西来宾人,研习员,主要从事土壤与生态环境方面研究。

* 中国科学院生命科学与生物技术特别支持费课题(STZ-00-10),中国科学院“西部之光”人才培养计划项目。

复是恢复与重建红壤侵蚀区自然生态系统的有效途径^[4]。自然封育和人工重建是红壤侵蚀区植被恢复的两种基本途径^[5]。本文通过研究4种不同的人工恢复植被模式下林地土壤的性质特点及变化趋势,并以“空间代替时间”的方法,对比了自然状态下植物演替过程中,草丛阶段、灌丛阶段、针阔阶段、混交林阶段和常绿阔叶林阶段的土壤肥力特点,分析人工手段在植被恢复过程中的作用,为红壤侵蚀区生态恢复提供参考依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区域概况

研究区位于广西桂林兴安县清水林场,地处东经110°34',北纬25°39',海拔360~460m,为低山丘陵。该区雨量充沛,四季分明,气候适宜,无霜期在293d,积温高,(0℃积温6510℃,10℃积温5603℃),年日照时长为1468.8h,多年平均气温17.8℃,年平均相对湿度79%,年均蒸发量1635.7mm,全年降雨主要集中在3~8月份,多年平均降雨量为1814mm,属于亚热带湿润季风气候,土壤为红色砂岩母质发育而成的红壤。研究区进行试验前以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)营林为主,人工采伐杉木后由于地被物的破坏和对土壤的翻动,引起土壤有机质和养分下降、土壤侵蚀加剧,进而导致土壤薄层化和砂化而形成的红壤侵蚀区,属人为干扰而成的退化生态系统类型,水土流失十分严重。本研究选取4个杉木采伐迹地作为试验区,试验区位于同一中下坡,立地条件较一致,每个试验区采取不同的植被恢复模式。

模式1(M₁)为阔叶树区,采用定点挖坑的方式,株行距3m×3m,坑的规格为0.50m×0.50m×0.50m,种植木荷(*Schima superba*)、杜英(*Elaeocarpus decipiens*)、饭甑锥(*Cyclobalanopsis fleuryi*)、石笔木(*Tutcheria championi*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)、观光木(*Tsoongiodendron odorum*)等阔叶树,树龄均为2a,各树种之间采用行间混交,试验区的栽培管理措施主要目的是抚育幼林,即在每年11~12月割除行间的灌草层植物。

模式2(M₂)为药材区,种植南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *maireri*)、杜仲(*Eucommia ulmoides*)、凹叶厚朴(*Magnolia officinalis* subsp. *biloba*)、黄柏(*Phellodendron amurense*)等,树龄均为2a,采用定点挖坑的方式,株行距3m×3m,坑的规格为0.50m×0.50m×0.50m,各树种之间采用株间和带状混交方式,其中南方红豆杉与其他3个树种是采用株间混交,而杜仲、凹叶厚朴和黄柏三者之间则采用带状混

交,每带3行,即杜仲、凹叶厚朴、黄柏和南方红豆杉的定植之比1:1:1:3,与阔叶林区同时定植。每年11~12月割除种植行间的灌草层植物,每年4月施用化肥1次。

模式3(M₃)为果树区,分为2个栽培小区,分别种植枇杷和杨梅,树龄为1a,株行距3m×4m,定植前先进行带状平地,带宽2.5m,带间距1.5m,然后在定植点穴状整地,坑的规格为0.80m×0.80m×0.60m,施足基肥。有机肥每年施1次,于12月至次年1月施用,化肥则在4月和8月各施用1次;种植隔离带的灌草植物,在每年6~7月和11~12月各割除1次并就地覆盖。

模式4(M₄)为毛竹杉木区,杉木和毛竹(*Phyllostachys pubescens*)均为2a生幼树,采用传统抚育管理措施,即在每年11~12月割除行间灌草层植物并对试验小区进行全面翻垦,以此与上述3个试验小区进行对照。M₁、M₂、M₃树种均于2001年进行定植,M₄保留自然状态。在M₁、M₂、M₃地表裸露地栽植猪屎豆(*Crotalaria pallida*)、柱花草(*Stylosanthes* spp.)等草本植物。

为与人工植被恢复研究区作比较,本研究还在漓江上游的灵川县境内,选择一个植被自然演替研究区。该区地处E 110°25',N 25°32',海拔为200~400m,土壤以红壤为主。主要的植被类型包括草丛、灌丛、次生的针阔混交林和常绿阔叶林,这4种植被类型在漓江上游流域的分布面积很广,是比较有代表性的几种植被类型。其中,草丛的主要组成种类是铁芒萁(*Dicranopteris linearis*)和五节芒(*Miscanthus floridulus*),平均高度0.8m,覆盖度100%,演替年限为2~3a;灌丛的主要组成种类是桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa*)和白栎(*Quercus fabri*),平均高度1.2m,覆盖度90%,演替年限为5~6a;针阔混交林的主要组成种类为马尾松(*Pinus massoniana*)和栲树(*Castanopsis fargesii*),平均高度为9.3m,覆盖度为80%,演替年限22a;常绿阔叶林的主要组成种类为栲树,平均高度13.4m,覆盖度60%,演替年限为30a。

1.2 研究方法

4种人工植被恢复模式供试土壤分别于2001年、2003年相同月份进行采集,植被自然演替4个阶段的土壤样品于2003年采集。样品采集是在每个模式区内及植被演替各阶段样地内随机选取3个土壤剖面,每个剖面在土壤0~20cm、20~40cm深度各取3个样品。样品经风干后粉碎,挑去植物细根后分别过20目、80目和100目筛,并分别密封贮藏,供分析

土壤养分。土壤养分分析项目包括 pH 值、有机质、速效磷、全氮、速效钾、土壤阳离子代换量等。各养分的分析和统计按中国科学院南京土壤研究所分析方法^[6]和森林土壤分析方法^[7]进行。

2 结果与分析

2.1 植被恢复过程中土壤物理性状的变化

在同一气候条件下进行的土壤物理性质测定表明(表 1),在植被人工恢复或自然演替过程中,土壤容重和土壤含水量均发生较为明显的变化。在植被恢复试验中,与采伐迹地(草丛)相比,果树区、经济林区、阔叶树区和杉竹区的表层土壤(0~20cm)容重分别下降了 $0.23 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $0.30 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、 $0.37 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和 $0.33 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,分别下降达 9.15%、13.41%、26.22% 和 15.85%,下层土壤(20~40cm)则分别下降了 14.80%、19.36%、23.87% 和 21.29%,变化比较明显。与土壤容重相反,各试验小区的土壤含水量较草丛阶段的含水量均有所提高,其中果树区、药材区、阔叶树区和杉竹区表层土壤的土壤含水增加量分别为 2.65%、5.74%、10.99% 和 17.67%,增幅分别达到 13.76%、29.48%、55.87% 和 90.65%,下层土壤的土壤含水增加量分别为 2.65%、5.74%、10.99% 和 17.67%,增幅分别达到 13.76%、29.48%、55.87% 和 90.65%,变化比较明显,表明试验区内的土壤已得到一定程度的改善。

进一步比较发现,由于植物配置方式以及栽培管理等方面的差异,各试验小区土壤容重及土壤含水量差异较大,以表层土壤为例,各试验小区的土壤容重下降幅度的大小顺序为阔叶树区>杉竹区>药材区>果树区;而土壤含水增加量的大小顺序为杉竹区>阔叶树区>药材区>果树区,说明不同植被恢复模式对土壤容重及土壤含水量有一定的影响。

对于植被自然演替不同演替阶段,其表层土壤容重的大小顺序为草丛>灌丛>常绿阔叶林>针阔混交林,说明随着植被的不断演替其土壤容重会逐渐降低,主要原因是恢复初期(灌丛和草丛)的群落结构比较简单,生物量小,枯落物层薄,腐殖质含量少,土壤孔隙度低,因而其土壤容重较大,土壤含水量较低;而中后期(针阔混交林和常绿阔叶林)的群落结构比较复杂,生物量大,枯落物层厚,腐殖质含量高,土壤孔隙度较高,因而土壤容重较低,土壤含水量较高。

2.2 植被恢复过程中土壤化学性质的变化

植被人工恢复模式及自然演替植被下的土壤化学性状变化见表 2。

表 1 2003 年植被人工恢复及自然演替下土壤容重和含水量测定结果

Table 1 Results of soil bulk density and soil moisture under different artificial restoration modes and nature successions

采集地点 Site		土层 Depth (cm)	土壤容重 Soil bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	土壤含 水量 Soil moisture (%)
兴安试验 区 Xingan experimental area	M ₁	0~20	1.32	22.12
		20~40	1.49	25.68
	M ₂	0~20	1.25	25.21
		20~40	1.41	22.90
	M ₃	0~20	1.18	30.48
		20~40	1.21	32.65
	M ₄	0~20	1.22	37.64
		20~40	1.38	36.43
自然演替 研究区 Nature Succession area	常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forest	0~20	0.98	23.11
		20~40	1.17	21.73
	针阔混交林 Coniferous and broadleaved mixed forest	0~20	0.93	22.18
		20~40	1.07	21.58
	灌丛 Shrub mass	0~20	1.34	14.20
		20~40	1.53	16.70
	草丛 Grass mass	0~20	1.55	19.47
		20~40	1.64	19.67

2.2.1 植被恢复过程中土壤 pH 值的变化

从表 2 可看出,各不同植被恢复模式下土壤 pH 值为 4.55~4.76,表层与下层土壤 pH 值相差较小。与植被自然演替各阶段的土壤 pH 值相比,人工植被恢复模式下的土壤 pH 值趋向增加,土壤酸化程度减小。

2.2.2 植被恢复过程中土壤有机质含量变化

从表 2 可看出,人工植被恢复模式的土壤有机质含量 2003 年与 2001 年相比,除 M₄ 表层土壤外,都呈增高趋势,表明在地表植草增加盖度,同时上层植被逐渐恢复的情况下,土壤有机质不断增加。而毛竹杉木林(M₄)表层土壤有机质降低可能是杉木受砍伐后地被物受人为破坏严重,在无人工措施进行干预的情况下,表层土壤裸露易受雨水冲刷侵蚀,并由于其坡度较大,部分地表枯枝落叶及半腐化层随地表径流流失,因而有机质含量降低。2001 年表层土壤有机质含量 M₄>M₁>M₂>M₃,而 2003 年表层土壤有机质含量则呈现 M₃>M₁>M₂>M₄,两年间除 M₄ 降低了 4.1% 外, M₁、M₂、M₃ 分别增加了 5.0%、5.7%、12.4%,这一变化趋势说明红壤侵蚀地进行人工增加地被物并进行植被恢复,较之自然状态,是能够增加土壤有机质,提高土壤保肥力和缓冲性的。与表层土

壤相比,各模式下层土壤(20~40cm)有机质含量的变化趋势较一致,2003年与2001年相比都有所增加, M_1 、 M_2 、 M_3 、 M_4 增幅分别达 27.3%、18.9%、31.9%、11.9%,增幅较表层土壤高,这与植株移栽前进行土地翻垦使地上部有机体埋没于土表下并进行有机体的分解有关,但下层含量都较表层土壤含量低。

从表 2 可看出,植被自然演替各阶段中,表层土壤有机质含量呈针阔混交林>常绿阔叶林>灌丛>草丛,其中植被演替达较高阶段的针阔混交林与常绿阔叶林含量接近,在 40mg/kg 以上,而较低阶段的草丛及灌丛在 30mg/kg 以下,表明植被恢复到较高阶段,植被生长旺盛,表土有机质含量高,反之,植物遭受破坏退化至灌丛或草坡的土壤有机质含量则较低。由于人工植被恢复是在杉木砍伐迹地上进行的,其地力继承了原来杉木林地较高的土壤有机质含量,并且

表 2 植被人工恢复模式及自然演替的土壤肥力对比

Table 2 Comparison of soil fertility under different restoration modes and nature successions

年份模式 Year & mode	土层 Depth (cm)	pH 值 pH value	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	有效氮 Available N (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	阳离子代换量 CEC (cmol/kg)	盐基饱和度 Base saturation (%)	
2001年 人工 恢复 2001 Artificial restoration area	M_1	0~20	4.66	46.2	1.34	0.246	119	62	12.31	18.08
		20~40	4.71	14.3	0.82	0.243	64	33	8.75	20.65
	M_2	0~20	4.58	45.3	1.43	0.274	143	61	12.74	15.57
		20~40	4.62	10.6	0.77	0.258	46	16	8.12	14.83
	M_3	0~20	4.67	44.4	1.13	0.282	124	80	12.74	19.97
		20~40	4.70	11.9	0.63	0.245	50	23	7.17	19.68
	M_4	0~20	4.61	46.3	1.27	0.287	153	48	12.63	12.02
		20~40	4.63	19.4	0.98	0.256	76	30	9.35	13.98
2003年 人工 恢复 2003 Artificial restoration area	M_1	0~20	4.71	48.5	1.46	0.269	141	42	13.24	15.50
		20~40	4.84	22.8	0.96	0.242	99	31	9.23	15.21
	M_2	0~20	4.62	47.9	1.61	0.293	133	47	13.02	15.85
		20~40	4.68	12.6	0.82	0.273	55	21	10.91	16.17
	M_3	0~20	4.74	49.9	1.27	0.296	122	51	13.45	16.54
		20~40	4.75	15.7	0.71	0.284	90	29	8.63	17.00
	M_4	0~20	4.56	44.4	1.31	0.289	132	31	11.76	13.99
		20~40	4.59	21.7	1.04	0.226	111	26	8.14	14.03
自然 演替 研究区 Nature succession area	草丛 Grass mass	0~20	4.42	22.4	0.94	0.268	56	20	9.81	8.53
		20~40	4.5	12.0	0.58	0.228	29	13	8.19	8.72
	灌丛 Shrub mass	0~20	4.55	27.3	0.74	0.277	71	21	10.90	13.08
		20~40	4.63	14.6	0.54	0.270	38	14	7.98	9.39
	针阔混交林 Coniferous and broadleaved mixed forest	0~20	4.17	49.4	1.55	0.273	145	31	20.54	14.65
		20~40	4.52	31.2	1.04	0.269	96	31	16.23	14.79
	常绿阔叶林 Evergreen broadleaved forest	0~20	4.37	43.3	1.29	0.253	120	21	21.39	13.77
		20~40	4.48	24.9	0.92	0.259	80	16	17.06	14.45

在进行植被移栽时施用了有机肥,表层土壤有机质含量较自然演替阶段的草丛和灌丛高,而与针阔混交林及常绿阔叶林接近。

2.2.3 植被恢复过程中土壤氮素含量的变化

从表 2 可以看出,2003 年试验区各人工植被恢复模式表层土壤全氮含量为 1.27~1.61g·kg⁻¹,平均 1.41 g·kg⁻¹,低于全国红壤土类氮素平均含量据第二次土壤普查,红壤土类的氮素平均含量 1.55 g·kg⁻¹[9]。下层土壤全氮含量低于表层土壤,平均为 0.90 g·kg⁻¹。试验 2a 后,人工植被恢复各模式的土壤全氮含量较试验前均有提高,表层土壤增量 0.04~0.18 g·kg⁻¹,下层土壤增量 0.04~0.14 g·kg⁻¹。4 种模式表层土壤的全氮净增加量为 $M_2 > M_3 > M_1 > M_4$,下层土壤全氮含量也呈增高趋势,净增加量为 $M_3 > M_1 > M_4 > M_2$ 。总体上全氮含量变化趋势与有机质含量变化趋势接近,这与土壤全氮主要来源

于有机质有关。有机质中的氮是土壤中氮素的主要补给,在土壤有机质含量增加的情况下,土壤氮素含量也相应得到提高。

植被自然演替各阶段土壤全氮含量变化趋势呈现:针阔混交林>常绿阔叶林>草丛>灌丛,与土壤有机质含量相似,人工植被恢复模式表层土壤全氮含量也呈现出大于植被自然演替草丛阶段和灌丛阶段,而接近甚至超过针阔混交林及常绿阔叶林阶段,说明土壤有机质含量与土壤全氮含量不仅在研究区内,而且在两个不同研究区之间,也具有一致的表现。

2.2.4 植被恢复过程中土壤磷素含量的变化

表2显示人工植被恢复试验区土壤的含磷量较低,表层土壤含磷量为 $0.26\sim 0.30\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,下层土壤含磷量为 $0.24\sim 0.29\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,这是高温多雨气候下土壤本身强烈的风化和淋溶的结果。磷素供应水平低是植被恢复中严重的限制因子之一,特别是红壤严重侵蚀地,由于磷素供应水平低而使大多数人工种植的植物生长不良。

表2中,人工植被恢复模式土壤全磷含量有差异,3a间表层土壤全磷含量4种恢复模式都呈现增高趋势,但增幅很小;下层土壤全磷含量 M_1 、 M_4 略有下降, M_2 、 M_4 增高。表层土壤全磷含量净增量以 M_1 最高,其次为 M_2 。虽然土壤全磷含量总体表现出增高趋势,但就整个研究区而言,含磷量是偏低的,要加快植被恢复步伐,降低磷素缺乏在植物生长过程中的抑制作用,适当施用磷肥应是较好的途径。与之相似,植被自然演替各阶段的土壤全磷含量也是远低于我国红壤土类平均含磷量的,这表明土壤磷素含量低,磷素供应不足是南方红壤区的普遍现象,补充磷素是南方红壤区进行植被恢复不可忽视的问题。

2.2.5 植被恢复过程中土壤钾素含量的变化

从表2的分析结果可以看出,人工植被恢复试验区各模式土壤除 M_3 表层土壤钾含量 $80\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 属中等水平外,其他土壤速效钾含量都在缺乏和极度缺乏的范围内,说明人工植被恢复研究区土壤普遍存在严重缺钾现象。2003年与2001年相比,各人工植被恢复模式表层土壤的土壤速效钾含量呈降低趋势,这可能与土壤钾素主要来源于土壤矿物风化释放的钾素及凋落物分解产生的钾素,但植被恢复初期植物凋落物较少,同时植物总量大幅度增加,植物生长吸取土壤中钾素愈多,在土壤钾素得不到及时补充的情况下,速效钾含量较之植被恢复前降低,土壤速效钾的减少是植物吸收和淋失的结果。这一结果与姜培坤等^[1]在浙江兰溪茶场进行侵蚀型红壤植被恢复后土壤养分含量变化研究得出的结果相一致。

表2中,植被自然演替各阶段土壤速效钾含量也是很低的,除针阔混交林达 $31\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 外,其他各阶段含量为 $13\sim 21\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,属极度缺乏的范围,表明红壤区土壤钾素含量与磷素含量一样,都存在含量偏低的问题,需要通过施肥加以缓解。

2.2.6 植被恢复过程中土壤阳离子代换量的变化

从表2可知,植被恢复2a后,除 M_4 外,各人工植被恢复模式土壤土壤阳离子代换量都有提高,但各植被模式土壤阳离子代换量比较小,均在 $20\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下,这与南方红壤酸性大且有机胶体较少有关。与植被自然演替研究区相比,人工植被恢复研究区各模式进行植被恢复2a后,其土壤土壤阳离子代换量高于草丛及灌丛阶段,而低于针阔混交林和常绿阔叶林,表明植被状况的好坏,水土流失的侵蚀程度,植被恢复的进程等对土壤土壤阳离子代换量含量均有较明显的影响。植被恢复的较高阶段后,植物和土壤处于相对稳定的环境中,植被生长旺盛,土壤结构得到改善,土壤土壤阳离子代换量也相应增加。

3 结束语

红壤区杉木林受砍伐后,表层土壤由于受人为破坏而侵蚀严重,生态系统趋向恶化,以不同模式在杉木砍伐迹地进行植被恢复,3a间土壤理化性状的演变表现出了不同的特点,表明植物群落类型是与一定土壤条件相适应的。随着植被恢复的进程,植被覆盖度增加,植物生长产生的枯枝落叶和根系腐解物在土壤中积累和矿化,一方面把大部分无机营养元素归还土壤,另一方面改善了土壤的物理性质,土壤质地和通气状况变好。植物残体腐解过程中所产生的酸类物质又促进土壤中难溶性物质向有效性方向转化,有的供植物吸收利用,这样,植被恢复使土壤中有机质含量和氮、磷等的含量都有不同程度的增加,反过来又促进植物的生长。可以认为,红壤严重侵蚀区植被恢复过程其实也就是土壤物理性质改善过程,也是土壤有机质和养分积累富集过程。因此,在重建红壤严重侵蚀区植被过程中,人工建造的群落必须与侵蚀土壤肥力恢复程度相适应。

红壤侵蚀地区生态系统恢复是一个比较大的生态环境问题,防止红壤的退化,合理利用和开发红壤资源,加强红壤地区的环境生态研究和土壤环境化学的研究是一项十分有意义的工作。本文仅就不同植被恢复模式3a间土壤理化性状的变化及与植被自然演替不同阶段土壤理化性状对红壤侵蚀区植被恢复进行初步探讨,在植被恢复试验中,仅以不足3a的试验数据进行总结和分析,难于在理论上系统地阐明有关

问题,4种植被恢复模式继续生长的状况,还需作长期的土壤理化性状定位监测,并有待于进一步的研究分析。

参考文献:

[1] 史德明,周伏健,徐朋.我国南方土壤侵蚀动态与水土保持发展趋势[J].福建水土保持,1993(3):9-13.
[2] 李庆逵.中国红壤[M].北京:科学出版社,1983.
[3] 唐克丽.中国土壤侵蚀与水土保持学的特点与展望[J].水土保持学报,1999,6(2):2-7.
[4] 吕仕洪,向悟生,李先琨,等.红壤侵蚀区植被恢复研究综述[J].广西植物,2003,23(1):83-89.
[5] 程彤.红壤丘陵生态系统恢复与农业持续发展研究(第二集)[M].北京:气象出版社,1998.
[6] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化性质分析[M].上海:上海科学技术出版社,1987.

[7] 国家林业局.森林土壤分析方法[M].北京:中国标准出版社,1999.
[8] 北京林学院.土壤学(上册)[M].北京:中国林业出版社,1982.
[9] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998:95-160.
[10] 金继运.土壤钾素研究进展[J].土壤学报,1993,30(1):94-101.
[11] 姜培坤,周国模,钱新标.侵蚀型红壤植被恢复后土壤养分含量与物理性质的变化[J].水土保持学报,2004,18(1):12-15.
[12] 周厚诚,任海,向言词,等.南澳岛植被恢复过程中不同阶段土壤的变化[J].热带地理,2001,21(2):104-107.

(责任编辑:邓大玉)

(上接第 51 页 Continue from page 51)

[7] 李红春,顾德隆,陈文寄,等.高分辨率洞穴石笋中稳定同位素应用——北京元大都建立后对森林资源的破坏- $\delta^{13}\text{C}$ 记录[J].地质论评,1998,44(5):456-463.
[8] COPLEN T B, WINOGRAD I J, LANDWEHR J M, et al. 500000 year stable carbon isotopic record from Devils Hole, Nevada[J]. Nature, 1994, 263:361-365.
[9] 张美良,程海,林玉石,等.贵州荔波 15000 年以来石笋高分辨率的古气候环境记录[J].地球化学,2004,33(1):65-74.
[10] 张美良,袁道先,林玉石,等.桂林响水洞 6000a 以来石笋高分辨率的气候记录[J].地球学报,2003,24(5):439-444.

[11] 袁道先,覃嘉铭,林玉石,等.桂林 20 万年石笋高分辨率古环境重建[M].桂林:广西师范大学出版社,1999:32-56.
[12] LI BIN, YUAN DAOXIAN, LIN YUSHI, et al. Oxygen and carbon isotopic characteristics of rainwater, drip water and present speleothems in a cave in Guilin area, and their environmental meanings[J]. Science in China (Series D), 2000, 43(3):276-285.
[13] 覃嘉铭.古气候变化的石笋同位素记录研究——以桂林盘龙洞为例[J].地球学报,1996,8(31):255-265.

(责任编辑:邓大玉)