

文章编号:1001-4810(2009)03-0293-07

云南石林景区恢复植被的土壤水文结构功能研究

张勇,王晶晶,李玉辉

(云南师范大学旅游与地理科学学院,云南昆明,650092)

摘要:基于喀斯特恢复植被生态系统功能评价的要求,采用土壤水文结构功能模型评价云南石林景区恢复植被的土壤水文结构功能。选取原生滇青冈林、恢复26a的次生林B、恢复21a次生林A、恢复8a的灌丛、石漠化灌丛和恢复30a云南松林6个样地,分别调查它们的土壤水文结构特征。相对于原生林,石漠化样地经过8a的封禁,其土壤水文结构功能可恢复31%,21a可恢复45%,人工飞播的云南松林经过30a恢复的只有38%,而砍伐林地封禁26a可恢复71%。土壤水文结构功能模型基本适用于岩溶区不同恢复林地的土壤水文结构功能的恢复评价。

关键词:喀斯特石漠化;植被恢复;土壤水文结构功能;云南石林公园

中图分类号:X171.4

文献标识码:A

退化生态系统治理过程中形成的各种次生植被是否具有可持续更新能力和促进退化生态系统功能的改善是生态恢复评价的一个关键问题。我国西南是世界上岩溶地貌、水文地质和生物多样性典型独特的地区,岩溶生态系统退化甚至石漠化趋势严重^[1,2]。自1980年以来采取的各种恢复治理措施促进了退化岩溶植被区各种次生林的形成,评价次生林地的土壤水文功能如何响应植被恢复过程是学术界、各级管理部门和社会团体共同关注的一个问题。土壤水文结构功能是森林生态系统的主要功能之一。在退化植被生态系统区,土壤水文结构功能(Soil Hydro-structure function)反映了森林植被生态系统的土壤性状和水文条件^[4],而岩溶次生林恢复过程中土壤水文结构功能的系统是否同时得到改善是退化岩溶生态系统治理成功与否的关键问题。相对于群落结构、生物量、生物多样性、林地养分恢复、土壤动物等指标与系统模型评价,从土壤理化指标和水分含量的季节变化去评价岩溶次生林地的改善状况^[3],和以退化区地带性植被作为对照去评价退化岩溶植被恢复系列,或以恢复演替系列研究去评价土壤水文结构功能恢复的文献

鲜见。本文以云南石林景区为例,以滇中岩溶高原区的地带性植被(滇青冈林)^[5,6]为参照,选择5个退化岩溶植被恢复样地进行调查,研究退化岩溶植被恢复系列的土壤水文结构功能恢复评价模型及其适用性,与此同时还提供了一些实证,同时测量样地表征土壤肥力的一些化学指标,以讨论改善退化岩溶植被管理的原理和措施。

1 土壤水文结构功能恢复评价指标和模型建立

滇中岩溶高原区地带性植被滇青冈林地土壤主要是石灰土、红壤等,原生林地土壤层厚度从0到大于1m不等,一般可以分出A0(腐质层)、A1(红壤层或石灰土层)、基岩(石灰岩、白云质灰岩),缺乏风化壳^[7]。林地土壤和森林植被之间通过土壤孔隙、根系和枯枝落叶腐质层之间的转化等实现水分循环和养分补充吸收,也即所谓的土壤水文结构功能,是植被生态系统维持土壤性状和水文条件的能力^[4]表现。以原生林地或地带性植被为参照,退化植被、恢复植被的这种能力与原生林的相似程度构成评价土壤水文

基金项目:国家自然科学基金项目(40762004)、国家重点基础研究发展计划(973)前期课题(2009CB426312)

第一作者简介:张勇(1983—),硕士研究生,主要从事区域生态研究,E-mail:mldini-3@163.com。

通讯作者:李玉辉(1957—),男,博士,教授,从事喀斯特环境和景观生态学研究,E-mail:lyh123zhang@163.com。

收稿日期:2008-12-05

结构功能恢复或退化的度量。因此,选择林地和土壤层间的可测指标并构建模型,便可在退化岩溶植被、恢复植被和原生林之间进行比较评价,了解退化岩溶植被恢复地的土壤水文功能的恢复状态。基于滇中岩溶高原原生植被土壤结构特征,并借鉴Peñuela M C, et al(2004)^[4]的研究原理,选择6个指标构建评价模型。(1)土壤有机质含量(V_{som-c}):该变量表征土壤的理化性质,为植物生长的营养库并影响土壤团粒结构。土壤有机质含量多寡还影响土壤气体过程和渗透率,是土壤性状改善和抵抗水土流失的重要指标^[8]。(2)土壤根系密度(V_{rd}),表征土壤结构和养分水分被吸收能力。根系在土壤层中增加微细管道,促进土壤颗粒团聚,促进土壤有机物的生活空间,同时可增强植物的固氮和营养物的矿化作用^[9],细根还影响植物的水分和营养物的吸收,细根的更新转化还有助于丰富表层土壤营养物,粗根吸收营养物和水分并维持土壤结构。(3)植被植株密度(V_{vd})和林地树干基部面积(V_{ba}):反映地下根茎生物量^[10]和恢复次生林结构的成熟度。一般林地植株密度随森林成熟度增加而减少,而树木基径总面积却增加。(4)土壤渗透率(V_i)和土壤容重(V_{bd}):土壤容重表征土壤疏松程度和孔隙度。紧实受压的土壤容重高($>1.6\text{ g/cm}^3$),团聚颗粒和孔隙度也低,渗透率低^[11]。上述指标构成土壤水文结构功能恢复评价模型的基本参数。土壤水文结构功能的数学表达式^[4]为:

土壤水文结构功能指数

$$(I_{shf}) = [(V_{ba} + V_{vd}) \div 2 +$$

$$(V_{rd} + V_{som-c}) \div 3 + (V_i \times V_{bd})^{1/2}] \div 3$$

代入公式的变量是次生植被的测量值与参照地(原生

林地)测量值的比值,比值在0~1,所以参数值也就在0~1。参数值的大小代表了植被恢复地土壤水文结构功能的恢复程度,参数值越大,表示植被的土壤水文结构功能恢复程度越高。公式中等号右边第三项采用乘积的平方根值是因为渗透率和土壤容重相关, ($V_i \times V_{bd}$)反映了土壤保持水分的能力和孔隙条件,其值越大越有利于土壤生物和植株根系的定居和生长。其余变量基本上相互独立。

测定土壤水文结构功能评价指标的同时,采集土壤样品分析土壤的一些化学指标(钙、镁、氮、钾、磷),以比较土壤水文结构功能与土壤化学性质的关系。

2 研究样地和野外调查

研究样地位于中国西南亚热带岩溶高原的云南石林景区(世界自然遗产地,103°15′~103°29′E, 24°40′~24°56′N,海拔1 700~1 950 m),以石林岩溶闻名。石林县的年均降雨量约960 mm,有明显的雨季和旱季之分,每年5—10月为雨季,降雨量约占全年80%,11月至次年4月为旱季,年均温约15.6℃。地带性植被为半湿润常绿阔叶林中的滇青冈林,土壤类型为红壤、石灰土等,红壤分布最广。1931年建立石林公园,1942年开始有组织地绿化造林,1982年明确的保护范围为35 000 hm²,人工辅助恢复和自然恢复的次生林普遍,彝族村寨保留有地带性植被滇青冈林(原生林)。通过调查访问及查阅文献,在弄清恢复进程基础上,确定次生云南松林(飞播林)、灌草丛、灌丛、次生林A、次生林B、原生林共6个调查评价样地(表1)。

表1 调查样地的基本情况

Tab.1 Environmental conditions of surveyed plots

样地	海拔/m	坡度	坡向	基岩及石土出露面积之比	土壤类型	干扰状态和恢复时间
灌草丛	1 830~1 860	20~30°	东南坡	灰岩, 75 : 25	红色石灰土	石漠化,放牧、践踏
灌丛	1 830~1 860	25~35°	东南坡	灰岩, 75 : 25	红色石灰土	封禁8年,零星放牧
次生林A	1 840~1 860	25~35°	东南坡	白云质灰岩, 75 : 25	红色石灰土	封禁21年
次生林B	1 880~1 920	15~20°	东南坡	灰岩, 75 : 25	红色、黑色石灰土	封禁26年
原生林	1 880~1 920	15~20°	东南坡	灰岩, 80 : 20	红壤,黑色石灰土	宗教保护林
云南松林	1 800~1 840	25~35°	东南坡	灰岩, 75 : 25	红色石灰土	飞播林, 30年

每个样地调查在圈定1 000 m²基础上,设置20 m×50 m的样方,用绳子将其分为10个5 m×20 m的样带,记录胸径≥1 cm的乔木种类和胸径、基径、数量;每个样带中设1 m×1 m的小样方,记录<1 cm

的木本植物、草本植物的种类和数量,用50 cm×50 cm的塑料框测算盖度。土壤含水量的测定:每个样地选择6个点,挖至基岩,按15 cm分层取样,用烘干法测定土壤含水量(GB7172—87);调查约束植物

生长的旱季土壤水分(旱季结束前的5月取样)。

土壤理化性质和渗透率的测定:每个样地选6个点分别取0~15 cm和15~30 cm两层土壤做理化分析。取化学样前,分别用土壤环刀取两层原状土测容重和孔隙度,容重和孔隙度按GB7844—87测定。土壤渗透率的测定采用双环法(《水环境要素观测与分析》)。土壤化学指标(钙、镁、氮、钾、磷)送中国科学院

西双版纳热带植物园地球化学实验室测定。

土壤根密度(g/cm³):在每个样地取6个点,按20 cm×20 cm×15 cm取全土,用清水洗,分离出细根(≤2 cm)和粗根(>2 cm)带回实验室,在烘箱中75℃烘干称重。

各样地测量指标值见表2。

表2 样地测量指标一览表
Tab.2 Measurement indexes in all plots

参 量	取样深度/cm	原生林	次生林B	次生林A	灌丛	灌草丛	云南松林
枯落物厚度/cm		4.56	5.00	1.58	0.42	0.25	4.43
旱季含水量/%	0~15	23.45	31.68	23.61	16.72	22.43	17.50
	16~30	24.80	25.78	23.72	17.16	24.29	20.18
稳渗/mm/min		95.62	107.31	96.37	54.98	54.81	72.44
初渗/mm/min		110.66	142.44	190.86	87.66	86.42	174.57
pH 值	0~15	5.21	6.48	6.98	7.11	7.24	6.13
	16~30	6.08	6.95	6.85	7.16	7.11	6.24
有机质/g/kg	0~15	143.87	150.95	72.15	79.73	67.40	73.81
	16~30	53.54	49.37	45.64	50.68	32.68	27.46
全氮/g/kg	0~15	5.88	5.52	3.11	3.15	2.86	2.31
	16~30	2.39	1.67	2.26	2.09	1.26	1.06
全磷/g/kg	0~15	0.78	0.58	0.72	0.72	0.56	0.33
	16~30	0.63	0.38	0.58	0.58	0.35	0.24
全钾/g/kg	0~15	6.85	7.41	3.06	4.35	3.15	5.84
	16~30	8.25	7.31	3.30	4.21	2.42	5.74
全钙/g/kg	0~15	7.08	12.60	9.58	11.15	8.75	6.92
	16~30	6.68	8.05	7.89	9.84	9.67	5.41
全镁/g/kg	0~15	4.13	5.64	6.18	5.19	6.22	3.99
	16~30	5.16	6.30	6.34	5.26	5.67	4.06
水解氮 mg/kg	0~15	406.25	436.00	281.50	244.25	222.50	197.20
	16~30	183.00	154.40	213.75	176.00	100.00	92.40
有效磷/mg/kg	0~15	5.30	6.36	3.46	3.35	2.47	4.70
	16~30	2.21	2.08	1.4	1.32	0.78	1.36
速效钾/mg/kg	0~15	181.25	214.00	104.75	131.00	79.00	191.8
	16~30	101.00	112.60	55.25	59.25	38.00	78.40
	0~15	22.95	41.56	31.98	35.27	28.28	24.37
交换性钙/cm ^{ol} (1/2Ca ²⁺)/kg	16~30	24.15	27.41	26.02	29.32	42.98	17.79
交换性镁/cm ^{ol} (1/2Mg ²⁺)/kg	0~15	1.97	2.25	5.48	1.73	2.05	1.90
	16~30	0.94	0.83	4.30	0.52	1.09	0.56
土壤容重/g/cm ³	0~15	0.57	0.59	0.90	1.01	1.04	0.95
	16~30	0.98	0.94	1.05	1.10	1.13	1.17
土壤密度/g/cm ³	0~15	2.22	2.29	2.38	2.49	2.47	2.45
	16~30	2.44	2.48	2.46	2.40	2.58	2.54
孔隙度/%	0~15	0.75	0.74	0.62	0.60	0.58	0.61
	16~30	0.60	0.62	0.57	0.54	0.56	0.54
粗根密度/g/cm ³		0.020 1	0.005 9	0.003 2	0.000 9	0	0.003 6
细根密度/g/cm ³		0.001 5	0.003 4	0.001 6	0.000 5	0.000 3	0.000 7
总根密度/g/cm ³		0.021 7	0.009 2	0.004 8	0.001 4	0.000 4	0.004 3
茎径面积/m ² /hm ²		64.61	43.83	8.14	0.67	0.07	14.65
植株密度/株/hm ²		14 850	10 350	4 550	1 010	130	2 120

注:表中参数值均为各采样点的平均值。原生林(4个样品),次生林B(6个样品),次生林A(6个样品),灌丛(5个样品),灌草丛(5个样品),云南松林(6个样品)。

3 结果与分析

3.1 退化岩溶植被的恢复系列

按《中国植被》生活型划分方案,各调查样地的木本植物以常绿(包括常绿乔木、灌木)物种为主、草本植物以多年生草本为主(图1)。

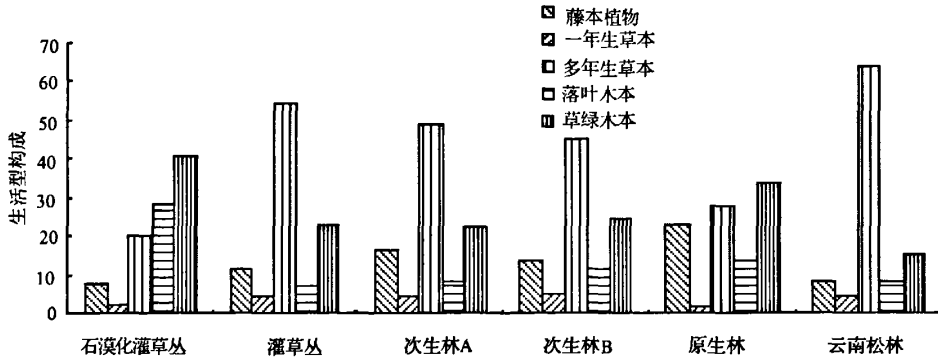


图1 不同样地的物种生活型构成(按中国植被方案)

Fig. 1 Composition of living types in 6 plots on the basis of vegetation of China

石漠化灌草丛较稀疏,群落高度小于0.5m,主要木本植物是粉叶小檗(*Berberis pruinosa*)、竹叶椒(*Zanthoxylum armatum* DC.)、火棘(*Pyracantha fortuneana*)、毛枝绣线菊(*Spiraea martinii*)等,草本以硬秆禾(*Capillipedium assimile*)、扭黄茅(*Heteropogon contortus*)和云南裂稈草(*Schizachyrium delavayi*)等为主。样地群落类型为粉叶小檗、硬秆禾灌草丛。灌丛样地木本植物以毛枝绣线菊、团花新木姜子(*Neolitsea homilantha*)等为主;草本层中扭黄茅、云南裂稈草、紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)和竹叶草(*Oplismenus compositus*)居多,该群落为毛枝绣线菊、团花新木姜子灌丛。次生林A木本植物主要是团花新木姜子、毛叶柿(*Diospyros mollifolia*)、云南木樨榄等;灌木层主要物种是毛枝绣线菊、小铁子(*Myrsine africana*)等,草本主要是云南裂稈草(*Schizachyrium delavayi*)、黄茅草(*Heteropogon contortus*)、紫茎泽兰,以及丰富的团花新木姜子幼苗等,群落类型为团花新木姜子林。次生林B乔木可分为上下两层,上层高度可超过10m,但个体稀少,以实生植株为主;次乔木层高度6~8m,以萌生植株居多,并有较多的藤本和蔓性灌木,主要木本植物是滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)、云南木樨榄、清香木、团花新木姜子等,样地群落类型是滇青冈次生林,灌木层主要物种清香木、小铁子(*Myrsine africana*)、云南木樨榄和野丁香(*Leptodermis potaninii*)等;底层草本细长叶苔草(*Carex* sp.)、竹

叶草、间型沿阶草(*Ophiopogon intermedius*)、野燕麦(*Avena fatua*)居多。原生林样地群落高度15~20m,少数乔木高度超过25m,分为上下两层,上层乔木主要是云南木樨榄、滇青冈等,下层乔木物种丰富,盖度超过85%,样地群落类型为滇青冈林,属滇中的地带性植被。灌木层主要物种是云南木樨榄、小铁子、紫花苦参(*Sophora velutina*)等,底层植物主要是贵州络石(*Trachelospermum bodinieri*)、竹叶草、沟状冷水花、沿阶草,以及乔木的幼苗,如清香木、滇青冈、云南木樨榄等。

云南松林样地是1970年后用云南松籽飞播形成的次生林。群落高度8~15m,少数高度达20m,主要乔木是云南松(*Pinus yunnanensis*),其它木本植物有清香木、大毛毛花、密齿酸藤子、马桑、黄连木等,但数量多很少,该群落为典型的单优群落。灌木层主要是小铁子、毡毛栲子(*Cotoneaster pannosa*)、毛枝绣线菊、苦刺花和沙针等,草本植物有云南裂稈草、扭黄茅、白茅(*Imperata cylindrica*)、竹叶草等。

6个调查样地群落类型构成研究地退化岩溶植被的恢复系列,基本表征了自然恢复形成从石漠化向地带性植被恢复的序列:石漠化灌草丛→灌丛→次生林A→次生林B→原生林;云南松林属人工次生林。

3.2 退化岩溶植被恢复系列的土壤水分和理化性质

调查样地旱季土层中的水分在30cm范围内变化不大,从原生林到石漠化灌草丛,含水量降低,石漠化灌草丛水分含量较高与凌晨取样测量有零星小雨

有关(图2)。测量指标中,从石漠化灌丛到原生林指标值增大的有根密度、植株密度和树干基部总面积、孔隙度、渗透率(稳渗率、初渗率)、有机质、全磷、全钾、全氮、水解氮、速效钾、有效磷、土壤容重。全钙、全镁和交换性钙镁等变化不明显,但全钙、全镁在原生林土壤样品中的含量相对低。人工飞播云南松林的土壤样品的理化指标有别于其它岩溶植被,含量接近于原生林指标的有速效钾、有效磷、交换性钙镁离子等,土壤容重、孔隙度接近于灌丛、灌草丛。

随着植被从石漠化灌丛到原生林自然演替,树

干基径面积、植株密度和根密度的增加说明植被的地上和地下生物量得到了持续的增长,群落的结构和功能也得到了改善。群落通过枯落物和根系的分解把部分营养返还归土壤,这也使得土壤有机质含量逐步增加。有机质既可以提供植物需要的养分,又可以直接影响土壤的理化性质^[12]。随着有机质的增加,土壤容重减小,孔隙度增加,同时渗透率也相应增加,土壤渗水能力增强。比较而言,云南松林虽然枯落物与原生林相差不多,但由于其枯落物较难分解^[13],对土壤理化性质和养分的改善作用有限。

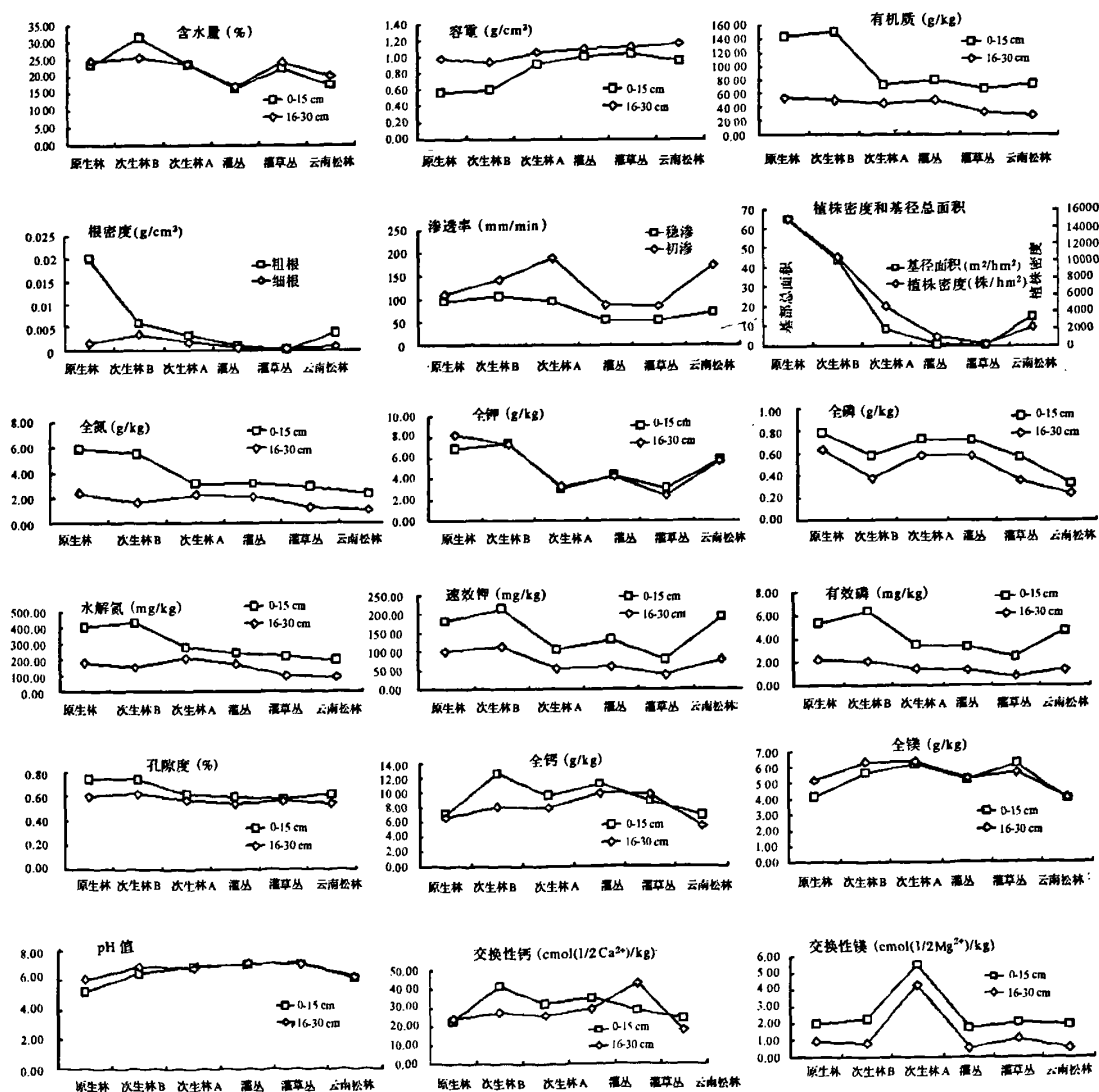


图2 不同样地、不同深度的土壤物理化学指标对比

Fig. 2 Comparison of soil physics and chemical indexes in different plots and at different depth

从分层看,土壤理化指标表层(0~15 cm)明显高于下层(16~30 cm)的有容重、孔隙度、有机质、全氮、全磷和水解氮等;变化不明显的有全钙、全镁、交换性钙等。石漠化灌草丛的土壤表层和下层的测量值差别最小,而原生林土壤表层和下层中的各项测量指标之间的差异最大。因此,退化岩溶植被恢复过程对土壤影响的结果是土壤肥力(水解氮、速效钾、有效磷、有机质)逐步恢复和孔隙度增加,容重降低等,这得益于恢复植被的枯落物与根系分解对土壤孔隙条件的改善^[14]。

3.3 土壤水文结构功能指数赋值方法和计算结果

模型所涉及的测量指标都以原生林为参照,原生林的指标改为无量纲,定为1,其它样地的相应可测指标赋予0~1的权重值,大小由其本身数值的大小与参照状态的接近程度决定。依据Peñuela M C, et al (2004)^[4]的处理方法,如果测量的变量比参照变量大,它的权重也应该视为小于1,并与参照条件分开单独计算。例如,无论是总根密度还是细根密度或粗根密度,与参照状态相比,其比值为75%~125%时权重值都被视为1.0;比值为50%~75%或者是125%~150%时,被赋予0.75的权重值;为25%~50%或150%~175%时权重值为0.5;为0%~25%或者是175%~200%时权重值为0.25;当测量值与参照状态之比大于200%时,其权重被视为0.1。原生林和次生林B的容重(两层平均)分别为0.78和0.77,次生林B

容重值小于原生林,其权重值为0.99(0.77/0.78);次生林A的容重为0.98,大于原生林,它与原生林的接近程度可以用一个假定的数值0.58(即0.78-0.2)来进行计算,即权重值为0.74。其它测量指标的赋值均与容重赋值方法相同。

各样地的测量指标赋值和土壤水文结构功能指数的计算结果见表3。通过对土壤水文功能结构指数的计算可以看出,随着植被的恢复,土壤水文结构功能指数值逐步增大,由石漠化灌草丛的28%增加到次生林B的71%,说明在植被恢复过程中,土壤水文结构功能也得到了不同程度的恢复,并逐步接近原生林。在植被的恢复初期,也就是从石漠化灌草丛到灌丛(封禁8 a),土壤水文结构功能指数增长了2%;而从灌丛到次生林A(封禁21 a)和次生林A到次生林B(封禁26 a)分别增长了14%和26%,这也就意味着在植被恢复的最初阶段,恢复地土壤水文结构功能恢复较慢。而后期随着群落结构和功能逐步接近原生林,恢复地土壤水文结构功能的恢复程度逐渐提高。云南松林的土壤水文结构功能指数介于次生林A和灌丛之间,说明人工恢复的云南松林对土壤水文结构功能的改善较次生林A要差,略好于灌丛。就次生林A和云南松林的恢复年限来看,云南松林较次生林A长10 a左右,但其对土壤水文结构功能的恢复较次生林A要差,就本研究而言,说明人工恢复方式对土壤水文结构功能弱于自然恢复方式。

表3 指标参数权重值和土壤水文结构功能指数(I_{shf})结果

Tab.3 Weight values of parameters and the indexes of soil hydro-structure function

	原生林	次生林B	次生林A	灌丛	灌草丛	云南松林
容重	1	0.99	0.74	0.64	0.51	0.51
渗透率	1	0.88	0.99	0.57	0.57	0.76
总根密度	1	0.50	0.25	0.25	0.25	0.25
基径面积	1	0.68	0.13	0.01	0	0.23
植株密度	1	0.70	0.31	0.04	0.01	0.14
有机质含量	1	0.99	0.60	0.66	0.51	0.51
土壤水文结构功能指数(I _{shf})	1	0.71	0.45	0.31	0.28	0.38

注:渗透率采用稳渗率计算。

4 结论和讨论

随着退化岩溶地区植被恢复程度的不断提高,植被的群落高度和生物量持续增加,群落结构更加合理,土壤容重减小,孔隙度增加,粘重的土壤得到了改善。同时,土壤有机质含量逐步提高,土壤养分状况也得到了不同程度的改善。以滇中地带性植被滇青冈林

为参照,运用土壤水文结构功能评价模型计算与分析有助于恢复地土壤水文结构功能恢复的成效和进程的了解。本研究结果表明,严重退化的石漠化灌丛土壤水文结构功能只相当于原生林的28%,通过封禁自然恢复8 a、21 a和26 a的恢复地分别达到了31%、45%和71%,土壤水文结构功能不断增强,同时恢复进程也不断加快。而采用人工引入非地带性种群(云

南松)的次生林仅恢复到原生林的38%,不利于恢复地土壤水文结构功能的恢复,使得植被的可持续更新能力减弱。

相对于其它单项指标的测量和评价,本研究模型综合选用了6个指标因子对恢复地土壤水文结构功能进行评价,指标相对简单易测,可以简便客观地评价岩溶地区次生林地土壤水文结构功能的恢复成效和进程,但对恢复机理分析欠缺。岩溶地区植被恢复过程复杂,植被恢复对土壤水文结构功能恢复影响的评价是否还有其它更好的指标,仍有待深入研究。

参考文献

- [1] 袁道先. 我国西南岩溶石山的环境地质问题[J]. 世界科技研究与发展, 1997, 19(5): 41—43.
- [2] 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.
- [3] 刘玉, 李林立, 赵柯, 等. 岩溶山地石漠化地区不同土地利用方式下的土壤物理性状分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 142—145.
- [4] Penüela M C, Drew A P. A model to assess restoration of abandoned pasture in Costa Rica based on soil hydrologic feature and forest structure[J]. Restoration Ecology, 2004, 12: 516—524.
- [5] 吴钰鑑, 朱彦丞著. 云南植被[M]. 北京: 科学出版社, 1987, 231—248.
- [6] 金振洲, 彭鉴著. 昆明植被[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1998, 431—444.
- [7] 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.
- [8] Miller R W, and Donahue R L. Soils: an introduction to soils and plant growth (6th edition)[M]. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1990, 163—189.
- [9] Fisher R F, and Binkley D. Ecology and management of forest soils [M]. 3rd edition. New York: John Wiley and Sons, 2000, 198—225.
- [10] Harmon M F, Ferrell W K, and Franklin J F. Effects on carbon storage of conversion of old-growth forests to young forests [J]. Science 1990, 24: 699—702.
- [11] Reiners W A, Bouwan A F, Parsons W F J, et al. Tropical rain forest conversion to pasture, changes in vegetation and soil properties[J]. Ecological Applications 1994, 4: 363—377.
- [12] 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.
- [13] 蔡年辉, 李根前, 陆元昌. 云南松纯林近自然化改造的探讨[J]. 西北林学院学报, 2006, 19(3): 85—88.
- [14] 李阳兵, 谢德体, 魏朝富. 岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 196—202.

Study on the soil hydro-structure function of restored vegetations in the Yunnan Shilin park of China

ZHANG Yong, WANG Jing-jing, LI Yu-hui

(School of Tourist and Geographic Sciences, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 660092, China)

Abstract: Based on the requirement of ecosystem function assessment of restored vegetations in karst area, the soil hydro-structures function of restored vegetations were evaluated by the soil hydro-structure function model in the famous Shilin park in Yunnan province of China, which is a part of south China karst world natural heritage. Six vegetation sample plots, which form a succession of restored vegetations in the karst area, including original forest (forest of *Cyclobalanopsis glaucoides*), 26 years secondary forest B (secondary forest of *Cyclobalanopsis glaucoides*), 21 years secondary forest A (secondary forest of *Neolitsea homilantha*), 8 years brush, rock-desertification bushy grasses and 30 years secondary forest of *Pinus yunnanensis*, were chosen for assessment. As contrasted with the original forest, 31% of soil hydro-structure function can be restored after ecology recover and blockading administer for 8 years, and 45% can be restored after 21 years of ecology recovery in rocky desertification plots. And only 38% in secondary forest of *Pinus yunnanensis* can be restored after 30 years of ecology recovery, while 71% of soil hydro-structure function can recover after 26 years of eco-closing. The model of soil hydro-structure function is basically suitable for evaluation of restored vegetations in karst areas.

Key words: karst rocky desertification; restored vegetations; soil hydro-structure function; Shilin park in Yunnan province