

# 侵蚀红壤小流域水土保持措施的土壤肥力效应评价 ——以朱溪小流域为例

陈海滨, 陈志彪

(福建师范大学 地理科学学院, 福州 350007)

**摘要:**针对朱溪小流域在水土流失治理过程中设置的不同水土保持治理措施,采用模糊数学的隶属函数对土壤肥力的恢复效应进行定量分析,为小流域的后续管理和水土保持措施的推广提供依据。结果表明:不同治理措施的土壤肥力以封禁最好,生态林草次之,低效林改造效果较差;生态林草模式中以全坡面播草和乔灌木混交较好,水平条沟较差。八十里河样地治理后经过 20 多年时间 FI 值达到 0.53,2000 年设置的样地 FI 值,只有封禁和全坡面播草措施达到 0.4,2006 年设置的样地 FI 值都低于 0.3,说明经过 10 a 的治理,土壤肥力指数刚刚达到中等水平,而 20 多年后土壤肥力指数才处于中等偏好的水平,土壤肥力的恢复是一个相当漫长的过程。

**关键词:**红壤侵蚀区;水土保持措施;土壤肥力;模糊数学

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0081-06

## Assessment of Soil Fertility under Soil and Water Conservation Measures in Red Eroded Soil Watershed — A Case Study in the Small Watershed of Zhuxi

CHEN Hai-bin, CHEN Zhi-biao

(College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** According to the soil and water conservation measures set for soil and water loss control in the small watershed of Zhuxi, the fuzzy mathematics was used to evaluate the soil fertility recovery effect, provide reference to the subsequent management of the watershed and the promotion of soil and water conservation measures. The results showed that the effect of soil fertility under different control modes, the close hillsides to facilitate afforestation was the best, the ecological forest and grass took second place, the remoulded inefficient forest was poorer. The ecological building mode of sowing grass in the slope and mixed plantation of trees brushes and grasses were better, the level ditch planting was poorer. The FI value of the plot with Bashilihe was 0.53 after control for more than 20 years, the FI value of the plot set in 2000 only the close hillsides to facilitate afforestation and the sowing grass in the slope reached 0.4, the FI value of the plot set in 2006 was less than 0.3. The soil FI value was just in medium preference level after control more than 20 years, and just reached the medium level after control about 10 years, it explains that the soil fertility restoration was a slowly process.

**Key words:** eroded red soil areas; soil and water conservation measures; soil fertility; fuzzy mathematics

我国南方丘陵红壤区,水热资源丰富,生产潜力巨大,但是由于长期对土地资源的不合理利用,整个地区生态与环境遭到严重破坏,土壤退化和水土流失问题严重,导致土壤质量与生产力下降<sup>[1]</sup>。以小流域为基本单元进行流域综合管理正在被世界上越来越

多的国家所认识和采用<sup>[2]</sup>。长汀县朱溪小流域是我国南方红壤侵蚀区的典型代表,历经多年治理取得了明显的生态、社会和经济效益,被国家水利部水土保持司誉为是中国水土流失治理的品牌,南方治理的一面旗帜,并在治理过程中探索出了多种值得推广的治

收稿日期:2011-04-15

修回日期:2011-05-11

资助项目:国家自然科学基金(40871141,40571096)

作者简介:陈海滨(1986—),男,福建南安人,在读硕士,主要从事水土保持与 GIS 应用研究。E-mail:chenhb13@163.com

通信作者:陈志彪(1962—),男,教授,主要从事资源与环境等方面研究。E-mail:chenzhib@gmail.com

理措施,各种治理措施的水土保持效益也成为研究的热点。前人的研究多从土壤理化性质的某一方面入手,如用单一的土壤理化性质指标或某几个指标对治理措施的效果进行简单的评价,而且多数的研究仅定性描述了治理措施对土壤某一种或几种指标所产生的治理效果<sup>[3-8]</sup>,并没有定量对比不同治理措施的治理效果,使得推广高效的治理措施缺乏有力的理论依据。水土流失治理通过恢复植被盖度,使土壤肥力得以恢复,进而实现生态系统的恢复重建,土壤肥力的恢复是水土保持效益的重要体现<sup>[1]</sup>。土壤肥力综合评价包括聚类分析、因子分析、主成分分析和模糊综合评价等<sup>[9]</sup>,其中模糊综合评价具有较扎实的数学基础,得到广泛的应用<sup>[10-12]</sup>。

因此,本研究针对小流域在治理过程中所采取的不同水土保持措施,采用模糊数学综合评价方法分析不同治理措施下土壤肥力的恢复效应,进行定量描述,可以对小流域水土流失的后续治理提供一定的科学依据,并对治理措施在整个红壤侵蚀区推广提供有力依据。

## 1 研究区概况

朱溪小流域主要位于福建省长汀县河田镇东部和南山镇西北部,地理坐标为东经  $116^{\circ}23'30''-116^{\circ}30'30''$ ,北纬  $25^{\circ}38'15''-25^{\circ}42'55''$ ,流域土地总面积约为  $4\,495.65\text{ hm}^2$ 。地貌类型以低山、丘陵为主,海拔高度介于  $270\sim 680\text{ m}$ ,地势自东北向西南方向倾

斜,地形破碎,在河流沿岸有河谷盆地分布,呈盆谷相间的分布状态。该区属中亚热带季风性湿润气候,根据县气象站资料(1961—2008年),多年平均气温  $18.4^{\circ}\text{C}$ ,年平均降水量  $1\,700\text{ mm}$ ,年际变化大,降雨年内分配为双峰型,降雨大多集中在3—8月,占全年降雨量的76%,且强度大;风向季节性变化显著,夏季盛行东南风,冬季盛行西北风。流域在长汀县气象区划中属热量较高、雨量偏少区<sup>[13-14]</sup>。土壤主要为燕山晚期矿物晶粒粗大的黑云母花岗岩在长期湿热气候条件下风化而发育成的红壤、侵蚀红壤,节理发育,但极其松软,抗蚀性极差,且酸性强,保水保肥能力低<sup>[15-16]</sup>。地带性植被为亚热带常绿阔叶林,但由于长期的人为破坏及政策失误,地表植被遭到严重破坏,原始植被几乎全部被次生林所替代。在实施水保措施前,不少地方寸草不生,侵蚀较强的区域植被盖度仅5%~10%,且年生长量极低。主要植被类型为次生马尾松中、幼林,树种单一,结构简单<sup>[13-14]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 朱溪小流域水土保持措施

小流域在治理水土流失的过程中,根据不同的水土流失程度及不同的立地条件,设置了不同的水土流失治理措施,并在每一试验点上设置  $20\text{ m}\times 20\text{ m}$  的标准样地,包括2000年和2006年在治理过程中所设置的各种治理措施下的样地,2009年调查时所记录的样地信息见表1。

表1 朱溪小流域不同治理措施样地基本情况

样地号	侵蚀类型	治理措施	植被盖度/%	坡位	海拔/m	坡度/(°)	坡向
2000-01	轻度	封禁	80	中坡	314	17	NW20°
2000-02	轻度	全坡面播草	90	中坡	341	14	SW57°
2000-03	轻度	水平条沟	70	中坡	319	16	SE35°
2000-06	强度	对照区	30	中坡	325	20	NW70°
2006-01	微度	乔灌木混交	95	坡脚	306	5	SW55°
2006-02	轻度	低效林改造	80	中坡	317	11	SW50°
2006-03	轻度	封禁	70	中坡	337	20	NW25°
2006-04	极强	对照区	20	中坡	332	23	SW20°
八十里河	微度	对照区	100	中坡	315	16	NE65°

从表1中可以看出,样地的坡位、坡度自然条件都较为相似,坡位除了2006年的1号样地处于坡脚外,其余的样地均设置在中坡,坡度也是除了2006年的1号样地位于坡脚而较低外,其余的相差都不超过  $10^{\circ}$ ,坡位、海拔、坡度等立地条件都较为相似。

主要的治理措施概况如下:

(1)封禁措施。封禁治理是依靠生态恢复功能,在短期内迅速恢复植被,遏制水土流失的投资少、见效快的治理措施<sup>[13,15]</sup>。该措施主要适用于轻度水土

流失地或立地条件较好的中度水土流失地及人迹罕至的远山、陡坡、荒坡地。研究区的治理主要以封禁措施为主。

(2)生态林草。生态林草措施以演替理论、生物多样性原理等指导,坚持适地适树,选择与生物特性、地形、土壤相适应的乡土乔灌木,并进行优化配置;坚持适地适草原则,选择草被先行,通过草被快速覆盖地表,有效地抑制林下水土流失<sup>[13,15]</sup>。该措施适用于几乎所有的侵蚀地,尤其是表土残存、造林难度大的

侵蚀地，能快速减轻土壤的侵蚀，增加土壤的养分积累。在研究区主要设置了全坡面播草、水平条沟种植草灌带、营造乔灌混交林等不同造林种草方法，一般采用穴状整地或水平条沟等方式，设计造林种草的行距和株距，并辅以一定的管理措施。

(3)低效林改造。马尾松作为我国南方荒山绿化的先锋树种，具有耐旱、耐贫瘠的特点。花岗岩侵蚀劣地，立地条件极为恶劣，土壤贫瘠，在侵蚀劣地上留下众多“小老头”马尾松。该措施主要适用于立地条件较差的坡地，现有坡地上都有一定密度的“小老头”马尾松，通过穴状或条沟施肥改造方式，并施以肥料，至少连续抚育 3 a。研究区的低效林改造从 2006 年开始实施。

(4)对照。以未采取生态恢复措施的严重侵蚀地为对照 1，地表植物以马尾松小老头树和少量芒萁及野古草为主，无灌木植被，地方近于光板地。土壤侵蚀严重，土壤 B 层露出，立地条件差，部分马尾松根系裸露。选取 20 世纪 80 年代治理后恢复效果较好的八十里河地区为对照 2，可作为长汀县水土流失治理成效的典型代表。八十里河原来也为严重侵蚀地，在 1984 年采用乔灌草措施进行治疗，经过 20 多年的恢复，现森林群落为针阔混交林，林下植被较多，土壤 A 层可达 15 cm 以上，能够自行进行生态恢复演替，

2.2 野外取样方法

在样地中取样时，按照随机原则进行采样，多点采集土壤表层土样，均匀混合土样后，利用四分法取出 1 kg 左右的土样，并在样地内挖掘典型的土壤剖面，利用环刀采集原状土样。而后将采集的样品放入样品袋中，用铅笔写好标签，并注明采样地点、日期、采样深度、采样人等。

2.3 样品分析项目和测定方法

根据研究区土壤特点，选取对植物生长发育影响较大的几个因素：土壤有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、容重、pH、黏粒含量进行分析测定，以上指标的测定均采用《土壤农业化学分析方法》<sup>[17]</sup>的分析方法，其中有机质测定采用高温外热重铬酸钾氧化—容量法；全氮测定采用开氏消煮法；碱解氮测定采用碱解扩散法；全磷测定采用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法；速效磷测定采用双酸浸提—钼锑抗比色法；全钾测定采用氢氧化钠熔融—火焰光度法；速效钾测定采用乙酸按提取—火焰光度法；容重测定采用环刀法；pH 测定采用 1 : 2.5 水浸—电位法；黏粒测定采用氢氧化钠分散—吸管法。

2.4 土壤肥力综合评价方法

采用模糊数学的隶属函数对土壤肥力进行综合

评价<sup>[18]</sup>，对不同治理措施的土壤肥力效应进行比较分析。具体步骤如下：

(1)建立土壤肥力评价的隶属度函数。土壤有机质、全氮、碱解氮、全磷、速效磷、全钾、速效钾与植物生长效应曲线呈“S”型，即在一定范围内上述指标与植物生产呈正相关，低于或高于这个范围对植物生长影响较小。建立如下隶属度函数：

$$f(x)=\begin{cases} 1.0 & x\leq x_1 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1) & x_1\leq x\leq x_2 \\ 0.1 & x\geq x_2 \end{cases} \quad (1)$$

式中： $x_1$ ——评价指标的上限值； $x_2$ ——评价指标的下限值。

根据南方红壤退化机制与防治研究专题组(1999)以及中科院部分专家的研究成果<sup>[11]</sup>，拟定曲线中的临界值，详见表 2。

表 2 养分指标临界值(1)

临界值	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
$x_1$	5	0.5	60	0.2	5	10	50
$x_2$	20	1.2	120	1	20	30	150

土壤容重、pH、黏粒含量与植物生长曲线呈抛物线形，即上述指标对植物生长有一个最佳范围，在此范围外偏离程度越大，对植物生长越不利。建立相应的隶属度函数：

$$f(x)=\begin{cases} 0.1 & x\leq x_1, x\geq x_4 \\ 0.1+0.9(x_2-x)/(x_2-x_1) & x_1\leq x\leq x_2 \\ 1 & x_2\leq x\leq x_3 \\ 1-0.9(x_4-x)/(x_4-x_3) & x_3\leq x\leq x_4 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中， $x_1$  和  $x_4$  分别为评价指标的上限值和下限值，最优值为  $x_2$  和  $x_3$  之间。

根据南方红壤退化机制与防治研究专题组(1999)以及中科院部分专家的研究成果<sup>[11]</sup>，拟定曲线中的临界值，详见表 3。

表 3 养分指标临界值(2)

转折点	容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	pH	黏粒/%
$x_1$	1.0	4.5	5
$x_2$	1.1	6	20
$x_3$	1.2		30
$x_4$	1.4		40

经过上述步骤处理，消除了各个评价指标之间的量纲差异，建立了土壤养分指标评价的隶属度值均在 0.1~1.0 之间，其大小反映了各个评价指标的隶属度情况。

(2)各评价指标权重的确定。本研究为避免人为主观因素的干扰，采用因子分析法计算各指标的权

重值。利用 SPSS 软件对土壤指标的数据进行因子分析,利用主成分分析法提取因子,并选取特征值大于 1 作为选取主因子的条件,并由因子载荷矩阵提取公因子方差,最后确定权重值。

从表 4 中可以看出,研究区各土壤肥力指标的权重除速效钾权重较低外,其余的相差并不太明显,总体上以氮素、磷素、有机质、pH 所占的权重相对较大。这也与研究区的情况较为一致,由于研究区长期的水土流失土壤氮、磷、有机质都较为缺乏,土壤 pH 也深刻影响着土壤肥力水平,因此这几个肥力指标的权重相对较大。

表 4 朱溪小流域土壤肥力质量分析指标的权重值

项目	因子 1	因子 2	因子 3	公因子 方差	权重值
有机质	0.915	0.113	0.081	0.857	0.115
全氮	0.891	0.367	0.098	0.939	0.126
碱解氮	0.886	0.303	0.131	0.895	0.121
全磷	-0.645	0.441	-0.297	0.891	0.12
速效磷	0.554	0.095	0.025	0.844	0.114
全钾	-0.032	0.862	0.169	0.656	0.088
速效钾	0.395	0.817	0.141	0.317	0.043
容重	0.487	0.802	0.11	0.699	0.094
pH	0.005	0.16	0.794	0.772	0.104
黏粒	-0.181	-0.076	-0.719	0.555	0.075
方差贡献	4.561	1.77	1.096		
累计贡献	45.607	63.305	74.262		

(3)综合评价模型。根据所建立的隶属度函数得到各个养分指标的标准化转换值,并结合各指标的权重系数,建立土壤肥力质量评价综合评价模型,具体

表 5 朱溪小流域不同治理措施土壤养分数据

样地号	治理 措施	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	全钾/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	容重/ (g · cm <sup>-3</sup> )	pH	黏粒/ %
2000-01	封禁	58.28	0.77	114.73	0.17	5.4	3.78	75.15	0.93	4.17	23.0
2000-02	全坡面播草	51.41	0.56	103.29	0.31	10.8	3.40	30.06	1.14	5.34	8.5
2000-03	水平条沟	24.25	0.3	54.05	0.11	1.2	3.63	49.10	1.24	4.29	11.7
2000-06	对照区	2.51	0.04	20.37	0.11	1.4	4.35	39.08	1.44	4.77	33.9
2006-01	乔灌木混交	10.85	0.16	39.81	0.08	1.3	4.48	5.01	1.18	4.56	40.0
2006-02	低效林改造	11.13	0.14	32.96	0.12	0.6	9.00	8.02	1.28	4.41	27.3
2006-03	封禁	6.36	0.05	26.26	0.07	0.5	11.93	27.05	1.21	4.79	28.1
2006-04	对照区	2.04	0.05	15.75	0.04	0.1	3.83	2.00	1.42	4.51	20.6
八十里河	对照区	67.38	1.08	125.59	0.25	9.1	3.58	97.19	0.97	4.04	22.2

土壤全磷含量,各个样地都处于贫乏的状态,说明研究区的磷素较为缺乏,总体上在治理后随着时间的延长都有一定的提高,但并不明显;土壤速效磷含量,八十里河、2000 年全坡面播草和封禁都大于 5 mg/kg,说明封禁和全坡面播草治理后经过 10 a 左右的恢复,土壤的供磷水平都能够达到中等水平;不同措施比较,2000 年为:全坡面播草>封禁>水平条沟>对照,2006 年治理的样地经过 3 a 时间,供磷水平

公式为

$$FI = \sum_{i=1}^n f_i \times w_i \quad (3)$$

式中:FI——土壤肥力指数; $f_i$ ——第  $i$  种土壤养分指标的隶属度值; $w_i$ ——第  $i$  种土壤养分指标的权重系数。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同治理措施对土壤肥力指标的

不同治理措施下的土壤养分数据分布见表 5。从表 5 中可以看出,土壤有机质含量为八十里河的样地最高,从不同年份进行比较,2000 年治理的样地次之,2006 年治理的样地最低,但都高于严重侵蚀的对照地,说明土壤有机质含量治理后随着时间的延长都会提高;从不同治理措施比较,2000 年为:封禁>全坡面播草>水平条沟>对照,2006 年为:低效林改造>乔灌木混交>封禁>对照。

土壤全氮含量,除了八十里河的样地能达到中等水平外,其余样地都处于较差水平,其中 2000 年治理的样地高于 2006 年治理的样地,说明全氮的提高要经过 20 a 甚至更长的时间;不同措施的样地比较,2000 年为:封禁>全坡面播草>水平条沟>对照,2006 年为:草灌木混交>低效林改造>封禁>对照;碱解氮方面与全氮表现出较为一致的规律,其中八十里河、2000 年封禁和全坡面播草的样地可达到较丰富的水平,说明封禁和全坡面播草治理后经过 10 a 时间土壤供氮水平有了很大改善,可以大大满足植物生长的需要。

还处于中下水平,大小顺序依次为乔灌木混交>低效林改造>封禁>对照。

土壤全钾更多地受土壤母质和淋溶作用的影响,各个样地的全钾水平都较低,没有表现出明显的不同趋势,含量相对较高的为 2006 年的封禁和低效林改造样地;土壤速效钾方面,不同时间上表现为八十里河>2000 年样地>2006 年样地;不同措施上的比较,2000 年封禁>对照>生态林草,2006 年封禁>低效

林改造>生态林草>对照,说明可能只要减少人为的扰动,土壤速效钾水平就可有效地提高;此外2000年的对照地速效钾含量也较高,可能是侵蚀到母质层,而母质中含有较多钾素的缘故。

经过治理的样地土壤容重都比对照地低,其中八十里河和2000年封禁的样地甚至低于 $1.0\text{ g/cm}^3$ ,说明随着土壤养分的提高,植被的恢复,更多的枯枝落叶转化为土壤的腐殖质,使得土壤更为疏松,不同治理措施的表现,2000年封禁<全坡面播草<水平条沟<对照,2006年乔灌木混交<封禁<低效林改造<对照;土壤pH,除了2000年的生态林草样地高于5外,其余的都是低于5的酸性土壤,差别不大,其中八十里河和2000年封禁样地pH特别低,甚至接近于4,说明在植被的恢复过程中,可能会存在着土壤酸化的问题,应引起一定的重视,2006年低效林改造pH低于4.5则可能是施肥的影响;土壤黏粒,除了2000年生态林草措施的样地较低,2006年乔灌木措施的样地较高外,其他样地都处于较为适宜肥力发挥的水平,差异不大。

### 3.2 不同治理措施土壤肥力效应的综合评价

利用公式(3)计算各治理措施的土壤肥力指标的质量指数FI值,结果见图1。从图中可以看出,经过治理后的FI值都高于0.2,其中最大的为八十里河样地,FI值为0.53,对照地的FI值都低于0.2。根据吕晓男的五级分类法<sup>[12]</sup>( $FI>0.8$ 为土壤肥力质量好, $0.6<FI<0.8$ 为较好, $0.4<FI<0.6$ 为中等, $0.2<FI<0.4$ 为差, $FI<0.2$ 为极差),八十里河治理后经过20多年以及2000年封禁和全坡面播草的样地治理后经过10a土壤肥力质量都才达到中等水平,而2000年水平条沟措施的样地和2006年治理的样地的土壤肥力都处于差的水平,说明土壤肥力的恢复是一个长期的过程,短期内土壤肥力的提高并不明显。两个严重侵蚀的对照地,土壤肥力则还处于较差的水平,说明严重水土流失区,如果没有人为的强化治理,要改善土壤的肥力状况是很难的。

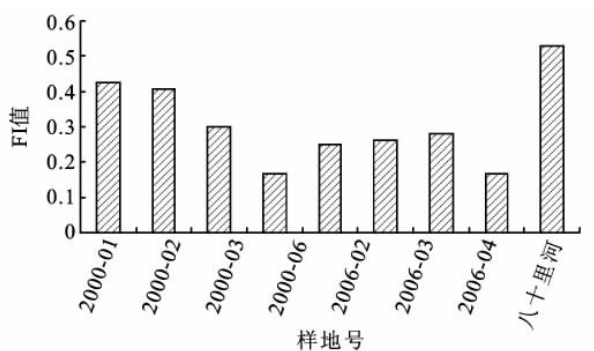


图1 朱溪小流域不同治理措施FI值

通过不同的治理措施比较,可以看出封禁措施不管在长期还是短期内,对土壤肥力的改善都会优于其它措施,一方面由于封禁的区域一般都是植被条件较好,流失程度较低的地方,土壤肥力状况本来就较好;另一方面封禁治理消除了人为干扰的影响,通过让其自然恢复,群落的生物量和生产力得到极大的提高,营养元素循环较为畅通<sup>[5]</sup>,利于土壤肥力的积累。全坡面播草措施优于水平条沟,全坡面播草能快速覆盖地表,从而有效地减少水土流失,减少土壤肥力的流失,有效促进植物生长;低效林改造措施在短期内优于乔灌木措施,低效林改造区原来就存在大量的马尾松,只是由于土地瘠薄而生长缓慢,通过人为连续的施肥,马尾松的生长状况很快得到改善,植被的快速生长也能很快地改善土壤环境,加快地力的恢复。由此可见,强化措施虽然能有效地提高土壤肥力,但由于强化措施一般都在流失较严重的地方采用,土壤肥力不论在短期和中长期都还达不到封禁措施的水平。

## 4 结论与讨论

从不同治理措施的土壤养分比较可以看出,任何一种治理措施,土壤有机质、碱解氮、全氮随着治理后时间的延长都有所提高,其中2000年治理的封禁和全坡面播草措施土壤有机质经过10a左右的时间,都可达到较高的水平,分别可达到 $52.28, 51.41\text{ g/kg}$ ,碱解氮含量分别可达到 $114.73, 103.29\text{ mg/kg}$ ,接近恢复较好的八十里河样地的水平,全氮、全磷、速效磷、速效钾也会有所提高,但恢复的时间应该更长;不同措施下在短期内强化治理的生态林草措施最好,低效林改造次之,封禁较差,中长期则其封禁治理最优,生态林草等强化治理措施次之。强化治理措施因为进行了施肥,土壤养分在短期内提高较快,而随着土壤养分的消耗,提高速度降低;封禁治理模式在短期内土壤养分提高较慢,但排除了人为的干扰,土壤养分循环更为通畅,利于土壤养分的积累。

通过对不同治理措施下的土壤肥力效应综合评价,八十里河样地治理后经过20多年时间FI值才达到0.53,2000年设置的样地FI值只有封禁和全坡面播草措施达到0.4,2006年设置的样地FI值都低于0.3,两年设置的严重侵蚀对照样地FI值更是低于0.2,说明土壤肥力的恢复是一个漫长的过程,特别在强度侵蚀区土壤极其旱瘠,植被难以生存,要想较快地恢复土壤肥力是不可能实现的,而是应该选择合理的治理措施与管理,首先通过改善植被的生长条件来有效地缓解水土流失程度,可以通过采取一些强化治理措施,等土壤肥力恢复到一定阶段,进而采用封禁

措施并经过长期的努力,逐步提高土壤肥力,以达到改善生态环境的目的。

小流域经过多年的治理,水土流失程度已经大大降低,各种治理措施的实施管理机制也日渐成熟。在前期的治理过程中,治理的目标都围绕在如何有效减少水土流失,如今水土流失程度已经得到有效控制,治理的目标也应转移到如何实现流域的有效管理,更好地培肥土壤,避免土壤的再次退化,以实现土壤的可持续利用。本研究在分析土壤肥力指标过程中,发现植被恢复较好的八十里河样地,存在土壤 pH 较低的情况;通过对不同年份治理的样地比较也可看出,2000 年治理的植被恢复效果较好的样地比 2006 年治理样地的 pH 值低,可见随着植被的恢复,土壤肥力提高,土壤存在着一定的酸化现象,在以后进一步的管理过程中应加以重视并有效改善。

#### 参考文献:

- [1] 赵其国. 中国东部红壤地区土壤退化的时空变化、机理与调控[M]. 北京:科学出版社,2002:41-45.
- [2] 王礼先. 流域管理学[M]. 北京:中国林业出版社,1999:1-10.
- [3] 陈志彪,朱鹤健. 不同水土流失治理模式下的土壤理化特征[J]. 福建师范大学学报:自然科学版,2006,22(4):5-11.
- [4] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,等. 封禁管理对严重退化群落养分循环与能量的影响[J]. 山地学报,2002,20(3):325-330.
- [5] 谢锦升,杨玉盛,陈光水,等. 严重侵蚀红壤封禁管理后土壤性质的变化[J]. 福建林学院学报,2002,22(3):236-239.
- [6] 曾河水. 不同治理措施侵蚀地土壤物理性状变化的研究[J]. 福建水土保持,2002,14(1):50-60.
- [7] 刘洪生. 生态修复在长汀水土流失治理的几种应用模式分析[J]. 亚热带水土保持,2005,17(3):31-33.
- [8] 郑本暖,杨玉盛,谢锦升,等. 亚热带红壤严重退化生态系统封禁管理后生物多样性的恢复[J]. 水土保持研究,2002,9(4):57-63.
- [9] 于法展,李保杰,尤海梅,等. 多元统计分析方法在徐州城区公园绿地土壤肥力评价中的应用[J]. 水土保持研究,2007,14(4):159-161.
- [10] 孙波,张桃林,赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报,1995,32(4):362-369.
- [11] 徐建明,张甘霖,谢正苗,等. 土壤质量指标与评价[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [12] 吕晓勇,陆允甫,王人潮. 土壤肥力综合评价初步研究[J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,1999,25(4):378-383.
- [13] 陈丽慧. 基于多源信息的土壤侵蚀敏感性机器生态环境效应研究:以朱溪河小流域为例[D]. 福州:福建师范大学,2009.
- [14] 邹爱平. 红壤退化区侵蚀景观格局及其演变:以长汀县朱溪河小流域为例[D]. 福州:福建师范大学,2008.
- [15] 陈志彪. 花岗岩侵蚀山地生态重建及其生态环境效应[D]. 福州:福建师范大学,2005.
- [16] 岳辉,陈志彪. 朱溪河小流域水土流失治理与生态环境效应[J]. 福建地理,2003,18(1):6-8.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999.
- [18] John J B, Thomas B M, Douglas L K. Identification of regional soil quality factors and indicators: I. Central and southern high plain[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000,64:2115-2124.
- [9] 潘根兴,曹建华,何师意,等. 土壤碳作为湿润亚热带表层岩溶作用的动力机制:系统碳库及碳转移特征[J]. 南京农业大学学报,1999,22(3):49-52.
- [10] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤农业化学分析法[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [11] 段正锋,傅瓦利,甄晓君,等. 岩溶区土地利用方式对土壤有机碳组分及其分布特征的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(2):109-114.
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学析[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
- [13] 曹建华. 岩溶土壤系统中生物作用及有机碳转移对于  $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$  体系的调节与控制[D]. 南京:南京农业大学,2001.
- [14] 莫彬,曹建华,徐祥明,等. 岩溶山区不同土地利用方式对土壤活性有机碳动态的影响[J]. 生态环境,2006,15(6):1224-1230.
- [15] 柳敏,宇万太,姜子绍,等. 土壤溶解性有机碳(DOC)的影响因子及生态效应[J]. 土壤通报,2007,38(4):758-762.
- [16] 徐阳春,沈其荣,冉炜. 长期免耕和施用有机肥对土壤微生物量碳、氮、磷的影响[J]. 土壤学报,2002,39(1):89-96.
- [17] 俞元春,李淑芬. 江苏下蜀林区土壤溶解有机碳与土壤因子的关系[J]. 土壤,2003,35(5):424-428.

(上接第 80 页)