

植被恢复措施对退化生态系统土壤 酶活性及肥力的影响*

胡 斌¹ 段昌群¹ 王震洪¹ 张世彪² 起联春²

(1 云南大学生命科学与化学学院环境科学系,昆明 650091; 2 牟定县水土保持办公室,牟定 675500)

EFFECT OF VEGETATION REHABILITATION MEASURES ON SOIL FERTILITY AND SOIL ENZYMATIC ACTIVITY IN DEGRADED ECOSYSTEM

Hu Bin¹ Duang Chang-qun¹ Wang Zhen-hong¹ Zhang Shi-biao² Qi Lian-chun²

(1 Department of Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650091;

2 Soil and Water Conservation Office of Muding County, Muding 675500)

关键词 恢复措施,土壤肥力,土壤酶活性

中图分类号 S714.6

对于退化生态系统的恢复,首先是植被恢复,植被恢复是充分利用土壤-植物复合系统的功能改善局部环境,促进生物物种多样性的形成。植被恢复的生态效应不但影响林地本身,也影响周围的环境,进而对区域和全球的生态平衡有所贡献,因此,退化生态系统的恢复与重建具有重大的生态效益、经济效益和社会效益^[1]。目前在这方面已有相当多的研究^[1~3],但是,对于云南松林的生态效益的研究却很少有报道。本研究选择长江上游重点防护区陇川江小流域的三种不同水土保持林恢复措施,在对它们控蚀能力研究的同时,也对肥力及土壤酶活性进行了研究,以期揭示三种不同恢复措施的植物群落对其土壤肥力和土壤酶活性的影响以及植物群落-土壤肥力-土壤酶活性三者之间的相互关系,为云南高原山地退化生态系统及长江上游水土保持林的优化配置积累有用的资料。

1 材料和方法

1.1 样地选择及概况

在云南牟定县境内长江上游重点防护区选取云南松(*Pinus yunnanensis*)林群落、桉树(*Eucalyptus globulus*)-黑荆(*Acacia mearns*)混交林群落、桉树林群落及荒坡草地四种不同植物群落的样地对其土壤养

* 国家自然科学基金(39960019)、云南省应用基础研究(1999C0010M)、云南省教委基金(9812065)和长江上游水土保持委员会(1998-21)资助

收稿日期:2000-09-19;收到修改稿日期:2000-12-21

分及土壤酶活性进行研究。样地位于云南省牟定县境内东经 101°28', 北纬 25°24', 海拔 1980 m, 属北亚热带半湿润季风气候, 年均温 15.7℃, 最低月均温 8.3℃, 最高月均温 20.9℃, 年降雨量 800~1000 mm, 平均日照 2501.4 h, 年辐射 $5.57 \times 10^5 \text{ J cm}^{-2}$ 。成土母质为白垩纪江底河组紫红色页岩发育而成的柴油色土。

1.2 实验材料和测定方法

在上述试验基地选取条件相对一致的四种植物群落样地, 以“S”形布点采取 0~20 cm 混合土样。采取用于土壤酶活性分析的土样时所用的采样器具进行严格消毒处理, 带回实验室进行分析。

土壤酶活性: 过氧化氢酶用 KMnO_4 滴定法, 酶活性以每克土消耗高锰酸钾的 ml 数表示^[3]; 多酚氧化酶用邻苯三酚比色法, 以每克土 1h 内生成的没食子素的 mg 数表示^[4]; 脲酶用奈氏试剂比色法^[4]; 蛋白酶用茚三酮比色法, 以每克土甘氨酸的 μg 数表示^[3]; 磷酸酶用磷酸苯二钠比色改进法测定^[5]; 蔗糖酶活性, 以每克土消耗 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 的 ml 数表示^[3]。

土壤营养元素分析测定参照文献[6]: 有机质用重铬酸钾—硫酸消化法; pH(H_2O)用电极法; 土壤全氮用重铬酸钾—硫酸消化凯氏定氮法; 速效氮采用扩散吸收法; 全磷用氢氧化钠熔融—钼锑抗比色法; 有效磷用盐酸—氟化铵法; 钾用氢氧化钠熔融—四苯硼钠容量法测定。

2 结果与分析

2.1 不同恢复措施对土壤养分的影响

对于退化生态系统, 土壤肥力极低, 生态环境极为恶化, 采取不同的植被恢复措施有利于提高土壤肥力。从表 1 可以看出: 三种不同恢复措施植物群落样地土壤的有机质含量明显高于荒坡草地, 其中, 以云南松林地土壤有机质含量最高, 有机质含量为 13.8 g kg^{-1} , 较荒坡草地高 84%, 桉树—黑荆混交林地和纯桉树林地土壤较荒坡地分别高出 60%, 54.7%。四种不同植物群落土壤有机质含量为: 云南松林地 > 桉树—黑荆混交林地 > 纯桉树林地 > 荒坡草地, 说明四种不同植物群落中以云南松林地土壤的有机质积累最多, 而荒坡草地土壤的有机质积累最低。

从土壤全氮含量看, 桉树—黑荆混交林地较荒坡草地高出 1.3 倍, 云南松和纯桉树林地也分别比荒坡草地高 51.5% 和 48.5%, 土壤全氮含量顺序为: 桉树—黑荆混交林地 > 云南松林地 > 纯桉树林地 > 荒坡草地。表明在四种不同植物群落中, 以桉树—黑荆混交林恢复措施对土壤的全氮贡献最大, 这可能与混交林中黑荆树的固氮功能有关。土壤全磷含量也以桉树—黑荆混交林地最高, 全磷含量为 0.38 g kg^{-1} , 荒坡草地最低, 全磷含量为 0.34 g kg^{-1} , 三种恢复措施林地土壤的全磷含量均高于无林荒坡草地。四种不同植物群落土壤的全磷含量顺序为: 桉树—黑荆混交林地 > 纯桉树林地 > 云南松林地 > 荒坡草地, 说明采取不同恢复措施均能减少土壤全氮、全磷的流失量。对于土壤全钾, 在四种植物群落中则以荒坡草地的全钾含量最高 (12.68 g kg^{-1}), 以云南松林地的土壤全钾含量最低, 全钾含量为 9.02 g kg^{-1} , 这与土壤成土母质有关, 柴油色土成土母质富含磷、钾元素, 由于不同植被的影响, 土壤抗蚀性有所不同, 土层厚薄不一, 在四种群落中, 荒坡草地土壤侵蚀最为严重, 土层最薄, 取样已达 C 层, 因而土壤全钾含量最高, 这与紫色土全钾含量随取样深度而增加相吻合⁽¹⁾ 四种不同植物群落土壤全钾含量顺序为: 荒坡草地 > 桉树—黑荆混交林地 > 纯桉树林地 > 云南松林地。可以看出, 虽然云南松在三种不同恢复措施

(1) 云南大学生物系主编. 云南省红(黄)壤利用改良区划. 1983. 16~17

中其林地土壤的有机质含量最高,这可能是云南松林地枯落物量较大有关,但其林地土壤全氮,全磷,全钾含量均明显低于桉树-黑荆混交林地。表明桉树-黑荆混交林对土壤全量养分的积累最多。

表 1 不同恢复措施土壤养分含量

恢复措施	pH (H ₂ O)	土壤水分 (%)	有机质 (g kg ⁻¹)	全氮 (g kg ⁻¹)	全磷 (g kg ⁻¹)	全钾 (g kg ⁻¹)	碱解氮 (mg kg ⁻¹)	速效磷 (mg kg ⁻¹)	速效钾 (mg kg ⁻¹)
云南松	5.38	5.06	13.8	0.50	0.35	9.02	100.2	15.35	39.8
桉树-黑荆混交林	5.42	5.03	12.0	0.76	0.38	11.29	93.15	13.54	62.75
纯桉树林	5.25	8.49	11.6	0.49	0.36	10.15	87.3	13.88	45.2
荒坡地	5.69	8.30	7.5	0.33	0.34	12.68	61.45	8.37	43.87

从四种群落的土壤速效养分看,速效氮的含量与有机质含量相类似,以云南松林地含量最高,桉树-黑荆混交林地次之,荒坡草地的速效氮含量最低。可以看出,三种恢复措施中,虽然黑荆树的固氮作用对土壤总氮的积累较多,但是云南松林地土壤的可利用态氮反而最高,这可能是云南松林对土壤生物化学活性的影响作用所致。土壤速效磷含量与土壤全磷含量有所不同,四种不同植物群落中,以云南松群落林地土壤的速效磷含量最高(15.35 mg kg⁻¹),其次为纯桉树林地,桉树-黑荆混交林地,而荒坡草地土壤的有效磷含量最低,张彦东等^[7]研究认为:水曲柳和落叶松根际分泌物与磷酸根离子存在竞争吸附,结果使根际土壤磷的有效性增加,除此之外,落叶松还有其他活化方式。从本研究的结果看,可能云南松也存在竞争吸附或其他对土壤磷的活化方式,所以其土壤有效磷转化率很高,这有待于进一步研究。三种不同恢复措施林地土壤的有效磷含量均高于无林荒坡草地,表明采取不同恢复措施均能提高土壤磷的有效性。土壤速效钾含量顺序为:桉树-黑荆混交林地 > 纯桉树林地 > 荒坡草地 > 云南松林地。

从所测定的几种土壤肥力指标看,三种不同恢复措施中,虽然桉树-黑荆混交林地土壤的全磷及全氮的含量均为三种恢复措施中最高的,但从土壤有机质含量及土壤速效养分来看,云南松林地土壤含量相对较高,所以可以认为在三种不同恢复措施中以云南松林对土壤肥力的贡献最大,其次为桉树-黑荆混交林,而纯桉树林对土壤肥力的贡献最小,但三种不同恢复措施土壤肥力均明显高于荒坡草地,表明采取不同恢复措施后对退化生态系统的土壤肥力均有明显提高作用。

2.2 不同恢复措施对土壤酶活性的影响

从表 2 看,在四种植物群落中,多酚氧化酶活性以桉树-黑荆混交林地土壤最高,为 0.68 mg g⁻¹,其次为纯桉树林地,云南松林地,而荒坡草地土壤的多酚氧化酶活性最低,为 0.50 mg g⁻¹。脲酶活性与过氧化氢酶活性相类似,两类酶的酶活性均以云南松林地土壤最高,分别为 4.32 mg g⁻¹和 0.55 ml g⁻¹,桉树-黑荆混交林地土壤次之,分别为 3.01 mg g⁻¹和 0.51 ml g⁻¹,而荒坡草地最低,为 1.15 mg g⁻¹和 0.02 ml g⁻¹。从土壤过氧化氢酶看,三种不同恢复措施对土壤过氧化氢酶活性均有显著提高,云南松林地,桉树-黑荆混交林地及纯桉树林地土壤的过氧化氢酶活性分别比荒坡草地高 26.2 倍,24.5 倍,14.5 倍。表明采取不同的恢复措施后土壤的氧化还原能力都有了很大增强,从而有利于土壤中某些有毒物

质的转化和土壤腐殖质的形成。磷酸酶活性以云南松林地土壤最高,为 0.85 mg g^{-1} ,荒坡草地最低,为 0.25 mg g^{-1} ,土壤磷酸酶活性顺序为:云南松林地 > 纯桉树林地 > 桉树 - 黑荆混交林地 > 荒坡草地。在四种不同植物群落的土壤中,以纯桉树林地土壤蔗糖酶活性最高,这可能与桉树的根分泌物有关,其次为桉树 - 黑荆混交林地及云南松林地,荒坡草地土壤的蔗糖酶活性最低。总体看来,在所研究的六种土壤酶中,以荒坡草地土壤酶活性最低,云南松林地的土壤酶活性相对较高,说明在三种不同的植被恢复措施中,以云南松林地土壤的生物学活性最高,其次为桉树 - 黑荆混交林地,纯桉树林地。

表 2 三种不同恢复措施土壤酶活性

恢复措施	酶 活 性 ¹⁾					
	多酚氧化酶	脲 酶	过氧化氢酶	蛋白酶	酸性磷酸酶	蔗糖酶
云南松	0.61	4.32	0.55	0.72	0.85	1.06
桉树-黑荆混交林	0.68	3.01	0.51	0.67	0.41	1.40
纯桉林	0.64	2.42	0.31	0.60	0.59	1.68
荒坡草地	0.50	1.15	0.02	0.45	0.25	0.78

1) 土壤酶活性:多酚氧化酶以没食子素表示(mg g^{-1}),脲酶以 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 表示(mg g^{-1}),过氧化氢酶以 KMnO_4 表示(ml g^{-1}),蛋白酶以甘氨酸表示($\mu\text{g g}^{-1}$),磷酸酶以酚表示(mg g^{-1}),蔗糖酶以 $0.1 \text{ mol Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 表示(ml g^{-1})

表 3 土壤肥力与酶活性的关联度排序(R 值)

肥 力	关 联 度 排 序								
	速效氮	速效磷	蛋白酶	脲酶	过氧化氢酶	磷酸酶	多酚氧化酶	速效钾	蔗糖酶
有机质	0.994**	0.989*	0.983*	0.959*	0.958*	0.874*	0.771	0.767	0.491
速效氮	蛋白酶	过氧化氢酶	脲酶	多酚氧化酶	磷酸酶	蔗糖酶			
速效磷	0.992**	0.980*	0.944*	0.827	0.815	0.524			
速效钾	蛋白酶	过氧化氢酶	脲酶	磷酸酶	多酚氧化酶	蔗糖酶			
	0.953*	0.925*	0.908*	0.864*	0.810	0.605			
	多酚氧化酶	过氧化氢酶	蛋白酶	蔗糖酶	脲酶	磷酸酶			
	0.995**	0.845*	0.803	0.769	0.618	0.379			

** 0.01 水平; * 0.05 水平

2.3 不同恢复措施下土壤肥力与土壤酶活性的相互关系

土壤有机物质是土壤中酶促底物的主要给源,是土壤固相中最复杂的系统。也是土壤肥力的主要物质基础。从表 1 及表 2 看,土壤有机质含量及土壤酶活性都是以云南松林地土壤最高;从表 3 几项主要肥力指标与酶活性的关联度看,与有机质的关联度顺序为:速效氮 > 速效磷 > 蛋白酶 > 脲酶 > 过氧化氢酶 > 磷酸酶 > 多酚氧化酶 > 速效钾 > 蔗糖酶。土壤有机质与速效氮呈极显著正相关,与速效磷,蛋白酶,脲酶,过氧化氢酶,磷酸酶显著正相关,与速效钾和蔗糖酶的相关性不显著。速效氮,速效磷与所研究的六类酶的相关性顺序基本一致,仅多酚氧化酶和磷酸酶有所差异,速效氮与多酚氧化酶有较好的相关性,而速效磷则与磷酸酶相关性较高。土壤磷酸酶活性与土壤速效磷含量呈显著正相关,植物、微生物所释放的磷酸酶对有机磷的矿化作用是明显的,在有机质分解的最初阶段,微生物和磷酸酶是主导因素,是有机磷矿化速率的限制因子。据有关报道,磷酸酶活性与有机磷含量呈正相关,与土壤有机质含量也呈正相关,有的呈显著正相关^[8],在三种不同恢复措施中,桉树 - 黑荆混交林和纯桉树林地土壤的磷酸酶活性与有机质含量正好

相反,这可能是有机质的质量和土壤水分所致,因为水分饱和的土壤磷酸酶活性往往比一般含水量土壤的磷酸酶活性高,纯桉树林地土壤水分含量为 8.49%,而桉树一黑荆混交林地土壤水分为 5.03%。另外,土壤有效钾和无机磷对磷酸酶活性也有影响^[8],周瑞莲等^[9]在研究火烧土壤养分与酶活性时认为,磷酸酶活性易受土壤无机磷影响,尽管火烧后土壤有机质和全氮增加使土壤磷酸酶活性增强,但同时无机磷增多也抑制了磷酸酶活性。在三种恢复措施中,混交林全磷含量较纯桉树林地高,而磷酸酶活性反而比纯桉树林地低,可能也是这一缘故。蔗糖酶与有机质,速效氮,速效磷的相关性最差,众所周知,土壤蔗糖酶主要来自植物的根,也来自微生物和土壤动物,受植被影响很大,周礼恺^[3]认为蔗糖酶活性更多的取决于有机质的类型,因此,用蔗糖酶活性表征土壤肥力时也应考虑不同植被对土壤酶活性的影响。在本研究中蔗糖酶不宜用来衡量土壤肥力状况。土壤脲酶活性在一定程度上决定了植物对尿素氮的利用程度,土壤脲酶活性变化与土壤有机质含量呈显著正相关,云南松林群落植物生长茂密,具有较高的生物多样性,因此土壤脲酶活性可能也取决于植被类型、植物茂密的土壤往往具有较高的脲酶活性。

3 结 论

对长江上游重点防护小区的云南松林群落,桉树一黑荆混交林群落,纯桉树林群落三种人工植被恢复措施在恢复 10 年后的土壤肥力及酶活性研究认为:云南松林群落的土壤有机质含量最高,纯桉树林群落的土壤有机质最低,由于不同树种及不同植物群落间的差异影响,导致土壤保水保肥能力的差异。三种不同措施土壤全氮,全磷都明显高于无林荒坡草地,水土流失得到一定的有效控制,有效养分也比荒坡草地有所提高,土壤酶活性增强。特别是云南松林群落的影响最大,其林地土壤脲酶,过氧化氢酶,蛋白酶,磷酸酶活性都是最强,其次是桉树一黑荆混交林,纯桉树林。因此,在对退化生态系统进行植被恢复的过程中,应考虑不同区域的气候,土壤等环境因素的影响,在选取树种时,结合当地实际,考虑外来树种与本地树种的合理搭配,对不同恢复措施进行优化配置,进而对区域生态系统有所贡献,以期达到最大的生态效益和经济效益。

参 考 文 献

1. 彭少麟. 恢复生态学与植被重建. 生态科学, 1996, 15(2): 16 ~ 31
2. 杨玉盛, 何宗明, 邱仁辉等. 严重退化生态系统不同恢复和重建措施的植物多样性与地力差异研究. 生态学报, 1999, 19(4): 490 ~ 494
3. 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987. 116 ~ 267
4. 许光辉, 郑洪元主编. 土壤微生物分析方法手册. 北京: 农业出版社, 1986. 205 ~ 286
5. 赵兰坡, 姜岩. 土壤磷酸酶活性测定方法的探讨. 土壤通报, 1986, 17(3): 138 ~ 141
6. 中国科学院南京土壤研究所编. 土壤理化分析. 上海: 科学技术出版社, 1978
7. 关松荫等编著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 98 ~ 123
8. 张彦东, 王庆成, 张国珍. 水曲柳落叶松混交林土壤磷活化机理. 见: 沈国舫, 翟明普主编. 混交林研究. 北京: 中国林业出版社, 1997. 136 ~ 140
9. 周瑞莲, 张普金, 徐第林. 高寒山区火烧土壤对其养分含量和酶活性的影响及灰色关联分析. 土壤学报, 1997, 34(1): 89 ~ 96