

四川省北川县震后边坡土壤状况与植被恢复效果

骆翔宇, 吴敬陈, 晋雨漪, 王越, 辜彬

(四川大学 生命科学学院 生物资源与生态环境教育部重点实验室, 四川 成都 610065)

摘要: [目的] 探索震损边坡林业治山工程后修复坡面不同季相、坡位等因素造成的土壤理化性质的差异, 为评估边坡植被修复工程效果和指导工程因地制宜的管护方法提供理论依据。[方法] 根据常规森林土壤测定方法对四川省北川县擂鼓镇震后边坡治理坡面检测土壤理化性质和土壤酶活性, 并调查草本植物情况, 解析土壤理化性质和酶活性时空变化与植被恢复效果的关系。[结果] 土壤养分状况和植被恢复情况对季相和坡位响应不明显, 与未受损自然边坡差异显著, 表现出了微弱的向好趋势。[结论] 在目前治理技术和养护条件下, 土壤养分状况的改善与植被修复情况相辅相成, 在后期管护过程中, 要注意引导当地居民观念, 减少无关人为干扰; 适时监测工程固持水土能力; 计划性补种植物并对经济作物种植区施放有机肥等, 以促进坡面生态系统恢复。

关键词: 地震边坡; 植被修复; 土壤理化性质; 工程养护; 北川县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)01-0274-07

中图分类号: Q142.3, S151.9

文献参数: 骆翔宇, 吴敬陈, 晋雨漪, 等. 四川省北川县震后边坡土壤状况与植被恢复效果[J]. 水土保持通报, 2017, 37(1): 274-280. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.048; Luo Xiangyu, Wu Jingchen, Jin Yuyi, et al. Soil nutrient and vegetation restoration on earthquake-stricken slopes in Beichuan County, Sichuan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(1): 274-280. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2017.01.048

Soil Nutrient and Vegetation Restoration on Earthquake-stricken Slopes in Beichuan County, Sichuan Province

LUO Xiangyu, WU Jingchen, JIN Yuyi, WANG Yue, GU Bin

(Key Laboratory of Bio-resources and Eco-environment, Ministry of

Education; College of Life Science, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China)

Abstract: [Objective] The objective of the study is to explore the differences in soil physical and chemical properties in different seasons and slope positions in earthquake-stricken slopes after replanting forest species, and to assess the vegetation restoration and to provide the theoretical support for managing the slope. [Methods] According to the conventional methods, this study investigated the changes of soil physical and chemical properties, soil enzymic activity and herb growth, in Leigu Town, Beichuan County, Sichuan Province. The relationships between variations of soil physical and chemical properties and enzyme activities and the effect of vegetation restoration were analyzed. [Results] Soil nutrient levels and vegetation recovery showed no significant differences in different seasons and slope positions, however, they showed significant difference in undamaged natural slope. [Conclusion] In the current treatments and curing conditions, improved physical and chemical properties of soil can affect vegetation restoration. Much more attention needs to be paid to concepts of villagers and human disturbance. Soil and water holding capacity need to be monitored timely, pioneer herbs need to be replanted, and organic fertilizer can be used in the crop growing areas to improve soil fertility.

Keywords: slope governance; vegetation restoration; soil physical and chemical properties; engineering maintenance; Beichuan County

收稿日期: 2016-04-24

修回日期: 2016-06-10

资助项目: 四川大学生命科学学院本科科研能力提高项目“震后边坡工程林业治山项目”(0020405401238)

第一作者: 骆翔宇(1996—), 男(仡佬族), 贵州省遵义市人, 本科, 研究方向为城市生态学。E-mail: luoxiangyu1112@outlook.com。

通讯作者: 辜彬(1959—), 男(汉族), 重庆市人, 博士, 教授, 主要从事边坡生态工程研究。E-mail: amakusa@126.com。

边坡植被的修复,是指由于自然灾害或人为破坏山体后,以水土保持为目的进行的植被重建修复工程。地震等破坏性的自然灾害,往往会损坏山体,致使边坡裸露,从而造成水土流失,甚至导致次生自然灾害的发生,如继发性山洪,继发性山体滑坡等^[1]。2008年汶川大地震发生后,严重破坏了灾区的山体,引发了灾区大规模的次生灾害。为稳固边坡、减少次生灾害带来的影响,2010年2月正式启动了为期5年的中日合作四川省地震灾后森林植被恢复项目,以达到保持水土、恢复原有生态环境的目的。截至目前,项目在四川省阿坝藏族羌族自治州汶川县、绵阳市北川县及德阳市绵竹市共建造了施工区域面积达10 hm²的示范施工地。

北川县擂鼓镇石岩村2011年施工修复的坡面(2.36 hm²),是在日方技术指导下由中方施工进行的工程项目,是中方引进日方技术并自我运用实践的典型施工地,对于日方技术在中国因地制宜修复边坡植被有典型意义。针对边坡土壤养分状况和植被恢复情况的研究,能够及时跟进修复工程的效果,量化评估工程质量。本文拟持续地对项目工程恢复情况跟踪调查,积累数据和对比分析,为工程的后期管理提出建设性的意见与建议,提升边坡生态修复效果,进而总结形成具有一定普遍适用性的震损边坡工程生态修复技术,以期为其他类似的边坡植被恢复工程提供科学依据^[2]。

1 研究区概况

1.1 北川县擂鼓镇自然环境特点

北川羌族自治县位于四川盆地西北部,擂鼓镇位于北川县境东南(N 31.776°E 104.427°),属北亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充沛,干湿分明。年平均气温15.6℃,年平均降水1002.7 mm。研究地地质构造为扬子准地台与松潘—甘孜地槽褶皱结合部,地势西高东低,地层岩性主要为古生界寒武系下统(E₁ch₁)超山组灰黄色变质砂岩、板岩,岩层为薄—中厚层状,风化后呈碎裂—散体结构^[3]。水文条件复杂,山体岩石破碎,沟谷谷坡分布率一般大于25%,是滑坡崩塌、泥石流易发区。土壤类型和植被类型垂直分带明显,自下而上依次为黄壤和常绿阔叶林,黄棕壤和常绿落叶混交林、暗棕壤和针阔叶混交林、亚高山草甸土和亚高山灌丛草甸、高山草甸土和高山草甸。

1.2 擂鼓镇坡面工程概况

工程位于擂鼓镇石岩村,运用的主要治山手段是铁丝笼挡土墙工程、土袋阶梯工程和土袋渠系工程,

分为边坡植被恢复工程和排水渠工程2个施工部分,分别于2011年11月底和2012年2月下旬完工。其中边坡植被修复工程施工面积为2.03 hm²,排水渠工程施工面积为0.33 hm²。

研究样地位于凤凰山东麓,距北川地震博物馆擂鼓接待中心直线距离约500 m(31°46′N,104°25′E),坡长约110 m,高程跨度约70 m,坡度约39°。施工后的坡面呈阶梯状,马道宽20~40 cm,每层坡面重力分选特征明显。岩石风化程度高(基本碎裂)。坡面木本植被基本毁损,局部有零星草本小斑块。

2 研究方法

2.1 样地的选取

样地边坡坡面在2011年完成坡面改造并种植人工树种,根据坡面的高度不同,在3种不同坡位(上坡、中坡、下坡)随机选择1 m×1 m的恢复区土壤样方(以土壤样方同时作为草本样方)各3个作为研究对象。同时,在恢复区坡面附近分别以同等高度随机选择1 m×1 m的未受损山体边坡(简称自然边坡)土壤样方各2个作为对照。

2.2 土壤样品的采集

研究地边坡采用滑坡山体的原土壤人工重覆后,土层厚度约为10 cm。根据恢复早期的植被修复状况,表层5 cm以上的土壤直接影响植物长势,故在土壤表层0—5 cm处进行采样,分别于2015年3月和9月采用S形采样法,在坡面区域内进行土壤样品的采集(通过GPS定位确保2次样地位置相同,每份样品为采集于1 m×1 m样方中的混合土壤(重约1 kg)。同时以在附近同等高度未受地震破坏的自然边坡上采集0—5 cm的表层土壤样品作为对照。将所取土壤封存于聚乙烯塑料封口袋,并放置于恒温箱(15℃)中带回实验室,通过圆盘四分法,取一半鲜土密封于4℃冰箱保存,另一半自然风干并磨细过80号筛后保存备用。

2.3 草本层调查

以土壤样方为中心,在周围划取2 m×2 m的草本植物样方,调查草本层生活力水平(即植物长势,判断标准分3级,叶片无萎蔫,水分充足为Ⅰ,叶片有部分枯萎为Ⅱ,整体植株萎蔫为Ⅲ),计算丰富度指数、样方的总盖度及主要种盖度等,计算公式为:

$$\text{丰富度指数: } D = \frac{s}{\ln A} \quad (1)$$

式中:s——物种数目(个);A——样方面积(m²)。

$$\text{样方总盖度(%) : } C_i = \frac{S_n}{S} \times 100\% \quad (2)$$

式中: s_n ——植被覆盖面积(m^2); s ——样方面积(m^2)。

$$\text{主要种盖度}(\%): C_i = \frac{s_i}{s} \times 100\% \quad (3)$$

式中: s_i ——主要种覆盖面积(m^2); s ——样方面积(m^2)。

2.4 土壤样品的分析

土壤样品分析时,土壤理化分析采用常规(《森林土壤分析方法》)方法^[4];土壤含水量(SWC)用铝箔干燥法,土壤 pH 值用水浸提电位法,全氮(TN)采用半微量凯氏定氮法,碱解氮(HN)采用碱解扩散法。土壤酶活性测定^[5]:磷酸酶(Pho)用磷酸苯二钠比色法,脲酶(Ure)用苯酚一次氯酸钠比色法测定,蔗糖酶(Inv)用二硝基水杨酸比色法,蛋白酶(Pro)用 Folin 酚比色法。

以上处理,每个样品做 3 个重复和 2 个空白对照(无处理对照和无基质对照),取平均值。

2.5 数据处理

试验数据经过 Excel 2010 整理后,利用 IBM

SPSS 19.0 进行单样本 T 检验、单因素方差分析(One-way ANOVA)、单变量一般线性模型分析(析因分析)和相关性分析。

3 结果与分析

3.1 恢复区边坡土壤基质养分状况

通过预试验中对自然区(指自然边坡)土壤样品的试验处理发现,自然区水平整体趋于一致,坡位对土壤养分含量的影响不显著,因此将自然边坡土壤的样方测定数据均值作为样地周边自然边坡总体的平均水平,用于与恢复区样方进行比较。以恢复区 9 个样方数据推测恢复区总体水平,进行单样本 T -检验(0.95 置信水平, T 值)比较恢复区与自然区的差异显著水平;并分别以季相、坡位为单因素,进行单因素方差分析(0.95 置信水平, F_1, F_2 值)。结果如表 1 所示。

表 1 研究区土壤理化性质

样地类型	坡位	pH 值			含水量/%			全氮/($g \cdot kg^{-1}$)		
		春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值
恢复区	上坡	5.93	5.58		20.48	13.35		0.49	0.57	
	中坡	5.88	5.75		16.05	15.38		0.83	0.91	
	下坡	5.64	5.60		15.91	16.36		0.56	0.69	
	F_2 值	3.122	0.364	2.779*	1.142	0.520	1.791*	1.347	0.329	0.407*
	均值	5.82	5.64		17.48	6.36		0.63	0.72	
自然区	均值	5.74	5.75		35.50	27.97		3.08	3.11	
	T 值	1.187	-1.311		-12.621	-11.240		-25.905	-19.400	
样地类型	坡位	碱解氮/($mg \cdot kg^{-1}$)			酸性磷酸酶/($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)			脲酶/($\mu g \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)		
		春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值
恢复区	上坡	30.45	53.32		3.77	4.02		6.26	7.31	
	中坡	64.98	84.12		1.87	2.40		5.44	6.30	
	下坡	47.83	62.77		2.32	2.19		4.34	5.46	
	F_2 值	1.351	0.783	1.998*	1.903	2.462	0.117*	0.387	0.922	1.037*
	均值	47.75	66.74		2.65	2.87		5.35	6.36	
自然区	均值	231.00	237.30		0.71	0.76		9.12	9.20	
	T 值	-20.483	-17.039		4.224	4.905		-4.585	-5.613	
样地类型	坡位	中性磷酸酶/($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)			蛋白酶/($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)			蔗糖酶/($mg \cdot g^{-1} \cdot h^{-1}$)		
		春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值	春季	秋季	F_1 值
恢复区	上坡	1.66	2.89		0.10	0.11		0.33	0.42	
	中坡	2.00	2.54		0.27	0.31		0.81	0.91	
	下坡	2.44	2.58		0.27	0.37		0.53	0.54	
	F_2 值	0.123	0.075	0.887*	0.912	0.752	0.183*	1.898	1.913	0.187*
	均值	2.03	2.67		0.21	0.26		0.56	0.62	
自然区	均值	1.80	1.75		0.05	0.05		1.67	1.61	
	T 值	0.405	2.554		2.782	2.347		-9.852	-8.255	

注: T 值为恢复区与自然区差异检验值; F_1 值为季相差异检验值; F_2 值为坡位差异检验值; * 表示季相与坡位的双因素析因分析检验值(检验值置信水平均为 0.95, $p < 0.05$)。

土壤 pH 值春季在 5.44~6.05, 均值 5.82, 与自然区春季 (pH=5.74) 差异显著; 秋季水平在 5.22~5.90, 均值 5.64, 与自然区秋季 (pH=5.75) 差异显著, 均显酸性, 恢复区秋季酸性较强。同一坡位在两季之间的差异不显著, 同一季节在不同坡位之间差异亦不显著。

土壤全氮含量春季有超过 90% 的样本处于缺乏至中下水平 (根据 2001 年土壤养分含量全国统一分级标准中下水平 0.5~0.8 g/kg, 缺乏水平 0.8~1.0 g/kg); 秋季则有 22.2% 的样本处于中上水平, 全氮含量均有上升趋势, 但上升趋势仍未达到统计学意义。春秋两季的恢复区土壤全氮含量与自然区差异较大, 不足自然区的 50%。季相之间还未显示显著差异; 坡位之间差异不显著。碱解氮水平也反映出相同的趋势特点。

土壤酸性磷酸酶活性高于对照水平, 与自然区之间有显著差异, 其中春季 66.7% 的样品酸性磷酸酶活性超过自然区 2 倍以上, 中性磷酸酶与自然区无显著差异; 秋季 77.8% 的样品酸性磷酸酶活性超过自然区 2 倍以上, 峰值约为自然区的 7 倍, 中性磷酸酶活性与自然区差异显著。春秋两季之间的酶活性差异不显著; 坡位之间差异不显著。

土壤蛋白酶活性高于自然水平, 与自然区之间差异显著, 其中春季 55.6% 的样品蛋白酶活性超过自然区 2 倍以上; 秋季峰值约为自然区的 6.5 倍; 春秋两季之间的差异不显著。坡位之间差异不显著。

土壤脲酶活性中恢复区与自然区差异显著, 其中春季仅有 22.2% 的样品与自然区水平持平, 33.3% 的样品低于恢复区平均水平; 秋季有 33.3% 的样品与自然区水平基本持平, 11.1% 的样品低于恢复区水平; 春秋两季之间的差异不显著; 坡位之间差异不显著。

土壤蔗糖酶活性恢复区水平显著低于自然区水平, 差异显著, 其中春季 66.7% 的样品蔗糖酶活性不到自然区的 50%, 秋季 55.6% 的样品蔗糖酶活性不到自然区的 50%, 有 11.1% 的样品与自然区水平持平; 春秋两季之间的差异不显著; 坡位之间差异不显著。

土壤含水量春季在 10.62%~22.85%, 秋季在 9%~20.04%, 项目地春秋两季降水量基本持平, 春季恢复区与自然区含水量差异显著, 恢复区稍显不足; 秋季恢复区与自然区差异无统计学意义, 但春秋两季之间差异不显著, 坡位之间差异不显著。

边坡土壤的养分恢复动态是一个受各方面因素影响的复合效应, 因此将季相与坡位两个因素做析因

分析。进行析因分析前, 对土壤样品所测的各项指标分配权重, 形成表征土壤整体情况的综合养分指标。根据因子加权分析法^[6], 结合现有数据对各指标进行赋权以计算表征土壤综合养分含量的土壤养分指数, 公式表示如下:

$$y = 0.05(\text{pH} + \text{SWS} + \text{Pho}_\alpha) + 0.1(\text{Pho}_\beta + \text{Ure} + \text{Inv}) + 0.15(\text{HN} + \text{Pro}) + 0.25\text{TN} \quad (4)$$

式中: Pho_α ——酸性磷酸酶; Pho_β ——中性磷酸酶; 土壤 pH 值、含水量、全氮、碱解氮、酸性磷酸酶、中性磷酸酶、蛋白酶、脲酶、蔗糖酶的权重分别为: 0.05, 0.05, 0.25, 0.15, 0.1, 0.05, 0.15, 0.1, 0.1。

土壤养分指数及单变量一般线性模型分析 (0.95 置信水平) 结果如表 2, 3 所示。

表 2 土壤加权养分指数

季节	土壤养分指数				
	上坡	中坡	下坡	均值	自然
春季	7.14	12	9.27	9.47	38.7
秋季	10.40	15	11.70	11.90	39.3

表 3 土壤养分分析因分析结果

因素	因素间效应检验指数				
	Ⅲ型平方和	df	均方	F	sig.
单季相因素	38.077	1	38.077	2.417	0.146
单坡位因素	69.155	2	34.578	2.195	0.154
季相 & 坡位双因素	0.592	2	0.296	0.019	0.981

根据析因分析的零假设和计算结果数值得出: 没有足够证据表明季相对土壤养分状况有显著影响, 也不能表明坡位对土壤养分状况有显著影响, 同时季相与坡位之间也无明显交互关系。但根据测试数据的直观判断, 随着周年变化, 土壤养分状况应该趋于上升, 秋季土壤养分状况应优于春季, 但结果表明秋季的平均水平对于春季而言的轻微上升趋势在统计学意义上不明显。鉴于此, 根据双因素相关性估算边际均值作图分析趋势, 结果见图 1。

土壤 pH 值在 3 个不同坡位上都呈现出春季值高于秋季, 在季相变化上呈现出下降趋势, 其中下降趋势呈现: 上坡 > 中坡 > 下坡。土壤含水量在上、中坡呈现出春季值高于秋季, 都呈现下降趋势, 且上坡的下降趋势明显高于中坡。而下坡土壤的含水量值却是春季低于秋季, 呈上升趋势。土壤全氮含量在 3 个坡位上都呈现出春季值低于秋季值, 且季相变化中呈现出上升趋势, 且下坡上升趋势略微高于上、中坡。土壤碱解氮含量在 3 个坡位上均呈现春季值低于秋季值。3 个坡位随季相变化, 碱解氮含量均呈上升趋

势,上升趋势上坡略高于中坡略高于下坡。土壤酸性磷酸酶含量在上中坡呈现春季值低于秋季值,都是上升趋势,且中坡的上升趋势略高于上坡,而下坡土壤的酸性磷酸酶含量却是春季值高于秋季,呈现下降趋势。土壤中性磷酸酶含量在 3 个坡位均呈现上升趋势,其春季值均低于秋季值。其中上坡上升趋势最明显,下坡上升趋势最小。土壤蔗糖酶含量在上中下坡,都是呈现一定的上升趋势,其春季值均低于秋季值。其中,上中坡上升趋势相差不大,下坡的趋势则

稍低于前两坡。

土壤蛋白酶含量在上中下坡都有上升趋势,其春季值均低于秋季值。其中上坡的上升趋势很细微,下坡的上升趋势高于中坡(均高于上坡)。土壤脲酶含量随季相变化,在上中下 3 个坡位都呈上升趋势,其春季值均低于秋季值。其中上下坡上升趋势基本相同,中坡稍低于二者。综上,各指标反映出生态工程修复坡面土壤质量有向好的恢复趋势,但是存在一定的空间分异。

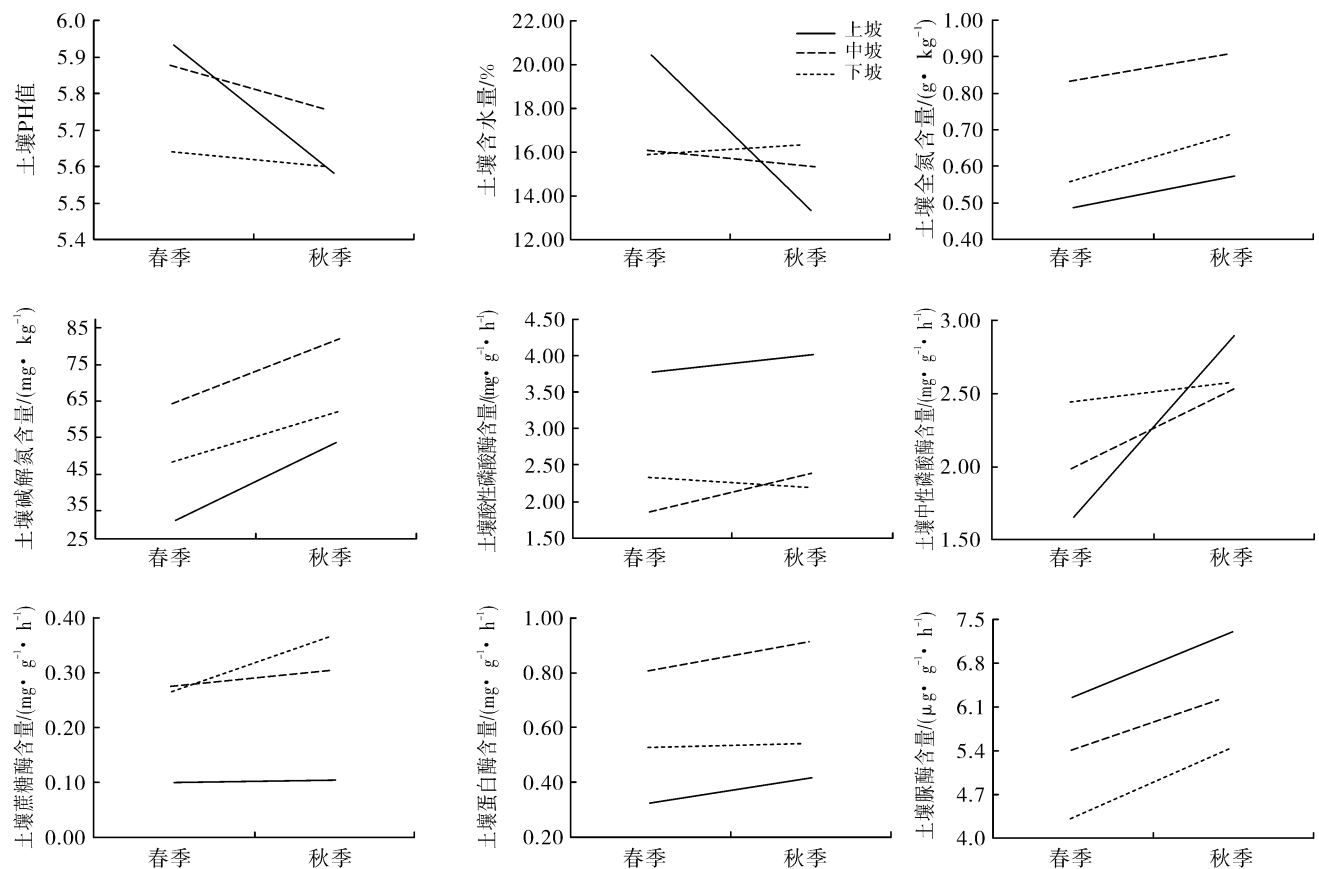


图 1 ANOVA 析因分析季相与坡位间各项指标的估算边际均值

3.2 坡面植被草本层样方数据结果

恢复区坡面的土壤养分水平的另一表征指标就是实际的植被情况,包括植被的物种数、物种来源类型、植被总盖度、主要种盖度等^[7]。由于边坡植被仍处于演替的初期,人工种植木本树种时间较短,难以显示出明显的植物长势变化,且下坡开垦为经济作物的种植区,对植物群落的演替有影响,因此选择变化明显的草本层植物群落作为主要的调研对象^[8]。根据 2010—2011 年项目施工资料显示,工程施工种植の木本植物幼苗有刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、核桃(*Juglans regia*)、枇杷(*Eriobotrya japonica*)、日本樱花(*Cerasus yedoensis*)、青脆李(*Prunus salicina*)等,人工点播的植物有酸枣(*Ziziphus jujuba*),

人工撒播的有黑麦草(*Lolium perenne*)等。周边自然区植物主要优势种有毛竹(*Phyllostachys heterocycla*)、扁竹根(*Iris japonica*)及较大面积覆盖的各种蕨类植物。而恢复区优势种除了周边村民播种的大豆(*Glycine max*)外,还有野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*)和鬼针(*Bidens pilosa*)等先锋植物。在草本植物的调查中,自然演替的植物和村民播种的植物基本各占一半的比例。恢复区上坡的草本植物种类主要有野苘蒿、鬼针、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)等;中坡主要有有蛇莓(*Duchesnea indica*)、芸薹(*Brassica campestris*)、鬼针、野苘蒿、黑麦草、葛藤(*Argyreia seguinii*)等;下坡主要有野苘蒿、大豆、鬼

针、黑麦草、车轴草(*Trifolium* sp.)等。草本层植被盖度及长势结果如表 4 所示。通过对恢复区草本植被的调查发现,从下坡到中坡、上坡,草本植物种类和数量无明显差别。恢复区由于有人工选种的植物,在植物种类上自然区反而比恢复区匮乏,但恢复区未见草本蕨类植物。大部分种类的植物秋季长势与春季

长势基本持平,但部分植物秋季长势优于春季,例如野苘蒿、葛藤等。不同坡位的植物长势差异不大。自然区的植被总盖度最高,恢复区的植被总盖度基本在 50%以上,仅有少部分样方盖度在 45%以下,春季 27%的最小值是由于新种植农作物而出现的偏差。

表 4 草本层植物样方采集数据

坡位	D	主要种	学名	C _i /%		长势		C _i /%		来源
				春	秋	春	秋	春	秋	
上坡	3.6	野苘蒿	<i>Crassocephalum crepidioides</i>	54	82	I	I	40	44	自然植被
	5.0	野苘蒿	<i>C. crepidioides</i>	52	75	II	I	22	36	自然植被
	2.2	野苘蒿	<i>C. crepidioides</i>	45	62	II	II	18	32	自然植被
中坡	4.3	野苘蒿	<i>C. crepidioides</i>	58	78	I	I	33	26	自然植被
	3.6	芸薹	<i>Brassica campestris</i>	75	90	I	I	45	70	农作物
	4.3	黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	53	73	I	I	36	45	工程植被
下坡	5.0	黄豆	<i>Glycine max</i>	27	58	II	II	26	28	农作物
	5.8	黑麦草	<i>Lolium perenne</i>	66	79	I	II	35	37	工程植被
	4.3	车轴草	<i>Trifolium</i> sp.	68	82	I	I	40	45	自然植被
自然	3.6	扁竹根	<i>Iris japonica</i>	96	96	I	I	65	65	自然植被

注: I 为植物叶片无萎蔫,水分充足; II 为叶片有部分枯萎; III 为整体植株萎蔫;春秋两季样方调查中,草本层植物种类和主要种均未变化,因此只显示一列数据;对长势的主观判断标准中已考虑一年生草本植物自身生命周期及受干扰程度等因素; D 为丰富度指数; C_i, C_j 分别为样方总盖度和主要种盖度。

4 讨论与结论

由于该工程施工目的是在修复边坡、稳固山体、保持水土的前提下,尽量为周边居民提供条件种植经济作物,同时达到一定程度上为当地创收的效果。而在 2015 年的周年变化中,根据土壤养分理化分析和草本层植被样方调查数据得知,北川震后边坡植被的修复动态情况仍未达到这一预期效果,甚至由于这一原因导致了项目地人为干扰较频繁的情况,不能有效满足边坡恢复需求的低干扰度。坡位和季相之间的差异不显著,恢复区与自然区之间在氮素含量、酶活性等方面还有很大差距。

通过对草本层植物盖度与土壤养分指数做相关分析结果可知,样方中所有植物的总盖度与土壤养分指数之间呈极显著的正相关关系($r=0.711, p<0.01^{**}$),同时主要种的盖度与土壤养分指数之间也呈极显著的正相关关系($r=0.835, p<0.01^{**}$)。由此可以看出草本植物盖度和长势与土壤养分状况息息相关。通过控制土壤养分水平,可有效的促进坡面植被的恢复^[9]。结合草本样方数据和调查发现,在缺乏氮素的坡面,豆科及先锋植物大都长势优良且覆盖程度高,这不仅表现在草本层上,木本植物中豆科刺槐的长势也略优于枇杷、酸枣等。因此在后期管理

中,应该首先以这些对环境养分需求不太高的植物为主,不能一味的追求经济价值而种植难以适应当地环境的植物,后期的管护过程中也要适时调整选种,土壤自身养分提高后再行开垦种植其他经济作物。

根据对土壤养分各个指标的分析发现,恢复区不同坡位的土壤养分状况均没有显著差异,仅表现出了逐渐向自然区土壤养分状况恢复的微弱趋势。上、中、下坡之间,由于上坡地势陡峭,越靠近上坡位置人为活动越少,下坡因有农户种植黄豆等农作物,人为活动较频繁,从下至上表现出自然演替先锋植物的占据逐渐增多、生活力较强,说明受干扰强度低的区域恢复效果优于受干扰强度高的区域。另外,恢复区春、秋季之间亦无统计学意义上的数值差异,只能通过趋势线发现秋季状况略优于春季。在周年变化中,随着工程撒播植物和人工种植等措施的实施,土壤养分状况应随周年变化差异显著^[10],尤其是秋季水热条件等自然因素优于春季的情况下,不显著的变化趋势说明后期管护未使得恢复区发挥原有作用,需要对工程后期管理措施进行修正。

植被恢复过程中植物对土壤养分需求的同时,也对相应的土壤养分状况有改变作用^[11]。通过析因分析的结果,仅在图像上能够反映坡位和季相这两个因

素共同对恢复区土壤养分恢复水平的作用,却不能通过数值明显表现出不同坡位在季相变化条件下土壤恢复情况的显著差异,今后可考虑加测更敏感的变化因子并提高试验精度来进行研究分析,以期能从统计学意义上表现其恢复状况。除此之外,根据中国类似地边坡修复状况研究结果看来,恢复情况不显著的原因多是因为基底恢复较慢,土壤养分变化和植被恢复状况都是一个长期过程,较小时间尺度下的研究结果不显著是可以接受的^[12],这样的阴性数据结果能够为该工程项目此后的跟踪研究以及较大时间尺度上的研究积累基础数据。

调查发现现行管理模式中存在的管理粗放化、懈怠化、停滞化等问题使得恢复效果低效化。结合数据结果讨论得出以下建议:

(1) 应规范当地居民在工程地的活动周期,如量化规定在工程地的种植活动频次、减少非有益性的无关干扰等;

(2) 应正确引导当地村民谨慎选种、适时播种、保证土壤肥力提高的情况下在种植经济作物区合理施放有机肥^[13],并在恢复期不要过于依赖坡面创造经济收入;

(3) 对工程地上坡区域等非种植区,严格管控无关人为干扰,避免人为破坏。

(4) 适时监测工程保水固土能力、植被恢复情况,保证工程质量。有计划性地进行合理干扰^[14],如在覆盖率不足的地方评估后及时补种先锋植物或者豆科草本经济作物。

边坡恢复动态研究是一个与民生相关的长期工作,值得引起我们的重视。希望针对震后边坡植被恢复的工作能继续下去,使日方先进治山技术在中国因地制宜的应用能获得更好的效果。

[参 考 文 献]

[1] 付诗雨,辜彬.震损山体边坡生态恢复的有效途径:以北

川羌族自治县擂鼓镇石岩村山体边坡为例[J].安徽农业科学,2015,1(1):204-208,211.

[2] 潘树林,王丽,辜彬.论边坡的生态恢复[J].生态学杂志.2005,24(2):217-221.

[3] 王根龙,张军慧,刘红帅.汶川地震北川县城地质灾害调查与初步分析[J].中国地质灾害与防治学报,2009,20(3):47-51.

[4] 骆东奇,白洁,谢德体.论土壤肥力评价指标和方法[J].土壤与环境,2002,11(2):202-205.

[5] 高宏英,艾应伟,王克秀,等.坡位与坡向对岩石边坡人工土壤腐殖质组分及有机质的影响[J].水土保持学报,2013,27(6):244-248.

[6] 曹承绵,严长生等.关于土壤肥力数值化综合评价的探讨[J].土壤通报,1983(04).

[7] 李绍才,孙海龙,杨志荣,等.岩石边坡基质—植被系统的养分循环[J].北京林业大学学报,2006,28(2):85-90.

[8] 陶宝先,张金池,愈元春,等.苏南丘陵地区森林土壤酶活性季节变化[J].生态环境,2010,19(10):2349-2354.

[9] 董方帅,徐礼根.岩质边坡植被重建后的生态评价指标体系构建[J].科技通报,2009,25(4):503-509,514.

[10] 陈志芳,刘金福,吴则焰.不同海拔土壤理化性质与酶活性研究[J].河北北方学院学报:自然科学版,2014,30(1):38-42.

[11] 王志泰,李毅,王志杰.岩石边坡植被建植初期植被特征与土壤养分动态[J].农业工程学报,2012,28(2):215-221.

[12] 尹金珠,朱凯华,史翔宇,等.庆丰采石场岩质边坡植被恢复状况和土壤特性研究[J].水土保持通报,2012,32(1):144-149.

[13] Bécel C, Vercambre G, Pagès L. Soil penetration resistance: A suitable soil property to account for variations in root elongation and branching[J]. Plant and Soil, 2012,353(1):169-180.

[14] 马帅帅,王英宇,宋桂龙,等.岩石边坡植被恢复初期土壤养分特征及其影响因素[J].水土保持通报,2013,33(3):24-28.

(上接第 273 页)

[13] Lancaster N. Development of linear dunes in the Southwestern Kalahari, Southern Africa[J]. Journal of Arid Environments, 1988,14(3):233-244.

[14] Thornthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate[J]. Geographical Review, 1948,38(1):55-94.

[15] United Nations Environment Programme. World Atlas

of Desertification[M]. London: Edward Arnold Publishers, 1992.

[16] Liu Benli, Qu Jianjun, Kang Shichang. Response of dune activity on the Tibetan Plateau to near future climate change[J]. Climate Research, 2016,69:1-8.

[17] 郭春燕.近 50 a 内蒙古自治区风速变化周期及突变分析[J].干旱区资源与环境,2015,29(9):154-158.