

# 岷江干旱河谷不同植被恢复模式的适应性研究

唐小智 李德文 刘 赞 桂林华

(四川省林业调查规划院 四川 成都 610081)

**摘要:**以岷江干旱河谷的理县段为研究对象,基于石砾含量、坡面稳定性、坡度等因子的综合分析基础上区划造林地和造林,然后从造林效果来评价和筛选不同造林模式的适应性。结果如下:(1)干砌石水平阶梯工程+大苗客土种植模式适用于石砾含量70%以下、堆积体厚度在0.5 m~2.0 m之间、坡度在25°~35°之间、降雨量600 mm以下的受灾林地。(2)简易排水工程+水平夯土阶梯工程+大苗客土种植适用于石砾含量70%以下、堆积体厚度在1.0 m以下、坡度在25°~35°之间、降雨量600 mm以下的受灾林地。(3)浆砌石挡墙阶梯工程+大苗客土种植适用于治理石砾含量50%以上、堆积体厚度2.0 m以上、坡度在25°~35°之间、降雨量600 mm以下的受灾林地。本文总结出了一套科学、可行的森林植被恢复技术,能为干旱河谷的植被恢复工作提供技术参考。

**关键词:**植被恢复模式;适应性;干旱河谷;岷江

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2015)01-0011-06

## A Study of the Adaptability of Different Vegetation Restoration Patterns in the Arid Valleys of the Minjiang River

TANG Xiao-zhi LI De-wen LIU Zan GUI Lin-hua

(Sichuan Forestry Inventory and Plan Institute, Chengdu 610081, China)

**Abstract:** In this paper, Lixian section in the arid valleys of the Minjiang River was taken as the research object. Based on the comprehensive analysis of gravel content, slope stability, slope factor and so on, for-estation land division and afforestation were conducted, aiming to evaluate and screen the adaptability of different afforestation models according to the effect of the afforestation. The results were as follows: (1) Dry stone horizontal step engineering + seedlings soil planting mode was suitable for the affected forest fields in gravel content below 70% and with the deposit thickness between 0.5 and 2 meters, the slope between 25~35 degrees and rainfall below 600 mm. (2) Simple drainage engineering + level soil planting seedlings of rammed earth ladder project was suitable for the affected forest fields in gravel content below 70% and with the deposit thickness below 1.0 m, the slope between 25~35 degree and rainfall below 600 mm. (3) The masonry retaining wall with ladder engineering + seedlings planting was suitable for the affected forest fields in gravel content above 50% and with the thickness of 2.0m above accumulation body, slope between 25~35 degrees, rainfall below 600 mm. Besides, a set of scientific and feasible technology was put forward for the restoration of forest vegetation, being able to provide technical reference for the dry valley vegetation recovery.

**Key words:** Vegetation Restoration pattern, Adaptability, Arid valley, The Minjiang River

森林植被恢复(Forest Vegetation Restoration)是根据一定的恢复目标,运用森林演替理论和森林培育学原理,采取森林培育学和生态工程学的技术与方法,人为地改变和切断引起森林退化的主导因子

或过程,建立优化的森林生态系统结构与功能,使森林恢复到处于进展演替中的某种稳定状态<sup>[1-3]</sup>。北欧国家对寒温带针叶林、英国和日本等国学者对东南亚热带雨林采伐后植被恢复过程和技术进行了较

收稿日期:2014-10-14

作者简介:唐小智(1966-),男,硕士,高级工程师,主要从事林业调查规划设计。

深入研究<sup>[4-7]</sup>。上世纪80年代开始,中国学者对退化森林生态系统植被恢复过程与技术也进行了大量研究<sup>[1,8-13]</sup>。国内外对森林生态系统恢复研究主要集中在森林采伐迹地的植被恢复和环境污染对森林的退化,以及探讨采伐破坏和干扰后森林植被恢复的生态学过程与机制。

理县地处岷江上游,对岷江中下游地区特别是成都平原具有重要的生态屏障作用。长期以来,受森林资源利用的影响,森林资源破坏严重,山区公路及居民点周边山体植被遭到破坏,山体坡面水土流失加剧,在雨季面临山体滑坡、泥石流等地质灾害的危险,对居住在理县的各族群众生命和财产形成了威胁。“5·12”汶川特大地震使理县本就脆弱的生态环境又遭受到严重的破坏,山体结构遭到不同程度破坏,森林植被受损极其严重,使当地各族群众的生命财产安全受到巨大威胁。

由于地震所造成的立地条件差、结构不稳定的坡面又给植被恢复带来了极大的难题,传统的植被恢复方案或技术很难在这些区域取得较好效果,急需新的技术来解决这一难题。本文借鉴日本先进的工程治山技术理念,首先对各受灾林地的受灾类型、受灾程度、立地因子及植被因子进行调查和综合分析,然后本着“先治理坡面再恢复森林植被”的思路,探索总结出一套适合理县地震灾后森林植被恢复的科学和完整的林业治山技术。

## 1 材料与方 法

### 1.1 野外调查

2009年1~3月,在理县杂谷脑河两岸不同类型的受灾林地进行立地因子、植被因子和灾害因子调查。采用1:5万地形图、1:1万的卫星影像和灾后1:5000航空影像,按照《造林技术规程》(GB/T15776—2006)、《四川省森林资源二类调查办法(试行)》(1994年)等技术规程要求对试验地进行调查和区划,并采用罗盘仪实测地震引起的林地受损范围。在确定恢复范围的基础上对试验地内其它基础因子进行详细调查。调查内容主要包括:(1)立地因子:坡度、坡向、坡位、坡型、海拔、土壤类型、土层厚度、土壤质地、石砾含量等;(2)植被因子:草本和灌木样方的种类、数量、平均高、盖度以及乔木的种类、数量、平均高、郁闭度、胸径和损害程度等;(3)震后林地灾害识别调查因子:灾害类型、坡度、堆积体或坡面稳定性、石砾含量、植被保存率、潜在

危害性、降水量等。

### 1.2 数据处理

利用SPSS17.0进行数据分析,采用定性定量相结合的方法,将震后林地灾害识别调查因子进行定性数量化分级,进行因子分析,提取出震后受灾林地灾害识别的主因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 造林地块区划

灾害识别是震后受灾林地森林植被恢复模式选择的前提,本文根据灾害识别指标体系对试验地进行灾害识别调查。为便于试验地灾害识别,在调查过程中将每个试验地划分成几块,并编号(见表1)。由于各个试验地一旦发生次生灾害时,其内部的每个灾害识别小区都具有相同的潜在危害对象,因此,每个试验地内部的潜在危害性都是同一的。由表1可看出,4号试验地的潜在危害性最大,为Ⅲ级危害性;2、3、5和6号试验地的潜在危害性次之,为Ⅱ级危害性;1号试验地的潜在危害性最小,为Ⅰ级危害性。

表1 试验地灾害识别综合分析表

Table 1 Analysis results of hazard identification in experimental fields

试验地号	识别小区编号	堆积体厚度(m)	堆积体/坡面稳定性	石砾含量	潜在危害性
1	1-1	0.5~1.0	Ⅱ	轻石砾	Ⅰ级危害性
	1-2	0.5~1.0	Ⅱ	中石砾	Ⅰ级危害性
	1-3	0.5~1.0	Ⅱ	轻石砾	Ⅰ级危害性
	1-4	<0.5	Ⅰ	重石砾	Ⅰ级危害性
2	2-1	<0.5	Ⅰ	轻石砾	Ⅱ级危害性
	2-2	0.5~1.0	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性
	2-3	0.5~1.0	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性
	2-4	<0.5	Ⅰ	轻石砾	Ⅱ级危害性
	2-5	0.5~1.0	Ⅱ	重石砾	Ⅱ级危害性
3	3-1	>2.0	Ⅲ	重石砾	Ⅱ级危害性
	3-2	<0.5	Ⅰ	轻石砾	Ⅱ级危害性
	3-3	1.0~2.0	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性
	3-4	0.5~1.0	Ⅱ	轻石砾	Ⅱ级危害性
4	4-1	1.0~2.0	Ⅱ	中石砾	Ⅲ级危害性
	4-2	0.5~1.0	Ⅱ	轻石砾	Ⅲ级危害性
	4-3	1.0~2.0	Ⅱ	中石砾	Ⅲ级危害性
5	5-1	>2.0	Ⅲ	中石砾	Ⅱ级危害性
	5-2	<0.5	Ⅰ	重石砾	Ⅱ级危害性
	5-3	1.0~2.0	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性
6	6-1	1.0~2.0	Ⅲ	重石砾	Ⅱ级危害性
	6-2	<0.5	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性
	6-3	<0.5	Ⅱ	中石砾	Ⅱ级危害性

注:堆积体/坡面稳定性:Ⅰ—稳定,Ⅱ—较稳定,Ⅲ—不稳定,Ⅳ—极不稳定。

## 2.2 造林模式配置

### 2.2.1 模式一: 干砌石水平阶梯工程 + 大苗客土种植

本模式选择在 4-1 区试验,其对照模式“大苗客土种植(枇杷 + 岷江柏)在 4-3 区进行。4-1 和 4-3 区是Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、坡面堆积体较稳定的受灾林地。

干砌石水平阶梯工程是就地取材的片石筑成的底宽 50 cm、顶宽 30 cm、高 90 cm 的片石砌体;砌体基础是在山体上夯实素土,自然形成一个水平台,然后在水平台上铺上 15 cm 厚的碎石垫层,并夯实;砌体与山体之间填实土石,形成一个 1.3 m 宽的造林平台;相邻两个干砌石水平阶梯工程间隔 2.5 m。

大苗客土种植时,选用枇杷和岷江柏作为造林树种,种植方式采用块状混交;枇杷种植坑为长径 0.8 m、短径 0.8 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑,岷江柏种植坑为长径 0.8 m、短径 0.6 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑。

### 2.2.2 模式二: 简易排水工程 + 水平夯土阶梯工程 + 大苗客土种植

本模式选择在 1-2 区试验,是已形成的堆积物厚度在 1.0 m 以下、Ⅰ或Ⅱ级危害性、轻或中石砾含量、坡面稳定或较稳定的受灾林地。对照模式为模式六。

简易排水工程的治理方法是首先将沟底堆积的松散泥沙和石砾挖出来,堆在冲沟的两侧,然后用工具把冲沟两侧的泥沙和石砾夯实,以形成一条沟顶宽 1.0 m、底宽 0.6 m、高 0.7 m 的排水沟。

水平夯土阶梯工程是通过人工开挖的方式将堆积了松散土石的坡面进行平整夯实,平整后形成水平阶梯状坡面,每个水平带宽 1.5 m,梯级间高差 0.5 m。

大苗客土种植时,选用辐射松和岷江柏作为造林树种,种植方式采用块状混交;种植坑均为长径 0.8 m、短径 0.6 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑。

### 2.2.3 模式三: 堆积体底部浆砌石挡墙 + 大苗客土种植 + 喷播草种

本模式选择在 6-1 区试验,其对照模式为“喷播草种”,也选择在 6-1 区内进行,两个模式实施区中间由 6-2 分隔开。6-1 区是Ⅱ级和Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、坡面堆积体不稳定的受灾林地。

浆砌石挡墙的作用主要是稳定较大的堆积体或滑坡体,防止进一步崩塌或滑坡。浆砌石挡墙设计为底宽 1.2 m、顶宽 0.9 m、高 2.5 m 的梯形,并在墙

体上设置泄水孔。挡墙的基础需要夯实,然后在夯实的素土上铺设 0.4 m 厚的碎石垫层,浆砌石挡墙需在地下埋深 0.5 m。

大苗客土种植时,选用辐射松和岷江柏作为造林树种,种植方式采用块状混交;种植坑均为长径 0.8 m、短径 0.6 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑。

喷播草种适用对象:坡面不稳定、中或重石砾、Ⅰ级或Ⅱ级危害性、坡度大于 35°的不适宜造林的受灾林地。

喷播草种前一定要对种子进行催芽处理,待种子开始萌动时混入泥炭土、耕作土、粘合剂、保水剂、着色剂等,具体配比为泥炭土 50%、栽植土 20%、草纤维 8%、锯木/谷糠 12%、保水剂 5%、粘合剂 1%、复合肥 2%。其比例为 50:1,拌匀后浇入适当的水分,以能成团和较有粘性为适宜。喷播厚度不低于 6 cm,喷完后盖好无纺布,进行浇水,增加土壤水分含量,以将无纺布或遮阳网撒湿润为宜。在炎热的夏季 3 d 内保证 18 mm 水的供应。同时避免阳光直接照射,在所喷播区域覆盖无纺布或遮阳网,并用铁丝和木棒等固定。

### 2.2.4 模式四: 堆积体底部浆砌石挡墙工程 + 大苗客土种植

本模式选择在 3-1 区试验,其对照模式为模式五。3-1 区是Ⅱ级和Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、坡面堆积体不稳定的受灾林地。大苗客土种植时,选用辐射松和岷江柏作为造林树种,种植方式采用块状混交;种植坑均为长径 0.8 m、短径 0.6 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑。

### 2.2.5 模式五: 浆砌石挡墙阶梯工程 + 大苗客土种植

本模式选择在 5-1 区试验,其对照模式为两个,一个是模式四,另外一个“大苗客土种植(辐射松 + 岷江柏 + 赤桉)”,选择在 5-3 区进行。5-3 是Ⅱ级和Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、治理坡面堆积体不稳定的受灾林地。

浆砌石挡墙阶梯工程是浆砌石挡土墙按一定间隔距离在坡面阶梯式分布形成的水平阶梯。每个浆砌石挡墙阶梯的浆砌石挡土墙设计与模式三的浆砌石挡土墙一致。浆砌石挡墙阶梯工程是首先在坡面上部设计 1 个浆砌石挡土墙,将上部的土石固定住,防止其垮塌;然后在下方设计 3 个浆砌石挡墙,形成 3 个 5 m 宽的平台。

### 2.2.6 模式六:土阶梯工程+大苗客土种植

本模式选择在 2-1 区试验,其对照模式为模式二。2-1 区是 I 级或 II 级危害性、石砾含量少、坡面稳定或较稳定的受灾林地。水平夯土阶梯工程具体作法是通过人工开挖的方式将堆积松散土石进行平整夯实,平整后形成水平阶梯状坡面,每个水平带宽 1.5 m,梯级间高差 0.5 m。大苗客土种植时,选用辐射松、岷江柏和赤桉作为造林树种,种植方式采用块状混交;种植坑均为长径 0.8 m、短径 0.6 m、深 0.8 m 的鱼鳞坑。

### 2.3 不同模式的植被恢复效果

#### 2.3.1 模式一

模式一试验地中造林树种的平均地径、平均高度都在逐年增加,保存率也都达到 84% 以上,保存率有所下降主要是由于管理不到位,栽植的经济树种由于缺水、缺肥而死亡,但岷江柏的保存率都在

85% 以上(表 2)。草本植被的平均盖度逐年增大,且在 2011 年~2012 年有显著增大趋势。灌木植被虽然在 2011 年有所减少,但在 2012 年又得到回升。综合说明该试验地植被恢复效果总体是良好,但不适宜种植经济树种。

模式一试验地(4-1)紧邻耕地和村寨,且上方存在落石的威胁,为保护下方居民的生命财产安全。在该试验地的植被恢复方案中首先是在坡面下部修筑干砌石水平阶梯工程,固定下部土石堆积体、减弱落石的冲击力。通过定期的监测发现工程措施有效地固定了坡面下部的堆积体,防止了上部落石对居民生命和财产造成危害,工程总体保存较好,未出现大面积垮塌和变形的情况,且梯级平台上种植树种能较好地生长;而在对照试验地(4-3)中,发现种植的树种很多都被落石损毁。综上说明方案中设计的工程措施是有效的,模式一是成功的。

表 2 模式一的森林植被恢复效果统计表  
Table 2 Effects of forest vegetation restoration of mode 1

时间	乔木层			灌木层			草本层	
	平均地径 (cm)	平均树高 (m)	保存率 (%)	平均盖度 (%)	平均丛数 (丛)	物种 丰富度	平均盖度 (%)	物种 丰富度
2010 年	1.25	0.71	86	51.0	4	7	19.2	18
2011 年	1.30	0.76	85	44.0	8	6	20.6	19
2012 年	1.35	0.78	84	52.2	8	7	39.2	17

#### 2.3.2 模式二和模式六

由表 3 可以看出,模式二试验地(1-2)中造林树种的平均地径、平均高度都在逐年增加,保存率也都达到 85% 以上,草本植被的平均盖度、物种丰富度也是逐年增大,灌木植被虽然物种丰富度没有变化,但是其平均盖度和平均丛数都是在逐年增加。模式六试验地(2-1)中造林树种的平均地径、平均高度在逐年增加,保存率达到 87%,草本和灌木植被的平

均盖度、物种丰富度指标都是逐年增大,其中 2012 年的灌木平均盖度达到 50.8%。但就两者对比来看,模式二的乔木和灌木生长均好于模式六,仅草本层模式六恢复要好于模式二,这可能是因为在模式二中乔木和灌木层对空间的挤占,从而影响草本的生长和蔓延。简易排水工程对小型冲沟的治理效果较好,模式二优于模式六。

表 3 模式二和模式六的森林植被恢复效果统计表  
Table 3 Effects of forest vegetation restoration of mode 2 and mode 6

模式	时间	乔木层			灌木层			草本层	
		平均地径 (cm)	平均树高 (m)	保存率 (%)	平均盖度 (%)	平均丛数 (丛)	物种 丰富度	平均盖度 (%)	物种 丰富度
模式二	2010 年	0.82	1.17	91	46.8	7	8	9.2	14
	2011 年	0.83	1.17	90	53.8	8	8	9.2	11
	2012 年	0.86	1.2	90	59.4	9	8	19.2	13
模式六	2010 年	1.36	1.06	87	28.4	9	8	16.2	6
	2011 年	1.64	1.09	87	38.2	6	9	35.8	14
	2012 年	1.75	1.19	87	50.8	6	9	39.8	14

#### 2.3.3 模式三

由表 4 可以看出,模式三试验地(6-1)的造林树

种的保存率在逐年明显降低,2012 年成活率不足 70%,草本和灌木植被的指标虽然在数字上有一定

提升,但是在整体上仍未达到植被恢复的要求。说明该试验地的植被恢复效果较差。其原因主要在于修筑的挡墙只是对滑坡体整体起到固定作用,但是滑坡体表面不稳定的因素在制定恢复方案时被忽略,结果在坡面未采取其它稳固措施的情况下就直接栽植苗木。而滑坡体表面在降雨等因素的作用下

继续下滑,破坏坡面结构,最终导致植被生长受影响,甚至死亡。模式三和对照模式恢复均不成功,但采用鱼鳞坑大苗客土种植的模式三的恢复效果好于仅进行喷播草种的对照模式,这表明鱼鳞坑大苗造林对表土的固定作用强于喷播草种。

表 4 模式三的森林植被恢复效果统计表

Table 4 Effects of forest vegetation restoration of mode 3

时间	乔木层			灌木层			草本层	
	平均地径 (cm)	平均树高 (m)	保存率 (%)	平均盖度 (%)	平均丛数 (丛)	物种 丰富度	平均盖度 (%)	物种 丰富度
2010 年	0.81	0.73	85	22.8	13	9	5.6	5
2011 年	0.91	0.75	78	26.6	13	9	7	5
2012 年	0.99	0.86	69	30.9	14	9	8.3	5

### 2.3.4 模式四和模式五造林成效

由表 5 可以看出,模式四的试验地(3-1)中造林树种的平均地径、平均高度都在逐年增加,保存率达到 85% 以上,但表现出逐年降低;草本植被的平均盖度在 2010~2011 年有显著的增长,物种丰富度也在不断增加;灌木植被由于相互竞争造成物种丰富度有所减少,但平均盖度和平均丛数都有明显的增大。

模式五试验地(5-1)中造林树种的平均地径、平均高度在逐年增长,保存率达到 88%。草本和灌木

植被的物种丰富度也在逐年增加,说明该试验地的越来越适宜植被生长,平均盖度和平均丛数的减低可能和栽植的赤桉有关系,因为赤桉吸水和吸肥能力强,在立地条件本来就坏的情况下,它的生长可能就会影响到其它植被的生长,但随着植被的逐渐恢复,土壤条件也会越来越好,赤桉对其它植被的生长影响就会降低。与模式五相比较,对照模式试验地(5-3)中的乔木明显生长的要差一些,这主要是由于对照模式的保水性较浆砌石挡土墙阶梯差一些。

表 5 模式四和模式五的森林植被恢复效果统计表

Table 5 Effects of forest vegetation restoration of mode 4 and mode 5

模式	时间	乔木层			灌木层			草本层	
		平均地径 (cm)	平均树高 (m)	保存率 (%)	平均盖度 (%)	平均丛数 (丛)	物种 丰富度	平均盖度 (%)	物种 丰富度
模式四	2010 年	1.34	1.09	86	33.2	5	10	7.2	6
	2011 年	1.40	1.26	86	40.4	10	7	32.2	10
	2012 年	1.45	1.29	85	47.4	21	7	36.0	11
模式五	2010 年	2.37	0.88	88	40.4	12	8	48.6	10
	2011 年	2.41	1.12	88	38.8	13	9	47.4	11
	2012 年	2.75	1.51	88	31.0	10	12	45.2	13

## 3 讨论与结论

日本在地震灾后重建的“治山与植被恢复综合技术”和“治山与生物多样性保护结合技术”方面处于国际领先水平。但是,日本的治山是首先对受损土地通过大量工程措施进行基本固定,然后在坡体基本稳定的前提下进行植被的恢复,构建比较稳定的山地自然生态系统,这与本研究的震后森林植被恢复理念是一致的。但两者又有不同之处,日本的

治山技术是采取工程措施为主、生物措施结合的方式有针对性地进行专项治理,而本研究则是采取生物措施为主、工程措施为辅的方式进行震后受灾林地的森林植被恢复治理。如日本治山技术的工程措施常常是使用大量的钢筋、钢构、混凝土、石材、木材等材料在做坡面稳定工程;而本研究的工程措施主要是就地取材,选用地震形成的不同大小的石头修筑挡土墙、片石筑台或简单夯实坡面堆积体以稳定坡面。相对日本的治山技术,本研究的工程措施较为简单,在治理地震损毁林地时不会有钢筋、钢构、

混凝土等大量的非自然元素的加入,这使得治理后恢复起来的森林生态系统自然性更强,并且单位面积的总投入相对低得多(日本的恢复建设投资约 $3.0 \text{ 万元} \cdot 0.67 \text{ hm}^2$ ,本研究的建设投资仅约 $0.7 \text{ 万元} \cdot 0.67 \text{ hm}^2$ )。

本研究中采用的植被恢复技术与传统的森林植被恢复技术相比,主要的创新点在于提出了“先治理坡面,再恢复植被”的森林植被恢复思路。先利用工程措施稳定坡面,为恢复植被提供有利的土壤、水分条件,再通过植被措施力求尽快尽好地恢复植被。而传统的森林植被恢复技术多数只是采用不同的植被措施来恢复植被,忽视了对坡面稳定性的处理,从而使这些技术只能对某些类型受损林地的植被恢复有效(如雪灾、火灾等对坡面结构影响不大的灾害类型),造成植被恢复技术适用的局限性。而地震破坏森林植被的最大特点就是绝大多数的坡面结构也会被破坏,形成不稳定的坡面。如果在恢复植被的过程中不对坡面进行稳定性处理,则导致植被恢复效果达不到要求的可能性极大。

总之,(1)干砌石水平阶梯工程+大苗客土种植(枇杷+岷江柏)在治理成效上是成功的,但树种应选择适宜此区域的生态树种。改进后的模式一可适用于治理Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、坡面堆积体较稳定的受灾林地,即适用于危害性大、石砾含量70%以下、堆积体 $0.5 \text{ m} \sim 2.0 \text{ m}$ 之间、坡度在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 之间、降雨量 $600 \text{ mm}$ 以下的受灾林地。(2)简易排水工程+水平夯土阶梯工程+大苗客土种植(辐射松+岷江柏)适用于Ⅰ或Ⅱ级危害性、轻或中石砾含量、堆积物厚度在 $1.0 \text{ m}$ 以下、坡面稳定或较稳定的冲沟治理,即危害性较小、石砾含量70%以下、堆积物厚度在 $1.0 \text{ m}$ 以下、坡度在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 之

间、降雨量 $600 \text{ mm}$ 以下的受灾林地。(3)浆砌石挡墙阶梯工程+大苗客土种植(辐射松+岷江柏+赤桉)适用于治理Ⅱ级和Ⅲ级危害性、中石砾或重石砾、坡面堆积体不稳定的受灾林地,即危害性大、石砾含量50%以上、堆积物厚度 $2.0 \text{ m}$ 以上、坡度在 $25^\circ \sim 35^\circ$ 之间、降雨量 $600 \text{ mm}$ 以下的受灾林地。

#### 参考文献:

- [1] 任海,彭少麟.恢复生态学导论[M].北京:科学出版社,2002.
- [2] 付志祥,孙海龙,刘道锐,等.大兴安岭干旱阳坡土壤水分和养分变异性研究[J].森林工程,2014,30(3):21~26.
- [3] 吴宗兴,徐惠,梁颀,等.岷江上游干旱河谷岷江柏木幼林地绿肥种植研究[J].四川林业科技,2012,33(5):53~57.
- [4] 孙晓娟,刘晓东.三峡库区森林生态系统物种多样性定量分析[J].森林工程,2014,30(4):18~26+30.
- [5] 鄢武先,桂林华,骆建国,等.日本的山地灾害治理考察报告[J].四川林业科技,2012,33(2):35~41.
- [6] 陈永富,王松龄.马来西亚森林资源可持续经营方式[J].世界林业研究,2000,13(6):46~50.
- [7] 包维楷,陈庆恒.生态系统退化的过程及特点[J].生态学杂志,1999,18(2):36~42.
- [8] 陈小平,杨素香,何建社,等.岷江上游干旱河谷区生态环境现状及恢复对策研究[J].四川林业科技,2014,35(2):62~65.
- [9] 张水松,林光,陈长发,等.次生常绿阔叶林抚育改造技术的研究[J].林业科学研究,1997,10(5):506~513.
- [10] 吴宁.岷江上游退化森林生态系统的恢复与重建[M].北京:科学报告,2002.
- [11] 石胜友,杨季冬,王周平,等.缙云山风灾迹地人工混交林生态恢复过程中物种多样性研究[J].生物多样性,2002,10(3):274~279.
- [12] 彭少麟,陆宏芳.恢复生态学焦点问题[J].生态学报,2003,23(7):1249~1257.
- [13] 刘彬,吴福忠,张健,等.岷江干旱河谷—山地森林交错带震后生态恢复的关键科学技术问题[J].生态学报,2008,28(12):5892~5898.