

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2017.02.003

汶川地震灾区不同植被恢复模式评价与筛选

杨昌旭¹,李勇²,杨志刚⁵,何建社³,冯秋红⁴,刘兴良^{4*},潘红丽⁴
闵安民⁴,王丽⁴,王宇⁴,张利³,刘千里³

(1. 理县环境保护和林业局,四川 理县 623100;2. 汶川县环境保护和林业局,四川 汶川 623000;
3. 阿坝州林业科学和技术研究所,四川 汶川 623000;
4. 四川省林业科学研究院,四川卧龙森林生态系统定位观测站,四川 成都 610081;
5. 南充市高坪区林业局,四川 南充 637100)

摘要:由于大地震对区域环境的干扰强烈且是一个持续的过程,灾区灾害的治理和生态环境的恢复是灾后重建的重要任务。本文采用专家打分法,构建了汶川地震区植被恢复评价指标体系;采用样地法,对汶川地震区具有代表性的9个县典型损毁林地群落恢复特征、生物量恢复特征以及土壤恢复特征等进行了研究,在此基础上对地震形成的不同灾害类型以及不同程度损毁林地类型进行了评价,筛选出了针对各自然地理区的不同灾害类型、不同程度损毁林地的植被恢复模式。

关键词:汶川地震区;植被恢复;评价指标体系

中图分类号:S718.57

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2017)03-0011-11

Evaluation and Selection of Different Vegetation Restoration Models in Wenchuan Earthquake Areas

YANG Chang-xu¹ LI Yong² YANG Zhi-gang⁵ HE Jian-she³ FENG Qiu-hong⁴
LIU Xing-liang^{4*} PAN Hong-li⁴ MIN An-min⁴ WANG Li⁴
WANG Yu⁴ ZHANG Li³ LIU Qian-li³

(1. Environmental Protection and Forestry Bureau of Li County, Li County 623102, China;

2. Environmental Protection and Forestry Bureau of Wenchuan County, Wenchuan 623000;

3. Aba Prefecture Institute of Forestry Science and Technology, Wenchuan 623000, China;

4. Sichuan Academy of Forestry, Sichuan Wolong Forest Ecosystem Research Station, Chengdu 610081, China;

5. Forestry Bureau of Gaoping County, Sichuan Gaoping County 637100)

Abstract: Because disturbances from the Wenchuan earthquake to the regional environment are very huge and continuous, disaster controlling and recovery of ecological environment in disaster areas is an important task of rehabilitation. By means of expert scoring method, the evaluation index system of vegetation restoration was set up in the Wenchuan earthquake zone. And studies were made of recovery characteristics of community, biomass and soil from typical damage forest of representative 9 counties in Wenchuan earthquake areas through the way of sample plot. On this basis, the disaster types and the degree of forest land damaging caused by the earthquake were evaluated, and some vegetation restoration models were screened out in view of different disaster types and at different degree of forest land damaging.

Key words: Wenchuan earthquake area, Vegetation restoration, Evaluation index system

收稿日期:2017-03-23

基金项目:林业行业专项(No. 201104109);“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD22B0104);国家林业局四川森林生态与资源环境重点实验室开放课题;森林和湿地生态回访与保育四川省重点实验室开放课题。

作者简介:杨昌旭(1965-),男,本科,高级工程师,主要从事造林和林业科技推广工作。

通讯作者:刘兴良,男,博士,研究员,主要从事川西高山森林生态、退化植被恢复与地植物学研究。E-mail:liuxingliang@126.com

“5·12”四川汶川地震灾区位于青藏高原东缘的生态脆弱区,是长江上游重要的生态屏障和重要的水源地(吴宁等,2008),属于横断山生物多样性保护关键地区和全球34个生物多样性热点地区之一(蒋志刚等,1997),不仅是大熊猫主要栖息地和大熊猫野生种群的集中分布区,也是我国重要的生态旅游目的地和自然景观资源富集区(黄云霞等,2011;马文宝等,2012),地震造成的山体崩塌、滑坡、泥石流等次生灾害对区域内的生态系统造成巨大破坏,地震造成3287万 hm^2 林地面积受损,导致森林覆盖率下降1.87个百分点,10个极重灾区县市震后水土流失面积共增加6139.87 km^2 ,耕地损失56.93 km^2 ,林地损失946.46 km^2 ,草地损失148.21 km^2 (骆建国等,2011;张翔等,2011)。由于大地震对区域环境的干扰强烈且是一个持续的过程,灾区灾害的治理和生态环境的恢复是灾后一段时期的重要任务,目前对汶川地震对山地生态系统的影响(吴宁等,2008;张春敏等,2008;王文杰,2008;王学志等,2008)、资源损失(于文金,2008;骆建国等,2011;)、地震后灾区生态环境治理和植被恢复对策(田佳等,2008;张翔,2010;张翔等,2011;骆宗诗等,2013;王宇等,2014;)进行了研究和论述,缺乏对地震损毁植被恢复植物材料筛选、模式选择与评价等方面的系统研究,因此,针对汶川地震造成的不同损毁林地类型、滑坡坡面治理、退化植被恢复植物材料筛选、模式选择等进行研究,以期对地震灾区植被恢复的提供技术支持。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

汶川特大地震发生于四川盆周西缘龙门山断裂带,是青藏高原东缘山地生态脆弱区,震区大范围的地震灾害与山体崩塌、滑坡、泥石流和坠石等次生山地灾害为世界地震灾害史所罕见。汶川地震受灾四川省受灾地区达141个县(市、区),其中严重受灾县46个单位,一般受灾县95个单位,严重受灾区在四川盆周山地(黄云霞等,2011;骆建国等,2011)。

(1) 地形地貌特征

汶川地震灾区位于我国岷山-邛崃山脉过渡交错带及其向四周延伸区域内,是地形地貌、气候、土壤、植被等交汇的一条重要条带,横跨岷江、涪江和

嘉陵江上游,是长江上游生态屏障的重要组成部分和四川盆地的生态屏障(张新跃等,2009)。汶川地震灾区自然条件复杂,由高山、中低山、丘陵以及山间平原等地貌类型组成,包括高山峡谷区(海拔3500m以上)、四川盆周山地区(海拔1500m~3500m)、川中丘陵区(海拔在800m~1500m)以及成都平原(海拔450m~800m之间)等地理单元,根据海拔高度将该区域概括为高山区、中山区、低山丘陵区3个区域。由于汶川、理县、茂县部分地区自然条件与其他区域有明显的区别,气候特殊,属于干旱河谷区(海拔在800m~2600m之间)。汶川地震严重受灾区土地资源以林业用地为主,面积达7055.3万 hm^2 ,占该区域幅员面积(1182.79万 hm^2)的57.9%,森林覆盖率44.51%(含特殊灌木林地)(骆建国等,2011)。

(3) 气候特征

汶川地震灾区属北亚热带山地湿润季风气候区,由于山地的影响,区域气候垂直变化明显,气候随高度和坡向的不同而发生变化(张翔等,2010)。西部高山峡谷区,气候寒冷,年均温度在 6°C 以下;四川盆周山地区,气候温凉湿润,年均温 10°C ~ 16°C ,温差大、日照短,年降雨量900mm~1500mm,雨季多集中在5月~10月,无霜期较长,250d~300d;川中丘陵区属亚热带湿润季风气候(李汉杰,1990),年均降水量993mm~1207mm,年均温 16.8°C ~ 18.0°C ,1月均温 2.5°C ~ 7.6°C ,7月均温 23.4°C ~ 28.0°C ;成都平原气候属亚热带湿润季风气候,年均温 18°C 左右,年均降水量在1000mm以上,年雨天平均约300d,多雾,是中国阴雨天气最多的地区之一。岷江上游干旱河谷区域,受局部地形的影响,焚风效应显著,气温较低,降水量偏少,气候干燥,蒸发量是降水量的2倍~3倍,气候干燥,降水少而不均,年均降雨量520mm左右,蒸发量大、日照充足、昼夜温差大(张翔等,2010)。

(3) 植被与土壤

该区域地形、气候、土壤、海拔等生态条件差异大(王庆安等,2009),森林土壤和植被分布具有明显的分异规律,根据《中国植被》(中国植被编辑委员会,1983)和《四川植被》(四川植被协作组,1980)划分为龙门山植被小区、岷江上游植被小区、米仓山植被小区和川西平原植被小区。龙门山植被小区植

被以亚高山常绿针叶林和常绿阔叶林为主;岷江上游植被小区,植被以常绿阔叶与落叶阔叶混交林和亚高山针叶林为主;米仓山植被小区植被以常绿阔叶林为主;川西平原植被小区植被以人工植被为主。本区的土壤垂直地带性十分明显,从高到低依次出现高山草甸土、山地棕色暗针叶林土、山地褐土、山地燥褐土、山地黄壤(朱鹏飞和李德融,1989)。由于受焚风作用的影响,山地燥褐土在干旱河谷地带很常见,其全剖面呈碱性反应,pH7.4~8.4(朱鹏飞和李德融,1989)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查内容

样地设置:2013年5~8月,根据调查样地的坡度,在每个选定的调查样地上采用随机样方法,设置3个10m×10m的样方调查乔木层1.3m以上,同时将每个样方划分为4个5m×5m的样方,在每个5m×5m的样方内沿大样方一个顶点的方向设置1个2m×2m的样方调查灌木层包括1.3m下的幼树,并同时每个5m×5m的样方内的对角线上设置3个1m×1m的样方调查草本层。

调查内容:乔木层调查树木名称、树高(m)、胸径(cm)、冠幅(m×m)、第一枝下高(m)及郁闭度(%),灌木层调查植物名称、高度(m)、冠幅(m×m)及地径(cm),草本层调查植物名称、株数(株)、平均高度(m)及盖度(%)。其中,树高采用测高仪测量,胸径和地径采用胸径尺或游标卡尺测量,冠幅、第一枝下高及草本平均高用钢卷尺测量,郁闭度、草本盖度采用目测法测得。

1.2.2 地震灾区植被恢复评价指标体系的建立

1.2.2.1 评价指标筛选

采用问卷调查法对评价指标进行筛选,采用专家打分法来确定指标权重。对初步建立的指标体系通过敏感性法对备选的评价指标进行筛选,具体来说,就是利用某一指标在研究范围内的变异系数和相对极差作为敏感性指标进行判断,变异系数和相对极差越大,敏感性也就越大。尽量按照敏感度从大到小的顺序,筛选评价指标。发放调查问卷15份,调查对象为科研单位专家、基层林业局工程技术人员。

1.2.2.2 评价指标体系层次建立

按照3个层次构建地震灾区植被恢复评价指标体系(表1)。

表1 地震灾区植被恢复评价指标体系

目标层	准则层	指标层
四川地震灾区不同灾害类型植被恢复评价体系	植物多样性	丰富度指数
		多样性指数
		均匀度指数
	植物生物量	总生物量
		乔木生物量所占比例
		空间结构
	群落结构	地表岩石裸露率
		土壤裸露率
	土壤质量	地被物种类及生物量
		土壤有机质含量
土壤养分N、P、K		
土壤容重		
土壤最大持水率		
经济投入与产出	土壤PH值	
	工程投资	
	经济产出	

根据准则层各项功能的重要程度,通过专家打分法来确定其权重,并通过层次分析的方法来确定指标层各项的权重系数(表2)。

表2 地震灾区植被恢复评价指标体系及权重表

目标层	准则层	指标层
四川地震灾区不同灾害类型植被恢复评价体系	地被物 0.228	地表岩石裸露率 0.35
		土壤裸露率 0.35
		地被物种类及生物量 0.3
	群落结构 0.206	空间结构 0.6
		年龄结构 0.4
		植物多样性 0.179
	植物多样性 0.179	丰富度指数 0.35
		多样性指数 0.35
		均匀度指数 0.3
	植物生物量 0.158	总生物量 0.65
乔木生物量所占比例 0.35		
土壤质量 0.146		
土壤质量 0.146	土壤有机质含量 0.25	
	土壤养分 N、P、K 0.2	
	土壤容重 0.25	
	土壤最大持水率 0.15	
	土壤PH值 0.15	
经济投入与产出 0.083	工程投资 0.5	
	经济产出 0.5	

1.2.2.3 指标获取

在2014~2015年,对5.12地震涉及的主要区域,选择具有代表性的9个县进行了灾后植被恢复技术调查工作,采用典型样地法,随机布点,在兼顾地震灾区不同地形地貌的前提下,选择不同灾害类型、受损程度和恢复类型的典型地点布设样地,分别选择样地中心记录该样地地形地貌、地理位置、土壤类型以及植被类型和植物多样性等地被情况等;并对样方中的土壤和植物进行取样,室内进一步分析测定,获取地被生物量、土壤理化性质等指标。共调查样地94块。

2 研究结果

2.1 不同受损林地类型群落结构与植物多样性恢复特征

2.1.1 汶川地震滑坡群落结构与植物多样性恢复特征

在汶川地震受损林地立地类型划分的基础上,对

不同受损林地的恢复模式进行了调查研究、评价分析。就群落结构和植物多样性的恢复而言,在滑坡灾害发生后,无论在中度还是轻度,封山育林恢复模式均起到了较好的效果,而轻度滑坡灾害后,高羊茅(*Festuca elata*) + 矮羊茅(*Festuca coelestis*)撒播,以及巨桉(*Eucalyptus grandis*) + 岷江柏(*Cupressus chengiana*) 植苗加以高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*F. coelestis*)撒播的恢复模式均起到了较好的效果(表3)。

表3 汶川地震滑坡群落结构与植物多样性恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构指数	植物多样性指数
轻度	封山育林		2	0.395
轻度	植苗	青脆李(<i>Prunus salicina</i> 'Qingcuili')	1.6	0.303
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	1.6	0.3635
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.4	0.377
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.3795
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.6	0.383
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.426
中度	封山育林		1.6	0.3655
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1	0.356
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1	0.3575

2.1.2 汶川地震区堰塞湖群落结构与植物多样性恢复特征

在堰塞湖灾害发生后,高羊茅(*F. elata*) + 矮

羊茅(*F. coelestis*)撒播恢复模式群落结构恢复最佳,而封山育林恢复模式植物多样性恢复最好(表4)。

表4 汶川地震区堰塞湖群落结构与植物多样性恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构指数	植物多样性
轻度	封山育林		1.6	0.425
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.6	0.3725
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.3245
中度	封山育林		1.6	0.425
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.6	0.3725
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.3245

2.1.3 汶川地震滑坡堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

在滑坡灾害形成的堆积体中,轻度的经植苗恢复群落结构和植物多样性恢复较好,如辐射松(*P. radiata*) + 女贞(*L. lucidum*) + 侧柏(*P. orientalis*) + 榆树(*U. pumila*)模式、漆树(*T. vernicifluum*) +

厚朴(*M. officinalis*)模式和岷江柏(*C. chengiana*) + 侧柏(*P. orientalis*)模式;就中度而言,植苗恢复的群落结构恢复较好,而撒播的植物多样性恢复较好;而就重度滑坡堆积体而言,披碱草(*E. dahuricus*) + 高羊茅(*F. elata*)撒播模式具有最好的群落结构和植物多样性恢复效果(表5)。

表5 汶川地震滑坡堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构	植物多样性
轻度	封山育林		2	0.6195
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	3	0.656
轻度	植苗	赤桉(<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	3	0.6205
轻度	植苗	枇杷(<i>Eriobotrya japonica</i>)	3	0.6205
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	3	0.65
轻度	植苗	辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	3	0.6615

续表 5

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构	植物多样性
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2	0.647
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.621
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2	0.63
轻度	植苗+撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	3	0.64
中度	封山育林		1	0.5615
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.565
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2	0.548
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	3	0.541
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2	0.5385
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	3	0.51
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	3	0.522
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	3	0.509
重度	封山育林		1	0.5035
重度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1	0.502
重度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2	0.5085

2.1.4 汶川地震区泥石流堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

在泥石流灾害形成的堆积体中,植苗恢复模式具有更好的植物多样性,而群落结构与封山育林、撒

播恢复模式类似;而对中度灾害来说,虽然光皮桦(*B. luminifera*)撒播模式的群落恢复更完整,但在植物多样性恢复方面,封山育林则表现的更好(表6)。

表 6 汶川地震区泥石流堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构	植物多样性
轻度	封山育林		2	0.4335
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2	0.4185
轻度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2	0.4185
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2	0.4405
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2	0.441
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	2	0.4445
中度	封山育林		1	0.4115
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1	0.4045
中度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2	0.397

2.1.5 汶川地震区崩塌堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

在泥石流灾害形成的堆积体中,阿根廷垂柳

(*S. argentinensis*) + 女贞(*L. lucidum*) + 巨桉(*E. grandis*)的工程造林恢复模式具有最高的群落结构指数和植物多样性指数(表7)。

表 7 汶川地震区崩塌堆积体群落结构与植物多样性恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	群落结构	植物多样性
轻度	封山育林		1	0.4035
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.4	0.414
轻度	撒播	油麻藤、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.4	0.4085
轻度	撒播	网脉葡萄(<i>Vitis wilsonae</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.4	0.415
轻度	工程造林	阿根廷柳(<i>Salix argentinensis</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)	3	0.4935

2.2 不同受损林地类型地被物生物量恢复特征

2.2.1 汶川地震区滑坡地被物生物量恢复特征

在滑坡灾害发生后,就轻度而言,青脆李(*P. salicina* ‘Qingcuili’)植苗恢复模式的植物生物量恢复最佳;就中度而言,封山育林和撒播恢复模式之间无明显差异(表8)。

2.2.2 汶川地震堰塞湖地被物生物量恢复特征

在堰塞湖灾害发生后,就轻度而言,撒播恢复模

式的植物生物量恢复较佳;就中度而言,封山育林和高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*F. coelestis*)撒播恢复模式均有较高的生物量恢复效果(表9)。

2.2.3 汶川地震滑坡堆积体地被物生物量恢复特征

在滑坡形成的堆积体中,就轻度而言,如辐射松(*P. radiata*) + 女贞(*L. lucidum*) + 侧柏(*P. orientalis*) + 榆树(*U. pumila*)模式、漆树(*T. verniciflu-*

um) + 构树 (*B. papyrifera*) 模式的生物量恢复较好; 就中度而言, 封山育林和岷江柏 (*C. chengiana*) + 辐射松 (*P. radiata*) 工程造林植被恢复均具有较高

的植物生物量; 而对于重度滑坡堆积体而言, 撒播较封山育林具有更好的生物量恢复效果 (表 10)。

表 8 汶川地震区滑坡地被物生物量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	植物生物量
轻度	封山育林		1
轻度	植苗	青脆李 (<i>Prunus salicina</i> 'Qingcuili')	2.35
轻度	植苗	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松 (<i>Pinus radiata</i>)、榆树 (<i>Ulmus pumila</i>)	1.65
轻度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1
轻度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	2
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、刺槐 (<i>Robinia pseudoacacia</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	2
中度	封山育林		1
中度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1
中度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1

表 9 汶川地震堰塞湖地被物生物量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	植物生物量
轻度	封山育林		1
轻度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1.65
轻度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
中度	封山育林		1.65
中度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1
中度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1.55

表 10 汶川地震滑坡堆积体地被物生物量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	植物生物量
轻度	封山育林		1
轻度	植苗	漆树 (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴 (<i>Magnolia officinalis</i>)	2
轻度	植苗	赤桉 (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	2
轻度	植苗	枇杷 (<i>Eriobotrya japonica</i>)	2
轻度	植苗	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、侧柏 (<i>Platycladus orientalis</i>)	2
轻度	植苗	辐射松 (<i>Pinus radiata</i>)、女贞 (<i>Ligustrum lucidum</i>)、侧柏 (<i>Platycladus orientalis</i>)、榆树 (<i>Ulmus pumila</i>)	2.65
轻度	植苗	漆树 (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树 (<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2.65
轻度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1
轻度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	2
中度	封山育林		2.65
中度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
中度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1
中度	植苗	漆树 (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树 (<i>Broussonetia papyrifera</i>)	1.35
中度	植苗	漆树 (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2
中度	植苗	漆树 (<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴 (<i>Magnolia officinalis</i>)	2
中度	工程造林	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松 (<i>Pinus radiata</i>)	2.65
中度	工程造林	岷江柏 (<i>Cupressus chengiana</i>)、榆树 (<i>Ulmus pumila</i>)、辐射松 (<i>Pinus radiata</i>)	2
重度	封山育林		1
重度	撒播	高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅 (<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
重度	撒播	披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅 (<i>Festuca elata</i>)	1.65

2.2.4 汶川地震泥石流堆积体地被物生物量恢复特征

在泥石流形成的堆积体中, 就轻度而言, 光皮桦 (*B. luminifera*) 撒播恢复模式以及漆树 (*T. vernicifluum*)、漆树 (*T. vernicifluum*) + 构树 (*B. papyrifera*)、漆树 (*T. vernicifluum*) + 厚朴 (*Magnolia officinalis*) 等植苗恢复模式均具有较好的植物生物量恢复效果; 就中度而言, 光皮桦 (*B. luminifera*) 撒播恢复模式效果最佳 (表 11)。

的植苗恢复模式均具有较好的植物生物量恢复效果; 就中度而言, 光皮桦 (*B. luminifera*) 撒播恢复模式效果最佳 (表 11)。

2.2.5 汶川地震崩塌堆积体地被物生物量恢复特征

在崩塌形成的堆积体中, 阿根廷柳 (*S. argen-*

tinensis) + 女贞 + 巨桉工程造林恢复模式植物生物量恢复效果最佳(表 12)。

表 11 汶川地震泥石流堆积体地被物生物量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	植物生物量
轻度	封山育林		1
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
轻度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2.65
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2.65
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2.65
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	2.65
中度	封山育林		1
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
中度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2.65

表 12 汶川地震崩塌堆积体地被物生物量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	植物生物量
轻度	封山育林		1
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.65
轻度	撒播	油麻藤(<i>Mucuna sempervirens</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.65
轻度	撒播	网脉葡萄(<i>Vitis wilsonae</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.65
轻度	工程造林	阿根廷柳(<i>Salix argentinensis</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)	2.65

2.3 不同受损林地类型土壤质量恢复特征

2.3.1 汶川地震区滑坡土壤质量恢复特征

在滑坡灾害发生后,就轻度而言,青脆李(*P. salicina* ‘Qingcuili’)、岷江柏(*C. chengiana*) + 辐射松(*P. radiata*) + 榆树(*U. pumila*) 植苗模式以及岷江柏(*C. chengiana*) + 高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*F. coelestis*)、刺槐(*C. chengiana*) + 岷江柏(*C. chengiana*) + 高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*Festuca*

coelestis) 植苗/撒播恢复模式的土壤质量恢复较好;就中度而言,披碱草(*E. dahuricus*) + 高羊茅(*F. elata*) 撒播恢复模式土壤恢复较好(表 13)。

2.3.2 汶川地震区堰塞湖土壤质量恢复特征

在堰塞湖灾害发生后,无论轻度还是中度,仅撒播恢复模式的土壤恢复情况最佳,尤其是高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*F. coelestis*) 撒播恢复模式(表 14)。

表 13 汶川地震区滑坡土壤质量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	土壤质量
轻度	封山育林		1.15
轻度	植苗	青脆李(<i>Prunus salicina</i> ‘Qingcuili’)	2.6
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	2.6
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2.15
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2.15
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2.6
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、刺槐(<i>Robinia pseudoacacia</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2.6
中度	封山育林		1.2
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.75
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.55

表 14 汶川地震区堰塞湖土壤质量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	土壤质量
轻度	封山育林		1.35
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.75
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.75
中度	封山育林		1.35
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.35
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.75

2.3.3 汶川地震区滑坡堆积体土壤质量恢复特征

在滑坡形成的堆积体中,就轻度而言,辐射松(*P. radiata*) + 女贞(*L. lucidum*) + 侧柏(*P. orientalis*) + 榆树(*U. pumila*) 恢复模式以及岷江柏(*C. chengiana*) 植苗 + 高羊茅(*F. elata*)、矮羊茅(*F. co-*

elestis) 撒播恢复模式的土壤恢复情况最佳;就中度而言,工程造林恢复模式土壤恢复效果最佳;就重度滑坡堆积体而言,披碱草(*E. dahuricus*)、高羊茅(*F. elata*) 撒播恢复模式的土壤恢复较好(表 15)。

表 15 汶川地震区滑坡堆积体土壤质量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	土壤质量
轻度	封山育林		1.15
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	2
轻度	植苗	赤桉(<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	2
轻度	植苗	枇杷(<i>Eriobotrya japonica</i>)	2
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	2.2
轻度	植苗	辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	2.6
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	1.75
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.75
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2
轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	2.6
中度	封山育林		2
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.55
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.55
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	2
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	2.25
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	2.25
重度	封山育林		1
重度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1
重度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.35

2.3.4 泥石流堆积体土壤质量恢复特征

在泥石流形成的堆积体中,就轻度而言,光皮桦(*B. luminifera*) 撒播和各类型植苗恢复模式均具有

较好的土壤恢复效果;而就中度而言,光皮桦(*B. luminifera*) 撒播恢复模式则具有最好的土壤恢复效果(表 16)。

表 16 泥石流堆积体土壤质量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	土壤质量
轻度	封山育林		1.15
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.75
轻度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	2
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	2
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	2
中度	封山育林		1
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.6
中度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	2

2.3.5 汶川地震崩塌堆积体土壤质量恢复特征

在崩塌形成的堆积体中,网脉葡萄(*Vitis wilsonae*) + 高羊茅(*F. elata*) 撒播恢复模式和阿根廷垂

柳(*S. argentinensis*) + 女贞(*L. lucidum*) + 巨桉(*E. grandis*) 工程造林恢复模式具有最好的土壤恢复效果(表 17)。

表 17 汶川地震崩塌堆积体土壤质量恢复特征

受损程度	恢复类型	物种配置模式	土壤质量
轻度	封山育林		1
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.8
轻度	撒播	油麻藤(<i>Mucuna sempervirens</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2
轻度	撒播	网脉葡萄(<i>Vitis wilsonae</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	2.45
轻度	工程造林	阿根廷垂柳(<i>Salix argentinensis</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)	2.45

2.4 不同受损林地类型植被恢复特征综合比较

较好的综合恢复效果,而青脆李(*P. salicina* ‘Qingcuili’) 植苗效果也较佳;而就中度而言,虽封山育林略好于其他恢复模式,但差异不大。

2.4.1 汶川地震滑坡植被恢复特征综合比较

在滑坡灾害后,植被恢复的综合情况(表 18)。就轻度滑坡而言,两种植苗+撒播恢复模式均具有

表 18 汶川地震滑坡植被恢复特征综合比较

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
轻度	封山育林		1.001265
轻度	植苗	青脆李(<i>Prunus salicina</i> ‘Qingcuili’)	1.386217
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	1.2419865
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.026823
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.1508705
轻度	植苗+撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅	1.327677
轻度	植苗+撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、刺槐、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.417774
中度	封山育林		0.9448245
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	0.866304
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	0.8333825

2.4.2 汶川地震堰塞湖植被恢复特征综合比较

矮羊茅(*F. coelestis*)撒播恢复模式均具有较好的综合恢复效果。

堰塞湖灾害发生后,植被恢复的综合情况(表 19)。无论轻度还是中度灾害,高羊茅(*F. elata*) +

表 19 汶川地震堰塞湖植被恢复特征综合比较

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
轻度	封山育林		0.989345
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.1839075
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.2561195
中度	封山育林		1.076085
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	0.9368515
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.2417555

2.4.3 汶川地震滑坡堆积体植被恢复特征综合比较

恢复模式具有较好的综合恢复效果;而就中度灾害水平而言,除两种工程造林外,漆树(*T. vernicifluum*) + 厚朴(*M. officinalis*) 植苗恢复模式也具有较好的综合恢复效果;就重度而言,披碱草(*E. dahuricus*)、高羊茅(*F. elata*) 恢复模式综合恢复效果最好。

在滑坡形成的堆积体中,植被恢复的综合情况(表 20)。就轻度而言,辐射松(*P. radiata*) + 女贞(*L. lucidum*) + 侧柏(*P. orientalis*) + 榆树(*U. pumila*) 植苗恢复模式以及岷江柏(*C. chengiana*) 植苗 + 高羊茅(*F. elata*) + 矮羊茅(*F. coelestis*) 撒播的

表 20 汶川地震滑坡堆积体植被恢复特征综合比较

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
轻度	封山育林		1.1052905
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	1.684284
轻度	植苗	赤桉(<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	1.6779295
轻度	植苗	枇杷(<i>Eriobotrya japonica</i>)	1.6779295
轻度	植苗	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)	1.67091
轻度	植苗	辐射松(<i>Pinus radiata</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	1.8340685
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	1.432973
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.159639
轻度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.19775
轻度	植苗+撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.733904
中度	封山育林		1.1893485
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.207155

续表 20

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
中度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.101412
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	1.503539
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	1.3313915
中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	1.64219
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinups radiata</i>)	1.700538
中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)、辐射松(<i>Pinups radiata</i>)	1.595511
重度	封山育林		0.7563065
重度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	0.825218
重度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.1518815

2.4.4 汶川地震泥石流堆积体植被恢复特征综合比较

在泥石流形成的堆积体中,植被恢复的综合情

况(表 21)。就轻度而言,三种植苗恢复模式的综合恢复效果均较好;就中度恢复模式而言,光皮桦(*B. luminifera*)撒播恢复模式恢复效果最佳。

表 21 汶川地震泥石流堆积体植被恢复特征综合比较

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
轻度	封山育林		0.9716765
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.1941715
轻度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	1.3886715
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	1.4005895
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	1.400679
轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	1.4428055
中度	封山育林		0.7238785
中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	0.9478055
中度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	1.368863

2.4.5 汶川地震崩塌堆积体植被恢复特征综合比较

在崩塌形成的堆积体中,植被恢复的综合情况(表 22)。阿根廷垂柳(*S. argentinensis*) + 女贞(*L.*

lucidum) + 巨桉(*E. grandis*)工程造林恢复模式具有最好的综合植被恢复效果。

表 22 汶川地震崩塌堆积体植被恢复特征综合比较

受损程度	恢复类型	物种配置模式	综合评价指数
轻度	封山育林		0.7304265
轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	1.069086
轻度	撒播	油麻藤(<i>Mucuna sempervirens</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.1012915
轻度	撒播	网脉葡萄(<i>Vitis wilsonae</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	1.176135
轻度	工程造林	阿根廷垂柳(<i>Salix argentinensis</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)	1.7086765

3 结论

通过对汶川地震区植被恢复模式进行了综合评

价,结合调查区域自然地理特征,针对不同的灾害类型以及程度,筛选出了各自然地理区的适合植被恢复模式(表 23)。

表 23 汶川地震地震灾后植被恢复模式筛选表

灾害类型	程度	恢复类型	物种配置模式	适宜区域
崩塌堆积体	轻度	工程造林	阿根廷垂柳(<i>Salix argentinensis</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)	盆周山地
滑坡	轻度	植苗	青脆李(<i>Prunus salicina</i> ‘Qingcuili’)	皆可
滑坡	轻度	植苗 + 撒播	巨桉(<i>Eucalyptus grandis</i>)、岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	盆周山地
滑坡	中度	封山育林		高山峡谷
滑坡堆积体	轻度	植苗	辐射松(<i>Pinups radiata</i>)、女贞(<i>Ligustrum lucidum</i>)、侧柏(<i>Platycladus orientalis</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)	高山峡谷

续表 23

灾害类型	程度	恢复类型	物种配置模式	适宜区域
滑坡堆积体	轻度	植苗 + 撒播	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	高山峡谷
滑坡堆积体	中度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	盆周山地
滑坡堆积体	中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	高山峡谷
滑坡堆积体	中度	工程造林	岷江柏(<i>Cupressus chengiana</i>)、榆树(<i>Ulmus pumila</i>)、辐射松(<i>Pinus radiata</i>)	高山峡谷
滑坡堆积体	重度	撒播	披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)、高羊茅(<i>Festuca elata</i>)	盆周山地
泥石流堆积体	轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、构树(<i>Broussonetia papyrifera</i>)	盆周山地
泥石流堆积体	轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)	盆周山地
泥石流堆积体	轻度	植苗	漆树(<i>Toxicodendron vernicifluum</i>)、厚朴(<i>Magnolia officinalis</i>)	盆周山地
泥石流堆积体	中度	撒播	光皮桦(<i>Betula luminifera</i>)	盆周山地
堰塞湖	轻度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	高山峡谷
堰塞湖	中度	撒播	高羊茅(<i>Festuca elata</i>)、矮羊茅(<i>Festuca coelestis</i>)	高山峡谷

参考文献:

- [1] 胡碧英. 汶川地震灾区边坡植被恢复的理论与工程技术研究[M]. 西南交通大学, 硕士学位论文, 2011.
- [2] 黄云霞, 程力, 贾程, 等. 汶川地震区四川自然保护区受损状况与受损栖息地植被恢复技术模式[J]. 四川林业科技, 2011, 32(4): 83 ~ 88.
- [3] 李汉杰. 中国分省市县大辞典[M]. 北京: 中国旅游出版社, 1990, 993 ~ 1118.
- [4] 骆建国, 周立江, 刘波, 等. 5·12汶川特大地震灾害造成四川森林资源损失的评估研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(7): 3914 ~ 3917.
- [5] 骆宗诗, 王志明, 陈永林, 张利等. 汶川地震灾区崩塌山体微生境植被恢复技术. 四川林业科技, 2013, 34(4): 37 ~ 41.
- [6] 马文宝, 徐雪梅, 胡顺彬, 等. 汶川地震灾区森林植被恢复问题及其生态对策[J]. 四川林业科技, 2012, 33(4): 36 ~ 38.
- [7] 四川植被协作组. 四川植被[M]. 成都: 四川人民出版社, 1980.
- [8] 田佳, 田涛, 赵廷宁, 等. 微立地因子植被恢复法在汶川地震植被重建中的应用[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 6 ~ 20.
- [9] 王庆安, 张翔, 毛竹. 汶川地震生态环境破坏严重区地形高程和起伏度分布特点[J]. 科技导报, 2009, 27(16): 53 ~ 59.
- [10] 王文杰. 四川汶川地震对生态系统破坏及其生态影响分析[J]. 环境科学研究, 2008, 21(5): 110 ~ 116.
- [11] 王学志, 徐卫华. 汶川地震对都江堰地区大熊猫生境的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5857 ~ 5861.
- [12] 王宇, 刘兴良, 闵安民, 王丽等. 汶川地震灾区人工植被恢复技术研究. 安徽农业科学, 2014, 42(8): 2374 ~ 2376.
- [13] 吴宁, 卢涛, 罗鹏, 等. 地震对山地生态系统的影响: 以 5.12 汶川大地震为例[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5810 ~ 5819.
- [14] 于文金. 地震灾害对四川省区域生态系统危害及损失评价[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5785 ~ 5794.
- [15] 张春敏, 王根绪. 汶川大地震灾害对区域生态系统的影响—以青川、平武和茂县为例[J]. 生态学报, 2008, 8(12): 5833 ~ 5841.
- [16] 张翔, 王庆安, 方自力, 等. 汶川地震灾区自然植被恢复的先导植物特征分析[J]. 中国水土保持, 2011, 4: 47 ~ 49.
- [17] 张翔, 王庆安, 王文国, 等. 汶川地震极重灾区植被恢复分区研究[J]. 中国水土保持, 2010, 5: 48 ~ 51.
- [18] 张新跃, 李元华, 苟文龙. 5.12 汶川大地震灾区草原生态修复与种草养畜恢复生产技术指南(一)[J]. 四川畜牧兽医, 2009, 38(11): 33 ~ 34.
- [19] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [20] 朱鹏飞, 李德融. 四川森林土壤[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1989.