

5·12 地震后北川次生灾害迹地植被的自然恢复与更新

崔艳红¹, 史常青¹, 孙丽文², 彭贤锋³, 张 艳¹, 赵廷宁¹

(1. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083; 2. 乌鲁木齐市高新区林业园林管理局, 新疆 乌鲁木齐 830001; 3. 广东省水利水电科学研究院, 广东 广州 510610)

摘要: 北川羌族自治县是 5·12 大地震的重灾区, 次生灾害种类多样, 植被受损严重。为了解 5·12 大地震后不同次生灾害迹地植物群落自然恢复情况, 在北川羌族自治县选取落石、崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等 5 种次生灾害迹地和 1 种未受损林地, 通过设 180 个大小样方来进行野外调查和数量分析, 研究植物群落的物种组成、结构特征、物种多样性及物种相似性。结果表明: ①次生灾害迹地植物群落结构简单, 多以菊科 Compositae, 禾本科 Gramineae 草本植物为主, 群落物种数量由多到少依次为落石自然恢复地(B4)>柁木 *Alnus cremastogyne*-樟树 *Cinnamomum camphora* 混交林(ck)>堰塞湖自然恢复地(B5)>泥石流自然恢复地(B2)=滑坡自然恢复地(B3)>崩塌自然恢复地(B1)。②次生灾害迹地乔木层优势种是柁木, 灌木层优势种是水麻 *Debregeasia orientalis*; 草本层优势种是五节芒 *Miscanthus floridulus*, 千里光 *Senecio scandens* 等禾本科和菊科植物。③物种相似性在次生灾害迹地与未受损林地差异较大, 其中物种相似性系数大小依次为: B4(0.19)>B5(0.13)>B2(0.10)>B3(0.06)>B1(0.02); 不同次生灾害迹地之间更为相似, 且 B2, B3, B4, B5 样地之间物种相似性系数在 0.28 左右。表 5 参 24

关键词: 植物生态学; 5·12 地震; 次生灾害; 植物群落; 物种多样性; 植物相似性; 北川

中图分类号: Q948.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2018)02-0219-08

Vegetation restoration and regeneration of the secondary disaster area in Beichuan after the May 12, 2008 earthquake

CUI Yanhong¹, SHI Changqing¹, SUN Liwen², PENG Xianfeng³, ZHANG Yan¹, ZHAO Tingning¹

(1. School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Administration of Forestry Landscape in Urumqi High-Tech Zone, Urumqi 830001, Xinjiang, China; 3. Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower, Guangzhou 510610, Guangdong, China)

Abstract: In Beichuan, a severely afflicted area from the May 12, 2008 earthquake, vegetation was severely damaged with numerous secondary disasters. This study aimed to understand recovery of the natural vegetation for different types of disasters of the May 12, 2008 earthquake. Five different types of disasters in Beichuan County were selected, including avalanches (B1), rock fall (B2), debris flow (B3), landslides (B4), and barrier lakes (B5) with one intact forest (ck). A total of 180 quadrats of five different types of disasters in Beichuan, were selected to conduct vegetation investigation, adopting important value, Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index, Hurlbert evenness index and other indexes to be used to evaluate the plant community species composition, structure, species diversity, and similarity of species. Results indicated that (1) secondary disasters had a simple plant community structure, where Compositae and Gramineae herbs were dominant vegetation types, with the number of species being B4>ck>B5>B2 = B3>B1. (2) In the secondary disaster area, the dominant species of the tree layer was *Alnus cremastogyne*, the dominant species of the shrub layer was *Debregeasia orientalis*, and the dominant species of the herb layer were *Miscanthus floridu-*

收稿日期: 2017-03-23; 修回日期: 2017-05-11

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201104109)

作者简介: 崔艳红, 从事林业生态工程研究。E-mail: 1519326449@qq.com。通信作者: 史常青, 副教授, 博士, 从事林业生态工程、经济林栽培研究。E-mail: scqbj@163.com

lus, *Senecio scandens*, and other Compositae plants. (3) For species similarity, the secondary disaster area and intact forest land had strong differences with species similarity coefficients being B4 (0.19) > B5 (0.13) > B2 (0.10) > B3 (0.06) > B1 (0.02). However, many similarities between different secondary disaster areas were found with similarity coefficients between B2, B3, B4, and B5 of about 0.28. In conclusion, the natural recovery and renewal were slower in the five different types of disasters in Beichuan. [Ch, 5 tab. 24 ref.]

Key words: plant ecology; May 12, 2008 earthquake; secondary disasters; plant community; biodiversity; species similarity

5·12汶川8.0级地震发生在龙门山断裂带上^[1],致使在其范围内形成了大量的滚石、崩塌、滑坡、泥石流、堰塞湖等次生地质灾害^[2]。仅北川羌族自治县境内就有滑坡、崩塌、泥石流等共计581处。北川县在汶川特大地震中受灾严重,其地表破坏强烈。多种次生地质灾害的发生,导致大量耕地、林地被淹没毁坏,山地生态环境极度退化,群落结构遭到严重破坏,生物多样性急剧降低^[3]。地震区域多处地表被大量松散碎石覆盖,受到暴雨冲刷极易加重水土流失,造成该区域植被恢复困难。因此,灾害迹地植被恢复工作需受到重视。群落结构是群落中植物与植物、植物与环境间相互关系的标志,从群落结构方面来研究物种多样性有一定生态学意义^[4-5]。物种多样性指数能够反映群落种类组成、结构水平及植物群落的稳定性和复杂性,关系到群落成熟度、生产力、进化时间、捕食竞争与空间异质性。植物多样性的恢复是受损生态系统重建的重要内容,在植被恢复过程中其变化说明了植被的恢复进程^[6-8]。植被多样性研究有利于预测植物群落的演替方向及群落稳定程度^[9]。近年来,关于震后灾区植被恢复的研究较多^[10-11],大多偏重于立地条件、植被自然恢复的研究^[12-14],而地震引发的不同次生地质灾害对植物生物多样性破坏程度和植被恢复效果的研究较少^[15-16]。本研究对5·12汶川地震引发的崩塌、滑坡、泥石流、落石、堰塞湖等5种次生灾害迹地的植被恢复情况进行调查,了解地震诱发的次生灾害迹地植被自然恢复群落组成、结构特征及生物多样性特征,对进一步开展灾区植被恢复具有理论指导意义。

1 研究地区与方法

1.1 研究区概况

北川羌族自治县位于四川省西北部(31°14'~32°14'N, 103°44'~104°42'E),隶属北亚热带山地湿润季风气候区,全年气候温和,雨水充沛,四季分明,大陆性季风气候明显。研究区年平均气温为15.6℃,多年平均降水量为1400.0mm,年平均无霜期为276.0d,常年日照时数为924.3h。土壤和植被随海拔呈带状分布,海拔1800.0m以下以砾石土为主。

1.2 试验样地布设

试验地选取5·12地震重灾区北川地区的崩塌、滑坡、泥石流、落石、堰塞湖等5种次生地质灾害点,在尽量靠近重灾区的附近选择未受损林地桉木 *Alnus cremastogyne*-樟树 *Cinnamomum camphora* 混交林进行对比研究。崩塌迹地样地设置在坡脚,地表为小块碎石及少量大粒碎石;泥石流迹地样地设置在泥石流形成区与堆积区连接处,地表为松散碎石;滑坡迹地样地设置在滑坡体上,地表覆盖砂土及碎石;落石迹地样地设置在坡脚偏上的大块落石滚过处,土层较薄;堰塞湖淹没迹地样地设置在坡中,地表被砂石碎屑覆盖。桉木-樟木混交林样地设置在坡中,植被保存完好,乔木层在10m以上,冠幅大于2m,林龄大于10a。样地基本情况见表1。

1.3 植被调查

2015年4月26日至5月20日,用全球定位系统(GPS)测得每块样地的三维坐标,用罗盘测得坡度和坡向。在样地中顺坡设置5m×30m的样带,灾害自然恢复地样带设置在土壤堆积物上,未受破坏林地样带设在坡体的中间位置,共选样地6个。在设置好的样带里布置6个5m×5m的样方,进行乔木调查。在5m×5m样方的对角线位置取2个2m×2m的小样方进行灌木调查,同时随机取2个1m×1m的小样方进行草本调查,共设大小样方180个。调查并记录每个样方内物种名称、数量、平均高度、盖度等指标。

表 1 样地基本信息

Table 1 Basic characteristics of plots

样地类型	纬度	经度	坡度/(°)	坡向	海拔/m	总覆盖度/%
崩塌自然恢复地(B1)	31°51'37.7"N	104°30'18.0"E	36	南偏东	624	50
泥石流自然恢复地(B2)	31°52'17.1"N	104°31'53.1"E	24	东偏南	735	80
滑坡自然恢复地(B3)	31°49'25.1"N	104°27'13.2"E	28	东	690	68
落石自然恢复地(B4)	31°49'01.0"N	104°27'07.4"E	22	西偏北	736	75
堰塞湖自然恢复地(B5)	31°50'36.8"N	104°25'31.4"E	21	西偏南	739	83
桫欏-樟树混交林(ck)	31°36'26.9"N	104°29'17.0"E	22	西偏北	585	89

1.4 数据处理

物种的优势度由其重要值表示, 重要值(V_i)=(相对密度+相对频度+相对盖度)/3。本研究草本层使用相对高度代替相对密度, 乔木层中的相对盖度主要为相对基盖度。

采用 Simpson 多样性指数、Shannon-Wiener 多样性指数、Hurlbert 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数进行计算^[17]。

Simpson 多样性指数 D :

$$D=1-\sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (1)$$

Shannon-Wiener 多样性指数 H :

$$H=-\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

Hurlbert 均匀度指数 E :

$$E=\frac{H}{H_{\max}}=\frac{H}{\ln S} \quad (3)$$

Margalef 丰富度指数 R :

$$R=\frac{(S-1)}{\ln N} \quad (4)$$

式(1)~式(4)中: P_i 为物种 i 的数量百分比, 即 $P_i=N_i/N$, 其中 N_i 为样方中第 i 物种的个体数, N 为全部种的个体总数; S 为样方面积群落中植物种数。

Jaccard 物种相似性指数 I :

$$I=c/(a+b-c) \quad (5)$$

式(5)中: c 表示 A 和 B 2 个样地群落的共有植物种数; a 表示样地 A 群落的植物种数; b 表示样地 B 群落的植物种数。

2 结果与分析

2.1 不同灾害迹地群落组成及结构特征

研究发现, 不同次生灾害迹地植被恢复较好, 植被恢复初期以草本为主, 有少量的灌木或乔木种。受损迹地群落结构简单, 其植物相对比较单一, 主要是菊科 Compositae, 禾本科 Gramineae 植物。未受损林地植物种类多样化, 群落结构相对复杂, 乔木有樟树, 桫欏, 构树 *Broussonetia papyrifera*, 八角枫 *Alangium chinense*, 灌木有豪猪刺 *Berberis julianae*, 野蔷薇 *Rosa multiflora*, 小叶鼠李 *Rhamnus parvifolia*, 悬钩子 *Rubus corchorifolius* 和胡颓子 *Elaeagnus pungens* 等。

在次生灾害迹地中, 落石迹地(B4)植物种最多, 共有植物 29 科 39 属 40 种, 草本层和灌木层最为发达, 草本和灌木种类均大于 ck 群落, 但缺少乔木层; 而崩塌地(B1)则最少, 共有植物 10 科 20 属 20 种, 其中乔木为桫欏; 堰塞湖淹没地(B5)植物群落层次明显; 泥石流迹地(B2)草本层最为发达, 主要有五节芒 *Miscanthus floridulus*, 蒙古蒿 *Artemisia mongolica*, 千里光 *Senecio scandens* 和野棉花 *Anemone vitifolia* 等, 灌木仅有水麻 *Debregeasia orientalis*; B3 和 B4 群落组成只有草本和灌木, 缺少乔木层植物

(表2)。

表2 不同迹地群落物种组成和生长型

Table 2 Species composition and growth form of different slash communities

样地类型	物种组成			生长型		
	科/个	属/个	种/个	草本/种	灌木/种	乔木/种
B1	10	20	20	13	6	1
B2	13	20	26	22	2	3
B3	14	25	26	17	9	0
B4	29	39	40	25	15	0
B5	23	28	29	19	7	3
ck	24	30	30	17	9	4

2.2 不同灾害迹地植物群落优势种

重要值是衡量群落中植物是否为优势种的一项重要指标。对重要值的分析可找出群落中的主要优势树种^[18]。从表3可见：①对乔木层来说，桉木-樟树混交林(ck)以桉木和樟树为优势种，2个物种的重要值相差不大，其次是八角枫。而次生灾害迹地，崩塌迹地(B1)上仅有桉木其重要值为1；泥石流迹地(B2)有3种乔木，其重要值从大到小依次为桉木>银杏>铁木；滑坡体(B3)和落石迹地(B4)没有乔木；堰塞湖淹没地(B5)优势种为盐肤木、桉木、铁木。由此可以看出，桉木为该地区主要乔木优势种。②对灌木层来说，水麻为次生灾害迹地主要灌木优势种。B1样地灌木物种重要值位于前3位的依次为鸡骨柴、红麸杨、水麻；B2样地灌木只有2种水麻，其中水麻重要值为0.77，长叶水麻重要值为0.23；B3

表3 不同迹地群落物种重要值排序(前3位)

Table 3 A sorting of species important value of different slash communities(Top 3)

样地类型	乔木层		灌木层		草本层	
	物种	重要值	物种	重要值	物种	重要值
B1	桉木	1.00	鸡骨柴	0.55	飞蓬	0.26
			红麸杨	0.13	千里光	0.20
			水麻	0.13	小蓬草	0.10
B2	桉木	0.82	水麻	0.77	千里光	0.18
	银杏	0.09	长叶水麻	0.23	五节芒	0.17
	铁木	0.09			蜈蚣蕨	0.14
B3			水麻	0.37	千里光	0.18
			木蓝	0.25	五节芒	0.16
			铁木	0.11	蒙古蒿	0.15
B4			马桑	0.22	荩草	0.22
			水麻	0.16	五节芒	0.11
			披针叶茱萸	0.12	野棉花	0.10
B5	盐肤木	0.42	水麻	0.30	葛藤	0.17
	桉木	0.34	马桑	0.22	白苞蒿	0.16
	铁木	0.24	披针叶茱萸	0.19	薄荷	0.16
ck	樟树	0.51	刺花椒	0.21	山麦冬	0.28
	桉木	0.38	豪猪刺	0.19	蜈蚣蕨	0.21
	八角枫	0.07	野蔷薇	0.19	地果	0.13

说明：银杏 *Ginkgo biloba*，盐肤木 *Rhus chinensis*，铁木 *Ostrya japonica*，鸡骨柴 *Elsholtzia fruticosa*，红麸杨 *Rhus punjabensis*，长叶水麻 *Debregeasia longifolia*，木蓝 *Indigofera tinctoria*，马桑 *Coriaria nepalensis*，披针叶茱萸 *Viburnum lancifolium*，刺花椒 *Zanthoxylum acanthopodium*，飞蓬 *Erigeron acer*，小蓬草 *Conyza canadensis*，蜈蚣蕨 *Pteris vittata*，荩草 *Arthraxon hispidus*，葛藤 *Argyreia seguinii*，薄荷 *Mentha haplocalyx*，白苞蒿 *Artemisia lactiflora*，山麦冬 *Liriope spicata*，地果 *Ficus tikoua*

群落灌木物种重要值位于前 3 位的分别为水麻、木蓝、铁木(幼树); B4 和 B5 样地灌木优势种一样, 都为马桑、水麻、披针叶茛苳; 未受损林地 ck 灌木优势种为刺花椒、豪猪刺、野蔷薇。③对草本层来说, 次生灾害迹地上优势植物主要有千里光、五节芒, 其次是飞蓬、蒙古蒿、苧草、葛藤、白苞蒿等; 未受损林地(ck)重要值位于前 3 位的分别为山麦冬、蜈蚣蕨、地果。

2.3 不同灾害迹地群落物种相似性

植物种种间相关性是植物群落重要的数量和结构特征之一, 是衡量 2 个物种相似性的一种尺度。由表 4 可知: 次生灾害迹地物种与未受损林地物种存在较大差异, Jaccard 物种相似性指数均在 0.1 左右, 其中落石区(B4)物种与未被破坏地物种较为接近, 相似性系数为 0.19; 崩塌地(B1)植物种与未被破坏地只有 1 种共有物种, 相似性系数为 0.02。次生灾害迹地与未受损林地物种相似性系数大小依次为 $B4 > B5 > B2 > B3 > B1$ 。

相比而言, 不同次生灾害迹地之间物种更为相似, 其物种相似性指数为 0.18~0.30。其中: 以 B2 和 B3 样地间物种相似性系数最大, 为 0.30; B1 与 B2, B3, B4, B5 物种相似性系数相对较小; 而 B2, B3, B4 和 B5 样地之间物种相似性系数在 0.28 左右, 相差不大, 说明其物种较为相似。不同次生灾害迹地之间主要共有物种有五节芒, 千里光, 飞蓬, 苦苣菜 *Ixeris polycephala*, 白苞蒿, 苧草, 野青茅 *Deyeuxia arundinacea*, 蕨 *Pteridium aquilinum* 和凤尾蕨 *Pteris cretica*。由于未受损林地植被经过多年发育, 植被群落达到一个相对稳定状态, 而受损地区的林地是在原生演替初期, 所处的发育阶段不同, 因此群落物种相似性低。

表 4 不同迹地群落物种相似性系数

Table 4 Species similarity index between different slash communities

样地类型	B1	B2	B3	B4	B5	ck
B1	1.00					
B2	0.21	1.00				
B3	0.24	0.30	1.00			
B4	0.18	0.27	0.27	1.00		
B5	0.20	0.28	0.28	0.28	1.00	
ck	0.02	0.10	0.06	0.19	0.13	1.00

2.4 不同灾害迹地群落物种多样性特征

地震加剧了生境的破碎化程度, 并引发次生灾害, 造成了大片的植被破坏, 减弱了生态功能。植物多样性在一定程度上能够反映植被恢复程度, 是衡量植被演替进程的一项重要指标。对于地震后不同次生灾害多样性指数的计算和分析能够反映植物群落的生境差异、群落的结构类型、演替阶段和稳定性程度^[19]。研究样地的植物分乔木、灌木和草本 3 种生长型, 其多样性指数见表 5。

乔木层 Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数和 Hurlbert 均匀度指数在 B5 样地最大, 分别是 0.65, 1.07 和 0.98, 而在其余受损地较小。由于崩塌、滑坡、泥石流、落石灾害对原本乔木破坏较大, 多数乔木由于次生地质灾害的破坏倒塌死亡, 乔木在短期难以恢复。由于混交林中乔木种类较多, Margalef 丰富度指数却是未受损林地(ck)的最大, 为 0.82。

灌木层 Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数, Hurlbert 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数均在 B4 样地最大, 其次是 ck。因为 B2 样地仅有 2 种灌木, 而 B2 样地多样性指数最小。次生灾害迹地群落 Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数小于 ck, 说明次生灾害迹地植被处于恢复初期, 物种多样性必定小于长期稳定的未受损林地。然而均匀度与未受损林地差距不大, 甚至 B5 均匀度大于 ck 均匀度。

草本层 Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数和 Margalef 丰富度指数均在 B4 样地最大, 为 0.89, 2.52 和 4.00, Hurlbert 均匀度指数 B2 样地(0.83)最大。林地受次生地质灾害破坏后, 最先恢复的是草本层, 因此, 各样地草本多样性指数总体上差异不大。次生灾害迹地草本层多样性指数高于其他群落, 而 ck 群落多样性指数和丰富度指数并不高, 原因可能是稳定的乔木和灌木群落影响到林下草本层植物的多样性。

表5 不同迹地群落多样性指数

Table 5 Diversity indices of different slash communities

样地类型	乔木层				灌木层				草本层			
	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>R</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>E</i>	<i>R</i>
B1	0	0		0	0.56	1.23	0.68	1.89	0.78	1.93	0.75	2.46
B2	0.26	0.51	0.46	0.76	0.28	0.45	0.65	0.56	0.89	2.51	0.83	3.66
B3					0.73	1.64	0.74	1.98	0.87	2.29	0.81	2.88
B4					0.89	2.41	0.89	3.82	0.89	2.52	0.78	4.00
B5	0.65	1.07	0.98	0.72	0.81	1.65	0.84	1.84	0.85	2.31	0.78	3.22
ck	0.57	0.96	0.70	0.82	0.83	1.92	0.87	1.79	0.81	1.97	0.70	2.87

说明：*D* 为 Simpson 指数，*H* 为 Shannon-Wiener 指数，*E* 为 Hurlbert 均匀度指数，*R* 为 Margalef 丰富度指数

3 结论与讨论

3.1 结论

5·12 地震引起的次生灾害迹地植被破坏较为严重，目前仍处于恢复期，且植被恢复程度不同，其中草本层自然恢复与更新较快，其次为灌木层，乔木层恢复较慢。在演替早期，草本植物尤其是禾本科和菊科植物，可作为次生灾害迹地植被恢复的先锋植物。

从物种重要值来看，次生灾害迹地乔木层的优势种主要是桉木；灌木层优势种以水麻为主，其次是马桑和披针叶茛苳；草本层优势种以五节芒、千里光等禾本科和菊科植物为主。未受损林地植物优势种更为多元化。

在群落物种相似性方面，次生灾害迹地物种与未受损林地物种存在较大差异，相似性指数较低，在 0.1 左右；而不同次生灾害迹地之间物种更为相似，其物种相似性指数为 0.18~0.30，且其共有植物种有五节芒、千里光、飞蓬、苦苣菜、白苞蒿、苎草、野青茅、蕨和凤尾蕨。

在群落物种多样性方面，乔木层 Simpson 多样性指数，Shannon-Wiener 多样性指数和 Hurlbert 均匀度指数在 B5 样地最大，分别是 0.65，1.07 和 0.98；灌木层 Simpson 多样性指数，Shannon-Wiener 多样性指数，Hurlbert 均匀度指数和 Margalef 丰富度指数均在 B4 样地最大，分别为 0.89，2.41，0.89 和 3.82，其次是 ck；草本层也是 B4 样地最大，但不同次生灾害迹地之间差别较小。

3.2 讨论

5·12 地震引起的次生灾害迹地土壤表层堆积着大量的松散碎石，土壤养分缺乏，土壤肥力较差，保水能力弱，水土流失严重，不利于植被恢复，这与大多数研究结果一致^[3,13]。菊科、禾本科植物在困难立地早期植物群落里占显著优势，对受损后植被的恢复和延续有重要作用，是典型的先锋植物种^[20]。据中国地震局公布的资料，仅 2008 年 5-10 月 4 级以上的余震，北川县就发生了 22 次^[21]。在地震发生之后的 3 a 内，北川县因地表破碎、暴雨等影响，次生灾害时常发生^[22]，又因为缺失植被自然恢复的优良条件，使得植被自然恢复进程缓慢。

在植物多样性指数方面，次生灾害迹地群落多样性指数并不都低于未被破坏的桉木-樟木混交林。在草本层除崩塌迹地外，其他受损林地多样性指数均大于未被破坏的桉木-樟木混交林，在灌木层只有落石迹地多样性指数大于未被破坏的桉木-樟木混交林，在乔木层只有堰塞湖迹地多样性指数大于未被破坏的桉木-樟木混交林。就植被演替进程来看，受损林地仍处在自然演替的初期即草本群落阶段，该阶段群落环境较差，以 1~2 年生植物为主，但随着时间的推移群落种类逐渐增多，多年生草本植物逐渐占优势，并发展为较为茂密的草本植物群落。演替总是朝着适应性强的方向演进，即按照草本—灌木—乔木的顺序变化着^[23]。对于未受损林地而言，已经处于基本稳定的阶段，乔木的生长，冠层郁闭度的增加，使得林下光照减少，灌木和草本的生存受到一定的限制且趋于稳定^[24]。

植被恢复是次生灾害迹地重建的一项重要工作，植被的自然恢复与演替又是一个长期的过程，所以对于研究区应进行连续长期的观测与调查，更加深入地研究植被自然恢复与演替的过程，为次生灾害迹地植被的恢复与重建提供科学依据。比如采用合适的自然恢复与人工恢复相结合的方法，加快次生灾害迹地的植被恢复工作；其次，应选取乡土植物种类，同时兼顾植物群落的多样性，尽量做到乔灌木搭配

适宜, 使受损立地的植被得到快速有效的恢复。

4 参考文献

- [1] 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.
WANG Genlong, ZHANG Junhui, LIU Hongshuai. Investigation and preliminary analysis of geologic disasters in Beichuan County induced by Wenchuan Earthquake [J]. *Chin J Geol Hazard Control*, 2009, **20**(3): 47 – 51.
- [2] 崔鹏, 韦方强, 陈晓清, 等. 汶川地震次生山地灾害及其减灾对策[J]. 中国科学院院刊, 2008, **23**(4): 317 – 323.
CUI Peng, WEI Fangqiang, CHEN Xiaoqing, *et al.* Geo-hazards in Wenchuan Earthquake area and countermeasures for disaster reduction [J]. *Bull Chin Acad Sci*, 2008, **23**(4): 317 – 323.
- [3] 梁超, 赵廷宁, 史常青, 等. 基于 NDVI 的汶川大地震前后北川县次生地质灾害区植被破坏评估[J]. 中国水土保持科学, 2013, **11**(4): 86 – 92.
LIANG Chao, ZHAO Tingning, SHI Changqing, *et al.* Vegetation damage assessment of Beichuan County after the earthquake in May 2008 based on NDVI [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2013, **11**(4): 86 – 92.
- [4] 张翠微. 崇州市汶川地震灾后重建林草植被恢复工程建设监理实践与探讨[J]. 四川林业科技, 2013, **34**(5): 87 – 89.
ZHANG Cuiwei. Practice and discussion on the construction of forest and grass vegetation restoration project after Wenchuan Earthquake in Chongzhou [J]. *J Sichuan For Sci Technol*, 2013, **34**(5): 87 – 89.
- [5] 常云妮, 钟全林, 程栋梁, 等. 闽西北地区不同林龄常绿阔叶混交林物种多样性比较[J]. 生态环境学报, 2013, **22**(6): 955 – 960.
CHANG Yunni, ZHONG Quanlin, CHENG Dongliang, *et al.* Species diversity of ever-green broad-leaved mixed forest with different forest age in the north-west of Fujian Province [J]. *Ecol Environ Sci*, 2013, **22**(6): 955 – 960.
- [6] 彭少麟, 方炜, 任海, 等. 鼎湖山厚壳桂群落演替过程的组成和结构动态[J]. 植物生态学报, 1998, **22**(3): 245 – 249.
PENG Shaolin, FANG Wei, REN Hai, *et al.* The dynamics on organization in the successional process of Dinghushan *Cryptocarya* community [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 1998, **22**(3): 245 – 249.
- [7] 常学礼, 邬建国. 科尔沁沙地沙漠化过程中的物种多样性[J]. 应用生态学报, 1997, **8**(2): 151 – 156.
CHANG Xueli, WU Jianguo. Species diversity during desertification on Kerqin Sandy Land [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1997, **8**(2): 151 – 156.
- [8] 罗双, 孙海龙, 刘冲, 等. 四川道路边坡自然恢复的植被多样性研究[J]. 水土保持研究, 2011, **18**(6): 51 – 56.
LUO Shuang, SUN Hailong, LIU Chong, *et al.* Study on vegetation diversity of road verge after natural restoration in Sichuan Province, China [J]. *Res Soil Water Conserv*, 2011, **18**(6): 51 – 56.
- [9] 朱晓勇, 胡海波, 鲁小珍, 等. 太湖西区公路两侧植物物种多样性的研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2006, **30**(3): 85 – 88.
ZHU Xiaoyong, HU Haibo, LU Xiaozhen, *et al.* Study on the plant species diversity along the roadsides in Taihu West Zone [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2006, **30**(3): 85 – 88.
- [10] ROTHBAUS R M, REINHARDT E, NOLLER J. Regional considerations of coastline change, Tsunami damage and recovery along the southern coast of the Bay of Izmit (The Kocaeli (Turkey) Earthquake of 17 August 1999) [J]. *Nat Hazards*, 2004, **31**(1): 233 – 252.
- [11] CHOU W J, LIN W T, LIN C Y. Vegetation recovery patterns assessment at landslides caused by catastrophic earthquake: a case study in central Taiwan [J]. *Environ Monit Assess*, 2009, **152**(1/4): 245 – 257.
- [12] 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): 16 – 20.
TIAN Jia, TIAN Tao, ZHAO Tingning, *et al.* Application of micro-site factors revegetation technology (MFRT) to revegetation of Wenchuan after earthquake [J]. *Sci Soil Water Conserv*, 2008, **6**(5): 16 – 20.
- [13] 刘锦春, 何丙辉, 徐小军, 等. 汶川草坡乡地震次生灾害迹地植物群落的恢复研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, **35**(4): 51 – 56.
LIU Jinchun, HE Binghui, XU Xiaojun, *et al.* On vegetation restoration in Caopo of Wenchuan, a township destroyed

- by seismic secondary disaster [J]. *J Southwest Univ Nat Sci Ed*, 2013, **35**(4): 51 – 56.
- [14] 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, **31**(5): 48 – 51.
ZHANG Xiang, WANG Qing'an, WANG Wenguo, *et al.* Study on vegetation recovery in the ponderosity disaster area of Wenchuan Earthquake [J]. *Soil Water Conserv Chin*, 2010, **31**(5): 48 – 51.
- [15] 林勇明, 俞伟, 刘奕, 等. 汶川震区典型区不同受损阶段群落多样性特征: 以北川县为例[J]. 北京林业大学学报, 2012, **34**(6): 75 – 79.
LIN Yongming, YU Wei, LIU Yi, *et al.* Community diversity features of different damaged stages in typical regions of Wenchuan Earthquake affected area: a case study in Beichuan, Sichuan Province of southwestern China [J]. *J Beijing For Univ*, 2012, **34**(6): 75 – 79.
- [16] 刘守江, 张斌, 杨清伟, 等. 汶川地震非规范滑坡体上植被的自然恢复能力研究: 以彭州银厂沟谢家店子滑坡体为例[J]. 山地学报, 2010, **28**(3): 373 – 378.
LIU Shoujiang, ZHANG Bin, YANG Qingwei, *et al.* Research on the natural recovery of vegetation on the non-normative landslide mass in Wenchuan Earthquake: take landslide mass in Xiejiadian of Yinchanggou in Pengzhou as an example [J]. *J Mount Sci*, 2010, **28**(3): 373 – 378.
- [17] 张金屯. 数量生态学[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011: 372.
- [18] 郝建锋, 王德艺, 唐永彬, 等. 人为干扰对江油地区马尾松人工林群落结构和物种多样性的影响[J]. 生态环境学报, 2014, **23**(5): 729 – 735.
HAO Jianfeng, WANG Deyi, TANG Yongbin, *et al.* Effects of human disturbance on species diversity of *Pinus massoniana* plantation in Jiangyou district, Sichuan Province [J]. *Ecol Environ Sci*, 2014, **23**(5): 729 – 735.
- [19] 秦伟, 朱清科, 刘中奇, 等. 黄土丘陵沟壑区退耕地植被自然演替系列及其植物物种多样性特征[J]. 干旱区研究, 2008, **25**(4): 507 – 513.
QIN Wei, ZHU Qingke, LIU Zhongqi, *et al.* Study on natural series of vegetation and plant species diversity on returning land for farming to forests and grassplots in the hilly-gully regions of the Loess Plateau [J]. *Arid Zone Res*, 2008, **25**(4): 507 – 513.
- [20] 张广帅, 邓浩俊, 杜锬, 等. 汶川地震生态治理区土壤种子库及其与地上植被的关系[J]. 中国生态农业学报, 2015, **23**(1): 69 – 79.
ZHANG Guangshuai, DENG Haojun, DU Kun, *et al.* Soil seed bank and its correlations with above ground vegetation in ecological restoration zones of Wenchuan Earthquake region [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2015, **23**(1): 69 – 79.
- [21] 王青, 李国蓉, 梁斌, 等. 龙门山地震带 5·12 汶川地震余震空间分布特征[J]. 地质科技情报, 2009, **28**(2): 1 – 6.
WANG Qing, LI Guorong, LIANG Bin, *et al.* Spatial distribution characters of aftershocks of 5·12 Wenchuan Earthquake in Longmenshan Seismic Belt [J]. *Geol Sci Technol Inf*, 2009, **28**(2): 1 – 6.
- [22] 王娟. 5·12 地震北川县震后受损林地立地类型划分及其质量评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
WANG Juan. *Site Type Division and Evaluation of Beichuan's Damaged Forest after the 5·12 Earthquake in Wenchuan Country Town* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2012.
- [23] LI Liguang, HE Xingyuan, LI Xiuzhen, *et al.* Depth of edge influence of the agricultural-forest landscape boundary, Southwestern China [J]. *Ecol Res*, 2007, **22**(5): 774 – 783.
- [24] 王凯博. 子午岭植被演替过程中物种多样性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
WANG Kaibo. *Study on the Species Diversity in Vegetation Succession in Ziwuling Area* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2008.