

汶川地震不同次生地质灾害类型区土壤种子库特征

彭贤锋¹, 史常青¹, 赵廷宁¹, 梁超¹, 冯晶晶¹,
张成梁², 高俊³, 龙军⁴, 王兴宇⁴, 韩煜⁵

(1. 北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 轻工业环境保护研究所, 北京 100089; 3. 四川省水土保持生态环境监测总站, 四川 成都 610041;
4. 四川省北川县林业局, 四川 北川 622750; 5. 中国环境科学研究院 环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012)

摘要: 为了解地震后次生地质灾害土壤种子库特征及其植被恢复特点, 在四川省北川县采用野外取样和在当地自然环境下萌发相结合的办法, 研究了 5 种不同灾害类型(包括滑坡、崩塌、泥石流、落石及堰塞湖)土壤种子库大小、物种组成及其与地上植被之间的关系。研究结果表明, 不同灾害类型土壤种子库密度介于 $30\ 133.33 \pm 6\ 776.03 \sim 93\ 383.33 \pm 26\ 499.81$ 粒/ m^2 ; 方差分析显示, 只有落石损毁类型种子库密度与其它几种灾害类型差异显著, 各灾害类型土壤种子库种子密度在 0—5 cm 和 5—10 cm 土层之间无明显分层区别。土壤种子库中一年生和多年生草本所占比例为 90.48%, 灌木所占比例为 9.52%, 没有观察到乔木种。各土壤种子库之间 Sorensen 相似性指数较高, 为 0.529~0.714; 土壤种子库与相应样地地上植物之间相似性不高, 相关性也不密切, 其相似性指数介于 0.167~0.292。建议灾害损毁地植被恢复以自然恢复为主, 若采取简易的水土保持措施和适量客土措施, 将会促进种子的萌发和植被的更新; 种子库中缺乏乔木种, 快速乔木化需要人工输入种子雨。

关键词: 土壤种子库; 汶川地震; 灾害; 植被恢复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)06-0192-06

中图分类号: S728.1

Soil Seed Bank Characteristics of Different Secondary Geologic Hazards Area After Wenchuan Earthquake

PENG Xian-feng¹, SHI Chang-qing¹, ZHAO Ting-ning¹, LIANG Chao¹, FENG Jing-jing¹,
ZHANG Cheng-liang², GAO Jun³, LONG Jun⁴, WANG XING-yu⁴, HAN Yu⁵

(1. Key Lab of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Environmental Protection Research Institute of Light Industry, Beijing 100089, China; 3. Soil and Water Conservation and Ecological Environment Monitoring Station of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610041, China; 4. Beichuan County Forestry Bureau, Beichuan, Sichuan 622750, China; 5. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

Abstract: In order to study the characteristics of soil seed banks and the features of vegetation restoration in different geologic hazard areas after Wenchuan Earthquake, species composition, density and the relationship between soil seed bank and the above ground vegetation were analyzed. Field surveys backed with seed germination experiments in the local natural environment were conducted in five different types of disaster (including landslides, avalanches, debris flow, rock fall and barrier lakes) in Beichuan County of Sichuan Province. The results showed that the soil seed bank's density was $30\ 133.33 \pm 6\ 776.03 \sim 93\ 383.33 \pm 26\ 499.81$ seed/ m^2 , and the variance analysis indicated that only the soil seed bank density of rock fall was significantly different from other damage types. The density distribution of seeds between 0—5 cm and 5—10 cm soil layer showed no obvious hierarchical distinction. The proportion of annual or perennial herbaceous was 90.48%, the shrub was 9.52% and no tree was observed. Sorensen indices of species composition between

收稿日期: 2013-02-28

修回日期: 2013-05-06

资助项目: 林业公益性行业科研专项“四川地震灾区灾后植被恢复及可持续发展关键技术研究及示范”(201104109)

作者简介: 彭贤锋(1988—), 男(汉族), 湖北省荆州市监利县人, 硕士研究生, 主要研究方向为工程绿化技术和水土保持。E-mail: pengpeng44@163.com。

通信作者: 史常青(1969—), 男(汉族), 北京市人, 博士, 副教授, 主要研究方向为水土保持。E-mail: scqbj@163.com。

soil seed banks were high, between 0.529~0.714. Meanwhile, they were not high between soil seed banks and the above ground vegetation, which were between 0.167~0.292. The average number of species between soil seed bank and the above ground vegetation were not correlated either. It was recommended that vegetation restoration should be left mainly to natural recovery. If only a few simple soil and water conservation measures are taken, it will promote seed germination and vegetation update. Due to lack of tree species in the seed bank, artificial input of arbor seed fall is needed when the rapid introduction of trees is considered.

Keywords: soil seed bank; Wenchuan Earthquake; disaster; vegetation restoration

土壤种子库指土壤表面落叶层和土壤中所有具有生命力的种子的总和^[1],它既是对一个植物群落过去状况的进化记忆,也是反映群落现在和未来特点的重要因素之一^[2],是植物种群、群落更新与恢复的物质基础^[3]。

汶川“5·12”大地震给灾区人民造成了极大的生命和财产的损失,除了地震震动破坏效应和地表破裂效应,地震还引发的大量次生地质灾害,仅北川县就形成了581处滑坡、崩塌和泥石流^[4]。这些次生地质灾害导致重灾区森林损毁,地表原有植被被覆盖,形成地表覆盖大量松散碎石的裸地,对生态环境造成了毁灭性的损害^[5],生态环境的恢复工作艰巨复杂。震后关于灾区植被恢复的研究很多,大多集中于地表植被系统或立地条件的研究,而植物种群、群落更新与恢复的物质基础——土壤种子库却少有涉及。为了更好地探索地震灾区植被恢复的特点,以北川县为研究点,对不同灾害类型的土壤种子库及相应地上植被进行调查,以期通过研究不同次生地质灾害土壤种子库的特点及与地上植被的关系,对灾区植被恢复潜力的评价和植被恢复模式提供理论依据和支撑。

1 研究内容与方法

1.1 研究区概况

北川县位于四川西北盆地边缘,幅员面积2869 km²。山脉大致以白什、外白为界,其西属岷山山脉,其东属龙门山脉,海拔540~4769 m。主要河流有湔江、苏宝河、平通河,顺山势自西北流向东南。该区属于北亚热带湿润季风气候类型,四季分明,气候温和,雨量充沛,年平均降水量1002.7 mm,境内形成龙门山暴雨区,夏季暴雨多。年平均气温15.6℃,年平均无霜期276 d。土壤和植被随海拔呈带状分布,土壤自下而上有黄壤土、棕壤土、高山草甸土,农耕地分布于海拔1800 m以下,以砾石土为主。植被有常绿阔叶林、落叶阔叶林、针阔混交林及高山灌丛草甸^[6]。

1.2 样地选择

北川县境内次生地质灾害主要集中在东南部及

中部地区,呈条带状分布,距离断裂带越近地震地质灾害发生的程度越重^[7],其中擂鼓镇—曲山镇—陈家坝乡—桂溪乡段所属映秀—北川断裂是“5·12”汶川8.0级地震的主干发震断裂,震后地表破裂带的线性影像清晰,贯通性较好^[7-8]。沿北川县境内映秀—北川断裂沿线选择5种典型的不同类型次生灾害点,包括崩塌、滑坡、泥石流、落石和堰塞湖作为研究对象进行土壤种子库研究。县境断裂沿线主要植被类型为常绿落叶、针叶阔叶混交林,主要森林类型有桉木(*Alnus cremastogyne*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、厚朴(*Magnolia officinalis*)等。

1.3 地上植被调查与土壤种子库取样

2012年7月5日至7月13号在北川县邓家乡海光村崩塌损毁地、洪家坝村泥石流损毁地、曲山镇景家山落石损毁地、王家岩滑坡损毁地、唐家山堰塞湖淹没迹地各设置一个试验样地,在多样地上设置1条5 m×30 m的样带。其中,崩塌损毁地样带设置在坡下堆集体,地表覆盖砂石碎屑和小块碎石,也有大粒碎石散落,草本层覆盖度为36%;滑坡损毁地样带设置在滑坡体上,地表覆盖土砂质物质和小块碎石,草本层覆盖度为55%;泥石流损毁地样带设置在泥石流形成区与堆集区相连处,地表覆盖松散大小颗粒碎石,草本层覆盖度为85%;落石损毁地样带设置在坡中偏下部位大块落石滚过处,有3~5 cm浅层土壤母质零散留存,草本层覆盖度为73%;堰塞湖淹没迹地样带设置在坡中部位,地表覆盖砂石碎屑,几乎无土壤,草本层覆盖度为86%。各灾害类型样地的土壤条件都较差,地上植被以草本植物为主,有极少量灌木或乔木种(表1)。

设置完毕样带后,在每条样带上设置6个5 m×5 m的样方进行植被调查,5 m×5 m的样方里调查乔木;在样方对角线上两端取2个2 m×2 m的小样方进行灌木调查;在对角线上随机取2个1 m×1 m的小样方进行草本调查。

在5 m×5 m的样方里对角线交点处取面积大小为20 cm×10 cm,深度为0—5 cm,5—10 cm的两

块土样作为土壤种子库样本。遇到裸岩或树根盘结区域避开,在原设取样点附近取样。取完土样后装入

自制土袋或自封袋,作好标记带回备用,并在调查表上作好取样记录。共计取样 $6 \times 2 \times 5 = 60$ 个。

表 1 研究样地基本概况

地质灾害类型	植被自然恢复时间/a	所属乡村	经纬度	海拔/m	坡向	坡度/(°)	主要物种组成
崩塌	4	邓家乡海光村	31°51'37.7"N,104°30'18.0"E	624	南偏东	36	鸡骨柴(<i>Elsholtzia fruticosa</i>),千里光(<i>Senecio scandens</i>)
泥石流	4	邓家乡洪家坝村	31°52'17.1"N,104°31'53.1"E	735	东偏南	24	五节芒(<i>Miscanthus floridulus</i>),千里光
滑坡	4	曲山镇王家岩沟	31°49'25.1"N,104°27'13.2"E	690	东	28	千里光,蒙古蒿(<i>Artemisia mongolica</i>)
落石	4	曲山镇景家山	31°49'01.0"N,104°27'07.4"E	736	西偏北	22	荩草(<i>Arthraxon hispidus</i>),野棉花(<i>Anemone viti folia</i>)
堰塞湖	4	唐家乡堰塞湖	31°50'36.8"N,104°25'31.4"E	739	西偏南	21	三裂叶野葛(<i>Pueraria phaseoloides</i>),白苞蒿(<i>Artemisia lactiflora</i>)

1.4 土样浓缩和均匀处理

从样地取回土样后在室内及时摊开,分别摆放,作好标记,在室内自然温度环境下风干。将风干的土样过 10 mm 孔筛,剔除土壤中大部分杂物和大颗粒石子,并用适当力度手工把土样碾开,使其尽量分散和质地均匀,并且注意保证种子的完整性。土样浓缩处理有助于减少土样体积,充分利用光热条件,促进种子快速萌发。将处理好的土样分袋装好,作好标记备用。

1.5 萌发试验

萌发试验在北川县当地室外环境进行。在擂鼓镇麻柳湾选择一块开阔场地作为萌发试验场地,场地开阔平坦,远离其它植被,能满足光照和挡雨要求,保障试验正常可持续进行。

从 2012 年 8 月 13 号将风干后的土样分别装入内径约为 27 cm 的塑料萌发盘均匀摊开,作好识别标记,花盆土层厚度 2~3 cm;为防止土壤水分过度饱和,在花盆底中心钻直径约 5 mm 的小孔排出过多水分;在土样中混入适量珍珠岩,起到保持水分、防止土壤板结的效果。从第 1 天开始不定期浇水,保证土壤湿润,幼苗出土后开始每隔两天定期记录一次各花盆种子萌发数量。在后续观察记录过程中及时鉴定可识别的小苗并作好记录后拔除,对于不能鉴定小苗继续培养,直到长大可识别为止。2012 年 12 月 23 号所有小苗鉴定出后,萌发试验结束。

1.6 数据处理

利用 Excel 和 SPSS 18.0 软件进行数据处理和分析。单因素方差分析法分析不同样地种子库密度的差异性;用 Pearson 相关分析法分析种子库与相应地上植被之间物种数的相关性;用 Sorensen 相似性系数(SC)度量土壤种子库及地上物种组成的相似性程度。

$$SC = 2w / (s + d)$$

式中: s ——土壤种子库中物种数; d ——地表植被物种数; w ——种子库和相应地表植被共有物种数。

2 结果与分析

2.1 种子库物种组成及萌发动态

本次试验共观察到物种 42 种,包含 20 科,36 属,详见表 2。从表 2 可以看出,绝大部分为一年生或多年生草本植物,所占比例为 90.48%;灌木有茅莓(*Rubus parvifolius*)、刺天茄(*Solanum indicum*)、羊耳菊(*Inula cappa*)、山乌桕(*Sapium discolor*),占有物种比例为 9.52%,没有观察到乔木种。各个灾害类型土壤种子库都包含的植物种有小蓬草(*Conyza canadensis*),鼠麴草(*Gnaphalium affine*),野苘蒿(*Crassocephalum crepidioides*),黄鹌菜(*Youngia japonica*),附地菜(*Trigonotis peduncularis*)、飞蓬(*Erigeron acer*),牛至(*Origanum vulgare*),刺天茄(*Solanum indicum*)。

种子库的萌发动态特征反映种子萌发的时间格局。图 1—2 记录了各个灾害类型 0—5 cm 和 5—10 cm 土层土壤层种子从开始萌发(第 1 天)到不再有新种子萌发(第 76 天)时间段的萌发动态。从图 1—2 中可以看出,各样地土壤种子库萌发开始后短期内(大部分集中在第 1 周)会经历一段短暂萌发高峰期,随后萌发数量进入缓慢上升阶段。土壤种子库的短期爆发式萌发特征显示这些种子库有潜力集中为地上输出植被。

2.2 土壤种子库垂直分布特征

图 3 反映了不同土层土壤种子数量所占相应样地土壤种子库总量的百分比。由图 3 可以看出,崩塌损毁地、泥石流损毁地、落石损毁地种子分布 0—5 cm 土层接近或略低于 5—10 cm 土层,堰塞湖淹没迹地、滑坡损毁地种子分布 0—5 cm 土层接近或略高于 5—10 cm 土层。

总体上,各个损毁林地 0—5 cm 土层与 5—10 cm 土壤层种子密度相差不大,种子库数量分布没有表现明显分层区别。

表 2 试验区不同灾害类型土壤种子库物种

序号	物种名	分布样地	序号	物种名	分布样地
1	小蓬草 ^a	y ₁ —y ₅	22	香附子(<i>Cyperus rotundus</i>) ^p	y ₁
2	白苞蒿 ^p	y ₂ —y ₅	23	粗根茎莎草(<i>Cyperus stoloniferus</i>) ^p	y ₄
3	狗尾草(<i>Setaria viridis</i>) ^a	y ₄	24	香薷(<i>Elsholtzia ciliata</i>) ^a	y ₃
4	酢浆草(<i>Oxalis corniculata</i>) ^p	y ₄ —y ₅	25	蒲儿根(<i>Sinosenecio oldhamianus</i>) ^{b/p}	y ₂
5	鼠麴草(<i>Gnaphalium affine</i>) ^b	y ₁ —y ₅	26	华须芒草(<i>Andropogon chinensis</i>) ^p	y ₂ —y ₅
6	白花鬼针草(<i>Bidens pilosa var. radiata</i>) ^a	y ₂ ·y ₅	27	夏枯草(<i>Prunella vulgaris</i>) ^p	y ₃ ·y ₅
7	商陆(<i>Phytolacca acinosa</i>) ^p	y ₂	28	碎米荠(<i>Cardamine hirsuta</i>) ^a	y ₃
8	尼泊尔蓼(<i>Polygonum nepalense</i>) ^a	y ₂	29	茅莓 ^s	y ₃
9	野苘蒿 ^a	y ₁ —y ₅	30	通泉草(<i>Mazus japonicus</i>) ^a	y ₂
10	黄鹌菜 ^a	y ₁ —y ₅	31	广布野豌豆(<i>Vicia cracca</i>) ^p	y ₂ ·y ₅
11	附地菜 ^a	y ₁ —y ₅	32	牛筋草(<i>Eleusine indica</i>) ^a	y ₅
12	卷耳(<i>Cerastium arvense</i>) ^a	y ₁ —y ₂ ·y ₅	33	倒提壶(<i>Cynoglossum amabile</i>) ^p	y ₂
13	点地梅(<i>Androsace umbellata</i>) ^{a/b}	y ₄ —y ₅	34	刺天茄 ^s	y ₁ —y ₅
14	一年蓬(<i>Erigeron annuus</i>) ^{a/b}	y ₃ —y ₄	35	羊耳菊 ^s	y ₁ —y ₄
15	风轮菜(<i>Clinopodium chinense</i>) ^p	y ₃ —y ₄	36	母草(<i>Lindernia crustacea</i>) ^a	y ₅
16	飞蓬 ^b	y ₁ —y ₅	37	山乌桕 ^s	y ₅
17	野胡萝卜(<i>Daucus carota</i>) ^b	y ₁ —y ₄	38	野棉花 ^p	y ₄
18	苦苣菜(<i>Ixeris polycephala</i>) ^{a/b}	y ₁ —y ₄	39	东方草莓(<i>Fragaria orientalis</i>) ^p	y ₁ —y ₂
19	牛至 ^b	y ₁ —y ₅	40	地耳草(<i>Hypericum japonicum</i>) ^a	y ₄
20	鹅肠菜(<i>Myosoton aquaticum</i>) ^{b/p}	y ₂	41	夏至草(<i>Lagopsis supina</i>) ^p	y ₂
21	繁缕景天(<i>Sedum stellarii folium</i>) ^{a/b}	y ₁	42	铁苋菜(<i>Acalypha australis</i>) ^a	y ₃

注:a表示一年生草本,b表示二年生草本,p表示多年生草本,s表示灌木;y₁表示崩塌损毁地,y₂表示泥石流损毁地,y₃表示滑坡损毁地,y₄表示落石损毁地,y₅表示堰塞湖淹没迹地。

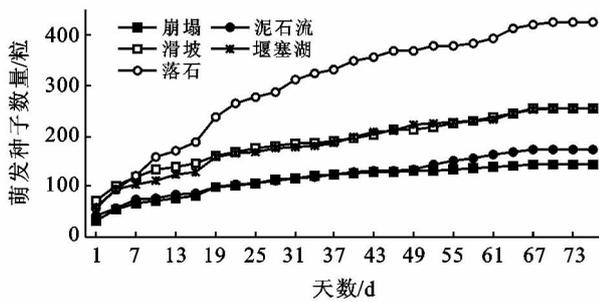


图 1 研究区 0—5 cm 土层土壤种子库萌发动态

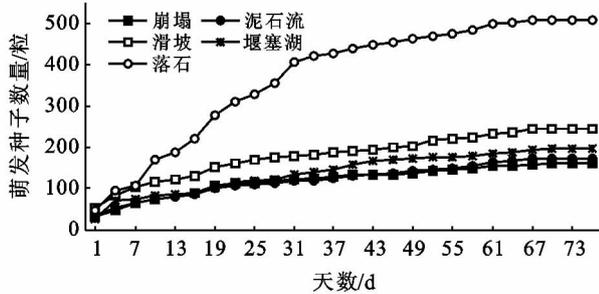


图 2 研究区 5—10 cm 土层土壤种子库萌发动态

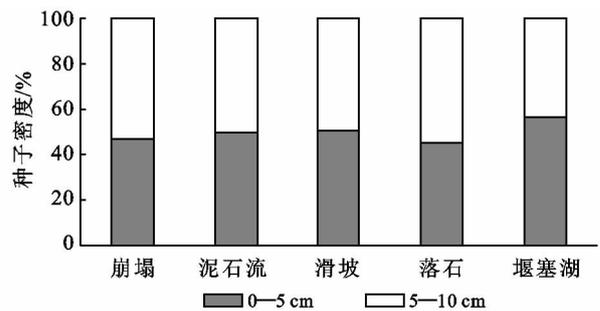


图 3 不同灾害类型土壤种子库数量垂直分布

2.3 不同灾害类型种子库特征差异性分析

5 种不同灾害类型种子库密度为 30 133.33 ± 6 776.03 ~ 93 383.33 ± 26 499.81 粒/m²。单因素方差分析表明(表 3),落石损毁地种子库密度明显高于其它几种灾害类型,差异显著,其它 4 种灾害类型土壤种子库密度差异不显著。落石损毁地和堰塞湖淹没迹地极差值较大,表明这两个样地中种子分布离散程度较大。

表 3 不同灾害类型土壤种子库平均密度

灾害类型	不同土层土壤种子库密度/(粒·m ⁻²)		总密度值/(粒·m ⁻²)	
	0—5 cm	5—10 cm	0—10 cm	极差
崩塌	14 183.33 ± 4 183.77	15 950.00 ± 4 873.16	30 133.33 ± 6 776.03a	17 600.00
泥石流	17 166.67 ± 7 058.16	17 366.67 ± 4 681.79	34 533.33 ± 8 078.25 a	20 500.00
滑坡	25 633.33 ± 12 433.69	24 550.00 ± 9 457.68	50 183.33 ± 15 280.94a	35 100.00
落石	42 516.67 ± 12 151.98	50 866.67 ± 16 205.23	93 383.33 ± 26 499.81b	74 300.00
堰塞湖	236 00.00 ± 15 840.88	19 500.00 ± 10 189.74	43 100.00 ± 27 358.94a	92 400.00

注:同列不同字母表示在 α=0.05 水平上差异显著。

2.4 不同灾害类型土壤种子库与地上植被的相关性

对不同灾害类型土壤种子库物种数与地上植被物种数进行 Pearson 相关分析,结果详见表 4。由表 4 可以看出,崩塌损毁地、泥石流损毁地、滑坡损毁地、堰塞湖淹没迹地相关系数 r 分别为 $-0.315, 0.335, -0.248$ 和 0.175 ,土壤种子库物种数与地上植被物种数均呈不显著相关;落石损毁地相关系数为 0.000 ,土壤种子库物种数与地上植被物种数完全不相关。可见,不同灾害类型土壤种子库与地上植被的相关性并不密切。

表 4 不同灾害类型土壤种子库与地上植被物种数的相关性

灾害类型	相关系数 r	样方数 N	概率 P	相关性
崩塌	-0.315	6	0.544	不显著相关
泥石流	0.335	6	0.517	不显著相关
滑坡	-0.248	6	0.636	不显著相关
落石	0.000	6	1.000	不相关
堰塞湖	0.175	6	0.740	不显著相关

注: N 指各灾害类型种子库和地上物种对比的样方数, P 指取 r 值的概率。

2.5 不同灾害类型土壤种子库与地上植被物种组成的相似性

表 5 为不同灾害类型土壤种子库及地上植被相似性指数。由表 5 可知,落石损毁地、堰塞湖淹没迹地土壤种子库与地上植物相似性相对较高,泥石流损毁地、滑坡损毁地、崩塌损毁地土壤种子库与地上植物相似性较低,均低于 0.200 。各灾害类型地上植物相似性指数最低 0.271 ,最高 0.520 ,主要介于 $0.300 \sim 0.400$,相似性较高。各灾害类型土壤种子库植物的相似性指数介于 $0.529 \sim 0.714$,表现出明显的相似性。

表 5 不同灾害类型土壤种子库及地上植被物种组成的 Sorensen 指数

灾害类型	崩塌	泥石流	滑坡	落石	堰塞湖
崩塌	0.171sd	0.273d	0.348d	0.271d	0.327d
泥石流	0.667s	0.167sd	0.520d	0.381d	0.453d
滑坡	0.629s	0.591s	0.174sd	0.431d	0.436d
落石	0.541s	0.609s	0.714s	0.230sd	0.412d
堰塞湖	0.529s	0.605s	0.564s	0.585s	0.208sd

注:sd指土壤种子库与相应样地地上植物的相似性指数;s指不样地间土壤种子库的相似性指数;d指不样地间地上植物的相似性指数。

3 结果讨论

取样的时间是种子库研究的重要问题之一,取样时间不同影响种子库的结果,其内容和意义也不同。

一般认为多年生植物和(或)夏季一年生植物占优势的群落中,在夏天采集的土样,种子完成萌发而新的种子尚未成熟和散布,其研究对象是持久种子库^[9]。本研究土壤种子库以一年生或多年生草本为主,采样时间是 7 月,植物多在春季完成萌发,而新的种子还未散布到土壤中,因此得到的种子库是持久种子库。持久种子库在植被承受干扰后的恢复中常起关键作用^[10],这是由于埋藏在土壤中的种子更能逃避干扰、疾病的捕食的损害^[11],例如研究地中海皮被刈割后,植物仍能靠持久种子库繁衍^[12]。

一般情况下,土壤种子库垂直分布表现明显的异质性,随土壤深度的增加,种类和密度均逐渐减少^[13-15]。本研究中 $0-5$ cm 与 $5-10$ cm 土层种子库密度相差不明显,这是持久种子库与短暂种子库的区别之一^[16],这种垂直分布格局有利于种子库的保存。汶川地震破坏土体、形成了大量的颗粒侵蚀堆积物^[5,17],破碎的土层结构具有不稳定性,在雨水和径流的冲刷下易形成水土流失,随之流失的还有表土层中的大量种子, $5-10$ cm 深土层存在的大量种子将能避免土壤中的种子库大量损失,使得植被天然更新恢复得到了物质保障。本研究未涉及到 10 cm 以下土层的种子库情况,也没有对各损毁地的水肥条件及土壤理化性质作系统调查,不能对幼苗的生长环境做出细致评价,这是后续研究需要补充的内容。

当年已经萌发更新的植物主要由短暂种子库提供,而存留在土壤中的种子构成了持久种子库^[18]。比较物种组成的相似性系数,各灾害类型地上植物之间及土壤种子库之间相似性较高,而土壤种子库与相应地上植物之间相似性不高,从这种相似性关系可以看到各种次生地质灾害类型具有相似度较高的短暂种子库和持久种子库。这表明种子库对于次生地质灾害的干扰表现出了相似的生活史繁殖对策,在地震形成的特有生境下某些植物选择了萌发,而某些植物实行强迫休眠^[19],了解到这些情况可以帮助研究者确定种子库中哪些物种是可以即时利用的,哪些物种能够对未来的群落演替方向有贡献^[20]。事实上,观察到的持久土壤种子库主要由草本植物组成,有较少的灌木种,没有乔木种,未来建成乔木群落只能依靠外来种子雨入侵达成,为了尽早形成更为稳定的生态系统——乔木林,应当考虑人为输入乔木种子雨,还可结合当地的经济林木种实现生态效益、经济效益的兼得。

5 种次生地质灾害类型中,落石受损地土壤种子库密度明显高于其它几种灾害受损地,分析其原因,落石下滚毁林的方式对土层破坏相对要小,且大颗粒落石毁林后稳定下来,落石与落石间容易形成较好的

保水保土空间,这些土壤更容易捕获和容纳更多的种子,在萌发试验的时候也能提供更充足的养分;堰塞湖迹地经水淹没退水后带走大量土壤和养分,崩塌、滑坡、泥石流表层覆盖松散碎屑,保水保肥能力差。不同的灾害损毁方式导致了土壤的水肥差别,土壤种子库种子萌发能力的强弱因此受到影响,落石损毁地提供植物更新源的能力最强。

4 结论

(1) 通过对汶川地震北川县灾区不同次生地质灾害类型的调查,发现该区存在规模较大的持久土壤种子库,损毁地种子库密度介于 $30\ 133.33 \pm 6776.03 \sim 93\ 383.33 \pm 26\ 499.81$ 粒/ m^2 ,落石损毁地显著高于其它损毁地。共观察到物种 42 种,一年生或多年生草本植物所占比例为 90.48%,其余为灌木种,没有发现乔木种。次生地质灾害对植被系统和土壤层面损毁严重,但其形成的持久种子库密度垂直分布格局有利于种子的储存和植被恢复更新。各次生地质灾害地土壤种子库丰富的种子储量和一定优势的分布格局显现了植被具有自我恢复更新的潜力,落石损毁地相比其它灾害类型具有优势。

(2) 考虑到损毁地区域地质灾害的易发性和多发性,建议对于裸露岩面、人为活动较少的区域等地的植被恢复采取自然恢复的措施,其条件能够满足生态修复的要求,但由于种子库里乔木种缺失,对于居民、道路、景区等较迫切需要恢复的区域考虑引入乔木种子库。

(3) 地震引发的次生地质灾害与传统的崩塌、滑坡有所差异,其诱发因素属于动力性,破坏严峻,并且很多时候彼此相伴而生^[21],这就决定了其形成独特的生境,水肥条件也都较差,若采取简易的水土保持措施和适量客土措施,将会促进种子的萌发和植被的更新。

致谢:北京林业大学的张志翔和沐先运老师在植物鉴定方面给予了很大帮助,北川县林业局周进站、张晓龙科长在野外取样中为本研究提供很多支持和帮助,在此一并表示感谢。

[参 考 文 献]

- [1] Thompson K, Grime J P. Seasonal variation in the seed banks of herbaceous species in ten contrasting habitats [J]. *The Journal of Ecology*, 1979, 67(3): 893-921.
- [2] Coffin D P, Lauenroth W K. Spatial and temporal variation in the seed bank of semi arid grassland [J]. *American Journal of Botany*, 1989, 76(1): 53-58.
- [3] 沈有信,赵春燕. 中国土壤种子库研究进展与挑战 [J]. *应用生态学报*, 2009, 20(2): 467-473.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 北川县志编纂委员会. 自然地理 [M] // 北川县志编纂委员会. 北川县志. 北京: 方志出版社, 1996: 103-138.
- [7] 黄庭,张志,谷延群,等. 基于遥感和 GIS 技术的北川县地震次生地质灾害分布特征 [J]. *遥感学报*, 2009, 24(1): 177-182.
- [8] 李勇,黄润秋,周荣军,等. 龙门山地震带的地质背景与汶川地震的地表破裂 [J]. *工程地质学报*, 2009, 17(1): 3-18.
- [9] 李洪远,莫训强,郝翠. 近 30 年来土壤种子库研究的回顾与展望 [J]. *生态环境学报*, 2009, 18(2): 731-737.
- [10] 闫巧玲,刘志民,李荣平. 持久土壤种子库研究综述 [J]. *生态学杂志*, 2005, 24(8): 948-952.
- [11] Chang E R, Jefferies R L, Carleton T J. Relationship between vegetation and soil seed banks in an arctic coastal marsh [J]. *Journal of Ecology*, 2001, 89(3): 367-384.
- [12] Bekker R M, Lammerts E J, Schutter A, et al. Vegetation development in dune slacks: The role of persistent seed banks [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1999, 10(5): 745-754.
- [13] 何召琬,程积民,万惠娥,等. 子午岭天然柴松林土壤种子库 [J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(6): 85-91.
- [14] 唐庆兰,朱宇林,张照远,等. 桉树人工林土壤种子库研究 [J]. *中国农学通报*, 2012, 28(1): 12-16.
- [15] Bekker R M, Bakker J P, Grandin U, et al. Seed size, shape and vertical distribution in the soil: Indicators of seed longevity [J]. *Functional Ecology*, 1998, 12(5): 834-842.
- [16] 程积民,程杰,赵凌平. 土壤种子库在典型草原封禁恢复演替过程中的作用 [M] // 程积民,程杰,赵凌平. 黄土高原植被恢复与土壤种子库. 北京: 科学出版社, 2012: 249
- [17] 王兆印,刘丹丹,施文婧. 汶川地震引发的颗粒侵蚀及其治理 [J]. *中国水土保持科学*, 2009, 7(6): 1-8.
- [18] 于顺利,陈宏伟,郎南军. 土壤种子库的分类系统和种子在土壤中的持久性 [J]. *生态学报*, 2007, 27(5): 2099-2108.
- [19] 刘志民,蒋德明,高红瑛,等. 植物生活史繁殖对策与干扰关系的研究 [J]. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 418-422.
- [20] 冯秀,仝川,丁勇,等. 土壤种子库在植被恢复与重建中的作用与潜力 [J]. *内蒙古大学学报: 自然科学版*, 2007, 38(1): 102-108.
- [21] 郝利娜,张志. 映秀—北川断裂带沿线崩滑体分布规律浅析 [J]. *煤田地质与勘探*, 2009, 37(5): 43-46.