

# 2009—2018 年谢家店震后滑坡体植被恢复研究

吴世祥<sup>1</sup>, 何 聪<sup>1</sup>, 杨 丹<sup>1,2</sup>, 王 晨<sup>1</sup>, 刘守江<sup>1,2</sup>

(1. 西华师范大学 国土资源学院, 四川 南充 637000; 2. 西华师范大学 嘉陵江流域研究所, 四川 南充 637009)

**摘 要:**自“5·12”特大地震以来,银厂沟谢家店滑坡体至今已形成 10 年,10 年间研究小组运用样方法在滑坡体上设立了 9 个样地,调查样地植物物种的生长状况,并对样地植物群落结构、植物优势种、植物多样性进行了数据研究分析,研究结果如下:(1) 2009—2018 年滑坡体植物总种数由 53 种增加到 92 种,其中乔木由 0 种增加到 12 种,灌木由 4 种增加到 38 种,草本先从 49 种增加到 65 种,再减少到 42 种,植物群落由以草本为主的单一结构向完善的乔灌草结构转变,植物物种恢复显著。(2) 在植被恢复期间,植物群落优势种类型经历由早期毛葡萄—醉鱼草,到植被恢复初期桤木—灰白毛莓—木贼,再到植被恢复后期桤木—腊莲绣球—芒萁的植物演替变化过程。(3) 经过 10 年的恢复,在总体上 Margalef 丰富度指数  $Ma$  由 2.80 上升到 6.06;Shannon-Wiener 指数  $H'$  由 2.18 上升到 3.13;Simpson 指数  $D$  由 0.88 上升到 0.93;Pielou 均匀度指数  $E$  由 0.13 上升到 0.93,植物多样性逐年上升。研究揭示了震后 10 年来滑坡体植物物种、植物群落结构、植物多样性在恢复过程中的特征与变化,为震后植被恢复的相关研究以及水土保持工作的开展提供参考与借鉴。

**关键词:**震后滑坡体;植被恢复;植物群落;植物多样性;水土保持;银厂沟谢家店

中图分类号:Q948; X43

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0235-05

## Study of Vegetation Restoration After the Earthquake on Xiejiadian Landslide in the Period 2009—2018

WU Shixiang<sup>1</sup>, HE Cong<sup>1</sup>, YANG Dan<sup>1,2</sup>, WANG Chen<sup>1</sup>, LIU Shoujiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Land and Resources, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637000, China;

2. Institute of Jialing River Basin, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009, China)

**Abstract:** Since the ‘5·12’ mega-earthquake, the landslide on Xiejiadian in Yinchanggou has formed for 10 years. In the past 10 years, on the landslide, we had set up 9 plots by using the sample method to investigate the growth status of plant species. And the data of the plant community structure, plant dominant species and plant diversity were studied and analyzed. The results are as follows. (1) During the period from 2009 to 2018, the total number of plant species increased from 53 to 92, the number of species of trees increased from 0 to 12, the number of shrub species increased from 4 to 38, the number of herbaceous species increased from 49 to 65 and then decreased to 42. The plant community changed from a single structure dominated by herbage to a complete structure of arbor, shrub and grass. The recovery is significant. (2) During the vegetation restoration, the dominant species of plant community underwent a process of plant succession. It changed from the early *Vitis heyneana*—*Buddleja lindleyana* type to the initial *Alnus cremastogyne*—*Rubus tephrodes*—*Equisetum hyemale* type, and then to the late *Alnus cremastogyne*—*Hydrangea strigosa*—*Dicranopteris dichotoma* type. (3) After 10 years of recovery, the Margalef richness index increased from 2.80 to 6.06 in general; the Shannon-Wiener index increased from 2.18 to 3.13; the Simpson index rose from 0.88 to 0.93; the Pielou evenness index from 0.13 to 0.93. The plant diversity had increased year by year. This study reveals the characteristics, the dynamics of landslide plant species, plant community structure and plant diversity during the recovery process in the past 10 years after the earthquake, and

收稿日期:2019-02-26

修回日期:2019-03-07

资助项目:国家自然科学基金(41101348;41807075);西华师范大学一般培育项目(416627);四川省教育厅重点资助项目(17AZ0373);西华师范大学英才项目(17YC114);西华师范大学科研创新团队(CXTD2018-10);西华师范大学博士科研启动项目(412655)

第一作者:吴世祥(1994—),男,四川宜宾人,在读硕士研究生,研究方向为自然地理学。E-mail:2036156576@qq.com

通信作者:刘守江(1974—),男,四川泸州人,教授,硕士,博士,主要从事环境生态与生物多样性研究。E-mail:275588077@qq.com

provides the reference and reference for the related research on vegetation restoration after earthquake and the development of soil and water conservation practices.

**Keywords:** landslide after the earthquake; vegetation restoration; plant community; plant diversity; soil and water conservation; Xiejiadian in Yinchanggou

灾后植被恢复对于灾区生态恢复具有重要重用,尤其是“5·12”特大地震对重灾区生态带来了巨大破坏<sup>[1]</sup>,并由此引发了多种地质灾害<sup>[2-3]</sup>,威胁当地居民的生命财产安全,且银厂沟为国家级风景旅游区,对景区的生态恢复更加迫切。国内外学者对震后植物群落结构<sup>[4-7]</sup>、植被演替<sup>[8-10]</sup>、植物多样性<sup>[11-12]</sup>以及植被恢复<sup>[13-18]</sup>等方面的研究也尤为重视,而银厂沟谢家店滑坡体是地震形成的典型大滑坡体,10年来经历了从震后地表基本无植被覆盖,恢复发展到如今的植物物种丰富、乔灌草群落结构完善,是震后植被恢复较好的地区,极具研究价值。本文在借鉴前人工作的基础上,继续开展实地工作调查并进行总体整理与分析,对滑坡体植被恢复 10 年来的植物群落、植物优势种、多样性以及相似性进行研究与分析,揭示滑坡体 10 年来植被的恢复过程以及变化规律,为震后植被恢复的相关研究提供参考,推动灾后生态恢复与水土保持研究。

# 1 研究区与研究方法

## 1.1 研究区概况

银厂沟谢家店位于四川省成都市彭州市(30°54′—31°26′N,103°10′—103°40′E),为亚热带湿润气候区,气候温和,四季分明,雨热同期。最高月均气温在 25.1℃左右,最低月均气温在 5.3℃左右,年平均气

温在 15.9℃左右。海拔在 1 200 m 以上,年平均降水量在 867 mm 左右,土壤以山地灰棕壤为主,地质疏松。2008 年“5·12”地震为当地生态带来了巨大破坏,形成的滑坡体掩埋和摧毁了原有的森林植被,是灾后滑坡体的典型代表,震后又受到泥石流、崩塌等次生灾害的影响,基本无植被覆盖,到 2018 年经过 10 年的恢复,植被已恢复形成结构相对完整的植物群落,植被恢复效果显著。

## 1.2 样地设置与植物调查

自 2008 年地震后研究小组在 2009 年、2012 年、2014 年、2015 年、2017 年和 2018 年对银厂沟谢家店震后形成的滑坡体进行了一系列野外综合调查。本研究采用样方法对滑坡体植被恢复情况进行调查,基于滑坡体规模与海拔梯度,以海拔每上升 20 m 设立一个样地,自下而上在滑坡体上共设立 9 个样地。样地规格参照时连俊等<sup>[7,12]</sup>、郑鸿锴<sup>[11]</sup>的样地布设标准,在每个样地内设置 1 个 10 m×10 m 的乔木样方;在每个乔木样方内设置 2 个 5 m×5 m 灌木样方;在每个灌木样方内设置 4 个 1 m×1 m 的草本样方,共计 9 个乔木样方,18 个灌木样方,36 个草本样方。对每个样方内的植物名称、植物物种数、株数、盖度等重要指标进行调查与记录,并进行分析与研究,样地基本概况见表 1。

表 1 2009—2018 年滑坡体样地基本概况

样地号	纬度(N)	经度(E)	海拔/m	坡度/(°)	平均物种数/种	平均株数/株	平均盖度/%
1	31°17′32″	103°50′45″	1230	28	20	94	64
2	31°17′33″	103°50′44″	1250	30	21	122	69
3	31°17′35″	103°50′42″	1270	32	23	116	72
4	31°17′37″	103°50′42″	1290	35	22	127	74
5	31°17′39″	103°50′41″	1310	36	23	123	75
6	31°17′40″	103°50′40″	1330	38	19	124	75
7	31°17′40″	103°50′39″	1350	35	21	134	70
8	31°17′42″	103°50′37″	1370	38	21	137	70
9	31°17′42″	103°50′35″	1390	32	19	141	71

## 1.3 数据处理

重要值是判断优势种的重要指数,重要值  $IV = (Dr + Fr + Cr) / 3$ <sup>[19]</sup>,其中 Dr=样方内某种植物的个体数/全部植物总体数,为相对密度;Fr=样地内某一物种的频度/全部物种频度之和,为相对盖度,其中频度=某物种出现的样方数/样方总数;Cr=样方中某种植物的投影盖度/所有植物投影盖度总和,为相对

盖度。

植物多样性是反映植物物种和植物生长状况最直接的依据,可通过植物多样性指数来表示,目前的植物多样性指数主要有 Margalef 丰富度指数 Ma、香浓维纳指数  $H'$ 、辛普森指数  $D$ 、Pielou 均匀度指数  $E$  和 Gleason 指数  $G1$  等,是表现植物多样性的重要标志。物种多样性的计算公式<sup>[20]</sup>为:

Margalef 丰富度指数:

$$Ma=(S-1)/\ln N \tag{1}$$

Shannon-Wiener 指数:

$$H'=-\sum p_i \ln p_i \tag{2}$$

Simpson 指数:

$$D=1-\sum p_i^2 \tag{3}$$

Pielou 均匀度指数:

$$E=H/H_{\max} \tag{4}$$

式中: $p_i$ 为第*i*种个体数占群落中总个体数的比例; $S$ 为群落中物种总数; $N$ 为观察到的个体数; $H$ 为实际观察的物种多样性指数; $H_{\max}$ 为最大的物种多样性指数。

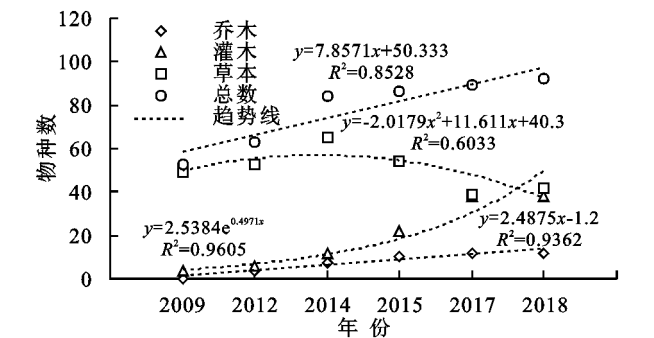
## 2 结果与分析

### 2.1 2009—2018 年滑坡体植物群落组成及结构特征

通过对 2009—2018 年滑坡体植物物种基本情况与变化状况(图 1)进行分析,发现 2009—2018 年滑坡体植被恢复过程中,植物物种总种数由 2009 年的 53 种增加到 92 种,增加了 39 种,整体上呈线性增加趋势,增加速率为 7.86,植被物种恢复明显。2009—2014 年植被物种数增加最快,由 53 种增加到 84 种,增加了 31 种,占总增加物种数量的 80%左右,属于植被恢复初期,环境生存空间较大,乔木、灌木和草本都具有足够的生存空间进行快速生长。2014—2018 年植被物种数增加变缓,4 年间仅增加了 8 种,属于植被恢复后期,植物群落结构的不断完善和生存发育空间的减少导致植物物种增长缓慢并趋于稳定。

在整个滑坡体恢复期间,随着生境条件的不断改善,乔木物种不断恢复,呈现线性增加的趋势,以 2.49 的增加速率由 2009 年 0 种增加到 2017 年 12 种,到 2018 年乔木层物种已基本趋于稳定。灌木层则呈现出指数性增加的趋势,在植被恢复初期(2009—2014 年),由于生存环境较差,灌木增长缓慢由 4 种增加到 12 种,增加速率为 4.00;在植被恢复后期(2014—2015 年),由于生境环境的改善和灌木群落完善,灌木物种数快速增长,由 12 种增加到 38 种,增加速率为 8.00;在总体上 2009—2017 年灌木由 4 种增加到 38 种,增加速率为 2.54,到 2018 年基本趋于稳定。草本物种种数是呈现先增加后减少的趋势,在植被恢复初期,生存环境较差,草本适应性最强,在此期间占据物种上的绝对优势并不断增加,2009—2014 年草本由 49 种增加到 65 种,增长速率达到 11.61;2014—2017 年,随着乔木和灌木层的恢复与不断完善,竞争力较弱的草本物种优势地位下降,由 65 种减少到 39 种,下降速率在 2.02 左右,到 2018 年随着整个植被

群落的稳定,物种数有所增长但总体趋于稳定。随着滑坡体植被的恢复,植物群落由恢复初期草本为主的单一群落结构逐渐向恢复后期乔灌木均衡稳定的群落结构发育和演替。



注:其中 2009 年调查时,可能由于乔木数量少、株高太低等原因导致未观测到乔木,故计作 0 种。

图 1 2009—2018 年滑坡体植物物种数基本情况与变化趋势

### 2.2 2009—2018 年滑坡体植物优势种

重要值是判断优势种的重要指标,通过对重要值的分析可以确定滑坡体植物恢复以来的植物优势种(表 2)。在乔木层中,优势物种相对稳定,具有耐瘠薄、生长迅速、水土保持能力强等特点的桤木(*Alnus cremastogyne*)最先发育起来成为乔木层建群种,并一直处于重要值首位;红桦(*Betula albosinensis* Burk.)、柳杉(*Cryptomeria fortune*)和盐肤木(*Rhus chinensis*)等对于环境适应能力强、易存活的乔木物种长期居于重要值前 3 位,成为乔木层共建种。2012—2015 年,由于乔木层结构不稳定,处于发育阶段,各物种间相互竞争,建群种桤木重要值由 0.42 下降到 0.31,其他共建种间相互替位。2015—2018 年植物恢复后期,乔木层群落结构趋于完善,滑坡体水土流失相对减少,物种趋于稳定,桤木主要优势种地位逐渐稳固,重要值由 0.31 上升到 0.54 占据绝对优势,共建种也基本稳定为柳杉与盐肤木。

在灌木层中,植被恢复初期植被物种更新快,优势种变化也快。在植物恢复早期(2009 年),分布范围广、生长速度快的毛葡萄(*Vitis heyneana*)成为先锋优势种,重要值高达 0.48,同时对环境适力强的灰白毛莓(*Rubus tephrodes*)和马桑(*Coriaria nepalensis*)为共建种。2012—2015 年,植株盖度大、竞争力强的灰白毛莓取代毛葡萄成为建群种,而生长繁殖速度快的紫麻(*Oreocnide frutescens*)与裸花紫珠(*Callicarpa nudiflora*)也替代马桑为主要共建种。但随着灌木层的快速发育,灰白毛莓优势种地位不断下降,重要值由 0.39 下降 0.22。2015—2018 年恢复后期,植被对水土的保持能力加强,生境环境改善,种子数量多、繁殖快的腊莲绣球(*Hydrangea strigose*)



取代灰白毛莓成为主要优势种并趋于稳定,重要值最大值为 0.28,基本形成以腊莲绣球为建群种,灰白毛莓和山莓(*Rubus corchorifolius*)为共建种的灌木群落结构。

在草本层优势种中,适应性强、生长快、病虫害少的醉鱼草(*Buddleja lindleyana*)和一年蓬(*Erigeron annuus*)为早期(2009 年)先锋优势种植物,重要值分别为 0.11,0.10。2012—2015 年,随着灌木和乔木的恢复与发育,大量乔木与灌木覆盖于草本之上,争夺草本生存空间和光照空间,喜阴湿环境的木贼(*Equisetum hyemale*)和伏地卷柏(*Selaginella nipponica*)等蕨类植物替代了喜光照干燥的醉鱼草等植物成为草本优势种,重要值最大值分别为 0.15,0.13。到了 2015—2018 年植被恢复后期,乔木、灌木群落基本稳定并占据绝对优势,草本层中耐旱、耐瘠薄的芒萁(*Dicranopteris dichotoma*)发育成为草本主要优势种,重要值为 0.24,而木贼重要值由 0.15 下降到 0.05,成为共建种。整个植被恢复期间,滑坡体植物群落优势种类型经历由早期毛葡萄—醉鱼草到植被恢复初期桉木—灰白毛莓—木贼,再到植被恢复后期桉木—腊莲绣球—芒萁的演替过程,水土流失减少,生态环境恢复。

表 2 2009—2018 年滑坡体各层植物优势种重要值(前 3 位)

年份	乔木层		灌木层		草本层	
	物种	重要值	物种	重要值	物种	重要值
2009			毛葡萄	0.48	醉鱼草	0.11
			灰白毛莓	0.18	一年蓬	0.10
			马桑	0.11	繁缕	0.10
2012	桉木	0.42	灰白毛莓	0.39	木贼	0.13
	红桦	0.25	紫麻	0.13	伏地卷柏	0.12
	柳杉	0.21	山梅花	0.11	隐子草	0.05
2014	桉木	0.33	灰白毛莓	0.24	木贼	0.15
	盐肤木	0.26	绣线菊	0.12	伏地卷柏	0.12
	红桦	0.17	裸花紫珠	0.12	杭子梢	0.08
2015	桉木	0.31	灰白毛莓	0.22	木贼	0.15
	盐肤木	0.26	紫麻	0.14	伏地卷柏	0.13
	红桦	0.13	绣线菊	0.12	杭子梢	0.10
2017	桉木	0.52	腊莲绣球	0.26	芒萁	0.15
	柳杉	0.20	灰白毛莓	0.18	鳞盖蕨	0.12
	盐肤木	0.07	山莓	0.12	木贼	0.11
2018	桉木	0.54	腊莲绣球	0.28	芒萁	0.24
	柳杉	0.23	山莓	0.16	木贼	0.05
	盐肤木	0.08	灰白毛莓	0.14	野棉花	0.05

注:山梅花 *Philadelphus incanus*,绣线菊 *Spiraea salicifolia*,繁缕 *Stellaria media*,隐子草 *Cleistogenes Keng*,杭子梢 *Campylotropis macrocarpa*,鳞盖蕨 *Microlepia marginata*,野棉花 *Anemone vitifolia*。

2.3 2009—2018 年滑坡体植物多样性特征

植物多样性指数是对植物物种数、株数及其分布

状况的反映,是衡量植被恢复状况和植被演替的重要指标,由于乔木层在 2009—2012 年的缺乏,故在此不作乔灌草多样性分层分析,但通过对 2009—2018 年总体植物多样性变化的研究(图 2),也能反映滑坡体震后的植被恢复状况。

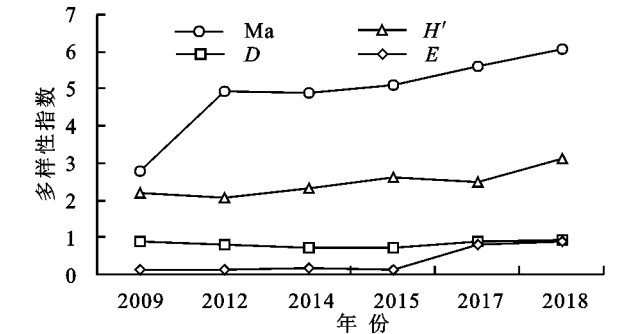


图 2 2009—2018 年滑坡体植物多样性指数变化情况

2009—2018 年,Margalef 丰富度指数 Ma 由 2.80 上升到 6.06,增加了近 2.16 倍,滑坡体植被物种恢复较好,丰富度提升显著。其中 2009—2012 年由于乔木层的恢复和植物群落的完善,丰富度指数上升最为明显,由 2.80 上升到 4.93,增加了近 76%,此后随群落结构的不断发育与稳定,丰富度指数缓慢增加,由 4.93 增加到 6.06。Shannon-Wiener 指数  $H'$  在滑坡体植被恢复期间总体上也呈现上升趋势,但由于植物群落结构处于不断发育完善过程中,具有不稳定性,同时植物物种也处于不断演替的过程中,导致 Shannon-Wiener 指数  $H'$  上升过程中略有波动。总体上 2009—2018 年,Shannon-Wiener 指数  $H'$  由 2.18 上升到 3.13,增加了 44%左右,其中 2017—2018 年植被物种数与植物群落结构最为稳定,2018 年达到最大值 3.13,表明随恢复时间的增加,植物物种富集度也不断增加,植物恢复状况较好,植被对水土的保持能力增强,生态环境也在不断恢复。

2009—2014 年植被恢复初期,由于植物物种的快速增加和植物群落的演替,导致物种间的植株数量均匀度下降,Simpson 指数  $D$  由 0.88 下降到 0.70;随着植物群落的完善与植物物种的稳定,2014—2018 年植被恢复后期,植物分布不断趋于均匀,Simpson 指数  $D$  由 0.70 逐渐上升到 0.93。总体上 Simpson 指数  $D$  由 0.88 上升到 0.93,物种间的植株数量均匀度不断增加。Pielou 均匀度指数  $E$  在 2009—2015 年指数值较低,平均值仅有 0.14 左右,这是由于此期间植物群落主要以草本物种为主,草本优势种中木贼、伏地卷柏等蕨类植物种类少但植株数量多,导致整个植物群落物种数与植株数量间的均匀性较低,Pielou 均匀度指数  $E$  较低。而 2015—2018 年植物群落结构发生转变,乔木和灌木占据物种数优势地

位,并且总体群落结构与植物种数也趋于稳定,植物群落均匀性显著上升,在 2018 年达到最大值 0.93。在总体上,Pielou 均匀度指数  $E$  在 2009—2018 年由 0.13 上升到 0.93,增加了近 6.15 倍,植物群落均匀度增加显著,植物群落更趋于稳定。

## 3 讨论与结论

### 3.1 讨论

对于震后植被恢复方面的研究,大多是通过遥感影像等技术或分区对比等方法进行,而对于整个植被恢复过程方面的长期观测与研究较少,故本文能进行的对比研究与参照也较少。由于资源条件的限制,能进行研究的对象也仅限于较为典型的滑坡体,且对于滑坡体震前的植物群落记录也较少,从而无法进行灾后恢复对比。在恢复过程中植被群落物种由早期的快速增长到后期的逐步稳定,从草本—灌木为主的群落结构逐步发育形成乔木—灌木为主的群落结构,并逐渐趋于稳定的变化过程与李波等<sup>[21]</sup>的研究相符,这或许与湿润的气候环境有关,其他受灾地区灾后植被恢复是否也具有相同特点和规律,需进一步研究;随着植被的自然恢复,滑坡体的水土保持作用也在不断加强,滑坡体生态环境得到不断改善,因而在类似灾区采取人工的水土保持与恢复措施,是否具有必要性也值得进一步思考。

### 3.2 结论

(1) 自 2008 年“5·12”地震到 2018 年,银厂沟谢家店滑坡体已形成 10 a,10 年间滑坡体植被物种不断恢复,植物物种总种数由震后 1 a 的 53 种线性增长到震后 10 a 的 92 种,增加速率为 7.86,植被物种恢复明显。2009—2014 年恢复初期,生境空间充裕,植物间竞争较弱,植物群落以草本为主,植被物种恢复较快。乔木、灌木和草本共增加了 31 个物种,占 10 a 总增加物种数量的 80% 左右。在 2015—2018 年恢复后期,植物群落发生演替,由草本为主的单一群落结构逐渐向乔灌草均衡稳定的群落结构转变。乔木、灌木物种持续增加,草本物种下降,在总体上仅增加了 8 种,物种数增长缓慢并趋于稳定。

(2) 在植被恢复过程中,桉木与盐肤木的重要值多年居于乔木重要值前三位,为乔木层优势种;灰白毛莓与腊莲绣球处于灌木层演替过程中的主体地位,为灌木层优势种;一年蓬、木贼、伏地卷柏以及边缘鳞盖蕨等菊科与蕨类植物在草本层中占据主导,为草本层优势种。植物群落优势种类型由早期毛葡萄+醉鱼草向植被恢复初期桉木+灰白毛莓+木贼转变,再向植被恢复后期桉木+腊莲绣球+芒萁的优势种类型转变。

(3) 在植物多样性方面,2009—2018 年滑坡体各植物多样性指数在总体上均呈现上升趋势,其中 Margalef 丰富度指数  $Ma$  由 2.8 上升到 6.06,Shannon-Wiener 指数  $H'$  由 2.18 上升到 3.13,Simpson 指数  $D$  由 0.88 上升到 0.93,Pielou 均匀度指数  $E$  由 0.13 上升到 0.87,各多样性指数均在恢复年份内处于上升趋势,表明随着植被的逐年恢复,滑坡体植物物种数、株数的丰富度与富集度不断增加,植物均匀度的空间分布状况也不断趋于合理。随着植物群落物种数的增加,植物物种多样性不断提升,种间竞争加剧,植物群落在演替中结构趋于稳定与完善,植被的水土保持能力也不断加强。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 马煜,马东涛,李锋,等.汶川强震区泥石流特征研究:以银厂沟东林寺—海汇桥段为例[J].桂林理工大学学报,2011,31(3):351-356.
- [3] 黄勋,唐川,乐茂华,等.汶川震区银厂沟区域 8·18 暴雨泥石流灾害成灾机理与特征[J].工程地质学报,2013,21(5):761-769.
- [4] 赵焕,郑鸿锴,刘守江.银厂沟大龙潭恢复草本群落优势种间联结性研究[J].南方农业,2017,11(19):94-98.
- [5] 孙丽文,史常青,李丹雄,等.汶川地震滑坡迹地植物群落与环境的关系[J].生态学报,2016,36(21):6794-6803.
- [6] 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.
- [7] 时连俊.谢家店地震滑坡体植物群落恢复研究[D].四川南充:西华师范大学,2016.
- [8] 朱大海,何东,尚涛,等.龙溪—虹口国家级自然保护区地震灾后植被自然演替初步研究[J].四川林业科技,2015,36(4):95-97.
- [9] 曾剑峰,罗鹏,牟成香,等.岷山地震带山地坡面的植被演替[J].应用与环境生物学报,2014,20(1):1-7.
- [10] 秦纪洪,武艳燭,孙辉,等.彭州市龙门山不同地震裸地次生演替初期土壤酶活性研究[J].水土保持研究,2013,20(3):55-59.
- [11] 郑鸿锴.谢家店滑坡体植被恢复与多样性变化研究[D].四川南充:西华师范大学,2018.
- [12] 时连俊,徐建,刘守江,等.谢家店植物群落恢复中种类组成及物种多样性分析[J].水土保持研究,2016,23(2):83-88.
- [13] 崔艳红,史常青,孙丽文,等.5·12 地震后北川次生灾害迹地植被的自然恢复与更新[J].浙江农林大学学报,2018,35(2):219-226.

- etary Change, 2013, 100(1): 172-182.
- [38] 刘惠英, 任洪玉, 张平仓, 等. 香溪河流域近 60 年来降雨量变化趋势及突变分析[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 282-286.
- [39] 刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000—2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报, 2015, 70(5): 705-716.
- [40] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999.
- [41] 黄小燕, 王小平, 王劲松, 等. 1960—2013 年中国沿海极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(4): 612-620.
- [42] 董蕾, 张明军, 王圣杰, 等. 基于格点数据的西北干旱区极端降水事件分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2048-2057.
- [43] Karl T R, Kukla G, Razuvayev V N, et al. Global warming: Evidence for asymmetric diurnal temperature change[J]. Geophysical Research Letters, 2013, 18(12): 2253-2256.
- [44] 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化[J]. 气象学报, 1997, 55(4): 418-429.
- [45] 韩子轩, 苏涛, 支蓉, 等. 不同太平洋年代际振荡和 EN-SO 位相下大气水分收支变化对北半球冬季太平洋蒸发量的影响[J]. 大气科学, 2017, 41(6): 1316-1331.
- [46] 朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系[J]. 测绘科学, 2003, 61(6): 641-654.
- [47] Allen S K, Plattner G K, Nauels A, et al. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. An overview of the Working Group 1 contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)[J]. Computational Geometry, 2007, 18(2): 95-123.
- [48] Meehl G A, Hu A, Santer B D, et al. Contribution of the Interdecadal Pacific Oscillation to twentieth-century global surface temperature trends[J]. Nature Climate Change, 2016, 6(11): 1005-1008.
- [49] 赵宗慈, 罗勇, 黄建斌. 围绕全球变暖“停滞”的争论[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(6): 571-574.
- [50] 杜勤勤, 张明军, 王圣杰, 等. 中国气温变化对全球变暖停滞的响应[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1748-1764.
- [51] 苏京志, 温敏, 丁一汇, 等. 全球变暖趋缓研究进展[J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1143-1153.
- [52] 赵建, 任周鹏, 王劲峰, 等. 1961—2013 年东北与华北气温变化速度空间差异[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(7): 909-914.
- [53] 马柱国, 邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系[J]. 大气科学, 2006, 30(3): 464-474.
- [54] 刘超. PDO 对海平面变化趋势的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院(海洋研究所), 2016.
- [55] Mantua N J, Hare S R. The Pacific Decadal Oscillation[J]. Journal of Oceanography, 2002, 58(1): 35-44.
- [56] 秦大河. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(7): 874-883.
- [57] 王岱, 游庆龙, 江志红, 等. 中国极端气温季节变化对全球变暖减缓的响应分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 36-46.
- [58] Held I M. Climate science: The cause of the pause[J]. Nature, 2013, 501(7467): 318-319.
- [59] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. IPCC 第 5 次评估报告问世[J]. 气候变化研究进展, 2013, 9(6): 436-439.

(上接第 239 页)

- [14] 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.
- [15] 赵旦, 张森, 于名召, 等. 汶川地震灾后农田和森林植被恢复遥感监测[J]. 遥感学报, 2014, 18(4): 958-970.
- [16] 李丹雄. 北川县地震滑坡迹地植被恢复适宜植物研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2015.
- [17] 张坤. 汶川地震极重灾区受损体植被恢复调查分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
- [18] 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.
- [19] 王育松, 上官铁梁. 关于重要值计算方法的若干问题[J]. 山西大学学报: 自然科学版, 2010, 33(2): 312-316.
- [20] 奇凯, 张春雨, 侯继华, 等. 赤峰市沙地油松林草本植物多样性及种间关联动态[J]. 生态学报, 2010, 30(18): 5106-5112.
- [21] 李波, 张曼, 赵璐玲, 等. 汶川地震滑坡体自然植被恢复及影响因子: 以龙溪—虹口自然保护区为例[J]. 应用与环境生物学报, 2014, 20(3): 468-473.