

DOI: 10.5846/stxb201409241889

区余端,王楚彪,苏志尧.南方冰灾干扰后车八岭山地常绿阔叶林地被植物动态变化.生态学报,2015,35(13):4500-4507.

Ou Y D, Wang C B, Su Z Y. The dynamics of different growth form ground vegetation following a natural disturbance. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(13): 4500-4507.

南方冰灾干扰后车八岭山地常绿阔叶林地被植物动态变化

区余端^{1,*}, 王楚彪², 苏志尧³

1 广东海洋大学, 农学院, 湛江 524088

2 国家林业局桉树研究开发中心, 湛江 524022

3 华南农业大学 林学院, 广州 510642

摘要:按生长型划分广东省车八岭国家级自然保护区山地常绿阔叶林地被植物,研究自然干扰后连续 3a(2008—2010 年)不同生长型地被植物的动态变化。结果表明:(1)自然干扰后地被植物优势种的变化不大;草本植物约占优势种的 60%,藤本植物约占 20%—30%,灌木约占 10%—20%。(2)2008 年各生长型地被植物的在样方中个体数分布较其它年份都更为分散且更多;2009 和 2010 年各生长型地被植物的个体数分布模式更为相似,尤其是灌木。2008—2010 年草本植物丰富度逐年增加;藤本植物逐年减少;灌木 2009 年最多,2008 年次之,2010 年最少。(3)多响应置换过程的结果显示各生长型地被植物 3a 间的组成和分布有极显著差异($P<0.0001$);从各年度的两两比较看,各生长型地被植物组成和分布的年际差异显著程度逐渐降低;其中以草本植物的年间差异最大、年间变化的指示种最多;藤本植物居中;灌木的年间差异最小、年间变化指示种也最少。指示种分析与指示种在不同组分年份中的变化情况结合起来能筛选出指示作用更强的指示种。

关键词:自然干扰;生长型;地被植物;动态

The dynamics of different growth form ground vegetation following a natural disturbance

OU Yudian^{1,*}, WANG Chubiao², SU Zhiyao³

1 College of Agriculture, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

2 China Eucalyptus Research Center, State Forestry Administration, Zhanjiang 524022, China

3 College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: To study the dynamics of different growth form ground vegetation following a natural disturbance, a 3-year investigation from 2008 to 2010 was undertaken in Chebaling montane evergreen broadleaved forest. The dominant ground vegetation change little following the disturbance. Herb, vine-liana and shrub roughly accounted for 60%, 20%—30% and 10%—20% respectively. Different growth form ground vegetation in 2008 was much more scattered and numerous. The distribution pattern of individuals in 2009 was much greater similarity to that in 2010. The richness of herb increased from 2008 to 2010, while vine-liana decreased. The richness of shrub in 2009 was highest, followed by 2008, the least was in 2010. The result of Multi-Response Permutation Procedures showed that the composition and distribution of different growth form ground vegetation has significant difference among the 3 years ($P<0.0001$). From pair-wise comparison, interannual differences in different growth form ground vegetation decreased with years. Herb has the largest interannual difference and the most indicator species, next came the vine-liana and shrub. The two statistical methods, indicator species analysis and

收稿日期:2014-09-24; 修订日期:2015-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ouyudian@126.com

the condition of indicator species in different years, are robust in demonstrating relations of different growth form ground vegetation distribution to restoration succession, and in identifying indicator species, which has significant implications for forest restoration.

Key Words: natural disturbance; growth form; ground vegetation; dynamics

地被植物(指距地面高度小于 1 m 的维管植物,不包括乔木的幼苗)对环境的变化特别敏感^[1],在不同环境下地被植物的种类组成和数量会出现很大的变化^[2],因此常被用于研究植物群落的长期动态以及该动态与环境因子的相互关系^[3-4]。地被植物的组成和结构非常复杂,把它根据功能群(对特定环境因子有相似反应的一类植物)划分后再分析有助于减少其复杂性^[5-7]。这种基于植物功能群的研究对简化生态系统分析有很大的帮助,受到学术界广泛的推崇^[8-9]。在变化的环境条件下地被植物功能群对生态系统的动态有很好的解释能力与预测作用。

按生长型划分植物功能群是一种科学简便的方法^[7]。植物生长型是根据植物的可见结构分成的草本植物、灌木植物、藤本植物等类群,能反映植物生活的环境条件^[5-6,8]。环境资源的时空变化也会影响各生长型地被植物的组成和分布^[9-10]。地被植物的总体动态只能揭示出一般趋势,会掩盖某些特殊性,因此本文把地被植物按生长型划分为草本植物、藤本植物(包括草质藤本和木质藤本)和灌木,研究南方冰灾干扰后森林初期演替过程中各生长型地被植物的分布模式、物种丰富度以及动态变化,有助于了解不同生长型地被植物对环境的适应,并为干扰后森林的恢复状况提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

车八岭国家级自然保护区(114°09'04"—114°16'46"E, 24°40'29"—24°46'21")地处广东省韶关市始兴县境内^[11]。该区属于亚热带湿润型季风型气候,冬季低温少雨,夏季高温多雨,年平均气温 19.5 °C,年平均降水量 1 500 mm^[11]。全区面积 7545 hm²,地势西北高东南低,最高峰天平架海拔 1256 m,最低处樟栋水海拔 330 m^[11]。区内土壤结构和形态较为完整,海拔从低到高垂直分布有低地坡积物、谷地水稻土、山地红壤、山地暗红壤、山地黄壤、山地表潜黄壤和山地草甸土^[11]。区内森林为南岭南缘保存较完整且原生性较强的亚热带常绿阔叶林^[12],经调查鉴定共有 1928 种,隶属于 925 属 290 科^[13]。

1.2 野外取样

为了研究 2008 年南方冰灾后粤北山地常绿阔叶林的恢复状况,于 2008 年 8 月,在车八岭国家级自然保护区一片受冰灾影响严重的山地常绿阔叶林内,建立 2 hm² 长期固定样地。在固定样地内设置 50 个 20 m×20 m 的样方,在每个样方中心和对角线四分位处拍摄半球面林冠影像以获取林冠开度及林下光照的数据。在每个样方的四角和中心设置 5 个 2 m×2 m 的小样方,记录每个 2 m×2 m 的小样方中地被植物的种名、株数和盖度。盖度按以下标准划分为 7 组:① <1%;② 1%—5%;③ 5%—25%;④ 25%—75%;⑤ 75%—95%;⑥ 95%—99%;⑦ >99%^[14]。根据《广东植物多样性编目》^[15]将地被植物划分为草本植物、藤本植物和灌木 3 种生长型。2009 年和 2010 年的 7—8 月间均对该固定样地以同样的方法和内容进行半球面林冠影像拍摄和地被植物复查。从 2008 到 2010 年,样地上层林窗总体在减少,森林郁闭度越来越高;但从 2009—2010 年,林冠开度的减小幅度与林下光照量的下降幅度都较往年同期小(表 1)^[16-17]。样地冠层乔木群落平均树高为 12.81 cm,平均胸径为 28.51 cm,平均密度为 4175.67 株/hm²。从 2008—2010 年冠层乔木群落的优势树种变化不大,其中 70% 的优势种都是相同的,它们是米槠 *Castanopsis carlesii*、木荷 *Schima superba*、栲树 *Castanopsis fargesii*、鸭公树 *Neolitsea chuii*、栓叶安息香 *Styrax suberifolia*、华南桂 *Cinnamomum austro-sinensis* 和石栎 *Lithocarpus glaber*,只是它们的优势度有所变动。

表 1 2008—2010 年样地林冠开度和林下光照的均值

Table 1 Mean data of canopy openness and understory light from 2008 to 2010

年份 Year	林冠开度 Canopy openness	林下光照 Understory light
2008	19.13±0.71	10.06±0.37
2009	15.54±0.35	8.12±0.17
2010	14.60±0.26	7.64±0.10

1.3 数据分析

1.3.1 重要值

本文采用重要值(IV)来表征物种在群落中的地位。地被植物重要值的计算公式为: $IV = (RA + RF + RC) / 3$, 式中 RA 为相对多度, RF 为相对频度, RC 为相对盖度。把各年地被植物重要值居前 10 位的物种确定为当年优势种。

1.3.2 概率密度函数曲线

各生长型地被植物在样方中的个体分布首先经过对数化转换, 然后把样本的均值和方差应用于正态概率密度函数(Normal Probability Density Function)中代表分布概率。用概率密度函数模拟了各生长型地被植物的分布模式, 做出对数正态分布图。概率密度函数曲线以均值为对称中线, 方差越小, 分布越集中在均值附近, 曲线越瘦高; 方差越大, 分布越分散, 曲线越扁平。

1.3.3 物种序列曲线

物种序列曲线(Species-Rank Curve)可有效阐明由演替或环境影响而引起物种多度的变化, 因此用它对各生长型地被植物 3a 多度的分布进行分析。 X 轴表示物种序列(等级), 在水平方向上物种多度是按递减顺序从多到少排列; Y 轴表示物种多度, 以对数形式表示。曲线向横坐标右边延伸得越长表示物种数(丰富度)越多; 曲线的坡度越陡表示物种均匀度越低。

1.3.4 多响应置换过程

采用多响应置换过程(MRPP)来检验 3a 各生长型地被植物是否存在差异。MRPP 是一个非参数程序, 用于检验两组以上实体间差异性^[18,19]。MRPP 提供最主要的参数有 T 、 A 和 P 。 T 是描述组间分离程度的统计量, T 的绝对值越大, 组间差异性越大; A 是描述组内一致程度的统计量, A 的值越大, 组内同质性越强。当组内所有项都相同时, 观测值等于零, $A = 1$ (最大的可能取值); 当组内的异质性等于偶然预测值时, $A = 0$; 当组内一致性小于偶然预测值时, $A < 0$ 。在群落生态学中, A 值通常在 0.1 以下, $A > 0.3$ 表示组内有较高的同质性^[20]。

1.3.5 指示种分析

采用指示种分析(ISA)来检测和描述各年林下环境是否有地被植物指示种。ISA 的指示值(IV)是物种相对多度(RA)和相对频度(RF)的综合信息, 其计算公式为: $IV = 100(RA \times RF)$ ^[20]。指示值的变化范围是 1—100, 物种的指示值越大指示作用越好。指示值的统计显著性用蒙特卡罗 9999 次随机检验的 P 值来决定^[21,22]。

2 结果与分析

2.1 优势种的动态变化

3a 地被植物优势种的变化不大, 其中 70% 的优势种都是相同的, 它们是狗脊、瓜馥木、草珊瑚、扇叶铁线蕨、山鸡血藤、深绿卷柏和斑叶朱砂根; 草本植物约占优势种的 60%, 藤本植物约占 20%—30%, 灌木约占 10%—20% (表 2)。

2.2 物种分布模式变化

正态概率密度函数能很好地模拟各生长型地被植物的分布模式(图 1), 2008 年各生长型地被植物的在

样方中个体数分布较其它年份都更为分散。2009 年和 2010 年各生长型地被植物的个体数分布模式均有重叠的部分,说明这两年的分布模式更为相似。各生长型地被植物 2008 年的个体数均比 2009 年和 2010 年多;草本植物和藤本植物的个体数 2009 年最少;灌木的个体数 2009 和 2010 年相当。草本植物 3a 的个体数均比其它生长型的地被植物高。

表 2 自然干扰后地被植物优势种的动态

Table 2 Dynamics of the dominant ground vegetation following the natural disturbance

生长型 Growth form	物种 Species	重要值 Important value/%		
		2008 年	2009 年	2010 年
草本植物 Herb	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	6.17	7.01	5.66
藤本植物 Vine & Liana	瓜馥木 <i>Fissistigma oldhamii</i>	4.91	4.22	5.67
草本植物 Herb	草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	4.87	6.11	5.47
草本植物 Herb	扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	4.36	3.61	4.01
藤本植物 Vine & Liana	山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	4.21	3.1	2.93
草本植物 Herb	深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i>	3.8	4.44	3.61
草本植物 Herb	暗色菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i>	3.46	—	3.69
灌木 Shrub	斑叶朱砂根 <i>Ardisia punctata</i>	3.27	3.3	3.18
灌木 Shrub	网脉酸藤果 <i>Embelia rudis</i>	3.1	2.64	—
藤本植物 Vine & Liana	斑点野木瓜 <i>Stauntonia maculata</i>	2.98	—	3.38
草本植物 Herb	中华复叶耳蕨 <i>Arachniodes chinensis</i>	—	3.87	—
草本植物 Herb	粗齿桫欏 <i>Alsophila denticulatea</i>	—	2.76	2.93

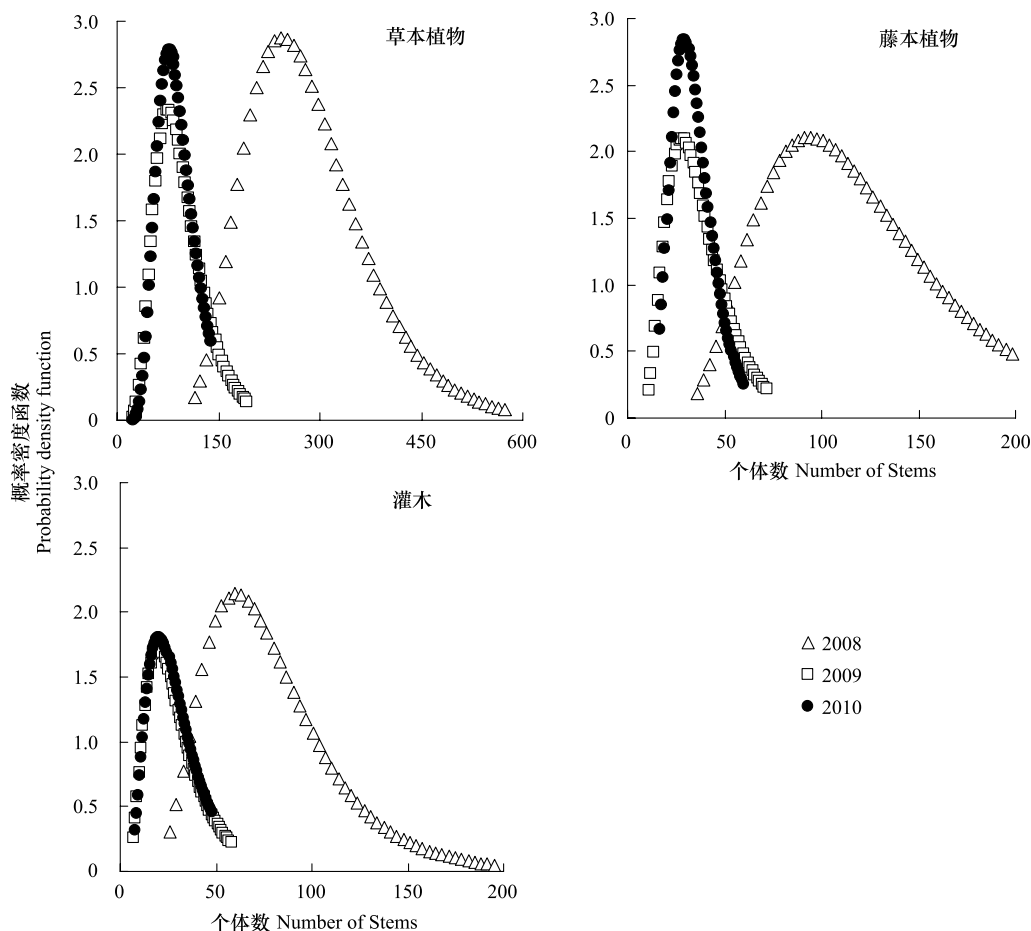


图 1 2008—2010 年各生长型地被植物的对数正态分布图

Fig.1 Lognormal distribution plot of different growth-form ground vegetation from 2008 to 2010

就丰富度而言,2008—2010 年草本植物丰富度逐年增加;藤本植物逐年减少;灌木 2009 年最多,2008 年次之,2010 年最少(图 2)。就均匀度而言,2008—2010 年草本植物均匀度逐年增加;藤本植物 2009 年最高,2010 年次之,2008 年最低;灌木 2009 年最高,2008 年次之,2010 年最低(图 2)。2008 年藤本植物的物种数(丰富度)最多,其次是草本植物,灌木最少;2009 年藤本植物的物种数(丰富度)最多,其次是灌木,草本植物最少;2010 年草本植物的物种数(丰富度)最多,其次是藤本植物,灌木最少。

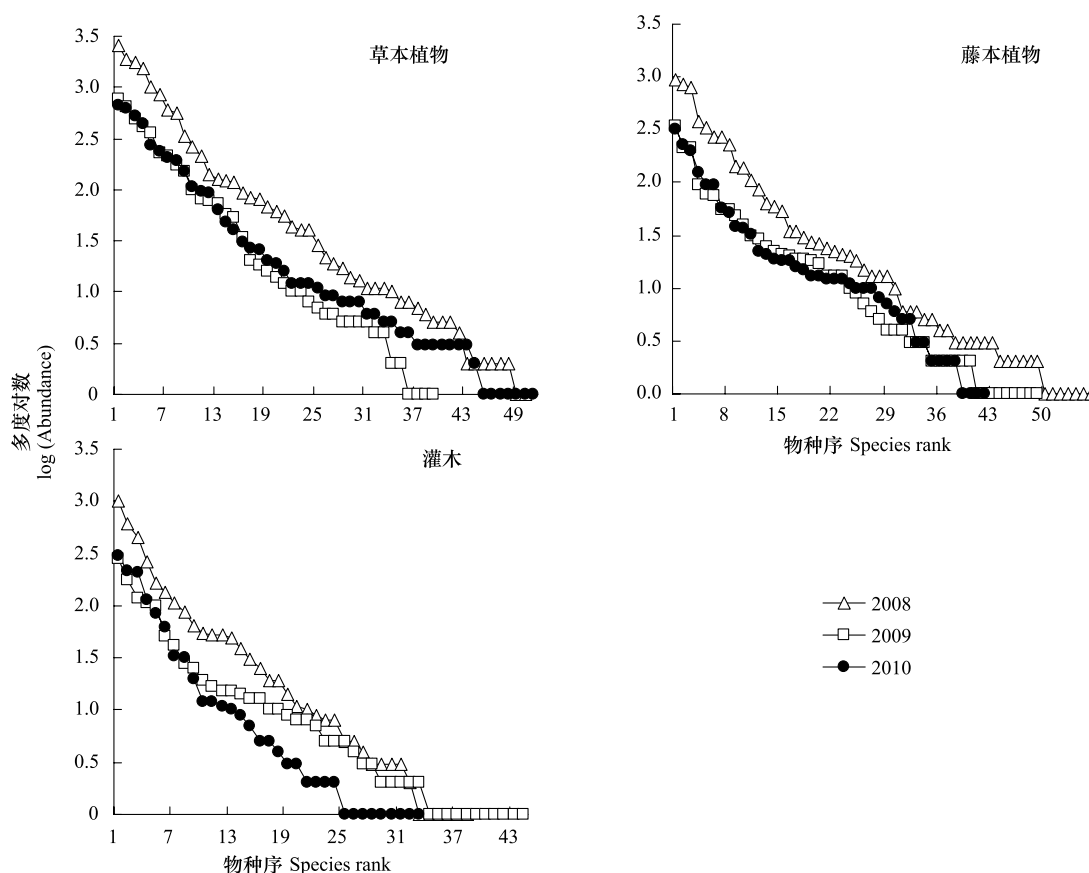


图 2 2008—2010 年各生长型地被植物的物种-多度曲线

Fig.2 Species-abundance curve of different growth-form ground vegetation from 2008 to 2010

2.3 群落组成与指示种的年际变化

MRPP 的结果显示各生长型地被植物 3 年间的组成和分布有极显著差异($P < 0.0001$)(表 3)。从组内同质性(A)看,草本植物的年内同质性最大,灌木居中,藤本植物的年内同质性最小(表 3)。从组间差异性(T)看,草本植物的年间差异性最大,藤本植物居中,灌木的年间差异性最小(表 3)。

从各年度的两两比较看,2008 年与往后两年各生长型地被植物的组成和分布均有极显著差异($P < 0.0001$);2009 年与 2010 年草本植物组成和分布有极显著差异($P < 0.001$),藤本植物组成和分布的差异接近显著($P = 0.0518$),灌木组成和分布有极显著差异($P < 0.0001$)(表 3)。各生长型地被植物组成和分布的年际差异程度逐渐降低。

各生长型地被植物的指示种($IV \geq 50, P \leq 0.001$)随年度变化如表 4 所示。草本植物 2008 年有 8 个指示种;2010 年有 1 个指示种(表 4)。藤本植物 2008 年有 6 个指示种;2009 和 2010 年没有指示种(表 4)。灌木 2008 年有 3 个指示种;2009 和 2010 年没有指示种(表 4)。

结合各生长型地被植物指示种 2008—2010 年相对多度和相对频度的变化,草本植物莎草 *Cyperus rotundus* 和粗齿杪椏 *Gymnosphaera denticulata*,藤本植物三叶崖爬藤 *Tetrastigma hemsleyanum*,以及灌木异叶梁王茶 *Nothopanax delavayi* 对 2008 年林下环境有更好的指示作用,因为这些地被植物 2008 年的相对多度为

100,相对频度均为 50 以上,2009 和 2010 年的相对多度和相对频度均为 0(表 5)。草本植物的竹叶草 *Oplismenus compositus* 对 2010 年林下环境有更好的指示作用,因为这些地被植物 2010 年的相对多度为 100,相对频度为 58,2008 和 2009 的相对多度和频度均为 0(表 5)。

表 3 各生长型地被植物 3a 的多响应置换过程分析
Table 3 MRPP for different growth-form of understory species among three years

生长型 Growth form	观测值 Observed	预测值 Expected	方差 Variance	偏度 Skewness	<i>T</i>	<i>P</i>	<i>A</i>
草本植物 Herb	0.584	0.665	0.000	-1.037	-41.323	0.0000	0.122
藤本植物 Vine & Liana	0.617	0.673	0.000	-0.991	-34.049	0.0000	0.084
灌木 Shrub	0.682	0.749	0.000	-0.975	-32.964	0.0000	0.089
3a 的两两比较 Pairwise comparisons for three years							
生长型 Growth form	两两比较 Pairwise comparison		<i>T</i>		<i>A</i>	<i>P</i>	
草本植物 Herb	2008 vs. 2009		-38.882		0.126	0.0000	
	2008 vs. 2010		-38.848		0.131	0.0000	
	2009 vs. 2010		-5.954		0.021	0.0009	
藤本植物 Vine & Liana	2008 vs. 2009		-33.426		0.091	0.0000	
	2008 vs. 2010		-34.827		0.094	0.0000	
	2009 vs. 2010		-1.918		0.005	0.0518	
灌木 Shrub	2008 vs. 2009		-28.028		0.077	0.0000	
	2008 vs. 2010		-31.948		0.101	0.0000	
	2009 vs. 2010		-8.236		0.027	0.0000	

表 4 2008—2010 年各生长型地被植物指示种
Table 4 Indicator species of different growth-form ground vegetation from 2008 to 2010

生长型 Growth form	年份 Year	物种 Species	指示值 Indicator value	<i>P</i>
草本植物 Herb	2008	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	61.5	0.001
		草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	58.2	0.001
		短叶黍 <i>Panicum brevifolium</i>	57.8	0.001
		扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	53.5	0.001
		莎草 <i>Cyperus rotundus</i>	52	0.001
		粗齿杪椋 <i>Alsophila denticulatea</i>	52	0.001
		淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	51.9	0.001
		华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	50.3	0.001
藤本植物 Vine & Liana	2010	竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	58	0.001
	2008	暗色菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i>	63.9	0.001
		网脉酸藤果 <i>Embelia rudis</i>	60.9	0.001
		山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	59.4	0.001
		斑点野木瓜 <i>Stauntonia maculata</i>	56.9	0.001
		瓜馥木 <i>Fissistigma oldhamii</i>	56.6	0.001
		三叶崖爬藤 <i>Tetrastigma hemsleyanum</i>	54	0.001
		鲫鱼胆 <i>Maesa perlaris</i>	75.1	0.001
灌木 Shrub	2008	异叶梁王茶 <i>Nothopanax delavayi</i>	56	0.001
		斑叶朱砂根 <i>Ardisia punctata</i>	54.2	0.001

表 5 2008—2010 年指示种的相对多度与频度
Table 5 The relative abundance and frequency of indicator species

生长型 Growth form	物种 Species	相对多度 Relative abundance			相对频度 Relative frequency		
		2008	2009	2010	2008	2009	2010
草本植物 Herb	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	64	19	17	96	94	94
	草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	59	20	20	98	98	98

续表

生长型 Growth form	物种 Species	相对多度 Relative abundance			相对频度 Relative frequency		
		2008	2009	2010	2008	2009	2010
藤本植物 Vine & Liana	短叶黍 <i>Panicum brevifolium</i>	80	20	0	72	66	0
	扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	67	14	19	80	72	70
	莎草 <i>Cyperus rotundus</i>	100	0	0	52	0	0
	粗齿桫欏 <i>Gymnosphaera denticulata</i>	100	0	0	52	0	0
	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	76	13	11	68	48	36
	华山姜 <i>Alpinia chinensis</i>	61	21	18	82	64	64
	竹叶草 <i>Oplismenus compositus</i>	0	0	100	0	0	58
	暗色菝葜 <i>Smilax lanceifolia</i>	67	17	17	96	76	68
	网脉酸藤果 <i>Embelia rudis</i>	90	62	70	61	10	11
	山鸡血藤 <i>Millettia dielsiana</i>	65	17	18	92	84	82
灌木 Shrub	斑点野木瓜 <i>Stauntonia maculata</i>	68	19	13	84	68	66
	瓜馥木 <i>Fissistigma oldhamii</i>	59	21	20	96	88	86
	三叶崖爬藤 <i>Tetrastigma hemsleyanum</i>	100	0	0	54	0	0
	鲫鱼胆 <i>Maesa perlarius</i>	78	18	3	96	66	18
	异叶梁王茶 <i>Nothopanax delavayi</i>	100	0	0	56	0	0
	斑叶朱砂根 <i>Ardisia punctata</i>	63	18	19	86	76	80

3 结论与讨论

本文发现自然干扰后 3a 地被植物优势种的变化不大,而地被植物优势种最终的形成和稳定表示了该物种最能适应的生长环境,说明地被植物优势种面对自然干扰有较强的抗逆性和适应性。

不同生长型地被植物对光照的适应能力不同,冰灾后各生长型地被植物的丰富度出现此消彼长。不同生长型地被植物的个体数分布模式均表现为冰灾发生当年与往后两年的差距较大,但往后两年较为相似。2008 年,冠层形成众多大小不一的林窗,林下光照较强且梯度较长,林下环境的空间异质性较高,为不同物种的生长和繁殖提供了生境,因此该年各生长型地被植物生长旺盛,表现为个体数多且分布分散,各生长型地被植物的多度和频度都最高;2009 和 2010 年,冠层逐渐郁闭,林下光照较弱且梯度较短,林下环境的空间异质性较低,限制了某些物种的生长和繁殖,因此往后两年各生长型地被植物生长受到限制,表现为个体数少且分布集中。在初期演替中草本植物的竞争力很强,因此其个体数在各生长型地被植物中最多,分布的空间范围也最广。

不同生长型地被植物各年度的组成和分布都存在极显著差异;草本植物的年间差异最大,藤本植物居中,灌木的年间差异最小。因此草本植物对林下环境年变化的指示种最多,藤本植物次之,灌木最少。与其他生长型地被植物相比,草本植物对林下光照的变化更敏感。

单纯使用指示种分析结果筛选出来的部分指示种很可能是广适种或优势种,如狗脊 *Woodwardia japonica*、暗色菝葜 *Smilax lanceifolia*、鲫鱼胆 *Maesa perlarius* 等,其对环境的敏感性不强。但指示种分析与指示种在不同组分中的变化情况结合起来能筛选出指示作用更强的指示种。草本植物莎草 *Cyperus rotundus* 和粗齿桫欏 *Gymnosphaera denticulata* 喜生长在阳光充足的地方^[23],藤本植物三叶崖爬藤 *Tetrastigma hemsleyanum* 和灌木异叶梁王茶 *Nothopanax delavayi* 属于阳性灌木,喜生于疏林或林缘^[23],这与冰灾发生当年的环境相符,即冠层被打开,林下光照较强;随着森林的恢复,冠层逐渐郁闭,林下光照减弱,这种环境不适于其生长,在样地中没有发现它们的踪迹,因此它们可作为 2008 年样地的指示种。草本植物竹叶草 *Oplismenus compositus* 是阴生植物^[23],在冰灾发生当年样地中并没发现,但是冠层郁闭以后,林下荫蔽的环境非常适合其生长,因此,它可作为 2010 年样地的指示种。

参考文献 (References):

- [1] Goebel P C, Pregitzer K S, Palik B J. Landscape hierarchies influence riparian ground-flora communities in Wisconsin, USA. *Forest Ecology and Management*, 2006, 230(1/3): 43-54.
- [2] Dodson E K, Peterson D W, Harrod R J. Understory vegetation response to thinning and burning restoration treatments in dry conifer forests of the eastern Cascades, USA. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(8/9): 3130-3140.
- [3] Gilliam F S. Effects of harvesting on herbaceous layer diversity of a central Appalachian hardwood forest. *Forest Ecology and Management*, 2002, 155(1/3): 33-43.
- [4] Granke O. Assessment of Ground Vegetation. ForestBIOTA Work Report, 2006.
- [5] 孙国钧, 张荣, 周立. 植物功能多样性与功能群研究进展. *生态学报*, 2003, 23(7): 1430-1435.
- [6] 孙慧珍, 国庆喜, 周晓峰. 植物功能型分类标准及方法. *东北林业大学学报*, 2004, 32(2): 81-83.
- [7] Rowe N, Speck T. Plant growth forms: an ecological and evolutionary perspective. *New Phytologist*, 2005, 166(1): 61-72.
- [8] 翁恩生, 周广胜. 用于全球变化研究的中国植物功能型划分. *植物生态学报*, 2005, 29(1): 81-97.
- [9] Zhang J T, Zhang F. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China. *Botanical Studies*, 2007, 48(3): 339-348.
- [10] Lyon J, Sagers C L. Correspondence analysis of functional groups in a riparian landscape. *Plant Ecology*, 2002, 164(2): 171-183.
- [11] 徐燕千. 车八岭国家级自然保护区调查研究综合报告// 徐燕千主编. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州: 广东科技出版社, 1993: 1-8.
- [12] 陈北光, 曾天勋, 谢正生. 车八岭国家级自然保护区主要森林植被类型及其结构特征// 徐燕千主编. 车八岭国家级自然保护区调查研究论文集. 广州: 广东科技出版社, 1993: 143-147.
- [13] 蔡达深, 宋相金. 广东车八岭国家级自然保护区生物资源及保护对策. *生态科学*, 2005, 24(3): 282-285.
- [14] McCune B, Grace J B. Analysis of Ecological Communities. Oregon: MjM Software Design, Gleneden Beach, 2002: 14-14.
- [15] 叶华谷, 彭少麟. 广东植物多样性编目. 广州: 广东世界图书出版公司, 2006.
- [16] 区余端, 苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态. *生态学报*, 2012, 32(18): 5637-5645.
- [17] 区余端, 苏志尧. 粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构空间异质性动态. *植物科学学报*, 2012, 30(3): 223-229.
- [18] Stallins J A. Dune plant species diversity and function in two barrier island biogeomorphic systems. *Plant Ecology*, 2003, 165(2): 183-196.
- [19] Williams M A. Response of microbial communities to water stress in irrigated and drought prone tallgrass prairie soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11): 2750-2757.
- [20] McCune B, Mefford M J. PC-ORD Multivariate Analysis of Ecological Data Version 5. 12 MjM Software. Oregon, USA: Gleneden Beach, 2006: 179-183.
- [21] Dufrêne M, Legendre P. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 1997, 67(3): 345-366.
- [22] Dai X, Page B, Duffy K J. Indicator value analysis as a group prediction technique in community classification. *South African Journal of Botany*, 2006, 72(4): 589-596.
- [23] 中国科学院华南植物研究园. 广东植物志. 广州: 广东科技出版社, 2009.