

# 除草剂对桉树×降香黄檀混交林下植物功能群的影响\*

## Effects of Herbicide Applications on Plant Functional Groups in Mixed *Eucalyptus* × *Dalbergia odorifera* Plantations in Subtropical China

温远光<sup>1\*\*</sup>, 杨柳<sup>1</sup>, 朱宏光<sup>1</sup>, 蔡道雄<sup>2</sup>, 尤业明<sup>1</sup>, 贾宏炎<sup>2</sup>, 周晓果<sup>1</sup>, 严理<sup>1</sup>  
WEN Yuan-guang<sup>1</sup>, YANG Liu<sup>1</sup>, ZHU Hong-guang<sup>1</sup>, CAI Dao-xiong<sup>2</sup>, YOU Ye-ming<sup>1</sup>, JIA Hong-yan<sup>2</sup>, ZHOU Xiao-guo<sup>1</sup>, YAN Li<sup>1</sup>

(1. 广西大学林学院, 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 广西南宁 530004; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600)

(1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Experiment Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

**摘要:**【目的】了解在炼山和非炼山条件下草甘膦除草剂的应用对桉树×降香黄檀混交林下植物功能群的影响。【方法】通过炼山+除草剂、不炼山+除草剂和对照(不炼山不施除草剂)的控制性试验, 研究林下植物群落组成、植物功能群对除草剂的响应及分异规律。【结果】与对照比较, 除草剂施用1年后, 林下植物群落有很高的相似性(Jaccard 相似性指数>0.7), 但群落的恒有种特别是稀有种数量存在较大差异。不炼山+除草剂处理的恒有种分别比炼山+除草剂、对照处理的高37.50%和57.14%, 而稀有种则由2种分别增至24种和7种。这一结果说明炼山+除草剂条件有利于稀有种的发育, 而不炼山+除草剂条件则有利于恒有种的发展。炼山+除草剂处理增加禾草和豆科植物功能群的丰富度, 不炼山+除草剂处理降低藤本和木本植物功能群的丰富度, 但只有木本植物丰富度的差异达显著水平。炼山+除草剂处理降低杂草、禾草和豆科植物功能群的相对多度和相对盖度, 显著降低蕨类植物的相对多度和相对盖度; 不炼山+除草剂处理显著降低木本植物的相对盖度。【结论】低浓度、低频率的除草剂(草甘膦)应用对林下植物功能群的影响是初期和短期的。

**关键词:** 植物功能群 除草剂 桉树 降香黄檀 混交林

**中图分类号:** Q145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2015)06-0578-08

**Abstract:** 【Objective】The effects of herbicide (glyphosate) applications to plant functional groups (PFGs) were studied in mixed *Eucalyptus* × *Dalbergia odorifera* plantations under burning and unburning sites. 【Methods】The plant community composition and PFGs response to herbicide application were estimated through the experiments of burning and herbicide (BH), unburning and herbicide (UBH), and the control of unburning and unherbicide (CK).

【Results】Compared with the control, the constant species, especially rare species in the plant community differed markedly between treatments after two-year herbicide application, although understory plant community had a high coefficient of similarity (Jaccard index is more than over 0.7). The constant species of the UBH was higher 37.50% and 57.14% than that of

收稿日期: 2015-10-12

作者简介: 温远光(1957-), 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态和森林培育研究。

\* 国家自然科学基金项目(31460121), 国家科技支撑计划项目(2011BAC09B02, 2012BAD22B01)和广西重大专项计划项目(1222005)资助。

\*\* 通讯作者: E-mail: wenyg@263.net。

BH and CK, respectively. In contrast, rare species of the community was increased from 2 species in UBH to 24 species in BH and 7 species in CK, respectively. This result indicated that BH promoted the development of rare species, whereas UBH promoted the development of constant species. The BH increased species richness of grass and legume PFGs, while the UBH decreased species richness of vines and woody PFGs. However, only species richness of woody PFGs had significant difference ( $P < 0.05$ ) between treatments. BH decreased the relative abundance (RA) and relative coverage (RC) of forbs, grasses and legumes PFGs, and significantly decreased the RA and RC of ferns PFGs but significantly increased the RC of woody PFGs. UBH decreased significantly the RC of woody PFGs. **【Conclusion】** This study clearly demonstrated that the effects of herbicide applications with low concentration and low frequency on understory PFGs are initial and short term.

**Key words:** plant functional group, herbicide, *Eucalyptus*, *Dalbergia odorifera*, mixture plantation

## 0 引言

**【研究意义】**桉树是全球重要的人工林树种之一<sup>[1]</sup>,面积达1900万 $\text{hm}^2$ (参考文献[2])。中国是全球桉树人工林最多的国家之一,种植面积超过450万 $\text{hm}^2$ ;广西的桉树人工林面积居全国之首,约200万 $\text{hm}^2$ (参考文献[3])。广西的桉树人工林大都是强度管理的短周期人工林,炼山和施加除草剂是这类人工林普遍采用的营林措施<sup>[4,5]</sup>。虽然这些措施已广泛应用于生产,但其对林下植物多样性,特别是植物功能群(Plant functional groups, PFGs)的影响还缺乏深入了解。林下灌草在维持土壤微生物群落结构和功能方面发挥着重要的作用<sup>[6]</sup>。**【前人研究进展】**功能群是评估生态系统结构与功能变化的重要依据,近年来受到学者们的广泛关注<sup>[7~11]</sup>。前人就桉树人工林对植物多样性的影响开展了大量的研究<sup>[12,13]</sup>,但许多研究只是基于对现有林分的物种多样性调查,极少有不同营林措施的控制性试验研究的相关报道,也极少涉及植物功能群。**【本研究切入点】**通过不同营林措施的控制性试验研究,揭示炼山和非炼山条件下施用除草剂对桉树×降香黄檀混交林下植物功能群的影响规律。**【拟解决的关键问题】**探讨和阐明炼山和非炼山条件下施除草剂对林下植物功能群的影响机理,科学评估桉树人工林下植物功能群的演变机制。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域环境概况

研究区域位于广西凭祥的中国林业科学研究院热带林业实验中心青山实验场67林班,该区域属亚热带季风气候区,年均气温 $20.5\sim 21.7\text{ }^\circ\text{C}$ ,极端高温 $40.3\text{ }^\circ\text{C}$ ,极端低温 $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$ ;年 $\geq 10\text{ }^\circ\text{C}$ 活动积温为广西科学 2015年12月 第22卷第6期

$6000\sim 7600\text{ }^\circ\text{C}$ ;年均降水量 $1200\sim 1500\text{ mm}$ ,年蒸发量 $1261\sim 1388\text{ mm}$ ,相对湿度 $80\%\sim 84\%$ 。地带性土壤为中酸性火山岩和花岗岩发育而成的砖红壤性土,土层深厚。

### 1.2 试验林分的建立与处理

2011年11月对青山实验场67林班 $42\text{ hm}^2$ 、35年生马尾松人工林进行采伐,2012年2~4月,按照试验设计要求实施采伐剩余物清理、炼山、整地和造林。试验包括炼山+除草剂(burning+herbicide, BH)、不炼山+除草剂(unburning+herbicide, UBH)和对照(不炼山不施除草剂, unburning+unherbicide, CK),重点比较炼山和非炼山条件下施用除草剂对林下植物功能群的影响。炼山是将采伐剩余物处以火烧清理,不炼山是将采伐剩余物全部清除林地。除草剂处理为2013年5月喷施含量为30%(W/V)的草甘膦,喷施浓度为 $15000\text{ mL/hm}^2$ 。桉树采用“双龙出海”造林模式,株行距为 $2\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ ,混交比例为1:1,密度为 $1428\text{ 株/hm}^2$ 。

### 1.3 样地群落调查

2014年7月,对各处理林分建立调查样地,每个样地面积为 $30\text{ m}\times 20\text{ m}$ ,每个类型3次重复。将每个 $600\text{ m}^2$ 样地进一步细分为6个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 中样方,24个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 和24个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的小样方,以中样方为单位,记录每个乔木个体的种名、胸径、树高以及林冠郁闭度;以小样方为单位,分别调查灌木层( $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ )和草本层( $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ )的物种种名、个体数、高度和盖度。

### 1.4 数据处理与统计分析

采用参考文献[11]的方法,将植物功能群划分为蕨类、杂草、禾草、豆科植物、藤本和木本植物6种功能群。以相对密度、相对频度和相对盖度之和表示各物种的重要值。以Jaccard指数计算群落的相似

性<sup>[14]</sup>。采用单因素方差分析(One-way ANOVA)分别比较炼山和非炼山条件下除草剂处理对林下植物功能群的物种丰富度、相对多度和相对盖度的影响差异程度。数据分析在 SPSS 18.0 软件下完成,采用 LSD 程序分析比较不同处理各均值的差异性,显著性水平设为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 植物功能群的物种组成及重要值

不同处理植物功能群的物种组成及重要值见表 1。由表 1 可知,炼山+除草剂处理的植物功能群重要值为禾草(153.46) > 木本植物(78.50) > 藤本植物(37.29) > 杂草(13.44) > 蕨类植物(12.55) > 豆科植物(4.63),不炼山+除草剂与对照相同,均为禾草(142.38~149.23) > 木本植物(51.85~69.42) > 藤本植物(39.40~43.18) > 蕨类植物(23.12~35.38) > 杂草(9.91~21.74) > 豆科植物(4.01~6.94)。

表 1 不同处理植物功能群的物种组成及重要值

Table 1 Species composition and important value of different plant functional groups in different treatments

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
八角枫 <i>Alangium chinense</i>	w	0.00	0.00	1.01
白背桐 <i>Mallotus paniculatus</i>	w	1.38	0.00	1.94
白饭树 <i>Flueggea virosa</i>	w	0.88	0.00	0.00
构树 <i>Broussonetia papyrifera</i>	w	0.00	1.14	0.00
潺槁树 <i>Litsea glutinosa</i>	w	2.57	3.45	2.50
臭牡丹 <i>Clerodendrum bungei</i>	w	3.06	1.23	0.00
楸木 <i>Aralia chinensis</i>	w	1.83	1.21	1.97
紫珠 <i>Callicarpa bodinieri</i>	w	0.87	0.00	0.00
粗糠柴 <i>Mallotus philippensis</i>	w	2.49	1.29	1.93
粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	w	2.18	3.04	1.99
大青 <i>Clerodendrum cyrtophyllum</i>	w	0.00	1.27	1.02
叶下珠 <i>Phyllanthus urinaria</i>	w	0.87	0.00	0.00
大沙叶 <i>Pavetta arenosa</i>	w	3.96	2.45	2.50

续表 1

Continued table 1

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
大叶榕 <i>Ficus altissima</i>	w	1.88	0.00	1.03
地桃花 <i>Urena lobata</i>	w	1.00	3.05	2.29
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	w	3.46	2.43	1.96
对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	w	3.61	4.28	3.41
三叉苦 <i>Evodia lepta</i>	w	2.77	3.21	3.56
发财树 <i>Pachira macrocarpa</i>	w	0.00	0.00	0.00
红锥 <i>Castanopsis hystrix</i>	w	0.00	0.00	0.00
红荷木 <i>Schima wallichii</i>	w	3.12	0.00	0.00
黑面神 <i>Breynia fruticosa</i>	w	0.00	1.28	0.00
黄毛榕 <i>Ficus esquiroliana</i>	w	0.00	1.67	0.96
黄牛木 <i>Cratoxylum cochinchinense</i>	w	0.00	0.00	0.84
灰毛浆果楝 <i>Cipadessa cinerascens</i>	w	6.01	0.00	0.90
假柿木姜子 <i>Litsea monopetalata</i>	w	0.00	1.65	1.07
剑叶山芝麻 <i>Helicteres lanceolata</i>	w	3.57	1.49	1.13
九节 <i>Psychotria rubra</i>	w	2.07	1.16	3.64
筋槿花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	w	2.34	0.00	0.00
柳叶榕 <i>Ficus benjamina</i>	w	1.48	0.00	0.00
猫尾木 <i>Dolichandrone caudafelina</i>	w	0.00	0.00	0.00
毛果算盘子 <i>Glochidion eriocarpum</i>	w	0.83	0.00	0.00
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	w	1.84	1.14	2.05
糯米团 <i>Gonostegia hirta</i>	w	0.00	0.00	0.00
漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	w	1.61	1.37	3.34
千年桐 <i>Vernicia montana</i>	w	0.00	0.00	2.54
琴叶榕 <i>Ficus pandurata</i>	w	0.96	0.00	0.00
山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	w	2.92	4.00	2.90
山油麻 <i>Trema cannabina</i> var. <i>dielsiana</i>	w	7.27	2.89	4.97

续表 1

Continued table 1

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
石岩枫 <i>Mallotus repandus</i>	w	0.00	0.00	0.00
山芝麻 <i>Helicteres angustifolia</i>	w	1.49	0.00	2.74
水东哥 <i>Saurauia tristyla</i>	w	1.04	0.00	0.00
水锦树 <i>Wendlandia uvariifolia</i>	w	1.11	1.40	3.11
土蜜树 <i>Bridelia tomentosa</i>	w	0.00	0.00	1.69
鸭脚木 <i>Schefflera octophylla</i>	w	1.33	0.00	1.61
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	w	2.45	3.61	2.57
野桐 <i>Mallotus japonicus</i> var. <i>floccosus</i>	w	0.00	0.00	1.45
野牡丹 <i>Paeonia delavayi</i>	w	1.76	0.99	0.00
展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	w	0.87	0.00	1.00
大叶肉桂 <i>Cinnamomum kotoense</i>	w	1.62	1.15	1.37
猪肚木 <i>Oreocnide frutescens</i>	w	0.00	0.00	1.10
紫麻 <i>Smilax china</i>	w	0.00	0.00	1.33
小计 Subtotal		78.50	51.85	69.42
菝葜 <i>Smilax china</i>	v	0.87	8.57	1.67
粪箕笃 <i>Stephania longa</i>	v	0.00	0.00	1.45
络石 <i>Trachelospermum jasminoides</i>	v	3.88	3.96	3.40
大叶石岩枫 <i>Mallotus repandus</i> var. <i>megaphyllus</i>	v	0.00	0.00	0.00
单花红丝线 <i>Lycianthes lysimachioides</i>	v	0.00	0.00	0.00
东风草 <i>Blumea megacephala</i>	v	0.00	1.40	3.09
毒根斑鸠菊 <i>Vernonia cumingiana</i>	v	4.50	1.58	2.79
断肠草 <i>Cryptolepis buchananii</i>	v	0.98	0.00	2.21
番荔枝 <i>Annona squamosa</i>	v	1.03	0.00	0.00
海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	v	1.01	2.84	1.55
鸡矢藤 <i>Paederia scandens</i>	v	1.69	0.98	1.01
金钟藤 <i>Merremia boissiana</i>	v	0.99	0.00	0.00

续表 1

Continued table 1

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
栝楼 <i>Trichosanthes kirilowii</i>	v	0.00	0.00	0.90
老鼠拉冬瓜 <i>Solena amplexicaulis</i>	v	1.02	0.00	1.80
两面针 <i>Zanthoxylum nitidum</i>	v	0.93	0.00	1.82
马莲鞍 <i>Streptocaulon griffithii</i>	v	2.34	2.89	2.06
毛茛铁线莲 <i>Clematis ranunculoides</i>	v	0.93	0.00	0.00
楠藤 <i>Mussaenda erosa</i>	v	0.94	0.00	0.00
牛白藤 <i>Hedyotis hedyotideae</i>	v	3.85	4.24	1.85
爬藤榕 <i>Ficus sarmentosa</i> var. <i>impressa</i>	v	0.87	2.44	0.00
山葡萄 <i>Vitis amurensis</i>	v	0.00	0.00	2.16
三叶崖爬藤 <i>Tetrastigma hemsleyanum</i>	v	1.43	0.00	0.00
薯蕷 <i>Dioscorea opposita</i>	v	2.22	4.76	1.85
酸藤子 <i>Embelia laeta</i>	v	0.00	1.37	1.38
乌菘莓 <i>Cayratia japonica</i>	v	0.95	2.91	1.74
细圆藤 <i>Pericampylus glaucus</i>	v	1.23	2.00	1.40
野葡萄 <i>Vitis heyneana</i>	v	0.87	0.00	0.00
玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	v	2.18	0.00	2.16
钩藤 <i>Uncaria rhynchophylla</i>	v	2.58	3.24	3.11
小计 Subtotal		37.29	43.18	39.40
箭仔树 <i>Mimosa sepiaria</i>	l	0.00	0.00	2.73
蔓草虫豆 <i>Cajanus scarabaeoides</i>	l	0.00	0.00	1.17
葫芦茶 <i>Tadehagi triquetrum</i>	l	0.90	0.00	0.00
猫尾草 <i>Uraria crinita</i>	l	0.81	1.27	0.00
山合欢 <i>Albizia kalkora</i>	l	1.11	0.00	0.00
山蚂蝗 <i>Desmodium caudatum</i>	l	0.83	0.00	0.00
千斤拔 <i>Flemingia philippinensis</i>	l	0.00	0.00	1.09
美丽崖豆藤 <i>Milletia speciosa</i>	l	0.98	1.40	1.95

续表 1

Continued table 1

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
云实 <i>Caesalpinia decapetala</i>	l	0.00	1.34	0.00
小计 Subtotal		4.63	4.01	6.94
淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	g	2.65	7.82	0.97
弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	g	113.76	70.48	96.44
葎草 <i>Arthraxon hispidus</i>	g	14.02	8.80	11.40
蔓生莠竹 <i>Microstegium vagans</i>	g	5.41	34.97	25.09
五节芒 <i>Miscanthus floridulus</i>	g	7.27	9.08	8.06
小花露籽草 <i>Otlochloa nodosa</i> var. <i>micrantha</i>	g	4.90	9.62	1.91
皱叶狗尾草 <i>Setaria plicata</i>	g	3.39	0.00	4.10
粽叶芦 <i>Thysanolaena maxima</i>	g	2.06	1.61	1.26
小计 Subtotal		153.46	142.38	149.23
飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	fo	5.02	6.10	7.62
光叶闭鞘姜 <i>Costus tonkinensis</i>	fo	0.00	1.33	0.00
鬼针草 <i>Bidens pilosa</i>	fo	1.82	5.77	0.00
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	fo	0.82	0.00	0.00
山菅兰 <i>Dianella ensifolia</i>	fo	1.24	3.38	1.10
胜红蓟 <i>Ageratum conyzoides</i>	fo	1.10	1.40	0.00
小飞蓬 <i>Conyza canadensis</i>	fo	0.95	0.00	0.00
艳山姜 <i>Alpinia zerumbet</i>	fo	2.49	3.76	1.19
一点红 <i>Emilia sonchifolia</i>	fo	0.00	0.00	0.00
小计 Subtotal		13.44	21.74	9.91
叉叶苏铁 <i>Cycas micholitzii</i>	fe	0.00	0.00	0.00
半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>	fe	5.22	15.37	5.83
东方毛蕨 <i>Cyclosorus orientalis</i>	fe	0.89	0.00	0.85
东方乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	fe	0.88	0.00	2.98
华南毛蕨 <i>Cyclosorus parasiticus</i>	fe	0.00	0.00	1.10
金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>	fe	1.12	3.92	1.47

续表 1

Continued table 1

物种 Species	植物功能群 PFGs	BH	UBH	CK
阔片短肠蕨 <i>Allantodia matthewii</i>	fe	0.00	0.00	0.00
扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	fe	0.92	2.84	1.17
铁芒萁 <i>Dicranopteris linearis</i>	fe	3.52	13.25	8.85
团叶陵齿蕨 <i>Lindsaea orbiculata</i>	fe	0.00	0.00	0.87
小计 Subtotal		12.55	35.38	23.12

注: w, 木本植物; v, 藤本植物; l, 豆科植物; g, 禾草植物; fo, 杂草; fe, 蕨类植物。

Note: w, woody plants; v, vines; l, legumes; g, grasses; fo, forbs; fe, ferns.

木本植物功能群重要值大于 3 的植物种类, 以炼山+除草剂处理的最多, 共 8 种, 分别是山油麻(7.27)、灰毛浆果楝(6.01)、大沙叶(3.96)、对叶榕(3.61)、剑叶山芝麻(3.57)、杜茎山(3.46)、红荷木(3.12)和臭牡丹(3.06); 其次是不炼山+除草剂处理, 共 7 种, 它们是对叶榕(4.28)、山乌桕(4.00)、盐肤木(3.61)、潺槁树(3.45)、三叉苦(3.21)、地桃花(3.05)、粗叶榕(3.04); 对照最少, 仅 6 种, 即山油麻(4.97)、九节(3.64)、三叉苦(3.56)、对叶榕(3.41)、漆树(3.34)和水锦树(3.11)。

藤本植物功能群重要值大于 3 的植物种类, 以不炼山+除草剂处理的最多, 有 5 种, 即菝葜(8.57)、薯蓣(4.76)、牛白藤(4.24)、络石(3.96)和钩藤(3.24); 炼山+除草剂与对照相同, 各有 3 种, 分别是毒根斑鸠菊(4.50)、络石(3.88)、牛白藤(3.85)和络石(3.40)、钩藤(3.11)、东风草(3.09)。

豆科植物功能群重要值大于 1 的植物以对照最多, 共 4 种(筋仔树、蔓草虫豆、千斤菝、美丽崖豆藤), 其次是不炼山+除草剂处理, 为 3 种(猫尾草、美丽崖豆藤、云实), 炼山+除草剂处理的最少, 只有山合欢 1 种。

禾草植物功能群重要值大于 5 的物种, 以不炼山+除草剂处理的最高, 为 6 种, 它们是弓果黍(70.48)、蔓生莠竹(34.97)、小花露籽草(9.62)、五节芒(9.08)、葎草(8.80)和淡竹叶(7.82), 炼山+除草剂和对照处理的完全相同, 都是弓果黍(96.44~113.76)、蔓生莠竹(5.41~25.09)、葎草(11.40~14.02)和五节芒(7.27~8.06)。杂草功能重要值大于 3 的植物也是以不炼山+除草剂处理的为最多, 共 4 种, 即飞机草(6.10)、鬼针草(5.77)、山菅兰(3.38)和艳山姜(3.76), 而炼山+除草剂和对照处理仅有飞

机草一种,重要值分别是 5.02 和 7.62。

蕨类植物功能群重要值大于 3 的植物不多,半边旗和铁芒萁在 3 种处理中的重要值均大于 3(半边旗:5.22~15.73;铁芒萁:3.52~13.25),金毛狗在不炼山+除草剂处理中的重要值为 3.92。

此外,不同处理间稀有种(重要值 < 1 的物种)差异很大,以炼山+除草剂处理的最多,有 24 种;其次是对照,有 7 种;不炼山+除草剂处理的最少,为 2 种(表 1)。不炼山+除草剂处理的恒有种(重要值 > 5、频度为 90% 以上的物种)较丰富,达 11 种,而炼山+除草剂处理和对照较少,分别为 8 种和 7 种(表 1)。群落相似性分析表明,炼山+除草剂与不炼山+除草剂处理群落的相似性系数为 0.704,与对照的相似性系数为 0.725,不炼山+除草剂与对照的相似性系数为 0.706。

## 2.2 植物功能群的物种丰富度

如图 1 所示,不同处理植物功能群的物种丰富度存在一定的差异,木本植物功能群的丰富度最高(13~20 种),其次是藤本(8~11 种)、杂草(4~7 种)和蕨类植物(3~4 种)。不同处理相同功能群的丰富度也有一定的差异,炼山+除草剂与对照处理相同,木本植物功能群的丰富度均为 20 种,不炼山+除草剂仅 13 种;藤本植物和蕨类植物丰富度以对照较高,其次是炼山+除草剂处理,不炼山+除草剂处理的较低;杂草、禾草和豆科植物功能群的丰富度均以炼山+除草剂处理的较高,对照最低。方差分析表明,除不炼山+除草剂处理的木本植物功能群显著低于炼山+除草剂和对照外( $P < 0.05$ ),其余功能群间差异均不显著( $P > 0.05$ )(图 1)。

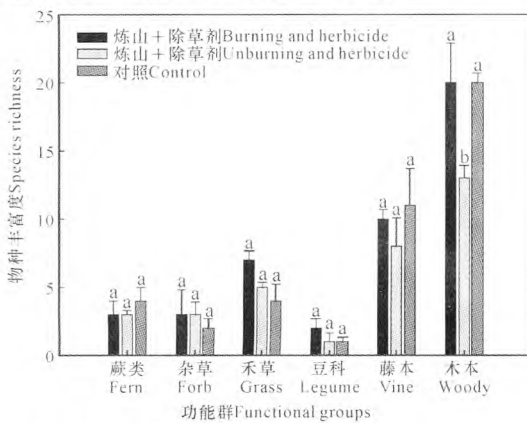


图 1 不同处理条件下植物物种功能群的丰富度

Fig. 1 Species richness of the plant functional groups in different treatments

## 2.3 植物功能群的相对多度

不同处理植物功能群的相对多度,均以禾草为最高,占群落的 82%~90%,其次是蕨类植物、木本植

物、藤本植物和杂草植物,分别占 2%~10%,2%~4%,3%~3.5% 和 1%~2.6%,豆科植物功能群的相对多度最低,只占 0.1%~0.7%。方差分析表明,除不炼山+除草剂处理的蕨类植物相对多度显著高于炼山+除草剂处理外,其余处理间差异均不显著(图 2)。

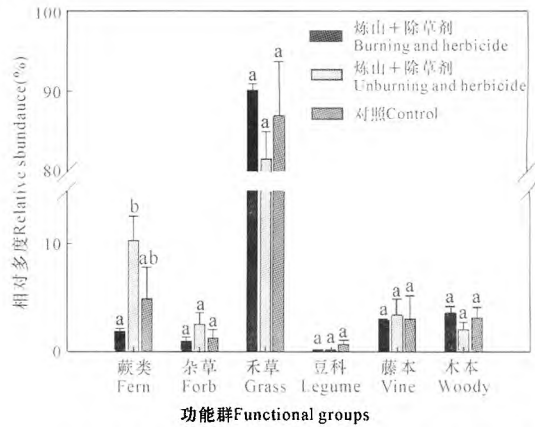


图 2 不同处理条件下植物功能群的相对多度

Fig. 2 Relative abundance of the plant functional groups in different treatments

## 2.4 植物功能群的相对盖度

由图 3 可知:3 种处理中都是以禾草植物功能群的相对盖度最高,占群落总盖度的 43.55%~49.67%,其次是木本植物功能群(占 13.04%~30.72%)、藤本植物功能群(11.06%~17.17%)、蕨类植物功能群(4.01%~17.41%)、杂草植物功能群(4.92%~8.07%),豆科植物功能群的盖度最小,只占 0.76%~1.59%。方差分析和多重比较表明,3 种处理中杂草、禾草、藤本和豆科植物功能群盖度无显著差异( $P > 0.05$ )。炼山+除草剂处理的木本植物功能群盖度显著高于不炼山+施除草剂和对照,对照显著高于不炼山+除草剂处理。不炼山+除草剂处

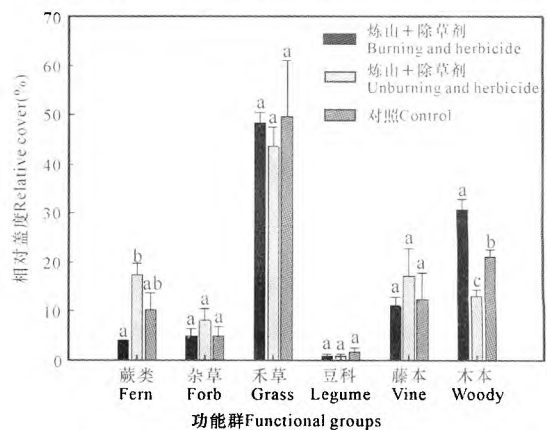


图 3 不同处理条件下植物功能群的相对盖度

Fig. 3 Relative cover of the plant functional groups in different treatments

理的蕨类植物功能群盖度显著高于炼山+除草剂处理,与对照差异不显著;对照和炼山+除草剂处理间也无显著差异(图3)。

### 3 讨论

#### 3.1 除草剂对林下植物群落组成的影响

不同的物种对除草剂有不同的反映,从而形成不同的群落<sup>[15,16]</sup>。早期研究表明,除草剂处理对植物群落的影响是短期的<sup>[17,18]</sup>。最近研究指出,带状喷施除草剂一年后,植物群落就能快速恢复<sup>[16,19~21]</sup>。我们研究发现,除草剂施用1年后,3种处理林下植物群落的相似性较高,均在0.7以上,但是,群落的恒有种,特别是稀有种数量存在较大差异。不炼山+除草剂处理的恒有种分别比炼山+除草剂和对照处理的高37.50%和57.14%,而稀有种则由2种分别增至24种和7种。这说明炼山+除草剂将增加稀有种的数量,而不炼山+除草剂则有利于恒有种的发展。

#### 3.2 除草剂对林下植物功能群物种丰富度的影响

研究表明,除草剂能促进草本植物群落的发育<sup>[11,15,19,22,23]</sup>,对生物多样性没有影响<sup>[24]</sup>。也有研究指出,除草剂降低木本植物的物种丰富度<sup>[11,25]</sup>,对生物多样性存在显著的负效应<sup>[26]</sup>。这种完全相反的研究结论可能与研究林分所处的立地条件,植物群落类型,施用除草剂的种类、强度和频率<sup>[16,27]</sup>,接受除草剂处理的面积比例<sup>[28]</sup>,除草剂处理后的恢复时间<sup>[23]</sup>,以及炼山、整地和施肥的耦合效应有关<sup>[29,30]</sup>。本研究发现,与对照比较,炼山+除草剂处理增加禾草、豆科植物功能群的丰富度,而不炼山+除草剂降低藤本和木本植物功能群的丰富度。炼山+除草剂处理林下植被的物种数平均为 $44.67 \pm 3.84$ ,比对照( $42.67 \pm 3.28$ )高2个百分点,比不炼山+除草剂处理( $33.00 \pm 4.00$ )高近10个百分点。表明在炼山条件下,低浓度和低频度的除草剂处理增加林下植物群落的物种数,但方差分析表明差异并不显著( $P=0.103 \sim 0.713$ )。这可能是经过将近2年的恢复,除草剂的影响逐渐被消除所致。

#### 3.3 除草剂对林下植物功能群相对多度和相对盖度的影响

林下植物功能群的相对多度和相对盖度受到众多因素的影响。早期研究表明,草甘膦除草剂应用降低植物的相对多度和禾草盖度<sup>[31]</sup>,而灭草烟酸除草剂则降低木本植物的盖度和增加杂草、豆科植物及禾草的盖度<sup>[11,15,32]</sup>。除草剂的应用频率也是一个重要的影响因素,除草剂的应用频率越高,植物生长型(功能群)的相对多度和相对盖度减少越明显<sup>[33]</sup>。本研

究中,应用的除草剂为草甘膦,属低浓度、低频率、全面喷施,然而在炼山和非炼山条件下除草剂对林下植物功能群相对多度和相对盖度的影响却有不同响应。与对照比较,炼山+除草剂降低蕨类、杂草、禾草和豆科植物功能群的相对多度和相对盖度,增加木本植物的相对盖度;相反,不炼山+除草剂处理提高蕨类、杂草植物的相对多度和相对盖度,降低木本植物的相对多度以及禾草和木本植物的相对盖度。恢复时间是评价除草剂效应的一个重要指标<sup>[23]</sup>,由于本研究的恢复期较短,还不足2年,除草剂的长期效应尚需深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Forrester D I. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions[J]. *Forest Ecology and Management*, 2013, 310: 336-347.
- [2] Iglesias G, Wilstermann D. *Eucalyptus universalis*. Global cultivated eucalypt forests map 2009[M]//GIT Forestry Consulting's EUCALYPTOLOGICS; Information resources on Eucalyptus cultivation worldwide. Version 1.0.1. <http://git-forestry-blog.blogspot.com/2008/09/eucalyptus-globalmap-2008-cultivated.html>.
- [3] Li X Q, Ye D, Liang H W, et al. Effects of successive rotation regimes on carbon stocks in *Eucalyptus* plantations in subtropical China measured over a full rotation[J]. *Plos One*, 2015, 10 (7): e0132858.
- [4] 温远光. 桉树生态、社会问题与科学发展[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008: 1-135.  
Wen Y G. *Eucalyptus Ecological, Social Issues and Scientific Development* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008: 1-135.
- [5] Qin L, Li Q J, Qian Z G, et al. The application of *Eucalyptus* forest herbicide[J]. *Agrochemicals*, 2015, 54(1): 61-62.
- [6] Wu J P, Liu Z F, Wang X L, et al. Effects of understory removal and tree girdling on soil microbial community composition and litter decomposition in two *Eucalyptus* plantations in South China[J]. *Functional Ecology*, 2011, 25(4): 921-931.
- [7] 温远光, 左花, 朱宏光, 等. 连栽对桉树人工林植被盖度、物种多样性及功能群的影响[J]. *广西科学*, 2014, 21(5): 463-468, 483.  
Wen Y G, Zuo H, Zhu H G, et al. Effect of successive rotations on vegetation cover, species diversity and functional groups in *Eucalyptus* plantations of South China[J]. *Guangxi Sciences*, 2014, 21(5): 463-468, 483.
- [8] Thomas S C, Halpern C B, Falk D A, et al. Plant diversity in managed forests: Understory responses to thinning and fertilization[J]. *Ecological Applications*, 1999, 9(3): 864-879.
- [9] McLachlan S M, Bazely D R. Recovery patterns of understory herbs and their use as indicators of deciduous for-

- est regeneration[J]. *Conservation Biology*, 2001, 15(1): 98-110.
- [10] Nagaike T. Differences in plant species diversity between conifer (*Larix kaempferi*) plantations and broad-leaved (*Quercus crispula*) secondary forests in central Japan[J]. *Forest Ecology and Management*, 2002, 168(1-3): 111-123.
- [11] Miller D A, Chamberlain M J. Plant community response to burning and herbicide site preparation in eastern Louisiana, USA[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 255(3-4): 774-780.
- [12] Wen Y G, Ye D, Chen F, et al. The changes of understory plant diversity in continuous cropping system of Eucalyptus plantations, South China [J]. *Journal of Forest Research*, 2010, 15(4): 252-258.
- [13] Aubert M, Alard D, Bureau F. Diversity of plant assemblages in managed temperate forests: A case study in Normandy (France)[J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175(1): 321-337.
- [14] 温远光, 和太平, 谭伟福. 广西热带和亚热带山地的植物多样性及群落特征[M]. 北京: 气象出版社, 2004.  
Wen Y G, He T P, Tan W F. Plant Diversity and Community Character of Tropical and Subtropical Zones in Guangxi [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2004.
- [15] Harrington T B, Minogue P J, Lauer D K, et al. Pine and Competing Vegetation Responses to Site Preparation with Imazapyr and Burning[C]. *Proceedings of the Southern Weed Science Society*, 1998: 113-114.
- [16] Miller K V, Miller J H. Forestry herbicide influences on biodiversity and wildlife habitat in southern forests [J]. *Wildlife Soc Bull*, 2004, B32(4): 1049-1060.
- [17] Morrison M L, Meslow E C. Impacts of Forest Herbicides on Wildlife: Toxicity and Habitat Alteration[C]. *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conferences*, 1983, 48: 175-185.
- [18] Brooks J J, Johnson A S, Miller K V. Effects of chemical site preparation on wildlife habitat and plant species diversity in the Georgia sandhills[C]//Brissette J C (ed.). *Proceedings of the Seventh Biennial Southern Silvicultural Research Conference*. USDA Forest Service General Technical Report SO-93, Mobile, Alabama, USA, 1993: 605-612.
- [19] Duda L M. Conservation Implications for Disturbance-dependent Birds Breeding on Managed Pine Plantations in Southeastern Louisiana [D]. Hammond, Louisiana, USA: Southeastern Louisiana University, 2003.
- [20] Keyser P D, Ford B L, Guynn D C. Effects of herbaceous competition control on wildlife habitat quality in Piedmont pine plantations[J]. *Southern J Appl Forest*, 2003, 27: 55-60.
- [21] Edwards S L. Effects of Intensive Pine Plantation Management on Wildlife Habitat Quality in Southern Mississippi [D]. Mississippi State, Mississippi, USA: Mississippi State University, 2004.
- [22] Miller J H, Zutter B R, Zedaker S M, et al. Early plant succession in loblolly pine plantations as effected by vegetation management [J]. *Southern J Appl Forest*, 1995, 19(3): 109-126.
- [23] Freeman J E, Jose S. The role of herbicide in savanna restoration: Effects of shrub reduction treatments on the understory and overstory of a longleaf pine flatwoods[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257(3): 978-986.
- [24] Bataineh M M, Wagner R G, Olson M G, et al. Midrotation response of ground vegetation to herbicide and precommercial thinning in the Acadian Forest of Maine, USA[J]. *Forest Ecology and Management*, 2014, 313: 132-143.
- [25] Miller J H, Boyd R S, Edwards M B. Floristic diversity, stand structure, and composition 11 years after herbicide site preparation[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, 29: 1073-1083.
- [26] 陈欣, 唐建军, 王兆骞. 农业活动对生物多样性的影响 [J]. *生物多样性*, 1999, 7(3): 234-239.  
Chen X, Tang J J, Wang Z Q. The impacts of agricultural activities on biodiversity[J]. *Chinese Biodiversity*, 1999, 7(3): 234-239.
- [27] Zutter B R, Zedaker S M. Short-term effects of hexazinone applications on woody species diversity in young loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations[J]. *Forest Ecology and Management*, 1988, 24(3): 183-189.
- [28] Blake P M, Hurst G A, Terry T A. Responses of vegetation and deer forage following application of hexazinone[J]. *Southern J Appl Forest*, 1987, 11: 176-180.
- [29] Neilsen W A, Ringrose C. Effect of initial herbicide treatment and planting material on woody weed development and the growth of *Eucalyptus nitens* and *Eucalyptus regnans* [J]. *Weed Research*, 2001, 41(4): 301-309.
- [30] George B H, Brennan P D. Herbicides are more cost-effective than alternative weed control methods for increasing early growth of *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus saligna* [J]. *New Forests*, 2002, 24(2): 147-163.
- [31] Li C J, Li F D. Application of glyphosate herbicide on the young eucalypt plantation tending [J]. *Practical Forestry Technology*, 2011, 9: 19-20.
- [32] Stransky J J, Harlow R F. Effects of fire on deer habitat in the Southeast [M]//Prescribed Fire and Wildlife in Southern Forests. Baruch Forest Science Institute of Clemson University, Georgetown, SC, USA, 1981: 135-142.
- [33] Jone P D, Edwards S L, Demarais S, et al. Vegetation community responses to different establishment regimes in loblolly pine (*Pinus taeda*) plantations in southern MS, USA [J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257: 553-560.

(责任编辑:米慧芝)