

不同经营措施对桉树人工林植物多样性的影响*

Effects of Different Management Measures on Plant Diversity in *Eucalyptus* Plantations

马倩¹, 周晓果¹, 梁宏温^{1**}, 温远光¹, 郭晋川², 杨健基³

MA Qian¹, ZHOU Xiaoguo¹, LIANG Hongwen¹, WEN Yuanguang¹,

GUO Jinchuan², YANG Jianji³

(1. 广西大学林学院, 广西森林生态与保育重点实验室培育基地, 广西南宁 530004; 2. 广西水利科学研究院, 广西南宁 530023; 3. 广西金桂林业有限公司, 广西南宁 530021)

(1. Breeding Base of Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation, College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Hydraulic Research Institute, Nanning, Guangxi, 530023, China; 3. Guangxi Jingui Forestry Limited Company, Nanning, Guangxi, 530021, China)

摘要:【目的】探讨不同经营措施对桉树(*Eucalyptus*)人工林植物多样性的影响,为桉树人工林的科学经营提供理论依据。【方法】通过4种不同经营措施试验(即,处理A:人工清理林地、人工除草抚育、施基肥;处理B:火烧清理林地、化学除草抚育、施基肥和追肥;处理C:人工清理林地、人工除草抚育、施基肥和追肥;对照(CK):桉树采伐迹地形成的灌草坡),比较研究不同经营措施对桉树人工林下植物多样性的影响。【结果】除处理B外,其它处理林地的木本植物丰富度及其优势物种组成和多样性指数与造林前相比没有发生明显的变化($P > 0.05$),其草本植物的优势物种组成和多样性指数也没有发生明显的变化($P > 0.05$),但种类丰富度则呈逐年下降趋势;处理B的木本植物香农威纳(Shannon-Wiener)指数(H')和均匀度指数(J_{sw})显著低于处理A、C和CK,而生态优势度指数(C)则相反($P < 0.05$);处理A、C的草本香农威纳指数(H')和均匀度指数(J_{sw})显著高于CK和B处理,而生态优势度指数(C)则显著低于CK和B处理($P < 0.05$),A与C处理之间和B与CK之间均无显著差异($P > 0.05$)。【结论】人工清理林地、人工除草抚育、施基肥对植物多样性的影响较小,而火烧清理林地、化学除草抚育和频繁施肥等经营活动将显著降低桉树人工林下的植物多样性。

关键词:桉树人工林 经营管理 植物多样性 干扰

中图分类号:S718.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)02-0182-06

Abstract:【Objective】Investigating the effects of management measures on plant diversity in *Eucalyptus* plantations could provide theoretical basis for the scientific management of the *Eucalyptus* plantations. 【Methods】A total of 4 treatments (A: Manual ground clearance and weeding, base fertilizing; B: Burning, chemical weeding, base fertilizing and topdressing; C: Man-

ual ground clearance and weeding, base fertilizing and topdressing; CK: *Eucalyptus* plantations cutover land dominated by shrub and herbaceous) were used to comparatively study the effects of management measures on plant diversity in *Eucalyptus* plantations. 【Results】Except for treatment B, the woody plant richness, dominant species composition and diversity in-

收稿日期: 2016-10-24

作者简介: 马倩(1993-),女,硕士研究生,主要从事森林生态学研究。

* 国家自然科学基金项目(31460121),广西重大专项计划项目(1222005)和水利部公益性行业科研专项项目(201301044)资助。

** 通信作者: 梁宏温(1959-),男,研究员,主要从事森林生态学, E-mail: lhwen59@163.com.

dex and herbaceous plant dominant species composition and diversity index did not significantly change ($P > 0.05$) compared with that of before afforestation, while herbaceous plant richness decreased year by year. The woody plant Shannon-Wiener index (H') and Evenness index (J_{sw}) of treatment B were significantly lower than those of treatment A, C and CK, while ecological dominance index (C) was significantly higher than that of treatment A, C and CK ($P < 0.05$). The herbaceous plant Shannon-Wiener index (H') and Evenness index (J_{sw}) of treatment A and C were significantly higher than those of treatment B and CK, while ecological dominance index (C) was significantly lower than that of treatment B and CK ($P < 0.05$). There were not significant differences between treatment A and C and B and CK ($P > 0.05$).

【Conclusion】 Manual ground clearance, weeding and base fertilizing had less influence on plant biodiversity. While burning, chemical weeding and frequently fertilizing would significantly decrease plant biodiversity in *Eucalyptus* plantations.

Key words: *Eucalyptus* plantations, management measures, plant diversity, disturbance

0 引言

【研究意义】 桉树 (*Eucalyptus*) 短轮伐期人工林具有速生性强、产量高、收益快等优点, 在华南地区, 特别是在广西境内得到广泛栽培, 目前的种植面积已超过 $2.00 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。桉树种植对植物多样性的影响一直是社会关注的焦点, 研究不同经营措施对桉树人工林植物多样性的影响, 揭示其变化的规律及原因, 对桉树人工林的可持续经营无疑具有重要的意义。**【前人研究进展】** 近年来的研究表明, 桉树人工林短周期经营会产生水土流失^[1]、土壤肥力下降^[2]、生物多样性降低^[3]等生态问题。Takafumi 等^[4]认为干扰是影响林地物种多样性的重要因素, 干扰影响时效长, 主要通过改变植物营养体的有效性和生境结构来影响其物种丰富度, 人为干扰对林下植物丰富度的影响要比环境因子的影响更显著; 赵一鹤等^[5]研究指出, 林地干扰首先引起乔木层多样性的丧失, 然后是灌木层物种多样性退化, 最后才是草本层植物的消亡, 这是不同生活型的物种对立地条件和人为干扰的生存对策不同所致; 田湘等^[6]的研究发现, 人工抚育会造成桉树林地灌木的个体密度和高度以及草本植物的个体密度显著降低, 进而导致群落物种丰富度、林下植物生物量和水土保持能力的降低。综上所述, 不科学的造林抚育措施将对桉树林地植物多样性产生不利的影响。**【本研究切入点】** 桉树的造林方式主要有萌芽更新和植苗更新, 对造林地的清理主要有人工割除清理、火烧清理和化学除草剂清理^[7]; 为保证桉树的速生丰产, 除了施基肥外, 还要定期施追肥, 可见桉树短周期经营对林地的人为干扰活动相当频繁。然而, 不同经营管理措施对桉树林地植物多样性的影响研究却鲜见报道。**【拟解决的关键问题】** 通过对不

同经营管理措施桉树林地植物多样性特征的对比研究, 揭示人工割除清理、火烧清理、人工抚育和化学除草剂以及施肥措施对桉树人工林下植物多样性的影响机制, 为桉树人工林的科学管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 自然概况

试验区位于广西横县新福镇, 东经 $108^{\circ}51' \sim 108^{\circ}55'$, 北纬 $22^{\circ}30' \sim 22^{\circ}36'$, 海拔 $80 \sim 160 \text{ m}$, 属于亚热带季风气候区, 年均气温 21.5°C , 最热月 (8月) 均温 27.3°C , 极端最高温 39.2°C , 最冷月 (1月) 均温 12.1°C , 极端最低温 -1.2°C , 年均降水量 1334.6 mm , 年均日照 1758.9 h , 年均无霜期 338 d 。地带性土壤为花岗岩 (杂有部分第四纪红土) 风化形成的砖红壤, 土层厚 $80 \sim 110 \text{ cm}$; 地带性森林植被为亚热带常绿阔叶林, 但已荡然无存, 并转变为桉树 (*Eucalyptus* spp.) 和马尾松 (*Pinus massoniana*) 等人工林植被。

1.2 试验地设置

在广西南宁市横县新福镇公净水库, 于同一山坡的中坡设置 4 种试验地 (处理), 分别记为 A、B、C 和 CK。其中: A 处理为人工清理林地、人工除草抚育、施基肥; B 处理为火烧清理林地、化学除草抚育、施基肥和追肥; C 处理为人工清理林地、人工除草抚育、施基肥和追肥; CK 为对照 (采伐桉树迹地, 人工清理采伐剩余物和砍掉桉树的伐根萌芽, 保留林地上的灌草植物, 让其自然恢复形成的灌草坡地)。每种试验地各设置 3 块样地, 随机区组排列, 每块样地面积为 0.04 hm^2 ($20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$), 各样地之间保留 10 m 宽以上的隔离带。试验地的前茬均为桉树人工林, 各处理的林木采伐与林地清理时间相同 (2013 年 5 月下

旬);A处理和B处理均采用穴垦整地(长、宽和深分别为50 cm、50 cm和40 cm),株行距1.5 m×4 m,造林整地、施基肥的时间相同(2013年6月上旬);A处理仅施1次基肥(750 g/株),B处理和C处理施1次基肥(250 g/株)和2次追肥(每次250 g/株),基肥和追肥均为复合肥(N、P₂O₅和K₂O的含量分别为0.17 g/g、0.16 g/g和0.14 g/g);A处理和C处理的幼林地采用人工除草2次(2013年9月中旬和2014年3月中旬各1次),只割断灌草的地上部分,并将割除的灌草覆盖于林地上;B处理的幼林地采用化学除草(含追肥)2次,时间与A处理和C处理的相同,选择连续3 d以上不下雨的天气,用含草甘膦0.41 g/g的除草剂2.25~3.00 kg/hm²,兑水300 kg,喷施于林地灌草表面。

1.3 植物多样性调查

按梅花状布局,在每块样地内各设置5个面积均为25 m²(5 m×5 m)的样方,在每个样方的4个角打上木桩做标记。于2013年5月(试验前本底)、2014年5月、2015年5月和2016年5月分别调查和记录每个样方内灌木层和草本层植物的植物种类、平均高度、平均覆盖度和每种植物的个体数(灌木)或丛数(草本)。按以下公式计算林地植物的多样性特征:

(1)重要值=(相对密度+相对优势度+相对频度)/3,

(2)物种丰富度指数:

S = 样地内出现的全部物种数目,

(3)香农威纳(Shannon-Wiener)指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i,$$

(4)均匀度指数: $J_{sw} = H' / \ln S,$

(5)生态优势度指数:

$$C = \sum_{i=1}^s n_i(n_i - 1) / N(N - 1),$$

式中: $P_i = n_i / N$, 即某个物种的相对密度, n_i 为种 i 的株数, N 为种 i 所在样方的所有物种总株数, S 为样方内物种总数。

1.4 统计分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件对调查数据进行统计分析,计算平均数、标准差、变异系数,并作差异显著性分析,显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

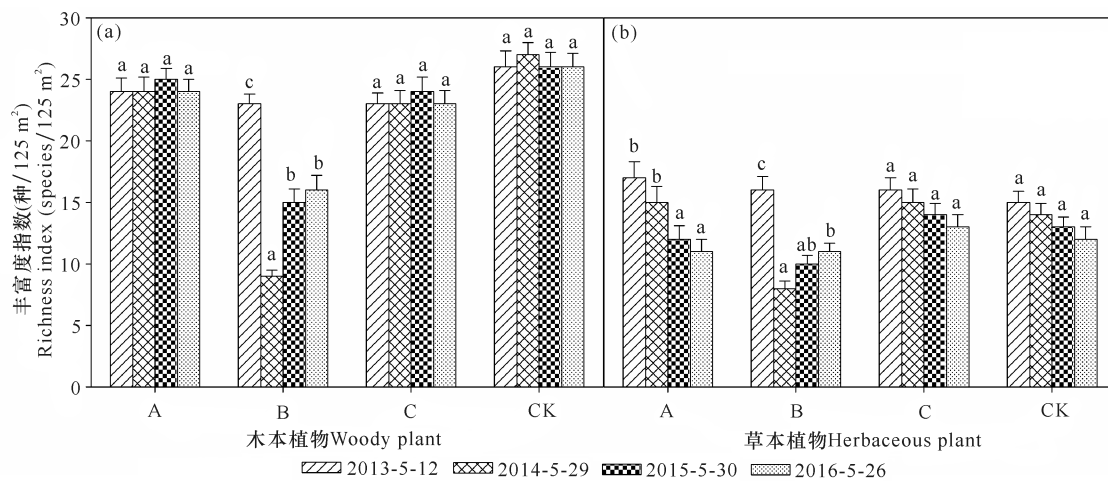
2 结果与分析

2.1 物种丰富度

图1显示,除B处理林地外,其它林地的木本丰富度指数(种/125 m²)在处理一年时(2014年5月29日调查)与其本底值(2013年5月12日调查)相比没有发生明显的变化($P > 0.05$),其草本植物丰富度指数则呈逐年下降趋势,且处理A草本植物丰富度指数在2015年及2016年显著低于本底值($P < 0.05$)。B处理林地的木本植物种数由造林前(本底)的23种降至化学除草期间的9种(下降了61%),草本植物种数由造林前的16种降至化学除草期间的8种(下降了50%),差异显著($P < 0.05$),后经2年时间的恢复,其木本植物和草本植物都分别增至16种和11种,分别恢复了78%和38%。

2.2 优势种类组成

除B处理林地外,其它处理林地木本植物和草本植物的优势种类组成与其本底(2013年5月12日调查)相比没有发生明显变化,只是重要值及其排序发生了一些变化(表1和表2)。



同一处理在不同监测时间的差异用不同字母表示

Different letters indicated difference of the same treatment in different monitoring time

图1 物种丰富度指数的变化

Fig. 1 Changes of species richness index

由表 1 看出,B 处理林地的木本植物优势种组成发生了较明显的变化,造林前以越南悬钩子、盐肤木、山苍子、大青和粗叶榕为主,化学除草期间则以野牡丹、玉叶金花、桉木、马莲鞍和越南悬钩子为主,后经 2 年时间的恢复,除野牡丹、玉叶金花、马莲鞍和越南悬钩子仍保持优势外,桉木则被盐肤木取代。

表 1 木本植物优势种类分布

Table 1 Distribution of dominant species of woody plant

处理 Treatment	调查日期 Survey date	重要值位于前 5 的种类(括号内的数字为重要值) Important values of the first five types (the number is important value in brackets)				
A	2013-05-12	马莲鞍(25.14)	玉叶金花(9.95)	野牡丹(8.15)	桃金娘(5.96)	大青(5.94)
	2014-05-29	马莲鞍(15.38)	玉叶金花(14.33)	桃金娘(11.64)	野牡丹(10.30)	大青(4.18)
	2015-05-30	野牡丹(20.77)	玉叶金花(16.24)	马莲鞍(8.45)	桃金娘(7.34)	大青(6.73)
	2016-05-26	玉叶金花(19.35)	马莲鞍(13.06)	野牡丹(9.79)	桃金娘(6.67)	大青(5.53)
B	2013-05-12	越南悬钩子(23.30)	盐肤木(12.76)	山苍子(11.42)	大青(10.73)	粗叶榕(8.13)
	2014-05-29	野牡丹(35.26)	玉叶金花(24.54)	桉木(18.51)	马莲鞍(12.87)	越南悬钩子(3.61)
	2015-05-30	野牡丹(31.60)	玉叶金花(22.71)	展毛野牡丹(6.44)	马莲鞍(6.02)	海金沙(5.62)
	2016-05-26	野牡丹(29.52)	玉叶金花(20.05)	马莲鞍(11.27)	越南悬钩子(5.02)	盐肤木(4.73)
C	2013-05-12	玉叶金花(19.81)	越南悬钩子(11.41)	野牡丹(9.68)	大青(6.25)	海金沙(6.18)
	2014-05-29	玉叶金花(20.33)	野牡丹(16.03)	越南悬钩子(11.54)	海金沙(6.89)	大青(5.71)
	2015-05-30	玉叶金花(21.76)	野牡丹(15.67)	越南悬钩子(6.67)	大青(6.16)	海金沙(5.86)
	2016-05-26	玉叶金花(19.76)	野牡丹(13.85)	越南悬钩子(10.12)	大青(7.84)	海金沙(4.36)
CK	2013-05-12	玉叶金花(17.76)	野牡丹(12.97)	越南悬钩子(8.02)	三叉苦(7.14)	盐肤木(6.29)
	2014-05-29	玉叶金花(17.75)	野牡丹(12.57)	盐肤木(6.94)	三叉苦(6.38)	越南悬钩子(5.93)
	2015-05-30	野牡丹(13.46)	玉叶金花(9.21)	三叉苦(7.50)	盐肤木(6.68)	越南悬钩子(6.40)
	2016-05-26	玉叶金花(15.96)	野牡丹(11.15)	盐肤木(8.14)	越南悬钩子(7.03)	三叉苦(5.55)

注 Note: 马莲鞍 *Sreptocaulon griffithii*; 玉叶金花 *Mussaenda kwangsiensis*; 野牡丹 *Melastoma candidum*; 桃金娘 *Rhodomyrtus tomentosa*; 大青 *Clerodendrum cyrtophyllum*; 越南悬钩子 *Rubus cochinchinensis*; 盐肤木 *Rhus chinensis*; 山苍子 *Litsea cubeba*; 粗叶榕 *Ficus hirta*; 桉木 *Eurya japonica*; 展毛野牡丹 *Melastoma normale*; 海金沙 *Lygodium japonicum*; 三叉苦 *Evodia lepta*

表 2 草本植物优势种类分布

Table 2 Distribution of dominant species of herbaceous plant

处理 Treatment	调查日期 Survey date	重要值位于前 5 的种类(括号内的数字为重要值) Important values of the first five types (the number is important value in brackets)				
A	2013-05-12	五节芒(48.42)	铁芒萁(11.65)	小花露籽草(6.10)	东方乌毛蕨(4.14)	胜红蓟(3.87)
	2014-05-29	五节芒(26.12)	胜红蓟(17.17)	铁芒萁(15.57)	小花露籽草(10.14)	东方乌毛蕨(7.77)
	2015-05-30	五节芒(50.05)	铁芒萁(8.52)	东方乌毛蕨(8.39)	小花露籽草(7.07)	胜红蓟(6.24)
	2016-05-26	五节芒(36.76)	胜红蓟(21.21)	铁芒萁(10.56)	东方乌毛蕨(8.09)	小花露籽草(6.65)
B	2013-05-12	五节芒(50.10)	蔓生莠竹(20.15)	山菅兰(8.73)	荩草(6.63)	膨琪菊(3.58)
	2014-05-29	胜红蓟(61.55)	华南鳞毛蕨(9.07)	山菅兰(7.43)	革命菜(6.68)	广东假耳草(4.05)
	2015-05-30	胜红蓟(58.84)	华南鳞毛蕨(12.77)	东方乌毛蕨(10.07)	山菅兰(6.12)	五节芒(4.68)
	2016-05-26	胜红蓟(49.25)	华南鳞毛蕨(13.23)	东方乌毛蕨(8.05)	五节芒(7.65)	山菅兰(4.32)
C	2013-05-12	五节芒(43.76)	小花露籽草(14.74)	东方乌毛蕨(9.88)	华南鳞毛蕨(7.04)	胜红蓟(4.42)
	2014-05-29	小花露籽草(28.50)	五节芒(25.43)	东方乌毛蕨(12.69)	华南鳞毛蕨(7.42)	胜红蓟(4.44)
	2015-05-30	五节芒(40.10)	小花露籽草(15.98)	东方乌毛蕨(12.67)	华南鳞毛蕨(6.83)	胜红蓟(4.37)
	2016-05-26	五节芒(45.12)	小花露籽草(14.05)	东方乌毛蕨(10.22)	胜红蓟(8.06)	华南鳞毛蕨(4.34)
CK	2013-05-12	五节芒(32.86)	小花露籽草(30.86)	东方乌毛蕨(9.71)	胜红蓟(8.48)	山菅兰(4.80)
	2014-05-29	小花露籽草(49.76)	五节芒(19.07)	东方乌毛蕨(8.87)	山菅兰(4.76)	胜红蓟(4.37)
	2015-05-30	小花露籽草(42.04)	五节芒(18.30)	胜红蓟(8.41)	东方乌毛蕨(7.39)	山菅兰(4.68)
	2016-05-26	小花露籽草(39.27)	五节芒(25.06)	东方乌毛蕨(8.45)	胜红蓟(6.03)	山菅兰(4.12)

注 Note: 铁芒萁 *Dicranopteris linearis*; 五节芒 *Miscanthus floridulus*; 小花露籽草 *O ttochloa nodosa* var. *Micrantha*; 东方乌毛蕨 *Blechnum orientale*; 胜红蓟 *Ageratum conyzoides*; 蔓生莠竹 *Microstegium vagans*; 华南鳞毛蕨 *Dryopteris tenuicula*; 山菅兰 *Dianella ensifolia*; 荩草 *Arthraxon hispidus*; 膨琪菊 *Wedelia chinensis*; 革命菜 *Gynura crepidioides*; 广东假耳草 *Hedyotis ampliflora*

优势外,革命菜和广东假耳草则被东方乌毛蕨和五节芒取代。五节芒在 B 处理林地上重新出现并逐渐占据优势。

2.3 多样性指数

由表 3 看出,在试验开始前,各处理之间的木本植物多样性指数均无显著差异;实施处理后,处理 B 的木本植物香农威纳(Shannon-Wiener)指数(H')和均匀度指数(J_{sw})显著低于处理 A、C 和 CK,而生态优势度指数(C)则相反,处理 B 的显著高于处理

A、C 和 CK($P < 0.05$)。由表 3 还可看出,处理前,除处理 A 的草本植物的香农威纳(Shannon-Wiener)指数(H')显著高于而生态优势度指数(C)显著低于处理 B、C 和 CK 外,其余各处理之间均无显著差异。实施处理后,A、C 处理的草本香农威纳(Shannon-Wiener)指数(H')和均匀度指数(J_{sw})显著高于 CK 和 B 处理,而生态优势度指数(C)则显著低于 CK 和 B 处理($P < 0.05$),A 与 C 处理之间和 B 与 CK 之间均无显著差异($P > 0.05$)(表 3)。

表 3 植物多样性指数的变化(平均值±标准差)

Table 3 The changes of plant diversity index (average value±standard deviation)

处理 Treatment	调查日期 Survey date	木本植物 Woody plant			草本植物 Herb		
		H'	J_{sw}	C	H'	J_{sw}	C
A	2013-05-12	2.004 ^b ±0.319	0.574 ^b ±0.096	0.155 ^a ±0.072	1.439 ^c ±0.249	0.264 ^b ±0.062	0.307 ^a ±0.078
	2014-05-29	2.074 ^b ±0.183	0.567 ^b ±0.054	0.132 ^a ±0.041	1.431 ^c ±0.218	0.263 ^b ±0.045	0.302 ^a ±0.044
	2015-05-30	2.091 ^b ±0.177	0.545 ^b ±0.041	0.144 ^a ±0.034	1.191 ^b ±0.361	0.215 ^b ±0.065	0.446 ^b ±0.185
	2016-05-26	2.023 ^b ±0.198	0.571 ^b ±0.063	0.136 ^a ±0.042	1.354 ^b ±0.278	0.246 ^b ±0.053	0.327 ^b ±0.127
B	2013-05-12	2.062 ^b ±0.132	0.582 ^b ±0.051	0.131 ^a ±0.052	1.142 ^b ±0.107	0.192 ^b ±0.021	0.417 ^b ±0.039
	2014-05-29	1.307 ^a ±0.112	0.437 ^a ±0.059	0.237 ^b ±0.053	0.696 ^a ±0.189	0.127 ^a ±0.034	0.662 ^c ±0.097
	2015-05-30	1.469 ^a ±0.330	0.445 ^a ±0.108	0.255 ^b ±0.131	0.672 ^a ±0.230	0.125 ^a ±0.049	0.687 ^c ±0.124
	2016-05-26	1.703 ^a ±0.228	0.502 ^a ±0.086	0.189 ^b ±0.095	0.897 ^a ±0.207	0.146 ^a ±0.043	0.513 ^c ±0.092
C	2013-05-12	2.026 ^b ±0.077	0.551 ^b ±0.032	0.143 ^a ±0.019	1.258 ^b ±0.222	0.207 ^b ±0.012	0.411 ^b ±0.090
	2014-05-29	2.046 ^b ±0.071	0.532 ^b ±0.054	0.138 ^a ±0.028	1.225 ^b ±0.323	0.231 ^b ±0.057	0.463 ^b ±0.166
	2015-05-30	2.075 ^b ±0.181	0.527 ^b ±0.042	0.131 ^a ±0.040	1.354 ^b ±0.306	0.254 ^b ±0.063	0.372 ^a ±0.155
	2016-05-26	2.058 ^b ±0.117	0.541 ^b ±0.049	0.141 ^a ±0.036	1.275 ^b ±0.267	0.237 ^b ±0.046	0.433 ^b ±0.177
CK	2013-05-12	2.221 ^b ±0.102	0.593 ^b ±0.045	0.121 ^a ±0.017	1.158 ^b ±0.197	0.208 ^b ±0.043	0.409 ^b ±0.107
	2014-05-29	2.254 ^b ±0.147	0.605 ^b ±0.036	0.115 ^a ±0.029	0.775 ^a ±0.388	0.141 ^a ±0.069	0.638 ^c ±0.239
	2015-05-30	2.305 ^b ±0.166	0.616 ^b ±0.028	0.106 ^a ±0.033	0.840 ^a ±0.212	0.164 ^a ±0.037	0.595 ^c ±0.135
	2016-05-26	2.266 ^b ±0.158	0.597 ^b ±0.033	0.119 ^a ±0.031	0.788 ^a ±0.326	0.148 ^a ±0.056	0.615 ^c ±0.205

注:同一列的字母不同表示不同处理(或不同年份)之间差异显著($P < 0.05$)

Note: Adjacent letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) between different treatments (or different years)

3 讨论

在环境因子相同或相近的情况下,不同经营管理措施(处理)对桉树林地植物多样性的影响存在较大差异。究其原因,主要有:(1)A、C 处理对草本层植物多样性的影响大于灌木层,这与国内一些研究得出的幼林抚育对灌木层影响大于草本层的结论不一致^[5],造成这一差异的原因可能是本试验中,A、C 处理采用人工割灌割草方式清理林地,不炼山,有效保留了植物的繁殖体(植物根系、种子库等),使得原有群落中的多数物种得以保持,特别是群落的优势种,它们往往具有极强的繁殖能力,在环境条件适宜时,会很快恢复生长,重新占据林地空间,使植物多样性快速恢复^[8];或因为灌木层的旺盛生长而压缩了草本植物的生存空间,林冠的逐渐郁闭又使透光率降低,

使得草本植物种类丰富度有所下降^[9]。(2)B 处理林地由于采用火烧清理林地、化学除草抚育和频繁施肥等对林地干扰严重,植物物种丰富度指数发生显著变化,并且灌木层和草本层植物的优势种类组成也发生了显著变化。B 处理林地的植物繁殖体由于火烧炼山受到严重破坏,火烧使一些不耐火的物种消失,耐火物种得以保存^[10];再加上炼山后林地清理彻底,使一年生植物和阳性植物,如野牡丹、玉叶金花、胜红蓟等占据优势;入侵种(如胜红蓟)成为群落的优势种或共优势种,导致植物多样性严重降低,植物功能群结构有向草本、小型、一年生植物转变的趋势,这一结果与温远光等^[8]的结果是一致的。(3)化学除草干扰也是造成林地植物多样性降低的重要原因。除草剂的使用使林下植物遭到彻底灭杀,一些阳性植物及入侵种容易重新生长并形成优势,而木本种类则较难恢

复。在化学除草期间,B处理林地的木本植物种数下降了61%,草本植物种数下降了50%。不过,在停止人为干扰并经2年的恢复后,原来的草本层优势种类——五节芒又重新出现,并有可能恢复优势地位,这与其种子量大、易于传播且繁殖力强有关,也反映了林地化学除草的效应持续时间不长。郭乐东等^[11]研究也表明,除草剂的使用严重干扰了桉树林下群落自然演替更新,使植物多样性较难恢复。正是由于化学除草和火烧清理林地的双重干扰,破坏了植物繁殖体及其生长环境,造成B处理林地经2年恢复后的植物种类丰富度也未能恢复至造林前的水平。(4)林地植物多样性的降低与频繁施肥也存在一定的关系。有研究^[12-15]表明,施肥是植物多样性下降的原因之一。因施肥进行的翻犁将植物繁殖体深埋,降低其萌发的有效性;不科学的施肥会导致土壤结构破坏和酸碱度改变,使植物多样性受到影响。

4 结论

本研究结果表明,人工清理林地和人工除草抚育对桉树林下植物多样性的影响不大,除B处理林地外,其它处理林地的木本植物丰富度及其优势物种组成和多样性指数与造林前相比没有发生明显的变化($P > 0.05$),其草本植物的优势物种组成和多样性指数也没有发生明显的变化($P > 0.05$),但其种类丰富度则呈逐年下降趋势。火烧清理和化学除草抚育对林地干扰过于强烈,导致植物物种丰富度、优势物种组成均发生明显变化。因此,我们认为,火烧清理林地、化学除草抚育和频繁施肥是导致桉树林地植物多样性下降的主要原因。

参考文献:

[1] 梁宏温,钟瀚涛,温远光,等.不同造林抚育措施对桉树人工林坡面径流特征的影响[J].南方农业学报,2014,45(11):2020-2025.
LIANG H W,ZHONG H T,WEN Y G,et al. Effects of different forestation-tending measures on slope surface runoff characteristics of *Eucalypt* plantation[J]. Journal of Southern Agriculture,2014,45(11):2020-2025.

[2] 杜阿朋,韦东艳,张婧,等.不同造林措施对桉树人工林地土壤养分的影响[J].桉树科技,2012,29(2):1-7.
DU A P,WEI D Y,ZHANG J,et al. Effect of different methods of forestation on eucalypt plantation soil fertility[J]. Eucalypt Science & Technology,2012,29(2):1-7.

[3] 梁宏温,杨健基,温远光,等.桉树造林再造林群落植物多样性的变化[J].东北林业大学学报,2011,39(5):40-

43.
LIANG H W,YANG J J,WEN Y G,et al. Change in plant species diversity of *Eucalyptus* communities after afforestation and reforestation[J]. Journal of Northeast Forestry University,2011,39(5):40-43.

[4] TAKAFUMI H,HIURA T. Effects of disturbance history and environmental factors on the diversity and productivity of understory vegetation in a cool-temperate forest in Japan[J]. Forest Ecology and Management,2009,257(3):843-857.

[5] 赵一鹤,杨宇明,杨时宇,等.培育措施对桉树人工林林下物种多样性的影响[J].云南农业大学学报,2008,23(3):309-314.
ZHAO Y H,YANG Y M,YANG S Y,et al. Effect of on cultivation measures on undergrowth vegetation species diversity of *Eucalyptus* plantation[J]. Journal of Yunnan Agricultural University,2008,23(3):309-314.

[6] 田湘,赵瑛,于永辉,等.人工抚育对桉树人工林林下生物多样性的影响[J].南方农业学报,2014,45(1):85-89.
TIAN X,ZHAO Y,YU Y H,et al. Effects of artificial tending on understory biological diversity in *Eucalyptus* plantations[J]. Journal of Southern Agriculture,2014,45(1):85-89.

[7] 肖恢波.林业整地技术与造林方法[J].现代园艺,2015(18):44.
XIAO H B. Forestry soil preparation technology and afforestation method[J]. Xiandai Horticulture,2015(18):44.

[8] 温远光,刘世荣,陈放.连栽对桉树人工林下物种多样性的影响[J].应用生态学报,2005,16(9):1667-1671.
WEN Y G,LIU S R,CHEN F. Effects of continuous cropping on understorey species diversity in eucalypt plantations[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(9):1667-1671.

[9] 黎耀凡.营林措施对桂南地区桉树工业原料林林下植物物种多样性的影响[D].南宁:广西大学,2013.
LI Y F. The effects silvicultural measures have on plant species diversity of *Eucalyptus* industrial forest plantation in Southern Guangxi[D]. Nanning:Guangxi University,2013.

[10] 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 eucalypt plantations of South China[J]. Guangxi Sciences,2014,21(5):463-468,483.

(下转第195页 Continue on page 195)

- 报,2014,41(1):76-81.
- ZHANG Y Z, GE G F, WANG R F, et al. Effect of nitrogen content in *Leymus chinensis* and *Stippa capillata* on feeding choice of *Oedaleus asiaticus* [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2014, 41(1): 76-81.
- [31] AGRAWAL A A, FISHBEIN M. Plant defense syndromes[J]. Ecology, 2006, 87(sp7): S132-S149.
- [32] AKHTAR Y, ISMAN M B. Comparative growth inhibitory and antifeedant effects of plant extracts and pure allelochemicals on four phytophagous insect species [J]. Journal of Applied Entomology, 2004, 128(1): 32-38.
- [33] 雒珺瑜, 崔金杰, 王春义, 等. 棉花叶片中棉酚和单宁含量与绿盲蝽抗性的关系[J]. 棉花学报, 2012, 24(3): 279-283.
- LUO J Y, CUI J J, WANG C Y, et al. Relationship between contents of gossypol acetic acid (GAA) and tannin in cotton leaf and resistance to *Apolygus lucorum* Meyer-Dür[J]. Cotton Science, 2012, 24(3): 279-283.
- [34] GOODGER J Q D, HESKES A M, WOODROW I E. Contrasting ontogenetic trajectories for phenolic and terpenoid defences in *Eucalyptus froggattii* [J]. Annals of Botany, 2013, 112(4): 651-659.
- [35] HAYES R A, PIGGOTT A M, SMITH T E, et al. Corymbia phloem phenolics, tannins and terpenoids: Interactions with a *Cerambycid* borer [J]. Chemoecology, 2014, 24(3): 95-103.
- [36] 杨乃博, 伍苏然, 沈林波, 等. 植物抗虫性研究概况[J]. 热带农业科学, 2014, 34(9): 61-68.
- YANG N B, WU S R, SHEN L B, et al. A review on plant resistance to insect pests[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2014, 34(9): 61-68.
- [37] 武路广, 霍梅俊, 刘思奇, 等. 白羊草干草产量与主要农艺性状的多元回归及通径分析[J]. 草地学报, 2013, 21(4): 697-701.
- WU L G, HUO M J, LIU S Q, et al. Estimating Hay Yield and agronomic traits of *Bothriochloa ischaemum* (L.) using multivariate linear regression and path analysis[J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(4): 697-701.
- [38] 安丽, 孟庆磊, 董学颀, 等. 澳洲长鳍鳗各形态性状对体重的影响效果分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(2): 60-64.
- AN L, MENG Q L, DONG X S, et al. Mathematical analysis of effects of morphometric attributes on body weight for *Anguilla reinhardtii* [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(2): 60-64.
- [39] 常润磊, 周旭东. 桉树枝瘦姬小蜂国外研究现状[J]. 中国森林病虫, 2010, 29(1): 22-25.
- CHANG R L, ZHOU X D. Research status on *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle in foreign countries[J]. Forest Pest and Disease, 2010, 29(1): 22-25.
- [40] ZHENG X L, LI J, YANG Z D, et al. A review of invasive biology, prevalence and management of *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle (Hymenoptera: Eulophidae: Tetrastichinae)[J]. African Entomology, 2014, 22(1): 68-79.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 187 页 Continue from page 187)

- [11] 郭乐东, 张卫强, 李召青, 等. 粤北不同年龄桉树林植物多样性研究[J]. 生态科学, 2015, 34(3): 65-70.
- GUO Y D, ZHANG W Q, LI Z Q, et al. Plant biodiversity on *Eucalyptus* plantations of different ages in Northern Guangdong [J]. Ecological Science, 2015, 34(3): 65-70.
- [12] 叶绍明, 温远光, 杨梅, 等. 连栽桉树人工林生产力和植物多样性及其相关性分析[J]. 西北植物学报, 2010, 30(7): 1458-1467.
- YE S M, WEN Y G, YANG M, et al. Correlation analysis on productivity and plant diversity of *Eucalyptus* plantations under successive rotation[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(7): 1458-1467.
- [13] ABRAMS P A. Monotonic or unimodal diversity-pro-
- ductivity gradients: What does competition theory predict[J]. Ecology, 1995, 76(7): 2019-2027.
- [14] LEGENDRE P, ANDERSON M J. Distance-based redundancy analysis: Testing multispecies responses in multifactorial ecological experiments [J]. Ecological Monographs, 1999, 69(1): 1-24.
- [15] 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.

(责任编辑: 陆 雁)