

连栽对桉树人工林植被盖度、物种多样性及功能群的影响^{*}

Effect of Successive Rotations on Vegetation Cover, Species Diversity and Functional Groups in Eucalypt Plantations of South China

温远光^{1,2,*}, 左花¹, 朱宏光¹, 刘世荣³, 梁宏温¹, 黄雪蔓¹, 李晓琼¹, 罗应华^{1,2}

WEN Yuan-guang^{1,2}, ZUO Hua¹, ZHU Hong-guang¹, LIU Shi-rong³, LIANG Hong-wen¹, HUANG Xue-man¹, LI Xiao-qiong¹, LUO Ying-hua^{1,2}

(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, 友谊关森林生态系统定位研究站, 广西凭祥 532600; 3. 中国林科院森林生态与保护研究所, 北京 100091)

(1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Experiment Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China; 3. Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091, China)

摘要:【目的】研究和阐明桉树 (*Eucalyptus* spp.) 连栽对植被盖度、植物多样性和功能群的影响。【方法】采用空间代替时间和定位监测相结合的方法, 对 I ~ III 代连栽林分的植被盖度、植物多样性和功能群进行研究。【结果】连栽不仅降低林下植物的物种多样性, 还将改变植物的功能群组成; 连栽降低乔木和藤本植物营养体和种子库的有效性, 增强草本植物的有效性。不同连栽代数植被盖度与植物多样性的关系不同。第 I 代林的物种丰富度与林冠层盖度和灌木层盖度呈紧密的正相关 ($P < 0.05$, $n = 18$), 而第 II 代林和第 III 代林则表现为紧密的负相关 ($P < 0.05$, $n = 18$)。连栽对乔木层盖度影响不大, 但显著地降低灌木、草本层的盖度。【结论】连栽对植物多样性具有显著的负效应。随着连栽代数的增加, 林下植物功能群向草本、小型和一年生植物功能群转变趋势明显。

关键词: 植物多样性 植物功能群 连栽 桉树

中图分类号: Q145 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2014)05-0463-06

Abstract:【Objective】This paper aimed to evaluate the effects of multi-successive rotations on vegetation cover, species diversity and functional groups in eucalypt plantation.【Methods】By the methods of time-space series analysis and field monitoring, the vegetation cover, species diversity and functional groups were studied from first to third successive rotations in eucalypt plantation.【Results】The successive rotations of eucalypt plantation revealed not only to reduce species diversity but also to change the composition of plant functional groups. The successive short-rotation of eucalypt plantation decreased propagule availability of tall tree and vine species, but increased grasss. The relationship between vegetation cover and plant species diversity was different among different successive rota-

收稿日期: 2014-06-08

作者简介: 温远光(1957-), 男, 博士, 教授, 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(2012BAD22B01), 广西重大专项计划项目(1222005)和广西教育厅重大项目资助。

** 通讯作者。

tions of eucalypt plantations. The species richness was significant positive for canopy cover and shrub layer cover of understory vegetation in first rotation stands ($P < 0.05$, $n = 18$), but was significant negative in second rotation stands and third rotation stands of eucalypt plantations ($P < 0.05$, $n = 18$). The successive rotation reduced to the understory vegetation cover strongly, but showed a little influence on the canopy cover. **【Conclusion】**The successive rotation in eucalypt plantation had significant negative effects on plant species diversity. The plant functional group trended obviously to the grass, small-sized and annual plants over successive rotations.

Key words: plant species diversity, functional type, successive rotation, eucalypt

【研究意义】随着人们对生物多样性和生态系统功能认识的不断深化,以及森林生态系统可持续经营的需要,人工林的经营目标已不仅仅是生产木材产品,还包括维持生态系统的稳定性和可持续性^[1,2]。一般认为,在森林生态系统中,物种多样性影响森林生态系统的组成,进而影响其结构与功能,决定着森林生态系统的功能特征及稳定性^[3]。林下植被是森林生态系统中生物多样性和生态可持续性的指示者^[4,5],在人工林可持续经营中发挥着重要作用^[1,6,7]。植物生活型和种子扩散方式是植物对人类干扰反应的重要性状,近年来受到许多研究者的关注^[8~10]。它有利于阐明和理解人工林生态系统的生态功能及其变化^[4]。因而人工林的生物多样性和功能群已经成为人工林生态可持续性和生态系统可持续经营研究的热点^[11,12]。**【前人研究进展】**桉树(*Eucalyptus* spp.)人工林对生物多样性的影响研究始于20世纪80年代初,早期的研究主要集中在桉树林下物种数量的变化,陈秋波^[13]对此进行了综述。近年来,随着桉树人工林连栽代数的增加和规模的扩大,连栽对生物多样性的影响倍受关注^[14]。余雪标等^[15]采用空间代替时间方法对经营I~IV代的桉树人工林的植物多样性进行了比较研究,指出连栽使植物多样性显著减少。温远光等^[16]在同一片林地I~II代林进行了5年的监测研究,得出第II代林分的植物物种丰富度和Shannon-Wiener指数分别比第I代林分低39.39%和17.76%。然而,有关桉树人工林对生物多样性的影响还存在许多争论^[14,17,18]。**【本研究切入点】**关于连栽对桉树人工林植物多样性,特别是功能群的影响研究甚少,尤其缺乏同一地点的长期监测研究^[14,15,19,20]。**【拟解决的关键问题】**在华南地区,如何科学、合理地经营桉树人工林,有效提高林地生产力和维持物种多样性,是桉树人工林可持续经营中迫切需要解决的关键问题。本研究通过一个经营周期(7年)对I~III代桉树连栽林分的植被盖度、物种多样性和功能群进行定位研究,探讨连栽与群落植被盖度、植物多样性及功能群的关系,以期对桉树人

工林的生物多样性效应评价和可持续经营提供科学依据。

1 研究区环境概况

研究区域位于广西国营东门林场(22°17'~22°30'N, 107°14'~108°00'E),该场桉树人工林栽培历史较早、面积较大,具有大面积多代连栽林地。地形为低丘,属北热带半湿润气候区,年平均气温21.2~22.3℃,最冷月(1月)平均气温12.5~13.8℃,最热月(7月)平均气温27.2~28.6℃,极端最高气温38~41℃,极端最低气温-4.0~1.9℃,全年 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年积温7190~7762℃。年降雨量1100~1300mm,主要集中在6~8月,约占全年降雨量的51%;蒸发量1600mm,大于降雨量;相对湿度75%;年日照时数1634~1719h,太阳辐射439.64~452.20kJ·cm⁻²·yr⁻¹。土壤为赤红壤,质地粘重,土壤肥力较差,pH值5.0~5.5。地带性植被为常绿季雨林^[21],目前已演变为桉树人工林和甘蔗(*Saccharum sinensis*)等为优势的植被^[16]。

2 研究方法

2.1 研究立地的选择与试验设计

在东门林场雷卡分场,选择地形、土壤、气候因子相同或相似,桉树连栽代数不同的立地,于1997年10月对不同连栽立地上的林木进行皆伐,经炼山清理和机耕全垦整地后,于1998年4月采用尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*)造林,株行距为3.4m × 1.7m;造林时施基肥0.5kg/株,每年追肥两次,总施N 220kg/hm²,P 150kg/hm²,K 100kg/hm²,连续追肥两年,造林当年采用扩坎抚育。实施造林后,分别在不同连栽代数立地设3个面积为30m × 20m的样方,样方编号为FR-1、FR-2、FR-3,SR-1、SR-2、SR-3和TR-1、TR-2、TR-3(表1),将每个600m²样方细分为6个10m × 10m的样方,编号为1,2,3,4,5,6样方,分别在每个600m²样方内的1,3,5号样方设置1个2m × 2m的小样方。

表 1 试验样地的林分及环境概况

Table 1 Stand factors and soil variables of eucalypt plantation in different rotations

立地 Site		土壤容重 Soil bulk density (g/cm ³)	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)
I代	1	1.17±0.08	19.17±5.27	0.76±0.10	0.47±0.04	2.82±0.30
FR*	2	1.10±0.09	18.29±5.07	0.71±0.10	0.51±0.08	2.63±0.16
	3	1.16±0.11	21.15±6.05	0.78±0.14	0.53±0.04	2.54±0.20
	1	1.12±0.07	16.73±2.11	0.74±0.09	0.47±0.03	3.14±0.13
II代	2	1.11±0.08	23.11±3.94	0.69±0.10	0.51±0.03	2.62±0.24
	3	1.18±0.10	21.61±3.44	0.72±0.08	0.53±0.05	2.15±0.06
	1	1.26±0.15	16.51±2.37	0.52±0.05	0.21±0.06	1.05±0.14
III代	2	1.37±0.17	18.12±1.87	0.58±0.05	0.18±0.01	1.30±0.23
	3	1.30±0.17	16.05±2.86	0.55±0.05	0.16±0.02	1.14±0.17

* FR:桉树连栽代数为I;SR:桉树连栽代数为II;TR:桉树连栽代数为III。1,2和3为同一类型的不同重复。

* FR: The first rotation of eucalypt plantation; SR: The second rotation of eucalypt plantation; TR: The third rotations of eucalypt plantation. 1, 2, and 3 are three replicates for the same type.

2.2 植物多样性调查

分别于试验初期(1998年4月)和试验期末(2005年8月),对不同连栽代数各10m×10m样方进行每木调查,每年的12月对各2m×2m样方进行群落调查,记录所有植物种名、个体数、高度和覆盖度;同时记录乔木层、灌木层和草本层的总盖度。

2.3 统计分析

以群落不同层次的覆盖度表示林分的结构特征,以物种丰富度(S)和Shannon-Wiener指数(H')来表征植物的多样性特征^[22]。将植物生活型划分为7种类型,即乔木、小乔木、灌木、藤本、多年生草本、一年生草本和蕨类植物。将种子扩散类型划分为鸟类、小型动物、风力和重力传播4种^[4],以分析植物功能群组成的变化。为了检验不同连栽代数间植物多样性和功能群组成的差异,采用EXCELL和SPSS软件进行数据处理、差异性检验和去趋势对应分析(DCA)。

3 结果与分析

3.1 植被结构的变化

不同连栽代数林分1998和2005年林冠层盖度(CC)、灌木层盖度(SLC)和草本层盖度(HLC)的变化如图1所示。统计分析表明,1998和2005年不同连栽代数林分的林冠层、灌木层和草本层覆盖度存在极显著差异($P < 0.000$,图1),显示出造林后,经过7年的林分生长,各代林分植被盖度均有明显增加。2005年不同连栽代数林分的灌木层盖度、草本层盖度存在显著差异(SLC: $P < 0.002$; HLC: $P < 0.047$;图1),而1998年的差异不显著(SLC: $P = 0.062 \sim 0.575$; HLC: $P = 0.051 \sim 0.948$;图1)。无论是1998年还是2005年林分间林冠层盖度均无显

著差异($P = 0.059 \sim 0.786$;图1)。

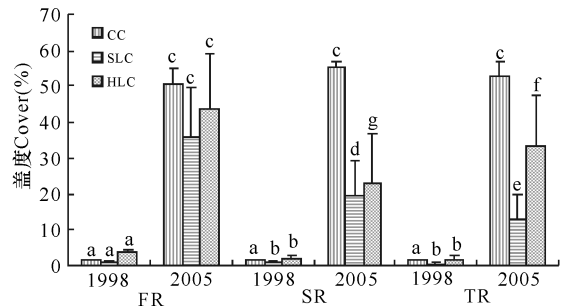


图1 不同连栽代数林分1998和2005年CC、SLC和HLC的变化

Fig. 1 Changes in CC, SLC and HLC among different successive rotation stands between 1998 and 2005

注:图中数据为平均值($n = 18$),柱上方不同字母表示不同连栽代数同一层次间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Means significantly different within each layer ($n = 18$) were labeled by different letters ($P < 0.05$).

3.2 群落物种组成、丰富度和多样性的变化

调查表明,从1998到2005年,各林分的物种组成均有明显的增加。至2005年试验期末,三类林分总物种数为116种,其中第I代、第II代和第III代林分的物种数分别是71种、49种和58种。差异显著性分析表明,除第I代与第III代的物种多样性指数差异不显著外,其余林分的物种丰富度和多样性指数均存在显著差异(表2)。DCA分析发现,三类林分木本植物DCA的第一轴和第二轴数值差异显著,而草本植物的第一轴差异显著、第二轴趋势不明显(轴1: $P < 0.05$;轴2: $P > 0.05$),表明不同连栽代数群落木本植物和草本植物的物种组成存在明显变化(表3)。

3.3 植物功能群的变化

图2显示,不同连栽代数林分的植物功能群组成存在差异。与第I代相比,第II代和第III代具有较少

表 2 不同连栽代数林分的物种丰富度 (S) 和香浓-威纳指数 (H') 的差异 (2005)

Table 2 Differences in the species richness (S) and species diversity index (H') among different successive rotation stands (2005)

差异来源 Variation sources	第 I 代 FR		第 II 代 SR		第 III 代 TR	
	平均值 Mean	标准差 S. D.	平均值 Mean	标准差 S. D.	平均值 Mean	标准差 S. D.
物种丰富度 Species richness (S)	21.11	4.20a	11.28	2.84b	15.11	2.80c
香浓-威纳指数 Species diversity index (H')	2.31	0.17a	1.58	0.21b	2.20	0.22a

注:表中数据为平均数和标准差 (n=18);同一行数值后有不同字母表示差异显著 (P<0.001)。

Note: The values followed by different letters in the same line were statistically different (P<0.001).

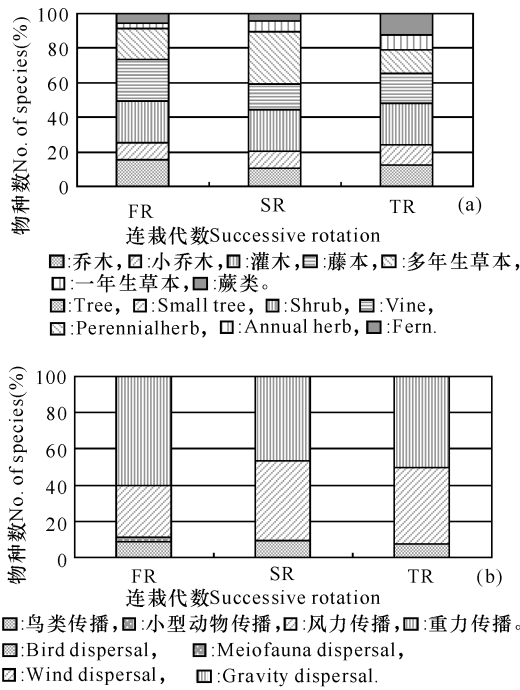


图 2 不同连栽代数植物生活型(a)和种子传播类型(b)的比较

Fig. 2 Comparison of life-form (a) and seed-dispersal type (b) among different successive rotation of eucalypt plantation

表 3 不同连栽代数去趋势对应分析中第一轴和第二轴数值比较

Table 3 Comparison of the first and second axis scores from the detrended correspondence analysis on different successive rotations of eucalypt plantations

差异来源 Variation sources	第 I 代 FR		第 II 代 SR		第 III 代 TR		P-value
	平均值 Mean	标准差 S. D.	平均值 Mean	标准差 S. D.	平均值 Mean	标准差 S. D.	
灌木层 Shrub layer							
第一轴 Axis 1	0.235	0.125a	0.408	0.057b	0.749	0.030c	0.01
第二轴 Axis 2	0.415	0.185a	0.739	0.025b	0.481	0.116a	0.01
草本层 Herb layer							
第一轴 Axis 1	0.325	0.045a	0.297	0.096a	0.705	0.178b	0.01
第二轴 Axis 2	0.315	0.060a	0.512	0.254a	0.392	0.119b	0.18

注:表中数据为平均数和标准差 (n=6);同一行数值后有不同字母表示差异显著 (P<0.01)。

Note: Different letters indicate significant differences in the same line among forest types at P<0.01.

的乔木和藤本植物,而具有较多的一年生植物;第 II 代林分具有最多的多年生草本,而第 III 代林分则具有最多的蕨类植物(图 2a)。在种子传播类型上,连栽林分的小型动物传播物种显著低于对照(第 I 代)林分 (P<0.001),而风和鸟类传播种类则高于对照林分,但差异不显著 (P=0.25~0.60,图 2b)。

3.4 不同年龄植物丰富度和多样性的变化

不同连栽代数按树人工林植物丰富度和多样性指数随年龄的变化如图 3 所示。从图 3 可以看出,第 I 代比第 II 代和第 III 代林分有较高的物种多样性,其中第 I 代与第 II 代林分的物种丰富度和多样性指数存在显著差异,与第 III 代的差异不显著;第 II 代与第 III 代林分的多样性指数在 2003 和 2004 年间存在显著差异,其它年份差异不显著。

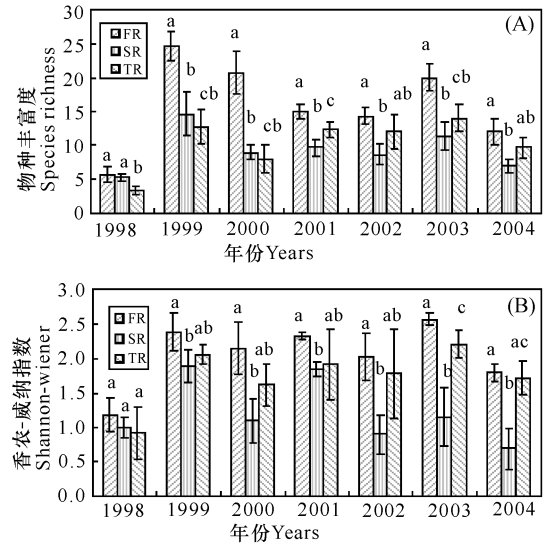


图 3 不同连栽代数不同年龄物种丰富度(A)和多样性指数(B)的变化

Fig. 3 Changes in S (A) and H' (B) among different rotations in different years

注:图中数据为平均值 (n=3),柱上方不同字母表示不同连栽代数同一年份间差异显著 (P<0.05)。

Note: Means significantly different within each layer (n=3) were labeled by different letters (P<0.05).

4 讨论

4.1 连栽对植被盖度和植物多样性的影响

林冠盖度与林下植物多样性的关系错综复杂,呈正相关和负相关的报道均有^[15,23,24]。本研究发现,连栽与对照林分(第Ⅰ代)的植被盖度与植物多样性的关系有所不同。对照林分的物种丰富度与乔木盖度和灌木层盖度呈紧密的正相关($P < 0.05$, $n = 18$),而第Ⅱ代林分和第Ⅲ代林分则表现为紧密的负相关($P < 0.05$, $n = 18$);林冠盖度、灌木层盖度和草本层盖度与物种丰富度(草本层)、物种多样性指数存在一定的负相关,但相关都不紧密($P > 0.05$, $n = 18$);林冠盖度、灌木层盖度和草本层盖度相关也不紧密($P > 0.05$, $n = 18$)。王磊等人^[24]对泯江上游油松(*Pinus tabulaeformis*)人工林研究表明,林下物种丰富度与总盖度呈显著正相关,但在灌木层和草本层内部,物种丰富度与盖度间没有显著相关性。本研究发现物种丰富度在连栽林地普遍较低,在对照林分较高。林下物种丰富度受到群落总盖度的影响^[24]。虽然连栽与对照林分林冠层的盖度相差不大,但林下灌草层的盖度却存在显著差异。其原因主要是连栽体制下(炼山、机耕整地、施肥、抚育等)降低了杂草对水肥的竞争,解除土壤养分缺乏的限制作用,有利于林木的生长发育,因此连栽与对照林分的乔木盖度相差不大;然而,连栽体制下不利于林下植被盖度的发育,导致连栽代数高的林分,林下植被盖度较低,尤其是灌木层的盖度。桉树为强阳性树种,树冠小,林分郁闭度较小(通常为0.4~0.5),叶面积指数仅为1.5~2.9^[25],林下植被盖度较大可以起到有效地调节作用,有利于植物多样性的提高。

4.2 干扰历史效应对林下植被盖度和植物多样性的影响

关于物种组成的维持机制有两种解释:即干扰历史效应机制和干扰历史与现实环境作用机制^[26]。Takafumi认为干扰对物种多样性的影响将持续20~80年,森林管理应该考虑干扰历史对林下生物多样性维持的长期效应^[26]。干扰历史将通过改变植物营养体的有效性和生境结构来影响物种丰富度,而且干扰历史对林下植物丰富度的影响比现实环境因子的影响更显著^[27]。从理论上讲,应该是连栽代数越多,干扰强度越大,林下植被盖度和物种多样性越低。本研究结果中,虽然在连栽体制下林下植被盖度和物种多样性总体上随着连栽代数的增加而减少,但并不是呈显著的线性递减关系,而是出现第Ⅰ代林分反而低于第Ⅲ代林分的情况。针对此种现象,我们进一步从

干扰历史效应上找原因,发现第Ⅱ代林分在第Ⅰ代桉林经营中采取了机耕全垦翻犁和林粮间作(套种木薯)等措施。这种翻犁和林粮间作将大大地降低土壤种子库和营养体的有效性(通常是被土壤深埋和清除)^[25],而土壤种子库和营养体是林下植被快速恢复的重要基础^[28]。桉树人工林植物多样性的降低取决于初始植物繁殖体组成的丰富程度^[16],高强度干扰的连栽方式特别是第Ⅱ代林分采取的翻犁、林粮间作使某些仅以种子(果实)传播的物种丧失,或使营养体萌芽更新能力丧失,造成第Ⅱ代林地初始植物繁殖体组成多样性的降低,从而导致林地的物种多样性减少。因此,第Ⅱ代林分特殊的干扰历史效应是造成其林分的物种丰富度和多样性指数显著低于第Ⅰ代林分,甚至低于第Ⅲ代林分的主要原因。而且翻犁和林粮间作对林下植被盖度和物种多样性的负作用远大于一次连作。我们认为,利用以空间代替时间的方法研究人工林植被盖度和物种多样性的动态变化,必须高度重视干扰历史效应的作用,否则,将会被一些扑朔迷离的现象所迷惑而无法解释。

4.3 连栽对植物功能群组成的影响

连栽不仅影响桉树林下植物的物种多样性,还影响植物的功能群组成。主要原因是连栽产生的反复炼山等干扰效应使不耐火的物种丧失,而耐火的种类得以保存。例如,连栽使盐肤木(*Rhus chinensis*)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum*)、白茅(*Imperata cylindrica*)等种类的重要值增加,而使潺槁树(*Litsea glutinosa*)、五节芒(*Miscanthus floridulus*)等种类的重要值减少。显然,前一类植物多属耐火的阳性植物,而后一类植物为偏中生性的植物^[29]。同时连栽林下植被盖度小,有利于一年生植物和阳性杂草入侵,从而使连栽林分的植物功能群结构改变。本研究发现,随着连栽代数的增加,林下植物功能群向草本、小型和一年生植物功能群转变的趋势明显。

参考文献:

- [1] Moore S E, Allen E L. Plantation forestry[M]//Hunter Jr M L. Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press, 1999: 400-433.
 - [2] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests[J]. Forest Ecology and Management, 2002, 155: 81-95.
 - [3] 于立忠,朱教君,史建伟,等. 辽东山区人工阔叶红松林植物多样性与生产力研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12): 2225-2230.
- Yu L Z, Zhu J J, Shi J W, et al. Productivity and species

- diversity of artificial broad-leaved Korean pine forests in eastern Liaoning mountainous areas[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(12): 2225-2230.
- [4] Nagaike T, Hayashi A, Abe M, et al. Differences in plant species diversity in *Larix kaempferi* plantations of different ages in central Japan [J]. Forest Ecology and Management, 2003, 183, 177-193.
- [5] Bengtsson J, Nilsson S G, Franc A, et al. Biodiversity, disturbances, ecosystem function and management of European forests[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 132; 39-50.
- [6] Nagaike T, Hayashi A, Kubo M, et al. Plant species diversity in a managed forest landscape composed of *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in central Japan[J]. Forestry Sciences, 2006, 52; 324-332.
- [7] Nagaike T, Hayashi A, Kubo M, et al. Changes in plant species diversity over 5 years in *Larix kaempferi* plantations and abandoned coppice forests in central Japan[J]. Forest Ecology and Management, 2006, 236; 278-285.
- [8] Thomas S C, Halpern C B, Falk D A, et al. Plant diversity in managed forests: Understory responses to thinning and fertilization[J]. Ecology Applied, 1999, 9; 864-879.
- [9] McLachlan S M, Bazely D R. Recovery patterns of understory herbs and their use as indicators of deciduous forest regeneration[J]. Conservation Biology, 2001, 15; 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; 111-123.
- [11] Newmaster S G, Parker W C, Bell F W, et al. Effects of forest floor disturbances by mechanical site preparation on floristic diversity in a central Ontario clearcut [J]. Forest Ecology and Management, 2007, 246; 196-207.
- [12] 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; 321-337.
- [13] 陈秋波. 桉树人工林生物多样性研究进展[J]. 热带作物学报, 2001, 4; 82-90.
Chen Q B. A review of researches on biodiversity in *Eucalyptus* plantations[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2001, 4; 82-90.
- [14] 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.
- [15] 余雪标, 钟罗生, 杨伟东, 等. 桉树人工林林下植被结构的研究[J]. 热带作物学报, 1999, 20(1): 66-72.
Yu X B, Zhong L S, Yang W D, et al. Structure of understory vegetation in *Eucalyptus* plantations [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 1999, 20(1): 66-72.
- [16] 温远光, 刘世荣, 陈放. 连栽对桉树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 understory species diversity in *Eucalyptus* plantations[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(9): 1667-1671.
- [17] 苏里, 许科锦. 广西玉林市 4 种人工林林下植被物种多样性研究[J]. 广西科学, 2006, 13(4): 316-320.
Su L, Xu K J. A study on species diversity in undergrowth vegetation of four plantations at Yulin, Guangxi [J]. Guangxi Sciences, 2006, 13(4): 316-320.
- [18] 温远光, 刘世荣, 陈放. 桉树工业人工林的生态问题与可持续经营[J]. 广西科学院学报, 2005, 21(1): 13-18.
Wen Y G, Liu S R, Chen F. The ecological problems and sustainable management of *Eucalyptus* industrial plantation [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2005, 21(1): 13-18.
- [19] Roberts M R, Gilliam F S. Disturbance effects on herbaceous layer vegetation and soil nutrients in *Populus* forests of northern lower Michigan [J]. Journal of Vegetation Sciences, 1995, 6; 903-912.
- [20] Ramovs B V, Roberts M R. Response of plant functional groups within plantations and naturally regenerated forest in southern New Brunswick, Canada [J]. Canadian Journal of Forestry Research, 2005, 35; 1261-1276.
- [21] 李治基. 广西森林[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 1-612.
Li Z J. Guangxi Forests [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2001: 1-612.
- [22] Magurran A E. Ecological Diversity and Its Measurement [M]. Princeton: Princeton University Press, 1988.
- [23] 盛炜彤. 不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J]. 林业科学研究, 2001, 5; 463-471.
Sheng W T. A long-term study on development and succession of undergrowth vegetations in Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations with different density [J]. Forest Research, 2001, 5; 463-471.
- [24] 王磊, 孙书存, 高贤明. 岷江上游人工油松林群落空间结构: 物种丰富度和盖度[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 8-12.
Wang L, Sun S C, Gao X M. Community spatial structure of a Chinese pine plantation in the upper reaches of the Minjiang River: Species richness and coverage [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(6): 8-12.

(下转第 483 页 Continue on page 483)

[15] 刘红梅,王祖华,关庆伟,等.间伐对杉木和马尾松人工林生长及植物多样性的影响[J].林业科技开发,2010,24(3):33-37.
Liu H M,Wang Z H,Guan Q W,et al. The effects of thinning on the growth and plant diversity in Chinese fir and *Pinus massoniana* plantations[J]. China Forestry Science and Technology,2010,24(3):33-37.

[16] 蔡庆焰.马尾松人工林间伐套种凹叶厚朴生长分析[J].福建林业科技,2010,37(3):16-20.
Cai Q Y. Analysis of interplanting *Magnolia biloba* after intermediate cuttings of *Pinus massoniana* [J].

Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2010,37(3):16-20.

[17] 邹绍荣.套种对马尾松林分生长和土壤理化性质的影响[J].林业勘察设计,2009(2):64-67.
Zou S R. Effect of interplanting on masson pine stand and the physics and chemistry character of soil[J]. Forestry Prospect and Design,2009(2):64-67.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第 468 页 Continue from page 468)

[25] 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.

[26] Whitney G G, Foster D R. Overstorey composition and age as determinants of the understory flora of central New England's woods[J]. Journal of Ecology, 1988, 76: 867-879.

[27] 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: 843-857.

[28] 唐勇,曹敏,张建侯,等.西双版纳热带森林土壤种子库与地上植被的关系[J].应用生态学报,1999,10(3):

279-282.

Tang Y, Cao M, Zhang J H et al. Relationship between soil seed bank and aboveground vegetation in tropical forest of Xishuangbanna[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(3): 279-282.

[29] 温远光.常绿阔叶林退化生态系统恢复过程物种多样性的发展趋势与速率[J].广西农业大学学报,1998,17(2):93-106.

Wen Y G. Restorative trend and rate of the species diversity of recovering process in degraded ecosystem of evergreen broad-leaved forest [J]. Journal of Guangxi Agricultural University, 1998, 17(2): 93-106.

(责任编辑:陈小玲)