

除草剂对桉树人工林生物量和碳储量的影响^{*}

温远光^{1,2,3**}, 左晓庆¹, 周晓果^{1,3}, 朱宏光^{1,2}, 王 磊¹, 蔡道雄^{2,4}, 贾宏炎^{2,4}, 明安刚^{2,4}, 卢立华^{2,4}

(1. 广西大学林学院, 广西森林生态与保育重点实验室, 广西南宁 530004; 2. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西凭祥 532600; 3. 广西科学院生态产业研究院, 广西南宁 530007; 4. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西凭祥 532600)

摘要: 除草剂在全球桉树人工林经营中的应用十分普遍, 但人们对除草剂施用对人工林生态系统生物量和碳储量的影响还知之甚少, 本研究旨在评估除草剂对生物量和碳储量的影响, 为林下植被管理提供科学建议。本研究以 2015 年建立的桉树人工林为对象, 开展低浓度高频率(LHF)、中浓度中频率(MMF)和高浓度低频率(HLF)除草剂喷施试验, 并以人工除草为对照, 分别于造林后 33 月、39 月和 51 月对试验林分的生物量和碳储量进行研究。结果表明, 除草剂对桉树生物量和碳储量没有显著影响, 但对林下植被生物量和碳储量存在明显的负作用, HLF 处理对生态系统碳储量也存在显著的负效应, 而人工除草抚育能提高林下植被生物量、碳储量以及生态系统碳储量。因此, 从碳汇林业的视角考虑, 建议生产上减少除草剂的施用, 而采取人工砍草抚育为宜。

关键词: 除草剂 生物量 碳储量 桉树人工林 草甘膦

中图分类号: S718.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2020)02-0128-08

DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20200423.001



微信扫一扫, 与作者在线交流(OSID)

0 引言

桉树具有适应性强、生长快速、产量高、效益好等优点, 成为全球热带和亚热带地区短周期人工林重要的用材树种^[1-2]。截至 2019 年我国桉树人工林面积突破 546 万 hm^2 , 居全球第二位, 而广西的桉树人工林面积达 256 万 hm^2 , 居全国首位。桉树在保障国家木材安全和应对气候变化等方面发挥了重要的作用^[3]。森林抚育是森林培育的关键技术, 传统上通常

采取人工砍草抚育, 导致营林成本增加。化学除草剂使用方便、作用迅速、除草效果明显、成本低、易于大面积使用, 因而成为农林业生产中杂草防治的主要方式^[2,4]。近 10 余年来, 除草剂在桉树人工林中的应用越来越普遍^[5-6], 有关除草剂对林分生长量、物种多样性的影响有了一些研究, 认为除草剂可以改变植物群落的组成^[5], 降低植物覆盖和碳输入等^[4-6], 但关于除草剂对桉树人工林生物量和碳储量影响的试验研究极少^[7]。本研究于 2015 年初在广西钦州市钦南区广

^{*} 国家自然科学基金项目(31860171, 31460121), 广西重点研发计划项目(2018AB40007), 广西自然科学基金项目(2017GXNSFAA198114), 广西高等学校重大科研项目(201201ZD001), 广西森林生态与保育重点实验室开放课题项目(QZKFKT2017-01)和广西林业厅科研项目(桂林科学[2009]第八号)资助。

【作者简介】

温远光(1957—), 男, 博士生导师, 教授, 主要从事森林生态和森林培育学研究, E-mail: wenyg@263.net。

【**通信作者】

【引用本文】

温远光, 左晓庆, 周晓果, 等. 除草剂对桉树人工林生物量和碳储量的影响[J]. 广西科学, 2020, 27(2): 128-135.

WEN Y G, ZUO X Q, ZHOU X G, et al. Effects of Glyphosate Herbicides Application on Biomass and Carbon Stocks in *Eucalyptus* Plantations [J]. Guangxi Sciences, 2020, 27(2): 128-135.

西大学林学院与 APP·中国共同建立的研究基地,开展了不同浓度、不同频率除草剂喷施试验,旨在揭示低浓度高频率、中浓度中频率和高浓度低频率施用除草剂条件下,桉树人工林生物量和碳储量的响应机制及作用规律,为除草剂的安全施用和生态营林提供科学建议。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区域位于广西钦州市钦南区大番坡镇(地处北纬 $21^{\circ}49'$, 东经 $108^{\circ}38'$), 丘陵地貌, 南邻北部湾, 主要受海洋气候影响, 是我国湿热多雨的地区之一。该地区年平均气温 $21.7\text{--}22.8^{\circ}\text{C}$, 极端最低温 -2.0°C , 极端最高温 41.0°C , 全年 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温 $7\ 220\text{--}7\ 812^{\circ}\text{C}$; 历年平均降雨量为 $2\ 104.2\ \text{mm}$, 由于季风影响, 降雨分布不均, 干湿季分明; 每年 4—9 月为雨季, 降雨集中, 占全年降雨量的 80%; 10 月至次年 3 月为干季, 降雨量少, 占 20%。空气潮湿, 年均相对湿度达 80%。土壤类型为砖红壤。原生植被几无残存, 20 世纪 90 年代主要是马尾松低产林, 1997 年开始大面积营造桉树人工林。

1.2 试验林的营造与试验设计

2014 年 10 月对试验地进行人工清理和整地, 2015 年 4 月完成试验林营造, 桉树造林的株行距为 $1.25\ \text{m}\times 4.00\ \text{m}$, 密度为 $2\ 000\ \text{株}/\text{hm}^2$ 。造林前, 每株桉树施复合肥基肥 $550\ \text{g}$ 作为基肥, 造林后前 2 年, 每年春季追施桉树专用肥 $250\ \text{g}/\text{株}$ 。试验林总面积约 $30\ \text{hm}^2$ 。

试验设置 4 种除草方式, 即连续 3 年人工除草 (Manual Tending, MT)、连续 3 年低浓度高频率化学除草抚育 (Low-dose High-frequency, LHF)、连续 2 年中等浓度中频率化学除草抚育 (Medium-dose Medium-frequency, MMF)、造林当年高浓度低频率化学除草抚育 (High-dose Low-frequency, HLF)。在不同处理之间保留有 $10\ \text{m}$ 以上的隔离带。

试验中, 除草剂为 41% 草甘膦 (异丙胺盐水剂), 3 种浓度的除草剂总用量相同, 均为 $1\ 200\ \text{mL}/667\ \text{m}^2$ 。其中: LHF 每次使用的浓度为 $200\ \text{mL}/667\ \text{m}^2$ (41% 草甘膦 $200\ \text{g}$ 兑水 $15\ \text{kg}$ 进行喷施, 采用 16 型背负式喷雾器及 $0.7\ \text{mm}$ 喷片进行喷雾), 每年喷施 2 次 (4—5 月和 8—9 月), 连续喷施 3 年; MMF 每次使用的浓度为 $300\ \text{mL}/667\ \text{m}^2$, 每年喷施 2 次 (4—5 月和 8—9 月), 连续喷施 2 年; HLF 每次使用的浓度

为 $600\ \text{mL}/667\ \text{m}^2$, 在试验第 1 年喷施 2 次 (4—5 月和 8—9 月)。MMF 处理为生产中普遍使用的浓度。

1.3 林分生物量调查及估算

在不同处理的代表性地段, 共设置 12 个 $30\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 研究样地, 每处理 3 次重复。分别于 2018 年 1 月、7 月和 2019 年 7 月, 将每个 $30\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 的样地再细分为 6 个 $10\ \text{m}\times 10\ \text{m}$ 的样方, 调查每个样方林木的胸径、树高等; 在每个 $30\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 样地的上、中、下坡设 3 个 $5\ \text{m}\times 5\ \text{m}$ 的灌木层调查样方和 3 个 $2\ \text{m}\times 2\ \text{m}$ 的草本层调查样方, 采用收获法测定灌木层和草本层的生物量。乔木层的生物量按早期建立的桉树各器官生物量回归方程计算^[7]。

1.4 土壤样品采集和分析

在每个 $30\ \text{m}\times 20\ \text{m}$ 样方中心以及距离样方中心 $9\text{--}10\ \text{m}$ 处, 每隔 45° 设置一个采样点, 共 9 个采样点, 用内径为 $8.5\ \text{cm}$ 的不锈钢土钻采集 $0\text{--}20\ \text{cm}$ 、 $20\text{--}40\ \text{cm}$ 、 $40\text{--}60\ \text{cm}$ 3 个土层的土样, 去除植物根系及石砾, 分别制成每层的混合土样后过 $2\ \text{mm}$ 孔径筛, 风干后采用重铬酸钾外加热法测定土壤有机碳含量^[8]。同时, 在每个样方中随机挖取 2 个土壤剖面, 分为 $0\text{--}20\ \text{cm}$ 、 $20\text{--}40\ \text{cm}$ 、 $40\text{--}60\ \text{cm}$ 3 个土层, 采用环刀法测定土壤容重^[9]。

1.5 植物和土壤有机碳的估算

植物生物量碳储量是根据植物不同器官的生物量和含碳率 (0.47) 进行换算^[9]。

土壤碳储量按下式计算:

$$S_i = 10^{-2} \times D_i \times C_i \times H_i,$$

式中, S_i 为土壤第 i 层土壤单位面积的碳储量, 单位 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$; D_i 为第 i 层土壤的容重, 单位 g/cm^3 ; C_i 为第 i 层土壤的含碳率, 百分含量; H_i 为第 i 层土壤的土层厚度, 单位 cm 。

1.6 数据统计分析

采用单因素方差分析 (One-way ANOVA) 不同林龄不同处理林分生物量、碳储量的差异, 用 S-N-K 法进行显著性检验; 分析均用 SPSS 19.0 (SPSS, Inc, Chicago, IL) 软件完成, 显著性水平设 $P < 0.05$, 用 Sigmaplot 11.0 软件绘图。

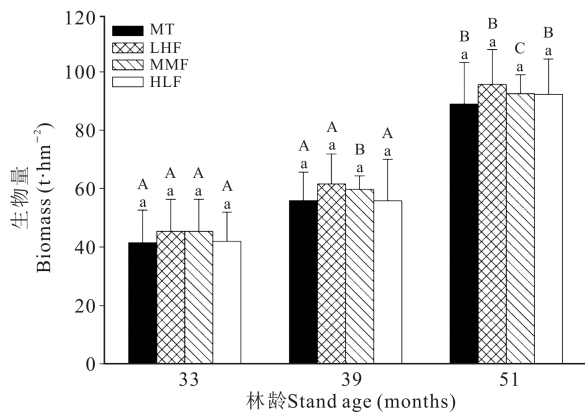
2 结果与分析

2.1 林分生态系统生物量

2.1.1 桉树生物量

不同处理的桉树平均生物量 33 月为 $41.43\text{--}45.98\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 39 月为 $55.80\text{--}61.58\ \text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$, 51

月为 88.90—95.63 t·hm⁻² (图 1)。不同处理的桉树平均生物量大小变化在不同林龄阶段有所不同,33 月为 MMF > LHF > HLF > MT, 39 月相应为 LHF > MMF > MT > HLF, 而 51 月则是 LHF > MMF > HLF > MT。但方差分析表明,同一林龄段不同处理之间的桉树平均生物量均无显著差异,同一处理的桉树平均生物量均随林龄增加而增加,51 月的平均生物量显著高于 33 月和 39 月的。



不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$), 不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P < 0.05, n = 3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P < 0.05, n = 3$)

图 1 不同林龄不同处理桉树的生物量

Fig. 1 Biomass of different treatments in different stand age

表 1 不同林龄各处理林下植被生物量

Table 1 Biomass of different treatments in different stand age in understory

层次 Layer	林龄 Stand age (month)	MT (t·hm ⁻²)	LHF (t·hm ⁻²)	MMF (t·hm ⁻²)	HLF (t·hm ⁻²)
灌木层 Shrub layer	33	0.28 ± 0.05aA	0.39 ± 0.12aA	1.33 ± 0.10bA	1.96 ± 0.31cA
	39	4.58 ± 1.40bB	2.09 ± 0.54aA	4.66 ± 0.84bB	4.53 ± 1.21bB
	51	9.70 ± 1.45bC	5.94 ± 1.70aB	5.42 ± 0.74aB	7.27 ± 1.29abC
草本层 Herb layer	33	1.07 ± 0.08bA	0.36 ± 0.04aA	1.30 ± 0.30bA	2.18 ± 0.46cA
	39	1.87 ± 0.31aA	1.47 ± 0.25aB	2.41 ± 0.15bA	2.93 ± 0.04cA
	51	5.76 ± 0.81aB	4.14 ± 0.84aC	4.70 ± 1.28aB	5.28 ± 0.49aB
林下植被 Understory	33	1.35 ± 0.13aA	0.76 ± 0.16aA	2.64 ± 0.37bA	4.14 ± 0.77cA
	39	6.45 ± 1.61bB	3.56 ± 0.57aB	7.07 ± 0.90bB	7.46 ± 1.20bB
	51	15.46 ± 2.13bC	10.08 ± 0.93aC	10.12 ± 0.68aC	12.55 ± 0.95aC

注:不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$), 不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P < 0.05, n = 3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P < 0.05, n = 3$)

2.1.2 林下植被生物量

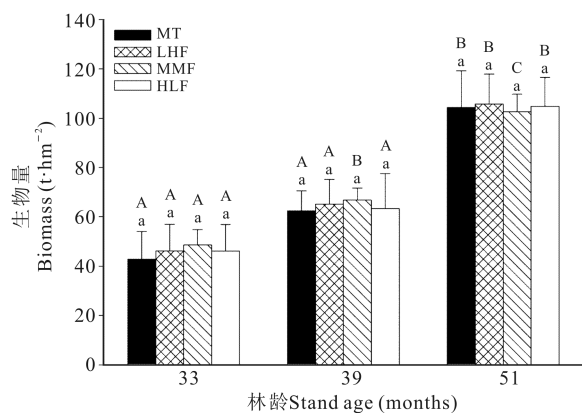
林下植被分为灌木层和草本层。各处理灌木层的生物量均随着林分林龄的增加而增加,但不同处理间增加的程度不同。33 月时,MMF 和 HLF 处理的林下灌木层生物量显著高于 MT 和 LHF;39 月时 LHF 显著低于其他处理;在 51 月时,MT 和 HLF 则显著高于 LHF 和 MMF (表 1)。结果表明,随林龄增加,LHF 和 MMF 对灌木层生物量产生了负面影响,HLF 对灌木层的影响不显著。

不同处理林下草本层的生物量也是随着林分林龄的增加而增加。33 月时,HLF 草本层生物量显著高于其他处理,而 LHF 的最低;在 51 月时,MT 草本层生物量最高,但处理间差异均不显著 (表 1)。将灌木层和草本层综合来看,随着林龄增加,在 39 月和 51 月时,LHF 处理林下植被生物量均显著低于 MT,可见 LHF 对林下植被的负面影响最大;51 月时,MMF 和 HLF 也显著低于 MT,表明除草剂处理对林下植被产生了较长期的负面影响。

由表 1 可以看出,不同林龄林下植被生物量均表现为 51 月龄显著高于 39 月和 33 月,39 月显著高于 33 月。同时,不同处理之间也存在显著差异。33 月时,以 HLF 林下植被生物量最高,其次是 MMF 和 MT,以 LHF 的最低;39 月时仍然以 LHF 的最低,显著低于 MT、MMF 和 HLF,而后三者差异不显著;51 月时,则以 MT 的最高,显著高于 LHF、MMF 和 HLF,而后三者无显著差异。

2.1.3 总生物量

总生物量为乔木层生物量(本文为桉树生物量)与林下植被生物量之和。由图2可以看出,33月、39月、51月不同处理林分的总生物量分别为42.78—48.62 t·hm⁻²、62.38—66.73 t·hm⁻²、102.66—105.71 t·hm⁻²。方差分析结果表明,同一林龄各处理之间均无显著差异,而同一处理不同林龄之间存在显著差异。39月MMF林分的总生物量显著高于33月的同一处理林分,同样,51月各处理林分显著高于33月和39月。



不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$),不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P < 0.05, n = 3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P < 0.05, n = 3$)

图2 不同林龄不同处理林分总生物量

Fig. 2 Total biomass of different treatments in different stand age

表2 不同林龄各处理林分植被碳储量

Table 2 Vegetation carbon stocks of different treatments in different stand age

层次 Layer	林龄 Stand age (month)	MT (t·hm ⁻²)	LHF (t·hm ⁻²)	MMF (t·hm ⁻²)	HLF (t·hm ⁻²)
乔木层 Tree layer	33	19.47±5.26aA	21.33±5.18aA	21.61±2.97aA	19.70±4.75aA
	39	26.29±4.55aA	28.94±4.88aA	28.04±2.21aB	26.23±6.70aA
	51	41.78±6.69aB	44.95±5.68aB	43.49±3.05aC	43.38±5.70aB
林下植被 Understory	33	0.64±0.06aA	0.36±0.07aA	1.24±0.18bA	1.95±0.36cA
	39	3.03±0.76bB	1.67±0.27aB	3.32±0.42bB	3.51±0.57bB
	51	7.27±1.00bC	4.74±0.44aC	4.76±0.32aC	5.90±0.45aC
植被 Vegetation	33	20.10±5.28aA	21.69±5.10aA	22.85±2.91aA	21.64±5.10aA
	39	29.32±3.87aA	30.62±4.70aA	31.36±2.32aB	29.74±6.70aA
	51	49.05±6.98aB	49.68±5.74aB	48.25±3.30aC	49.28±5.50aB

注:不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$),不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P < 0.05, n = 3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P < 0.05, n = 3$)

2.2 林分生态系统碳储量

2.2.1 植被碳储量

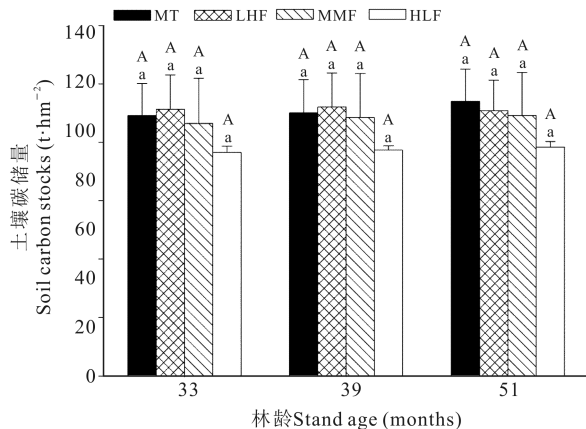
植被碳储量为乔木层碳储量(TCS)与林下植被碳储量(UCS)之和。从表2可看出,相同林龄不同处理的植被碳储量均无显著差异,而不同月龄除了MMF表现为51月林分植被碳储量显著高于33月和39月、39月显著高于33月外,其余处理均表现为51月林分显著高于33月和39月林分,33月与39月林分间差异不显著。

不同林龄各处理林分乔木层的植被碳储量存在一定的差异,以LHF的较高,MT的较低,但方差分析表明,相同林龄不同处理之间乔木层碳储量均无显著差异。相同处理不同林龄乔木层的碳储量存在显著差异,51月各处理林分显著高于33月和39月的同一处理林分,33月和39月林分各处理之间差异不显著(MMF处理除外)。

各处理林分的林下植被碳储量均呈现51月>39月>33月,方差分析表明,不同处理51月林分林下植被碳储量显著高于33月和39月林分,39月林分显著高于33月林分。研究表明,同一林龄不同处理间,林下植被碳储量存在显著差异,33月时,以HLF的最高,其次是MMF,两者显著高于MT和LHF,HLF还显著高于MMF,MT与LHF之间差异不显著;39月时,林下植被碳储量以LHF的最低,其余3种处理的相近,为3.03—3.51 t·hm⁻²,方差分析表明,LHF林下植被碳储量显著低于MT、MMF和HLF,而后三者之间差异不显著;51月龄时,各处理林下植被碳储量为48.25—49.68 t·hm⁻²,各处理间差异不显著。

2.2.2 土壤碳储量(SOCS)

不同林龄各处理林分土壤碳储量存在一定的变化,以 HLF 的较低($76.51\text{--}78.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),MT ($89.13\text{--}93.99\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)和 LHF($90.80\text{--}92.09\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)的较高,但方差分析表明,差异不显著(图 3)。



不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$),不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著 ($P < 0.05, n = 3$)

Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P < 0.05, n = 3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P < 0.05, n = 3$)

图 3 不同林龄不同处理桉树人工林土壤碳储量

Fig. 3 Soil carbon stocks of *Eucalyptus* plantations under different treatments in different stand age

2.2.3 生态系统碳储量

生态系统碳储量为乔木层、林下植被和土壤层(本文为 0—60 cm)碳储量之和^[10]。测定表明,33 月和 39 月时,同一林龄不同处理间生态系统碳储量均无显著差异。不同的是,51 月时,MT 的生态系统碳储量($143.04\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)显著高于 HLF($127.61\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$),其余差异不显著(图 4)。3 个林龄段 HLF 林分生态系统碳储量均为最低,LHF 的较高。方差分析表明,51 月的 MT、LHF 和 HLF 生态系统碳储量显著高于 33 月和 39 月的同一处理,33 月和 39 月同一处理之间差异不显著,而 MMF 处理的生态系统碳储量在不同林龄间均无显著差异。

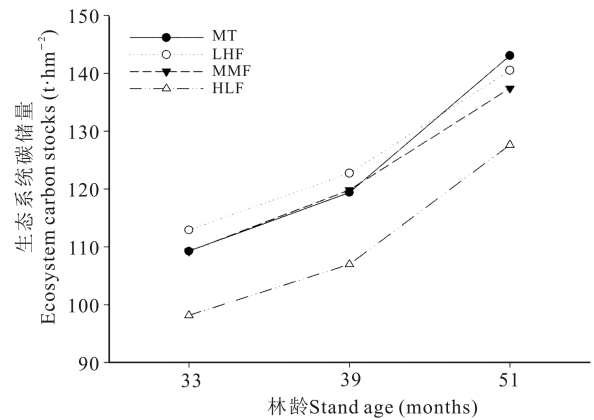


图 4 不同林龄不同处理林分生态系统碳储量

Fig. 4 Ecosystem carbon stocks of different treatments in different stand age

2.3 生态系统碳储量分配

由表 3 可以看出,不同林龄不同处理生态系统碳储量的分配规律基本一致,均表现为土壤有机碳储量(SOCS) $>$ 乔木层碳储量(TCS) $>$ 林下植被碳储量(UCS),随着林龄的增加,TCS 和 UCS 比例递增,而 SOCS 的比例递减。33 月时,各处理的 SOCS 占生态系统碳储量的 78.10%—81.40%,TCS 占 18.01%—20.07%,UCS 占 0.31%—1.97%;51 月时,SOCS 的比例降至 61.46%—65.61%,而 TCS 和 UCS 分别增至 29.29%—33.90%和 3.37%—5.10%。从表 3 还可看出,不同林龄各处理 TCS 和 SOCS 在生态系统碳储量中的比例均无显著差异,而 UCS 的比例却存在显著差异。33 月时,不同处理 UCS 的比例呈现出 HLF 显著高于 MMF、MT、LHF,MMF 显著高于 MT、LHF,MT 显著高于 LHF;39 月时却表现为 LHF 显著低于 MT、MMT 和 HLF,后三者差异不显著;51 月时,MT 显著高于 LHF,其余差异不显著。

不同林龄同一处理同一组分的碳储量分配存在显著差异。方差分析表明,MT、LHF 的 TCS 占比在 3 个林龄阶段均无显著差异,而 MMF 却表现为 51 月林分显著高于 33 月,与 39 月的差异不显著,33 月与 39 月之间差异也不显著;除了 MMF 外,MT、LHF、HLF 3 个处理的 UCS 占比均表现为 51 月显著高于 33 月和 39 月,39 月显著高于 33 月;MT、LHF、MMF 3 个处理 SOCS 的占比均表现为 33 月显著高于 51 月,其余林分间差异不显著,而 HLF 却不同,表现为 51 个月林分显著低于 33 月和 39 月,33 月和 39 月林分间差异不显著。

表 3 不同林龄各处理生态系统碳储量分配

Table 3 Carbon stock allocation of ecosystem in different treatments in different stand age

林龄 Stand age (month)	组分 Component	MT (%)	LHF (%)	MMF (%)	HLF (%)
33	TCS	18.01±5.75aA	19.11±5.53aA	20.07±4.21aA	19.92±3.53aA
	UCS	0.58±0.06bA	0.31±0.05aA	1.13±0.01cA	1.97±0.26dA
	SOCS	81.40±5.80aB	80.58±5.48aB	78.79±4.19aB	78.10±3.77aB
39	TCS	22.23±5.23aA	23.78±5.17aA	23.65±3.78aAB	24.31±4.50aA
	UCS	2.52±0.46bB	1.36±0.18aB	2.82±0.62bB	3.29±0.60bB
	SOCS	75.25±4.79aAB	74.86±5.10aAB	73.53±4.28aAB	72.39±4.35aB
51	TCS	29.29±5.19aA	32.11±5.10aA	31.91±4.51aB	33.90±2.55aB
	UCS	5.10±0.89bC	3.37±0.27aC	3.48±0.40abB	4.64±0.55abC
	SOCS	65.61±5.62aA	64.52±5.20aA	64.61±4.89aA	61.46±2.15aA

注:不同小写字母表示相同林龄不同处理之间差异显著($P<0.05, n=3$),不同大写字母表示同一处理不同林龄之间差异显著($P<0.05, n=3$)

Note: Different lowercase letters indicate significant difference among different treatments in the same stand age ($P<0.05, n=3$). Different capital letters indicate significant difference among different stand age in the same treatment ($P<0.05, n=3$)

3 讨论

3.1 除草剂对生态系统生物量的影响

除草剂在全球桉树人工林生产中已经得到广泛的应用,多数研究认为除草剂降低了物种多样性^[2,11-13],导致林下植被覆盖度降低^[4,14],高浓度高频率施用除草剂(41%草甘膦 $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,每年2次,连喷施3年)有利于提高桉树的胸径、树高和蓄积生长量,同时也降低林下植被的生物量^[2]。在本研究中,在除草剂(41%草甘膦)和总用量(均为 $1200 \text{ mL}/667 \text{ m}^2$)相同的情况下,无论采取低剂量高频率、中剂量中等频率,还是高剂量低频率处理,3次测定结果均表明,与人工除草相比,施用除草剂对提高桉树生物量有一定的促进作用,施除草剂处理林分桉树的生物量比人工除草增加 $1.16\%—10.98\%$ (33月)、 $-0.23\%—10.10\%$ (39月)和 $3.81\%—7.57\%$ (51月),但方差分析结果表明,3种除草剂处理对桉树的生物量没有显著影响。这可能与除草剂直接杀灭林下杂灌草,降低杂草与桉树幼苗幼树竞争水肥有关^[4,14]。其机理尚需进一步研究。

本研究还发现,除草剂对林下植被生物量存在显著的负效应,在林龄51月时,即HLF处理后46月,林下植被生物量比对照(MT)减少 23.19% ;MMF处理后34月(林龄51月)林下植被生物量比MT减少 52.77% ;LHF处理后22月(林龄51月)林下植被生物量比MT减少 53.37% (表1)。方差分析表明,3种除草剂处理方式下,51月林分林下植被生物量均显著低于MT,说明除草剂对林下植被具有显著的抑

制作用。诚然,这种除草剂的抑制效应与喷施后植物群落的恢复期长短有关,HLF处理的恢复期最长,因而与MT的差异最小,MMF和LHF处理的恢复期较短,自然与MT(对照)的差异较大。这与前人的研究结果是一致的^[4,14-15]。

3.2 除草剂对生态系统碳储量的影响

关于人工林生态系统的碳储量已有大量的研究^[16-18],但有关除草剂对人工林生态系统碳储量的影响研究却非常有限。有研究表明,东门林场桉树人工林乔木层碳储量随着林分林龄的增加而增加,由1a时的 $0.18 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增加到8a时的 $48.26 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[16]。在本研究中,各处理的桉树人工林乔木层碳储量也随林分林龄的增加而增加,平均值由33月时的 $19.28 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,提高到51月时的 $31.80 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,与前人的研究结果一致^[16]。本研究表明,施除草剂处理对桉树碳储量均有一定程度的提高,51月时比人工除草处理增加 $1.60—3.17 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,但未达到显著性差异。研究显示东门林场1—8a桉树林下植被的碳储量变化为 $0.58—3.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[16]。本研究表明,各处理51月林分的林下植被碳储量变化为 $3.37—5.10 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,高于东门林场桉树林分^[16]。与人工除草相比,林下植被碳储量减少了 $9.91\%—51.34\%$,表明除草剂对林下植被碳储量存在显著的负效应。研究显示,东门林场1—8a桉树人工林0—60cm土层的土壤碳储量是随着林龄的增加而增加,由1a时的 $75.23 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 增至8a的 $81.51 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[16]。本研究与之相反,无论是人工除草还是除草剂处理,各林分0—60cm土层的土壤碳

储量均呈现递减趋势,由33月时的 $78.10\text{--}81.40\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 下降到51月时的 $61.46\text{--}65.61\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。进一步分析发现,东门林场4a桉树人工林乔木层的生物量碳储量仅为 $20.75\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ ^[16],明显低于本研究林分($31.80\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)。这说明本研究区域的桉树人工林将土壤碳转变为植物碳的速率高于东门^[19]。本研究还发现,除草剂对生态系统碳储量存在显著的负作用,51月林分,HLF的生态系统碳储量比对照(MT)减少12.09%;MMF比MT减少4.11%;LHF比MT减少1.82%,但仅有HLF达到显著差异。这与除草剂显著降低林下植被生物量和碳储量的效应有关^[2]。

4 结论

本试验研究证明,无论是LHF、MMF处理还是HLF处理,除草剂对桉树生物量和碳储量没有显著影响,但对林下植被生物量和碳储量有明显的负作用,HLF处理对生态系统碳储量也存在显著的负效应,而人工除草抚育提高林下植被生物量、碳储量以及生态系统碳储量。林下植被是人工林生态系统的重要组成部分,对生物多样性和土壤质量的维持有重要作用,喷施除草剂降低多样性和土壤质量,从而影响林分生长,降低生物量和碳储量。因此,从应对全球气候变化和发展碳汇林视角,生产上应尽量减少除草剂的应用,而采取人工砍草抚育为宜。

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. DOI:10.1016/j.foreco.2013.08.047.
- [2] ZHOU X G, ZHU H G, WEN Y G, et al. Effects of understory management on trade-offs and synergies between biomass carbon stock, plant diversity and timber production in eucalyptus plantations [J]. *Forest Ecology and Management*, 2018, 410(1): 164-173. DOI:10.1016/j.foreco.2017.11.015.
- [3] 温远光, 周晓果, 朱宏光, 等. 桉树生态营林的理论探索与实践[J]. *广西科学*, 2019, 26(2): 159-175. DOI: 10.13656/j.cnki.gxkx.20190419.012.
- [4] ELIZABETH C, AMANDA L, MICHAEL N, et al. Vegetation control and soil moisture depletion related to herbicide treatments on forest plantations in Northeastern Oregon [J]. *Weed Technology*, 2018, 32(4): 461-474. DOI:10.1017/wet.2018.24.
- [5] LEKBERG Y, WAGNER V, RUMMEL A, et al. Strong indirect herbicide effects on mycorrhizal associations through plant community shifts and secondary invasions [J]. *Ecological Applications*, 2017, 27(8): 2359-2368. DOI:10.1002/eap.1613.
- [6] MILLER K V, MILLER J H. Forestry herbicide influences on biodiversity and wildlife habitat in southern forests [J]. *Wildlife Soc Bull*, 2004, 32(4): 1049-1060. DOI:10.2193/0091-7648(2004)032[1049:FHIOBA]2.0.CO;2.
- [7] 温远光. 连栽桉树人工林植物多样性与生态系统功能关系的长期实验研究[D]. 成都: 四川大学, 2006. DOI:10.7666/d.y1213098.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 国家林业局. 森林土壤分析方法: 中华人民共和国林业行业标准; LY/T 1210-1275-1999 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [10] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳储量和碳平衡[J]. *植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
- [11] 吴竞仑, 李永丰, 王一专, 等. 不同除草剂对稻田杂草群落演替的影响[J]. *植物保护学报*, 2006, 33(2): 202-206.
- [12] GRUNDY A C, MEAD A, BOND W, et al. The impact of herbicide management on long-term changes in the diversity and species composition of weed populations [J]. *Weed Research*, 2011, 51(2): 187-200. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2010.00831.x.
- [13] ZHANG J X, DAI W M, QIANG S. The weed community dynamics of direct seeding transgenic rice field under continuous single herbicide treatment [J]. *Journal of Biosafety*, 2014, 23(4): 284-292.
- [14] 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. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.09.064.
- [15] 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. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.11.007.
- [16] 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. DOI: 10.1371/journal.pone.0132858.
- [17] 明安刚, 张治军, 谌红辉, 等. 抚育间伐对马尾松人工林生物量和碳储量的影响[J]. *林业科学*, 2013, 49(10): 1-6. DOI:10.11707/j.1001-7488.20131001.
- [18] 左花. 不同经营周期巨尾桉人工林的生物量和碳储量[D]. 南宁: 广西大学, 2015. DOI: 2015.10.7666/d.Y2888785.

[19] 朱宏光, 蓝嘉川, 刘虹, 等. 广西马山岩溶次生林群落生物量和碳储量[J]. 生态学报, 2015, 35(8): 2616-2621.

DOI: 10.5846/stxb201306081429.

Effects of Glyphosate Herbicides Application on Biomass and Carbon Stocks in *Eucalyptus* Plantations

WEN Yuanguang^{1,2,3}, ZUO Xiaoqing¹, ZHOU Xiaoguo^{1,3}, ZHU Hongguang^{1,2}, WANG Lei¹,
CAI Daoxiong^{2,4}, JIA Hongyan^{2,4}, MING Angang^{2,4}, LU Lihua^{2,4}

(1. Guangxi Key Laboratory of Forest Ecology and Conservation, Forestry College, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Youyiguang Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi, 532600, China; 3. Institute of Ecological Industry, Guangxi Academy of Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China; 4. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

Abstract: Herbicides are widely used in the management of *Eucalyptus* plantations around the world, but little is known about the effects of herbicide application on biomass and carbon stocks of plantation ecosystems. This study aims to evaluate the herbicides on biomass and carbon stocks and provide scientific advice for understory vegetation management. In this study, the *Eucalyptus* plantation established in 2015 was used as the object, low-dose high-frequency (LHF), medium-dose medium-frequency (MMF) and high-dose low-frequency (HLF) herbicide spraying experiments, were conducted. Using artificial weeding as a control, the biomass and carbon stocks of the experimental stands were studied in 33 months, 39 months, and 51 months after afforestation. The results show that herbicide has no significant effects on biomass and carbon stocks of *Eucalyptus*. However, herbicide has significant negative effects on biomass and carbon stocks of understory vegetation. HLF treatment also has a significant negative effect on the carbon stocks of the ecosystem. While manual tending can increase the biomass, carbon stocks and ecosystem carbon stocks of understory vegetation. Therefore, from the perspective of carbon sequestration forestry, it is recommended to reduce the application of herbicides in production, and it is appropriate to adopt manual chopping and tending.

Key words: herbicide, biomass, carbon stocks, *Eucalyptus* plantations, glyphosate

责任编辑: 符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkx@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkx/ch>