

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.01.004

采脂年限对湿地松活立木不同部位材性变化的影响

武浩然^{1,2}, 范艳如¹, 牛小云², 栾启福¹, 李彦杰^{1*}, 姜景民¹, 金建儿³

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400; 2. 河北农业大学园林与旅游学院, 河北 保定 071000;

3. 杭州市富阳区富春街道办事处区域发展与治理中心, 浙江 杭州 311400)

摘要: [目的] 通过采脂试验, 结合 Resistograph 技术, 研究不同采脂年限对湿地松采脂部位、未采脂部位(树干基部)的基本密度和木质素含量的影响, 为湿地松遗传改良和资源最优化利用提供参考。[方法] 以采脂 8、6、3、0(未采脂)a 的 20 年生湿地松为材料, 利用 Resistograph 测定其采脂部位、树干基部密度的相对值和年轮宽度, 在同株同一位置上利用电动生长锥钻取木芯并收集木屑, 测定木芯基本密度和木屑木质素含量, 分析其与 Resistograph 测定结果的相关性。[结果] 采脂 8、6、3、0 a 的湿地松木材基本密度与 Resistograph 测定值的相关系数分别为 0.45、0.39、0.50、0.63, 分别建立木材阻力预测木材基本密度的线性回归方程。木质素含量与 Resistograph 测定值相关不显著($P > 0.05$)。采脂 3 a 的湿地松树干基部基本密度显著高于采脂 8、6、0 a 的基本密度, 采脂 8、6 a 的基本密度显著低于未采脂的基本密度, 而采脂 6 a 和采脂 8 a 的基本密度间无显著性差异; 采脂 3 a 的湿地松采脂部位基本密度显著高于采脂 6、0 a 的基本密度, 但与采脂 8 a 的无差异, 采脂 8、6、0 a 的基本密度三者之间无显著差异; 木质素含量分析结果显示, 仅采脂 6 a 的湿地松采脂部位木质素含量显著低于采脂 8、3、0 a 的木质素含量, 其余均无显著性差异, 但采脂 6 a 的树干基部木质素含量比其他 3 个采脂年限的木质素含量低。[结论] Resistograph 测定同样适用于采脂后湿地松基本密度的预测, 但其不可预测木质素含量; 一定采脂年限范围内, 采脂使湿地松树干基部和采脂部位的基本密度先升高后降低, 采脂部位的木质素含量先降低后升高, 但对树干基部木质素含量无影响; 采脂超过一定年限, 可导致采脂部位的基本密度高于树干基部的基本密度, 而对两个部位的木质素含量无影响。

关键词: 湿地松; 采脂; Resistograph; 基本密度; 木质素含量

中图分类号: S781.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)01-0031-09

湿地松 (*Pinus elliottii* Engelmann) 为速生常绿乔木, 原产于美国南部^[1], 是优良的绿化和经济树种。湿地松抗旱、耐涝、耐瘠, 具有良好的适应性和抗逆力。其根系发达, 易育苗造林, 早期生长迅速。该树种松脂产量高, 经加工后可得到松节油、松香等产品, 用途广泛^[2]。我国引种始于 20 世纪 30 年代, 目前人工林面积超过 200 万 hm^2 , 已成为南方丘陵地区的主要造林树种之一^[3]。

松脂是一种可再生资源, 我国松香年产量占世界的 1/3, 居世界第一位^[4]。近年来, 采脂对林分生长和木材材性的影响备受关注^[5]。研究发现, 采脂对林分材积生长和林分生长有抑制作用^[6-8], 但也有研究表明采脂对松树胸径生长有积极影响^[9]。另外, 采脂强度与胸径生长相关, 当采脂强度超过 60% 时, 显著抑制松树胸径生长^[10]。目前关于湿地松的采脂研究主要集中在其对胸径生长、材积

收稿日期: 2021-06-01 修回日期: 2021-08-26

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2020SY008); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目 (CAFYBB2018GB001)

* 通讯作者: 李彦杰. E-mail: aj7105@gmail.com

生长和树高生长的影响,而采脂对湿地松基本密度和力学性能的影响研究较少。徐慧兰等^[5]对湿地松幼林采脂的研究表明,采脂导致基本密度和力学性能等材性指标不同程度的降低。Jim 等^[11]认为木材中的树脂的缺失可轻微降低部分材性强度。

木材基本密度是决定木材性能最重要的因素之一,直接影响木材强度和木材质量,是研究木材材性利用与木材培育相关性的常用指标^[12]。木质素是植物体内仅次于纤维素的第二大有机物质,化学结构中含有羰基、羧基、甲氧基和酚羟基等官能团,已成为生物基新材料开发中的候补材料^[13-15]。木质素主要位于纤维素与纤维之间,可起抗压作用和增强植物体机械强度,利于抵御外界不良环境,另外木质素也可作为输导组织,利于水分运输^[16]。研究采脂对湿地松不同部位木材基本密度和木质素含量的影响,对科学确定木材加工工艺、提高产品质量具有重要意义。

体积法是测量木材基本密度的传统方法,这种方法在一定程度上损伤树干,且不利于大规模的木材密度测定的实施。近年来,通过针刺仪^[17-19]间接测量木材基本密度逐渐成为无损评估的方法之一。Resistograph 记录在钻入过程中相对应的阻力值和推进深度,通过所得曲线图,可间接估算木材密度、各年轮宽度和去皮直径^[17,20]。Resistograph 具有便携和自动保存测定数据的优点,为野外大规模测量提供了可能^[19]。因此,本试验以不同采脂年限的湿地松为材料,结合 Resistograph 对不同采脂年限的湿地松基本密度和木质素含量进行估测和对比研究,旨在为不同采脂年限湿地松基本密度和木质素含量的测定建立高效、稳定且便捷的方法,探析采脂对其采脂部位、树干基部的木材基本密度和木质素含量产生的影响,为湿地松遗传改良和资源科学利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 林地概况

湿地松试验林位于安徽省宣城市泾县琴溪镇(30°68'N, 118°41'E),2000 年春季造林,株行距为 2 m×3 m,种苗为自由授粉种子园混合苗,在林分年龄 12、14、17 a 左右分区块使用下降式 V 型割脂法割脂,采脂强度为 60%,割脂的单株此后每年继续割脂。试验地海拔高度 80~180 m,属于北亚热带、副热带季风湿润性气候,年平均气

温 15.7℃。年降水量 1600 mm,相对湿度 84%,土壤为黄壤土,土层厚度为 50~100 cm。

1.2 样品采集

对相同林龄(20 a)的 4 个不同采脂年限进行样品采集,分别为连续采脂 8、6、3、0 a 的湿地松。每组选定 15 株标准木,共采取 60 株。用直径 14 mm 的电动生长锥(坎特伯雷大学林学院,新西兰)分别在树干基部(未采脂)和采脂部位(胸径采脂处)自南向北钻取穿过髓心的木芯并收集木屑。剔除由于操作不当引起的异常指标值,共得到 57 株用于数据分析,其中 12 株为采脂 8 a 的湿地松,其余 3 个采脂年限均为 15 株。

1.3 试验方法

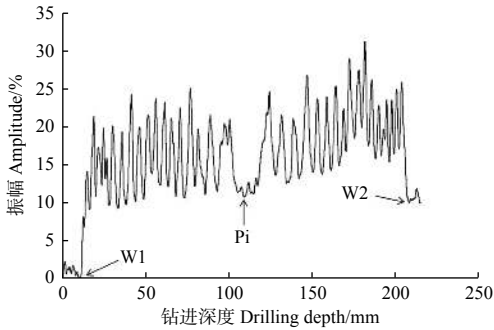
1.3.1 木质素含量测定 将每株采集的木芯和木屑放于烘箱中 80℃ 烘干至恒质量,测定每个木芯烘干后质量,用旋风粉碎机将木屑粉碎成粉末,过 40 目筛并做好标记,置于干燥器皿中备用。采用齐一生物科技有限公司(上海)的木质素含量试剂盒测定木质素含量($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$),具体步骤严格按照说明书操作。

1.3.2 木材基本密度测定 木芯采集后,首先利用排水法测定木材基本密度。试样放在烘箱烘干至恒质量,称质量(m)。木芯浸水处理 48 h,每隔一段时间测定木芯质量,直至木芯质量恒定,以确保木芯含水量达到饱和状态。将待测的试样插在针上,并浸没于水中,试样不与容器的壁和底相接触,试样排水所占体积即为试样体积(V)。基本密度(ρ) = 质量(m) / 体积(V)。

1.3.3 Resistograph 数据收集 采用 Resistograph-IML-RESI 树木针刺仪(PD500,德国)在每株树木的树干基部和采脂部位(胸高处)垂直主干自南向北进行测定,测定时探针经过髓心透过树干。探针推进速度为 $150\text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$,转速为 $2500\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$,探针直径 1.5 mm。探针每 0.1 mm 记录钻进深度值及对应阻力值(用振幅百分数表示)。用仪器自带的 PDToolsPro 软件将测定结果导入 Excel 2019。

由于湿地松早晚材密度不同,形成峰谷现象,相邻两个峰之间为 1 a 生长周期^[21](图 1)。因此可以认为波峰间的钻进深度为当年的年轮宽度,波峰间的振幅均值可作为密度指数。收集数据时,去除外围树皮的不规则波动,选择可明显看出树干的髓心、起止点和年轮处阻力峰值的数据,以髓心以南(起点方向)测得数据为最终分析数据。第 1 年

的数据不能被准确测出, 统计树龄 20 a 到 2 a 的年轮数据。每株 Resistograph 数据包括 19 a 的每年年轮宽度均值 (R_E)、每年年轮振幅均值 (A_E)、每株年轮宽度均值 (R_M) 和每株年轮振幅均值 (A_M)。



注: Pi 表示木材髓心, W1、W2 分别表示去皮木材的起点和终点。

Note: Pi represents the pith core of the wood, W1 and W2 represent the starting and ending points of the peeled wood, respectively.

图 1 Resistograph 测定的湿地松木材振幅 (阻力) 曲线

Fig. 1 Amplitude (resistance) curves of *P. elliotii* wood measured by Resistograph

1.4 数据分析与整理

利用 R 语言对 Resistograph 数据进行循环统计, 采用 SPSS 22.0 对各性状和指标值进行方差分析和对比分析, 并用 Excel 2019 和 R 语言的 ggplot2^[22] 包进行制图等。

2 结果与分析

2.1 湿地松不同部位生长锥和 Resistograph 测定值

57 株 20 年生湿地松的生长锥、Resistograph 测定值如表 1 所示, 12 株采脂 8 a、15 株采脂 6 a、15 株采脂 3 a、15 株采脂 0 a 的湿地松采脂部位的 ρ 均值分别为 0.53、0.50、0.56、0.51 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 变异系数分别为 8.68%、5.95%、11.15%、6.58%。树干基部的 ρ 均值分别为 0.48、0.48、0.55、0.53 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 变异系数分别为 7.21%、7.16%、9.64%、8.51%。采脂部位的 R_E 分别为 4.57、4.70、4.25、4.26 mm, 变异范围分别为 3.65~5.50、3.53~5.67、3.25~6.05、2.83~5.41 mm, 每年的胸径增长约为每年年轮宽度均值的 2 倍, 即 9.14、9.40、8.50、8.52 mm。采脂部位 A_M 和 A_E 的平均值相同, 分别为 19.69%、16.58%、19.97%、16.47%, 树干基部 A_M 和 A_E 的平均值相同, 分别为 18.13%、14.57%、19.00%、16.91%。由变异系数可知, 采脂 8、6、3、0 a 湿地松采脂部位和树干基部的 A_M 的变异系数大部分

接近 20%, 比 A_E 的变异系数超出 10% 以上, 显示 ρ 变异更多存在于单株间, 单株内不同年龄间的平均变异相对较小; 同时, 采脂部位的 R_M 变异系数接近 20%, 大于 R_E 的变异系数, 表明胸径的单株变异大于每年增长变异。

2.2 木材基本密度和 Resistograph 测定值的相关性分析

采脂 8、6、3、0 a 的木材 ρ 与 A_M 的相关系数分别为 0.45、0.39、0.50、0.63, 均呈显著正相关或极显著正相关 (图 2)。因此, Resistograph 可用于预测不同采脂年限的湿地松单株的 ρ , 并建立预测方程。利用 Resistograph 的 A_M 预测 ρ 的线性回归方程分别为 $\rho = 0.0052A_M + 0.4044$ ($R = 0.45$, $P < 0.05$, $df = 23$)、 $\rho = 0.0037A_M + 0.4321$ ($R = 0.39$, $P < 0.05$, $df = 29$)、 $\rho = 0.0098A_M + 0.3650$ ($R = 0.50$, $P < 0.01$, $df = 29$)、 $\rho = 0.0086A_M + 0.3774$ ($R = 0.63$, $P < 0.01$, $df = 29$)。

采脂 8、6、3、0 a 湿地松的采脂部位、树干基部的 ρ 和 Resistograph 测定值的 R_M 进行 Pearson 相关性分析, 结果显示: 未采脂和采脂 8 a 湿地松的 ρ 与 R_M 不相关, 采脂 3、6 a 的 ρ 与 R_M 的相关系数分别为 0.39 ($P < 0.05$, $df = 29$)、-0.46 ($P < 0.01$, $df = 29$); ρ 和 R_E 不相关, 这可能与环境条件、采脂造成其后期生长过程中 ρ 和 R_E 发生变化有关。

2.3 Resistograph 测定的各年轮振幅均值与基本密度的相关性

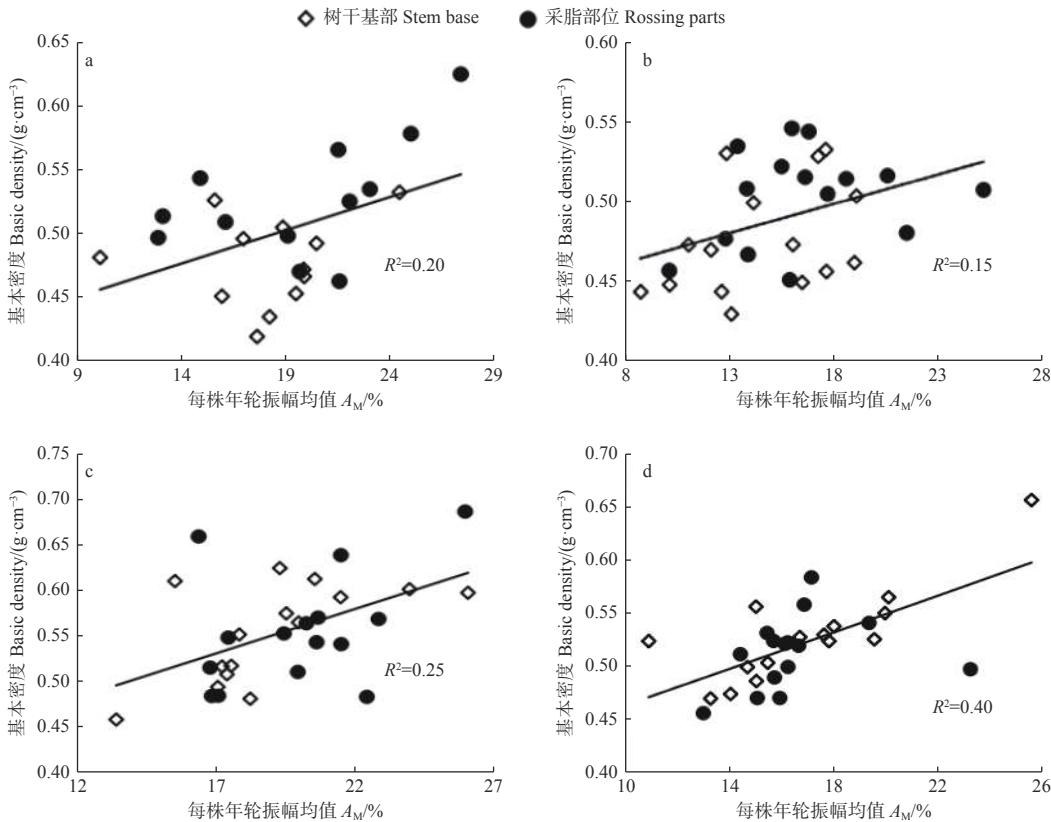
对不同采脂年限湿地松 ρ 与 Resistograph 测定值的 A_E 进行相关性分析可以看出, ρ 与 A_E 绝大部分都呈正相关, 仅采脂 8 a 树龄为 16~17 a 和采脂 3 a 树龄为 13 a 的相关系数为负值, 且呈不显著相关 ($P > 0.05$)。其中, 采脂 8 a 与树龄为 1、4、5 a 为极显著相关 ($P < 0.01$, $df = 23$), 3、10、13 a 为显著相关 ($P < 0.05$, $df = 23$); 采脂 6 a 树龄为 14、16 a 呈显著相关 ($P < 0.05$, $df = 29$); 采脂 3 a 树龄为 1~5、8 a 为极显著相关 ($P < 0.01$, $df = 29$), 6、7、9、10 a 为显著相关 ($P < 0.05$, $df = 29$); 未采脂的树龄为 8、10~19 a 呈极显著正相关, 其余均为不显著相关 (图 3)。可见 ρ 与各年轮振幅的平均值的相关系数 R 呈显著或极显著正相关, 在一定程度上解释了 ρ 和 A_M 呈正相关的原因。

总体来说, 采脂 8、6、3、0 a 的湿地松树龄

表 1 采脂 8、6、3、0 a 湿地松采脂部位和树干基部的生长锥、Resistograph 测定值

Table 1 Measured values of growth cones and Resistograph of different rossing parts and stem base of *P. elliotii* for 8, 6, 3 and 0 years

采脂年限 Rossing fixed number of year /a	不同部位 Different parts	性状 Traits	均值 Mean	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation /%	
8	采脂部位 Rossing parts	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.53	0.62	0.47	0.05	8.68	
		A_E /%	19.69	21.94	16.66	1.61	8.18	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	19.69	27.31	12.94	4.60	23.36
		R_E /mm	4.57	5.50	3.65	0.56	12.25	
		R_M /mm	4.57	5.69	3.51	0.77	16.85	
	树干基部 Stem base	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.48	0.53	0.42	0.03	7.21	
		A_E /%	18.13	19.37	15.70	0.85	4.69	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	18.13	24.40	10.18	3.42	18.86
		R_E /mm	5.06	6.56	3.40	0.90	17.79	
		R_M /mm	5.06	6.57	3.90	0.94	18.58	
6	采脂部位 Rossing parts	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.50	0.55	0.45	0.03	5.95	
		A_E /%	16.58	18.56	12.36	1.36	8.20	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	16.59	25.13	10.19	3.77	22.72
		R_E /mm	4.70	5.67	3.53	0.63	13.40	
		R_M /mm	4.70	6.72	3.02	1.06	22.55	
	树干基部 Stem base	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.48	0.53	0.43	0.03	7.16	
		A_E /%	14.57	16.65	10.71	1.60	10.98	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	14.57	19.09	8.83	3.28	22.51
		R_E /mm	5.34	7.15	3.47	0.98	18.35	
		R_M /mm	5.34	6.52	3.26	0.86	16.10	
3	采脂部位 Rossing parts	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.56	0.69	0.48	0.06	11.15	
		A_E /%	19.97	22.46	14.82	1.81	9.06	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	19.97	25.90	16.40	2.69	13.47
		R_E /mm	4.25	6.05	3.25	0.79	18.59	
		R_M /mm	4.25	5.69	2.96	0.77	18.12	
	树干基部 Stem base	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.55	0.62	0.46	0.05	9.64	
		A_E /%	19.00	20.32	14.95	1.26	6.63	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	19.01	26.00	13.47	3.15	16.57
		R_E /mm	4.91	6.69	3.71	0.81	16.50	
		R_M /mm	4.91	6.38	3.39	0.76	15.48	
0	采脂部位 Rossing parts	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.51	0.58	0.46	0.03	6.58	
		A_E /%	16.47	18.25	13.95	1.13	6.86	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	16.47	23.19	13.03	2.31	14.03
		R_E /mm	4.26	5.41	2.83	0.72	16.90	
		R_M /mm	4.26	5.34	3.02	0.81	19.01	
	树干基部 Stem base	基本密度 ρ Basic density/(g·cm ⁻³)	0.53	0.66	0.47	0.05	8.51	
		A_E /%	16.91	19.75	12.62	1.46	8.63	
		Resistograph 测定值 Resistograph measurement value	A_M /%	16.91	25.52	10.96	3.51	20.76
		R_E /mm	4.73	6.49	2.79	1.00	21.14	
		R_M /mm	4.73	6.42	3.77	0.82	17.34	



注：a、b、c、d 分别为采脂 8、6、3、0 a 的基本密度 (ρ) 与每株年轮振幅均值 (A_M) 的相关分析。

Note: a, b, c and d are the correlation analysis of the basic density(ρ) and the Mean annual ring amplitude per plant(A_M) after 8, 6, 3 and 0 years of grease extraction, respectively. and the stem base for 8, 6, 3 and 0 years

图 2 不同采脂时间长度采脂 8、6、3、0 a 的采脂部位、树干基部不同部位的基本密度 (ρ) 与 A_M 值的相关分析

Fig. 2 Correlation analysis of basic density(ρ) and A_M values of the rossing parts

分别为 1~5、10、13 a，14、16 a，1~10 a，8、10~19 a 是影响不同采脂年限的湿地松 ρ 的主要生长期。可以看出，采脂的湿地松 10 a 之后 ρ 与 A_E 的相关系数大部分呈不显著相关，这与未采脂的湿地松形成了鲜明的对比，可能是采脂对湿地松生长后期的 ρ 造成了一定的影响。

2.4 不同采脂年限同一部位的木材基本密度分析

对湿地松树干基部而言，采脂 3 a 的 ρ 显著高于采脂 8、6、0 a 的 ρ ，采脂 8、6 a 的 ρ 显著低于未采脂 ρ ，而采脂 6 a 和采脂 8 a 的 ρ 间无显著性差异。可以得出，一定范围内，采脂使湿地松树干基部 ρ 呈先升高后降低的变化，但总体趋势是造成其 ρ 降低。对采脂部位而言，采脂 3 a 的 ρ 显著高于采脂 6、0 a 的 ρ ，但与采脂 8 a 的 ρ 无差异，采脂 8、6、0 a 的 ρ 三者之间无显著性差异 (图 4)。因此，采脂对湿地松采脂部位的 ρ 的影响，仅出现在采脂前几年，后期对其影响逐渐减小，表现出其一定的恢复性。

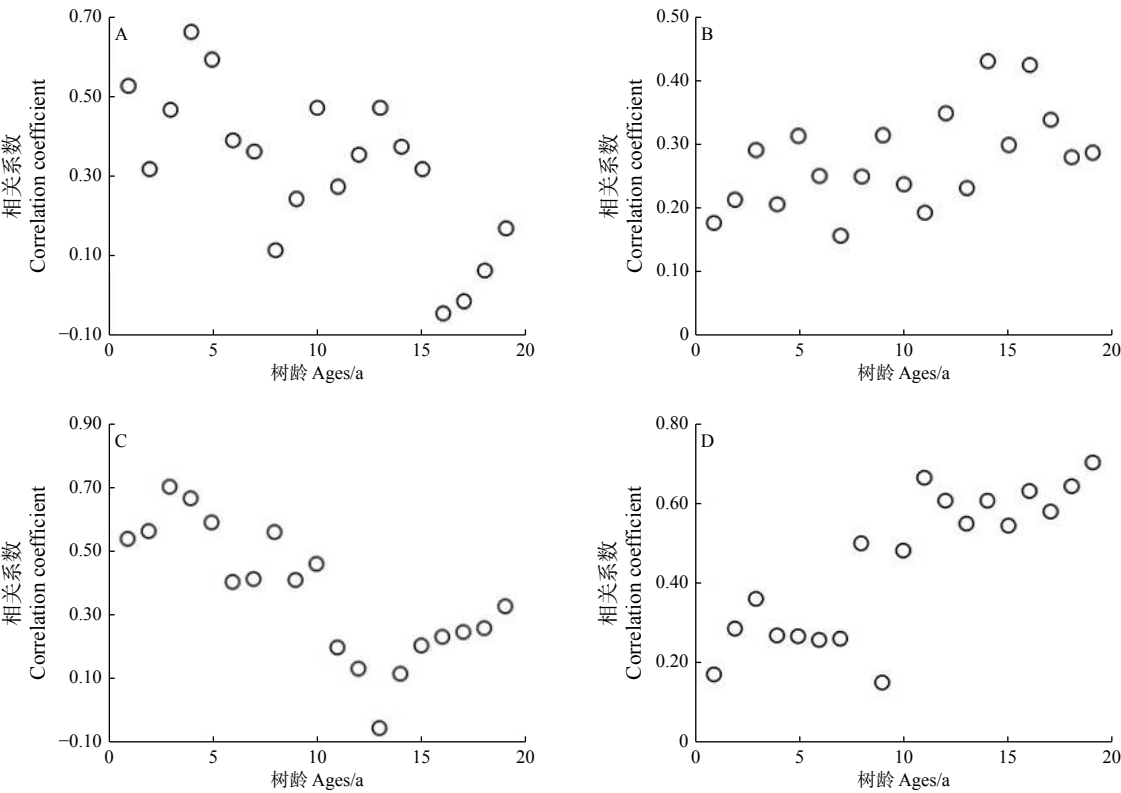
2.5 不同采脂年限同一部位木质素含量及其与 Resistograph 测定值的相关性分析

将木质素含量与 Resistograph 测定的 A_M 和 ρ 进行相关性分析，相关系数都大于 0，未达到显著水平，因此湿地松木质素含量与 ρ 和 A_M 无相关性或相关性很低。

对采脂部位而言，采脂 6 a 的湿地松木质素含量显著低于采脂 8、3、0 a 的木质素含量，为 32.40%，采脂 8、3、0 a 的木质素含量彼此之间无显著性差异。对树干基部而言，4 个采脂年限组间无显著性差异，但采脂 6 a 的木质素含量较低 (图 5)。因此，采脂可导致木质素含量发生显著性改变，且在一定程度上随着采脂年限的增加木质素含量呈先减少后增加的趋势，当采脂年限增加到一定范围，其表现出较强的恢复能力。

2.6 同一采脂年限不同部位的木质素含量、基本密度分析

分别对 4 个不同采脂年限湿地松采脂部位和树

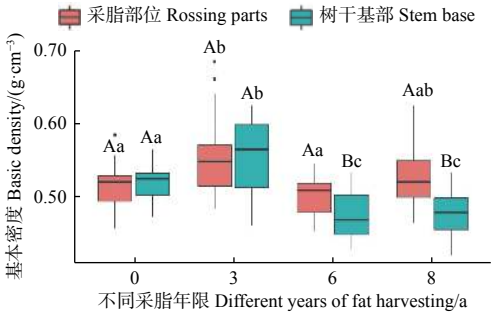


注：A、B、C、D 分别为采脂 8、6、3、0 a 的基本密度 (ρ) 与每年年轮振幅均值 (A_E) 的相关分析。

Note: A, B, C and D are the correlation analysis of the basic density(ρ) and the annual mean amplitude of tree ring (A_E) in 8, 6, 3 and 0 years of extraction, respectively.

图 3 不同采脂年限的湿地松基本密度 (ρ) 与每年年轮振幅均值 (A_E) 的相关系数

Fig. 3 Correlation coefficient between basic density(ρ) and annual mean amplitude of tree (A_E) values of *P. elliotii* with different years of harvesting



注：a、b、c 为不同采脂年限的同一部位间的对比；A、B 为同一采脂年限不同部位间的对比。

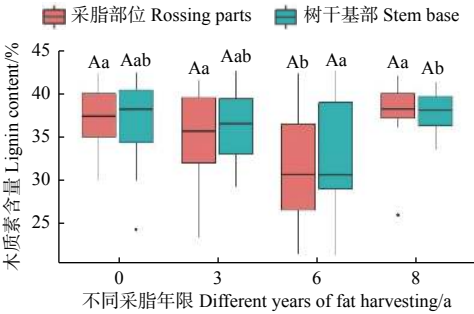
Note: a, b and c are the comparison between the same part of different years of fat harvesting; A and B are the comparison between different parts of the same years of fat harvesting.

图 4 不同采脂年限对基本密度 (ρ) 的影响

Fig. 4 Effects of different years of fat harvesting on basic density(ρ)

干基部的 ρ 、木质素含量进行差异性分析。结果显示，采脂 3、0 a 湿地松不同部位之间的 ρ 无显著差异 ($P > 0.05$)，采脂 6 a 和采脂 8 a 的采脂部位和树干基部有显著性差异 ($P = 0.03 < 0.05$ 、 $df =$

29, $P \approx 0.01 < 0.01$ 、 $df = 23$)，且采脂部位 ρ 显著高于树干基部 (图 4、5)。4 个采脂年限湿地松不同部位的木质素含量无显著性差异。随着采脂年限的增加，在一定程度上可以造成采脂部位和树干基



注：a、b、c 为不同采脂年限的同一部位之间的对比，A、B 为同一采脂年限不同部位之间的对比。

Note: a, b and c are the comparison between the same part of different length of extraction time. A and B are the comparison between different parts of the same length of extraction time.

图 5 不同采脂年限对木质素含量的影响

Fig. 5 Effects of different years of fat harvesting on lignin content

部的 ρ 产生显著性差异,但对两个部位的木质素含量无影响。

3 讨论

相关研究表明,在多个树种中,Resistograph与 ρ 表型值呈正相关。赵奋成等^[18]、丁显印等^[17]研究显示,18年生、24年生湿地松的Resistograph阻力值和 ρ 的表型相关系数(r_p)分别为0.66、0.50;Gantz^[23]报道,10年生辐射松(*P. radiata* D. Don)、10~16年生加勒比松(*P. caribaea* Morelet)针刺仪阻力值和木材密度的表型相关系数(r_p)分别为0.41~0.58、0.77~0.78。本研究对采脂年限为8、6、3、0 a的20年生湿地松的 ρ 进行直接和间接的测定,Resistograph阻力值和 ρ 的相关系数为0.39~0.63,且都呈显著的正相关。这与赵奋成等^[18]和丁显印等^[17]的研究结果相似,表明针刺仪同样适用于预测采脂后的湿地松单株的 ρ 。但Resistograph测定值 A_E 与 ρ 的相关性从活立木外侧到髓心未全达到显著水平,这与丁显印等^[17]的研究结果存在差异。4个采脂年限的湿地松10 a以后Resistograph测定值 A_E 与 ρ 的相关性存在差异,有可能与采脂有关,也有可能是周围环境的影响。赵奋成等^[18]研究得出,针刺仪数据校正后,对阻力值与 ρ 的相关系数并没有显著性优化,故本试验没有对数据进行校正。

目前关于湿地松的采脂研究主要集中在其对胸径生长、材积生长和树高生长的影响。本研究对20年生湿地松进行不同采脂年限处理,分析了不同采脂年限对湿地松不同部位 ρ 和木质素含量的影响。采脂可影响湿地松采脂部位的 ρ ,主要表现在采脂前几年 ρ 显著提高,后期对其影响逐渐减小。采脂使湿地松树干基部的 ρ 呈先升高后降低的变化,但总体趋势是其 ρ 降低。陈鉴朝^[24]的研究显示采脂对木材的力学性能除了冲击韧性降低外,其它性能略有提高,本研究采脂部位的结果与其有相似之处,且采脂6 a以上湿地松采脂部位的 ρ 高于树干基部的 ρ ,更符合前者的研究结果。而徐慧兰等^[5]对5~9年生湿地松采脂的研究结果显示,采脂导致密度变小,这与本研究树干基部的结果相似,而与采脂部位的结果存在差异,推测其原因为起始采脂林龄的差异造成。湿地松从5 a到11 a属于林木胸径、树高和单株材积由速生期向缓慢生长期过渡的阶段^[25]。徐慧兰等^[5]对湿地松的起始采脂

林龄处于速生期,本试验起始采脂林龄处于缓慢生长期。这种差异也可能与生长率、晚材率和纤维形态的变化等有关^[11],有待进一步研究。

木质素可起抗压和增强植物体机械强度的作用,木质素含量降低会给植物本身生长带来不利影响,削弱其对不良环境的抵抗^[26]。采脂6 a的湿地松采脂部位木质素含量显著低于其它3个处理,而另外3个处理无显著差异。这与陈鉴朝^[24]的研究结果相反,与徐慧兰^[5]的研究结果相符。采脂强度提高,造成剖面扩大,使木材质量降低,且常造成心材腐烂,病虫害发生^[10]。这可能是木质素含量降低的结果。一定采脂年限范围内,采脂会使湿地松采脂部位木质素含量降低,而对树干基部影响不大。对同一采脂年限的湿地松两个部位的木质素变化结果显示,同一株湿地松的不同部位的木质素含量无差异,且采脂对其也无影响。采脂只影响湿地松整体采脂部位木质素含量发生显著变化。

4 结论

(1) 采脂8、6、3、0 a的湿地松基本密度(ρ)与每株年轮振幅均值(A_M)在单株水平上的表型相关系数分别为0.45、0.39、0.50、0.63,可通过预测方程 $\rho = 0.0052A_M + 0.4044$ 、 $\rho = 0.0037A_M + 0.4321$ 、 $\rho = 0.0098A_M + 0.3650$ 、 $\rho = 0.0086A_M + 0.3774$ 来估算 ρ ,针刺仪同样适用于预测采脂后的湿地松单株的 ρ 。湿地松木质素含量与Resistograph测定的 A_M 相关性不显著,针刺仪Resistograph不可用来预测木质素含量。

(2) 采脂对湿地松的基本密度(ρ)和木质素含量具有一定的影响。一定范围内,树干基部的 ρ 表现为先升高后降低,最后显著低于未采脂的 ρ ;而采脂部位的 ρ 先升高后降低,最终与未采脂的 ρ 无差异。采脂部位的木质素含量表现为先降低后恢复到未采脂的木质素含量水平,而采脂对树干基部的木质素含量无影响。

(3) 本试验中采脂6 a以上的湿地松,其采脂部位的基本密度(ρ)显著高于树干基部的基本密度(ρ);采脂对两个部位之间的木质素含量无影响。

参考文献:

- [1] 汪正齐. 湿地松丰产造林技术探析[J]. 南方农业, 2019, 13(3): 62-63.

- [2] 李学平, 覃德文, 何 春. 广西湿地松人工林经济评估与分析[J]. 山西农业科学, 2019, 47 (7): 1277-1281.
- [3] 吴东山, 杨章旗, 黄永利. 25年生湿地松家系基本产脂力遗传分析与选择[J]. 广西林业科学, 2019, 48 (4): 438-443.
- [4] 刘春芳, 陈锡联. 采脂对湿地松林分生长和经济效益的影响[J]. 浙江林业科技, 2004, 24 (3): 25-27.
- [5] 徐慧兰, 颜培栋, 唐生森, 等. 采脂处理对湿地松幼龄林生长和材性的影响[J]. 森林与环境学报, 2016, 36 (2): 252-256.
- [6] Génova M, Caminero L, Dochao J. Resin tapping in *Pinus pinaster*: effects on growth and response function to climate[J]. European Journal of Forest Research, 2013, 133(2): 323-333.
- [7] Chen F, Yuan Y J, Yu S L, *et al.* Influence of climate warming and resin collection on the growth of masson pine (*Pinus massoniana*) in a subtropical forest, southern China[J]. Trees, 2015, 29(5): 1423-1430.
- [8] 吴明山, 普爱明, 周汝良, 等. 采脂对思茅松林木生长的影响[J]. 西部林业科学, 2015, 44 (6): 47-50.
- [9] Van Der Maaten E, Mehl A, Wilmking M, *et al.* Tapping the tree-ring archive for studying effects of resin extraction on the growth and climate sensitivity of Scots pine [J]. Forest Ecosystems, 2017, 4(1): 1-7.
- [10] 邹文魁. 不同强度采脂对马尾松生长的影响[J]. 林业勘察设计, 2007 (2): 114-116.
- [11] Jim L B J L, Rubin S R. Forest products and wood science: an introduction [M]. 4th ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 2003: 205-231.
- [12] 孙燕良, 张厚江, 朱 磊, 等. 木材密度检测方法研究现状与发展[J]. 森林工程, 2011, 27 (1): 23-26.
- [13] Duval A, Lawoko M. A review on lignin-based polymeric, micro- and nano-structured materials[J]. Reactive and Functional Polymers, 2014, 85: 78-96.
- [14] 熊福全, 韩雁明, 李改云, 等. 点击化学在木质纤维素化学修饰中的研究现状[J]. 林业科学, 2016, 52 (3): 90-96.
- [15] 杨 静, 蒋剑春, 张 宁, 等. 微生物降解木质素的研究进展[J]. 生物质化学工程, 2021, 55 (3): 62-70.
- [16] 蹇均宇, 高士帅, 张代晖, 等. 碱性酚化木质素结构表征及在酚醛树脂中的应用研究[J]. 中国胶粘剂, 2021, 30 (5): 21-24, 30.
- [17] 丁显印, 陶学雨, 刁 姝, 等. Pilodyn和Resistograph对湿地松活立木基本密度的评估[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2020, 44 (3): 142-148.
- [18] 赵奋成, 郭文冰, 钟岁英, 等. 基于针刺仪测定技术的湿地松木材密度间接选择效果[J]. 林业科学, 2018, 54 (10): 172-179.
- [19] Isik F, Li B. Rapid assessment of wood density of live trees using the Resistograph for selection in tree improvement programs[J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33(12): 2426-2435.
- [20] Gao S, Wang X, Wiemann M C, *et al.* A critical analysis of methods for rapid and nondestructive determination of wood density in standing trees[J]. Annals of Forest Science, 2017, 74(2): 27.
- [21] Konguvel E, Kannan M. A Survey on FFT/IFFT processors for next generation telecommunication systems [J]. Journal of Circuits, Systems and Computers, 2017, 27(3). doi:10.1142/S0218126618300015.
- [22] Villanueva R A M, Chen Z J. ggplot2: Elegant graphics for data analysis (2nd ed.)[J]. Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives, 2019, 17(3): 160-167.
- [23] Gantz C H. Evaluating the efficiency of the Resistograph to estimate genetic parameters for wood density in two softwood and two hardwood species[D]. Raleigh, NC: North Carolina State University, 2002.
- [24] 陈鉴朝. 湿地松建筑材的材性与利用[J]. 广东林业科技, 1995, 11 (4): 26-31.
- [25] 唐生森, 韦理电, 蒙春江, 等. 采脂对湿地松幼林生长的影响与效益分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37 (11): 96-102.
- [26] 宋恩慧, 蔡 诚, 魏 国, 等. RNA干涉培育低木质素杨树[J]. 林业科学, 2010, 46 (2): 39-44.

Effects of Resin-Tapping Year on Wood Properties of Living *Pinus elliottii*

WU Hao-ran^{1,2}, FAN Yan-ru¹, NIU Xiao-yun², LUAN Qi-fu¹, LI Yan-jie¹, JIANG Jing-min¹, JIN Jian-er³

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. College of Landscape Architecture and Tourism, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; 3. Fuchun Sub-district Branch of Regional Development and Governance Center, Fuyang District of Hangzhou City, Hangzhou 311400, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To study the influence of resin-tapping duration on the basic density and lignin content of resin-tapping parts and trunk of *Pinus elliottii* in order to optimize the genetic improvement and resource utilization of *P. elliottii*. [Method] Twenty-years-old *P. elliottii* trees that have been resin-tapped for 8, 6, 3, and 0 years were studied using Resistograph technology to measure the relative value of density and width of tree in the resin-tapping part and the base of the trunk. The wood core was extracted from the same plant by electric growth cone drill and the sawdust was collected. The basic density of wood was determined by submerged water method and the lignin content was determined by Reagent test kit. The correlation around basic density, lignin content and the Resistograph was analyzed. [Result] The correlation coefficients between the basic density of *P. elliottii* wood and the Resistograph values after 8, 6, 3 and 0 years of resin-tapping were 0.45, 0.39, 0.50 and 0.63, respectively. The linear regression equations for predicting the basic density of wood using Resistograph values were established. There was no significant correlation between lignin content and Resistograph values ($P > 0.05$). The base density of the tree trunk of *P. elliottii* after 3 years of resin-tapping was significantly higher than that after 0, 6 and 8 years of resin-tapping, and the base density of the tree trunk after 6 and 8 years of resin-tapping was significantly lower than that of the tree trunk without resin-tapping, but there was no significant difference between the base density of the tree trunk after 6 and 8 years of resin-tapping. The basic density of *P. elliottii* after 3 years of resin-tapping was significantly higher than that after 0 and 6 years of resin-tapping, but there was no difference with that after 8 years of resin-tapping. There was no significant difference among the basic density after 0, 6 and 8 years of resin-tapping. The analysis results of lignin content showed that the lignin content in the base of the tree trunk was lower than that after 0, 3 and 8 years of resin-tapping, and there was no significant difference in the rest, but the lignin content in the base of the tree trunk was lower after 6 years of resin-tapping than that after the other three durations. [Conclusion] Resistograph determination is suitable for predicting the basic density of *P. elliottii* after resin-tapping, but not for lignin content. To a certain extent, the basic density of *P. elliottii* at the base and site of tree trunk will increase in initial and then decrease, and the lignin content at the site of tree trunk will decrease in initial and then increase, but shows no effect on the lignin content at the base of tree trunk. When the resin is harvested over a certain years, the basic density of the resin-tapping part will be higher than that of the base of tree trunk, but the lignin content of the two parts is not affected.

Keywords: *Pinus elliottii*; resin-tapping; Resistograph; basic density; lignin content

(责任编辑: 金立新)