

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.06.004

马尾松高低产脂种质树脂道解剖结构比较

骆 晶¹, 文晓鹏¹, 李正春²,
梅利那², 姜昱雯¹, 冯源恒³

1. 贵州大学 生命科学院/农业生物工程研究院, 山地植物资源保护与保护种质创新教育部重点实验室,
山地生态与农业生物工程协同创新中心, 贵阳 550025;
2. 贵州大学 林学院/贵州省森林资源与环境研究中心, 贵阳 550025;
3. 广西林科院, 南宁 530002

摘要: 为确定高产脂马尾松优树的早期选择指标, 采用石蜡切片技术, 对高、低产脂量马尾松种质不同时期、不同方向上 1 年生嫩茎木质部及针叶树脂道进行解剖结构观察. 结果表明, 高、低产脂量马尾松种质间的针叶单个树脂道面积、针叶树脂道总面积、木质部树脂道数目、木质部单个树脂道面积、木质部树脂道总面积等指标, 存在统计学意义($p<0.05$). 植株不同方向针叶树脂道数目、木质部树脂道数目存在差异, 东、南及北 3 个方向均显著高于西方($p<0.05$). 高产脂种质 3 月与 8 月的针叶单个树脂道面积分别为 $739.00\ \mu\text{m}^2$ 和 $845.50\ \mu\text{m}^2$, 是低产脂的 1.90 倍和 1.73 倍; 木质部树脂道总面积分别是低产脂的 2.40 倍和 2.33 倍; 木质部树脂道数目分别是低产脂的 1.35 倍和 1.42 倍. 因此, 木质部树脂道数目、木质部树脂道总面积、针叶单个树脂道面积等, 均可作为高产脂种质选育的参考指标.

关 键 词: 马尾松; 树脂道; 产脂量; 解剖结构

中图分类号: S791.248 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2020)06-0031-07

马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)属于松科(Pinaceae)、松属(*Pinus*), 裸子植物, 常绿乔木, 广泛分布于湖南、贵州及广西等 17 个省、自治区、直辖市, 是针叶树种中利用程度及经济效益都非常高的优势树种, 更是主要的采脂树种^[1-2]. 松属(*Pinus*)树种分泌的化学防御物质——松脂是由萜类物质组成的混合物, 呈透明、无色粘液状, 储藏在树脂道中, 主要含松节油和松香, 广泛应用于香料、医药、机械、造纸、油墨等行业^[3-4], 是我国重要的工业原料及可再生环保资源^[5]. 树脂道与松脂产量紧密相关, 是松科植物普遍具有的一种自身保护结构, 是对昆虫和病原菌防御反应的第一道防线^[6]. 研究表明, 不同针叶树种、家系或个体间松脂产量具有较大差异^[7].

为了提高松脂的产量, 近年来研究者探讨了部分松树的产脂规律, 包括思茅松、油松、云南松等主要

收稿日期: 2019-11-25
基金项目: 国家重点研发项目(2017YFD060030304); 贵州省研究生科研基金项目(黔教合 YJSCXJH[2018]048).
作者简介: 骆 晶(1995—), 女, 硕士研究生, 主要从事细胞结构与分化的研究.
通信作者: 文晓鹏, 教授, 博士.

产脂树种。如穆茹等^[8]研究了高、低产脂思茅松树脂道数量、分泌细胞数量、树脂道大小、外鞘细胞数量等差异,王海林^[9]对高、低产脂量云南松的针叶、树干组成性树脂道特征进行了解剖观察,吴鸿^[10]研究了油松树脂道结构、发生、发育的特征,这些研究为高产脂种质的选育提供了参考指标。

在马尾松上,李爱民等^[11]报道了树脂道的发生、发育特征,但未见有马尾松高低产脂种质间树脂道结构差异的报道。本文通过解剖学观察,比较高、低产脂量马尾松嫩茎木质部及针叶树脂道解剖结构的差异性,探究马尾松不同方向树脂道产脂量的关系,从解剖结构上阐明马尾松高产脂的形成机制,为优异种质的早期选择和定向培育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料采自广西南宁市林科所国家马尾松良种基地,根据基地长期重复多次测定的产脂结果筛选出高产脂无性系与低产脂无性系。分别在 3 月与 8 月选取长势一致、生长健壮的 12 年生高、低产脂量马尾松无性系各 10 株,高产脂量无性系胸径为 12~16 cm,低产脂量无性系胸径为 9~11 cm。并在每株树的树冠中上部相同位置的 4 个方向(东、南、西、北)分别选取无病虫害的 1 年生嫩枝,将每条嫩枝截取为 20~30 个以上的 2 cm 茎段,并采集每枝的针叶束 50 束以上,蒸馏水洗净后放入配好的 FAA 固定液(组分包括甲醛、乙酸、70%乙醇,各组分体积比为 5:5:90)中保存。

1.2 研究方法

将采集的 1 年生茎段及其针叶剪取为 0.5 cm 大小,按照固定、软化、脱水、透明、浸蜡、渗蜡、包埋、切片、粘片、展片、脱蜡、番红染色、复水、固绿染色、封片等常规石蜡切片步骤制作永久切片^[12-13]。针叶切片方向为横向,嫩茎的切片方向为径向;切片厚度均为 8~10 μm ,用 Olympus BX53 显微镜观察照相。

在显微镜下观测相同单位面积嫩茎横切面上的树脂道结构,包括木质部树脂道数目、木质部树脂道总面积、木质部单个树脂道面积;针叶在横切面上的树脂道结构包括针叶树脂道数目、针叶单个树脂道面积、针叶树脂道总面积、针叶横截面积、针叶径粗等;每个样品分别选取 15 个视野测量,并计算其平均值。

1.3 数据分析

所得数据均采用 Excel 2016 软件进行统计处理,运用 SPSS 22.0 对高、低产脂量无性系针叶与木质部树脂道参数进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 高、低产脂量无性系针叶树脂道解剖结构的差异

马尾松针叶束以 2 针 1 束为主,极少数为 3 针 1 束,不同产脂量马尾松个体间并无明显规律。由 3 月与 8 月高产脂针叶解剖结构(图 1a 和 b)与低产脂针叶解剖结构(图 1c 和 d)可知,2 针 1 束的针叶横切面呈 180°半圆形,树脂道均对称分布于横切面圆弧和半径边缘,且维管束内均未见树脂道分布。表 1 表明,高、低产脂量马尾松针叶间的单个树脂道面积、树脂道总面积差异有统计学意义,3 月与 8 月的高产脂针叶单个树脂道面积分别为 739.00 μm^2 和 845.50 μm^2 ,为低产脂的 1.90 倍和 1.73 倍;针叶树脂道总面积分别为低产脂的 2.30 倍和 2.04 倍。高、低产脂量针叶间树脂道数目差异也有统计学意义,3 月与 8 月的高产脂针叶树脂道数目分别是低产脂的 1.20 倍和 1.17 倍,但高、低产脂量针叶径粗及针叶横截面积差异无统计学意义。

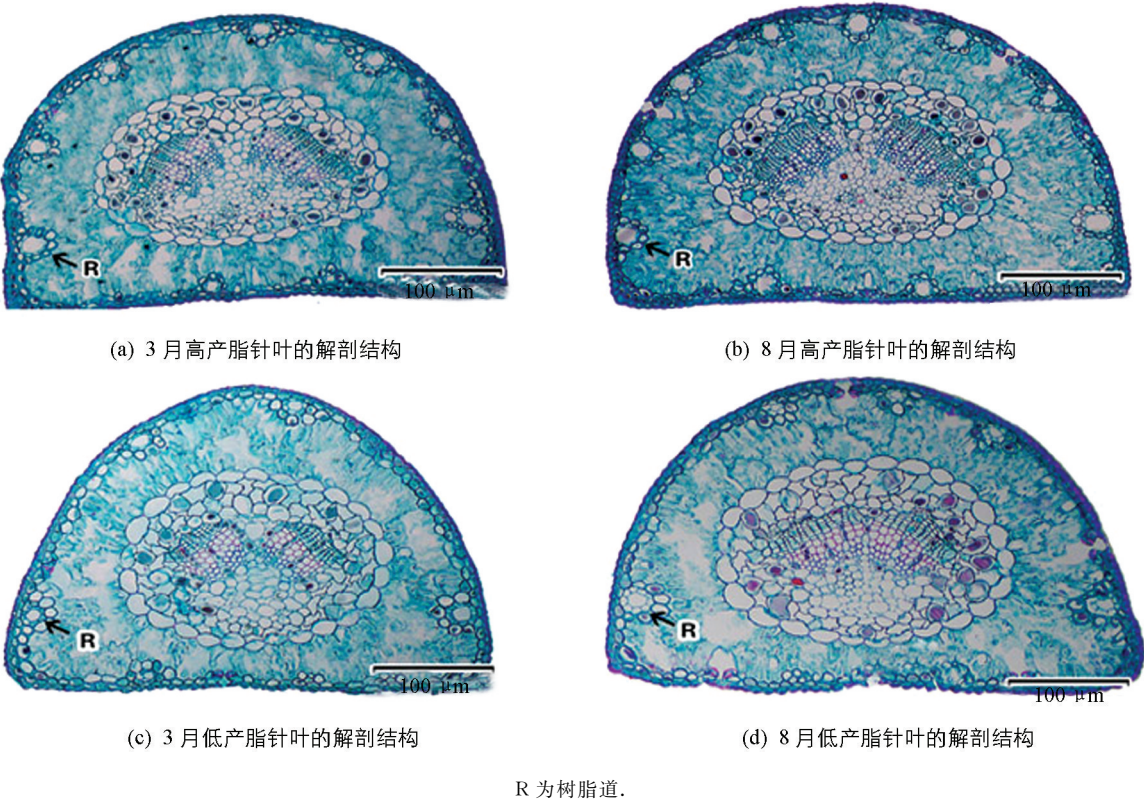


图 1 高、低产脂量马尾松针叶解剖结构特征

表 1 高、低产脂马尾松针叶树脂道结构特征

采样时间	产脂量	单个树脂道 面积/ μm^2	树脂道 总面积/ μm^2	树脂道 数目/个	针叶径粗/ μm	针叶横截 面积/ mm^2
3 月	高	$739.00 \pm 102.28\text{b}$	$6\,322.56 \pm 686.33\text{b}$	$8.66 \pm 0.94\text{b}$	$418.28 \pm 20.35\text{a}$	$0.41 \pm 0.02\text{a}$
	低	$387.71 \pm 57.80\text{a}$	$2\,746.28 \pm 561.07\text{a}$	$7.21 \pm 0.95\text{a}$	$406.35 \pm 26.90\text{a}$	$0.40 \pm 0.03\text{a}$
8 月	高	$845.50 \pm 117.01\text{b}$	$8\,032.25 \pm 642.24\text{b}$	$9.33 \pm 0.84\text{b}$	$446.74 \pm 21.65\text{a}$	$0.48 \pm 0.03\text{a}$
	低	$488.55 \pm 64.67\text{a}$	$3\,935.59 \pm 561.07\text{a}$	$7.94 \pm 0.94\text{a}$	$428.35 \pm 31.71\text{a}$	$0.46 \pm 0.05\text{a}$

注: 表中同列小写字母不同表示相同时期内不同产脂量马尾松差异有统计学意义($p < 0.05$).

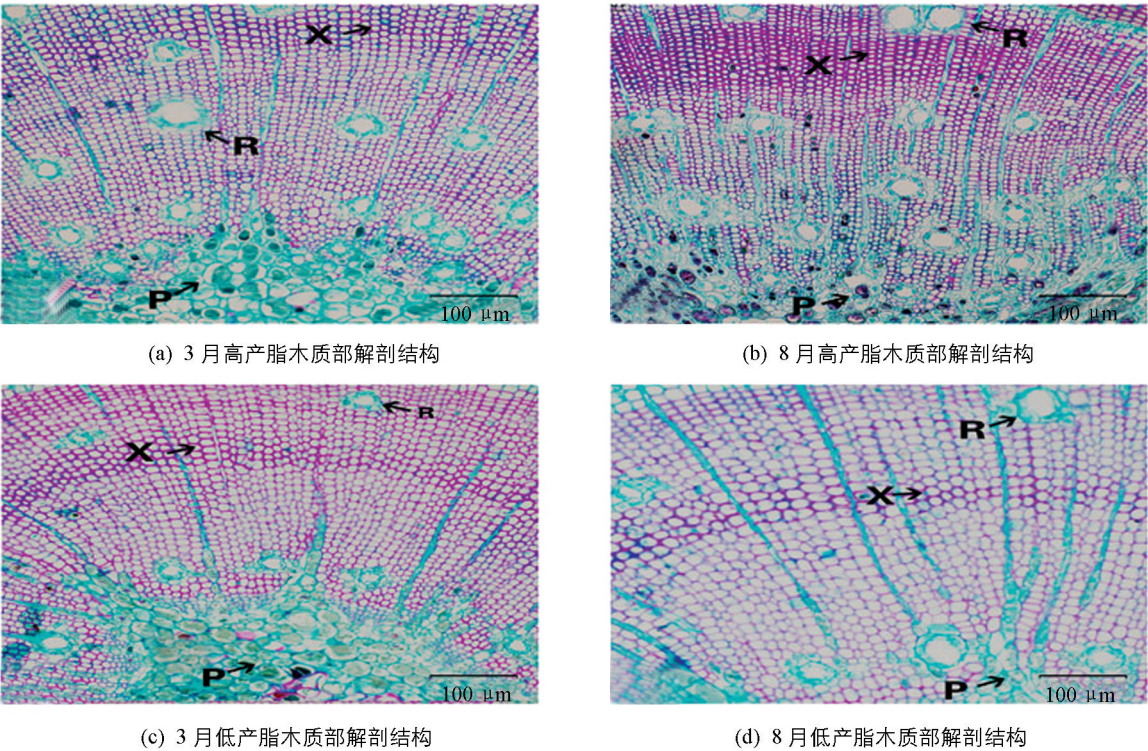
2.2 高、低产脂量无性系木质部树脂道解剖结构的差异

马尾松无性系木质部树脂道存在于射线薄壁细胞中(图 2a), 高产脂无性系存在两个相邻的树脂道于射线薄壁细胞中(图 2b), 而低产脂无性系树脂道一般为单个存在于射线薄壁细胞中(图 2c 和 d). 表 2 表明, 高、低产脂量马尾松无性系木质部间的树脂道数目、单个树脂道面积、树脂道总面积差异有统计学意义. 3 月时高、低产脂量无性系木质部单个树脂道面积分别为 $825.32\,\mu\text{m}^2$ 和 $466.93\,\mu\text{m}^2$; 8 月的分别为 $880.69\,\mu\text{m}^2$ 和 $538.37\,\mu\text{m}^2$. 3 月与 8 月的高产脂木质部树脂道总面积分别为 $9\,422.44\,\mu\text{m}^2$ 和 $11\,473.50\,\mu\text{m}^2$, 是低产脂的 2.40 倍和 2.33 倍. 木质部树脂道数目是决定产脂力高低的重要因素之一, 3 月与 8 月的高产脂无性系木质部树脂道数目分别为 11.61 和 13.22 个, 是低产脂的 1.35 倍和 1.42 倍.

表 2 高、低产脂量马尾松木质部树脂道结构特征比较

采样时间	产脂量	单个树脂道面积/ μm^2	树脂道总面积/ μm^2	树脂道数目/个
3 月	高	$825.32 \pm 85.50\text{b}$	$9\,422.44 \pm 1\,080.87\text{b}$	$11.61 \pm 1.55\text{b}$
	低	$466.93 \pm 45.33\text{a}$	$3\,930.02 \pm 401.84\text{a}$	$8.54 \pm 1.04\text{a}$
8 月	高	$880.69 \pm 99.15\text{b}$	$11\,473.50 \pm 1\,273.70\text{b}$	$13.22 \pm 1.58\text{b}$
	低	$538.37 \pm 51.99\text{a}$	$4\,920.10 \pm 598.84\text{a}$	$9.29 \pm 1.24\text{a}$

注: 表中同列小写字母不同表示相同时期内不同产脂量马尾松差异有统计学意义($p < 0.05$).



R 为树脂道; X 为木质部; P 为髓。

图 2 高、低产脂量马尾松种木质部树脂道解剖结构观察

2.3 不同方向木质部与针叶树脂道解剖结构的差异

由高、低产脂量马尾松不同方向木质部树脂道解剖结构分析可知(表 3)，其嫩茎树脂道间的木质部单个树脂道面积、树脂道总面积差异无统计学意义；但木质部树脂道数目在东、南、北方均显著高于西方。通过观察高、低产脂量不同方向针叶树脂道解剖结构可知(表 4)，马尾松不同方向针叶树脂道间的单个树脂道面积、树脂道总面积、针叶径粗、针叶横截面积差异均无统计学意义。但不同方向针叶树脂道数目在东、南、北方都显著高于西方，与木质部树脂道数目的结构特征相同。

表 3 高、低产脂量马尾松不同方向木质部树脂道解剖结构特征

方向	单个树脂道面积/ μm^2	树脂道数目/个	树脂道总面积/ μm^2
东	730.78±186.70a	11.80±2.22a	8 322.79±3 230.54a
南	744.52±191.57a	11.66±2.72a	8 190.29±3 687.98a
西	743.35±189.64a	11.07±2.12b	7 929.12±3 326.79a
北	739.95±184.98a	11.85±2.49a	8 345.02±3 785.56a

注：表中同列小写字母不同表示不同方向马尾松差异有统计学意义($p<0.05$)。

表 4 高、低产脂量马尾松不同方向针叶树脂道解剖结构特征

方向	单个树脂道面积/ μm^2	树脂道数目/个	针叶径粗/ μm	针叶横截面积/ mm^2	树脂道总面积/ μm^2
东	686.35±213.84a	8.90±1.03a	442.16±29.41a	0.47±0.03a	5 986.57±2 272.72a
南	663.48±192.70a	8.93±1.11a	432.27±23.16a	0.48±0.05a	5 971.33±2 281.88a
西	693.87±203.73a	8.07±0.96b	448.84±20.45a	0.47±0.04a	6 013.54±2 134.36a
北	683.79±200.08a	8.85±1.02a	444.46±20.51a	0.49±0.03a	5 964.23±2 082.74a

注：表中同列小写字母不同表示不同方向马尾松差异有统计学意义($p<0.05$)。

2.4 不同时期木质部与针叶树脂道解剖结构的差异

由高、低产脂量马尾松不同时期木质部与针叶树脂道解剖结构分析可知(表 5), 其树脂道间的木质部单个树脂道面积、木质部树脂道数目、针叶单个树脂道面积、针叶树脂道数目、针叶径粗差异均有统计学意义。8 月时马尾松树脂道结构间的木质部单个树脂道面积、木质部树脂道数目分别为 $739.56\ \mu\text{m}^2$ 和 11.60 个, 是 3 月的 1.10 倍和 1.13 倍; 针叶单个树脂道面积、针叶树脂道数目分别为 $681.71\ \mu\text{m}^2$ 和 8.94 个, 是 3 月的 1.18 倍和 1.12 倍。

表 5 高、低产脂量马尾松不同时期木质部与针叶树脂道解剖结构比较

采样时间	针叶单个树脂道	针叶树脂道	针叶径粗/	木质部单个树脂道	木质部树脂道
	面积/ μm^2	数目/个	μm	面积/ μm^2	数目/个
3 月	$579.89\pm194.57\text{b}$	$8.00\pm1.19\text{b}$	$412.88\pm24.26\text{b}$	$673.23\pm191.04\text{b}$	$10.31\pm2.04\text{b}$
8 月	$681.71\pm202.49\text{a}$	$8.94\pm1.12\text{a}$	$438.30\pm28.25\text{a}$	$739.56\pm187.93\text{a}$	$11.60\pm2.42\ \text{a}$

注: 表中同列小写字母不同表示不同时期马尾松差异有统计学意义($p<0.05$)。

3 讨 论

3.1 马尾松高产脂种质树脂道的结构特征

马尾松的次生代谢产物松脂经一系列生化反应产生后存储于树脂道中, 松树自身的防御机制及松脂的运输都与树脂道有关。树脂道几乎分布于马尾松所有器官, 通过对针叶与木质部树脂道解剖结构特征的观察, 可以直接反映松脂的产量变化。并为选育高产脂优良种质及松脂的合理采收提供理论指导。

对不同产脂量马尾松针叶树脂道进行分析, 高、低产脂量针叶间的单个树脂道面积、树脂道总面积差异均存在统计学意义($p<0.05$), 高产脂针叶树脂道数目、针叶树脂道总面积分别是低产脂的 1.20 倍和 2.30 倍; 但高、低产脂量针叶径粗与针叶横截面积差异无统计学意义。这与云南松针叶的树脂道研究结果一致^[14]。可能原因是针叶树脂道数目越多, 树脂道面积越大, 则针叶产生的防御物质松脂越多, 代谢物质运输能力越强, 如当松树受到机械损伤或者昆虫入侵, 存储在树脂道中的树脂迅速溢出至创伤部位杀死昆虫及病菌并封闭伤口^[15-16], 也意味着具有较多树脂道结构的针叶, 具有较强生产松脂及防御的能力。说明针叶树脂道数目, 针叶树脂道总面积均可作为评价产脂力的重要参考指标, 有利于高产脂马尾松的早期选择。

木质部形成的树脂道系统是合成、贮藏松脂的主要部位。对不同产脂量马尾松木质部树脂道进行分析, 高、低产脂量木质部间的树脂道总面积、单个树脂道面积、树脂道数目差异有统计学意义($p<0.05$); 高产脂木质部树脂道总面积、木质部树脂道数目是低产脂的 2.40 倍和 1.35 倍, 推测木质部具有较多的树脂道结构, 并且随着木质部树脂道总面积、木质部单个树脂道面积、木质部树脂道数目增加, 产脂量随之增加。这与魏永成等^[17]的研究结果一致。对不同时期马尾松木质部及针叶树脂道进行差异分析, 不同时期树脂道的木质部单个树脂道面积、木质部树脂道数目、针叶单个树脂道面积、针叶树脂道数目、针叶径粗差异均存在统计学意义($p<0.05$)。8 月时马尾松树脂道结构间的针叶单个树脂道面积、木质部树脂道数目分别是 3 月的 1.18 倍和 1.13 倍; 可能原因是马尾松产脂量受到遗传因素及气温、地形、光照等外部因素的双重影响, 而且产脂量随气温的变化而变化的趋势十分明显, 8 月时气温高、降雨充沛, 产脂量较高, 3 月时气温较低, 产脂量较低, 这与刘云^[18], 陈广财等^[19]的研究结果一致。为确定马尾松在各部位、各方向的产脂量, 对马尾松不同方向嫩枝进行解剖结构研究, 得出不同方向针叶与木质部树脂道数目的结构特征相同, 树脂道数目在东、南、北方都显著高于西方。已有研究表明某些植物的枝条在生长时其中一个方向上枝条的生长与其他方向无关, 但基本形状都相同。因此对马尾松不同方向枝条的解剖结构研究不仅在理论上具有重要意义, 而且对于了

解树木各部位的生物产量,制定合理的丰产措施等都有指导作用^[20]。但目前国内外几乎未见松科植物不同方向产脂量差异的相关研究报道,马尾松不同方向针叶与木质部树脂道是否存在更多差异尚需进一步结合分子水平加以研究。

3.2 马尾松高产脂种质的选择指标

树脂道几乎分布于马尾松的所有器官,一般通过木质部的产脂量来确定植株的高产与低产,但目前尚未有相关研究验证产脂部位主要集中于木质部。对高、低产脂针叶与木质部树脂道解剖结构进行差异比较,发现木质部树脂道数目、木质部树脂道总面积、在高、低产脂种质间的差异性均大于其他相应指标,可推测高产脂种质中木质部具有较多的树脂道结构,可作为选育高产脂种质的最优参考指标,这与熊晖等^[21]对云南松的研究结果一致。此外,马尾松产脂力最高的时期一般为 7—9 月。而本研究试验了 3 月和 8 月,树脂道相关性分析也仅在针叶与木质部中进行,导致研究获得的结果具有一定的局限性,需要在更多时间梯度及树脂道分布的器官内开展相关研究。

参考文献:

- [1] 周政贤. 中国马尾松 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 14-19.
- [2] 崔博文, 乔 光, 范付华, 等. 不同种源马尾松种质耐低磷的主成分与灰色关联度分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(8): 49-56.
- [3] 聂海泉. 广西马尾松松脂产业发展的对策 [J]. 绿色科技, 2017(5): 71-72, 75.
- [4] KELKAR V M, GEILS B W, BECKER D R, et al. How to Recover more Value from Small Pine Trees: Essential Oils and Resins [J]. Biomass and Bioenergy, 2006, 30(4): 316-320.
- [5] 杨章旗. 广西松脂原料林发展现状、存在问题与对策研究 [J]. 广西林业科学, 2007, 36(3): 143-146.
- [6] MOREIRA X, ZAS R, SAMPEDRO L. Methyl Jasmonate as Chemical Elicitor of Induced Responses and Anti-Herbivory Resistance in Young Conifer Trees [M] // Plant Defence: Biological Control. Dordrecht: Springer Netherlands, 2011: 345-362.
- [7] 耿树香, 尹晓兵, 郑 畹, 等. 云南松不同种源试验林的产脂量研究 [J]. 西部林业科学, 2012, 41(2): 68-71.
- [8] 穆 茹, 王曙光, 普晓兰. 高、低产脂思茅松树脂道的解剖学比较 [J]. 林业科技开发, 2012, 26(2): 49-53.
- [9] 王海林. 高产脂云南松本构性特征研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2015.
- [10] 吴 鸿. 油松树脂道的发生和发育研究 [J]. 武汉植物学研究, 1990, 8(4): 311-316, 407-408.
- [11] 李爱民, 王玉荣, 吴 鸿. 马尾松主要器官树脂道的发生和发育 [J]. 林业科学, 2008, 44(9): 36-40, 175-176.
- [12] 李和平. 植物显微技术 [M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2009.
- [13] 张军周, 勾晓华, 赵志千, 等. 树轮生态学研究显微树芯石蜡切片制作的方法探讨 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(10): 972-977.
- [14] 王海林, 杨文云, 高成杰, 等. 不同产脂量云南松树脂道解剖学比较研究 [J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 352-357.
- [15] 刘 婧. 华山松茎中树脂道及创伤防御应答 [D]. 西安: 西北大学, 2011.
- [16] 徐华潮. 自然感染松材线虫后黑松与马尾松的病理生理学研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2013.
- [17] 魏永成, 刘青华, 周志春, 等. 不同产脂量马尾松无性系木质部树脂道结构差异 [J]. 林业科学, 2016, 52(7): 38-45.
- [18] 刘 云. 气象因子对马尾松松脂产量影响的研究 [J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31(6): 65-69.
- [19] 陈广财, 余济云, 陆 禹, 等. 高峰林场马尾松产脂量的影响因子分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(6): 40-45.
- [20] 姜生伟. 落叶松人工林林木动态模型的研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2009.
- [21] 熊 晖, 陆雪佳, 杨文云, 等. 云南松解剖特征及其对外界刺激的响应 [J]. 浙江农林大学学报, 2018, 35(3): 483-489.

The Differences in Anatomical Structure of Masson Pine Resin Canal Between High- and Low-Resin-Yield Germplasms

LUO Jing¹, WEN Xiao-peng¹, LI Zheng-chun²,
MEI Li-na², JIANG Yu-wen¹, FENG Yuan-heng³

1. Key Laboratory of Plant Resource Conservation and Germplasm Innovation in Mountainous Regions (Ministry of Education), Collaborative Innovation Center for Mountain Ecology & Agro-Bioengineering (CICMEAB), Institute of Agro-Bioengineering/College of Life Sciences, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2. College of Forestry, Guizhou University/Institute for Forest Resources & Environment of Guizhou, Guiyang 550025, China;
3. Guangxi Academy of Forestry Sciences, Nanning 530002, China

Abstract: To determine the indicators for early selection for high-resin-yield masson pine (*Pine massoniana* Lamb) germplasms, the paraffin section technology was employed to examine the anatomical structures of resin canals in the xylem and conifer of one-year-old stem of high- and low-resin-yield germplasms. The results showed that between the two typical germplasms, there were significant differences in the area of single resin canal in conifer, the total area of resin canal in conifer, the number of resin canals in xylem, the area of single resin canal in xylem and the total area of resin canal in xylem ($p < 0.05$). The numbers of resin canals in xylem and the numbers of resin canals in conifer varied with different orientations, those from the East, the South and the North were significantly higher than those from the West ($p < 0.05$). The area of single resin canal of conifer in March and August of the high-resin-yield germplasm was 739.00 and 845.50 μm^2 , being 1.90 and 1.73 times that of the low-resin-yield germplasm, respectively. The total area of xylem resin canal of the high-resin-yield germplasm in March and August was 2.40- and 2.33-fold as much as that of the low-resin-yield germplasm, respectively, and the number of resin canals in its xylem was 1.35 and 1.42-fold of the low-resin yield germplasm, respectively. Therefore, the number of resin canals in the xylem, the total area of resin canal in the xylem and the area of single resin canal in the conifer can be used as indicators for breeding high-resin-yield masson pine germplasms.

Key words: *Pine massoniana* Lamb; resin canal; resin yield; anatomical structure

责任编辑 周仁惠