

云南松解剖特征及其对外界刺激的响应

熊 晖¹, 陆雪佳¹, 杨文云¹, 黎思国², 高成杰¹, 刘方炎¹, 李 昆¹

(1. 中国林业科学研究院 资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2. 云南省双柏县梅子箐林场, 云南 双柏 675106)

摘要: 松脂是松属 *Pinus* 植物分泌的一种次生代谢产物, 具有较高的经济价值和生态价值, 主要储藏在松属植物针叶、树干木质部和韧皮部的树脂道系统内。开展云南松 *Pinus yunnanensis* 产脂量与其解剖学特征之间的关系研究, 有利于云南松高产脂优树的选育和高产林定向培育技术体系的建立。对云南松产脂量与针叶、树干解剖特征之间的相关关系进行了研究, 并比较分析了高、低产脂量云南松针叶和树干解剖特征的差异。结果表明: 高产脂量云南松针叶树脂道个数、针叶分泌细胞个数、树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和木质部分泌细胞个数极显著高于低产脂量云南松。随着针叶树脂道个数、针叶分泌细胞个数、树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和木质部分泌细胞个数的增加, 云南松的产脂量也不断增加 ($P < 0.01$)。主成分分析中木质部树脂道个数的载荷值最大, 表明云南松树干木质部树脂道与其产脂量关系最为密切。树干木质部树脂道个数可作为选育高产脂云南松的一个重要指标。图 3 表 4 参 20

关键词: 林木育种学; 云南松; 产脂量; 解剖特征

中图分类号: S722.3; S791.257

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2018)03-0483-07

Anatomical characteristics of resin ducts and its response to external stimuli in *Pinus yunnanensis*

XIONG Hui¹, LU Xuejia¹, YANG Wenyun¹, LI Siguo², GAO Chengjie¹, LIU Fangyan¹, LI Kun¹

(1. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, Yunnan, China;

2. Meiziqing Forest Farm of Shuangbai County, Shuangbai 675106, Yunnan, China)

Abstract: Oleoresin is a secondary metabolite with a high economic and ecological value, and it is mainly stored in the resin channel system of needles and trunk xylem and phloem of the genus *Pinus*. Study on the relationship between oleoresin yield and their anatomical characteristics is conducive to selective breeding of superior tree with high-yielding oleoresin of *Pinus yunnanensis* and establishment of directional cultivation technology system of high-yielding forest. The relationship between oleoresin and the anatomical characteristics of needles and trunks was studied, and the differences in the anatomical characteristics of the needles and trunks of high- and low-yielding trees were compared and analyzed. The results showed that, the number of resin canals and secrete cells in the needles and trunks of high-yielding oleoresin pines were significantly higher than those of low-yielding oleoresin pines. With the increase of the number of resin canals in the needles and trunks, the oleoresin yield was also increased ($P < 0.01$). In addition, the loading of the number of resin canal in xylem was the largest in the principal component analysis. The result implied that the number of resin canal in xylem could be proposed as an important indicator for breeding high-yielding oleoresin *P. yunnanensis*. [Ch, 3 fig. 4 tab. 20 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Pinus yunnanensis*; oleoresin yield; anatomical characteristics

收稿日期: 2017-05-27; 修回日期: 2017-08-05

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201304202)

作者简介: 熊晖, 从事森林培育研究。E-mail: xionghui918m@163.com。通信作者: 杨文云, 副研究员, 博士, 从事林木种质资源保存与评价利用研究。E-mail: yangwenyun1@163.com

松脂是由松属 *Pinus* 树种中分泌细胞分泌而成的一种主要由萜烯类化合物构成的无色透明状次生代谢产物, 储藏在松树针叶以及枝和茎的木质部与韧皮部的树脂道系统内^[1-6]。松脂可分离出松节油和松香, 具有很高的经济价值和生态价值。松节油具有很强的同分异构能力, 是一种良好的溶剂, 广泛应用于油漆、冶金、纺织等工业领域, 此外可用于生产一些药物, 如驱蛔脑、冰片、樟脑等, 以及聚萜烯树脂等多种树脂。松香广泛用于印刷油墨、绝缘材料、造纸施胶、涂料、油漆、合成橡胶、肥皂、人造甘性油、软化剂和干燥剂等领域。如今, 人们还对松香进行了改性, 生产出聚合松香、歧化松香和氢化松香等一系列产品, 使松香的价值得到了进一步提高^[7-8]。云南松 *Pinus yunnanensis* 是松属的一种常绿乔木, 以滇中高原为中心, 向四周分布, 整个分布区呈现不规则的多角形状, 其分布区面积占云南省森林面积的 70%。成林主要分布在海拔 1 000~3 200 m 的地区, 是西南地区主要的采脂树种^[9]。云南松单株之间泌脂量差异明显, 单株年产脂量最高可达 11.00 kg, 而最低的甚至小于 1.00 kg, 直接影响了人们对云南松采脂利用的经济效益。研究表明: 高产脂马尾松 *Pinus massoniana* 针叶树脂道个数明显高于普通产脂量类型, 针叶树脂道数目与矫正产脂量、日产脂量和 10 cm 侧沟产脂量均存在显著相关。马尾松针叶树脂道个数越多, 其产脂力越高^[10]。此外, 分泌细胞个数与思茅松 *Pinus kesiya* var. *langbianensis* 的产脂力有密切关系, 分泌细胞个数越多, 其产脂力越高^[11]。关于云南松产脂量与针叶及树干解剖学之间关系的研究较少。鉴于此, 本研究以不同产脂量的云南松为对象, 研究云南松的解剖学特征及外界刺激对它产生的影响, 旨在为选育云南松高产脂优树和建立高产脂林定向培育技术体系提供依据。

1 研究区概况

研究区位于滇中高原楚雄州双柏县(24°19'~24°22'N, 101°34'~101°37'E), 该区海拔为 1 600~1 800 m, 气候垂直变化比较明显, 属于北亚热带季风气候。年平均气温为 15.5 ℃, 极端最高气温为 42.0 ℃, 极端最低气温为-8.4 ℃。雨热同季, 干湿分明, 年平均降水量约为 900 mm, 日照充足, 年平均日照时间为 2 355 h。土壤为偏酸性, 属于含钾、磷元素比较丰富的山地红壤。研究区以云南松纯林为主, 其中伴生了少量的麻栎 *Quercus acutissima*, 木荷 *Schima superba*, 滇青冈 *Cyclobalanopsis glaucoides*, 锐齿槲栎 *Q. aliena* var. *acuteserrata*, 高山栲 *Castanopsis delavayi* 和旱冬瓜 *Alnus nepalensis* 等。

2 材料与方法

2.1 采脂

在双柏县太和江林场, 根据当地脂农提供的该区域云南松多年的产脂情况以及现场实地勘察结果, 选择了松脂产量相对稳定且较高的云南松林地, 运用“S”型布点, 在同一等高线附近, 选择胸径大于 20.0 cm 并且已采 2 a 以上的生长状况基本一致的云南松 60 株, 用铁皮标牌依次给 60 株云南松编号。同时, 从 2015 年 3 月初至 10 月底对所选 60 株云南松进行采脂。采脂标准为: 采脂面选择云南松树干无结疤且向阳面, 采割位置距离地面 2.2 m, 先割中沟且垂直于地面, 再割侧沟且夹角为 70°左右, 采割深度到木质部, 但不超过 0.5 cm, 采割面的负荷率不能超过 50%并且长度为 20.0 cm^[12-14], 隔 2 d 采割 1 次, 每个月统计 60 株云南松的产脂量, 共统计 8 次, 以每株云南松 8 个月的总产脂量作为单株年产脂量。

2.2 试验样品采集

2.2.1 解剖样品取样 根据 60 株云南松产脂分组情况(组数为 12 组, 组距为 1.00 kg), 各组取 1/2 该组的株数, 若所得是小数, 则去除小数点后面取整数株, 若该组为 1, 则取 1 株, 若为 0, 则不取。共取 30 株, 用人工攀树和高枝剪相结合的方法在云南松的树冠中部向阳方向采取 1 年生针叶, 共采取针叶 10 束·株⁻¹, 洗净, 并用吸水纸吸干, 用剪刀取 5.0 cm 针叶中部放入固定液中(20.0 g·kg⁻¹ 多聚甲醛和 12.5 g·kg⁻¹ 戊二醛, 50 mmol·L⁻¹ 1,4 哌嗪二乙烷磺酸, pH 7.2)并编号, 共 30 个样, 带回实验室制作切片(试验中所用固定液均与此相同)。在每株树距离地面 3.5 m 高的位置, 去掉树皮(软木层), 记号笔画出 2.0 cm × 2.0 cm 的矩形, 用 1.0 cm 的凿子, 凿取 2.0 cm × 2.0 cm 的样品(包括韧皮部、形成层和木质部), 分别放入固定液中, 共 30 个样, 带回实验室制作切片, 用硅胶塞封住取样所造成的伤口。

2.2.2 茉莉酮酸甲酯实验取样 根据年产量大于 8.41 kg 为高产, 小于 3.35 kg 为低产的标准, 在 30 株云南松中选出高产和低产各 5 株, 根据胸径位置的周长, 将各株云南松树干均分成 3 个区域, 依次编号

A, B, C。第 1 次取样：A 区域为第 1 次取样区域，在 A 区域距离地面 3.5 m 高的位置，去掉树皮，凿取 $2.0\text{ cm} \times 2.0\text{ cm}$ 的样品，1 块·株⁻¹，共 10 块，分别放入固定液中(2.2.1 中已经取过样品)。在与 A 区域取样同一高度，去掉树皮(软木层)，将配好的 $100\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 茉莉酮酸甲酯溶液(茉莉酮酸甲酯+ $1.0\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 吐温 20)喷在 B 区域，用棉签涂抹该区域，防止液体流出，重复上述操作，使该区域保湿 5 min。在与 A 区域和 B 区域同样的处理高度，用 $1.0\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 吐温 20 处理 C 区域^[15-16]。第 2 次取样：处理后 8 d，在第 1 次取样及试剂处理的区域上方 5.0~20.0 cm 处分别取样，取样方法及样品处理同第 1 次取样。第 3 次取样：处理后 35 d，在第 1 次取样及试剂处理的区域下方 5.0~20.0 cm 处分别取样，取样方法及样品处理同第 1 次取样。

2.3 试验样品处理

将带回实验室的样品进行修整，针叶切成 2.0 cm ，木质部和韧皮部切成 $1.0\text{ cm} \times 1.0\text{ cm}$ ，用蒸馏水清洗修正后的样品，去除样品上多余的固定液，并用石蜡切片法将样品制成 $12.0\text{ }\mu\text{m}$ 的切片，经番红固绿染色后，中性树脂封片，然后用显微镜观察样品树脂道大小及分泌细胞个数。

2.4 数据处理与分析方法

用 SPSS 17.0 统计软件，运用 Pearson 相关系数评价 30 株云南松产脂量与其针叶和树干解剖特征之间的相关关系，同时，对所选高、低产脂各 5 株云南松针叶和树干解剖特征运用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较差异显著性，并用 Excel 2007 制图。

3 结果与分析

3.1 高、低产脂量云南松的确定

从 60 株云南松年产脂量的直方分布图(图 1)可以看出：云南松最低年产脂量、最高年产脂量和平均年产脂量分别为 0.80, 11.70 和 5.88 kg。经单样本 K-S 检验，云南松年产脂量呈正态分布(5.88, 2.53)，年产脂量小于 8.41 kg 并且大于 3.35 kg 的概率为 68.30%，而年产脂小于 2.35 kg 或者大于 8.41 kg 的概率均为 15.85%。以此来衡量高、低产脂量的标准，即高产脂量云南松为年产脂量大于 8.41 kg，低产脂产脂量云南松为年产脂量小于 3.35 kg。

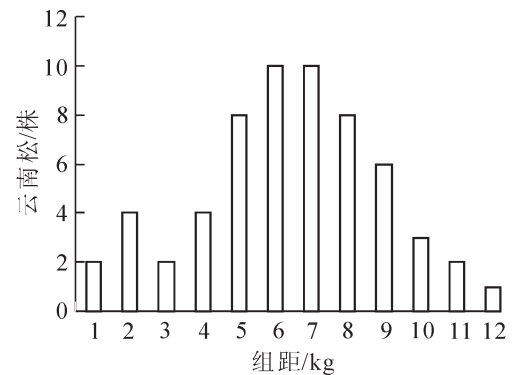


图 1 云南松产脂量直方分布图

Figure 1 Oleoresin yield of *Pinus yunnanensis* histogram distribution

3.2 云南松产脂量与针叶解剖学特征之间的相关分析

相关分析(图 2)表明：云南松产脂量与针叶树脂道个数、分泌细胞个数达极显著正相关($P < 0.01$)，说明针叶树脂道个数和分泌细胞越多，云南松产脂量越大。同时云南松产脂量与针叶树脂道面积没有相关关系($P > 0.05$)。

3.3 云南松产脂量与树干解剖学特征之间的相关分析

相关分析(图 3)表明：云南松产脂量与树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数均达到了极显著正相关($P < 0.01$)，说明随着树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个

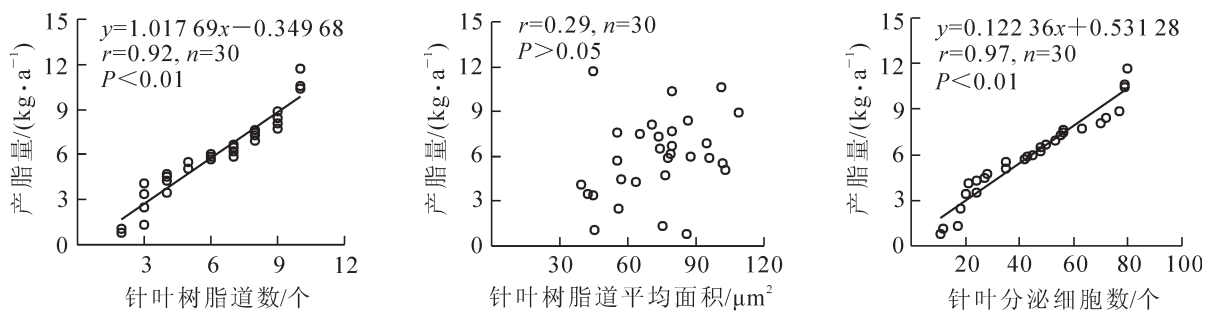


图 2 产脂量与针叶解剖特征之间的关系

Figure 2 Correlation between oleoresin yield and anatomical characteristics in leaves

数的增加, 云南松的产脂量也随之增加。云南松产脂量与树干韧皮部树脂道直径和木质树脂道面积没有相关关系($P>0.05$)。

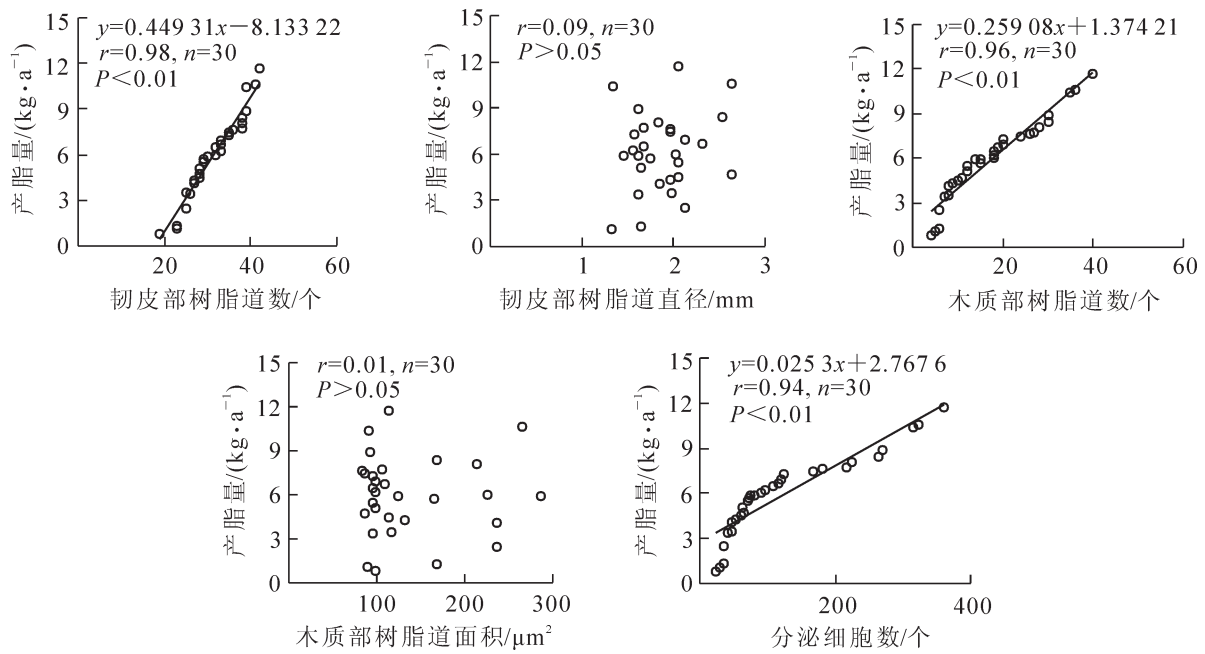


图3 产脂量与树干解剖特征之间的关系

Figure 3 Correlation between oleoresin yield and anatomical characteristics in branches

3.4 高、低产脂量云南松针叶解剖学特征的比较

高产脂云南松针叶树脂道个数是低产脂云南松个数的 3.9 倍, 高产脂云南松针叶分泌细胞个数是低产脂云南松的 5.4 倍(表 1), 并且高、低产脂量云南松针叶树脂道个数和分泌细胞个数均差异极显著($P<0.01$), 而高、低产脂量云南松针叶树脂道平均面积差异不显著($P>0.05$)。说明高产脂云南松针叶树脂道个数和分泌细胞个数极显著高于低产脂云南松。

表 1 云南松针叶解剖特征

Table 1 Anatomical characteristics of *Pinus yunnanensis* in leaves

产脂类型	树脂道数/个	树脂道平均面积/ μm^2	分泌细胞数/个
高产脂	9.75 ± 0.50 aA	83.54 ± 28.74 aA	78.75 ± 1.26 aA
低产脂	2.50 ± 0.58 bB	65.51 ± 18.29 aA	14.50 ± 3.51 bB

说明: 数值为平均值 $\pm$ 标准差, 同一指标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)

3.5 高、低产脂量云南松树干解剖学特征的比较

高、低产脂量云南松韧皮部树脂道个数分别为 100.63 和 56.25 个, 木质部树脂道个数分别为 88.13 和 13.13 个, 分泌细胞个数为别为 317.25 和 31.50 个。高产脂云南松韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数分别是低产脂云南松的 1.8 倍、6.7 倍和 10.1 倍(表 2), 并且高、低产脂量云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数均差异显著($P<0.01$), 而高、低产脂量云南松树干韧皮部树脂道直径和木质部树脂道面积差异不显著($P>0.05$)。说明高产脂云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数极显著高于低产脂云南松。

3.6 外界刺激对高、低产脂量云南松树干解剖特征的影响

在云南松受到外界刺激 8 d 后, 机械损伤和茉莉酮酸甲酯处理的高、低产脂量云南松树干韧皮部树脂道、木质部树脂道个数和分泌细胞个数显著高于 1.0 g $\cdot$ kg⁻¹ 吐温 20 处理的高、低产脂量云南松($P<0.05$), 而韧皮部树脂道直径和木质部树脂道面积, 3 个处理之间差异不显著($P>0.05$)(表 3)。处理 35 d 后, 机械损伤的高产脂云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数分别增加 16.50 个 $\cdot$ cm⁻², 7.23 个 $\cdot$ cm⁻² 和 5.04 个, 低产脂云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分

泌细胞个数分别增加19.65 个·cm⁻²，8.60 个·cm⁻² 和 5.51 个。此外，茉莉酮酸甲酯处理的高产脂云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数分别增加 14.25 个·cm⁻²，6.10 个·cm⁻² 和 2.8 个，低产脂云南松树干韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数分别增加 16.58 个·cm⁻²，7.03 个·cm⁻² 和 3.09 个。两者均显著高于 1.0 g·kg⁻¹ 吐温 20 处理的高、低产脂量云南松(*P*<0.05)。机械损伤和茉莉酮酸甲酯处理 8 d 后，高、低产脂量云南松树干各指标均比后期变化大，而 1.0 g·kg⁻¹ 吐温 20 处理的基本没变化。

表 2 云南松树干解剖特征
Table 2 Anatomical characteristics of *Pinus yunnanensis* in branches

产脂类型	韧皮部树脂道数/ (个·cm ⁻²)	韧皮部树脂道直径/ mm	木质部树脂道数/ (个·cm ⁻²)	木质部树脂道面积/ μm ²	分泌细胞数/ 个
高产脂	100.63 ± 3.75 aA	1.91 ± 0.56 aA	88.13 ± 10.28 aA	140.66 ± 3.97 aA	317.25 ± 7.02 aA
低产脂	56.25 ± 6.29 bB	1.87 ± 0.47 aA	13.13 ± 2.39 bB	148.00 ± 8.30 aA	31.50 ± 5.75 bB

说明：数值为平均值±标准差，同一指标不同小写字母表示差异显著(*P*<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*<0.01)

表 3 外界刺激高、低产脂量云南松树干解剖学特征的变化

Table 3 Anatomical characteristics of *Pinus yunnanensis* in branches between high and low oleoresin yield after the outside stimuli

取样 次序	韧皮部树脂道数/ (个·cm ⁻²)		韧皮部树脂道直径/mm		木质部树脂道数/ (个·cm ⁻²)		木质部树脂道面积/μm ²		分泌细胞数/个	
	高产脂	低产脂	高产脂	低产脂	高产脂	低产脂	高产脂	低产脂	高产脂	低产脂
1	P 100.63±3.75	56.25±6.29	1.91±0.56	1.87±0.46	88.13±10.28	13.13±2.39	140.66±3.97	148.00±8.30	317.25±7.02	31.50±5.75
	A 110.88±1.88	a 66.63±1.63	a 2.15±0.18	a 2.19±0.34	a 92.98±5.90	a 18.15±2.53	a 145.68±3.64	a 153.05±8.56	a 320.26±2.65	a 34.95±1.05
2	B 109.05±1.08	a 68.35±2.08	a 2.09±0.21	a 2.10±0.25	a 91.70±3.95	a 17.58±1.98	a 140.59±4.12	a 148.04±7.98	a 319.65±2.84	a 33.89±0.27
	C 100.65±2.88	b 56.20±4.95	b 1.92±0.52	a 1.86±0.18	b 88.13±2.65	b 13.13±2.13	b 140.66±3.59	a 148.00±9.12	a 317.24±3.56	b 31.49±0.48
	A 117.13±1.20	a 75.90±3.38	a 2.26±0.24	a 2.32±0.23	a 95.35±5.30	a 21.73±1.00	a 146.67±3.12	a 154.01±8.96	a 322.29±4.56	a 37.01±1.25
3	B 114.88±0.65	a 72.83±2.45	a 2.19±0.14	a 2.25±0.19	a 94.23±4.95	a 20.15±0.63	a 140.66±4.15	a 148.02±7.69	a 320.05±3.15	a 34.59±0.95
	C 100.60±3.13	b 56.23±5.33	b 1.91±0.63	a 1.87±0.42	a 88.10±2.23	b 13.13±4.13	b 140.65±3.76	a 148.03±8.17	a 317.25±4.12	b 31.50±2.01

说明：数值为平均值±标准差，P 表示未做任何处理，A，B 和 C 分别表示机械损伤、茉莉酮酸甲酯处理和 1.0 g·kg⁻¹ 吐温 20 处理。每次取样不同处理间字母不同表示差异显著(*P*<0.05)

3.7 云南松解剖学特征的主成分分析

主成分分析表明(表 4)：5 个主成分的提取量都达 80%以上。第 1 个主成分的特征根为 4.832，累积贡献率达 85%以上，所以不需要增加主成分。根据特征根大于或者等于 1 的原则提取了 1 个主成分，该成分包含针叶树脂道个数(*x*₁)，针叶分泌细胞个数(*x*₂)，韧皮部树脂道个数(*x*₃)，木质部树脂道个数(*x*₄)和树干分泌细胞个数(*x*₅)，与云南松产脂量(*y*)的关系为：*y*=0.978*x*₁+0.994*x*₂+0.986*x*₃+0.995*x*₄+0.962*x*₅，其中木质部树脂道个数所占的载荷值最大为 0.993，因此木质部树脂道个数可作为选取高产脂云南松的重要指标。

表 4 主成分分析
Figure 4 Principal component analysis

成分	提取量	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%	载荷
针叶树脂道个数	0.957	4.832	96.641	96.641	0.978
针叶分泌细胞个数	0.987	0.125	2.498	99.139	0.994
韧皮部树脂道个数	0.972	0.030	0.598	99.737	0.986
木质部树脂道个数	0.990	0.008	0.166	99.903	0.995
树干分泌细胞个数	0.926	0.097	0.097	100.000	0.962

4 结论与讨论

树脂道是广泛存在于松树针叶和树干中的一种解剖器官，主要包括本构性树脂道和诱导性树脂道。

本构性树脂道是松树固有的一种结构,而诱导性树脂道则是植物受到外界昆虫入侵或机械损伤时所形成的一种防御结构。本研究表明:高、低产脂量云南松针叶树脂道个数、韧皮部和木质部树脂道个数均表现出差异极显著($P<0.01$),而且,随着这些树脂道的增加,云南松产脂量也不断增加($P<0.01$),这与朱秋云等^[10]、王海林等^[17]的研究结果相似。可能是因为松树自身的防御机制与树脂道有关,而松脂是松树分泌的一种次生代谢产物,存储在树脂道中,当松树受到机械损伤或者昆虫入侵,存储在本构性树脂道中本构性树脂迅速溢出,杀死昆虫及病菌并封闭伤口,同时诱导形成大量诱导性树脂道及诱导性松脂^[18-19]。

分泌细胞也是植物解剖结构的一个关键,它参与了植物体内多种生理生化反应。本研究表明:高产脂云南松针叶及树干分泌细胞极显著高于低产脂云南松($P<0.01$),而且,随着这些分泌细胞个数的增加,云南松产脂量也不断增加($P<0.01$)。这与穆茹等^[11]所得结论相同。松脂是由分泌细胞分泌的^[18],松树在受到外界刺激时,存储在本构性树脂道中的松脂就会大量流出,同时形成大量新的分泌细胞,分泌更多的松脂^[19-20]。

主成分分析发现:木质部树脂道个数可作为选取高产脂量云南松的指标。本研究还发现:机械损伤和茉莉酮酸甲酯处理能增加云南松树脂道个数和分泌细胞个数,并且,低产脂云南松韧皮部树脂道个数、木质部树脂道个数和分泌细胞个数增加的量比高产脂云南松多,但是否能提高云南松产脂量有待进一步研究。

5 参考文献

- [1] BANNAN M W. Vertical resin ducts in the secondary wood of the Abietineae [J]. *New Phytol*, 1936, **35**(1): 11 – 46.
- [2] 曹逸霞, 张真, 刘随存, 等. 针叶树树脂的抗害功能及抗害机制[J]. 昆虫知识, 2007, **44**(6): 804 – 810.
CAO Yixia, ZHANG Zhen, LIU Suicun, *et al.* Advances in the research on the resistance of conifer resin to pests [J]. *Chin Bull Entomol*, 2007, **44**(6): 804 – 810.
- [3] 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.
LI Aimin, WANG Yurong, WU Hong. Initiation and development of resin ducts in major organs of *Pinus massoniana* [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44**(9): 36 – 40.
- [4] 宋湛谦, 梁志勤, 刘星, 等. 中国五针松组松脂的化学特征[J]. 林产化学与工业, 1993, **13**(1): 1 – 8.
SONG Zhanqian, LIANG Zhiqin, LIU Xing, *et al.* Chemical characteristics of oleoresins in Chinese sect. *strobilus* [J]. *Chem Ind For Prod*, 1993, **13**(1): 1 – 8.
- [5] 宋湛谦, 刘星, 梁志勤, 等. 国外引种松树松脂化学组成的特征[J]. 林产化学与工业, 1993, **13**(4): 277 – 287.
SONG Zhanqian, LIU Xing, LIANG Zhiqin, *et al.* Chemical characteristics of oleoresins of some exotic pines [J]. *Chem Ind For Prod*, 1993, **13**(4): 277 – 287.
- [6] 宋湛谦, 刘星, 梁志勤, 等. 中国采脂树种松脂的化学特征[J]. 林产化学与工业, 1993, **13**(增刊): 27 – 32.
SONG Zhanqian, LIU Xing, LIANG Zhiqin, *et al.* Chemical characteristics of oleoresins from Chinese pine species for oleoresin production [J]. *Chem Ind For Prod*, 1993, **13**(suppl): 27 – 32.
- [7] LEE H J, RAVN M M, COATES R M. Synthesis and characterization of abietadiene, levopimaradiene, palustradiene, and neoabietadiene: hydrocarbon precursors of the abietane diterpene resin acids [J]. *Tetrahedron*, 2001, **57**(29): 6155 – 6177.
- [8] 穆茹, 普晓兰. 云南松脂原料林发展现状、存在问题与对策研究[J]. 山东林业科技, 2010(3): 107 – 109.
MU Ru, PU Xiaolan. Status and countermeasures about developing of pine resin in Yunnan [J]. *J Shandong For Sci Technol*, 2010(3): 107 – 109.
- [9] 金振洲, 彭鉴. 云南松[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004.
- [10] 朱秋云, 黄益江. 马尾松树脂道与产脂力的回归分析研究[J]. 福建林业科技, 2002, **29**(4): 15 – 16.
ZHU Qiuyun, HUANG Yijiang. Regression analytical studies on the resin canal and resin-producing capacity of *Pinus massoniana* [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2002, **29**(4): 15 – 16.
- [11] 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.
MU Ru, WANG Shuguang, PU Xiaolan. Anatomical comparison of the resin duct structure between the high and low

- resin yield trees of *Pinus kesia* var. *langbianensis* [J]. *China For Sci Technol*, 2012, **26**(2): 49 – 53.
- [12] 安宁, 丁贵杰. 主要气象因子对马尾松松脂产量的影响初报[J]. 山地农业生物学报, 2010, **29**(2): 177 – 180.
AN Ning, DING Guijie. A preliminary investiga in the main meteorolog factors impacting the yield of pine resin [J]. *J Mt Agric Biol*, 2010, **29**(2): 177 – 180.
- [13] 黄益江, 蔡邦平, 梁一池. 叶绿素含量与马尾松产脂力相关研究[J]. 福建林学院学报, 1998, **18**(1): 58 – 61.
HUANG Yijiang, CAI Bangping, LIANG Yichi. A study on the relationships between chlorophyll content and resin productivity of masson pine [J]. *J Fujian Coll For*, 1998, **18**(1): 58 – 61.
- [14] 王长新. 马尾松采脂量的相关因子分析[J]. 河南科技大学学报(农学版), 2004, **24**(3): 22 – 25.
WANG Changxin. Correlative analysis between the factors and oleoresin output of *Pinus massoniana* [J]. *J Henan Univ Sci Technol Agric Sci*, 2004, **24**(3): 22 – 25.
- [15] ERBILGIN N, COLGAN L J. Differential effects of plant ontogeny and damage type on phloem and foliage monoterpenes in jack pine (*Pinus banksiana*) [J]. *Tree Physiol*, 2012, **32**(8): 946 – 957.
- [16] GAZMEND Z, PAAL K, ERIK C, *et al.* Methyl jasmonate treatment of mature Norway spruce (*Picea abies*) trees increases the accumulation of terpenoid resin components and protects against infection by *Ceratocystis polonica*, a bark beetle-associated fungus [J]. *Tree Physiol*, 2006, **26**(8): 977 – 988.
- [17] 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.
WANG Hailin, YANG Wenyun, GAO Chengjie, *et al.* Anatomical comparison of resin canals in *Pinus yunnanensis* with different oleoresin yield [J]. *For Res*, 2015, **28**(3): 352 – 357.
- [18] 李青青, 段焰青, 叶辉, 等. 针叶树对小蠹虫的防御机制[J]. 中国森林病虫, 2007, **26**(6): 21 – 24, 44.
LI Qingqing, DUAN Yanqing, YE Hui, *et al.* Defense mechanisms of coniferous trees against bark beetles [J]. *For Pest Dis*, 2007, **26**(6): 21 – 24, 44.
- [19] HUDGINS J W, CHRISTIANSEN E, FRANCESCHI V R. Induction of anatomically based denfense responses in stems of diverse conifers by methyl jasmonate: a phylogenetic perspective [J]. *Tree Physiol*, 2004, **24**(3): 251 – 264.
- [20] 吴鸿, 胡正海. 油松树脂道的发育过程和组织化学研究[J]. 林业科学, 1995, **31**(1): 51 – 55.
WU Hong, HU Zhenghai. Histochemisty of resin duct development of *Pinus tabulaeformis* Carr. [J]. *Sci Silv Sin*, 1995, **31**(1): 51 – 55.