

湿地松自由授粉家系松脂组分遗传变异研究

李彦杰¹, 栾启福¹, 沈丹玉^{1,2}, 陈彬³, 姜景民^{1*}, 傅用山⁴

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 国家林业局经济林产品质量检验检测中心(杭州), 浙江 富阳 311400;
3. 江西省景德镇市枫树山林场, 江西 景德镇 333000; 4. 浙江省金华市金东区傅村镇人民政府, 浙江 金华 321037)

摘要: 湿地松; 松脂; 单萜烯类; 树脂酸类; 遗传变异

中图分类号: S791.246

文献标识码: A

Study on Genetic Variation of Resin Components among Open-pollinated Families of Slash Pine

LI Yan-jie¹, LUAN Qi-fu¹, SHEN Dan-yu^{1,2}, CHEN-bin³, JIANG Jing-min¹, FU Yong-shan⁴

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Quality Testing Center for Non-wood Forest Products of State Forestry Administration (Hangzhou), Fuyang 311400, Zhejiang, China;

3. Fengshushan Forest Farm of Jingdezhen City, Jiangxi Province, Jingdezhen 333000, Jiangxi, China;

4. People's Government of Fucun Town, Jindong District, Jinhua City, Jinhua 321037, Zhejiang, China)

Abstract: To study the genetic variation of slash pine (*Pinus elliottii*) resin components, 98 individual trees from 38 open pollinated families in Changle Forest Farm, Zhejiang Province, were selected for the determination of resin components and the hereditary correlation analysis, the result shows that slash pine resin contains ten kinds of monoterpene, namely α -pinene, β -pinene, camphene, α -phellandrene, β -phellandrene, β -myrcene, sabinene, tricyclene, estragole and trans-anethole, which altogether account for more than 9.86%. Analysis of variance indicates highly significant differences in all components except for estragole and tricyclene among the families ($P < 0.01$); the estimated family heritability for monoterpene components is between 0.50–0.95 with strong hereditary transmission capability. There was a significant negative genetic correlation ($r = -0.46$, $P < 0.01$) between α -pinene and β -pinene. The resin acids mainly include twenty components in pimaric type acid and abietic type acid, namely: pimaric acid, palustric acid, sandaracopimaric acid, isopimaric acid, abietic acid, neoabietic acid, dehydroabietate, communic acid, levopimarate, pimaral, isopimaral, 8,12-abietadienoate, 8,15-abietadienoate, 7,13,15-abietatrienoate, 15-hydroxydehydroabietic acid, 8,15-pimarene, rimuen, isosteviol and kaurene, among which the abietic type acids is greater than the pimaric type acid, analysis of variance indicates highly significant differences in pimaric acid, isopimaric acid, abietic acid, neoabietic acid, pimaral, isopimaral, 8,12-abietadienoate, 8,15-abietadienoate, 7,13,15-abietatrienoate, 15-hydroxydehydroabietic acid, 8,15-pimarene, and rimuen, the estimated family heritability for these twelve resin acid components is between 0.50–0.81, the heritability is relatively stable.

Key words: slash pine; resin; monoterpenes; resin acids; genetic variation

收稿日期: 2012-04-09

基金项目: 林业公益性行业科研专项“脂用马尾松和湿地松育种体系营建技术”(201104020); 中国林业科学研究院中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(CAFYBB2010003-1)

作者简介: 李彦杰(1986—),男,河南安阳人,在读硕士研究生,主要研究方向林木遗传育种。

* 通讯作者: 姜景民,博士,研究员,硕士生导师,主要研究方向林木种质资源收集及应用. E-mail: exotic-pine@hotmail.com

湿地松 (*Pinus elliottii* Englem.) 原产于美国, 不仅是重要的用材、纸浆材树种, 更是优良的产脂树种。我国在 20 世纪 30 年代初开始引进美国湿地松, 目前种植面积达 200 万 hm^2 , 已经成为重要的用材、采脂树种^[1-3]。松脂是生产松香、松节油的原料, 也是重要的工业原料^[4]; 然而, 国内对松脂质量研究重视不够, 研究方法较粗放^[5-7], 不能满足我国松脂产业发展对优质湿地松种植材料的需求。

国外对松脂相关性状研究中阐明了松脂应用及遗传的一般规律^[8-11], 为我国的相关研究提供了基础资料。随着国内松脂产业的发展, 马尾松 (*P. massoniana* Lamb.)、思茅松 (*P. kesiya* Royle ex Gordon var. *langbianensis* (A. Chev.) Gaussen ex Bui) 等本地松树松脂遗传选择研究取得了一定的成果^[12-15], 近年来又开展了湿地松单萜烯类组分的遗传选择和研究^[16-18], 以及关于部分杂交松节油的相关分析^[20-22], 这些工作为推动我国高产优质脂用松树研究打下了基础; 然而, 相关研究特别是对湿地松松脂成分的遗传研究并没有涉及到双萜烯类组分, 研究群体代表性不强, 不能很好地指导我国湿地松脂用林的持续遗传改良。本文借鉴国内外有关产脂性状的研究方法, 对我国引进、驯化并正在进行遗传改良的湿地松育种群体进行松脂组分测定和遗传分析, 为我国优质、高产脂用湿地松的遗传改良和选择提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

采集松脂的活立木为中国林科院亚热带林业研究所湿地松遗传改良测定林, 位于浙江杭州余杭区长乐林场, 1994 年春季营建。试验地处于中亚热带北缘 (30°27' N, 119°48' E), 属低丘缓坡, 年平均气温为 16.1 °C, 年降水量 1 399 mm, 雨水充沛, 气候宜人。土壤以红壤为主, pH 值 5.5 左右, 土壤厚度为 30 ~ 100 cm。试验共包括 88 个自由授粉家系, 采用随机区组设计, 单行 6 株小区, 6 个重复。营建时株行距为 2 m × 3 m, 2000 年每木生长量测定后进行了间伐, 清除了约 10% 生长不良的单株。

1.2 松脂收集方法

2011 年 8 月在温度和湿度较一致的高温高湿天气下, 随机抽取 88 个湿地松家系中的 38 个家系采集松脂, 每个家系随机选择 3 个重复, 每个重复选择 1 株平均木作为松脂抽样采集的标准木。采脂方

向统一为树干向阳面, 早上 8:00 时放置收集器, 24 h 后收回。

松脂收集时在树木胸高位置用直径为 16 mm 的钻头进行钻孔, 孔深 0.5 ~ 0.8 cm (以切断韧皮层、抵达木质部为准)。利用孔径为 18 mm 的专用塑料管固定在钻孔处收集松脂, 收集松脂过程中使松脂与外界隔绝, 可以有效减少氧化、防止杂物污染, 收集的松脂澄清、明亮。从树上取下松脂收集塑料管后迅速利用配套的螺口塑料盖密封并记录、核对样品编号, 保证样品在运输、送检过程中不被氧化和污染 (该收集装置已申请专利)。

1.3 化学成分分析

采回的松脂委托国家林业局经济林产品质量检验检测中心 (杭州) 进行松脂成分测试分析, 最终获得 98 个单株松脂的测定数据 (由于收集过程中样品缺失, 有 16 个单株没有获得有效数据)。

测定仪器: 美国 Agilent Technologies 公司产的 HP6890GC/5975B 气相色谱 - 质谱联用仪。

测试药品: 无水乙醇, 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司产; 25% 四甲基氢氧化铵-甲醇溶液, Alfa Aesar 公司产。

样品前处理: 称取 0.05 g 松脂至样品瓶中, 加 0.5 mL 乙醇溶解, 加 50 μL 四甲基氢氧化铵溶液反应, 反应液待测。

色谱条件: HP-5MS 石英毛细管柱 (30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 采用程序升温: 60 °C 保持 2 min, 以 2 °C · min⁻¹ 升到 80 °C, 保持 5 min, 再以 4 °C · min⁻¹ 升到 280 °C, 保持 5 min; 进样口温度 260 °C; 进样量 1 μL , 分流比 50:1; 载气为高纯氮气; 溶剂延迟 3 min。MS 条件为电离方式 EI; 电子能量 70 eV; 传输线温度 250 °C; 离子源温度 230 °C; 扫描的质量范围 30 ~ 600 amu。

数据处理: 通过化学工作站数据处理系统, 各成分分别用 NIST08 谱库进行检索, 并参考相关文献 [18-19] 核对, 进行定性。化合物的定量利用色谱峰面积归一化法, 测得各化学成分在松脂中的相对百分含量。

1.4 统计分析方法

子代测定林中单株观测值的线性模型^[23]:

$$y_{ij} = \mu + F_i + \varepsilon_{ij}$$

式中: y_{ij} 为第 i 家系第 j 个体的表型值, $i = 1, 2, \dots, 38, j = 1, 2, 3$; i 为家系数, j 为重复数; μ 为所有个体观测值的总平均数; F_i 为第 i 家系的随机效应;

ε_{ij} 为单株间误差。

所有数据以单株为统计值,采用 SAS 软件包中的 GLM 过程和 REML(限制性最大似然法)过程进行方差和遗传力分析,该过程可以处理缺株时的不平衡数据,分析方法参见文献[10]。

2 结果与分析

2.1 湿地松松脂中单萜烯、倍半萜烯类与双萜烯类主要组分相对含量

湿地松松脂分为松节油和松香两部分,松节油主要包括单萜烯类与倍半萜烯类,松香主要包括双萜烯类。对 38 个湿地松家系松脂中单萜烯类、倍半萜烯类与双萜烯类各主要组分进行统计分析,其中松节油的成分占松脂总量的 10.62%,松香的成分占松脂总量的 89.38%。由表 1 可见:单萜烯类主要组分共检测出 10 种,其中以 α -蒎烯、 β -蒎烯这两种成分为主,占松节油成分总含量的 96.37% 以上;另

外还包括莰烯、 α -水芹烯、 β -水芹烯、 β -月桂烯、桉烯、三环烯、草蒿脑和茴香脑 8 种组分,这 10 种组分占松脂总量的 9.86% 左右。倍半萜烯类组分含量甚微,检测出 2 种,分别为 γ -石竹烯和 γ -榄香烯,占松脂总量的 0.26%。松脂松香中,双萜烯类主要组分包含 20 种,占松脂总量的 89.02% 左右,其中,左旋海松酸含量最高,占树脂酸总量的 26.24%;贝壳杉烯含量最低,只占松脂总量的 0.09%。其中海松酸、湿地松酸,山达海松酸、异海松酸属于海松酸型树脂酸,其分子结构的 C-13 位上有一个甲基和一个乙烯基,不存在共轭双键,相对含量稳定。松脂中海松酸型树脂酸含量为 26.42%,而长叶松酸、左旋海松酸、枞酸、新枞酸属于枞酸型树脂酸,分子中具有共轭双键,不稳定,各植株变化较大,可能是受到气温变化的影响。去氢枞酸分子中三环菲结构有一苯环,属稳定结构^[18]。枞酸型树脂酸在松脂中含量占 58.89% 左右。

表 1 38 个湿地松家系松脂中单萜烯类、倍半萜烯类与双萜烯类主要组分相对含量统计和变异分析

变量	均值/ %	方差	标准差	极差	变异系数/ %	
单萜烯类(松节油)	α -蒎烯	6.27	1.42	1.19	6.42	18.98
	β -蒎烯	3.23	2.14	1.46	7.96	45.20
	莰烯	0.11	0.00	0.02	0.11	18.18
	β -月桂烯	0.10	0.01	0.03	0.17	30.00
	草蒿脑	0.09	0.01	0.09	0.41	100.00
	茴香脑	0.02	0.00	0.03	0.16	150.00
	α -水芹烯	0.01	0.00	0.02	0.11	200.00
	三环烯	0.01	0.00	0.01	0.04	100.00
	β -水芹烯	0.01	0.00	0.01	0.09	100.00
	桉烯	0.01	0.00	0.03	0.14	300.00
倍半萜烯类(松节油)	γ -石竹烯	0.19	0.01	0.10	0.45	52.63
	γ -榄香烯	0.07	0.01	0.03	0.21	42.86
双萜烯类(松香)	左旋海松酸	26.24	10.99	3.32	32.17	12.65
	8,13-枞二烯酸	16.76	5.99	2.45	21.14	14.62
	异海松酸	15.70	5.06	2.25	17.58	14.33
	枞酸	9.48	4.89	2.21	13.98	23.31
	去氢枞酸	4.92	2.11	1.45	9.07	29.47
	湿地松酸	4.72	1.39	1.18	8.52	25.00
	海松酸	4.67	1.18	1.09	6.53	23.34
	山达海松酸	1.33	1.18	1.09	6.98	81.95
	8,15-海松烯	1.18	0.82	0.91	3.40	77.12
	异海松醛	0.87	0.29	0.53	2.84	60.92
	长叶松酸	0.49	0.31	0.55	4.42	112.24
	芮木泪柏烯	0.48	0.15	0.38	1.45	79.17
	海松醛	0.47	0.05	0.22	1.14	46.81
	8,15-枞二烯酸	0.30	0.09	0.30	1.35	100.00
	8,12-枞二烯酸	0.24	0.04	0.20	0.92	83.33
	异甜菊醇	0.20	0.04	0.20	1.19	100.00
	15-羟基去氢枞酸	0.20	0.03	0.17	0.84	85.00
	新枞酸	0.14	0.04	0.19	1.22	135.71
	7,13,15-枞三烯酸	0.13	0.01	0.11	0.91	84.62
	贝壳杉烯	0.09	0.00	0.03	0.19	33.33

单萜烯类中 β -蒎烯、 α -水芹烯、 β -水芹烯、三环烯、草蒿脑和茴香脑的变异系数较大,而 α -蒎烯变异系数相对较小,说明湿地松家系间松节油的 β -蒎烯、 α -水芹烯、 β -水芹烯、三环烯、草蒿脑和茴香脑的相对含量差异较大,可以对其中某一种组分进行有效选择,譬如可以选择 β -蒎烯含量高的家系;而 α -蒎烯在湿地松家系间的相对含量较一致,选择效果较小。同样,双萜烯类中海松酸、枞酸、长叶松酸、山达海松酸、去氢枞酸、新枞酸、异海松醛、8,12-枞二烯酸、8,15-枞二烯酸和异甜菊醇的变异系数较大,是可以有效选择的树脂酸成分;而左旋海松酸、异海松酸和 8,13-枞二烯酸变异系数较小,仅为 12.65%~14.62%,选择效果也较小。

2.2 湿地松松脂中单萜烯类与双萜烯类主要组分方差分析

为研究松脂中各主要成分的遗传变异模式,对 38 个湿地松家系松脂中单萜烯类与双萜烯类各组分的百分含量进行方差分析,由于倍半萜类组分含量甚微,故不作分析,结果见表 2。可以看出:松脂中单萜烯类中除三环烯、草蒿脑外其他 8 个主要组分家系间差异均极显著。双萜烯类中海松酸、枞酸、异海松酸、新枞酸、海松醛、异海松醛、8,12-枞二烯酸、8,15-枞二烯酸、7,13,15-枞三烯酸、15-羟基去氢枞酸、8,15-海松烯和芮木泪柏烯的家系效应极显著,这为优良家系的选择奠定了基础。

2.3 湿地松松脂中单萜烯类和双萜烯类各组分遗传力分析

用 SAS 软件包中的 REML(限制性最大似然法)过程对 17 年生的 38 个湿地松家系松脂中的 10 种单萜烯类、20 种双萜烯类组分进行遗传力估算,结果见表 2。表 2 显示:单萜烯类组分中除草蒿脑、三环烯以外,其他 8 个组分的家系遗传力在 0.50~0.95 之间,处于较高水平,说明这 8 个组分受较高的家系遗传效应控制,可以进行有效选择。 β -蒎烯是合成香料的重要单体,湿地松松脂的松节油中 β -蒎烯含量高,有较高的实用价值。茨烯具有对昆虫的拒食性^[24-25],在湿地松松脂中含量也相对较高。且 β -蒎烯、茨烯遗传力均相对较高,所以在遗传选育过程中,可以根据需要选育出高 β -蒎烯、高抗性状的优良家系。

海松酸、异海松酸、枞酸、新枞酸、海松醛、异海松醛、8,12-枞二烯酸、8,15-枞二烯酸、7,13,15-枞三烯酸、15-羟基去氢枞酸、8,15-海松烯和芮木泪柏烯

表 2 湿地松松脂中单萜烯类 10 个组分和双萜烯类 20 个组分的方差分析与遗传力(h^2)估算

组分	F -值	h^2	
单萜烯类(松节油)	β -水芹烯	18.87**	0.95
	桉烯	18.78**	0.95
	α -水芹烯	7.87**	0.87
	β -月桂烯	2.51**	0.60
	茴香脑	2.29**	0.56
	β -蒎烯	2.14**	0.53
	茨烯	2.00**	0.50
	α -蒎烯	1.98**	0.50
	草蒿脑	1.24	0.19
	三环烯	0.82	0.38
双萜烯类(松香)	枞酸	5.32**	0.81
	异海松酸	3.18**	0.69
	7,13,15-枞三烯酸	2.74**	0.64
	8,15-海松烯	2.65**	0.62
	海松酸	2.57**	0.61
	海松醛	2.37**	0.58
	芮木泪柏烯	2.35**	0.57
	15-羟基去氢枞酸	2.27**	0.56
	8,15-枞二烯酸	2.24**	0.55
	8,12-枞二烯酸	2.19**	0.54
	异海松醛	2.09**	0.52
	新枞酸	2.01**	0.50
	贝壳杉烯	1.52	0.34
	异甜菊醇	1.48	0.32
	长叶松酸	1.43	0.30
	山达海松酸	1.37	0.27
	左旋海松酸	1.36	0.27
	湿地松酸	1.35	0.26
	8,13-枞二烯酸	1.35	0.26
去氢枞酸	1.28	0.22	

注:**表示 0.01 水平显著。

这 12 种组分遗传力较高,在 0.50~0.81 之间。海松酸型树脂酸大多具有抗菌、消炎、杀虫、降胆固醇、抗癌等生物活性^[26]。因此,在选择育种过程中,可以根据具体需要进行某种成分的选择,以期获得具有高产、高抗、高品质松脂的优良家系。

2.4 湿地松松脂中单萜烯类、双萜烯类以及两类之间各主要组分间的相关性分析

2.4.1 单萜烯类各主要组分之间的相关性分析

为测定湿地松松脂中单萜烯类和双萜烯类各主要组分之间的相关关系,对这两类松脂的各主要组分分别进行了相关性分析。从表 3 可以看出: α -蒎烯与 β -蒎烯呈极显著的负相关关系,这与庄伟瑛等^[16-17]

研究得出的结论相同。有学者^[27]认为,α-蒎烯与β-蒎烯同属于一条等位基因,二者的合成呈负相关关系。另外,蒎烯与β-蒎烯也呈极显著负相关关系,

蒎烯与桉烯、β-月桂烯、α-水芹烯、β-水芹烯呈极显著正相关关系。

表3 湿地松松脂中单萜烯类各主要组分之间的相关性分析

组分	三环烯	α-蒎烯	蒎烯	桉烯	β-蒎烯	β-月桂烯	α-水芹烯	β-水芹烯	草蒿脑	茴香脑
三环烯	1.00									
α-蒎烯	0.40**	1.00								
蒎烯	0.17	0.85**	1.00							
桉烯	0.20*	-0.06	0.31**	1.00						
β-蒎烯	-0.19	-0.46**	-0.33**	-0.01	1.00					
β-月桂烯	0.16	0.31**	0.64**	0.65**	0.28**	1.00				
α-水芹烯	0.21*	0.06	0.41**	0.91**	-0.18	0.67**	1.00			
β-水芹烯	0.24*	0.04	0.38**	0.92**	-0.16	0.65**	0.99**	1.00		
草蒿脑	0.09	0.09	0.13	0.04	-0.16	0.13	0.21*	0.21*	1.00	
茴香脑	-0.03	0.06	0.13	0.12	-0.19	0.12	0.23**	0.24*	0.70**	1.00

注: *表示0.05水平显著, **表示0.01水平显著,下同。

2.4.2 双萜烯类各主要组分之间的相关性分析

表4显示:湿地松松脂中双萜烯类主要组分海松酸、湿地松酸、异海松酸、枞酸与左旋海松酸呈极显著负相关关系,而8,13-枞二烯酸则与左旋海松

酸呈极显著正相关关系,与海松酸、异海松酸、去氢枞酸呈极显著的负相关关系,枞酸、山达海松酸与8,15-海松烯呈极显著的正相关关系,其他成分之间相关性不大。

表4 湿地松松脂中双萜烯类各主要组分之间的相关性分析

组分	8,15-海松烯	海松酸	湿地松酸	异海松酸	左旋海松酸	去氢枞酸	枞酸	山达海松酸	8,13-枞二烯酸
8,15-海松烯	1.00								
海松酸	0.03	1.00							
湿地松酸	-0.26*	0.08	1.00						
异海松酸	-0.04	0.19	0.14	1.00					
左旋海松酸	-0.14	-0.34**	-0.27**	-0.49**	1.00				
去氢枞酸	-0.04	0.00	-0.02	0.00	-0.08	1.00			
枞酸	0.30**	0.02	0.20	-0.01	-0.39**	-0.11	1.00		
山达海松酸	0.55**	0.23*	-0.18	-0.22*	-0.20*	-0.06	0.07	1.00	
8,13-枞二烯酸	-0.06	-0.37**	-0.18	-0.49**	0.49**	-0.51**	-0.14	-0.06	1.00

2.4.3 单萜烯类各主要组分与双萜烯类各主要组分间的相关性分析

对湿地松松脂中单萜烯类主要组分α-蒎烯、β-蒎烯、蒎烯和双萜烯类主要组分8,15-海松烯、海松酸、湿地松酸、异海松酸、左旋海松酸、去氢枞酸、枞酸、山达海松酸和8,13-枞二烯酸进行了相关性分析,结果见表5。表5显示:α-蒎烯与异海松酸呈极显著的正相关关系,而与左旋海松酸和去氢枞酸呈显著的负相关关系;蒎烯与山达海松酸、8,13-枞二烯酸呈极显著的负相关关系,β-蒎烯与枞酸、异海松酸呈极显著的负相

关关系。可以看出,单萜烯类中各主要组分与双萜烯类各主要组分之间α-蒎烯与异海松酸呈极显著正相关关系,与左旋海松酸、去氢枞酸呈显著负相关关系;蒎烯与异海松酸呈极显著正相关关系,与山达海松酸、8,13-枞二烯酸呈极显著负相关关系;β-蒎烯则与异海松酸、枞酸呈极显著负相关关系。这些组分的相关性为多组分性状选择提供了参考,2个组分是正相关,可以同步选择,而2个组分是负相关,选择时就要考虑此消彼长的关系,有所取舍。

表5 湿地松松脂中单萜烯各主要组分与双萜烯类各主要组分间的相关性分析

组分	8,15-海松烯	海松酸	湿地松酸	异海松酸	左旋海松酸	去氢枞酸	枞酸	山达海松酸	8,13-枞二烯酸
α-蒎烯	-0.05	-0.09	0.13	0.36**	-0.32*	-0.22*	0.12	-0.15	-0.25
蒎烯	-0.16	-0.15	0.18	0.31**	-0.24	-0.12	-0.01	-0.28**	-0.29**
β-蒎烯	-0.24	0.06	0.16	-0.32**	-0.09	0.10	-0.35**	0.16	0.06

3 小结与讨论

对浙江杭州余杭区长乐林场湿地松遗传改良测定林的研究表明,湿地松松脂中单萜烯类组分的含量为9.86%左右,主要包括 α -蒎烯、 β -蒎烯、蒎烯、 α -水芹烯、 β -水芹烯、 β -月桂烯、桉烯、三环烯、草蒿脑和茴香脑10种组分,这10种组分中有8种组分的遗传力为0.50~0.95,且变异系数较高。湿地松松脂中单萜烯类组分主要为 α -蒎烯、 β -蒎烯,两者呈极显著的负相关关系,此消彼长, α -蒎烯与蒎烯呈极显著的正相关关系,而 β -蒎烯与蒎烯呈极显著的负相关关系,蒎烯又是诱导昆虫拒食的组分之一,因此可以根据不同的需要,在选择高产脂力家系的同时,选择松脂质量较好,且具有高抗虫的家系,这对湿地松遗传育种具有重要的意义。

本研究测定显示,湿地松松脂中松节油的含量均值为10.62%,有些偏低,可能是松脂收集与测定过程中存在系统误差所致。检测出微量的倍半萜烯类组分,主要为 γ -石竹烯和 γ -榄香烯,这与钟国华等^[18]得出的湿地松松节油的特点是不含有石竹烯的结论有出入,可能是因为收集松脂的方法和实验分析方法的同而造成的。

湿地松松脂中双萜烯类树脂酸含量为83.66%~91.31%,在松脂中的比例较大,其中含量最高的是左旋海松酸,占树脂酸总量的26.24%。树脂酸主要包括海松酸型树脂酸和枞酸型树脂酸,海松酸型树脂酸主要包括海松酸、山达海松酸、异海松酸、湿地松酸和海松酸,占树脂酸总量的26.42%,而枞酸型树脂酸主要包括长叶松酸、左旋海松酸、枞酸、新枞酸及其衍生物,占树脂酸总量的58.89%。海松酸、异海松酸、枞酸、新枞酸、海松醛、异海松醛、8,12-枞二烯酸、8,15-枞二烯酸、7,13,15-枞三烯酸、15-羟基去氢枞酸、8,15-海松烯和芮木泪柏烯这12种组分遗传力较高,为0.50~0.81。海松酸型树脂酸大多具有抗菌、消炎、杀虫、降低胆固醇、抗癌等生物活性^[26]。近年来,国外学者在海松酸型树脂酸或其代表性单体化合物异海松酸的生物活性及其应用方面的研究不断取得进展。Kopper等^[28]认为,二萜烯类对松类树皮甲虫-真菌相互作用体系有较强的抑制作用。G. Comte等^[29]报道,山达海松酸对大豆(*Glycine max* (L.) Merrill)15-脂肪氧化酶具有抑制作用。可见,海松酸型树脂酸在医药、生物农药等领域具有极大的开发潜力。因此,在湿地松遗传选择

中海松酸型树脂酸也可以作为一个性状进行遗传改良,选育出高海松酸含量的优良家系。

松脂是一种重要的林副产品,我国以往的遗传研究一般停留在粗产量以及松香、松节油等混合成分上^[30-32],较少涉及其主要化学成分,特别是树脂酸的主要化学成分。实际上松脂重要的经济应用价值更应体现在其各主要组分的相对含量上。因为生产实践中往往需要松脂中的某一种组分而不是全部的松脂,选择某种主要组分相对含量高的遗传材料,在实际生产中有更重要的意义。本研究以我国引进、驯化并正在进行遗传改良的湿地松育种群体为基础,较全面地研究分析了湿地松松脂中主要组分的相对含量在家系之间的遗传变异及其相关关系,为脂用湿地松的遗传选择和持续改良奠定了较好的基础,特别是重要化学成分的遗传分析为脂用湿地松的遗传改良提供了更深层次的选择依据,这些分析使得遗传选择的性状转化为单个或多个具有较高经济价值的松脂组分,其为后续遗传材料的选择提供了相对较高的参考价值。

参考文献:

- [1] 胡兴宜,许业洲,杨代贵,等. 高产脂湿地松引种评价及优树选择[J]. 林业科技开发,2006,20(1):19-21
- [2] 庄伟瑛,张玉英,邹元熹. 高产脂湿地松选择和相关因子的分析[J]. 江西农业大学学报,2007,29(1):55-65
- [3] 张建忠,沈凤强,姜景民,等. 湿地松高产脂家系产脂量和生长量的遗传力估算及协方差分析[J]. 浙江林学院学报,2010,27(3):367-373
- [4] Sandermann W. 天然树脂、松节油和木浆油化学和工艺[M]. 王定选,译. 北京:中国林业出版社,1982:20-21
- [5] 楼浙辉,舒洪岚. 松树高产脂力遗传改良的研究进展[J]. 江西林业科技,2002(5):40-41
- [6] 张樟德. 中国松香工业的现状与发展对策[J]. 北京林业大学学报,2008,30(3):147-152
- [7] 李小林,戴桂根,刘远生,等. 安福县湿地松资源及其松节油成分分析[J]. 江西林业科技,2003(1):13-14
- [8] Alber T G, Snow A G. Research on the improvement of turpentine practices [J]. Economic Botany,1949,3(4):375-394
- [9] Eberhardt T L, Mahfouz Jolie M, Sheridan P M. Pondering the monoterpene composition of *Pinus serotina* Michx.; can limonene be used as a chemotaxonomic marker for the identification of old turpentine stumps? [C]// Stanturf J A. Proceedings of the 14th biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-121. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, 2010:535-537
- [10] Huber D A, White T L, Hodge G R. Variance component estimation techniques compared for two mating designs with Forest genetic architecture through computer simulation[J]. TAG Theoretical and

- Applied Genetics, 1994, 88(2):236-242
- [11] Squillace A E, wells O O, Rockwood D L. Inheritance of monoterpene composition in cortical oleoresin of loblolly pine [J]. Silvae Genetica, 1980, 29(2):141-151
- [12] 秦小薇, 苏建伟, 戈峰, 等. 马尾松、湿地松、油松针叶挥发物中手性单萜的组成与相对含量[J]. 分析测试学报, 2006, 25(2):6-9
- [13] 伍苏然, 马艳粉, 李正跃, 等. 思茅松松节油化学成分分析[J]. 西部林业科学, 2009, 38(3):90-92
- [14] 粟本超, 谢济运, 陈小鹏, 等. 广西柳州产马尾松和湿地松松针挥发油的 GC/MS 分析[J]. 质谱学报, 2008, 29(2):70-75
- [15] 阮付贤, 周龙昌. 广西几种林化产品化学成分气相色谱分析[J]. 广西大学学报:自然科学版, 2008, 33(S1):96-100
- [16] 庄伟瑛, 张玉英, 范国荣, 等. 湿地松松脂中单萜类组分研究初报[J]. 江西农业大学学报, 2008, 30(3):480-498
- [17] 庄伟瑛, 欧阳道明, 范国荣, 等. 湿地松松脂中单萜类组分研究续报[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(3):388-392
- [18] 钟国华, 梁忠云, 沈美英, 等. 广西湿地松松脂化学组成的研究[J]. 林产化学与工业, 2001, 21(3):29-33
- [19] 宋湛谦. 松属松脂特征与化学分类[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 2009:48-49
- [20] 梅杰娜, 张燕君, 陈利芳, 等. 杂种松松脂化学成分研究[J]. 广东林业科技, 2005, 21(3):36-38
- [21] 陈海燕, 李桂珍, 梁忠云, 等. 越南松节油化学成分分析[J]. 广西林业科学, 2010, 39(2):100-101
- [22] 庞正轰, 陈代喜, 莫钊志, 等. 澳大利亚杂交松产脂量及松脂成分研究[J]. 林业科技开发, 2009, 23(6):23-26
- [23] 黄少伟, 钟伟华, 陈炳铨. 火炬松半同胞子代配合选择的遗传增益估算[J]. 林业科学, 2006, 42(4):33-37
- [24] 董易之, 张茂新, 凌冰, 等. 马缨丹总岩苧烯对小菜蛾和斜纹夜蛾幼的拒食作用[J]. 应用生态学报, 2005, 16(12):2361-2364
- [25] 韩招久, 王宗德, 姜志宽, 等. 萜类化合物对小菜蛾幼虫的拒食活性[J]. 昆虫知识, 2007, 44(6):863-867
- [26] 陈玉湘, 赵振东, 李兴迪, 等. 海松酸型树脂酸生物活性及应用研究进展[J]. 林产化学与工业, 2008, 28(4):118-122
- [27] 陆军, 温常域, 袁祥海, 等. 湿地松脂松香的基本特征及其技术要求的研究[J]. 林产化工通讯, 1997, 31(1):10-12
- [28] Kopper B J, Illman B L, Kersten P J, et al. Effects of diterpene acids on components of a conifer bark beetle-fungal interaction; tolerance by *Ips pini* and sensitivity by its associate *Ophiostoma ips* [J]. Environmental Entomology, 2005, 34(2):486-493
- [29] Comte G, Allais D P, Simon A, et al. Crystal structure of sandaracopimaric acid, a lipoxygenase inhibitor from *Juniperus phoenicea* [J]. J Nat Prod, 1995, 58(2):239-243
- [30] 王正喜, 刘大椿, 韩旅莎, 等. 湿地松高产脂力单株和类型选择及松脂成分的研究[J]. 林产化学与工业, 1983(3):1-9
- [31] 梁有祥. 马尾松高产脂优树选择[J]. 广西林业科学, 2004, 33(4):214-216
- [32] 蒋云东, 李思广, 胡光辉, 等. 思茅松高产脂优树再选择的研究[J]. 西部林业科学, 2008, 37(3):1-5