

柠檬醛型樟组植物优良单株的筛选

张北红^{1,2}, 肖祖飞^{1,2}, 张海燕^{1,2}, 侯杰希^{1,2}, 王颜波^{1,2}, 李 凤^{1,2}, 吕雄伟^{1,2}, 金志农^{1,2,①}

[1. 南昌工程学院水利与生态工程学院 江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心, 江西 南昌 330099;

2. 国家林业和草原局木本香料(华东)工程技术研究中心, 江西 南昌 330045]

摘要: 对广西、江西、广东、云南、湖北和四川的 48 株野生柠檬醛型香樟 [*Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl]、黄樟 [*C. parthenoxylon* (Jack) Meisn.]、细毛樟 (*C. tenuipilum* Kosterm.) 和猴樟 (*C. bodinieri* Lévl.) 进行调查; 采用气相色谱-质谱联用技术对样株叶片精油中的柠檬醛相对含量进行检测; 在此基础上, 对供试样株叶片精油得率和柠檬醛相对含量进行比较, 并筛选优良单株。结果表明: 供试样株叶片精油得率和柠檬醛相对含量的均值分别为 1.35% 和 47.62%, 变异系数分别为 58.78% 和 30.38%。方差分析结果表明: 样株间的叶片精油得率存在显著 ($P < 0.05$) 差异。不同种类叶片精油得率均值从高到低依次为香樟、黄樟、猴樟、细毛樟, 而柠檬醛相对含量均值从高到低依次为细毛樟、黄樟、猴樟、香樟; 不同省(自治区)叶片精油得率均值从高到低依次为广东、广西、江西、四川、湖北、云南, 而柠檬醛相对含量从高到低依次为广东、云南、江西、湖北、广西、四川。依据叶片精油得率高于 1.35% 及柠檬醛相对含量高于 47.62% 的标准, 选出 14 株初选优株; 依据选优指标大于 121.01 进行二次筛选, 最终选出 8 株优良单株(即 2 株香樟和 6 株黄樟), 包括 1 株一级优良单株、1 株三级优良单株和 6 株四级优良单株, 其中, 一级优良单株(采自广东紫金的黄樟)的叶片精油得率为 3.64%, 柠檬醛相对含量为 51.12%。研究结果显示: 柠檬醛型樟组植物的叶片精油得率和柠檬醛相对含量均存在种类间、个体间和产地间差异; 香樟和黄樟的三分之一为优良单株。

关键词: 樟组植物; 精油得率; 柠檬醛; 优良单株

中图分类号: Q946.8; S792.23; S722.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)02-0045-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.02.06

Screening of superior individuals of citral chemotype Sect. *Camphora* species ZHANG Beihong^{1,2}, XIAO Zufei^{1,2}, ZHANG Haiyan^{1,2}, HOU Jiexi^{1,2}, WANG Yanbo^{1,2}, LI Feng^{1,2}, LYU Xiongwei^{1,2}, JIN Zhinong^{1,2,①} (1. Jiangxi Provincial Engineering Research Center of Seed-breeding and Utilization of Camphor Trees, College of Water Conservancy and Ecological Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China; 2. East China Woody Fragrance and Flavor Engineering Research Center of National Forestry and Grassland Administration, Nanchang 330045, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(2): 45-51

Abstract: In present study, 48 wild individuals of citral chemotype of *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl, *C. parthenoxylon* (Jack) Meisn., *C. tenuipilum* Kosterm., and *C. bodinieri* Lévl. from Guangxi, Jiangxi, Guangdong, Yunnan, Hubei, and Sichuan were investigated. Citral relative content in essential oil from leaves of sampling plants was detected by using gas chromatography-mass spectrometry technology. On this basis, leaf essential oil yield and citral relative content of test sampling plants were compared and superior individuals were screened. The results show that the averages of leaf essential oil yield and citral relative content are 1.35% and 47.62%, respectively, their coefficients of variation are 58.78% and 30.38%, respectively. The results of variance analysis show that there is a significant

收稿日期: 2020-10-28

基金项目: 江西省教育厅科研技术资助项目(GJJ180955); 江西省林业局科技创新资助项目([2019]21; [2020]07); 江西省重点研发计划资助项目(20171ACH80016); 江西省科学技术厅重大科技研发资助专项(20203ABC28W016)

作者简介: 张北红(1985—), 女, 内蒙古苏尼特右旗人, 博士, 讲师, 主要从事樟属植物良种选育及栽培方面的研究。

①通信作者 E-mail: agrokong@cctnit.com

引用格式: 张北红, 肖祖飞, 张海燕, 等. 柠檬醛型樟组植物优良单株的筛选[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(2): 45-51.

($P < 0.05$) difference in leaf essential oil yield among sampling plants. For species comparison, the average of leaf essential oil yield from high to low is *C. camphora*, *C. parthenoxylon*, *C. bodinieri*, *C. tenuipilum*, while the average of citral relative content from high to low is *C. tenuipilum*, *C. parthenoxylon*, *C. bodinieri*, *C. camphora*. For region comparison, the average of leaf essential oil yield from high to low is Guangdong, Guangxi, Jiangxi, Sichuan, Hubei, Yunnan, whereas the average of citral relative content from high to low is Guangdong, Yunnan, Jiangxi, Hubei, Guangxi, Sichuan. In this study, the preliminary criteria of superior individual screening are leaf essential oil yield higher than 1.35% and citral relative content higher than 47.62%. Accordingly, 14 individuals are picked out into secondary qualification. As the result of selection index greater than 121.01, 8 superiors individuals belonging to 2 individuals of *C. camphora* and 6 individuals of *C. parthenoxylon* are screened, which include 1 first grade superior individual, 1 third grade superior individual, and 6 fourth grade superior individuals. The first grade superior individual (*C. parthenoxylon* collected from Zijin of Guangdong) shows 3.64% leaf essential oil yield as well as 51.12% citral relative content. The result shows that leaf essential oil yield and citral relative content present difference among species, individuals, and localities. One-third proportion of *C. camphora* and *C. parthenoxylon* are superior individuals.

Key words: Sect. *Camphora* (Trew) Meissn.; essential oil yield; citral; superior individuals

柠檬醛是食品、香料和医药等领域的重要原料^[1-3], 极具市场价值和开发潜力。国内的天然柠檬醛主要来源于山鸡椒 [*Litsea cubeba* (Lour.) Pers.] 的花、叶和果皮^[4-5], 而天然柠檬醛长期存在市场供应不足的问题, 因此, 亟需拓展来源植物资源。

迄今为止已发现十余种富含柠檬醛的植物, 其中樟属 (*Cinnamomum* Schaeff.) 樟组 [Sect. *Camphora* (Trew) Meissn.] 植物占近一半^[6]。研究表明: 樟组植物不同种群及个体间叶片的精油得率和主要化学成分相对含量均存在差异^[7], 因此, 有必要对各化学型樟组植物进行优良单株筛选。目前关于芳樟醇型、异橙花叔醇型、桉叶油素型和脑樟型等香樟 [*C. camphora* (Linn.) Presl] 常见化学型的优良单株筛选及等级划分标准已有报道^[8-9], 但未见关于柠檬醛型香樟及其他樟组植物优良单株筛选的报道。

自然界中, 柠檬醛型樟组植物的分布概率很低, 如柠檬醛型香樟的分布概率不足万分之一, 柠檬醛型猴樟 (*C. bodinieri* Lévl.) 和黄樟 [*C. parthenoxylon* (Jack) Meisn.] 的分布概率约 30%, 柠檬醛型沉水樟 [*C. micranthum* (Hay.) Hay.] 和细毛樟 (*C. tenuipilum* Kosterm.) 的分布概率低于 10%^[10], 筛选柠檬醛型樟组植物优良单株对于满足柠檬醛市场需求具有重要意义。为此, 以广西、江西、广东、云南、湖北和四川的 48 株野生柠檬醛型香樟、黄樟、细毛樟和猴樟为研究对象, 对供试样株叶片精油得率及精油中柠檬醛相对含量进行了比较, 在此基础上筛选优良单株, 以期为柠檬醛型樟组植物的开发利用及优良单株等级划分标准的制定提供参考。

1 材料和方法

1.1 材料

采用闻香法^[10]对广西、江西、广东、云南、湖北和四川的野生香樟、黄樟、细毛樟和猴樟进行化学型初判, 确定柠檬醛型植株并编号, 采集地和样株信息见表 1。样株种类和化学型均由江西省樟树繁育与开发利用工程研究中心金志农研究员鉴定。

主要仪器: 自主研发的便携式水蒸气精油蒸馏提取设备 (专利授权号: ZL201720260199.0); MA150 快速水分测定仪 (德国 Sartorius 公司); BSA4202S-CW 精密电子天平 (德国 Sartorius 公司); 7890B-5975C 气相色谱-质谱联用仪 (美国 Aglient 公司)。

1.2 方法

1.2.1 采样方法 在 2017 年至 2019 年每年的 5 月中旬晴天日 9:00 至 11:00, 采用全株采样法^[11]采集健康、无病虫害的当年生叶片。采样时, 将树冠分成上、中、下 3 层, 在各层的东、南、西、北向采集叶片, 同株叶片充分混匀, 4 °C 保存、备用。

1.2.2 叶片含水率测定 每株样株随机选 3 份叶片, 每份 6 枚; 沿叶中脉切开, 切成面积约 1 cm × 1 cm 的小块; 使用快速水分测定仪测定叶片含水率。

1.2.3 精油提取及检测分析 每株样株称取 3 份叶片, 每份 200 g; 采用水蒸气蒸馏法^[12]提取精油, 称量精油质量, 4 °C 避光保存。将同一样株的 3 份精油样品等体积混匀, 使用气相色谱-质谱联用仪进行检测分析, 进样量 1.0 μL, 检测条件与文献^[12]一致。

表1 供试柠檬醛型樟组植物的采集地和样株信息

Table 1 Information of localities and sampling plants of test citral chemotype Sect. *Camphora* (Trew) Meissn. species

编号 ¹⁾ No. ¹⁾	采样地信息 Locality information				样株信息 Sampling plant information				
	海拔/m Altitude	年均气温/°C Annual mean temperature	年均降水量/mm Annual mean precipitation	地形 Terrain	土壤类型 Soil type	株龄/a Age	株高/m Height	胸径/cm Diameter at breast height	冠幅/m Crown width
NM-1	214	18.1	1 565.9	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄壤 Yellow soil	8	8.5	10.05	12.5
NM-2	178	20.2	1 558.1	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄壤 Yellow soil	5	6.0	8.46	4.1
NM-3	165	20.2	1 558.1	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄壤 Yellow soil	15	15.5	25.95	10.5
NM-4	23	17.0	1 600.0	平地 Flat land	红壤 Red soil	20	17.5	30.55	14.8
NM-5	93	17.7	1 856.0	平地 Flat land	红壤 Red soil	30	22.0	35.64	20.9
NM-6	107	19.2	1 152.2	平地 Flat land	红壤 Red soil	10	14.5	16.48	15.5
NM-7	528	19.2	1 152.2	平地 Flat land	黄红壤 Yellow-red soil	40	17.0	36.79	17.9
NM-8	554	19.2	1 152.2	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	50	16.5	37.59	5.4
NM-9	550	19.2	1 152.2	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	15	13.0	14.72	6.6
NM-10	564	19.2	1 152.2	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	10	13.5	8.85	4.7
NM-11	571	19.2	1 152.2	南坡,坡下部 South slope, lower slope	黄红壤 Yellow-red soil	15	7.0	12.65	4.5
NM-12	554	19.2	1 152.2	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	30	15.0	50.05	10.4
NM-13	577	19.2	1 152.2	北坡,坡中部 North slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	4	7.5	6.50	3.2
NM-14	567	19.2	1 152.2	北坡,坡下部 North slope, lower slope	黄红壤 Yellow-red soil	6	12.0	5.06	3.5
NM-15	552	19.2	1 152.2	东南坡,坡下部 Southeast slope, lower slope	黄红壤 Yellow-red soil	40	15.5	30.68	12.1
NM-16	526	19.2	1 152.2	东南坡,坡下部 Southeast slope, lower slope	黄红壤 Yellow-red soil	25	15.0	20.75	6.5
NM-17	422	19.2	1 152.2	西坡,坡中部 West slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	15	15.0	25.63	4.7
NM-18	575	19.2	1 152.2	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	20	9.5	18.03	5.5
NM-19	581	19.2	1 152.2	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄红壤 Yellow-red soil	10	5.5	15.48	3.6
NM-20	543	19.2	1 152.2	西南坡,坡下部 Southwest slope, lower slope	黄红壤 Yellow-red soil	60	10.0	50.66	7.4
NM-21	379	20.5	1 733.9	西南坡,坡中部 Southwest slope, middle slope	红壤 Red soil	8	6.5	7.32	4.2
NM-22	390	20.5	1 733.9	西南坡,坡中部 Southwest slope, middle slope	红壤 Red soil	4	5.5	5.41	4.3
NM-23	371	20.5	1 733.9	平地 Flat land	红壤 Red soil	3	2.5	3.09	1.8
NM-24	304	20.5	1 733.9	平地 Flat land	红壤 Red soil	12	6.5	10.26	4.6
NM-25	615	18.9	1 136.0	平地 Flat land	赤红壤 Lateritic red soil	6	5.0	4.38	2.3
NM-26	201	16.5	1 366.2	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	3	6.0	7.05	1.4
NM-27	223	16.5	1 366.2	北坡,坡下部 North slope, lower slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	20	15.5	20.53	9.4
NM-28	233	16.5	1 366.2	东南坡,坡中部 Southeast slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	8	7.0	8.05	4.2
NM-29	484	16.5	1 366.2	平地 Flat land	黄棕壤 Yellow-brown soil	5	2.5	4.03	1.5
NM-30	294	16.5	1 366.2	东坡,坡下部 East slope, lower slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	15	15.0	25.17	6.3
NM-31	518	16.5	1 366.2	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	100	17.0	90.54	22.0
NM-32	337	16.5	1 366.2	南坡,坡中部 South slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	35	14.0	30.49	8.5
NM-33	265	16.5	1 366.2	北坡,坡中部 North slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	13	13.5	14.21	9.0
NM-34	370	16.5	1 366.2	西北坡,坡上部 Northwest slope, upper slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	15	12.0	10.82	7.9
NM-35	460	16.5	1 366.2	东坡,坡中部 East slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	40	18.0	30.47	12.8
NM-36	463	16.5	1 366.2	平地 Flat land	黄棕壤 Yellow-brown soil	30	15.0	25.83	15.4
NM-37	495	16.5	1 366.2	平地 Flat land	黄棕壤 Yellow-brown soil	60	17.5	30.66	19.5
NM-38	488	16.5	1 366.2	平地 Flat land	黄棕壤 Yellow-brown soil	5	8.5	10.54	4.5
NM-39	525	16.5	1 366.2	西北坡,坡下部 Northwest slope, lower slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	20	14.0	21.87	8.7
NM-40	507	16.5	1 366.2	西北坡,坡上部 Northwest slope, upper slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	15	16.5	22.68	12.1
NM-41	529	16.5	1 366.2	东南坡,坡中部 Southeast slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	50	16.5	47.93	14.5
NM-42	528	16.5	1 366.2	东坡,坡中部 East slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	20	13.0	15.16	10.5
NM-43	653	16.0	1 400.0	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	10	6.5	9.84	4.8
NM-44	592	16.0	1 400.0	东南坡,坡上部 Southeast slope, upper slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	6	7.0	7.32	7.3
NM-45	505	16.0	1 400.0	西北坡,坡下部 Northwest slope, lower slope	黄棕壤 Yellow-brown soil	20	17.5	15.54	14.0
NM-46	584	16.1	800.0	西北坡,坡中部 Northwest slope, middle slope	黄壤 Yellow soil	4	5.5	3.77	4.5
NM-47	496	16.1	800.0	东南坡,坡中部 Southeast slope, middle slope	黄壤 Yellow soil	2	2.5	1.63	1.0
NM-48	533	16.1	800.0	南坡,坡上部 South slope, upper slope	黄壤 Yellow soil	20	14.0	16.58	11.5

¹⁾ NM-1: 采自广西全州的香樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl collected from Quanzhou of Guangxi; NM-2, NM-3: 采自广西钟山的香樟 *C. camphora* collected from Zhongshan of Guangxi; NM-4: 采自江西南昌的香樟 *C. camphora* collected from Nanchang of Jiangxi; NM-5: 采自江西金溪的香樟 *C. camphora* collected from Jinxi of Jiangxi; NM-6: 采自江西龙南的香樟 *C. camphora* collected from Longnan of Jiangxi; NM-7, NM-8, NM-9, NM-10, NM-11, NM-12, NM-13, NM-14, NM-15, NM-16, NM-17, NM-18, NM-19, NM-20: 采自江西龙南的黄樟 *C. parthenoxylon* (Jack) Meissn. collected from Longnan of Jiangxi; NM-21, NM-22, NM-23, NM-24: 采自广东紫金县的黄樟 *C. parthenoxylon* collected from Zijin of Guangdong; NM-25: 采自云南西双版纳的细毛樟 *C. tenuiptilum* Kosterm. collected from Xishuangbanna of Yunnan; NM-26, NM-27, NM-28, NM-29, NM-30, NM-31, NM-32, NM-33, NM-34, NM-35, NM-36, NM-37, NM-38, NM-39, NM-40, NM-41, NM-42: 采自湖北长阳的猴樟 *C. bodinieri* Lévl. collected from Changyang of Hubei; NM-43, NM-44, NM-45: 采自湖北恩施的猴樟 *C. bodinieri* collected from Enshi of Hubei; NM-46, NM-47, NM-48: 采自四川广元的猴樟 *C. bodinieri* collected from Guangyuan of Sichuan.

根据检测结果计算叶片精油得率,计算公式为叶片精油得率=(精油质量/叶片鲜质量)×(100%-叶片含水率)。采用文献检索法^[13-14],通过 NIST 标准谱库检索,采用保留指数进行定性分析,利用峰面积归一化法^[15]计算精油中柠檬醛的相对含量。

1.2.4 优株筛选 参照相关文献^[8-9]的筛选方法,以各样株叶片精油得率和柠檬醛相对含量的平均值(X_0)为基准、标准差(SD)为叠加值,将供试样株分成4个等级,各等级叶片精油得率和柠檬醛相对含量(X)如下:一级, $X \geq X_0 + 2.0SD$;二级, $X_0 + 1.5SD \leq X < X_0 + 2.0SD$;三级, $X_0 + SD \leq X < X_0 + 1.5SD$;四级, $X_0 \leq X < X_0 + SD$ 。 $X < X_0$,不定级。叶片精油得率和柠檬醛相对含量均在一至四级的样株为初选优株。

根据样株选优指标(λ)筛选优良单株, λ 的计算公式为 $\lambda = \text{叶片精油得率} \times \text{柠檬醛相对含量} \times 10\ 000$ 。将所有初选优株的 λ 均值作为平均选优指标(λ_0)。初选优株也分成4个等级,各等级的 λ 值如下:一级, $\lambda \geq \lambda_0 + 2.0SD$;二级, $\lambda_0 + 1.5SD \leq \lambda < \lambda_0 + 2.0SD$;三级, $\lambda_0 + SD \leq \lambda < \lambda_0 + 1.5SD$;四级, $\lambda_0 \leq \lambda < \lambda_0 + SD$ 。 $\lambda < \lambda_0$,不定级。 λ 值在一至四级的样株为最终的优良单株。

1.3 数据处理及统计分析

使用 SPSS 22.0 软件对叶片精油得率和柠檬醛相对含量进行单因素方差分析,使用 EXCEL 2017 软件计算均值和变异系数等指标^[16]。

2 结果和分析

2.1 柠檬醛型樟组植物叶片精油得率及精油中柠檬醛相对含量的比较分析

柠檬醛型樟组植物叶片精油得率及精油中柠檬醛相对含量的比较结果见表2。由表2可以看出:编号 NM-22 的样株叶片精油得率最高,达3.64%;编号 NM-45 的样株叶片精油得率最低,仅0.15%;并且,前者为后者的24.3倍。编号 NM-42 的样株柠檬醛相对含量最高,达77.13%,编号 NM-32 的样株柠檬醛相对含量最低,仅13.65%;并且,前者为后者的5.7倍。方差分析结果表明:样株间的叶片精油得率存在极显著($P < 0.01$)差异。供试样株叶片精油得率的均值为1.35%,变异系数为58.78%;柠檬醛相对含量的均值为47.62%,变异系数为30.38%。

表2 柠檬醛型樟组植物叶片精油得率及精油中柠檬醛相对含量的比较

Table 2 Comparison on leaf essential oil yield and citral relative content in essential oil of citral chemotype Sect. *Camphora* (Trew) Meissn. species

编号 ¹⁾ No. ¹⁾	精油得率/% Essential oil yield ($\bar{X} \pm SD$)	柠檬醛相对含量/% Citral relative content	编号 ¹⁾ No. ¹⁾	精油得率/% Essential oil yield ($\bar{X} \pm SD$)	柠檬醛相对含量/% Citral relative content
NM-1	1.79±0.20	33.68	NM-23	2.31±0.16	45.95
NM-2	2.72±0.31	49.32	NM-24	1.68±0.11	75.04
NM-3	0.94±0.02	57.20	NM-25	0.66±0.10	56.56
NM-4	2.13±0.10	58.61	NM-26	1.47±0.08	61.59
NM-5	2.08±0.23	36.12	NM-27	1.04±0.06	55.29
NM-6	1.08±0.07	25.28	NM-28	1.79±0.23	36.10
NM-7	0.27±0.03	42.61	NM-29	1.40±0.08	57.44
NM-8	3.26±0.28	48.19	NM-30	1.02±0.12	57.53
NM-9	2.21±0.10	58.09	NM-31	0.51±0.08	49.40
NM-10	0.59±0.07	44.51	NM-32	1.26±0.22	13.65
NM-11	2.26±0.34	62.13	NM-33	1.95±0.02	47.71
NM-12	0.92±0.14	50.98	NM-34	1.65±0.15	46.25
NM-13	0.37±0.07	27.03	NM-35	1.11±0.22	15.27
NM-14	1.87±0.05	58.17	NM-36	1.26±0.15	77.00
NM-15	1.58±0.13	44.12	NM-37	0.70±0.14	62.20
NM-16	2.50±0.17	54.62	NM-38	0.98±0.13	46.89
NM-17	0.74±0.07	44.64	NM-39	0.40±0.11	32.99
NM-18	1.24±0.15	56.17	NM-40	0.24±0.06	40.25
NM-19	1.65±0.13	57.73	NM-41	0.61±0.14	56.79
NM-20	0.73±0.09	54.22	NM-42	0.63±0.05	77.13
NM-21	1.64±0.11	56.35	NM-43	0.36±0.11	29.25
NM-22	3.64±0.13	51.12	NM-44	1.63±0.09	41.00

续表2 Table 2 (Continued)

编号 ¹⁾ No. ¹⁾	精油得率/% Essential oil yield ($\bar{X}\pm SD$)	柠檬醛相对含量/% Citral relative content	编号 ¹⁾ No. ¹⁾	精油得率/% Essential oil yield ($\bar{X}\pm SD$)	柠檬醛相对含量/% Citral relative content
NM-45	0.15±0.08	49.39	A _{CT}	0.66±0.06	56.56
NM-46	0.64±0.17	25.43	A _{CB}	1.04±0.11	45.10
NM-47	1.19±0.07	34.49	A _{CX}	1.82±0.42	46.73
NM-48	1.78±0.33	24.22	A _{JX}	1.50±0.20	48.42
			A _{GD}	2.32±0.40	57.12
<i>F</i>	83.37 * ²⁾		A _{YN}	0.66±0.06	56.56
<i>CV</i> /%	58.78	30.38	A _{HB}	1.01±0.12	47.66
			A _{SC}	1.21±0.27	28.05
A _{CC}	1.79±0.25	43.37	A	1.35±0.12	47.62
A _{CP}	1.64±0.22	51.76			

¹⁾ NM-1: 采自广西全州的香樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl collected from Quanzhou of Guangxi; NM-2, NM-3: 采自广西钟山的香樟 *C. camphora* collected from Zhongshan of Guangxi; NM-4: 采自江西南昌的香樟 *C. camphora* collected from Nanchang of Jiangxi; NM-5: 采自江西金溪的香樟 *C. camphora* collected from Jinxi of Jiangxi; NM-6: 采自江西龙南的香樟 *C. camphora* collected from Longnan of Jiangxi; NM-7, NM-8, NM-9, NM-10, NM-11, NM-12, NM-13, NM-14, NM-15, NM-16, NM-17, NM-18, NM-19, NM-20: 采自江西龙南的黄樟 *C. parthenoxylon* (Jack) Meisn. collected from Longnan of Jiangxi; NM-21, NM-22, NM-23, NM-24: 采自广东紫金的黄樟 *C. parthenoxylon* collected from Zijin of Guangdong; NM-25: 采自云南西双版纳的细毛樟 *C. tenuipilum* Kosterm. collected from Xishuangbanna of Yunnan; NM-26, NM-27, NM-28, NM-29, NM-30, NM-31, NM-32, NM-33, NM-34, NM-35, NM-36, NM-37, NM-38, NM-39, NM-40, NM-41, NM-42: 采自湖北长阳的猴樟 *C. bodinieri* Lévl. collected from Changyang of Hubei; NM-43, NM-44, NM-45: 采自湖北恩施的猴樟 *C. bodinieri* collected from Enshi of Hubei; NM-46, NM-47, NM-48: 采自四川广元的猴樟 *C. bodinieri* collected from Guangyuan of Sichuan. *F*: *F* 值 *F* value; *CV*: 变异系数 Coefficient of variation. A_{CC}: 香樟的均值 Average of *C. camphora*; A_{CP}: 黄樟的均值 Average of *C. parthenoxylon*; A_{CT}: 细毛樟的均值 Average of *C. tenuipilum*; A_{CB}: 猴樟的均值 Average of *C. bodinieri*; A_{CX}: 采自江西样株的均值 Average of sampling plants collected from Jiangxi; A_{GD}: 采自广东样株的均值 Average of sampling plants collected from Guangdong; A_{YN}: 采自云南样株的均值 Average of sampling plants collected from Yunnan; A_{HB}: 采自湖北样株的均值 Average of sampling plants collected from Hubei; A_{SC}: 采自四川样株的均值 Average of sampling plants collected from Sichuan; A: 总体均值 Ensemble average.

²⁾ *: $P < 0.05$.

由表 2 还可以看出: 不同种类叶片精油得率和柠檬醛相对含量的均值存在差异。从各种类叶片精油得率的均值看, 香樟最高 (1.79%)、黄樟次之 (1.64%)、猴樟较低 (1.04%)、细毛樟最低 (0.66%)。从各种类柠檬醛相对含量的均值看, 细毛樟最高 (56.56%)、黄樟次之 (51.76%)、猴樟较低 (45.10%)、香樟最低 (43.37%)。

由表 2 还可以看出: 不同省 (自治区) 叶片精油得率和柠檬醛相对含量的均值也存在差异。各省 (自治区) 叶片精油得率均值从高到低依次为广东、广西、江西、四川、湖北、云南, 柠檬醛相对含量均值从高到低依次为广东、云南、江西、湖北、广西、四川。值得注意的是, 不同省 (自治区) 同种类叶片精油得率和柠檬醛相对含量的均值存在差异, 如采自广西的香樟叶片精油得率均值为 1.82%, 柠檬醛相对含量均值为 46.73%, 而采自江西的香樟叶片精油得率均值为 1.76%, 柠檬醛相对含量均值为 40.00%。同省 (自治区) 不同种类叶片精油得率和柠檬醛相对含量的均值也存在差异, 以采自江西的香樟和黄樟为例, 黄樟叶片精油得率均值 (1.44%) 低于香樟, 其柠檬醛相对含量均值 (50.23%) 高于香樟。

2.2 柠檬醛型樟组植物初选优株的确定

分别对供试 48 株柠檬醛型樟组植物的叶片精油得率和柠檬醛相对含量进行分级, 获得初选优株, 结果见表 3。

由表 3 可以看出: 叶片精油得率在一至四级的样株有 22 株, 包括 4 株香樟 (占香樟样株总数的 66.7%)、11 株黄樟 (占黄樟样株总数的 61.1%) 和 7 株猴樟 (占猴樟样株总数的 30.4%); 柠檬醛相对含量在一至四级的样株有 27 株, 包括 3 株香樟 (占香樟样株总数的 50.0%)、12 株黄樟 (占黄樟样株总数的 66.7%)、1 株细毛樟 (占细毛樟样株总数的 100.0%) 和 11 株猴樟 (占猴樟样株总数的 47.8%)。统计结果表明: 叶片精油得率和柠檬醛相对含量均在一至四级的样株有 14 株, 编号分别为 NM-2、NM-4、NM-8、NM-9、NM-11、NM-14、NM-16、NM-19、NM-21、NM-22、NM-24、NM-26、NM-29 和 NM-33, 这些样株均为初选优株。

2.3 柠檬醛型樟组植物优良单株的选择

计算上述初选优株的选优指标 (λ), 并依据平均选优指标 (λ_0) 和标准差 (SD) 对初选优株进行分级, 在此基础上选出优良单株, 结果见表 4。

表3 柠檬醛型樟组植物初选优株的筛选结果¹⁾Table 3 Screening result of preliminary superior individuals of citral chemotype Sect. *Camphora* (Trew) Meissn. species¹⁾

等级 Grade	基于叶片精油得率(X)的筛选结果 Screening result based on leaf essential oil yield (X)		基于精油中柠檬醛相对含量(X)的筛选结果 Screening result based on citral relative content in essential oil (X)	
	分级标准 Grading standard	样株 Sampling plant	分级标准 Grading standard	样株 Sampling plant
一级 First grade	$X \geq 2.93\%$	NM-8, NM-22	$X \geq 76.55\%$	NM-36, NM-42
二级 Second grade	$2.53\% \leq X < 2.93\%$	NM-2	$69.32\% \leq X < 76.55\%$	NM-24
三级 Third grade	$2.14\% \leq X < 2.53\%$	NM-9, NM-11, NM-16, NM-23	$62.09\% \leq X < 69.32\%$	NM-11, NM-37
四级 Fourth grade	$1.35\% \leq X < 2.14\%$	NM-1, NM-4, NM-5, NM-14, NM-15, NM-19, NM-21, NM-24, NM-26, NM-28, NM-29, NM-33, NM-34, NM-44, NM-48	$47.62\% \leq X < 62.09\%$	NM-2, NM-3, NM-4, NM-8, NM-9, NM-12, NM-14, NM-16, NM-18, NM-19, NM-20, NM-21, NM-22, NM-25, NM-26, NM-27, NM-28, NM-30, NM-31, NM-33, NM-41, NM-45
不定级 Not graded	$X < 1.35\%$	NM-3, NM-6, NM-7, NM-10, NM-12, NM-13, NM-17, NM-18, NM-20, NM-25, NM-27, NM-30, NM-31, NM-32, NM-35, NM-36, NM-37, NM-38, NM-39, NM-40, NM-41, NM-42, NM-43, NM-45, NM-46, NM-47	$X < 47.62\%$	NM-1, NM-5, NM-6, NM-7, NM-10, NM-13, NM-15, NM-17, NM-23, NM-28, NM-32, NM-34, NM-35, NM-38, NM-39, NM-40, NM-43, NM-44, NM-46, NM-47, NM-48

¹⁾ NM-1: 采自广西全州的香樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl collected from Quanzhou of Guangxi; NM-2, NM-3: 采自广西钟山的香樟 *C. camphora* collected from Zhongshan of Guangxi; NM-4: 采自江西南昌的香樟 *C. camphora* collected from Nanchang of Jiangxi; NM-5: 采自江西金溪的香樟 *C. camphora* collected from Jinxi of Jiangxi; NM-6: 采自江西龙南的香樟 *C. camphora* collected from Longnan of Jiangxi; NM-7, NM-8, NM-9, NM-10, NM-11, NM-12, NM-13, NM-14, NM-15, NM-16, NM-17, NM-18, NM-19, NM-20: 采自江西龙南的黄樟 *C. parthenoxylon* (Jack) Meissn. collected from Longnan of Jiangxi; NM-21, NM-22, NM-23, NM-24: 采自广东紫金的黄樟 *C. parthenoxylon* collected from Zijin of Guangdong; NM-25: 采自云南西双版纳的细毛樟 *C. tenuipilum* Kosterm. collected from Xishuangbanna of Yunnan; NM-26, NM-27, NM-28, NM-29, NM-30, NM-31, NM-32, NM-33, NM-34, NM-35, NM-36, NM-37, NM-38, NM-39, NM-40, NM-41, NM-42: 采自湖北长阳的猴樟 *C. bodinieri* Lévl. collected from Changyang of Hubei; NM-43, NM-44, NM-45: 采自湖北恩施的猴樟 *C. bodinieri* collected from Enshi of Hubei; NM-46, NM-47, NM-48: 采自四川广元的猴樟 *C. bodinieri* collected from Guangyuan of Sichuan.

表4 柠檬醛型樟组植物优良单株的筛选结果

Table 4 Screening result of superior individuals of citral chemotype Sect. *Camphora* (Trew) Meissn. species

等级 Grade	分级标准 Grading standard	样株 ¹⁾ Sampling plant ¹⁾	选优指标 Selection index (λ)
一级 First grade	$\lambda \geq 180.08$	NM-22	185.87
二级 Second grade	$165.32 \leq \lambda < 180.08$	—	—
三级 Third grade	$150.55 \leq \lambda < 165.32$	NM-8	157.29
四级 Fourth grade	$121.01 \leq \lambda < 150.55$	NM-2	139.92
		NM-4	124.85
		NM-9	128.29
		NM-11	140.43
		NM-16	136.44
		NM-24	125.79
不定级 Not graded	$\lambda < 121.01$	NM-14	108.87
		NM-19	95.49
		NM-21	92.62
		NM-26	90.66
		NM-29	80.41
		NM-33	93.26

¹⁾ NM-2: 采自广西钟山的香樟 *Cinnamomum camphora* (Linn.) Presl collected from Zhongshan of Guangxi; NM-4: 采自江西南昌的香樟 *C. camphora* collected from Nanchang of Jiangxi; NM-8, NM-9, NM-11, NM-14, NM-16, NM-19: 采自江西龙南的黄樟 *C. parthenoxylon* (Jack) Meissn. collected from Longnan of Jiangxi; NM-21, NM-22, NM-24: 采自广东紫金的黄樟 *C. parthenoxylon* collected from Zijin of Guangdong; NM-26, NM-29, NM-33: 采自湖北长阳的猴樟 *C. bodinieri* Lévl. collected from Changyang of Hubei. —: 无样株 No sampling plant.

由表4可以看出:一级优良单株仅1株,编号为NM-46;二级优良单株无入选样株;三级优良单株也

只有1株,编号为NM-8;四级优良单株有6株,编号分别为NM-2、NM-4、NM-9、NM-11、NM-16和NM-24;不定级的样株有6株,编号分别为NM-14、NM-19、NM-21、NM-26、NM-29和NM-33。

3 讨论和结论

研究表明:供试柠檬醛型樟组植物的叶片精油得率和柠檬醛相对含量在不同种类、个体及产地间均存在差异,这与各样株的内在遗传因子和外界环境因子(坡位、坡向、土壤等)均有关^[11,17-18]。猴樟和细毛樟的叶片精油得率普遍低于黄樟和香樟,这是因为猴樟和细毛樟叶片相对大而厚且革质化程度高,叶片中精油的游离释放难度大,精油不能被充分提取。细毛樟和黄樟叶片精油中柠檬醛相对含量较香樟和猴樟更高,这可能与细毛樟和黄樟分布地地理环境有关,相对较高的气温有利于次生代谢产物的形成和积累。不同省(自治区)柠檬醛型樟组植物叶精油得率和柠檬醛相对含量受植物自身与环境条件的综合影响,如四川广元的猴樟,由于受该种类叶片特性影响,叶片精油得率普遍偏低,受高海拔和低气温等因子影响,次生代谢产物的合成受限,柠檬醛相对含量普遍偏低。同省(自治区)同种类不同个体间的精油得率和柠檬醛相对含量也存在差异,这可能是由于不同种

类的树龄^[17]、坡向^[18]和坡位^[19]等因子直接影响次生代谢产物的合成,也可能是因为土壤、肥力和林分密度^[20-23]等影响植株长势及光照强度^[24]等,导致精油合成及柠檬醛积累受到间接影响。

本研究将叶片精油得率高于1.35%和柠檬醛相对含量高于47.62%的样株确定为初选优株,共选出14株初选优株;在此基础上,根据选优指标(λ)大于121.01进行二次筛选,最终选出8株优良单株,包括1株一级优良单株、1株三级优良单株和6株四级优良单株,其中,一级优良单株的精油得率为3.64%,柠檬醛相对含量为51.12%。筛选的8株优良单株包括2株香樟和6株黄樟,各占相应种类样株数的三分之一。就目前的提取工艺而言,香樟和黄樟是柠檬醛型樟组植物优良单株筛选的理想种类。猴樟中编号NM-36和NM-42的样株柠檬醛相对含量分别高达77.00%和77.13%,明显高于其余样株,但二者的叶片精油得率均低于叶片精油得率的均值,不满足初选优株叶片精油得率和柠檬醛相对含量均高于均值的标准,因此,这2株样株未能入选初选优株。

为了排除外界环境因子的影响,建议在后续实验中将精油得率及柠檬醛相对含量在一至三级的样株在相同立地条件下进行比较分析。

参考文献:

- [1] TANG H Q, LONG N N, DAI M, et al. Effect of citral on mouse hepatic cytochrome P450 enzymes [J]. *Pharmaceutical Biology*, 2018, 56: 337-343.
- [2] TANG X, SHAO Y L, TANG Y J, et al. Antifungal activity of essential oil compounds (geraniol and citral) and inhibitory mechanisms on grain pathogens (*Aspergillus flavus* and *Aspergillus ochraceus*) [J]. *Molecules*, 2018, 23: 2108.
- [3] JEON Y J, LEE H S. Chemical composition and acaricidal activities of essential oils of *Litsea cubeba* fruits and *Mentha arvensis* leaves against house dust and stored food mites [J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2016, 19: 1721-1728.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第三十一卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1982: 271-272.
- [5] 何文广, 汪阳东, 陈益存, 等. 山鸡椒雌花花芽分化形态特征及碳氮营养变化 [J]. *林业科学研究*, 2018, 31(6): 154-160.
- [6] 和承尧. 富含柠檬醛精油植物资源综合利用 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2008: 2-6.
- [7] 李锡文. 云南樟及其相近种的精油化学与植物分类 [J]. *植物分类学报*, 1975, 13(4): 36-50.
- [8] 张国防. 樟树精油主成分变异与选择的研究 [D]. 福州: 福建农林大学林学院, 2006: 113-120.
- [9] 胡文杰. 樟树不同化学型精油主成分时空变异规律及优良单株选择 [D]. 南京: 南京林业大学林学院, 2013: 109-116.
- [10] 张海燕, 张北红, 张杰, 等. 柠檬醛化学型樟属植物资源的筛选及前景分析 [J]. *南昌工程学院学报*, 2019, 38(3): 50-53.
- [11] 张国防, 陈存及, 赵刚. 樟树叶油地理变异的研究 [J]. *植物资源与环境学报*, 2006, 15(1): 22-25.
- [12] ZHANG B H, WU C S, XIAO Z F, et al. Chemical constituents and chemotypes of fresh leaf essential oil of wild species belonging to Sect. *Camphor* (Trew.) Meissn. in southeastern China [J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2019, 22(4): 1115-1122.
- [13] AHMADI-DASTGERDI A, EZZATPANAH H, ASGARY S, et al. Phytochemical, antioxidant and antimicrobial activity of the essential oil from flowers and leaves of *Achillea millefolium* subsp. *millefolium* [J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2017, 20: 395-409.
- [14] POTTIER M, BEZERRA-SILVA P C, FILHOS C M B, et al. Chemical composition of the essential oil of *Buchenavia tetraphylla* leaves [J]. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 2017, 20: 240-246.
- [15] 郭向阳. 香樟花挥发性成分分析 [J]. *植物资源与环境学报*, 2020, 29(6): 69-71.
- [16] 程伟东, 谢和霞, 曾艳华, 等. 广西玉米农家品种资源品质分析与评价 [J]. *玉米科学*, 2021, 29(1): 33-38.
- [17] 陈美兰, 华永丽, 黄璐琦, 等. 龙脑樟有性繁殖后代叶油分析 [J]. *中国中医药信息杂志*, 2010, 17(8): 37-40.
- [18] 王海洋, 陈红. 油樟精油含量的植物及生态变异规律 [J]. *西南农业大学学报*, 1992, 14(3): 260-262.
- [19] 赵姣, 范慧慧, 张杰, 等. 坡位对芳香樟矮林生物量空间分配和精油产量的影响 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2020, 40(4): 9-13.
- [20] 陈登雄, 李玉蕾, 姚清潭, 等. 立地因子对芳香樟工业原料林含油率和含醇率影响的研究 [J]. *福建林学院学报*, 1997, 17(4): 326-330.
- [21] 肖玲玲, 朱仕明, 胡继文, 等. 不同密度条件下樟树幼苗生长和幼苗重量分配格局 [J]. *安徽农业大学学报*, 2015, 42(3): 353-356.
- [22] 杨梅娇. 不同光照强度对一年生油樟苗生长的影响 [J]. *浙江林业科技*, 2006, 26(3): 41-43.
- [23] 于静波, 张国防, 李左荣, 等. 不同施肥处理对芳香樟精油及其主成分芳樟醇含量的影响 [J]. *植物资源与环境学报*, 2013, 22(1): 76-81.
- [24] 刘茜. 樟树叶片蒸腾特性及其与生理生态因子关系分析 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2009, 29(1): 1-5.

(责任编辑: 佟金凤)