

互叶白千层无性系区域试验研究*

瞿超¹ 白青松² 谢佩吾² 何波祥² 连辉明²
蔡燕灵² 汪迎利² 梁东成² 张谦²

(1. 广东省林业科技推广总站, 广东广州 510173; 2. 广东省林业科学研究院 / 广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东广州 510520)

摘要 以前期选育的互叶白千层 *Melaleuca alternifolia* 6个优树无性系为材料, 在福建寿宁、广东东源、广西钟山开展区域性试验, 通过测量生长与精油性状发现, 生长性状(树高、地径、胸径和树冠截面积)、鲜叶含油量和精油中4-松油醇占比在无性系水平上以及地点间均存在极显著差异, 表明精油资源林培育中无性系遗传特性与生境适应性均很重要。6个无性系精油中的4-松油醇占比均超过30%, 即达到国家标准GB/T 26514-2011要求。综合选择指数分析结果显示, 广西钟山适宜推广无性系YHB1、YHB2、YHB3, 福建寿宁适宜种植无性系YHB1和YHB2, 广东东源适宜发展无性系YHB1、YHB2、YHB3和YHB4。

关键词 互叶白千层; 无性系; 区域试验; 精油含量; 4-松油醇占比

中图分类号: S792 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 04-0035-07

Regional Trial of Clones in *Melaleuca alternifolia*

QU Chao¹ BAI Qingsong² XIE Peiwu² HE Boxiang²
LIAN Huiming² CAI Yanling² WANG Yingli²
LIANG Dongcheng² ZHANG Qian²

(1. Guangdong Provincial Extension Station of Forestry Science and Technology, Guangzhou, Guangdong 510173, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

Abstract Six clones in *Melaleuca alternifolia* were used for regional trial at Shouning Fujian, Dongyuan Guangdong and Zhongshan Guangxi. The measurement of growth and essential oil revealed that height, collar diameter, diameter-at-breast height, crown sectional area, fresh-leaf essential oil concentration and percentage of terpinolene-4-ol in essential oil had significant differences in clonal level and across testing sites, indicating the importance of both genetic quality and ecological adaptability of *M. alternifolia* clones for cultivating resource stands. Six clones had a >30% of percentage of terpinolene-4-ol in essential oil, namely meeting the requirement of national standard GB/T 26514-2011. The analysis on composite selection indices suggested that clones YHB1, YHB2 and YHB3 were suitable for Zhongshan, clones YHB1 and YHB2 suitable for Shouning, and clones YHB1, YHB2, YHB3 and YHB4 suitable for Dongyuan.

Key words *Melaleuca alternifolia*; clone; regional trial; essential oil concentration; percentage of terpinolene-4-ol

* 基金项目: 广东省林业科技创新项目(2017KJCX002)。

第一作者: 瞿超(1979—), 男, 高级工程师, 主要从事林木遗传改良研究, E-mail: 8943515@qq.com。

通信作者: 张谦(1976—), 男, 研究员, 主要从事木本精油植物育种研究, E-mail: zhangq7610@sinogaf.cn。

我国自上世纪90年代开始引种互叶白千层 (*Melaleuca alternifolia*), 已在广东、广西、福建省等地建立了产业化种植基地^[1-3]。受苗木来源限制, 早期造林多采用引自澳洲的实生种子苗, 林分单株间生物量、精油含量、精油中有效组分以及质量控制组分含量分化明显^[3], 严重影响了互叶白千层精油产业的发展。本世纪初, 我国开始了互叶白千层无性系选育研究, 筛选生物量大、精油含量高、有效成分占比大, 且质量干扰组分符合标准要求的优良单株^[4], 以期提高互叶白千层重要经济性状的产量、质量与稳定性, 进而增加单位面积的经济产出。

探究优良基因型的生境适应性与稳定性, 一直是育种工作者的重点领域^[5]。杨树 (*Populus*)^[6-8]、桉树 (*Eucalyptus*)^[9]、赤槐 (*Robinia pseudoacacia*)^[5]、红锥 (*Castanopsis hystrix*)^[10]、厚荚相思 (*Acacia crassicaarpa*)^[11]、木薯 (*Manihot esculenta*)^[12]、杉木 (*Cunninghamia lanceolata*)^[13-17] 等多个物种的研究表明, 物种生长表现受环境显著影响, 即基因型与环境间存在显著的互作效应。因此, 新无性系在大规模推广之前, 须经过区域化试验, 以鉴定其生长适应性、生产水平与稳定性^[5]。互叶白千层在华南地区呈现出较好的物种适应性, 但关于新品系的生境适应性分析至今鲜有报道。为此, 本研究以前期选育的6个优良无性系为试材, 选择广东、广西、福建3个省区开展区域测定, 探索新品系生长量、精油产量及精油有效组分在不同试验点的变化特征, 进而为互叶白千层优良

品系的选择和推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

广东省林业科学研究院前期经过单株测定, 筛选出8个优良单株, 各单株精油中4-松油醇占比均高于40%, 1,8-桉叶油素占比均小于5%, 柠檬烯占比均低于1.5%, 即8个单株精油含量与品质均符合国家标准GB/T 26514-2011^[18]要求, 详见下表1。本研究选择其中YHB1~YHB6优树, 通过组培扩繁获得无性系苗木, 待区域试验用。苗木出圃时, 苗高50~60 cm, 地径0.5~0.8 cm, 苗木生长健壮, 规格较为一致。

1.2 试验地概况

试验地分别位于福建寿宁县、广东东源县和广西钟山县, 均为互叶白千层的适生区域^[1], 其地理信息及主要气候因子见表2。

1.3 试验设计

选择地势较平缓的地段开展区域种植试验^[19], 试验林分别于2014年3月(广东东源)、2016年3月(福建寿宁)和2016年4月(广西钟山)营建完成。3个地点试验林采用相同设计, 6个无性系采用随机块状混交种植, 每个无性系每块(区组)面积0.67 hm², 重复5次, 每个地点共计20 hm²。造林株行距为80 cm × 80 cm, 人工挖穴, 种植穴规格为40 cm × 40 cm × 40 cm, 造林前每穴施有机复混肥1.0 kg做基肥, 种植后当年8月除草抚育1次, 追施有机复混肥400 g。

表1 8株互叶白千层优树重要性状的检测结果

Tab.1 Testing results of crucial traits of 8 *M. alternifolia* plus trees

单株编号 No. of plus tree	4-松油醇占比/% Percentage of terpinen-4-ol	1,8 桉叶油素占比/% Percentage of 1,8-Cineole	柠檬烯占比/% Percentage of d-limonene	鲜叶含油量/(g·kg ⁻¹) Essential oil concentration
YHB1	45.42 ± 5.06	0.42 ± 0.20	1.11 ± 0.25	15.04 ± 1.23
YHB2	41.26 ± 5.28	0.63 ± 0.12	1.32 ± 0.33	14.06 ± 1.35
YHB3	44.94 ± 3.13	2.32 ± 1.24	1.21 ± 0.31	16.03 ± 1.27
YHB4	40.83 ± 3.25	2.73 ± 1.33	1.38 ± 0.17	14.68 ± 0.99
YHB5	53.80 ± 4.89	0.55 ± 0.14	0.96 ± 0.30	11.12 ± 0.98
YHB6	42.97 ± 1.95	2.13 ± 0.59	1.38 ± 0.42	10.87 ± 0.79
YHB7	50.60 ± 3.67	0.51 ± 0.20	0.97 ± 0.19	11.60 ± 1.03
YHB8	42.36 ± 4.03	0.45 ± 0.22	1.39 ± 0.26	11.14 ± 1.03

注: “±”后的数字为标准差

Note: the number behind ± is the standard deviation

表 2 互叶白千层无性系 3 个试验区地理信息及主要气候因子

Tab. 2 Geographical location and main climatic conditions of three testing sites for *M. alternifolia* clones

试验地 Testing site	经度 /E Longitude	纬度 /N Latitude	面积 / hm ² Area	平均海拔 / m Altitude	年均温度 /°C Mean annual temperature	年降水量 /mm Mean annual precipitation	土壤类型 Soil type
福建寿宁 Shouning, FJ	119° 24'	27° 21'	20	550	15.1	1 850	红壤 Red soil
广东东源 Dongyuan, GD	114° 69'	23° 72'	20	230	20.7	1 650	赤红壤 Latosolic red soil
广西钟山 Zhongshan, GX	111° 30'	24° 53'	20	320	19.6	1 550	红壤 Red soil

注: GD 为广东, FJ 为福建, GX 为广西

Note: GD=Guangdong, FJ=Fujian, GX=Guangxi

1.4 生物量调查分析

2018 年 1 月, 对试验林进行系统调查。每区组随机挑选 5 株苗木, 测定树高 (HT, m)、地径 (CD, cm)、胸径 (DBH, cm)、横向和纵向冠层宽 (CSA, m), 并依据纵向和横向冠层宽计算树冠截面积, 计算公式为: 树冠截面积 (m²) = $\pi \times (\text{纵向冠层宽} / 2) \times (\text{横向冠层宽} / 2)$ 。鉴于 3 个试验点苗木生长时间不一致, 生长量数据统一换算成年均生长量, 换算公式为: 目标性状年均生长量 = 性状的调查数据 / 种植后月数 $\times 12$ 。

1.5 精油检测分析

选择上述生物量测量单株, 在其树冠西侧 1/2 处采集同等成熟度的枝叶。从同一区组 5 棵单株上收集相同量枝叶, 混合后装入塑料袋, 带回实验室, 4°C 冰箱保存。鲜叶精油提炼采用隔水蒸馏法^[20], 精油分离后称重并计算鲜叶含油量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。精油化学组分定性和定量分析参照国家标准 GB/T 26514-2011^[18]要求, 采用气-质联用的面积归一法确定。依据精油中有效成分 4-松油醇含量计算其百分占比。

1.6 数据分析

先用 Excel 2016 整理原始数据, 再用 SAS 9.4 软件进行统计分析。计算各无性系树高、地径、胸径和树冠截面积的年均生长量。采用 SAS 软件 GLM 程序计算目标性状的方差分量。

生长性状方差分析模型为:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + B_j + C_k + (\text{CS})_{ik} + e_{l(ijk)}$$

精油方差分析模型为:

$$Y_{ijkl} = \mu + S_i + C_j + (\text{CS})_{ij} + e_{k(ij)}$$

式中 μ 为总均值, S_i 为第 i 个地点的效应, B_j 为第 j 个区组的效应, C_k 、 C_j 分别为第 k 、 j 个无

性系的效应, $(\text{CS})_{ik}$ 、 $(\text{CS})_{ij}$ 为无性系与地点的交互作用, $e_{l(ijk)}$ 、 $e_{k(ij)}$ 为剩余误差。

选择影响互叶白千层经济效益的 5 个重要性状, 即树高、胸径、树冠截面积、鲜叶含油量和精油中的 4-松油烯占比, 采用综合选择指数法^[21], 计算各无性系在单地点和多地点的综合选择指数 IC。

$$\text{IC} = 0.219 \times \text{树高}(\%) + 0.286 \times \text{胸径}(\%) + 0.107 \times \text{树冠截面积}(\%) + 0.310 \times \text{鲜叶含油量}(\%) + 0.070 \times \text{4-松油醇占比}(\%)$$

为避免选择结果受目标性状观测值数量级的影响, 5 个性状采用群体校对均值与无性系观测值比值的百分数^[21-22]; 数字为 5 个性状的权重, 由前期的研究计算获得 (未发表数据)。

2 结果与分析

2.1 生长量分析

表 3 列出了互叶白千层 6 个无性系的年均生长量分析数据。树高生长最快的是无性系 YHB3, 其年均生长量达 1.22 m; 其次是无性系 YHB1, 为 1.17 m; 生长最慢的是无性系 YHB4, 仅 1.06 m。地径增长最快的是无性系 YHB1, 年均生长 2.20 cm; 其次是无性系 YHB2, 为 2.13 cm; 最慢的亦是无性系 YHB4, 仅 1.86 cm。胸径增长最快的 2 个无性系为 YHB3 和 YHB1, 年均增长 0.93 cm 和 0.84 cm; 最慢的也是无性系 YHB4, 为 0.74 cm。树冠截面积生长表现最优的是无性系 YHB1, 年均增长 0.53 m²; YHB3 表现其次, 为 0.46 m²; YHB6 增长最慢, 仅 0.37 m²。

比较地点间差异发现, 广西钟山和福建寿宁的生长量均明显大于广东东源。无性系 YHB1 的

表3 互叶白千层无性系区域性试验的年均生长性状分析
Tab.3 Analysis of annual growth traits for *M. alternifolia* clones in regional testing

无性系 Clone	地点 Site	树高 /m HT	地径 /cm CD	胸径 /cm DBH	树冠截面积 /m ² CSA
YHB1	福建寿宁 Shouning, FJ	1.17 ± 0.15	2.44 ± 0.53	1.12 ± 0.37	0.63 ± 0.23
	广东东源 Dongyuan, GD	0.77 ± 0.10	1.56 ± 0.32	0.37 ± 0.10	0.27 ± 0.09
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.57 ± 0.25	2.59 ± 0.53	1.03 ± 0.33	0.69 ± 0.27
	多地点 Across site	1.17 ± 0.37	2.20 ± 0.65	0.84 ± 0.44	0.53 ± 0.28
YHB2	福建寿宁 Shouning, FJ	1.25 ± 0.12	2.30 ± 0.53	1.32 ± 0.29	0.45 ± 0.23
	广东东源 Dongyuan, GD	0.80 ± 0.07	1.51 ± 0.34	0.39 ± 0.06	0.31 ± 0.09
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.17 ± 0.14	2.58 ± 0.51	0.79 ± 0.22	0.42 ± 0.14
	多地点 Across site	1.07 ± 0.23	2.13 ± 0.64	0.84 ± 0.44	0.39 ± 0.17
YHB3	福建寿宁 Shouning, FJ	1.33 ± 0.23	2.43 ± 0.43	1.38 ± 0.39	0.57 ± 0.19
	广东东源 Dongyuan, GD	0.79 ± 0.09	1.57 ± 0.26	0.40 ± 0.06	0.26 ± 0.05
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.54 ± 0.09	2.12 ± 0.32	1.00 ± 0.20	0.55 ± 0.10
	多地点 Across site	1.22 ± 0.35	2.04 ± 0.49	0.93 ± 0.47	0.46 ± 0.19
YHB4	福建寿宁 Shouning, FJ	1.23 ± 0.22	2.54 ± 0.44	1.27 ± 0.43	0.63 ± 0.25
	广东东源 Dongyuan, GD	0.78 ± 0.05	1.43 ± 0.34	0.40 ± 0.05	0.29 ± 0.07
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.17 ± 0.12	1.62 ± 0.32	0.55 ± 0.19	0.25 ± 0.08
	多地点 Across site	1.06 ± 0.24	1.86 ± 0.60	0.74 ± 0.46	0.39 ± 0.23
YHB5	福建寿宁 Shouning, FJ	1.32 ± 0.17	2.50 ± 0.30	1.36 ± 0.38	0.67 ± 0.31
	广东东源 Dongyuan, GD	0.76 ± 0.14	1.59 ± 0.41	0.39 ± 0.07	0.29 ± 0.09
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.13 ± 0.13	2.03 ± 0.38	0.51 ± 0.26	0.32 ± 0.10
	多地点 Across site	1.07 ± 0.23	2.04 ± 0.52	0.75 ± 0.51	0.43 ± 0.25
YHB6	福建寿宁 Shouning, FJ	1.33 ± 0.18	2.30 ± 0.41	1.19 ± 0.30	0.50 ± 0.22
	广东东源 Dongyuan, GD	0.77 ± 0.09	1.47 ± 0.33	0.40 ± 0.07	0.27 ± 0.08
	广西钟山 Zhongshan, GX	1.21 ± 0.23	2.44 ± 0.44	0.66 ± 0.27	0.34 ± 0.10
	多地点 Across site	1.10 ± 0.30	2.07 ± 0.58	0.75 ± 0.40	0.37 ± 0.18

注：“±”后的数字为标准差

Note: the number behind ± is the standard deviation

表 4 互叶白千层无性系区域性试验生长性状的方差分析
Tab.4 Variance analysis of growth traits for *M. alternifolia* clones in regional testing

变异来源 Sources of variability	自由度 Degree of freedom	树高 HT		地径 CD		胸径 DBH		树冠截面积 CSA	
		F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
		F Value	P Value	F Value	P Value	F Value	P Value	F Value	P Value
区组 (地点) Block(Site)	12	2.75	<.01	2.32	<.01	1.01	0.44	2.26	<.01
地点 Site	2	571.17	<.01	211.01	<.01	446.24	<.01	114.71	<.01
无性系 Clone	5	13.68	<.01	5.92	<.01	6.09	<.01	9.32	<.01
无性系 × 地点 Clone × Site	10	17.8	<.01	9.46	<.01	8.39	<.01	10.75	<.01

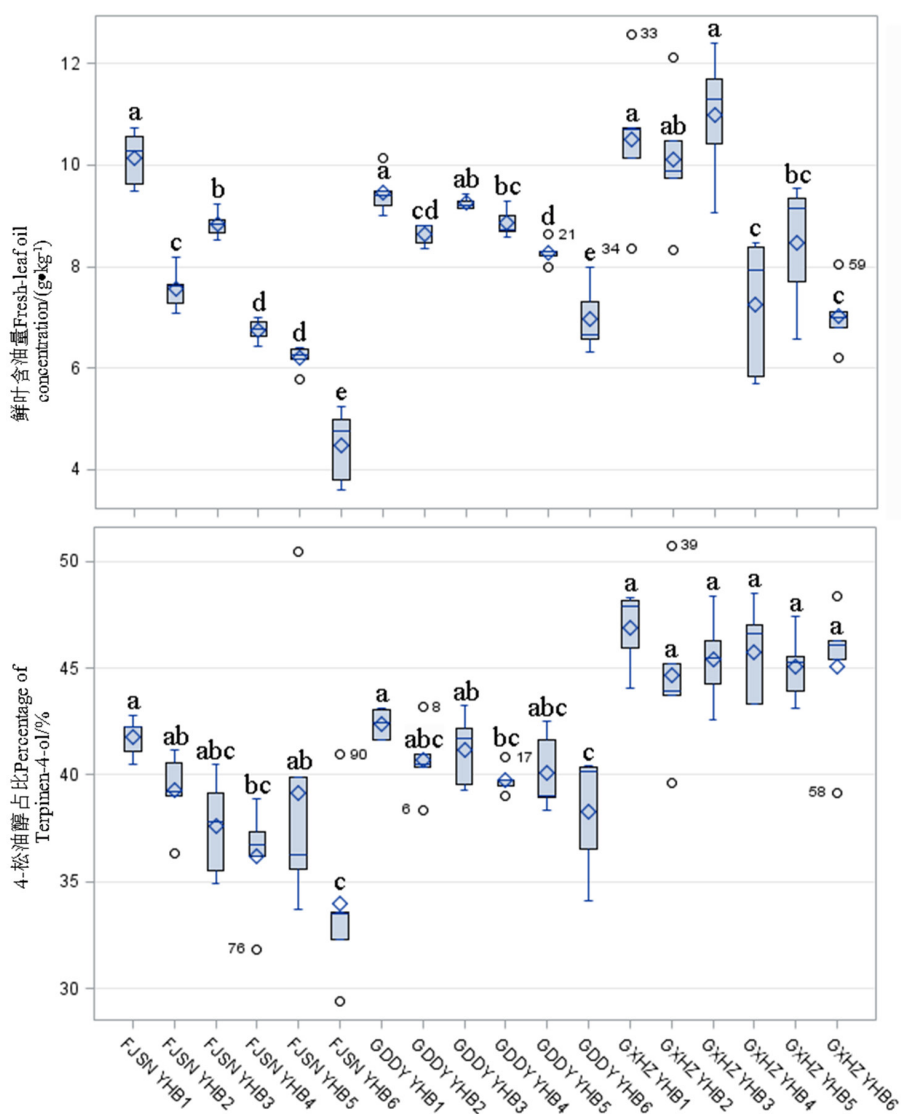
注：HT 为树高，CD 为地径，DBH 为胸径，CSA 为树冠截面积

Note: HT=height, CD=Collar Diameter, DBH=Diameter at breast height, CSA= Crown Sectional Area

树高、地径、树冠截面积在广西钟山生长最快，胸径生长在福建寿宁居首位；无性系 YHB3 在广西钟山的高生长最优，径生长和树冠截面积生长在福建寿宁最迅速；无性系 YHB2、YHB4、YHB5 和 YHB6 在福建寿宁的生物量增长速度整体高于其它试验点。方差分析结果显示，6 个无性系的 4 个生长性状在不同地点间的差异达到极显著水平 ($P<0.01$ ，表 4)。进一步分析发现，无性系间 4 个性状的差异以及无性系与地点的交互作用，亦均达到极显著水平 ($P<0.01$)。这些结果说明，互叶白千层生物量不仅受遗传控制，还受地点影响。

2.2 叶片精油分析

图 1 列出了 6 个无性系在 3 个试验点的枝叶含油量和精油中 4-松油醇百分占比。枝叶含油量具有较为一致的分布特征，无性系 YHB1 和 YHB3 为含量最高的 2 个，其中 YHB1 在福建寿宁和广东东源含量最高，分别为 10.15 、 $9.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，YHB3 在广西钟山含量最高，达 $10.98 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；



注：多重比较按地点单独进行

Note: multiple comparisons were conducted for each site, respectively

图 1 互叶白千层无性系区域性试验中精油关键性状分析

Fig.1 Analysis of crucial traits of essential oil from *M. alternifolia* clones in regional testing

表5 互叶白千层无性系区域性试验生长性状的方差分析

Tab.5 Variance analysis of growth traits for *M. alternifolia* clones in regional testing

变异来源 Sources of variability	自由度 Degree of freedom	含油量 Essential oil concentration		4- 松油醇占比 Percentage of terpinen-4-ol	
		F 值 F Value	P 值 P Value	F 值 F Value	P 值 P Value
地点 Site	2	36.42	<.01	54.97	<.01
无性系 Clone	5	48.29	<.01	4.2	<.01
无性系 × 地点 Clone × Site	10	5.09	<.01	1.04	0.42

表6 互叶白千层无性系区域试验的多性状综合选择指数

Tab.6 Composite selection indices of *M. alternifolia* clones in regional testing

无性系 Clone	福建寿宁 (S1) Shouning, FJ	广东东源 (S2) Dongyuan, GD	广西钟山 (S3) Zhongshan, GX	多地点 Across site	适生区域 Suitable area	排名 Rank
YHB1	107.58	100.90	125.77	110.80	S1, S2, S3	2
YHB2	98.92	101.09	101.56	100.26	S2, S3	3
YHB3	108.65	101.84	121.99	111.24	S1, S2, S3	1
YHB4	96.65	101.15	78.76	92.08	S2	5
YHB5	99.30	97.65	82.13	93.88	/	4
YHB6	84.19	92.58	84.82	87.01	/	6

无性系YHB2次之, 在3个试验点的含量分别为7.56、8.65和10.12 g·kg⁻¹; 无性系YHB4、YHB5、YHB6整体低于前3个无性系, 且呈现出依次降低的特征, 其中YHB6含量在3个试验点均为最低, 分别仅有4.47、6.97和7.03 g·kg⁻¹。方差分析结果显示, 各试验点内无性系间的含油量差异达到极显著水平 ($P<0.01$, 表5), 相同无性系在3个试验点间的含油量差异亦达到极显著水平 ($P<0.01$, 表5), 无性系与地点间也存在极显著的交互作用。这说明, 枝叶含油量不仅与无性系有关, 还显著受种植地点影响。

6个无性系精油中的4-松油醇占比, 在3个试验点均高于30%, 即均达到国家标准GB/T 26514-2011的要求。广西钟山的4-松油醇占比最高, 为44.64%~46.88%; 广东东源与福建寿宁的占比接近, 分别处于38.31%~42.39%和33.95%~41.79%之间。在福建寿宁和广东东源, 6个无性系的4-松油醇占比均具有较为一致的分布特征, 即无性系YHB1含量最高, YHB2和YHB3次之, YHB4再次之, YHB5波动较大, YHB6最低; 方差分析证实, 4-松油醇占比在无性系间, 以及同一无性系在

3个试验点间, 均存在极显著差异。在广西钟山, 6个无性系间4-松油醇占比非常接近, 方差分析亦证实相互间无显著差异 (表5)。

2.3 适宜无性系筛选

为了评价6个无性系的区域发展潜力, 运用优良单株评选公式, 测算各无性系的单地点和多地点的综合选择指数 (表6)。从中可以看出, 6个无性系在3个试验地的差异较大, 其中无性系YHB1、YHB2和YHB3表现较为优异, 其绝大部分选择指数高于群体平均指数值100; 无性系YHB4、YHB5和YHB6表现次之, 其选择指数大多低于100。按照多地点综合选择指数排序, 由高到低依次为无性系YHB3、YHB1、YHB2、YHB5、YHB4和YHB6。选择平均指数值100作为无性系适应性评选阈值, 无性系YHB1和YHB3适宜在福建寿宁、广东东源和广西钟山推广, 无性系YHB2适宜在广东东源和广西钟山种植, 无性系YHB4适宜在广东东源发展。

3 结论与讨论

3.1 本研究通过区域性试验, 系统分析了互叶白

千层6个优良无性系在3个省区试验点的生长量、精油含量和有效成分占比,综合评选出3个试验点适宜推广种植的优良无性系,为互叶白千层优质资源培育提供了重要的基础数据。

3.2 互叶白千层生物量、枝叶含油量和精油中4-松油醇占比在无性系水平上以及地点间均呈现出极显著的差异。无性系间的差异可能主要由遗传决定^[10-11],地点间的差异则可能由基因型与环境相互作用所致^[5-9],这说明发展互叶白千层时,不仅要选择优良的无性系,同时要考虑无性系在当地的适应性。

3.3 广东东源的生物量明显小于广西钟山和福建寿宁,可能与互叶白千层生长节律有关。据笔者观测,互叶白千层早期速生,随后生长速度逐渐下降。本研究中,广西钟山和福建寿宁的试验林种植较晚,测定时分别生长21和22个月,尚处于早期速生阶段;而广东东源试验林种植较早,测定时已生长46个月,进入慢速生长期。因此,用标准化后的年均生长量比较地点间生长速度时,种植时间早的广东东源会明显低于种植时间晚的另外2个试验点。

3.4 就精油中4-松油醇占比而言,广东东源的测定数据略低于前期优良单株评选时的数据(表1),占比为40%左右;广西钟山的占比整体处于45%左右,与前期选优时的测定数据非常接近;福建寿宁的测定数据略明显低于选优时的数值,即占比整体上低于40%;由此可知,这6个优良无性系最适宜的区域是广西钟山,其次是广东东源,最后是福建寿宁。依据综合选择指数,广西钟山适宜推广YHB1、YHB2、YHB3,福建寿宁适宜推广YHB1和YHB2,广东东源适宜推广YHB1、YHB2、YHB3和YHB4。

参考文献

- [1] HE C M. Material review: the developing tea tree oil industry in Guangxi province, P.R. China[J]. Perfumer and Flavorist, 2005, 30: 14-19.
- [2] 吴丽君, 翁秋媛, 陈碧华, 等. 高精油互叶白千层组培快繁技术[J]. 福建林学院学报, 2010, 30(4): 341-319.
- [3] 陈碧华, 吴丽君, 李乾振, 等. 互叶白千层研究进展[J]. 福建林业科技, 2010, 37(4): 177-182.
- [4] 吴丽君, 陈达, 高楠, 等. 高含油互叶白千层高效栽培配套技术研究[J]. 福建农业学报, 2017, 32(7): 734-78.
- [5] 张国君, 张士权, 孙宇涵, 等. 刺槐优良无性系饲料特性区域化试验初报[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(5): 8-14.
- [6] 姜岳忠, 李善文, 秦光华, 等. 黑杨派无性系区域化试验初报[J]. 林业科学, 2006, 42(12): 143-147.
- [7] 王克胜, 卞学瑜, 李淑梅, 等. 欧美杨无性系区域试验的效应分析与稳定性测定[J]. 林业科学研究, 1996, 9(1): 92-96.
- [8] 赵中南, 冯莉. 俄罗斯杨树几个品系区域化试验[J]. 防护林科技, 2011, 100(1): 44-45.
- [9] 肖小芳, 杨曾奖, 徐大平, 等. 桉树无性系区域测定及经济效益评价[J]. 广东林业科技, 2014, 30(4): 48-52.
- [10] 申文辉, 朱积余, 刘秀, 等. 红锥种源区域试验与优良种源选择[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 24(3): 11-17.
- [11] 张方秋, 陈祖旭, 张卫华. 厚荚相思优良家系的区域化选择[J]. 广东林业科技, 2013, 29(6): 1-6.
- [12] 刘倩, 刘光华, 李月仙, 等. 怒江干热河谷区域5个木薯品种的综合性状比较[J]. 西南林业大学学报, 2018, 38(1): 66-71.
- [13] 郝玉宝, 胡德活, 梁机. 杉木优良家系区域化测定研究[J]. 广东林业科技, 2010, 26(1): 1-6.
- [14] 方乐金, 王基福, 陈寿良. 黄山地区杉木优良无性系区域选择及效果研究[J]. 林业科学研究, 1991, 4(5): 560-564.
- [15] 王金富. 杉木二代家系区域选择[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(1): 24-26.
- [16] 洪昌瑞, 陈天霞, 张萍, 等. 杉木优良家系区域测定的研究[J]. 林业科学研究, 1992, 5(3): 298-303.
- [17] 樊琳, 江波, 沈爱华, 等. 浙江杉木优良家系区域试验研究[J]. 南京林业大学学报, 2010, 34(4): 31-36.
- [18] 全国香料香精化妆品标准化技术委员会. GB/T 26514-2011 互叶白千层(精)油, 松油烯-4-醇型[茶树(精)油][S]. 北京: 中国标准出版社, 2011: 1-3.
- [19] 广东省林业厅科技与交流合作处. DB44/T 1142-2013 互叶白千层栽培技术规程[S]. 广州: 广东省标准化研究院, 2013: 5-6.
- [20] SHAH G, SINGH D, BAGHEL U S. Isolation and identification of compounds from the leaf extract of *Melaleuca alternifolia*[J]. Pharmacognosy Journal, 2017, 9(6) Suppl: s52-s55.
- [21] 张谦, 曾令海, 蔡燕灵, 等. 樟树自由授粉家系生长与形态性状的遗传分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(1): 1-6.
- [22] WANG Y L, ZENG L H, CHEN Y Q, et al. Genotypic variations of open-pollinated families of *Cinnamomum camphora* seedlings from south China[J]. Journal of Tropical Forest Science, 2017, 29(4): 404-416.