

朱报著, 廖焕琴, 杨晓慧, 杨会肖, 潘文, 王裕霞, 张卫华, 徐放. 广东含笑苗期生长基质筛选研究 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(7): 38-45.

广东含笑苗期生长基质筛选研究

朱报著, 廖焕琴, 杨晓慧, 杨会肖, 潘文, 王裕霞, 张卫华, 徐放

(广东省森林培育和保护利用重点实验室 / 广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要: 【目的】通过开展广东含笑苗期18种基质处理栽培试验, 比较不同基质对广东含笑苗期生长的影响, 以期筛选出育苗效果较好、容重较小、配制简便、成本较低的环保型基质, 为广东含笑苗木培育和应用提供科学依据。【方法】对不同配方基质的理化性质及基质中广东含笑苗的生长状况进行研究, 运用生长量多重比较和Pearson相关性分析等方法对不同配方基质的育苗效果进行综合评价。【结果】广东含笑经过8个月不同配方基质处理栽培, 18种基质的容重和总孔隙度分别为0.85~1.45 g/cm³和35.93%~54.44%。pH为4.47~7.76, 各基质的有机质含量、全氮含量和有效磷含量分别为5.65~62.9 g/kg、0.3~2.740 g/kg、12.7~138.0 mg/kg; 不同配方基质对广东含笑苗高和冠幅生长的影响存在显著差异; 苗高和冠幅与SPAD值、叶面积与容重、阳离子交换量CEC和电导率EC呈正相关, 与土壤总孔隙度和pH值呈负相关; 广东含笑适合在容重大, pH值较小, 有机质、全N和速效钾含量低的基质中生长。【结论】处理M08(黄心土: 蛭石比例为3: 2)和M07(黄心土: 珍珠岩比例为3: 2)的综合生长量分别比对照高出10.19%以上, 容重分别比对照低9.72%以上, 建议以上两种基质为广东含笑育苗的首选基质。

关键词: 广东含笑; 苗期; 配方基质; 基质理化指标; 生长指标

中图分类号: S723.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)07-0038-08

Research on Selection of Cultivation Substrate for *Michelia guangdongensis* Seedlings

ZHU Baozhu, LIAO Huanqin, YANG Xiaohui, YANG Huixiao, PAN Wen,

WANG Yuxia, ZHANG Weihua, XU Fang

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

Abstract: 【Objective】In order to select the cultivation substrates suitable for *Michelia guangdongensis* seedling, the effects of 18 kinds of substrates on the growth of the *M. guangdongensis* seedlings were compared to screen out the environmental friendly substrates with better seedling growth, smaller bulk density, simple preparation and lower cost. This study provides a scientific basis for the cultivation and application of the *M. guangdongensis* seedlings. 【Methods】The physicochemical properties of different substrates and the growth of *M. guangdongensis* seedlings were studied. The effects of different growth rates were evaluated comprehensively by multiple comparisons of growth and pearson correlation analysis. 【Results】*M. guangdongensis* was treated with different substrates for 8 months. The bulk density and total porosity of the 18 substrates were 0.85-1.44 g/cm³ and 35.93%-54.44%, respectively. The pH was 4.47-7.76, and the organic matter content, total N content and effective P content of the substrates were 5.65-62.9 g/kg, 0.302-2.740 g/kg, and 12.7-138.0 mg/kg, respectively. There was significant difference between the growth of seedling

收稿日期: 2019-04-17

基金项目: 中央财政林业科技推广示范资金项目(〔2015〕GDTK-02号)

作者简介: 朱报著(1966-), 男, 教授级高级工程师, 研究方向为森林培育, E-mail: zhu61030141@sina.com

height and crown width, and the height and crown width were positively correlated with the SPAD value, the leaf area and the bulk density, the cation exchange capacity CEC and the conductivity EC, and negatively correlated with the total soil porosity and pH value. *M. guangdongensis* is suitable for growth in substrates with large bulk density, low pH, low organic matter, total N and available K content. 【Conclusion】 The comprehensive growth of M08 (yellow soil : vermiculite=3 : 2) and M07 (yellow soil : perlite=3 : 2) was 10.19% higher than that of the control, and the bulk density was 9.72% lower than that of the control. It is suggested that the two substrates mentioned above are the preferred substrates for *M. guangdongensis*.

Key words: *Michelia guangdongensis*; seedling stage; formulated substrate; substrate physicochemical index; growth index

【研究意义】栽培基质是植物赖以固定的介质,同时也是植物吸收水分和养分进行自养生长的基础,在园林花卉苗木生产中起着重要作用。目前,有关植物栽培基质研究已有较多报道,主要是利用泥炭土、塘泥、农林剩余物如水稻 (*Oryza sativa*) 秸秆、玉米 (*Zea mays*) 秸秆等单一或混合材料作基质,通过分析基质的理化性状指标、种植成活率、苗高和冠幅等生物量、光合生理等指标,筛选出适合生产应用的栽培基质^[1-5]。【前人研究进展】广东含笑 (*Michelia guangdongensis*) 又名黄金含笑,木兰科 (*Magnoliaceae*) 含笑属 (*Michelia*) 常绿灌木或小乔木,自然分布于英德市石门台省级自然保护区 1 250~1 400 m,是 2003 年 5 月才发现命名的野生观赏植物^[6],2018 年被定为广东省重点保护野生植物^[7];广东含笑四季常绿,树形紧凑,芽、嫩枝、叶柄、叶背均密被红褐色平伏短柔毛,阳光下闪闪发亮,微风吹过恍如红色海洋,是优良庭园绿化和盆栽观赏树种,适合在公园、办公楼前、小区住宅孤植或群植作庭园观赏树;可进一步矮化盆栽,供室内观赏,观赏价值高。关于广东含笑的研究目前主要集中在地理分布^[6, 8]、致濒原因^[9]、光合生理^[10-11]、繁殖特性^[12-14]和观赏用途^[15]等方面。【本研究切入点】广东含笑是新优的野生观赏植物,通过嫁接扩繁从高海拔地区引种到低海拔地区栽种,鲜有研究苗木与土壤物理和化学性状适应性的报道,因而也影响到其推广应用;培育轻基质、质量优的广东含笑苗木,满足绿化美化和市场需求,是当前苗木培育中迫切需要解决的问题;苗期轻质化栽培也可降低劳动强度、方便运输装卸、减少生产成本,更有利于苗木推广应用。【拟解决的关键问题】2017 年 7 月开始,本课题组以椰糠、水稻秸秆、玉米秸秆等为主要原料配制 18 种栽培基质,对

不同配方基质的理化性质及其培育的广东含笑苗木生长状况进行比较研究,研究出育苗效果较好、配制简便、容重较小、成本较低的环保型基质,以期在广东含笑苗木培育和应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在广东省林业科学研究院苗圃,地理坐标 113° 22' 6" E、23° 11' 59" N,海拔 33 m,年平均温度 23℃,1 月气温最低、平均 13℃,8 月气温最高、平均 28.7℃;年平均降雨量 1 638 mm,4~9 月降雨量占全年的 80%,年平均湿度 79%。

1.2 试验材料

供试广东含笑苗木以 2 年生乐昌含笑 (*M. chapensis*) 营养袋实生苗为砧木,2016 年 1 月,采用切接方法,用同一无性系嫁接,苗木生长状况大致相同,苗高 32.82 (±2.22) cm,冠幅 20.39 (±1.57) cm,2017 年 9 月中旬种植在圆柱形无纺布营养袋中,营养袋直径 25 cm、高 30 cm。椰糠、谷糠、锯末采购于广州市增城区;水苔、蛭石、塘泥、泥炭土、珍珠岩采购于广州芳村花卉市场,菇渣、水稻秸秆、花生 (*Arachis hypogaea*) 秸秆、玉米秸秆、湿地松 (*Pinus elliottii*) 叶、无忧树 (*Saraca asoca*) 叶于 2017 年 7 月中旬收集,进行机械粉碎至 2~3 cm 块状或短茎,加入适量水搅拌,然后将各基质分别堆成山包状,盖上塑料薄膜,约 10 d 翻动 1 次,自然堆沤 2 个月备用;黄心土采自广东省林业科学研究院后山。

1.3 试验设计

每个种植袋种植 1 株,栽培基质用体积比配成 17 个处理,以广东花农喜欢用的黄心土作对照 (表 1)。每个基质处理 3 次重复,每个重复 3 株,完全随机设计,排成一行,行头行尾各设一行保

表 1 不同处理基质配比情况
Table 1 Composition of each substrate (V : V)

处理 Treatment	基质配比 Substrate composition	处理 Treatment	基质配比 Substrate composition	处理 Treatment	基质配比 Substrate composition
M01	黄心土 : 泥炭土 (3 : 2)	M07	黄心土 : 珍珠岩 (3 : 2)	M13	黄心土 : 湿地松叶 (3 : 2)
M02	黄心土 : 谷糠 (3 : 2)	M08	黄心土 : 蛭石 (3 : 2)	M14	黄心土 : 玉米秸秆 (3 : 2)
M03	黄心土 : 锯末 (3 : 2)	M09	黄心土 : 花生秸秆 (3 : 2)	M15	黄心土 : 椰糠 (3 : 2)
M04	黄心土 : 水苔 (3 : 2)	M10	黄心土 : 水稻秸秆 (3 : 2)	M16	黄心土 : 菇渣 (3 : 1)
M05	黄心土 : 塘泥 (3 : 2)	M11	黄心土 : 菇渣 (3 : 2)	M17	塘泥
M06	黄心土 : 水稻秸秆 (3 : 1)	M12	黄心土 : 无忧树叶 (3 : 2)	M18 (CK)	黄心土

护行；全露天全光照培育，水肥管理和病虫害防治方法完全一致。不同处理苗木分别于 2018 年 1、2、3 月下旬各施硫酸钾复合肥（N、P、K 比例均为 15%）1 次，每次每个容器施入浓度为 1% 硫酸钾水溶液 500 mL。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 植株生长、形态指标测定 (1) 苗高和冠幅测定：2017 年 10 月至 2018 年 6 月，隔 2 个月用直尺测量 1 次，共 5 次。苗高和冠幅是观赏植物生长评价的重要指标，苗高和冠幅综合生长量 W_i 为苗高生长量 : 冠幅生长量 = 1 : 1，计算公式^[16]如下：

$$W_i = \frac{\text{苗高生长量} + \text{冠幅生长量}}{2}$$

(2) 叶面积测定：2018 年 6 月，每株从顶部算起第 12 片叶开始，用直尺测定叶片长和叶片宽（最宽处），每株测量 8 片，取平均值，平均长和平均宽相乘计算平均叶面积^[5]。

1.4.2 叶绿素 SPAD 值测定 2017 年 10 月和 2018 年 6 月，各处理每个重复固定 1 株进行测定。每株从东、南、西、北 4 个方向，每个方向选取 2 片成熟叶片，用叶绿素测定仪 SPAD-502（Minolta, Japan）进行 SPAD 值测定。

1.4.3 栽植后土壤理化性质测定 2018 年 6 月，各处理每个重复的第 1 株用环刀法取土壤，测定容重、总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度，计算气水比^[17]；取各处理每个重复第 1 株的混合土壤测定化学性质，方法按中华人民共和国林业行业标准《森林土壤分析方法》^[18]进行。

1.5 统计分析方法

利用 R 软件中的“pastecs”和“hmisc”包对

苗高、冠幅、叶面积和叶绿素 SPAD 值等生长性状进行基本统计分析；利用“agricolae”包进行单因素方差分析，并采用 Duncan 法进行多重比较^[19]。

2 结果与分析

2.1 不同配方基质的理化性状

2.1.1 物理性状 18 种栽培基质的容重、总孔隙度和气水比存在显著差异（表 2）。基质容重在 0.85~1.45 g/cm³，M18（CK）容重最大、为 1.45 g/cm³，其次是 M04、为 1.34 g/cm³，M05 居第 3 位、为 1.33 g/cm³，M02 容重最小、为 0.85 g/cm³。最大容重比最小容重大 69.41%，说明不同材料之间栽培基质容重差别较大。供试基质总孔隙度在 35.93%~54.44%，处理 M02 总孔隙度最大、为 54.44%，其次是 M13、为 49.83%，处理 M04 总孔隙度最小、仅 35.93%。本研究结果表明，供试基质的气水比在 0.13~0.54，其中 M01 气水比最大、为 0.54，其次是 M13、为 0.39，M15 最小、为 0.13，M17 次之、为 0.17。气水比大表明基质容纳的空气量大，而持水量小；反之，空气容纳量小，持水量大。从以上分析可见，试验基质容重偏大，总孔隙度偏小，气水比较接近理想值。

2.1.2 化学性状 栽培基质的化学性质是影响植物生长的重要指标。18 个不同基质配方的 pH 值在 4.47~7.76 之间，M03 最高（7.76），其次是 M11（7.60）和 M16（7.52）；M01 最低（4.47），其次是 M17（4.66）；对照基质 M18（CK）的 pH 值为 6.01。由此可见，添加辅助基质对土壤 pH 值产生一定影响（表 3）。有机质含量以 M02 最高（62.9 g/kg），M18 最低（5.65 g/kg）。全氮含量 M11 最高（2.74 g/kg），M18 最低（0.30 g/kg）。有效磷含量 M17 最高（138 mg/kg），

表 2 不同配方基质的物理性状
Table 2 Physical traits of each substrate

处理 Treatment	容重 Soil bulk density (g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity (%)	气水比 Air-water ratio	处理 Treatment	容重 Soil bulk density (g/cm ³)	总孔隙度 Total porosity (%)	气水比 Air-water ratio
M01	1.080 ± 0.049def	42.53 ± 9.20bc	0.540 ± 0.155a	M10	1.240 ± 0.030bcd	43.56 ± 5.66bc	0.310 ± 0.116bc
M02	0.850 ± 0.026g	54.44 ± 3.77a	0.310 ± 0.054bc	M11	1.200 ± 0.149bcdef	40.42 ± 7.68bc	0.330 ± 0.082bc
M03	1.230 ± 0.162bcde	38.03 ± 7.06c	0.302 ± 0.127bc	M12	1.180 ± 0.049bcdef	43.77 ± 0.28abc	0.210 ± 0.066bc
M04	1.340 ± 0.020ab	35.93 ± 5.17c	0.220 ± 0.071bc	M13	1.060 ± 0.142ef	49.83 ± 1.51ab	0.390 ± 0.085ab
M05	1.330 ± 0.102ab	39.82 ± 4.60bc	0.200 ± 0.083bc	M14	1.170 ± 0.072bcdef	45.00 ± 1.93abc	0.240 ± 0.060bc
M06	1.250 ± 0.132bcd	43.61 ± 2.08bc	0.240 ± 0.093bc	M15	1.030 ± 0.062f	48.70 ± 1.70ab	0.130 ± 0.026c
M07	1.130 ± 0.095cdef	37.98 ± 7.18c	0.180 ± 0.020bc	M16	1.310 ± 0.100abc	39.15 ± 2.52c	0.190 ± 0.081bc
M08	1.300 ± 0.025abc	40.63 ± 6.50bc	0.210 ± 0.002bc	M17	1.250 ± 0.045bcd	39.50 ± 5.84bc	0.170 ± 0.027c
M09	1.260 ± 0.121abcd	45.34 ± 5.10abc	0.210 ± 0.082bc	M18 (CK)	1.450 ± 0.110a	38.95 ± 9.90c	0.280 ± 0.118bc

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant difference.

表 3 不同配方基质的化学性状
Table 3 Chemical traits of each substrate

处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	有效磷 Effective P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	电导度 EC (μ s/cm)	阳离子交换量 CEC [cmol (+)/kg]	腐殖质全 C Humus total carbon (g/kg)	碳氮比 C/N	
M01	4.47	36.80	1.06	12.70	190	162.0	13.20	1.46	20.2
M02	5.21	62.90	1.40	47.20	413	107.0	11.20	1.11	26.1
M03	7.76	59.60	1.21	18.20	180	62.2	9.61	0.52	28.6
M04	5.79	8.58	0.49	30.80	200	48.1	8.69	0.19	10.1
M05	4.85	12.30	0.72	101.00	261	70.0	11.00	0.27	10.0
M06	6.37	27.60	1.40	73.60	307	105	12.80	0.72	11.5
M07	5.47	6.73	0.34	27.20	149	68.8	8.87	0.09	11.5
M08	6.49	6.28	0.34	17.40	124	35.4	9.73	0.12	10.7
M09	5.54	10.00	0.55	56.70	279	49.5	9.28	0.23	10.6
M10	6.32	21.10	1.13	58.60	415	68.0	10.50	0.66	10.8
M11	7.60	48.10	2.74	85.70	243	127.0	13.90	0.80	10.2
M12	6.09	9.64	0.49	59.10	233	62.7	8.34	0.22	11.4
M13	4.74	11.58	0.72	66.00	292	75.8	9.41	0.31	9.3
M14	5.21	23.80	0.83	75.90	386	56.4	9.72	0.61	16.6
M15	5.55	38.80	0.85	33.10	375	41.8	10.70	0.31	26.4
M16	7.52	21.40	1.23	52.70	202	65.4	11.50	0.40	10.1
M17	4.66	32.10	1.77	138.00	343	272.0	18.60	0.76	10.5
M18 (CK)	6.01	5.65	0.30	16.92	140	35.0	8.11	0.12	10.8

M01最低 (12.7 mg/kg)。速效钾含量M10最高 (415 mg/kg), M08最低 (124 mg/kg)。电导率 (EC) 反映了基质中可溶性盐浓度, 以M17最高 (272 μ s/cm)、M18最低 (35 μ s/cm)。阳离子交换量 (CEC) 反映基质保存养分和提供速效养分的能力, 通常情况下, 基质CEC在10~100 cmol (+)/kg比较适宜, 以M17最大 [18.6 cmol (+)/kg]、M18最小 [8.11 cmol (+)/kg]。腐殖质全C量M01最高 (1.46 g/kg), M07最低 (0.09 g/kg)。M03的C/N最大 (28.6), M13最小

(9.3)。基质M18 (CK) 的有机质含量、全N含量、电导率和阳离子交换量最小。

2.2 不同配方基质对广东含笑苗高和冠幅的影响

广东含笑苗木经过8个月不同基质栽培, 种植成活率除M14为88.9%外, 其他均为100%, 不同基质间没有显著差异。试验初期, 广东含笑苗高和冠幅存在显著差异, 经过8个月栽培后仍存在显著差异, 且差异在扩大 (表4)。广东含笑苗高净生长量为6.8~19.3 cm; 处理M08、M07和M01的苗高净生长量分列前3位, 分别为

表 4 不同配方对广东含笑苗高和冠幅的影响

Table 4 Effects of different substrates on seedling height and crown width of *M. guangdongensis*

处理 Treatment	苗高 Seedling height				冠幅 Crown width				综合生长指标 W_i	
	2017-10	2018-06	生长量 Growth (cm)	排序 Rank	2017-10	2018-06	生长量 Growth (cm)	排序 Rank	生长量 Growth (cm)	排序 Rank
M01	35.9 ± 2.8abc	53.6 ± 2.9a	17.7 ± 3.9abc	3	22.9 ± 2.3a	39.2 ± 2.9a	16.3 ± 4.2ab	2	17.0	3
M02	30.7 ± 2.5bc	39.3 ± 2.8fg	8.6 ± 2.3efg	15	20.1 ± 2.5c	29.9 ± 2.8cdefg	9.8 ± 2.5gh	15	9.2	15
M03	34.6 ± 3.0abc	41.4 ± 2.9efg	6.8 ± 1.6fg	18	22.9 ± 2.3a	29.2 ± 2.6defg	6.3 ± 2.4i	18	6.6	18
M04	30.8 ± 2.6bc	43.2 ± 2.7efg	12.4 ± 3.8cdef	9	19.7 ± 2.2c	31.0 ± 2.6cdefg	11.3 ± 3.4fg	12	11.9	12
M05	35.9 ± 2.5abc	50.6 ± 2.8abc	14.7 ± 3.1abcd	6	21.3 ± 2.1bc	35.7 ± 3.2abc	14.4 ± 3.3cde	8	14.6	5
M06	31.9 ± 2.9bc	45.7 ± 2.8bcde	13.8 ± 3.5bcde	7	21.6 ± 2.3b	33.8 ± 2.5abcdef	12.2 ± 3.0ef	11	13.0	10
M07	32.6 ± 2.5bc	50.7 ± 2.5abc	18.1 ± 4.6ab	2	19.4 ± 2.1c	35.9 ± 2.9abc	16.5 ± 3.5a	1	17.3	2
M08	32.8 ± 2.3bc	52.1 ± 3.2ab	19.3 ± 3.8a	1	20.3 ± 2.3c	35.8 ± 2.6abc	15.5 ± 4.1bc	4	17.4	1
M09	36.4 ± 2.7ab	48.1 ± 2.8abcd	11.7 ± 3.6def	12	19.9 ± 2.6c	34.4 ± 2.5abcde	14.5 ± 3.5cde	7	13.1	9
M10	31.8 ± 2.6bc	40.1 ± 2.6fg	8.3 ± 2.5efg	16	17.9 ± 2.2c	28.1 ± 2.6efg	10.2 ± 3.2fgh	13	9.3	14
M11	30.0 ± 2.5bc	42.0 ± 2.8defg	12.0 ± 2.0def	11	19.3 ± 2.3c	31.6 ± 2.6bcdefg	12.3 ± 2.0ef	10	12.2	11
M12	30.6 ± 2.6bc	44.1 ± 2.5cdef	13.5 ± 3.5bcde	8	19.4 ± 2.6c	34.6 ± 3.1abcd	15.2 ± 2.6bcd	6	14.3	7
M13	30.7 ± 2.8bc	41.8 ± 2.9efg	11.1 ± 4.1def	13	17.7 ± 2.7d	27.5 ± 2.3fg	9.8 ± 2.6gh	14	10.5	13
M14	32.0 ± 2.6bc	41.5 ± 3.1efg	9.5 ± 1.0efg	14	20.1 ± 2.2c	27.2 ± 2.3g	7.1 ± 2.2h	16	8.3	16
M15	32.6 ± 2.5bc	40.6 ± 3.1efg	8.0 ± 2.5efg	17	19.9 ± 2.3c	26.7 ± 2.8h	6.8 ± 1.4hi	17	7.4	17
M16	30.8 ± 2.6bc	45.6 ± 3.2bcde	14.8 ± 5.7abcd	5	19.6 ± 2.6c	33.9 ± 3.1abcde	14.3 ± 2.9cde	9	14.6	5
M17	36.7 ± 2.9a	49.1 ± 3.3abc	12.4 ± 3.2cdef	9	22.6 ± 2.5ab	38.4 ± 2.8a	15.8 ± 3.4bc	3	14.1	8
M18 (CK)	34.0 ± 2.4abc	50.1 ± 4.9abc	16.1 ± 4.3abcd	4	22.4 ± 2.6ab	37.7 ± 2.9ab	15.3 ± 2.9bcd	5	15.7	4

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant difference.

19.3、18.1 和 17.7 cm，比对照 M18（黄心土）分别高 19.88%、12.42% 和 9.94%；M03 的净生长量最小、为 6.8 cm，其次为 M15（8.0 cm），分别比对照小 57.76% 和 50.31%。

冠幅净生长量在 6.3~16.5 cm 之间；M07、M01 和 M17 的冠幅净生长量分列前 3 位，分别为 16.5、16.3 和 15.8 cm，比对照 M18 分别高 7.84%、6.54% 和 3.27%；M03 的净生长量最小、为 6.3 cm，其次是 M15、为 6.8 cm，分别比对照小 58.82% 和 55.56%。

以苗高和冠幅综合生长量 W_i 排序，M08〔黄心土：蛭石（3：2）〕为 17.4 cm、M07〔黄心土：珍珠岩（3：2）〕为 17.3 cm、M01〔黄心土：泥炭土（3：2）〕为 17.0 cm，分别列前 3 位，比对照高出 10.83%、10.19% 和 8.28%；M03〔黄心土：木屑（3：2）〕为 6.6 cm、M15〔黄心土：椰糠（3：2）〕为 7.4 cm、列倒数第 2 位，分别比不同配方基质的物理性状对照小 57~93% 和 52.87%。

2.3 不同配方基质对广东含笑叶面积的影响

由表 5 可知，广东含笑经过 8 月的培育，

叶面积最终值在 2 195~4 234 mm²、平均为 3 422.2 mm²，处理 M07 的叶面积与处理 M02 等 9 个处理存在显著差异；综合生长量较大的基质处理，其叶面积也相对较大；M18（CK）叶面积列第 2 位。

2.4 不同配方基质对广东含笑叶绿素 SPAD 值的影响

由表 5 可知，广东含笑叶绿素 SPAD 初始值在 75.73~81.05，平均为 78.61，各处理间没有显著差异；经过 8 个月的培育，最终值在 70.19~84.71，平均为 79.17，各处理间存在显著差异，M05 与 M02 等 8 个处理存在显著差异。叶绿素 SPAD 值变化值在 -5.53~5.73，平均为 0.56，变化很小；试验还发现，综合生长量小的基质处理，其叶绿素 SPAD 值呈减少趋势。

2.5 广东含笑苗木生长量与土壤理化性质的相关性分析

为研究广东含笑的生长与培养基质之间的关系，我们对苗高、冠幅等生长指标与基质理化性质指标进行了相关性分析，结果（表 6）显示，苗高和冠幅存在极显著正相关（ $r=0.81$ ），说明

表 5 不同配方基质对广东含笑叶面积和 SPAD 值的影响
 Table 5 Effects of different substrates on leaf area and SPAD of *M. guangdongensis*

处理 Treatment	叶面积 Leaf area (mm ²)		SPAD			
	2018-06	排序 Rank	2017-10	2018-06	变化值 Variation	排序 Rank
M01	3638 ± 104abcd	6	80.82 ± 0.47a	83.24 ± 0.62ab	2.42ab	6
M02	2738 ± 120ef	16	78.72 ± 1.22ab	77.12 ± 1.97bcd	-1.60ab	12
M03	2882 ± 58def	15	80.20 ± 0.91ab	78.36 ± 1.07bcd	-1.80ab	13
M04	2945 ± 68def	14	77.04 ± 1.40ab	79.97 ± 1.32abcd	2.93ab	5
M05	3386 ± 156bcde	11	81.05 ± 1.01a	84.71 ± 1.83a	3.66ab	3
M06	3352 ± 293bcde	12	78.56 ± 0.65ab	76.21 ± 1.37bcde	-2.35ab	15
M07	4234 ± 86a	1	80.70 ± 0.93ab	80.40 ± 2.43abcd	-0.30ab	10
M08	4072 ± 121ab	3	76.37 ± 1.34ab	82.11 ± 0.79abc	5.73a	1
M09	3562 ± 78abcd	8	77.86 ± 1.40ab	78.25 ± 1.08bcd	0.39ab	9
M10	2437 ± 83f	17	78.93 ± 0.99ab	74.53 ± 0.68de	-4.40b	17
M11	3576 ± 74abcd	7	80.17 ± 0.85ab	79.71 ± 0.81abcd	-0.40ab	11
M12	3861 ± 103abc	5	76.15 ± 0.66ab	80.59 ± 1.31abcd	4.44a	2
M13	3394 ± 83bcde	10	77.51 ± 0.80ab	80.97 ± 0.99abcd	3.46ab	4
M14	3200 ± 98cde	13	78.60 ± 1.40ab	76.11 ± 1.58cde	-2.49ab	16
M15	2195 ± 146f	18	75.73 ± 0.83ab	70.19 ± 1.51e	-5.53b	18
M16	3871 ± 72abc	4	79.39 ± 0.86ab	77.24 ± 0.92bcd	-2.15ab	14
M17	3533 ± 115abcde	9	80.71 ± 0.81a	82.11 ± 1.23abc	1.40ab	8
M18 (CK)	4117 ± 103ab	2	78.97 ± 0.68ab	80.40 ± 0.61abcd	1.43ab	7

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

Note: * indicates significant correlation, ** indicates extremely significant correlation.

表 6 广东含笑苗木生长量与土壤理化性质之间的相关性分析
 Table 6 Correlation analysis between the growth of *M. guangdongensis* seedling and soil physicochemical properties

指标 Index	容重 Soil bulk density	总孔隙度 Total porosity	气水比 Air-water ratio	pH	有机质 Organic material	全氮 Total N	有效磷 Effective P	速效钾 Available K	电导率 EC	阳离子 交换量 CEC	腐殖质 全C量 Humus total carbon	C/N	苗高 Height	冠幅 Crown diameter	叶绿素 SPAD
容重 Soil bulk density	1														
总孔隙度 Total porosity	-0.76**	1													
气水比 Air-water ratio	-0.32	0.16	1												
pH	-0.04	-0.02	-0.15	1											
有机质 Organic material	-0.24	0.01	0.12	0.23	1										
全 N Total N	-0.14	-0.04	0.12	0.33	0.72**	1									
有效 P Effective P	0.17	-0.08	-0.21	-0.23	0.02	0.47**	1								
速效 K Available K	-0.38	0.26	-0.12	-0.32	0.36	0.33	0.51**	1							
电导率 EC	0.01	0.03	0.22	-0.30	0.40**	0.63**	0.55**	0.22	1						
阳离子交换量 CEC	-0.02	-0.03	0.08	-0.11	0.46**	0.75**	0.59**	0.27	0.92**	1					
腐殖质全C量 Humus total carbon	-0.37	0.15	0.51**	-0.17	0.71**	0.64**	0.11	0.37	0.65**	0.61**	1				
C/N	-0.23	-0.01	0.10	0.03	0.77**	0.13	-0.39	0.24	0	0.01	0.42**	1			
苗高 Height	0.37	-0.30	0.22	-0.07	-0.51**	-0.29	-0.21	-0.73**	0.05	0.01	-0.20	-0.49**	1		
冠幅 Crown diameter	0.47	-0.23	0.21	-0.25	-0.55**	-0.19	0.11	-0.50**	0.28	0.18	-0.08	-0.63**	0.81**	1	
叶绿素 SPAD	0.29	-0.25	0.10	-0.10	0.07	0.04	0.02	0.10	0.16	0.12	0.22	0.02	0.21	0.23	1
叶面积 Leaf area	0.42	-0.42**	-0.06	-0.24	0.15	-0.02	0.09	0.15	0.10	0.21	0.08	0.27	0.13	0.09	0.62**

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

Note: * indicates significant correlation, ** indicates extremely significant correlation.

这两个生长指标之间存在着紧密的协同关系；苗高、冠幅与容重、气水比、EC 和 CEC 呈正相关，与有机质、速效 K 和 C/N 呈极显著负相关，与 pH 值、总孔隙度和全 N 等呈负相关。说明广东含笑适合在容重和气水比较大，pH 值较小，有机质、全氮和速效钾含量低的基质中生长。

3 讨论

栽培基质是植物保持固定、吸收水分和养分进行自生长的基础材料，不同栽培基质土壤容重差异较大，多数土壤容重在 1.0~1.8 之间，其数值大小与土壤质地、结构、松紧和有机质含量等有关^[20]。本试验基质容重在 0.85~1.45 g/cm³，其中对照黄心土容重最大，添加玉米桔杆等农林废弃物的配方基质其容重、总孔隙度和气水比间存在显著差异。土壤容重较大，固定根系能力增强，抗风性能较好，对华南地区木本花卉苗木栽培中防止倒伏、维持苗木正常生长是有利的；但容重过大，土壤孔隙度变小，在栽培的过程中基质的通气性差，植物根系生长受到压制，也不一定适合植物生长，且苗木生产和运输成本较大，优良的栽培基质要达到适用、易配、清洁、质轻、廉价和美观等要求，既促进植物营养生长或生殖生长，又减轻生产成本，提高劳动生产率的目的。本试验发现，广东含笑适合在容重大、总孔隙度较小的基质中生长，这与木棉苗期生长优良基质研究结果^[5]类似。

基质的成分和配比不同，理化性状差异也较大，基质的 pH 值是基质化学性质的主要指标之一，影响土壤其他有效成分的利用，从而对植物生长产生重要影响，理想栽培基质 pH 值为 6.0~7.5^[21]。基质有机质、全氮、有效磷和速效 K 等是促进植物生长发育的重要元素，植物有机肥不足会导致生长缓慢。本研究发现，广东含笑的生长与 pH 值、有机质、全氮和速效钾等呈负相关关系，有机质、全氮及速效钾含量较低时广东含笑的生长量更好，这可能与广东含笑原生地是在广东英德市海拔 1 250 m 以上山地土层薄的地方、其已长期适应有机质含量低的土壤有关，但与杜鹃红山茶适合全 N 含量较高的土壤基质中生长^[16]明显不同。

本试验中基质 M08 和 M07 栽培的广东含笑综合生长量列前 2 位，分别比对照大 10.83% 和

10.19%，而容重分别比对照小 9.72% 和 22.1%，是广东含笑苗期栽培的优良基质，基质 M07（黄心土与珍珠岩比例为 3 : 2）与杜鹃红山茶的栽培基质研究结果类同，基质 M07 的特点是 pH 值较小、有机质含量低、腐殖质全 C 量小，可能与广东含笑和杜鹃红山茶原生境土壤贫瘠、有机质含量低、腐殖质全 C 量小、土壤呈较强酸性有关。

4 结论

对广东含笑苗期 18 种栽培基质的理化性质以及基质中广东含笑苗木生长状况的研究结果表明：（1）18 种栽培基质物理性质（容重、总孔隙度和气水比）存在显著差异；（2）不同配方基质栽培后广东含笑苗高和冠幅生长量差异更加显著；（3）对苗高、冠幅等生长指标与基质理化性质指标进行了相关性分析，说明广东含笑适合在容重和气水比较大，pH 值较小，有机质、全氮和速效钾含量低的基质中生长；（4）处理 M08（黄心土 : 蛭石比例为 3 : 2）和 M07（黄心土 : 珍珠岩比例为 3 : 2）的综合生长量分别比对照高出 10.83% 和 10.19%，容重分别比对照小 9.72% 和 22.1%，建议作为广东含笑育苗的首选基质。

参考文献 (References) :

- [1] 朱报著, 徐斌, 张方秋, 潘文, 王裕霞. 红花荷盆栽基质研究 [J]. 广东农业科学, 2011, 38(15): 33-36. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2011.15.013.
ZHU B Z, XU B, ZHANG F Q, PAN W, WANG Y X. Research on cultivated substrate of *Rhodoleia championi* Hook. f. [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, 38(15): 33-36. doi: 10.3969/j.issn.1004-874X.2011.15.013.
- [2] 田赞, 王海燕, 孙向阳, 曹吉鑫, 张璐, 魏莎, 赵珉. 农林废弃物环保型基质再利用研究进展与展望 [J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 497-502.
TIAN Y, WANG H Y, SUN X Y, CAO J X, ZHANG L, WEI S, ZHAO K. The progress and prospects of agricultural and forest residue substrate [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(2): 497-502.
- [3] 曾清华, 毛兴平, 孙锦, 郭世荣, 刘超杰. 小麦秸秆复合基质的理化指标及其对黄瓜幼苗生长和光合参数的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(4): 70-75. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2011.04.012.
ZENG Q H, MAO X P, SUN J, GUO S R, LIU C J. Physicochemical indexes of mixed substrates of wheat (*Triticum aestivum*) straw and its effect on growth and photosynthetic parameters of *Cucumis sativus* seedling [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2011, 20(4): 70-75. doi: 10.3969/j.issn.1674-7895.2011.04.012.
- [4] 董传迁, 尹程程, 魏珉, 杨凤娟, 史庆华, 王秀峰, 张伟丽. 玉米秸秆、棉籽壳菇渣替代草炭作为番茄和甜椒育苗基质研究 [J]. 中国蔬菜,

- 2014, 34(8): 33–37. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2014.08.011.
- DONG C Q, YIN C C, WEI M, YANG F J, SHI Q H, WANG X F, ZHANG W L. Studies on using maize straw and mushroom residue to replace peat as nursery media for tomato and sweet pepper seedlings [J]. *China Vegetables*, 2014, 34(8): 33–37. doi: 10.3969/j.issn.1000-6346.2014.08.011.
- [5] 朱报著, 朱政财, 潘文, 张方秋, 王裕霞, 黎士兰, 邓淑梅. 木棉苗期生长基质筛选研究[J]. 西南林业大学学报, 2013, 33(4): 73–77. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2013.04.006.
- ZHU B Z, ZHU Z C, PAN W, ZHANG F Q, WANG Y X, LI T L, DENG S M. Selection of the seedling cultivated medium for *Bombax ceiba* Linn. [J]. *Journal of Southwest Forestry University*, 2013, 33(4): 73–77. doi: 10.3969/j.issn.2095-1914.2013.04.006.
- [6] YAN Y H, ZENG Q W, XING F W. *Michelia guangdongensis* (Magnoliaceae), a new species from China [J]. *Annales Botanici Fennici*, 2004, 41: 491–493. doi: http://dx.doi.org/.
- [7] 广东省林业局. 广东首批重点保护野生植物名录 [EB/OL]. http://www.gdf.gov.cn/lytweb/f/view-10100-10035998.html, 2018-12-04.
- Guangdong Forestry Bureau*, List of the first batch of Key Protected Wild Plants in Guangdong Province [EB/OL]. http://www.gdf.gov.cn/lytweb/f/view-10100-10035998.html, 2018-12-04.
- [8] 刘玉壶. 中国木兰 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2004: 268–269.
- LIU Y H. Chinese Magnolia [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 2004: 268–269.
- [9] 李西贝阳, 付琳, 王发国, 邢福武. 极小种群植物广东含笑应当被评估为极危等级 [J]. 生物多样性, 2017, 25(1): 91–93. doi: 10.17520/biods.2016305.
- LI X B Y, FU L, WANG F G, XING F W. *Michelia guangdongensis* (Magnoliaceae), an endangered plant species with extremely small populations, should be evaluated as CR C2a (i); D [J]. *Biodiversity Science*, 2017, 25(1): 91–93. doi: 10.17520/biods.2016305.
- [10] 徐斌, 朱报著, 潘文, 张方秋, 杨会肖. 广东含笑的光响应特性及其最适模型研究 [J]. 林业科学研究, 2017, 30(4): 604–609. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.04.010.
- XU B, ZHU B Z, PAN W, ZHANG F Q, YANG H X. Photosynthetic light response characteristics of *Michelia guangdongensis* and practicability of six models [J]. *Forest Research*, 2017, 30(4): 604–609. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.04.010.
- [11] 姜春宁, 林伟, 黄永芳. 低温胁迫对广东含笑嫁接苗生理生化指标的影响 [J]. 福建林业科技, 2016, 43(2): 123–128. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2016.02.023.
- JIANG C N, LIN W, HUANG Y F. Effects of low-temperature stress on physiological-biochemical indexes of *Michelia guangdongensis* grafted seedlings [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2016, 43(2): 123–128. doi: 10.13428/j.cnki.fjlk.2016.02.023.
- [12] 杨科明, 陈新兰. 广东含笑的引种繁育与园林应用研究 [J]. 广东园林, 2011, 33(1): 44–46. doi: 10.3969/j.issn.1671-2641.2011.01.011.
- YANG K M, CHEN X L. Introduction, breeding and landscape application of *Michelia guangdongensis* [J]. *Guangdong Landscape Architecture*, 2011, 33(1): 44–46. doi: 10.3969/j.issn.1671-2641.2011.01.011.
- [13] 姜春宁, 黄永芳. 广东含笑嫁接试验 [J]. 广东林业科技, 2013, 29(2): 7–10. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2013.02.002.
- JIANG C N, HUANG Y F. Grafting experiment of *Michelia guangdongensis* [J]. *Guangdong Forestry Science and Technology*, 2013, 29(2): 7–10. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2013.02.002.
- [14] 朱报著, 张方秋, 潘文. 广东含笑无性繁殖技术 [J]. 花卉, 2016, 32(16): 1–2.
- ZHU B Z, ZHANG F Q, PAN W. Vegetative propagation technique of *Michelia guangdongensis* [J]. *Flowers*, 2016, 32(16): 1–2.
- [15] 张方秋, 李小川, 潘文, 周平. 广东生态景观树种栽培技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2012: 98–99.
- ZHANG F Q, LI X C, PAN W, ZHOU P. Cultivation technique of ecological landscape trees in Guangdong province [M]. Beijing: China Forestry Press, 2012: 98–99.
- [16] 朱报著, 杨会肖, 潘文, 徐斌, 廖焕琴, 王裕霞, 张卫华, 杨晓慧, 徐放. 农林废弃物基质对杜鹃红山茶苗期生长的影响 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34(6): 34–43.
- ZHU B Z, YANG H X, LIAO H Q, PAN W, XU B, WANG Y X, ZHANG W H, YANG X H, XU F. Effects of agroforestry waste matter on the growth of *Camellia azalea* seedlings [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2018, 34(6): 34–43.
- [17] 蒲胜海, 冯广平, 李磐, 张升, 孙晓军, 丁峰. 无土栽培基质理化性状测定方法及其应用研究 [J]. 新疆农业科学, 2012, 49(2): 267–272. doi: CNKI: 65-1097/S.20120302.2241.019.
- PU S H, FENG G P, LI P, ZHANG S, SUN X J, DING F. Studies on determination of the physical and chemical characteristics of soilless cultivation substrates and their application [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2012, 49(2): 267–272. doi: CNKI: 65-1097/S.20120302.2241.019.
- [18] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准《森林土壤分析方法》. LY/T 1210-1275-1999.
- National Forestry Administration. Forestry Industry Standard of People's Republic of China, Analysis method of Forest soil. LY/T 1210-1275-1999.
- [19] NULL R C T R, TEAM R, NULL R C T. R—a language and environment for statistical computing [J]. *Computing*, 2011, 1: 12–21.
- [20] 孙向阳. 土壤学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 132.
- SUN X Y. Soil science [M]. Beijing: China Forestry Press, 2005: 132.
- [21] 李静, 赵秀兰, 魏世强, 郑建锋, 胡勇智. 无公害蔬菜无土栽培基质理化特性研究 [J]. 西南农业大学学报, 2000, 22(2): 112–115. doi: 10.3969/j.issn.1673-9868.2000.02.005.
- LI J, ZHAO X L, WEI S Q, ZHENG J F, HU Y Z. Study on the physico-chemical properties of soil-less cultural substrates of pollution-free vegetable [J]. *Journal of Southwest Agricultural University*, 2000, 22(2): 112–115. doi: 10.3969/j.issn.1673-9868.2000.02.005.