

## 微生物菌剂对芳樟枝精油主成分芳樟醇的影响

黄秋良<sup>1</sup>, 袁宗胜<sup>2</sup>, 蒋天雨<sup>1</sup>, 朱晓如<sup>1</sup>, 陈智勇<sup>3</sup>, 张国防<sup>1\*</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建福州 350002; 2. 闽江学院海洋研究院, 福建福州 350108; 3. 长泰县林业局, 福建漳州 363900)

**摘要** 以芳樟 195# 一年生扦插苗为研究对象, 通过二次正交回旋组合设计试验研究接种固氮菌、巨大芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌对芳樟枝精油主成分的影响。结果表明, 试验组芳樟枝精油主成分芳樟醇含量显著提高, 樟脑、1,8-桉叶油素含量显著降低; 试验组 14 (固氮菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、巨大芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、胶冻样芽孢杆菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆、枯草芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆) 的芳樟枝精油主成分芳樟醇含量最高 (87.09%), 高出对照组 7.80%。

**关键词** 芳樟; 芳樟醇; 微生物菌剂; 二次正交回旋组合设计

中图分类号 S 725.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)05-0123-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.05.033

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effect of Microbial Agents on Linalool, the Principal Component of *Cinnamomum Camphora* (L.) Presl Branch Essential Oil

HUANG Qiu-liang<sup>1</sup>, YUAN Zong-sheng<sup>2</sup>, JIANG Tian-yu<sup>1</sup> et al. (1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002; 2. Institute of Oceanography, Minjiang University, Fuzhou, Fujian 350108)

**Abstract** Based on annual *Cinnamomum camphora* (L.) Presl 195 code cuttings, the effects of inoculation of *Azotobacter chroococum*, *Bacillus magaterium*, *Bacillus mucilaginosus* and *Bacillus subtilis* on the branch essential oil of *C. camphora* leaves were studied by quadratic orthogonal rotating combination method. The result showed the test group significantly increased the content of linalool, the main component of *C. camphora* branch oil, and decreased the content of camphor and 1,8-eucalyptus oil. The principal component of aromatic camphor essential oil in test group 14 (*Azotobacter chroococum* =  $40 \times 10^8$  CFU/pot, *Bacillus mucilaginosus* =  $40 \times 10^8$  CFU/pot, *Bacillus magaterium* =  $60 \times 10^8$  CFU/pot, *Bacillus subtilis* =  $40 \times 10^8$  CFU/pot) had the highest content of linalool (87.09%), which was 7.80% higher than that in the control group.

**Key words** *Cinnamomum camphora* (L.) Presl; Linalool; Microbial agent; Quadratic orthogonal gyrocombination design

芳樟 [*Cinnamomum camphora* (L.) Presl] 系樟树的一个生化变种, 其含有丰富的芳樟醇 ( $C_{10}H_{18}O$ ), 故称为芳樟<sup>[1]</sup>。芳樟除了可作用材和绿化用途外, 其主要是用于提炼芳樟油。开发芳樟生物量大、精油含油量高、芳樟醇纯度高、樟脑含量低的种质是发展芳香樟油料林产业化的关键环节。

微生物菌是对植物生长发育有益的一类生物菌剂。菌剂中的微生物通过分泌代谢物质可直接或间接影响宿主植物的代谢途径, 从而影响宿主的生理特性和生长发育<sup>[2]</sup>。例如固氮菌 (*Azotobacter chroococum*) 可将空气中的气态氮转化成可直接被植物利用的氨态氮<sup>[3]</sup>; 胶冻样芽孢杆菌 (*Bacillus mucilaginosus*) 有解钾、解磷、固氮等多种作用, 并能提高植物产量和品质<sup>[4]</sup>; 巨大芽孢杆菌 (*Bacillus magaterium*) 是一种植物根系促生细菌, 可降解土壤中不能被植物利用的磷和钾<sup>[5-6]</sup>; 枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*) 既能抑制植物病原菌, 又能促进植物生长<sup>[7-8]</sup>。

芳樟的精油形成、积累和转化过程非常复杂, 受到遗传和环境因素的综合影响<sup>[9-11]</sup>, 通过栽培方式可以影响芳樟的精油合成<sup>[12]</sup>。目前, 鲜有关于微生物菌剂对芳樟枝精油主成分影响的研究报道。笔者拟通过 4 因素 5 水平二次回归

正交旋转设计, 研究固氮菌、巨大芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌在不同水平条件下对芳樟枝精油主成分的影响, 以确定微生物菌剂最佳方案, 为开发与应用这些有益微生物和提升芳樟产业化提供指导。

## 1 材料与方法

**1.1 试验地概况** 试验地位于福建农林大学南门妙峰山苗圃地大棚, 试验苗圃所处区域位于  $118^{\circ}08' \sim 120^{\circ}31' E$ ,  $25^{\circ}15' \sim 26^{\circ}29' N$ , 属亚热带海洋气候, 气候温和, 雨量充沛。

**1.2 材料来源** 盆栽试验采用的材料为来源于福建省永安林业(集团)股份有限公司种苗中心苗圃长势均匀的芳樟 195# 一年生扦插苗, 平均苗高为 21 cm。单一成分微生物菌剂固氮菌、巨大芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌来源于沧州旺发生物技术研究所。

**1.3 试验设计** 芳樟盆栽试验采用 4 因素 5 水平二次回归正交旋转试验设计(表 1), 试验组 23 个措施组合处理 ( $T_1 \sim T_{23}$ ) 和 1 个空白对照组(表 2), 每个处理 3 次重复, 每个重复 10 个盆栽。黄心土和有机质采用 0.6% 高锰酸钾均匀喷施, 后用塑料薄膜覆盖密封曝晒 8 d 后再用于试验苗栽培和接种。盆钵规格为  $38.5 \text{ cm} \times 30.0 \text{ cm} \times 30.0 \text{ cm}$ , 每盆统一装消毒后的黄心土 5.5 kg。

## 1.4 方法

**1.4.1 接种方法和试验苗管护** 芳樟菌剂接种采用灌根接种法, 按照试验设计方案分别用无菌注射器提取和接种(灌根)到对应的芳樟盆栽基质中。试验苗于 10 月栽植, 翌年 6 月结束, 一共 8 个月。每周浇水和拔草 1~2 次, 保证试验苗的正常生长条件。

**基金项目** 福州市市政府项目“福州·定西水土流失综合治理(生态林)试验”(KH180062A); 福建农林大学校级创新项目“植物天然产物研究与开发实验室”(KFA17069A); 福建农林大学校级创新项目樟树生殖生物学研究(KFA17304A); 福建农林大学校级创新项目“不同立地条件下影响樟树精油代谢相关内生菌”(118-71201802404)。

**作者简介** 黄秋良(1989—), 男, 福建漳州人, 硕士研究生, 研究方向: 森林培育、经济林栽培。\* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事森林培育、森林防火、经济林栽培研究。

**收稿日期** 2019-10-16

表1 微生物菌剂各水平施用量

**Table 1 Microorganism inocula in various levels of application dose**

×10<sup>8</sup> CFU/盆

处理水平 Processing level	固氮菌 ( $X_1$ ) <i>Azotobacter</i> sp.	巨大芽孢杆菌 ( $X_2$ ) <i>Bacillus megaterium</i>	胶冻样芽孢杆菌 ( $X_3$ ) <i>Bacillus mucilaginosus</i>	枯草芽孢杆菌 ( $X_4$ ) <i>Bacillus subtilis</i>	CK
-1.682	20	20	20	20	0
-1.000	30	30	30	30	0
0	40	40	40	40	0
1.000	50	50	50	50	0
1.682	60	60	60	60	0

**1.4.2 芳樟精油测定。**盆栽试验8个月后,采摘试验组芳樟苗枝条,当天将各个试验组枝条擦净,称其鲜重,并将数据整理保存。将称量后的同个试验组的全部样本枝条进行混合,混合后再将各个试验组的芳樟枝条分别装入分装袋,保存于冰箱用于精油提炼。提取芳樟枝精油采用常压水蒸汽蒸馏法。将剪碎的100 g枝条装进蒸馏瓶中,加200 mL开

水,蒸馏90 min后熄火,收集精油,测定枝精油含油量,每个试验组进行3次重复。

**1.4.3 芳樟精油主成分测定。**采用SP-6890型气相色谱仪测定芳樟精油的化学组成,参照万琴等<sup>[13]</sup>的测定方法。

**1.5 数据分析方法** 采用DPS7.05数据统计软件,对试验组的芳樟枝精油主成分芳樟醇进行回归方程的拟合、建立数学模型,并进行显著性检验。

## 2 结果与分析

**2.1 微生物菌剂对芳樟精油主成分分析** 对照组芳樟枝精油主成分芳樟醇为80.79%,试验组平均值为83.43%,比对照组高3.27%;试验组的樟脑含量平均值为0.03%,对照组樟脑含量为0.19%,比试验组高出533.33%;试验组的1,8-桉叶油素含量平均值为0.55%,对照组1,8-桉叶油素含量为0.89%,比试验组高出61.81%。结果表明,试验组大部分芳樟醇含量高于对照组,樟脑含量和1,8-桉叶油素含量低于对照组。

表2 芳樟枝精油的主成分

Table 2 Principal component of *C. camphora* branch essential oil

处理 Treatment	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	枝精油主成分 Principal component of branch essential oil/%		
					芳樟醇 Linalool	樟脑 Camphor	1,8-桉叶油素 1,8-cineole
T <sub>1</sub>	50	50	50	50	84.66 de	0.00 g	0.61 g
T <sub>2</sub>	50	50	30	30	82.78 hij	0.16 b	0.79 de
T <sub>3</sub>	50	30	50	30	86.22 ab	0.00 g	0.67 f
T <sub>4</sub>	50	30	30	50	81.25 k	0.02 efg	0.03 k
T <sub>5</sub>	30	50	50	30	83.70 efgh	0.03 def	0.87 ab
T <sub>6</sub>	30	50	30	50	85.55 bcd	0.02 efg	0.58 g
T <sub>7</sub>	30	30	50	50	82.39 j	0.04 de	0.81 cd
T <sub>8</sub>	30	30	30	30	78.98 n	0.01 fg	0.79 de
T <sub>9</sub>	20	40	40	40	82.52 ij	0.00 g	0.87 ab
T <sub>10</sub>	60	40	40	40	86.19 ab	0.11 c	0.59 g
T <sub>11</sub>	40	20	40	40	79.58 mn	0.02 efg	0.70 f
T <sub>12</sub>	40	60	40	40	85.84 bc	0.02 efg	0.66 f
T <sub>13</sub>	40	40	20	40	80.06 lm	0.01 fg	0.83 bc
T <sub>14</sub>	40	40	60	40	87.09 a	0.09 c	0.33 h
T <sub>15</sub>	40	40	40	20	80.86 l	0.01 fg	0.85 abc
T <sub>16</sub>	40	40	40	60	85.15 cd	0.00 g	0.59 g
T <sub>17</sub>	40	40	40	40	83.66 efgh	0.05 d	0.15 i
T <sub>18</sub>	40	40	40	40	82.93 ghij	0.02 efg	0.78 de
T <sub>19</sub>	40	40	40	40	83.38 fghi	0.01 fg	0.75 e
T <sub>20</sub>	40	40	40	40	83.91 efg	0.00 g	0.15 i
T <sub>21</sub>	40	40	40	40	84.12 ef	0.01 fg	0.15 i
T <sub>22</sub>	40	40	40	40	84.06 ef	0.00 g	0.11 ij
T <sub>23</sub>	40	40	40	40	83.96 ef	0.00 g	0.10 j
CK					80.79 kl	0.19 a	0.89 a

注:同列数据后小写字母不同表示差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different small letters within the same column mean significant differences ( $P<0.05$ )

**2.2 微生物菌剂与芳樟枝精油主成分芳樟醇回归方程的建立及显著性检验** 对芳樟枝精油主成分芳樟醇进行数学模型分析,首先建立编码方程,然后对编码方程进行求解。由表3可知,在 $\alpha=0.05$ 显著水平下,通过芳樟枝精油主成分芳樟醇的回归显著性检验得 $F=8.02342^*$ ,表明微生物菌剂对芳樟枝精油主成分芳樟醇的影响存在显著回归关系,模型

成立。

在0.05显著水平剔除不显著项后,得到四元二次正交旋转回归方程为:

$$Y = 83.73096 + 0.76608X_1 + 1.34570X_2 + 1.48153X_3 - 0.98875X_1X_2 - 1.04375X_1X_4 \quad (1)$$

式中, $Y$ 代表枝精油主成分芳樟醇(%); $X_1$ 为固氮菌施用量;

$X_2$  为巨大芽孢杆菌施用量;  $X_3$  为胶冻样芽孢杆菌施用量;  $X_4$  为枯草芽孢杆菌施用量。

表 3 芳樟枝精油主成分芳樟醇回归显著性检验

Table 3 Remarks on the regression of linalool which is the principal component of *C. camphora* branch essential oil

变异来源 Source of variation		平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	比值 $F$ Specific value	$P$ 值
一次效应 First order effect	$X_1$	5.829 0	1	5.829 0	5.509 9	0.038 7
	$X_2$	17.986 4	1	17.986 4	17.001 9	0.001 7
	$X_3$	21.800 5	1	21.800 5	20.607 3	0.000 8
	$X_4$	4.690 3	1	4.690 3	4.433 6	0.059 0
二次效应 Secondary effect	$X_1^2$	0.490 5	1	0.490 5	0.463 7	0.510 0
	$X_2^2$	1.629 8	1	1.629 8	1.540 6	0.240 3
	$X_3^2$	0.056 2	1	0.056 2	0.053 1	0.822 0
	$X_4^2$	0.850 3	1	0.850 3	0.803 7	0.389 2
交互效应 Interaction effect	$X_1X_2$	5.688 0	1	5.688 0	5.376 7	0.040 7
	$X_1X_3$	2.544 0	1	2.544 0	2.404 8	0.149 2
	$X_1X_4$	6.338 4	1	6.338 4	5.991 5	0.032 4
回归 Regression		93.368 1	11	8.488 0	$F=8.023 42$	0.000 9
剩余 Residue		11.636 9	11	1.057 9		
总和 Total		105.005 0	22			

2.3 芳樟枝精油主成分芳樟醇单因子效应分析 由图 1 可知,固氮菌、胶冻样芽孢杆菌与芳樟的枝精油主成分芳樟醇含量呈直线相关,表明增施固氮菌、胶冻样芽孢杆菌可以提高芳樟的枝精油主成分芳樟醇含量。巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌与芳樟的枝精油主成分芳樟醇含量呈近似直线相关,增施巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌可提高枝精油主成分芳樟醇含量,当巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌施用量在编码值为 1.682 时,枝精油主成分芳樟醇含量达到最大值,分别是 84.93% 和 84.16%,但在编码值为 1.000~1.682 区间,枝精油主成分芳樟醇含量趋于平缓,表明适当增施巨大芽孢杆菌、枯草芽孢杆菌可以提高芳樟的枝精油主成分芳樟醇含量。

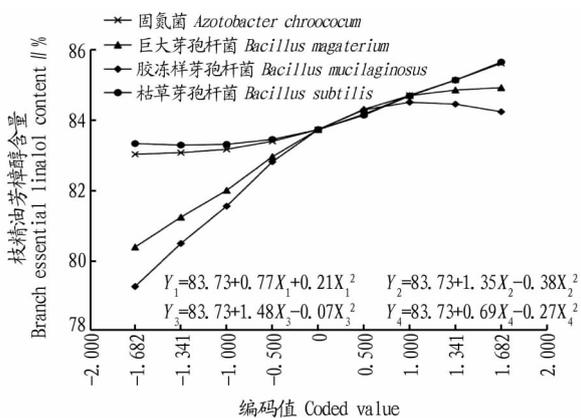


图 1 芳樟枝精油主成分芳樟醇单因子效应分析

Fig. 1 Single factor effect analysis of linalool which is the principal component of *C. camphora* branch essential oil

2.4 芳樟枝精油主成分芳樟醇含量最优值 运用 Excel 软件对各个回归方程进行最优求解,求得的芳樟枝精油主成分芳樟醇含量最优值可达 92.95%,与之对应微生物菌剂施用量分别为固氮菌 =  $20 \times 10^8$  CFU/盆、巨大芽孢杆菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆、胶冻样芽孢杆菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆、枯草芽孢杆

菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆,试验组 14(固氮菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、巨大芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、胶冻样芽孢杆菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆、枯草芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆)的芳樟枝精油主成分芳樟醇含量最高(87.09%),最接近于求得的最优方案的微生物菌剂施用量。

### 3 结论

试验组芳樟枝精油主成分芳樟醇平均含量高出对照组 3.27%;对照组的芳樟枝精油主成分樟脑平均含量高出试验组 533.33%;对照组的芳樟枝精油主成分 1,8-桉叶油素平均含量高出试验组 61.81%,结果表明不同菌剂组合不仅可以提高芳樟醇含量,而且可以降低樟脑含量和 1,8-桉叶油素含量,这与笔者研究芳樟优良无性系叶精油主成分遗传稳定性分析得到樟脑与芳樟醇合成方向相反的结论相同<sup>[14]</sup>。

芳樟是以提取芳樟精油的芳樟醇成分为经营目的,精油中的芳樟醇含量高低直接影响精油的价格高低,所以提升芳樟醇含量、降低樟脑和 1,8-桉叶油素含量对芳樟产业发展具有重要意义。在芳樟精油生产过程中,绝大多数基地均是枝条和叶片混合一起蒸馏出精油,所以提高芳樟枝条精油主成分芳樟醇相对含量是提高芳樟精油品质的关键。

试验组 14(固氮菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、巨大芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆、胶冻样芽孢杆菌 =  $60 \times 10^8$  CFU/盆、枯草芽孢杆菌 =  $40 \times 10^8$  CFU/盆)的芳樟枝精油主成分芳樟醇含量最高(87.09%),最接近于求得的最优方案的微生物菌剂施用量。表明 4 种微生物菌剂(固氮菌、巨大芽孢杆菌、胶冻样芽孢杆菌和枯草芽孢杆菌)对芳樟叶精油主成分芳樟醇作用效果较好,为生产芳樟专用菌剂提供了理论指导,对芳樟精油化工提纯节约成本和提高芳樟精油品质具有重要意义。

### 参考文献

[1] 江燕. 芳樟醇型樟叶精油中主要成分变化规律的研究[J]. 香料香精化妆品, 2018(6): 1-3.

保持叶面空气湿度在 70%~80%。藓类植物的水分主要来自大气,只有少部分来自其生长基质,所以养护环境中保持一定的空气湿度对苔藓的生长来说是必需的。有研究表明,高湿度环境下苔藓的耐高温能力下降。其原因可能是由于在高湿下植物本身的新陈代谢及酶的活性都非常活跃,对环境非常敏感,因而高温会对其产生伤害<sup>[7-8]</sup>。需要注意的是,一般室内温差相较室外相差不大,但是夏季有些室内环境几乎是全封闭,而且通风效果差,再加上上下班时间空调的开闭,加大了期间的温差和湿度变化,甚至出现闷热现象,这时候为了避免白发藓的环境敏感症状,应该保持比平时相对较低的叶面湿度 60%~70%,忌高温高湿。

综上,水分因子是影响白发藓生长的重要因子。持续而稳定的水分环境对白发藓的健康成长有重要作用。墙面水分保持在 15%~35%,叶面湿度保持在 70%~80%,忌见于见湿。夏季高温时期,湿度保持在 60%~70%。

**3.2 光照因子对白发藓生长的影响** 大部分苔藓,尤其是耐阴种类,要求较低的光照,能够在很低的光照条件下进行光合作用,表现出喜阴的光合特征,其光合作用所需的饱和光照强度大大低于高等植物所需要的<sup>[9-10]</sup>。

经过测定,白发藓的光补偿点和光饱和点分别在 20、249  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以下。虽然白发藓对光合作用所需的饱和光照强度大大低于高等植物,但并不表示一般室内环境普通的照明灯就能满足白发藓最低的光照条件。由于室内与室外光强差异较大,一般室外树荫下都可能比室内比较明亮的地方光照要强,所以对于光照的需要不能用肉眼来评估。1987 年, Vashistha 等<sup>[11]</sup> 采用 5 个光照照度,分别是 12.59、19.79、39.59、62.99、81.00  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,在 25  $^{\circ}\text{C}$  左右培养几种苔藓,结果表明当光照达 62.99  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时,原丝体呈深绿色,分枝较多,所以光照因子是影响苔藓生长的重要因子。而室内环境很多都满足不了这个光照条件。实践证明,在室内培养白发藓需要给它进行人工补光。该研究中,人工补光有一定的色温,但是相较于自然光,并没有伴随高温,在促进发藓生长的同时,也保证了室内适宜的温度环境。结果表明在 11.00~14.50  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  的低照度环境下,白发藓长势不佳;18.00~36.00  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  能满足基本生长

需求;而长势比较好的是 45.00  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  以上的光照强度区域。光照因子对白发藓的影响没有水分因子那么明显,但是长期来看,光照影响白发藓的新芽萌发,使其容易发黑长霉菌,从而影响白发藓正常生长及观赏价值。

LED 人工补光系统主要有 2 个功能:一个是功能性的,用来给植物补光,进行光合作用;另一个是艺术性的,用来给艺术墙增添光影艺术效果。苔藓艺术墙的观赏焦点主要集中在中上部,所以中上部的光照强度会比下部强。为了兼顾补光的艺术效果,补光灯在墙面的照度虽然分布不均,但是可以在兼顾艺术效果的同时,通过增加补光灯的数量、调节补光灯的角度来达到光补偿点,确保白发藓的生长。

生长缓慢、质量轻、对基质要求低、适应性强的苔藓植物在城市绿化,特别是屋顶、墙面、边坡等的立体绿化形式上具有广阔的发展空间。白发藓病虫害较少,一般不需要额外施肥和修剪,较其他室内植物养护而言,减少了很多养护工作。但是它对于微环境比较敏感,所以即使是生命力很强,也必须营造相对稳定的微环境。虽然环境因子对植物生长的影响是复杂和综合性的,但是抓住影响白发藓生长的 2 个关键因子,满足适宜的光照和水分环境,就能保证白发藓生长的基本需求,发挥它的景观价值。

#### 参考文献

- [1] 孙守琴,王根绪,罗辑,等. 苔藓植物对环境变化的响应和适应性[J]. 西北植物学报,2009,29(11):2360-2365.
- [2] CAMERON A J, NICKLESS G. Use of mosses as collectors of airborne heavy metals near a smelting complex[J]. Water, air, and soil pollution, 1977,7(1):117-125.
- [3] 尚正华. 园林景观设计中苔藓植物的运用探讨[J]. 花卉,2018(2):97-98.
- [4] 周涛平. 苔藓植物在室内绿化中的应用研究[D]. 上海:上海交通大学,2012.
- [5] 吴鹏程. 苔藓植物生物学[M]. 北京:科学出版社,1998.
- [6] STARK L R. Bisexuality as an adaptation in desert mosses[J]. The American midland naturalist,1983,110(2):445-448.
- [7] 玄雪梅,王艳,曹同,等. 上海地区藓类环境生理学特性的初步研究[J]. 应用生态学报,2004,15(11):2117-2121.
- [8] 刘应迪,朱杰英,陈军,等. 3 种藓类植物水分含量与光合作用、呼吸作用和水势的关系[J]. 武汉植物学研究,2001,19(2):135-142.
- [9] 朱仁果. 苔藓组织硫含量和硫同位素指示江西省大气硫沉降规律及大气污染源[D]. 南昌:南昌大学,2010.
- [10] 吴玉环,黄国宏,高谦,等. 苔藓植物对环境变化的响应及适应性研究进展[J]. 应用生态学报,2001,12(6):943-946.
- [11] RIOS-ESTEPA R, LANGE I, LEE J M, et al. Mathematical modeling-guided evaluation of biochemical, developmental, environmental, and genotype determinants of essential oil composition and yield in peppermint leaves[J]. Plant physiology, 2010,152(4):2105-2119.
- [12] GANJEWALA D, LUTHRAR. Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*[J]. Natural product communications, 2010,5(1):163-172.
- [13] DAVIET L, SCHALK M. Biotechnology in plant essential oil production: Progress and perspective in metabolic engineering of the terpene pathway[J]. Flavour and fragrance journal, 2010,25(3):123-127.
- [14] 陈晓明,韦璐阳,刘海龙,等. 配方施肥对芳樟枝叶产量和含油率的影响研究[J]. 西部林业科学,2012,41(5):68-72.
- [15] 万琴,萧伟,王振中,等. 气相色谱法测定金银花中芳樟醇的含量[J]. 南京中医药大学学报,2010,26(4):317-318.
- [16] 黄秋良,张国防,张春,等. 芳樟优良无性系叶精油主成分遗传稳定性分析[J]. 福建林业科技,2016,43(1):39-42.
- [17] 戴文君. 微生物菌剂对望天树苗木生长及肥力效应的影响[D]. 南宁:广西大学,2018:3-4.
- [18] 梁闯,何为中,谭宏伟,等. 不同施氮水平下固氮菌肥对甘蔗的应用效果试验[J]. 热带农业科学,2019,39(5):11-16.
- [19] 李馨园,王守义,王淑荣,等. 根瘤菌施胶类芽孢杆菌对大豆叶绿素荧光特性、产量及品质的影响[J]. 大豆科学,2014,33(4):541-544,549.
- [20] 王金玲,刘晓平,赵凤艳,等. 解磷巨大芽孢杆菌液体发酵培养条件的优化[J]. 中国农学通报,2013,29(15):68-72.
- [21] 江丽华,王梅,张文君,等. 固氮、解磷、解钾混合菌株协同固定化技术[J]. 中国农学通报,2010,26(12):18-21.
- [22] 孙中华,赵铂锤,陈仕红,等. 枯草芽孢杆菌 B67 对黄瓜幼苗生长发育的影响[J]. 中国瓜菜,2017(2):15-18.
- [23] 李瑞芳,田决源,张慧茹,等. 枯草芽孢杆菌 BS501a 代谢物生防效果与理化特性研究[J]. 河南农业大学学报,2011,45(6):678-683.

(上接第 125 页)