

狭叶薰衣草的离体培养及挥发性成分的分析

杨鑫^a, 詹爽^a, 彭尽晖^b, 彭豹^a, 郑亚杰^b, 彭晓英^{a*}

(湖南农业大学, a. 生物科学技术学院; b. 园艺学院, 长沙 410128)

摘要: 为建立新疆狭叶薰衣草(*Lavandula angustifolia*)的快速繁殖体系, 以种子、茎、叶为外植体, 对种子萌发、愈伤组织诱导、丛芽分化和生根的最适培养条件进行了研究; 用水蒸气蒸馏法提取狭叶薰衣草挥发油, 采用气相色谱-质谱法测定挥发油成分。结果表明, 种子浸泡的适宜时间为 6 h, 切开种皮培养, 出芽时间最少为 6 d; 诱导种子出芽的适宜培养基为 MS+6-BA 2 mg/L; 以茎为外植体诱导愈伤组织效果较好, 适宜培养基为 MS+6-BA 2 mg/L+2,4-D 1 mg/L; 诱导分化丛芽的适宜培养基为 MS+6-BA 1 mg/L+NAA 0.5 mg/L; 生根的适宜培养基为 1/2MS+NAA 1 mg/L+6-BA 0.5 mg/L; 盆栽薰衣草和无菌苗薰衣草的挥发油主要成分相差较大, 离体培养的薰衣草的主要挥发性成分有叶绿醇、丁香油烯、氧化石竹烯等。

关键词: 狭叶薰衣草; 离体培养; 挥发油; 气相色谱-质谱

doi: 10.11926/jtsb.4066

Culture *in vitro* of *Lavender angustifolia* and Volatile Components Analysis

YANG Xin^a, ZHAN Shuang^a, PENG Jin-hui^b, PENG Bao^a, ZHENG Ya-jie^b, PENG Xiao-ying^{a*}

(a. College of Biological Science and Technology; b. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: To establish the rapid propagation system of *Lavandula angustifolia*, the optimal culture condition for seed germination, callus induction, cluster bud differentiation and rooting were studied by using seeds, stems, and leaves as explants. The volatile oil of *L. angustifolia* were extracted by steam distillation, and components of volatile oil were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that the optimal time for soaking seeds was 6 h, and the shortest germination time was 6 days after the seed coat cut open. The optimum medium for seed germination was MS+6-BA 2 mg/L. The optimum medium for callus induction from stem was MS+6-BA 2 mg/L+2,4-D 1 mg/L. The optimum medium for cluster bud differentiation was MS+6-BA 1 mg/L+NAA 0.5 mg/L. The optimum medium for rooting was 1/2MS+NAA 1 mg/L+6-BA 0.5 mg/L. The essential volatile oils of *L. angustifolia* cultured in pot and *in vitro* were different, those *in vitro* culture contains phytol, caryophyllene, caryophyllene oxide and so on.

Key words: *Lavandula angustifolia*; *In vitro* culture; Volatile oil; GC-MS

狭叶薰衣草(*Lavandula angustifolia*)系唇形科(Labiatae)薰衣草属植物, 多年生草本或半灌木, 素有“芳香药草之后”的美誉^[1]。狭叶薰衣草挥发油含有具特殊香味的多种成分, 有镇静安神, 抗菌消炎^[2-3], 增强免疫活性等功效, 可用来开发为植物精

油^[4]、喷雾制剂、日用化妆品等, 具有很高的药用、保健价值和经济价值^[5]。由于狭叶薰衣草种子发芽率低, 且出苗很不一致, 要达到 60%~70% 的出苗率, 需 2~3 个月的时间, 生长周期较长, 且通过扦插繁殖生根率较低。目前, 国内对薰衣草挥发油主

收稿日期: 2019-03-18 接受日期: 2019-05-27

基金项目: 湖南省长沙市科技局项目(K1406021-21); 湖南农业大学第四批“1515”人才培养计划资助

This work was supported by the Project of Changsha Science and Technology Bureau in Hunan Province (Grant No. K1406021-21), and the Fourth Batch of "1515" Training Program of Hunan Agricultural University.

作者简介: 杨鑫(1995~), 女, 在读硕士生, 研究方向为生物工程。E-mail: yangxin0315@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: xypeng@hunau.net

要成分的研究主要是以新疆薰衣草为材料, 取其干花进行挥发油提取^[6-8]。但从薰衣草无菌苗鲜样提取的研究较少。因此, 通过组织培养建立薰衣草优良种质快速繁殖体系, 研究其离体培养产物挥发性成分对于推广优良薰衣草的种植及离体培养产物的开发与利用具有重要实践指导意义^[9]。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料取自湖南农业大学园林花卉基地盆栽的狭叶薰衣草(*Lavandula angustifolia*)。

1.2 方法

种子萌发 用无菌水将薰衣草种子分别浸种 0、3、6、9 h; 在超净工作台上先用 70%的酒精消毒 30 s, 用无菌水冲洗 1 次, 再用 0.1%的升汞溶液消毒薰衣草种子 8 min, 最后用无菌水冲洗 3 次, 在无菌纸上将种子切开, 分别接种于 6-BA (0, 0.5, 1, 2 mg/L)+2,4-D (0.5, 1, 2 mg/L)的种子发芽和 MS 愈伤组织诱导培养基上, 每瓶 10 粒, 每处理 5 瓶。观察并记录种子出芽率, 筛选适宜的种子萌发培养基。

愈伤组织的诱导 以消毒后的狭叶薰衣草茎、叶为外植体, 将茎切断, 叶切片, 分别接种于附加不同浓度配比 6-BA 和 2,4-D 的 MS 愈伤组织诱导培养基上。观察并记录愈伤组织诱导率, 筛选适宜的愈伤组织诱导培养基。

分化与增殖培养 将外植体脱分化诱导产生的愈伤组织切块, 转接到不同浓度配比的 6-BA (0.5, 1, 2 mg/L)+NAA (0.5, 1, 2 mg/L)培养基上, 诱导愈伤组织产生丛芽, 观察诱导结果, 统计增殖率。

生根培养 将 2~3 cm 的丛芽切割接入 1/2MS 培养基, 并添加不同配比的 NAA (0.5, 1, 2 mg/L)和 6-BA (0, 0.5 mg/L), 诱导丛芽产生不定根, 观察统

计生根率。
以上培养温度均为(25±2)℃, 以日光灯为光源, 连续光照 12 h/d。

1.3 挥发性成分提取分离和分析

挥发性成分提取 分别取 30 g 未开花的盆栽和培养的狭叶薰衣草茎叶切碎, 放入蒸馏瓶, 加水 500 mL, 浸泡 30 min 后, 用电炉加热, 水蒸气蒸馏 6 h, 收集蒸馏产物。

挥发性成分分析 通过 GC-MS 检测^[10]获得气质图谱, 对图谱数据进行分析。GC-MS 条件: 前进样口温度 250℃; 接口温度 150℃; 离子源: 230℃; 质量扫描范围 *m/z*: 45~500, 最小峰面积比例: 1.5%。升温程序: 80℃保持 5 min; 以 10 ℃/min 升至 270℃, 保持 10 min; 分析时间共 34 min。无菌苗挥发油样品稀释 100 倍后进样, 进样量: 1 μL。

2 结果和分析

2.1 种子发芽

从表 1 可见, 随着浸泡时间的延长, 种子的出芽时间相对缩短; 浸泡时间为 6 和 9 h, 出芽时间均为 6 d, 因此可以判断 6 h 为最适浸泡时间。是否切开对种子出芽率影响很大, 未切开的种子出芽率很低。

种子浸泡 6 h 切开后, 接种在含不同浓度配比的 2,4-D 和 6-BA 培养基上, 诱导种子萌发。从表 2 可见, 2,4-D 诱导种子的愈伤质量不高, 根毛多容易褐化。6-BA 诱导种子出芽效果较好, 随着浓度的升高, 出芽量增多, 分化增多, 因此, 诱导薰衣草种子出芽的培养基为 MS+6-BA 2 mg/L。

2.2 愈伤组织的诱导

分别将幼嫩狭叶薰衣草的叶片切块、茎切段, 接种在不同浓度配比的 6-BA 和 2,4-D 培养基上。从表 3 可见, 随着 2,4-D 浓度的增加, 茎的愈伤组

表 1 不同浸泡时间对诱导种子出芽的影响

Table 1 Effects of different immersion time on seed germination

编号 No.	浸泡时间 Soak time (h)	是否切开 Cut or not	接种数 Inoculation number	出芽时间 Germination days	发芽率 Germination rate /%	生长速度 Growth speed
1	0	是 Yes	50	15	75.00	缓慢 Slow
2	3	是 Yes	50	11	80.00	较慢 Slower
3	6	是 Yes	50	6	86.00	快 Fast
4	6	否 No	50	24	2.00	很慢 Very slow
5	9	是 Yes	50	6	84.00	快 Fast

织诱导率也逐步上升,达到 1 mg/L 后有所下降,随着 6-BA 浓度的增加,愈伤组织越来越致密。但过高的 6-BA 浓度反而抑制愈伤组织的诱导。以茎为外植体的愈伤组织诱导率最高,可达 95%;叶片的诱导率最低,为 35%。因此,茎的最适愈伤组织诱导培养基为 MS+6-BA 2 mg/L+2,4-D 1 mg/L,叶的最适愈伤组织诱导培养基为 MS+6-BA 2 mg/L+2,4-D 0.5 mg/L。

表 2 不同生长调节剂组合对比对愈伤组织诱导的影响

Table 2 Effects of growth regulation combination on callus induction

编号 No.	2,4-D (mg/L)	6-BA (mg/L)	接种数 Inoculation number	萌发数 Germination number	萌发率 Germination rate /%	愈伤组织特征 Callus status
1	2.0	0	50	30	60.00	较多,有根毛,无出芽 Callus more with root hair, no bud
2	2.0	0.5	50	32	64.00	较多,有根毛,无出芽 Callus more with root hair, no bud
3	1.0	0	50	33	66.00	较多,有根毛,无出芽 Callus more with root hair, no bud
4	1.0	0.5	50	35	70.00	有愈伤和出芽 Callus and bud
5	1.0	1.0	50	37	74.00	有愈伤和出芽 Callus and bud
6	0.5	1.0	50	38	76.00	有愈伤和出芽较多 Callus and more bud
7	0.5	2.0	50	40	80.00	有愈伤和出芽较多 Callus and more bud
8	0	1.0	50	42	84.00	有愈伤和出芽较多 Callus and more bud
9	0	2.0	50	42	84.00	有愈伤和出芽较多 Callus and more bud

表 3 不同生长调节剂组合对比对愈伤组织诱导的影响

Table 3 Effects of different plant growth substances combination on callus induction

编号 No.	2,4-D (mg/L)	6-BA (mg/L)	愈伤组织诱导率 /%		愈伤组织生长情况 Status of callus			
			Callus induction rate		茎 Stem		叶 Leaf	
			茎 Stem	叶 Leaf	颜色 Color	质地 Texture	颜色 Color	质地 Texture
1	0.5	0.5	70	40	淡黄色 Light yellow	疏松 Loose	白色 White	疏松 Loose
2	0.5	1.0	70	45	淡黄色 Light yellow	疏松 Loose	白色 White	疏松 Loose
3	0.5	1.5	70	50	淡黄色 Light yellow	较致密 Dense	白色 White	致密 Densest
4	0.5	2.0	75	65	淡黄色 Light yellow	致密 Densest	淡绿色 Light green	致密 Densest
5	1.0	0.5	75	50	淡绿色 Light green	较疏松 Litter loose	淡绿色 Light green	较疏松 Litter loose
6	1.0	1.0	80	50	淡绿色 Light green	较致密 Dense	淡绿色 Light green	较疏松 Litter loose
7	1.0	1.5	85	55	淡绿色 Light green	致密 Densest	淡绿色 Light green	较致密 Dense
8	1.0	2.0	95	55	淡绿色 Light green	致密 Densest	绿色 Green	致密 Densest
9	1.5	0.5	90	50	淡绿色 Light green	疏松 Loose	绿色 Green	疏松 Loose
10	1.5	1.0	85	55	绿色 Green	较致密 Dense	绿色 Green	疏松 Loose
11	1.5	1.5	85	50	绿色 Green	致密 Densest	淡绿色 Light green	较致密 Dense
12	1.5	2.0	85	50	绿色 Green	致密 Densest	淡绿色 Light green	致密 Densest
13	2.0	0.5	80	40	绿色 Green	较疏松 Litter loose	白色 White	疏松 Loose
14	2.0	1.0	75	40	绿色 Green	较致密 Dense	白色 White	较致密 Dense
15	2.0	1.5	70	35	淡绿色 Light green	较致密 Dense	白色 White	致密 Densest
16	2.0	2.0	60	35	绿色 Green	致密 Densest	白色 White	致密 Densest

将诱导产生的愈伤组织切块,转接到含不同浓度配比的 6-BA 和 NAA 培养基上,诱导愈伤组织产生丛芽,从表 4 可见,6-BA 浓度低时,丛芽稀疏,随着 6-BA 浓度增大,丛芽更加密集,可见 6-BA 浓度对诱导狭叶薰衣草分化丛芽的影响较大。在 6-BA 浓度到 2 mg/L, NAA 浓度超过 1.0 mg/L 时丛芽开始扭曲。将从芽接在 6-BA 浓度为 1 mg/L, NAA 浓度为 0.5 mg/L 的培养基上,30 d 后,丛芽增值率高达 521.05%。丛芽生长密集、壮实、自然。因此,

诱导狭叶薰衣草愈伤分化产生丛芽最适的培养基为 MS+6-BA 1 mg/L+NAA 0.5 mg/L。

2.3 不同培养条件对诱导丛芽生根的影响

将愈伤诱导产生的丛芽(2~3 cm 高)取出,转接入 1/2MS 培养基,并加以不同的 NAA、6-BA 配比,诱导丛芽产生不定根,观察诱导结果。从表 5 可见,接种 30 d 后,根系已基本生长出来。不同生长调节剂的浓度变化使得根的生长情况差异较大。NAA

浓度变化对诱导丛芽生根影响较大, 浓度超过 1 mg/L 后, 根系形态从细长均匀发展成粗短扭曲, 不适宜植株生长。诱导生根最适培养基为 1/2MS + NAA 1 mg/L+6-BA 0.5 mg/L+3%活性炭, 此时不定芽生根数量最多, 生根均匀且不容易褐化, 而且芽的生长也很好。

表 4 不同生长调节剂组合配比对诱导分化丛芽的影响

Table 4 Effects of different plant growth substances combination on callus differentiation

编号 No.	6-BA (mg/L)	NAA (mg/L)	接种数 Inoculation number	丛芽数 Cluster bud number	增殖率 /% Propagation rate	分化情况 Differentiation of cluster bud status
1	0.5	1.0	20	55	275.00	稀疏 Sparse
2	0.5	2.0	16	50	312.50	较密集 Dense
3	1.0	0.5	19	99	521.05	壮实 Strong
4	1.0	1.0	22	90	409.09	壮实 Strong
5	1.0	2.0	18	64	355.56	较密集 Dense
6	2.0	0.5	17	69	405.88	较密集 Dense
7	2.0	1.0	21	85	404.76	密集, 扭曲 Densest, twisty
8	2.0	2.0	15	58	386.67	密集, 扭曲 Densest, twisty

表 5 不同生长调节剂组合配比对诱导生根的影响

Table 5 Effects of different plant growth substances combination on root origination

编号 No.	NAA (mg/L)	6-BA (mg/L)	接种数 Inoculation number	生根数 Rooting number	生根率 Rooting /%	平均 Mean	根系情况 Root status
1	0.5	0	11	3	27.27	2	细短, 稀疏 Short and thin, sparse
2	0.5	0.5	9	4	44.44	3	较短, 稀疏 Shorter, sparse
3	1.0	0	12	7	58.33	4	细长, 稀疏 Slender, sparse
4	1.0	0.5	13	10	76.92	7	均匀, 正常 Uniform, normal
7	2.0	0	10	6	60.00	3	粗短, 扭曲 Tubbiness, twisty
8	2.0	0.5	11	7	63.64	3	粗短, 扭曲 Tubbiness, twisty

2.4 挥发性成分分析

将盆栽 1 a 生的试管苗和离体培养的狭叶薰衣草茎叶分别用水蒸汽蒸馏提取, 正己烷溶解后, 进行 GC-MS 分析, 采用 wiley7n.1 标准谱图库检索, 通过色谱峰面积归一法计算各组分含量。从表 6 可见, 盆栽狭叶薰衣草茎叶挥发油中的主要有效成分

有: 龙脑(4.75%)、表双环倍半水芹烯(3.50%)、叶绿醇(1.78%)和香豆素(0.56%)。龙脑, 俗称冰片, 具有较高的药用价值, 但有毒, 使用需谨慎^[11]。从表 7 可见, 狭叶薰衣草无菌苗茎叶挥发油中的主要成分有: 叶绿醇(4.87%)、氧化石竹烯(3.44%)、2,4-二叔丁基苯酚(3.18%)、丁香油烃(1.46%)和邻苯二

表 6 盆栽狭叶薰衣草挥发油主要化学成分

Table 6 Main chemical components of volatile oil in potted *Lavandula angustifolia*

编号 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	含量 Content /%
1	7.277	顺- α,α -5-三甲基-5-乙烯基四氢呋喃-2-甲醇 <i>cis</i> - α,α -5-Trimethyl-5-vinyltetrahydrofuran-2-methanol	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.55
2	9.300	龙脑(茨醇) Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	4.75
3	9.551	3-叔丁基苯酚 3-Tert-Butylphenol	C ₁₀ H ₁₄ O	0.49
4	9.640	2-(4-甲基苯基)丙-2-醇 2-(4-Methylphenyl)propan-2-ol	C ₁₀ H ₁₄ O	0.39
5	13.743	香豆内酯 Coumarin	C ₉ H ₆ O ₂	0.56
6	14.753	α -杜松烯 α -Cadinene	C ₁₅ H ₂₄	0.31
7	16.299	表双环倍半水芹烯 <i>Epi</i> -bicyclosquiphell-andrene	C ₁₅ H ₂₄	3.50
8	16.650	十九醇 Nonadecanol	C ₁₉ H ₄₀ O	0.12
9	19.171	棕榈酸甲酯 Methyl hexadecanoate	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	0.44
10	20.985	叶绿醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	1.78
11	21.494	2-乙基己基反-4-甲氧基肉桂酸 2-Propenoic acid,3-(4-methoxyphenyl)-, 2-ethylhexyl ester, (2E)-	C ₁₈ H ₂₆ O ₃	0.47

表 7 离体培养狭叶薰衣草挥发油主要化学成分

Table 7 Main chemical components of volatile oil from *Lavandula angustifolia* in vitro

编号 No.	保留时间 (min) Retention time	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	含量 Content /%
1	9.303	龙脑(茨醇) Borneol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.95
2	13.534	1-石竹烯(丁香油烃) α -Caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	1.46
3	14.603	2,4-二叔丁基苯酚 Phenol,2,4-di-tert-butyl-	C ₁₄ H ₂₂ O	3.18
4	14.763	未鉴定 No identify	C ₁₅ H ₂₄	3.21
5	15.668	氧化石竹烯 Caryophyllene Oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	3.44
6	15.926	柏木脑 (+)-Cedrol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.43
7	16.473	A-毕橙茄醇 (1R,4S,4aR,8aR)-1,6-dimethyl-4-propan-2-yl-3,4,4a,7,8,8a-hexahydro-2H-naphthalen-1-ol	C ₁₅ H ₂₆ O	0.43
8	18.649	邻苯二甲酸二异丁酯 Diisobutylphthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	1.30
9	19.589	邻苯二甲酸二丁酯 Di-n-butyl phthalate	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.92
10	20.084	1-十九烯 1-Nonadecene	C ₁₉ H ₃₈	0.34
11	20.999	叶绿醇 Phytol	C ₂₀ H ₄₀ O	4.87
12	21.494	对甲氧基肉桂酸辛酯 Octyl 4-methoxycinnamate	C ₁₈ H ₂₆ O ₃	0.93
13	22.834	对甲氧基肉桂酸辛酯 Octyl 4-methoxycinnamate	C ₁₈ H ₂₆ O ₃	0.53

甲酸二异丁酯(1.30%)。叶绿醇是合成维生素 K 和维生素 E 的原料^[12]；氧化石竹烯，具有镇痛和消炎的作用^[13]；2,4-二叔丁基苯酚，用于合成抗氧化剂 168、紫外线吸收剂、再生胶活化剂 460 等^[14]；丁香油烃，可用作化妆品香料；邻苯二甲酸二异丁酯，主要用作增塑剂^[15]。

3 结论和讨论

3.1 不同培养条件对种子萌发的影响

本研究结果表明，不同浸泡时间对狭叶薰衣草种子的无菌出芽时间影响显著，但浸泡时长也有一个较为明显的临界点，超过临界点，出芽时间不再随着浸泡时间的延长而缩短。这与李珊珊等的新疆薰衣草种子发芽试验结果一致^[16]。本研究结果还表明，浸泡种子时是否切开对出芽率影响显著，未切开种皮的种子出芽率比切开种皮的低，这可能和种子自身性质有关，狭叶薰衣草种皮角质化且外包蜡质，种子较小^[17]。同时，2,4-D 对诱导种子产生愈伤组织的质量不高，根毛多容易褐化，而 6-BA 的诱导种子出芽效果较好。

3.2 不同培养条件对愈伤组织诱导、分化出苗的影响

结果表明，狭叶薰衣草的茎比叶容易诱导产生愈伤组织，而叶片最容易诱导的部位是幼嫩叶片的叶脉；从不同植物生长调节剂对愈伤组织的诱导效果来看，植物生长调节剂的量并不是越多越好，对不同的材料应选择合适的浓度。

结果表明，当 6-BA 浓度升高时，丛芽分化数

量显著增多，但当 6-BA 浓度达到 2 mg/L 时，玻璃苗率增加，而且植株形态不正常，发生扭曲。这与黄珊珊等^[18]的研究结果一致，说明在丛芽的诱导过程中，并不是生长调节剂的浓度越高越好^[19]，因为玻璃化苗会不利于植株的生长发育。另外，添加 0.3% 的活性炭会使培养基更清澈，植株长势更好。左丽娟等报道添加微量 IBA 对薰衣草的分化增殖起到促进作用^[20]，说明多种植物调节剂协同作用会对薰衣草的分化增殖有促进作用。因此，在 MS+6-BA 1 mg/L+NAA 0.5 mg/L+3% 活性炭的培养基配方上进行适当调整，会有利于狭叶薰衣草的离体培养。

在诱导不定根的过程中，植株容易褐化，影响根的生长，而在培养基中添加少量的 6-BA 和 0.3% 活性炭，能有效抑制褐化促进生根。

3.3 狭叶薰衣草挥发性成分的分析

盆栽狭叶薰衣草茎叶的挥发油得率为 1.02% (V/m)，而离体培养的狭叶薰衣草无菌苗挥发油极微量，这可能是离体培养的狭叶薰衣草取材时还处于幼嫩时期，油细胞尚处发育阶段，数量较少，因此分泌和积累挥发油类物质不足。另外，与新疆薰衣草的挥发油成分^[21-23]进行比较，本试验的狭叶薰衣草中未检测出芳樟醇和乙酸芳樟酯等成分，这可能是采用的材料是未开花的茎和叶鲜样，没有花；这与王强等^[24]的研究结果一致。本试验地湖南常年降水充足，年日照时长远低于新疆地区，离体培养的光照、温度等条件也与新疆地区不同，这也会影响薰衣草挥发油成分的稳定性^[25]。另外，提取和检测方法不同也会使挥发油成分产生差异^[5,8,26-27]。狭

叶薰衣草无菌苗具有浓烈香味, 虽然两种培养方式的薰衣草挥发油成分差异较大, 但均含有龙脑、叶绿醇和肉桂酸类化合物, 这些是薰衣草挥发油的重要组成成分。同时, 离体培养的薰衣草挥发油中还检测出具有抗氧化作用的2,4-二叔丁基, 可用作防晒剂成分^[28]; 氧化石竹烯具有消炎镇痛作用, 这说明可通过不断改进培养条件, 有针对性地进行培养和繁殖来获取不同挥发性成分。

参考文献

- [1] Chinese Pharmacopoeia Commission. Drug Standard of the Ministry of Health of People's Republic of China: Uighur Medicine Fascicule [M]. Urumqi: Xinjiang Scientific and Technical Publisher, 1998: 112.
中华人民共和国卫生部药典委员会编. 中华人民共和国卫生部药品标准 维吾尔药分册 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1998: 112.
- [2] DANH L T, HAN L N, TRIET N D A, et al. Comparison of chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of lavender (*Lavandula angustifolia* L.) essential oils extracted by supercritical CO₂, hexane and hydrodistillation [J]. Food Bioprocess Technol, 2013, 6(12): 3481–3489. doi: 10.1007/s11947-012-1026-z.
- [3] CAVANAGH H M A, WILKINSON J M. Biological activities of lavender essential oil [J]. Phytother Res, 2002, 16(4): 301–308. doi: 10.1002/ptr.1103.
- [4] ZHU L Y, SONG L Z, GAO Y S, et al. Effects of lanthanum on the growth and essential oil components of lavender under osmotic stress [J]. J Rare Earths, 2018, 36(8): 891–897. doi: 10.1016/j.jre.2018.04.001.
- [5] ZHU L Y, GAO Y S, SONG L Z, et al. Lavender volatile oil extraction optimization by RSM and its antibacterial activity [J]. Chin Food Addit, 2018(2): 130–137. doi: 10.3969/j.issn.1006-2513.2018.02.014.
朱丽云, 高永生, 宋林珍, 等. 薰衣草挥发油的响应面法优化提取及抗菌活性分析 [J]. 中国食品添加剂, 2018(2): 130–137. doi: 10.3969/j.issn.1006-2513.2018.02.014.
- [6] ZHANG Y, CHEN J L, LIU X G, et al. Study on extraction of essential oil from lavender with ultrasonic wave [J]. Food Res Dev, 2007, 28(12): 81–83. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2007.12.024.
张云, 陈计峦, 刘绪广, 等. 超声波提取薰衣草精油的研究 [J]. 食品研究与开发, 2007, 28(12): 81–83. doi: 10.3969/j.issn.1005-6521.2007.12.024.
- [7] ZHAO X, GUO H B, YU B, et al. Optimization of extraction technology and analysis of constituents of volatile oil from lavender [J]. J Kashi Univ, 2016, 37(3): 28–30. doi: 10.13933/j.cnki.2096-2134.2016.03.009.
赵潇, 郭海斌, 于博, 等. 薰衣草挥发油提取工艺优化与成分分析 [J]. 喀什大学学报, 2016, 37(3): 28–30. doi: 10.13933/j.cnki.2096-2134.2016.03.009.
- [8] SHAO T T, WANG H L, YAN Y X, et al. Study of extraction and chemical components of volatile oil from *Lavandula dentata* [J]. Yunnan Chem Technol, 2015, 42(3): 14–16. doi: 10.3969/j.issn.1004-275X.2015.03.004.
邵婷婷, 王会利, 闫玉鑫, 等. 齿叶薰衣草挥发油提取及化学成分研究 [J]. 云南化工, 2015, 42(3): 14–16. doi: 10.3969/j.issn.1004-275X.2015.03.004.
- [9] GONÇALVES S, ROMANO A. *In vitro* culture of lavenders (*Lavandula* spp.) and the production of secondary metabolites [J]. Biotechnol Adv, 2013, 31(2): 166–174. doi: 10.1016/j.biotechadv.2012.09.006.
- [10] SHELLIE R, MONDELLO L, MARRIOTT P, et al. Characterisation of lavender essential oils by using gas chromatography-mass spectrometry with correlation of linear retention indices and comparison with comprehensive two-dimensional gas chromatography [J]. J Chromatogr A, 2002, 970(1–2): 225–234. doi: 10.1016/S0021-9673(02)00653-2.
- [11] GUO X Y, WU G J, QIN Y, et al. Pep-1 & borneol-bifunctionalized carmustine-loaded micelles enhance anti-glioma efficacy through tumor-targeting and BBB-penetrating [J]. J Pharm Sci, 2019, 108(5): 1726–1735. doi: 10.1016/j.xphs.2018.11.046.
- [12] XU G F, LÜ M H, QIAN J. Analysis of biosynthesis method of natural vitamin E [J]. Chem Enterprise Manag, 2016(17): 159. doi: 10.3969/j.issn.1008-4800.2016.17.144.
徐冠锋, 吕孟辉, 钱晶. 天然维生素 E 的生物合成方法分析 [J]. 化工管理, 2016(17): 159. doi: 10.3969/j.issn.1008-4800.2016.17.144.
- [13] TANG H Y. Study on diversity of caryophyllene transformation products and two *Penicillium* sp. metabolites [D]. Yangling: Northwest Agricultural and Forestry University, 2016.
唐昊雨. 石竹烯转化产物与两种青霉菌代谢产物的多样性研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [14] WANG Z W, ZHANG J, ZHANG K L, et al. Synthesis of 2,4-di-*tert*-butylphenol diphenylphosphinate and its antioxidant performance in polyolefin [J]. J Shandong Univ Sci Technol (Nat Sci), 2018, 37(2): 59–65. doi: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.02.009.
王忠卫, 张杰, 张楷林, 等. 二苯基亚膦酸-2,4-二叔丁基苯酚酯的合成及其在聚烯烃中的抗氧化性能研究 [J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2018, 37(2): 59–65. doi: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.02.009.
- [15] DU W C, SONG Y L, YANG Y, et al. Methodological research about rapid detection of dibutyl phthalate (DBP) by fluorescent quantum dots [J]. J Yunnan Univ (Nat Sci), 2017, 39(S1): 102–105.
杜文超, 宋瑜丽, 杨莹, 等. 邻苯二甲酸二丁酯(塑化剂)荧光量子点快速检测方法研究 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 2017, 39(S1):

- 102–105.
- [16] LI S S, ZHENG F Y, YANG M, et al. Screening of the best *Lavandula angustifolia* ‘French Blue’ seed soaking way [J]. Chin Agric Sci Bull, 2017, 33(14): 57–61.
- 李珊珊, 郑菲艳, 杨敏, 等. 新疆薰衣草种子最佳浸种方式的筛选 [J]. 中国农学通报, 2017, 33(14): 57–61.
- [17] LING L, CHAI C S, QI J L, et al. Seed traits and germination characteristics of different varieties of lavender under GA₃ treatment [J]. J Gansu For Sci Technol, 2015, 40(4): 19–23. doi: 10.3969/j.issn.1006-0960.2015.04.006.
- 凌雷, 柴春山, 戚建莉, 等. 薰衣草不同品种种子特性及赤霉素影响下的出苗特征 [J]. 甘肃林业科技, 2015, 40(4): 19–23. doi: 10.3969/j.issn.1006-0960.2015.04.006.
- [18] HUANG S S, LIAO J P, ZENG S J, et al. Tissue culture and rapid propagation of *Lavandula pinnata* L. [J]. Plant Physiol Commun, 2007, 43(6): 1141. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2007.06.056.
- 黄珊珊, 廖景平, 曾宋君, 等. 羽叶薰衣草的组织培养与快速繁殖 [J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(6): 1141. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2007.06.056.
- [19] TSURO M, KODA M, INOUE M. Comparative effect of different types of cytokinin for shoot formation and plant regeneration in leaf-derived callus of lavender (*Lavandula vera* DC) [J]. Sci Hort, 1999, 81(3): 331–336. doi: 10.1016/S0304-4238(99)00003-5.
- [20] ZUO L J, LI Z Q. Establishment of regeneration system from stem explants of *Lavandula angustifolia* ‘Elegancy’ [J]. Hebei J For Orchard Res, 2014, 29(3): 295–298. doi: 10.13320/j.cnki.hjfor.2014.0066.
- 左利娟, 李志强. ‘优雅’薰衣草茎段再生体系的建立 [J]. 河北林果研究, 2014, 29(3): 295–298. doi: 10.13320/j.cnki.hjfor.2014.0066.
- [21] TANG J, LIAO X, TONG H, et al. GC-MS combined with PLS-DA to discriminate the varieties of Xinjiang lavender essential oil [J]. Comp Appl Chem, 2014, 31(6): 701–704. doi: 10.11719/com.app.chem.20140613.
- 唐军, 廖享, 童红, 等. 基于气质与 PLS-DA 对新疆薰衣草精油判别分析 [J]. 计算机与应用化学, 2014, 31(6): 701–704. doi: 10.11719/com.app.chem20140613.
- [22] SHI D Q, ZHANG S Y. A brief introduction of several lavender varieties cultivated Xinjiang region [C]// Proceedings of the 2006 Symposium on Chinese Fragrance and Flavor. Shanghai: China Association of Fragrance Flavour and Cosmetic Industries, 2006.
- 史大庆, 张绍扬. 新疆地区几个薰衣草品种介绍 [C]// 2006 年中国香料香精学术研讨会论文集. 上海: 中国香料香精化妆品工业协会, 2006.
- [23] LIAO X, WANG Q, FU J H, et al. Main components of Xinjiang lavender essential oil determined by partial least squares and near infrared spectroscopy [J]. Spectrosc Spect Anal, 2015, 35(9): 2526–2529. doi: 10.3964/j.issn.1000-0593(2015)09-2526-04.
- 廖享, 王青, 符继红, 等. 近红外光谱法快速测定新疆薰衣草精油主要组分 [J]. 光谱学与光谱分析, 2015, 35(9): 2526–2529. doi: 10.3964/j.issn.1000-0593(2015)09-2526-04.
- [24] WANG Q, SHI Y G, XU F, et al. Comparative analysis on compositions of essential oil extracted from different parts of *Lavandula angustifolia* grown in Xinjiang [J]. Chin J Pharm Anal, 2013, 33(3): 404–408, 413. doi: 10.16155/j.0254-1793.2013.03.010.
- 王强, 施玉格, 徐芳, 等. 比较研究新疆狭叶薰衣草不同部位挥发油成分 [J]. 药物分析杂志, 2013, 33(3): 404–408, 413. doi: 10.16155/j.0254-1793.2013.03.010.
- [25] YUAN S N, DU W J, LIU C, et al. Determination of linalool and linalyl acetate in *Lavandula angustifolia* miller by GC-MS [J]. J Xinjiang Med Univ, 2012, 35(11): 1478–1482. doi: 10.3969/j.issn.1009-5551.2012.11.009.
- 袁苏宁, 杜卫军, 刘丛, 等. GC-MS 法测定不同来源薰衣草挥发油中芳樟醇和乙酸芳樟酯的含量 [J]. 新疆医科大学学报, 2012, 35(11): 1478–1482. doi: 10.3969/j.issn.1009-5551.2012.11.009.
- [26] CHEMAT F, LUCCHESI M E, SMADJA J, et al. Microwave accelerated steam distillation of essential oil from lavender: A rapid, clean and environmentally friendly approach [J]. Anal Chim Acta, 2006, 555(1): 157–160. doi: 10.1016/j.aca.2005.08.071.
- [27] HU J L, LUO J H, CHEN J W, et al. Analysis of alpine lavender oil by gas chromatography-mass spectrometry [J]. Fine Spec Chem, 2018, 26(6): 39–44. doi: 10.19482/j.cn11-3237.2018.06.10.
- 胡锦涛, 罗家和, 陈纪文, 等. 高山薰衣草精油气相色谱质谱分析 [J]. 精细与专用化学品, 2018, 26(6): 39–44. doi: 10.19482/j.cn11-3237.2018.06.10.
- [28] WANG J, LIU R W, CHEN X L. Synthesis and characterization of antioxidant tetrakis-(2,4-di-*tert*-butylphenyl)4,4'-biphenylene diphosphonite [J]. Fine Chem, 2008, 25(3): 284–286, 307. doi: 10.3321/j.issn:1003-5214.2008.03.019.
- 王鉴, 柳荣伟, 陈侠玲. 抗氧化剂四(2,4-二叔丁基苯基)4,4'-联苯基二亚磷酸酯的合成与表征 [J]. 精细化工, 2008, 25(3): 284–286, 307. doi: 10.3321/j.issn:1003-5214.2008.03.019.