

温度对薰衣草花精气成分的影响

徐洁华¹, 文首文^{2,*}, 吴大鹏³

(1. 中南林业科技大学森林旅游研究中心, 湖南 长沙 411004; 2. 深圳职业技术学院应用化学与生物技术学院, 广东 深圳 518055;
3. 北京大学深圳研究生院城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘要: 用恒温水浴锅控制温度, 通过大气采样器和活性炭吸附管捕集薰衣草花精气, 并用气质联用法 (GC-MS) 对其进行分析鉴定, 研究温度对薰衣草花精气的影响。结果显示: 不同温度条件下薰衣草花精气的成分组成不尽相同。只有 11 种成分在所有温度梯度中均可检测到, 而有 6 种成分在一些温度中未能同时检测到; 不同温度条件下薰衣草花精气各组分的含量也不尽相同。其中, 异丙基对甲苯在所有温度梯度中的相对含量均为最高, 其次为柠檬烯。而 5、25、35、40℃ 时, 1-甲基乙烯基对甲苯的相对含量位居第 3。15℃ 时, 苧烯位居第 3。45、50℃ 时, β -月桂烯位居第 3; 在 11 种共有成分中, 除薰衣草醇和乙酸薰衣草酯 2 种成分挥发量的最高值出现在 40、45℃ 时急剧下降, 而 50℃ 时又急剧上升外, β -月桂烯、异丙基对甲苯、柠檬烯等 9 种成分挥发量的最高值出现在 45℃, 随后急剧下降, 这表明薰衣草花精气成分温度间差异显著。为定量分析他们之间的关系, 以温度为自变量, 标准化处理后的 11 种挥发物峰面积分别为因变量, 采用回归分析法建立了 11 个非线性回归方程。

关键词: 薰衣草; 精气; 温度; 气相色谱-质谱法

Influence of temperature on pythocidere of *Lavandula angustifolia* Mill. flower

XU Jiehua¹, WEN Shouwen^{2,*}, WU Dapeng³

1 Research Center for Forestry Tourism, Central South University of Forestry & Technology, Changsha 411004, China

2 School of Applied Chemistry & Biological Technology, Shenzhen Polytechnic, Shenzhen 518055, China

3 The Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

Abstract: We studied the influence of temperature on the pythocidere of *Lavandula angustifolia* Mill. We controled the temperature by using thermostat water bath, collected the pythocidere with air sampler and activated carbon adsorbent, and analyzed components of the pythocidere by using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Our experiments showed that both composition and content of components in the pythocidere varied with the temperature. Eleven compounds were identified to be the common components of all samples collected at the designed temperatures, while six compounds were only found at in samples obtained at certain temperatures. 1-Methyl-4-(1-methylethyl) was the most abundant component in all samples collected at different temperatures, followed by limonene. 1-methyl-4-(1-methylethenyl) ranked third in samples collected at 5℃, 25℃, 35℃ and 40℃, while β -myrcene was the thirdly dominant constituents in pythocidere collected at 45℃ and 50℃. Among the 11 common components, volatilization of lavandulol and lavandulyl acetate peaked at 40℃, then decreased dramatically at 45℃, and sharply increased at 50℃. While the volatilization of other 9 components such as β -Myrcene, benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl) and limonene peaked at 45℃ followed by rapid decline, suggesting that constituents in pythocidere vary significantly with temperatures. To further qualitatively analyze the relationship between composition of pythocidere and temperature, eleven nonlinear regression equations were established by using temperature as the independent variable and the normalized peak area of eleven volatiles as the dependent variables.

基金项目: 国家林业局资助项目 (20050313-T-432)

收稿日期: 2009-10-12; 修订日期: 2009-11-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 82104829@163.com

Key Words: *Lavandula angustifolia* Mill.; pythocidere; temperature; GC-MS

薰衣草(*Lavandula angustifolia* Mill.)系唇形科(Labiatae)薰衣草属(*Lavandula* Linn.)植物,多年生草本或半灌木,有强烈芳香气味^[1]。原产地中海沿岸及大洋洲列岛。中国、俄罗斯、澳大利亚、美国和南美洲均有分布,具有悠久的种植和应用历史^[2]。薰衣草的药用功效主要有镇静、止痛、抗抽搐、抗沮丧、消炎、抗风湿、抗菌、抗痉挛、抗病毒、杀菌、祛肠胃胀气、利胆、促进结疤、兴奋、增进细胞活动等^[3-5]。早在公元前,古代希腊和罗马等国家就将薰衣草用于医院和病室消毒。17 世纪古波斯医药文献称其为“大脑的扫帚”,意指它可恢复脑损伤^[6]。

目前,国内外大多关注薰衣草精油的成分及其药用功效,尚未见薰衣草精气成分的相关报道。精油和精气是两种不同物质。精油又称挥发油,是用蒸馏、萃取等多种方法提取的一种油状液体。而精气是指植物在自然状态下释放出的气态有机物。1930 年,原苏联列宁格勒大学的 B. P. Toknnh 博士在研究植物的新陈代谢过程中发现,植物的花、叶、木材、根、芽等组织的油腺组织不断分泌出一种浓香的挥发性有机物,他将这种物质称为芬多精(Pythocidere)^[7],国内学者将其译为植物精气^[8],从而把它与植物精油区别开来。研究表明,对植物精气起影响作用的因素很多,主要包括非生物因子(如温度、光照、水分胁迫、空气相对湿度、大气 CO₂ 浓度、土壤肥力及辐射等)和生物因子(如树龄、叶龄、发育部位、树种差异、人为干扰等)两大类^[9,10]。其中,温度是最主要、最直接的因素之一^[11]。本研究选用薰衣草的花为试验材料,研究温度对薰衣草精气成分的影响,为薰衣草的储存、运输、临床应用等提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

薰衣草花,由新疆伊犁农四师 65 团农场提供,经深圳职业技术学院石强教授鉴定为狭叶薰衣草(*Lavandula angustifolia* Mill.)。样品置于 4℃ 的冰箱中保存备用。

1.2 实验方法

1.2.1 薰衣草花精气的捕集

用 Sartorius BS224S 电子分析天平称取 100g 薰衣草花,置入容量为 1L 的真空抽滤瓶中。将真空抽滤瓶放入 HH-S. Z. W 型恒温水浴锅(郑州长城科工贸有限公司),并用铁架台固定。设置 5、15、25、35、40、45、50℃ 等 7 个温度梯度。样品在每个水浴温度平衡 30min 后,用 TH-110F 大气采样器(武汉市天虹仪表有限责任公司)和活性炭吸附管分别抽气采样 45min,平均抽气流量控制在 0.2L/min。室内空气经过硅胶、活性炭填充柱过滤净化后,通入抽滤瓶。试验前采集一个瓶内空白样作为对照。每采集一个温度梯度更换一次薰衣草花和真空抽滤瓶,避免上次试验的挥发物残留到瓶中。最后通过热解吸/GC-MS 法测定挥发物成分。试验装置图如图 1 所示。每个温度梯度重复 3 次试验。

1.2.2 薰衣草花精气的分析

热解吸仪为北京踏实科贸有限责任公司生产的 BTJ-4 型热解吸仪,经改进后整个管路保持同一温度为 250℃。解吸后的样品经气质联用仪测定其有机成分。气质联用仪为美国 Thermo 公司的 Finnigan TRACE DSQ/GC-ULTRA。

热解吸条件:在 250℃ 下解吸吸附管 10min,然后在 250℃ 下进样 1min,最后反吹扫 10min 关闭。

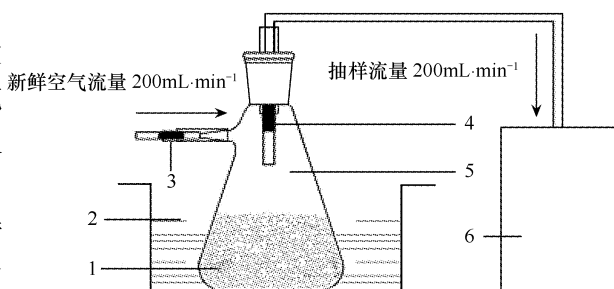


图 1 薰衣草花挥发物的捕集试验装置

Fig. 1 The collecting device of pythocidere of *Lavandula angustifolia* Mill. flowers

1 薰衣草花;2 恒温水浴锅;3 炭阱;4 活性炭吸附剂;5 真空抽滤瓶;6 大气采样器

气相色谱条件:DB-1 非极性柱(60 m×0.25 mm×0.25 μm),初始柱温 35℃,在 35℃ 保持 4min,再以 5℃/min 升温至 140℃,再以 15℃/min 升温至 250℃,保持 2min,进样口温度 250℃,载气为高纯氮气,柱前压 101.3kPa,载气流量 1mL/min,分流比 20:1,溶剂延迟时间 1.6min。

质谱条件:EI 离子源,电子能量 70eV,离子源温度 250℃,接口温度 250℃,扫描质量范围 40—450。

1.3 数据处理

化合物的定性定量主要是通过 NIST 谱库检索及人工解谱,然后对总离子流色谱图中各峰进行鉴别,并采用峰面积归一化法确定各化合物的相对含量。上述所有数据均采用 SPSS 15.0 软件进行处理与统计分析。

2 结果

2.1 不同温度条件下薰衣草花精气的检出成分比较

所有温度梯度中总共鉴定出 17 种挥发性有机化合物(异丙基对甲苯、柠檬烯、1-甲基乙烯基对甲苯、芳樟醇、蒾烯、β-月桂烯、薰衣草醇、乙酸己酯、乙酸薰衣草酯、氧化芳樟醇、1-辛醇乙酸酯、樟脑、(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、顺-2,6-二甲 2,6-辛二烯、(Z)-3,7-二甲基-3,6-辛二烯-1-醇、(E,Z)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、乙酸芳樟酯)。与鉴定出的 21 种薰衣草精油成分^[12]和鉴定出的 27 种薰衣草精油成分^[13]相比,薰衣草精气的检出成分不尽相同,且化合物种类相对较少,证明精气与精油是两种不同的物质。

3 次重复实验发现,同一温度条件下薰衣草花检出的挥发物种数均相同,但不同温度梯度下精气的成分组成不尽相同(图 2 所示)。除蒾烯、β-月桂烯、异丙基对甲苯、柠檬烯、(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、1-甲基乙烯基对甲苯、芳樟醇、1-辛醇乙酸酯、氧化芳樟醇、薰衣草醇和乙酸薰衣草酯 11 种成分在所有温度梯度中均可检测到外,其余 6 种成分在各温度梯度中均未能同时检测到。

2.2 温度对薰衣草花精气挥发量的影响

不同温度条件下 3 次重复试验鉴定出的挥发物含量比较稳定,各化合物相对含量的 RSD 均小于 3%,说明实验的重现性较好,相同条件下重复试验所得化合物的相对含量没有显著差异。

不同温度条件下薰衣草花精气各组分的含量不尽

相同。从各温度梯度的相对含量来看,薰衣草花精气中平均含量较高的化学成分是异丙基对甲苯和柠檬烯。其中,异丙基对甲苯在所有温度梯度中的相对含量均为最高,变幅(21.54±2.92)%—(31.35±2.76)%,7 次温度处理的平均含量达到 26.31%;其次为柠檬烯,变幅(15.77±2.99)%—(20.76±2.86)%,7 次温度处理的平均含量为 17.87%。而 5、25、35、40℃ 时,1-甲基乙烯基对甲苯的相对含量位居第 3,变幅(11.30±2.87)%—(17.58±2.80)%,4 次温度处理的平均含量为 14.74%。15℃ 时,蒾烯位居第 3,相对含量为(15.69±2.13)%。45、50℃ 时,β-月桂烯位居第 3,相对含量分别为(16.31±2.77)%、(12.61±2.39)%。

在一定的操作条件和一定范围内,分析组分的重量或其在载气中的浓度与色谱峰面积成正比^[14],因此可以用峰面积值比较温度对薰衣草花精气挥发量的影响。将本次鉴定出的 17 种化学成分经标准化处理后的峰面积值绘制成数据折线图(图 3)。从图中可看出,蒾烯、β-月桂烯、异丙基对甲苯、柠檬烯、(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、1-甲基乙烯基对甲苯、芳樟醇、1-辛醇乙酸酯和氧化芳樟醇等 9 种成分的挥发量在 5—15℃ 时缓慢波动,然后随着温度的上升,逐渐增加。45℃ 达到最高,随后急剧下降,温度间差异均达到了显著水平。而薰衣草醇和乙酸薰衣草酯 2 种成分挥发量的最高值则出现在 40、45℃ 时急剧下降,而 50℃ 时又急剧上升。

试验表明,5—25℃ 内能检测到樟脑和乙酸己酯,在这个范围内,它们的挥发量随着温度的增加而上升,但

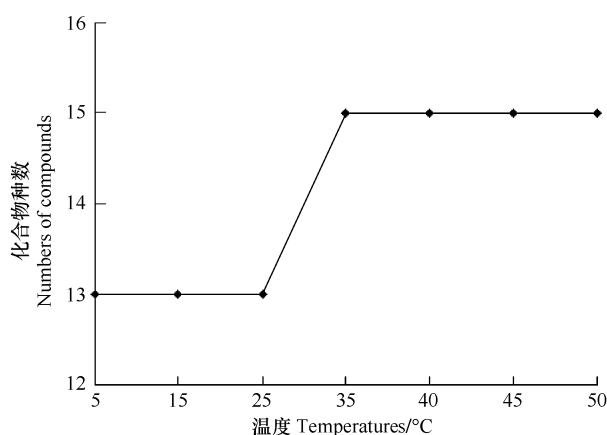


图 2 不同温度条件下薰衣草花挥发物检出成分数量

Fig. 2 Number of volatile compounds from pythocidere of *Lavandula angustifolia* Mill. flowers at different temperatures

在 35℃ 以上的温度条件下未发现这 2 种化合物; 顺-2,6-二甲 2,6-辛二烯、(Z)-3,7-二甲基-3,6-辛二烯-1-醇、(E,Z)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、乙酸芳樟酯等 4 种化合物则出现在 35℃ 以上的温度条件下, 并且除乙酸芳樟酯挥发量的最高点出现在 40℃ 外, 其余 3 种化合物挥发量的最高点出现在 45℃, 随后迅速降低, 但在 5—25℃ 范围内未发现这 4 种化合物。

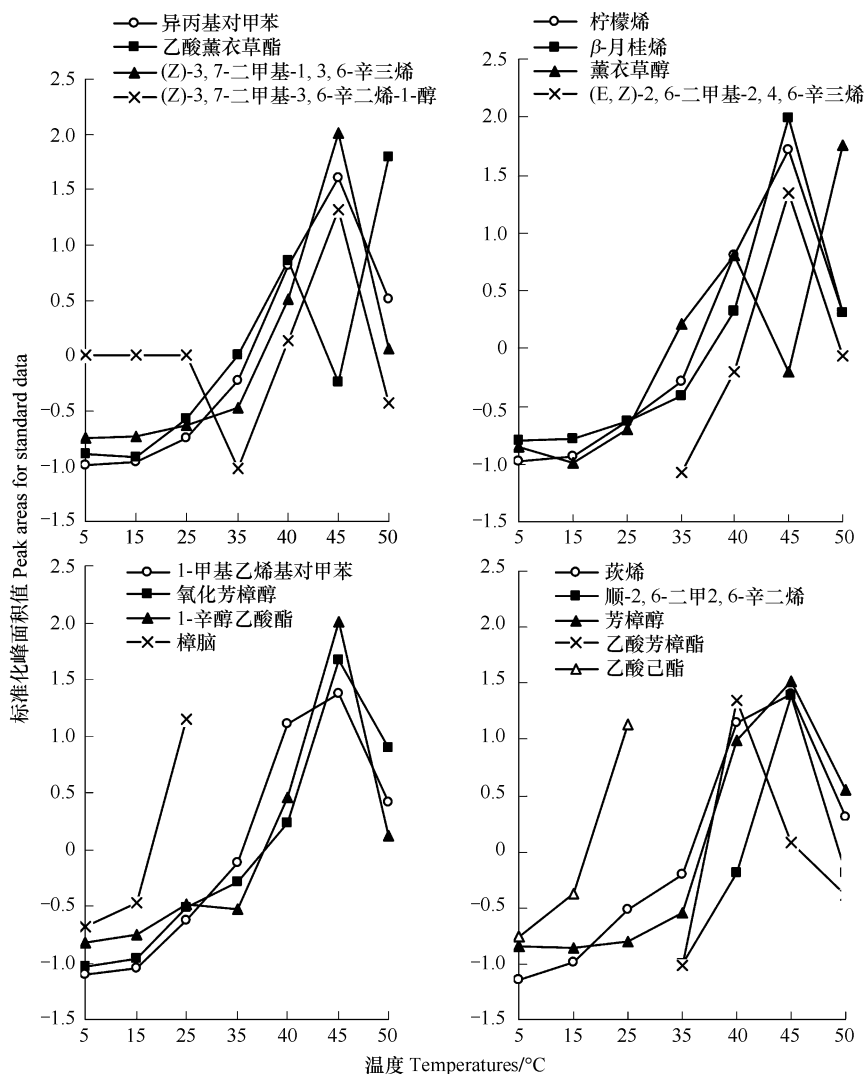


图3 温度对薰衣草精油各成分挥发量的影响

Fig. 3 Effect of temperature on the amount of volatiles from pythocidere of *Lavandula angustifolia* Mill. flowers

2.3 11 种共有挥发性成分回归方程的建立

以各温度梯度为自变量, 11 种共有挥发性有机化合物 3 次重复实验的平均峰面积 (标准化处理后) 分别为依变量, 采用回归分析法建立最优非线性回归方程。由图 3 观察到, 当温度在 5—35℃ 变化时, 各种化合物对应的峰面积值变化平缓, 而在 35—50℃ 变化时各种化合物对应的峰面积值变化急剧, 因此考虑用分段二次函数来拟合各种挥发性有机化合物与温度之间的关系。通过相同温度区间的分段, 将各种成分含量对温度的依赖使用相同的模型来回归估计, 更有利于分析各成分对温度依赖关系的区别和联系。

令温度为 t , 11 种共有成分分别为 Y_1 (茨烯)、 Y_2 (β -月桂烯)、 Y_3 (异丙基对甲苯)、 Y_4 (柠檬烯)、 Y_5 ((Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯)、 Y_6 (1-甲基乙烯基对甲苯)、 Y_7 (芳樟醇)、 Y_8 (1-辛醇乙酸酯)、 Y_9 (氧化芳樟醇)、 Y_{10} (薰衣草醇)、 Y_{11} (乙酸薰衣草酯)。其最优非线性回归方程分别为:

$$Y_1 = -1.256 - 0.016t + 0.0001t^2 \quad 5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C} \quad R^2 = 0.980 \quad F_1 = 23.899$$

$Y_1 = -44.572 + 2.129t - 0.025t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.998$	$F_1 = 253.286$
$Y_2 = -0.784 - 0.007t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.997$	$F_2 = 195.020$
$Y_2 = -45.542 + 2.129t - 0.024t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.701$	$F_2 = 1.171$
$Y_3 = -0.893 - 0.024t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.998$	$F_3 = 241.983$
$Y_3 = -39.74 + 1.873t - 0.021t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.918$	$F_3 = 5.596$
$Y_4 = -0.976 - 0.007t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.991$	$F_4 = 54.816$
$Y_4 = -45.913 + 2.173t - 0.025t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.895$	$F_4 = 4.249$
$Y_5 = -0.738 - 0.002t + 0.0001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.999$	$F_5 = 358.055$
$Y_5 = -54.009 + 2.547t - 0.029t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.770$	$F_5 = 1.669$
$Y_6 = -1.1 - 0.01t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.993$	$F_6 = 74.371$
$Y_6 = -39.691 + 1.894t - 0.022t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.998$	$F_6 = 203.909$
$Y_7 = -0.768 - 0.018t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.987$	$F_7 = 38.586$
$Y_7 = -47.092 + 2.206t - 0.025t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.995$	$F_7 = 91.209$
$Y_8 = -0.949 - 0.022t + 0.0001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.852$	$F_8 = 2.874$
$Y_8 = -53.353 + 2.508t - 0.029t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.768$	$F_8 = 1.656$
$Y_9 = -1.147 - 0.013t + 0.0001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.954$	$F_9 = 10.306$
$Y_9 = 39.238 + 16.326t - 7.488t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.895$	$F_9 = 4.246$
$Y_{10} = -0.784 - 0.007t + 0.001t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.998$	$F_{10} = 219.333$
$Y_{10} = -45.542 + 2.129t - 0.024t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.522$	$F_{10} = 0.546$
$Y_{11} = -0.793 - 0.03t + 0.002t^2$	$5^\circ\text{C} \leq t \leq 35^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.998$	$F_{11} = 239.969$
$Y_{11} = 18.11 - 0.928t - 0.012t^2$	$35^\circ\text{C} \leq t \leq 50^\circ\text{C}$	$R^2 = 0.498$	$F_{11} = 0.496$

除薰衣草醇和乙酸薰衣草酯在 35—50℃ 区间的回归方程的拟合度 R^2 小于 70% 外,其余化合物的回归方程 R^2 在 0.701 到 0.999 之间,接近于 1,说明拟合程度很好,通过这些非线性回归方程均能较好地表达各化合物含量变异。

3 结论与讨论

本研究发现,薰衣草花的某些挥发物经一定的温度处理后消失,如温度升高到 35℃ 以上,5—25℃ 时检测到的樟脑和乙酸己酯就不再出现,说明薰衣草某些挥发性有机物可能是在受到温度刺激后才合成的,而并不是事先合成并储存于植物体内。因此,自然状态下,薰衣草挥发物的合成与积累会受制于温度的变化。它们根据所处温度的变化来决定合成挥发物的种类和浓度,只有在特定的温度下才合成特定的挥发物,或者显著地增加或减少特定挥发物在薰衣草体内的产量。

但温度等环境因素如何调节植物挥发性有机物的产生过程,目前尚无统一认识^[15-17]。有研究认为,环境因素作为外界刺激因子本身并不直接参与细胞内的次生代谢过程,在植物细胞内必然存在着相关的胞内信号分子和相应的信号转导机制来感受并传递外界因子的刺激信号^[18]。因此,温度影响植物精气成分(种类)变化的原因,可能与其生理生化变化有关。比如组织内的含水量、膜透性、MDA、蛋白质含量以及各种挥发性有机化合物的合成酶,因温度的变化而影响有机物的合成。其中,酶在植物挥发性有机物合成途径中的关键作用已得到国内外专家的验证。有学者研究发现,1-脱氧木酮酸-5-磷酸酯合成酶(DXPS)是合成单萜的限速酶;3-羟基-3-甲基戊二酰基-辅酶 A 还原酶(HMGR)是倍半萜的主要限速酶^[19-21];苯丙氨酸裂解酶(PAL)是苯基/苯丙烷类的主要关键酶和限速酶^[22];脂肪氧化酶(LOX)是脂肪酸衍生物的主要调控酶^[23]。本研究检测出的 17 类薰衣草精气成分中,单萜有柠檬烯、 β -、月桂烯、樟脑、蒾烯、(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、(E,Z)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、顺-2,6-二甲 2,6-辛二烯等 7 种化合物;苯基/苯丙烷类有异丙基对甲苯、1-甲

基乙烯基对甲苯等 2 种化合物;脂肪酸衍生物中有 (Z)-3,7-二甲基-3,6-辛二烯-1-醇、薰衣草醇、氧化芳樟醇、芳樟醇等 4 种醇类化合物和乙酸薰衣草酯、1-辛醇乙酸酯、乙酸芳樟酯、乙酸己酯等 4 种酯类化合物,不含倍半萜和醛类化合物。因此,薰衣草花挥发性有机化合物的合成可能与 DXPS、PAL、LOX 等 3 种酶有关。

而植物受温度刺激后精气浓度发生高低变化的原因,可能与温度对酶活的影响有关。学者们对于温度与酶活的关系已经开展了大量的研究^[24-26],一些酶随着温度的升高而活性越强,催化挥发物反应合成速率的能力就越强,所以植物释放出的有机物的量可能就越大。但超过一定温度后,酶的活性下降,甚至丧失活性,导致植物释放出的有机物减少。不同的酶对温度的响应不一样。在本研究所测得的薰衣草花挥发物中,化合物的挥发量随温度增高而出现波动性变化,并出现多个峰值和多个谷值,例如,薰衣草醇和乙酸薰衣草酯 2 种成分挥发量的最高值出现在 40,45℃ 时急剧下降,而 50℃ 时又急剧上升,就可能与合成这些化合物的酶对温度的响应特征相关。

因此,温度调控植物精气的挥发机理可能是:温度刺激细胞外部的信号受体,激活次生代谢信使,发出信号分子,通过信号传递途径转入细胞,启动相关基因表达合成关键酶,酶影响相关挥发物的生物化学合成过程,调节体内挥发物的种类与产量。但需要指出的是,环境因子对植物体内挥发物的影响和作用非常复杂,不同的因子可能单独起作用,也可能产生交互作用^[27]。本研究仅对温度这一单一环境因子的影响进行研究,很难全面评估由于多种环境要素变化而产生的种种生物学和生态学效应。

References:

- [1] Chinese Academy of Sciences. Flora of China Dicotyledonae of Angiospermae (Volume 65). Beijing: Science Press, 1979: 127.
- [2] Teuscher E, Brinckmann J A, Lindenmaier M P. Medicinal Spices: A Handbook of Culinary Herbs, Spices, Spices Mixtures and Their Essential Oils. Stuttgart, Germany: Medpharm Scientific Publishers, 2006: 309-310.
- [3] Bradley B F, Starkey N J, Brown S L, Lea R W. Anxiolytic effects of *Lavandula angustifolia* odour on the Mongolian gerbil elevated plus maze. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 111 (3): 517-525.
- [4] Hajhashemi V, Ghannadi A, Sharif B. Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. Journal of Ethnopharmacology, 2003, 89 (1): 67-71.
- [5] D'Auria F D, Tecca M, Strippoli V, Salvatore G, Battinelli L, Mazzanti G. Antifungal activity of *Lavandula angustifolia* essential oil against *Candida albicans* yeast and mycelial form. Medical Mycology, 2005, 43 (5): 391-396.
- [6] Wichtl M, Brinckmann J A, Lindenmaier M P. Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals: A Handbook for Practice on a Scientific Basis. Stuttgart, Germany: Medpharm Scientific Publishers, 2004: 330-332.
- [7] Wu Z W, Wu C C, Shi Q. The research on essential oils from *Quercus dentata* Thunb. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 1999, 19 (4): 38-39.
- [8] Wu C C, Wu Z W, Luo J B. Study of Pythoncidere. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 1-5.
- [9] Chen H, Zhang J E. Advances in the study of pythoncidere. Ecologic Science, 2007, 26 (3): 281-287.
- [10] Li J Q, Jin Y J, Shen Y B, Hong R. The effect of environmental factors on emission of volatile organic compounds from plants. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18 (6): 649-656.
- [11] Zhang J W. Isoprene emission from plants: why and how. Plants, 1997, (02): 47.
- [12] Xie C X, Wang Q, Cui X M. The analysis of lavender oil by GC/MS. Journal of Xingjiang University (Natural Science Editron), 2002, 19 (3): 294-296.
- [13] Chen H L, Zhai J J, Li H Q, Chen N Y. Study on the chemical ingredients of essential oil of *Lavandula Vera* DC in Xinjiang. Journal of Xingjiang University (Natural Science Editron), 1991, 8 (4): 81-84.
- [14] Sun C J. The Principle and Technology of Gas Chromatography. Beijing: Chemical Industry Press, 1979: 277-278.
- [15] Herms D A, Mattson W J. The dilemma of plants: to grow or to defend. The Quarterly Review of Biology, 1992, 67: 283-335.
- [16] Rosenthal G A, Janzen D H. Variable Plants and Herbivores in Natural and Managed Systems. New York: Academic Press, 1979: 43-60.
- [17] Coley P D, Brant J P, Chapin F S. Resource availability and plant antiherbivore defense. Science, 1985, 230: 895-899.
- [18] Xu M J, Dong J F, Zhu M Y. Nitric oxide mediates the fungal elicitor-induced hypericin production of *Hypericum perforatum* cell suspension cultures through a jasmonic acid-dependent signal pathway. Plant Physiology, 2005, 139: 991-998.
- [19] Bach T J. Synthesis and metabolism of mevanoic acid in plants. Plant physiology and Biochemistry, 1987, 14: 163-178.

基乙烯基对甲苯等 2 种化合物;脂肪酸衍生物中有 (Z)-3,7-二甲基-3,6-辛二烯-1-醇、薰衣草醇、氧化芳樟醇、芳樟醇等 4 种醇类化合物和乙酸薰衣草酯、1-辛醇乙酸酯、乙酸芳樟酯、乙酸己酯等 4 种酯类化合物,不含倍半萜和醛类化合物。因此,薰衣草花挥发性有机化合物的合成可能与 DXPS、PAL、LOX 等 3 种酶有关。

而植物受温度刺激后精气浓度发生高低变化的原因,可能与温度对酶活的影响有关。学者们对于温度与酶活的关系已经开展了大量的研究^[24-26],一些酶随着温度的升高而活性越强,催化挥发物反应合成速率的能力就越强,所以植物释放出的有机物的量可能就越大。但超过一定温度后,酶的活性下降,甚至丧失活性,导致植物释放出的有机物减少。不同的酶对温度的响应不一样。在本研究所测得的薰衣草花挥发物中,化合物的挥发量随温度增高而出现波动性变化,并出现多个峰值和多个谷值,例如,薰衣草醇和乙酸薰衣草酯 2 种成分挥发量的最高值出现在 40,45℃ 时急剧下降,而 50℃ 时又急剧上升,就可能与合成这些化合物的酶对温度的响应特征相关。

因此,温度调控植物精气的挥发机理可能是:温度刺激细胞外部的信号受体,激活次生代谢信使,发出信号分子,通过信号传递途径转入细胞,启动相关基因表达合成关键酶,酶影响相关挥发物的生物化学合成过程,调节体内挥发物的种类与产量。但需要指出的是,环境因子对植物体内挥发物的影响和作用非常复杂,不同的因子可能单独起作用,也可能产生交互作用^[27]。本研究仅对温度这一单一环境因子的影响进行研究,很难全面评估由于多种环境要素变化而产生的种种生物学和生态学效应。

References:

- [1] Chinese Academy of Sciences. Flora of China Dicotyledonae of Angiospermae (Volume 65). Beijing: Science Press, 1979: 127.
- [2] Teuscher E, Brinckmann J A, Lindenmaier M P. Medicinal Spices: A Handbook of Culinary Herbs, Spices, Spices Mixtures and Their Essential Oils. Stuttgart, Germany: Medpharm Scientific Publishers, 2006: 309-310.
- [3] Bradley B F, Starkey N J, Brown S L, Lea R W. Anxiolytic effects of *Lavandula angustifolia* odour on the Mongolian gerbil elevated plus maze. Journal of Ethnopharmacology, 2007, 111 (3): 517-525.
- [4] Hajhashemi V, Ghannadi A, Sharif B. Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. Journal of Ethnopharmacology, 2003, 89 (1): 67-71.
- [5] D'Auria F D, Tecca M, Strippoli V, Salvatore G, Battinelli L, Mazzanti G. Antifungal activity of *Lavandula angustifolia* essential oil against *Candida albicans* yeast and mycelial form. Medical Mycology, 2005, 43 (5): 391-396.
- [6] Wichtl M, Brinckmann J A, Lindenmaier M P. Herbal Drugs and Phytopharmaceuticals: A Handbook for Practice on a Scientific Basis. Stuttgart, Germany: Medpharm Scientific Publishers, 2004: 330-332.
- [7] Wu Z W, Wu C C, Shi Q. The research on essential oils from *Quercus dentata* Thunb. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 1999, 19 (4): 38-39.
- [8] Wu C C, Wu Z W, Luo J B. Study of Pythoncidere. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 1-5.
- [9] Chen H, Zhang J E. Advances in the study of pythoncidere. Ecologic Science, 2007, 26 (3): 281-287.
- [10] Li J Q, Jin Y J, Shen Y B, Hong R. The effect of environmental factors on emission of volatile organic compounds from plants. Chinese Bulletin of Botany, 2001, 18 (6): 649-656.
- [11] Zhang J W. Isoprene emission from plants: why and how. Plants, 1997, (02): 47.
- [12] Xie C X, Wang Q, Cui X M. The analysis of lavender oil by GC/MS. Journal of Xingjiang University (Natural Science Editron), 2002, 19 (3): 294-296.
- [13] Chen H L, Zhai J J, Li H Q, Chen N Y. Study on the chemical ingredients of essential oil of *Lavandula Vera* DC in Xinjiang. Journal of Xingjiang University (Natural Science Editron), 1991, 8 (4): 81-84.
- [14] Sun C J. The Principle and Technology of Gas Chromatography. Beijing: Chemical Industry Press, 1979: 277-278.
- [15] Herms D A, Mattson W J. The dilemma of plants: to grow or to defend. The Quarterly Review of Biology, 1992, 67: 283-335.
- [16] Rosenthal G A, Janzen D H. Variable Plants and Herbivores in Natural and Managed Systems. New York: Academic Press, 1979: 43-60.
- [17] Coley P D, Brant J P, Chapin F S. Resource availability and plant antiherbivore defense. Science, 1985, 230: 895-899.
- [18] Xu M J, Dong J F, Zhu M Y. Nitric oxide mediates the fungal elicitor-induced hypericin production of *Hypericum perforatum* cell suspension cultures through a jasmonic acid-dependent signal pathway. Plant Physiology, 2005, 139: 991-998.
- [19] Bach T J. Synthesis and metabolism of mevanoic acid in plants. Plant physiology and Biochemistry, 1987, 14: 163-178.

- [20] Choi D, Ward B L, Bostock R M. Differential induction and suppression of potato 3-hydroxyl-3-methylglutaryl coenzyme A reductase genes in response to *Phytophthora infestans* and to its elicitor arachidonic acid. *Plant Cell*, 1992, 4: 1333-1344.
- [21] Kleinig H. The role of plastids in isoprenoid biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*, 1989, 40: 39-59.
- [22] Leng P. Changes of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) activity in twig tissues of two *Diospyros* species during cold acclimation. *Environment Control in Biology*, 1995, 33 (1): 43-48.
- [23] Vick BA, Zimmerman DC. The lipoxygenase pathway // Stumpf P K, Mudd J B, Nes W D eds. *The Metabolism, Structure, and Function of Plant Lipids*. New York and London: Plenum Press, 1986: 383-390.
- [24] Zhang Q, Li Q M, Cui X C, Yang Y, Chen Q, Liu W X, Deng Z R. Analyses of isoenzymes in two group of peppers under different temperatures. *Journal of Shanghai University (Natural Science Edition)*, 2004, 10(5): 489-492.
- [25] Wei H R; Han H X, Liu Q Z, Gao D S. Effects of temperature on the content of *Phenolics* and related enzyme activity in sweet cherry flower buds and dormancy. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(1): 38-42.
- [26] Chen Y T, Lai Z X, Li H L, He Y, Ling Y L, Shao W, Cai Y Q. The effects of NaCl, light and temperature on the activities of GPX of the embryogenic callus in longan. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(07): 149-153.
- [27] Loreto F, Barta C, Brilli F, Nogues I. On the induction of volatile organic compound emissions by plants as consequence of wounding or fluctuations of light and temperature. *Plant, Cell and Environment*, 2006, 29(9): 1820-1828.

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第65卷,第2分册). 北京:科学出版社, 1997: 127.
- [7] 吴章文, 吴楚材, 石强. 榲桲精气的研究. *中南林学院学报*, 1999, 19(4): 38-39.
- [8] 吴楚材, 吴章文, 罗江滨. 植物精气研究. 北京:中国林业出版社, 2006: 1-5.
- [9] 陈欢, 章家恩. 植物精气研究进展. *生态科学*, 2007, 26(3): 281-287.
- [10] 李继泉, 金幼菊, 沈应柏, 洪蓉. 环境因子对植物释放挥发性化合物的影响. *植物学通报*, 2001, 18(6): 649-656.
- [11] 张继文. 植物为什么释放异戊二烯. *植物杂志*, 1997(2): 47.
- [12] 解成喜, 王强, 崔晓明. 薰衣草挥发油化学成分的 GC-MS 分析. *新疆大学学报(自然科学版)*, 2002, 19(3): 294-296.
- [13] 陈行烈, 翟建军, 赵凡智, 李海泉, 陈能煜. 新疆薰衣草油化学成分的研究. *新疆大学学报(自然科学版)*, 1991, 8(4): 81-84.
- [14] 孙传经. 气相色谱分析原理与技术. 北京:化学工业出版社, 1979: 277-278.
- [24] 张清, 李琦明, 崔西辰, 杨勇, 陈沁, 刘文轩, 邓志瑞. 不同温度条件下两组辣椒的同工酶分析. *上海大学学报(自然科学版)*, 2004, 10(5): 489-492.
- [25] 魏海蓉, 韩红霞, 刘庆忠, 高东升. 温度对甜樱桃花芽酚类物质含量和相关酶活性及休眠的影响. *果树学报*, 2007, 24(1): 38-42.
- [26] 陈义挺, 赖钟雄, 李焕苓, 何园, 林玉玲, 邵巍, 蔡英卿. NaCl、光和温度胁迫对龙眼胚性愈伤组织 GPX 酶活性的影响. *中国农学通报*, 2009, 25(7): 149-153.