

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201507039

宋佳昱, 谢琳, 张玄兵. 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒的精油成分分析 [J]. 广西植物, 2016, 36(3):373-378

SONG JY, XIE L, ZHANG XB, et al. Chemical components of essential oils from *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus* [J]. *Guihaia*, 2016, 36(3):373-378

## 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒的精油成分分析

宋佳昱<sup>1</sup>, 谢琳<sup>2</sup>, 张玄兵<sup>1\*</sup>

(1. 海南大学 园艺园林学院, 海南 儋州 571737; 2. 东山县杏陈镇林业工作站, 福建 漳州 363402)

**摘要:** 该研究采用固相微萃取法 (SPME) 和气相色谱-质谱联用技术 (GC-MS), 分析绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油的化学成分。结果表明: 从绿罗勒 (*Ocimum basilicum* 'Green') 中鉴定出 40 种化学成分; 从莴苣罗勒 (*O. basilicum* 'Lettuce') 中鉴定出 26 个化学成分; 从大叶罗勒 (*O. basilicum* var. *majus*) 中鉴定出 36 个化学成分。绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油中共有的香味物质为芳樟醇、[1S-(1 $\alpha$ , 4 $\alpha$ , 7 $\alpha$ )]-1,2,3,4,5,6,7,8-八氢-1,4-二甲基-7-(1-甲基乙烯基)-甘菊环烃] 和榄香烯。从绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油检测到的主要成分中发现, 绿罗勒和大叶罗勒同为芳樟醇, 化学型同为芳樟醇型; 莴苣罗勒为桉树脑, 化学型为桉树脑型。此外, 还对绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油化学型的差异进行了分析, 对罗勒精油的应用前景进行了展望。

**关键词:** 罗勒, 精油成分, GC-MS 分析

中图分类号: Q946.85 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2016)03-0373-06

## Chemical components of essential oils from *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*

SONG Jia-Yu<sup>1</sup>, XIE Lin<sup>2</sup>, ZHANG Xuan-Bing<sup>1\*</sup>

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Hainan University, Danzhou 571737, China;

2. Xingchen Forestry Station of Dongshan Country, Zhangzhou 363402, China )

**Abstract:** *Ocimum basilicum* containing nearly 60 species widely distributes all over the world, and many of which are important horticultural plants. At present, there are quite a few researches attempt to survey diverse applications of these plants, but few researches focused on studying these three basil varieties (*O. basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*). In this study, the essential oils of *O. basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus* were obtained by hydrodistillation from fresh leaves, which were extracted by solid-phase micro-extraction (SPME) method and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to detect the composition of essential oil. The results showed that 40, 26 and 36 kinds of fragrant elements were detected from *O. basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*, respectively. The basic fragrant components in *O. basilicum* 'Green' and *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus* were 3,7-dimethyl-1,6-Octadien-3-ol and 1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethyl)-[1S-(1 $\alpha$ , 2 $\alpha$ , 4 $\alpha$ )]-Azulene and Elemene. The basic fragrant components in *O. basilicum* 'Green' and *O. basilicum* var. *majus* were 3,7-dimethyl-1,6-Octadien-3-ol, *O. basilicum* 'Lettuce' was eucalyptol. The study would provide reference basis for development and utilization of germplasm resources of *O. basilicum*.

**Key words:** *Ocimum basilicum*, composition, GC-MS

收稿日期: 2015-08-24 修回日期: 2015-12-11

基金项目: 国家星火计划项目(2008GA800009); 海南大学青年基金(qqj1025) [Supported by National Spark Plan(2008GA800009); Fund for the Young Scholars of Hainan University(qqj1025)].

作者简介: 宋佳昱(1994-), 女, 吉林通化市人, 本科, 研究方向为园林植物观赏园艺, (E-mail)1634553660@qq.com。

\*通讯作者: 张玄兵, 博士, 副教授, 研究方向为园林植物观赏园艺, (E-mail)62253758@qq.com。

罗勒(*Ocimum basilicum*),别名九层塔,是唇形科罗勒属一年生植物(全国中草药汇编编写组,1983),享有香草之王的美誉,具有很高的观赏价值和食用价值(任全进,2004)。罗勒喜暖热气候,在中国境内分布于广东、湖南、湖北、台湾、江西等多个省区(于忠香,2004),不同品种的罗勒植株有多种独特的芳香味,香味浓郁无毒副作用,是优良的药材(Heath,1981),还被广泛应用于日用、食品、化工等领域(Fleisher,1981)。不同种、品种罗勒的精油成分和含量因提取和分析方法不同以及不同的生境等有所不同(兰瑞芳等,2001)。

近年来,对罗勒精油成分的研究逐渐增多,调查发现罗勒精油的成分因种类和品质的不同而存在差异。前人曾以闽产罗勒为原料从中提取并鉴定得到37种组成成分,主要成分为芳樟醇、茴香脑、1,8-桉叶素、丁香酚、杜松烯醇和樟脑(兰瑞芳和冯珊,2001);胡西旦·拉吉丁(2008)曾研究鉴定得到罗勒主要成分为 $\alpha$ -萜品油烯、香桉烯醇、萜品油、月桂烯、愈创水烯、杜松;李玲玲等(2000)在对丁香罗勒成分分析的研究中,检测到大根香叶酮D、丁香酚、邻苯二甲酸乙酯和乙酸苯甲酯等主要成分。但这些研究所涉及的罗勒种并不多,许多挥发油化学成分未能得到分析鉴定。

罗勒的品种及变种较多,常见的商业品种就有60余种,包括甜罗勒、紫罗勒、密生罗勒和柠檬罗勒等。本研究首次选用绿罗勒和莴苣罗勒品种以及大叶罗勒变种等三种罗勒植物作为试材,利用固相微萃取法(SPME)提取其精油,并结合气相色谱及色谱-质谱联用技术(GC/MS)分析三种罗勒植物精油的成分,为罗勒植物的进一步开发和利用提供科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

2014年7月从海南大学儋州校区园艺园林学院基地中采集2年生的绿罗勒(*Ocimum basilicum* 'Green')、莴苣罗勒(*O. basilicum* 'Lettuce')和大叶罗勒(*O. basilicum* var. *majus*)三种罗勒植株,随机选取健康、生长状况良好的成龄叶进行试验(自下而上第四五片叶),重复3次。

### 1.2 仪 器

固相微萃取头(SPME)(100  $\mu$ m PDMS) Sigma-

Aldrich, St. Louis, MO, USA 装置; HP6890GC/5973MSD/DS(Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA 装置)气相色谱-质谱联用仪。

### 1.3 SPME/GC-MS 分析 法

参考宋述芹等(2008)的分析方法,安装SPME装置,取0.7g(切碎)样品加到5mL样品瓶中。将PDMS萃取头于室温(28 $^{\circ}$ C)萃取40min,取出插入色谱仪进样品瓶中并脱附1min。萃取头老化温度为250 $^{\circ}$ C,载气体积流量为1.0mL/min。

气相色谱条件:色谱柱HP-5MS弹性石英毛细管柱(30m $\times$ 0.25mm $\times$ 0.25 $\mu$ m);进样口温度为230 $^{\circ}$ C;进样方式为不分流进样;载气He,流量1mL/min;以柱起始温度50 $^{\circ}$ C,以4 $^{\circ}$ C/min升至150 $^{\circ}$ C,保持2min,然后以8 $^{\circ}$ C/min升至250 $^{\circ}$ C的程序升温。质谱条件:离子源温度250 $^{\circ}$ C,接口温度280 $^{\circ}$ C;电离能70eV;扫描范围35~500amu;通过Nist02.1,Wi2ley275.L,Pmw2to x2.1谱库的检索,得到检测结果。

## 2 结果与分 析

### 2.1 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油成分种类含量的比较

在相对含量超过1%的组分中,通过色谱-质谱联用系统(GC/MS)检测得到三种罗勒挥发性成分离子流色谱图(图1)。从图1可以看出,三种罗勒植物挥发性成分的各峰值之间在一定范围的差异。其中绿罗勒中相对含量较多的组分是芳樟醇(68.07%),依次是左旋-beta-蒎烯3.88%、4-乙基邻二甲苯(3.61%)、伪柠檬烯2.58%、3-亚甲基-2,5-二甲基-1,5-庚二烯(2.42%)、4-萜烯醇(1.53%)、黏蒿三烯(1.40%)、萜品油烯(1.37%)、 $\alpha$ -蒎烯(1.36%)及桉树脑(1.05%)。

莴苣罗勒中相对含量较多的组分是桉树脑(56.29%),依次是芳樟醇(19.93%)、Di-epi- $\alpha$ -雪松烯(5.22%)、 $\alpha$ -蒎烯(2.23%)、(1R)-2,2-双甲基-3-亚甲基二环[2.2.1]庚烷(1.85%)、3-萜烯(1.8%)。

大叶罗勒中相对含量较多的组分是芳樟醇(66.93%),依次是P-伞花烃(4.36%)、 $\alpha$ -月桂烯(4.03%)、八氢-2,5-亚甲基-1H-茛(2.77%)、檀紫三烯(1.97%)、4-萜烯醇(1.56%)、3-萜烯(1.22%)、罗勒烯(1.02%)及2-甲基-5-异丙基双环[3.1.0]己-2-烯(1.00%)(表1)。

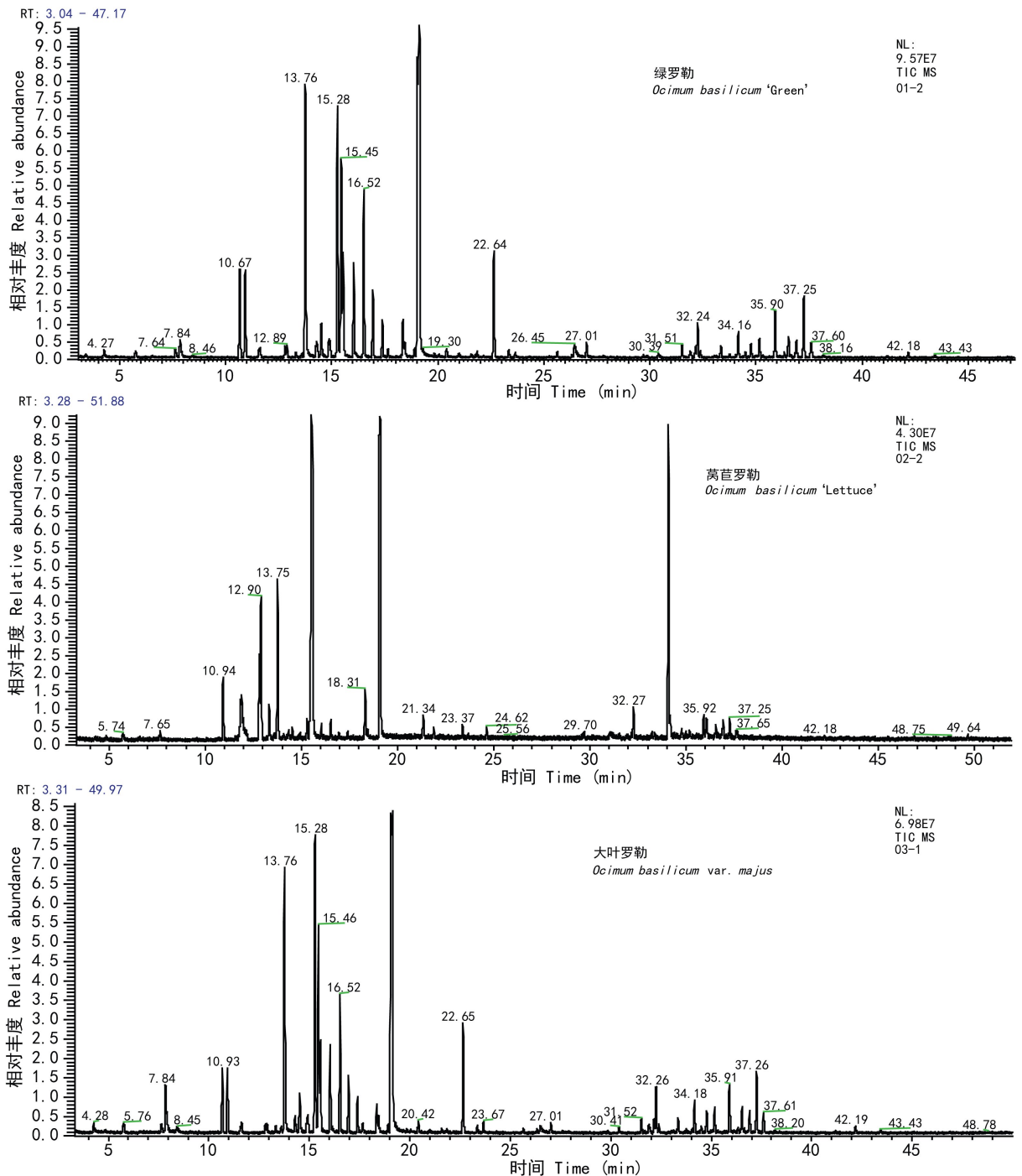


图 1 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒挥发性成分的 GC/MS 总离子流图

Fig. 1 Ion chromatogram of volatile compositions in *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*

## 2.2 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒检测到的最高成分和共有成分

在检测到的绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒的成分中,绿罗勒和大叶罗勒的化学成分同为芳樟醇,含量分别为 68.07% 和 66.93%;而在莴苣罗勒中检测到的化学成分为桉树脑 56.29%。在绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒中检测出的香味物质,共有的组分仅有 3 种(表 2)。

## 2.3 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油成分类别比较

绿罗勒共鉴定出 40 种精油成分,含有烃类 23 种、醇类 8 种、醛类 2 种、酯类 2 种、酮类 1 种、酸类 1 种、其他 3 种。莴苣罗勒中共获得 31 个色谱峰,初步鉴定了其中 26 种挥发性成分,含有烃类 14 种、醇类有 5 种、酮类有 1 种、酯类有 1 种、其他有 5 种。大叶罗勒中鉴定出 36 种化学成分,含有烃类 24 种、醇类有 6 种、醛类有 2 种、酮类有 1 种、酯类有 1 种、

表 1 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油的主要化学成分及含量

Table 1 Chemical compositions and contents of essential oils from *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*

化合物 Compound	分子式 Formula	相对含量 Relative content (%)		
		绿罗勒 <i>O. basilicum</i> 'Green'	莴苣罗勒 <i>O. basilicum</i> 'Lettuce'	大叶罗勒 <i>O. basilicum</i> var. <i>majus</i>
α-蒎烯 α-Pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.36	—	—
蒎品油烯 4-methyl-3-(1-methylethylidene)-Cyclohexene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.37	—	—
左旋-β-蒎烯 (1S)-6,6-dimethyl-2-methylene-Bicyclo[3.1.1]heptane,	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	3.88	—	—
4-乙基邻二甲苯 4-ethyl-1,2-dimethyl-Benzene	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	3.61	—	—
伪柠檬烯 1-methylene-4-(1-methylethenyl)-Cyclohexane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.58	—	—
桉树脑 Eucalyptol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.05	56.29	—
黏蒿三烯 2,5,5-trimethyl-1,3,6-Heptatriene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1.40	—	—
3-亚甲基-2,5-二甲基-1,5-庚二烯 2,5-dimethyl-3-methylene-1,5-Heptadiene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	2.42	—	—
芳樟醇 3,7-dimethyl-1,6-Octadien-3-ol		68.07	19.93	66.93
4-蒎烯醇 4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-Cyclohexen-1-ol	C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O	1.53	—	1.56
3-蒎烯 3-Carene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	1.80	—
茨烯 2,2-dimethyl-3-methylene-(1R)-Bicyclo[2.2.1]heptane	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	1.85	—
Di-epi-α-雪松烯 Di-epi-α-cedrene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	5.22	—
2-甲基-5-异丙基双环[3.1.0]己-2-烯 2-methyl-5-(1-methylethyl)-Bicyclo[3.1.0]hex-2-ene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	1.00
罗勒烯 3,7-dimethyl-1,3,6-Octatriene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	1.02
α-月桂烯 α-Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	4.03
P-伞花烃 1-methyl-3-(1-methylethyl)-Benzene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	2.77
八氢化-2,5-亚甲基-1H-茛 octahydro-2,5-Methano-1H-indene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	1.22
檀紫三烯 Santolina triene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	—	—	1.97
[1S-(1α,4α,7α)]-1,2,3,4,5,6,7,8-八氢-1,4-二甲基-7-(1-甲基乙基)-甘菊环烃 1,2,3,4,5,6,7,8-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethyl)-[1S-(1α,4α,7α)]-Azulene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.35	0.25	0.46
榄香烯 Elemene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	0.32	0.45	0.69
(1α,4α,8α)-1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢-7-甲基-4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-萘 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1α,4α,8α)-Naphthalene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	—	—	1.04

注:表中数据为绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油的主要化学成分及含量,含量低于0.2%的成分表中未体现。“—”未检测到。

Note: Main chemical composition and content of the data in the table are *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus* of basil oil, contents of less than 0.2% of the ingredients are not reflected. "—" means under detectable level.

其他有 2 种。

### 3 讨论

本研究结果表明,绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒

精油中的化学成分存在较大差异,其中仅有 3 种成分相同。从各类香味物质的含量来看,芳香族化合物优势显著。绿罗勒中检测到的化学成分有 40 种,从莴苣罗勒和大叶罗勒中分别检测到 26 种和 36 种化学成分,莴苣罗勒与其他 2 种罗勒植物差异较大。

表 2 绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油中共有的香味物质及相对含量

Table 2 Relative contents of volatile compounds common to the *Ocimum basilicum* 'Green', *O. basilicum* 'Lettuce' and *O. basilicum* var. *majus*

罗勒种类 <i>Ocimum basilicum</i> species	相对含量 Relative content (%)		
	芳樟醇 (C <sub>10</sub> H <sub>18</sub> O)	[1S-(1 $\alpha$ , 4 $\alpha$ , 7 $\alpha$ )]-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8-八氢-1, 4-二甲基-7-(1-甲基乙炔基)-甘菊环烃 (C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> )	榄香烯 (C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> )
绿罗勒 <i>O. basilicum</i> 'Green'	68.07	0.35	0.32
莴苣罗勒 <i>O. basilicum</i> 'Lettuce'	19.93	0.25	0.45
大叶罗勒 <i>O. basilicum</i> var. <i>majus</i>	66.93	0.46	0.69

在绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒中所检测到的大量物质存在差异,其中绿罗勒和大叶罗勒同为芳樟醇,含量分别为 68.07% 和 66.93%; 而莴苣罗勒的则为桉树脑,含量为 56.29%。不同文献中所报道的关于罗勒植物挥发油的组分及相对含量差异较大(何道航, 2005)。兰瑞芳等(2001)从闽产罗勒中提取鉴定得到 37 种组成成分,其中芳樟醇、茴香脑、1,8-桉叶素、丁香酚、杜松烯醇和樟脑等为主要成分。卢汝梅等(2006)应用水蒸汽蒸馏法提取分析桂林产罗勒植物挥发油,通过 GC-MS 鉴定得到 54 种组成成分,其主要成分是对烯丙基茴香醚、双环倍半水芹烯、3,7,11-三甲基-(Z,E)-1,3,6,10-十二碳四烯; 本研究结果与前人研究结果有较大差异,可能与材料产地、所用仪器、所处实验环境等因素存在差异有关。

通过对绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒化学成分分析,按照化学类型分类,绿罗勒和大叶罗勒同属于芳樟醇型,莴苣罗勒属于桉树脑型。分析国内外有关罗勒挥发油的组分及相对含量的研究报道时发现,不同研究中关于不同品种和变种罗勒的化学型存在差异,如兰瑞芳等(2001)鉴定闽产罗勒化学型为芳樟醇型,何道航等(2005)分析粤产紫罗勒属于龙蒿脑型。本研究得到的三种罗勒化学型结果有差异,除了材料产地、所用仪器、所处实验环境等因素可能造成不同的结果外,它们挥发油组分之间的差异也可能由彼此种质之间的遗传差异所引起。绿罗勒和莴苣罗勒是同一个植物种不同栽培品种,主要成分绿罗勒为芳樟醇,而莴苣罗勒为桉树脑,差异较大; 而变种大叶罗勒的主要成分却与绿罗勒相同,这

与胡彦等(2010)的研究结论相似。由此推测,变种植物间成分差异程度小于品种间。植物精油是植物生理代谢过程中分泌的一类次生代谢产物,不同品种罗勒生成精油的生理生化过程复杂多样,从而导致了不同品种罗勒此类次生代谢产物成分的不同(张国防, 2006)。有关这些次生代谢产物在植物体内形成的机理导致的成分含量之间的差异,以及由于成分差异所导致化学型的差异等相关问题至今研究较少,尚有待进一步的研究。

从应用角度来看,芳樟醇是绿罗勒、莴苣罗勒和大叶罗勒精油共有含量较高的一种醇类化合物,而且绿罗勒和大叶罗勒中的含量较高,而莴苣罗勒中的含量最少。芳樟醇是最常用且用量最大的香料,可用作调香原料、配制化妆品(宋述芹, 2006); 榄香烯是一种具有抗癌活性的挥发性成分(李大景, 2001); 此外,罗勒植物的叶形和叶色丰富多样、花期较长,亦可用来作为观赏植物。因此,罗勒植物具有很高的应用价值。

## 参考文献:

- Editing Group of Collection of Chinese Herbal Medicines, 1983. Collection of Chinese herbal medicines [M]. Beijing: People's Medical Publishing House: 523-524. [全国中草药汇编编写组, 1983. 全国中草药汇编 [M]. 北京: 人民卫生出版社: 523-524.]
- HE DH, PANG Y, LI GH, et al, 2005. Studies on the chemical constituents of essential oil of *O. basilicum* growing in Guangdong Province [J]. J Guihaia, 25(1): 90-92. [何道航, 庞义, 李广宏, 等, 2005. 粤产紫罗勒精油的化学成分研究 [J]. 广西植物, 25(1): 90-92.]
- HU Y, DING YF, WEN CX, et al, 2010. Purge and trap GC-MS for the identification of volatile composition of the leaves of different variants of *Perilla* L. [J]. J Food Sci, 31(12): 159-162. [胡彦, 丁友芳, 温春秀, 等, 2010. 吹扫捕 GC-MS 法测定紫苏不同变种叶片中的挥发性成分 [J]. 食品科学, 31(12): 159-162.]
- HU RSHIDA, 2008. Analysis of chemical components of the essential oil from *Ocimum basilicum* L. by gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Chin J Spectrosc Lab, 25(2): 127-131. [胡西旦·拉吉, 2008. 气相色谱-质谱法分析罗勒中挥发油的化学成分 [J]. 光谱实验室, 25(2): 127-131.]
- JIROVETZ L, BUCHBAUER G, SHAFI MP, et al, 2003. Chemotaxonomical analysis of the essential aroma compounds of four different *Ocimum* species from southern India [J]. J Eur Food Res Technol, 217(2): 120-124.
- LAN RF, FENG S, 2001. Studies on the chemical constituents of essential oil of *O. basilicum* growing in Fujian Province [J]. Chann Pharm, 13(1): 51-52. [兰瑞芳, 冯珊, 2001. 闽产罗勒油化学成分的研究 [J]. 海峡药学, 13(1): 51-52.]
- LAWRENCE, BM, 1985. A review of the world production of essential oil [J]. Perf Flav, 10: 2-16.
- LAWTENCE BM, 1978. Process in essential oil perfume [J]. Flavor, 3(5): 36-38.
- LI FM, ZHANG J, LI WW, et al, 2005. Technology of pineapple leaf

- residues silag [J]. Chin Herb, 25(6): 58-59. [李福明, 张劲, 连文伟, 等, 2005. 菠萝叶渣青贮饲料技术 [J]. 中国草食动物, 25(6): 58-59.]
- LI DJ, SHAO JL, ZHANG ZL, et al, 2001. Pharmacological studies on elemene and clinical application [J]. Lishizhen Med Mat Med Res, 12(12): 1 123-1 124. [李大景, 邵金良, 张忠录, 等, 2001. 榄香烯的药理研究及临床应用 [J]. 时珍国医国药, 12(12): 1 123-1 124.]
- LI LL, LAI DM, YE YF, et al, 2000. Analysis of *Ocimum* oil by GC and CC/MS [J]. Fujian Analy & Test, 9(2): 1 222-1 227. [李玲玲, 赖东美, 叶飞云, 等, 2000. 丁香罗勒油的气相色谱与气质连用分析 [J]. 福建分析测试研究报告, 9(2): 1 222-1 227.]
- REN QJ, 2004. The king of herbs, basil [J]. Garden, 22(5): 62. [任全进, 2004. 香草之王罗勒 [J]. 园林, 22(5): 62.]
- SONG SQ, GU M, CHEN FP, et al, 2008. Analysis of volatile compounds from flowers and leaves of *Ocimum basilicum* L. with solid phase [J]. J Chin Mass Spectr Soc, 3(2): 110-114. [宋述芹, 谷茂, 陈飞鹏, 等, 2008. 固相微萃取气质联用分析罗勒花和叶的挥发性成分 [J]. 质谱学报, 3(2): 110-114.]
- VINA A, MURILLO E, 2003. Essential oil composition from twelve varieties of basil (*Ocimum* spp.) grown in Columbia [J]. J Brazilian Chem Soc, 14(5): 744-749.
- WANG H, MIN D, ZHANG ZZ, et al, 1998. Analysis of the essential oil components in *Ocimum basilicum* [J]. J Beijing Med Univ, 30(1): 52. [王弘, 敏德, 张治针, 等, 1998. 罗勒挥发油化学成分分析 [J]. 北京医科大学学报, 30(1): 52.]
- WANG G, LI M, WANG JL, 2011. Present situation and analysis on utilization of tropical [J]. Guangdong Agric Sci, 38: 23-26. [王刚, 李明, 王金丽, 2011. 热带农业废弃物资源利用现状与分析—菠萝废弃物综合利用 [J]. 广东农业科学, 38: 23-26.]
- WANG T, CUI SY, HU XL, et al, 2003. Study on the constituents of volatile oil from *Ocimum basilicum* [J]. J Chin Mat Med, 28(8): 740-742. [汪涛, 崔书亚, 胡晓黎, 等, 2003. 罗勒挥发油成分研究 [J]. 中国中药杂志, 28(8): 740-742.]
- WANG JM, 1999. Domestic biggest aromatic camphors alcohol production device put into production in Sichuan [J]. Sichuan Chem Ind, 2(4): 17. [汪家铭, 1999. 国内最大芳樟醇生产装置在四川投产 [J]. 四川化工与腐蚀控制, 2(4): 17.]
- YU ZX, 2004. Foreign flavor vegetables-sweet basil [J]. Shanghai Veg J, (6): 9. [于忠香, 2004. 洋味野菜-甜罗勒 [J]. 上海蔬菜, (6): 9.]
- ZHANG JT, 2002. Edible fragrance plant-basil [J]. Jilin Agric J, (12): 28. [张吉通, 2002. 食用香味植物—罗勒 [J]. 吉林农业, (12): 28.]
- ZHANG GF, 2006. Study on the variation and selection of main component of essential oil from *Cinnamomum camphora* [D]. Fujian: University of Agriculture and Forestry: 241-247. [张国防, 2006. 樟树精油主成分变异与选择的研究 [D]. 福州: 福建农林大学: 241-247.]

( 上接第 307 页 Continue from page 307 )

- seedlings to NaCl stress [J]. Chin J Ecol, 31(9): 2 255-2 260. [刘建新, 王金成, 王瑞娟, 等, 2012. 燕麦幼苗活性氧代谢和渗透调节物质积累对 NaCl 胁迫的响应 [J]. 生态学杂志, 31(9): 2 255-2 260.]
- LU S, 2012. Effects of drought stress on plant growth and physiological traits [J]. J Jiangsu For Sci & Technol, 39(4): 51-54. [鲁松, 2012. 干旱胁迫对植物生长及其生理的影响 [J]. 江苏林业科技, 39(4): 51-54.]
- MA SY, LI JY, PENG ZD, 2012. Effects of drought stress on the content of malondialdehyde in *Pinus flexilis* James. seedlings [J]. J Anhui Agric Sci, 40(4): 2 099-2 100. [马书燕, 李吉跃, 彭祚登, 2012. 干旱胁迫对柔枝松幼苗丙二醛含量的影响 [J]. 安徽农业科学, 40(4): 2 099-2 100.]
- MORONEY JV, MA Y, FREY WD, et al, 2011. The carbonic anhydrase isoforms of *Chlamydomonas reinhardtii*: intracellular location, expression, and physiological roles [J]. Photosynth Res, 109: 133-149.
- PLAUT Z, 1995. Sensitivity of crop plants to water stress at specific developmental findings [J]. Israel J Plant Sci, 43: 99-111.
- SHI QQ, WU YY, ZHU YL, et al, 2010. Comparison on activities of extracellular enzyme of carbonic anhydrase in *Broussonetia papyrifera* and *Morus alba* leaves [J]. J Anhui Agric Sci, 38(16): 8 376-8 377. [施倩倩, 吴沿友, 朱咏莉, 2010. 构树与桑树叶片的碳酸酐酶胞外酶活力比较 [J]. 安徽农业科学, 38(16): 8 376-8 377.]
- TEZARA W, MITCHEL VJ, DRISCO II SD, et al, 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP [J]. Nature, 401: 914-917
- WAN ML, KUANG YH, CHEN JX, 1999. Studies on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activity of sugarcane under phosphorus deficiency [J]. J S Chin Agric Univ, 2(2): 58-61. [万美亮, 邝炎华, 陈建勋, 1999. 缺磷胁迫对甘蔗膜脂过氧化及保护酶系统活性的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2(2): 58-61.]
- WANG BS, 1989. Biological free radicals and membrane damage of plants [J]. Plant Physiol Comm, (2): 12-16. [王宝山, 1989. 生物自由基与植物膜伤害 [J]. 植物生理学通讯, (2): 12-16.]
- WANG M, SANG M, LI AF, et al, 2010. Effects of physical and chemical factors on carbonic anhydrase activity of *Haematococcus pluvialis* CG-11 [J]. Plant Physiol J, 47(7): 701-706. [王铭, 桑敏, 李爱芬, et al, 2010. 不同理化因子对雨生红球藻 CG-11 碳酸酐酶活性的影响 [J]. 植物生理学通讯, 47(7): 701-706.]
- WU YY, XING DK, LIU Y, et al, 2011. The characteristics of bicarbonate used by plants [J]. Earth & Environ, 39(2): 273-277. [吴沿友, 邢德科, 刘莹, 等, 2011. 植物利用碳酸氢根离子的特征分析 [J]. 地球与环境, 39(2): 273-277.]
- XING D, WU Y, 2012. Photosynthetic response of three climber plant species to osmotic stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 [J]. Acta Physiol Plant, 34: 1 659-1 668
- ZHANG YS, HUANG X, CHEN YF, 2009. Plant physiology experiment tutorial [M]. Beijing: Higher Education Press. [张以顺, 黄霞, 陈云凤, 2009. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 高等教育出版社.]
- ZHAO Y, ZHANG XJ, LUO JH, 2011. Appropriate nitrogen fertilizer strengthens growth and antioxidative ability of *Festuca arundinacea* under salt stress [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 17(2): 374-383. [赵营, 张学军, 罗健航, 2011. 施肥对设施番茄—黄瓜养分利用与土壤氮素淋失的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 17(2): 374-383.]