

GC/MS 法结合保留指数分析香叶油香味成分

Analysis of aroma components ingeranium oil by GC/MS combined with retention index

李源栋 李先毅 段焰青 刘秀明 党立志 黄立斌

LI Yuan-dong LI Xian-yi DUAN Yan-qing LIU Xiu-ming DANG LI-zhi HUANG Li-bin

(云南中烟工业有限责任公司技术中心, 云南 昆明 650202)

(Technology Center, China Tobacco Yunnan Industrial Co., LTD, Kunming, Yunnan 650202, China)

摘要:采用气相色谱/质谱法(GC—MS)分析香叶油中化学成分,利用峰面积归一化定量,通过质谱检索,辅助保留指数比对定性,香叶油中 61 个化学成分得到确定,占其挥发性成分含量的 86.217%,结合保留指数分析香叶油中同系物及同分异构体,提高了定性结果的准确性。香气评价结果显示,香叶油中关键香味成分为香茅醇、香叶醇、甲酸香茅酯、薄荷酮、甲酸香叶酯、异薄荷酮、惕各酸香叶酯、玫瑰醚、丁酸香叶酯等。

关键词:香叶油;气相色谱/质谱;香味成分;保留指数

Abstract: The aroma components of geranium oil were analyzed by GC/MS, and the peak area normalization method was used to calculate the relative content of each component. With the mass spectrometry library search, 61 compounds which account for 86.217% in the aroma components of geranium, were identified by using reference literature retention index. The cis(trans)-isomers were confirmed by using retention index, and the accuracy of compound qualitative analysis in natural flavor was improved. The aroma of the key aroma compositions of the geranium oil (Citronellol, Geraniol, Citronellyl formate, Menthone, Geranyl formate, Isomenthone, Geranyl tiglate, Rose oxide, Geranyl butyrate, et al) was determined.

Keywords: geranium oil; GC/MS; aroma components; retention index

香叶亦称香叶天竺葵,为牻牛儿苗科天竺葵属,多年生亚灌木。原产地主要分布在非洲南部,尤其是南非、留尼旺岛、埃及等国家。目前,中国云南、四川省及上海市已有栽培^[1-2]。香叶油呈绿黄色至琥珀色澄清液体,由香叶天竺葵

枝、叶经水蒸气蒸馏而得,具有玫瑰和香叶醇样香气,蜜甜,微清,香气稳定持久,广泛用于日化、医药^[3-6]等行业中,也可用于调配玫瑰、草莓、覆盆子、葡萄、樱桃等食用香精以及酒用香精中^[7]。

目前国内外有关香叶油研究主要集中在香叶组培试验^[8-11]、提取加工方法^[12-13]、医药功能^[14]等方面,未见利用 GC/MS 结合保留指数对其香气特征成分分析报道。香叶油因其含有大量同分异构体及同系物,仅采用 GC/MS 定性,很难对其中成分进行准确定性,容易出现错判。本研究拟采用 GC/MS 结合保留指数对其香味成分进行分析,同时结合香气评价,确定其主要致香成分,旨在为香叶油香气成分的定性分析提供依据。

1 材料及方法

1.1 材料及仪器

1.1.1 材料及试剂

香叶油:上海香精香料公司;

二氯甲烷(CH_2Cl_2)、甲醇(CH_3OH)、正己烷(C_6H_{14}):

AR 级,百灵威科技有限公司;

正构烷烃 $\text{C}_7\sim\text{C}_{30}$:GR 级,美国 Sigma-Aldrich 公司。

1.1.2 主要仪器设备

气相色谱/质谱联用仪:7890A/5975C 型,美国 Agilent Technologies 公司。

1.2 方法

1.2.1 色谱条件 RXi-5sil MS (60 m × 0.25 mm × 0.25 μm),载气:He,进样口温度:250 °C,进样量:1.0 μL,分流比:10:1,柱流速:1.0 mL/min,溶剂延迟 6 min。程序升温过程:初始温度 60 °C,保持 6 min;以 3 °C/min 速率升温至 180 °C;再以 10 °C/min 速率升温至 230 °C,保持 10 min。

1.2.2 质谱条件 电离方式:EI,电离能量:70 eV,离子源温度:230 °C;四级杆温度:150 °C;辅助线温度:280 °C,采集方式:全扫描模式,扫描范围(m/z):40~450,谱库:Nist11。

基金项目:云南省科技厅项目(编号:2015BA006);中国烟草总公司科技项目(编号:110201402040)

作者简介:李源栋,男,云南中烟技术中心助理工程师,硕士。

通讯作者:黄立斌(1974—),男,云南中烟技术中心工程师。

E-mail:hxydd@163.com

收稿日期:2016-01-29

1.2.3 样品的预处理 准确称取香叶油样品 0.20 g,用混合溶剂($V_{\text{甲醇}} : V_{\text{二氯甲烷}} = 1 : 4$)将其定容至 10 mL,进 GC/MS 前需将样品用 0.45 μm 有机相滤膜过滤,按照 1.2.1 和 1.2.2 的条件进行检测。

1.2.4 正构烷烃溶液配制及测定 准确称取一定量正构烷烃($C_7 \sim C_{30}$)标准品,用正己烷稀释($w = 5\%$),按照 1.2.1 和 1.2.2 的条件分析,测定各正构烷烃的保留时间。

1.2.5 定性定量分析方法 香叶油样品经过 GC/MS 分析后,通过 Nist11 质谱库进行自动检索,然后将香叶油中各成

分保留时间及正构烷烃保留时间导入自我开发的保留指数软件,自动求出各成分保留指数,同时,将求出的保留指数与英文版精油数据库(ESO 2010 版)中保留指数进行对比(两者保留指数值可以接受误差 $\leq 3\%$),对香叶油中成分进行定性,最后,利用峰面积归一化对其成分进行定量。

2 结果与讨论

2.1 香叶油香味成分分析

香叶油 GC/MS 谱图见图 1,定性及定量结果见表 1。

表 1 GC/MS 方法对香叶油香味成分的定性结果[†]
Table 1 GC/MS method for qualitative results of aroma components in geranium oil

化合物类型	名称	保留时间/min	相似度	峰面积百分含量/%	保留指数	
					计算值	引用值
醇类	香茅醇	30.78	99	19.481	1 243	1 231
	香叶醇	31.48	99	12.049	1 257	1 258
	β -桉叶油醇	47.69	96	6.368	1 646	1 647
	芳樟醇	23.84	93	5.388	1 105	1 101
	δ -杜松醇	48.45	92	0.717	1 671	1 673
	α -松油醇	28.72	90	0.633	1 200	1 191
	α -桉叶油醇	48.51	99	0.553	1 673	1 653
	茅苍术醇	47.92	99	0.464	1 654	1 638
	(Z)-氧化芳樟醇 5(呋喃型)	22.18	95	0.460	1 074	1 077
	绿花白千层醇	46.61	98	0.316	1 610	1 596
	八氢四甲基萘醇	47.00	98	0.237	1 623	1 612
	(E)-氧化芳樟醇 5(呋喃型)	23.01	99	0.233	1 090	1 092
	异胡薄荷醇	26.40	95	0.204	1 155	1 155
	喇叭花醇	45.64	91	0.090	1 583	1 623
	醛类	橙花醛	30.93	99	0.450	1 246
薄荷酮		27.33	95	4.074	1 173	1 170
异薄荷酮		26.79	91	2.980	1 162	1 165
酮类	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	23.94	99	0.092	1 107	1 105
	6,10,14-三甲基-2-十五酮	52.23	98	0.066	1 841	1 872
	6-甲基-5-庚烯-2-酮	17.38	97	0.054	985	986
酯类	甲酸香茅酯	32.60	91	6.255	1 280	1 279
	甲酸香叶酯	33.68	99	3.222	1 303	1 304
	惕各酸香叶酯	49.25	98	1.789	1 698	1 700
	丁酸香叶酯	44.58	97	1.591	1 557	1 558
	丙酸香叶酯	41.01	95	0.908	1 469	1 477
	丁酸香茅酯	43.40	99	0.899	1 527	1 529
	丙酸香茅酯	39.76	99	0.711	1 440	1 444
	乙酸香叶酯	37.09	96	0.695	1 378	1 384
	惕各酸香茅酯	48.31	93	0.481	1 667	1 667
	乙酸香茅酯	35.81	92	0.425	1 350	1 357
	2-甲基丁酸香叶酯	48.00	90	0.331	1 656	1 586
	异戊酸香叶酯	46.23	99	0.315	1 598	1 613

续表 1

化合物 类型	名称	保留时 间/min	相似度	峰面积百 分含量/%	保留指数	
					计算值	引用值
	β -波旁烯	37.81	98	1.668	1 394	1 391
	β -石竹烯	39.40	98	1.467	1 431	1 427
	去氢白菖蒲烯	43.56	99	0.874	1 531	1 531
	β -葑澄茄烯	37.38	95	0.752	1 385	1 390
	α -依兰油烯	42.57	91	0.687	1 506	1 501
	α -蒎烯	14.89	99	0.561	938	940
	α -榄香烯	40.56	98	0.556	1 458	1 492
	β -愈创木烯	40.18	97	0.537	1 450	1 490
	δ -杜松烯	43.22	95	0.415	1 523	1 524
	α -蛇麻烯	40.90	99	0.371	1 467	1 461
	β -杜松烯	41.48	99	0.330	1 480	1 501
烷烯	α -芹子烯	42.06	96	0.290	1 494	1 493
烃类	别香橙烯	41.10	93	0.280	1 471	1 471
	α -葑澄茄烯	36.00	92	0.273	1 354	1 355
	(E)- β -罗勒烯	20.75	90	0.261	1 048	1 049
	柠檬烯	19.96	99	0.204	1 033	1 033
	γ -依兰油烯	40.37	99	0.201	1 454	1 478
	γ -杜松烯	42.77	95	0.091	1 511	1 515
	月桂烯	17.69	98	0.084	991	991
	α -古芸香烯	38.79	98	0.082	1 417	1 412
	α -松油烯	18.13	99	0.061	999	1 019
	α -杜松烯	44.15	95	0.055	1 546	1 537
	α -水芹烯	18.70	91	0.041	1 010	1 006
	γ -芹子烯	39.90	99	0.034	1 443	1 465
	玫瑰醚	24.29	99	1.777	1 114	1 115
	大根香叶烯 D	41.96	99	0.712	1 492	1 485
其它	石竹烯氧化物	46.13	96	0.339	1 595	1 594
	对伞花烃	19.68	93	0.145	1 028	1 025
	2,2,6-三甲基-6-乙烷基四氢吡喃	16.75	92	0.123	973	964

† 保留指数(计算值)由自我开发的保留指数软件计算而得,保留指数(引用值)采用文献[15]的数据;醇类、醛类、酮类、酯类、烷烯烃类、其它类化合物峰面积含量分别为 47.193%,0.450%,7.267%,17.623%,10.176%,3.056%。

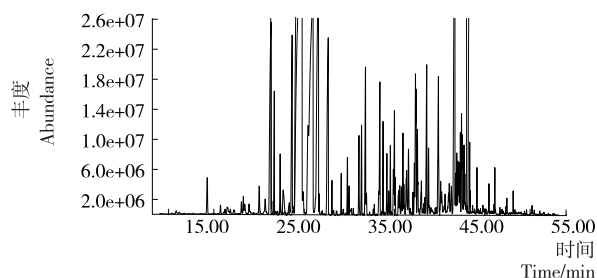


图 1 香叶油气相色谱/质谱总离子流色谱图
Figure 1 Total ion current chromatogram of GC/MS of geranium oil

利用 GC/MS 法结合保留指数辅助定性香叶油中 61 个化合物,占其化学成分 86.217%,其中醇类 14 个,醛类 1 个,酮类 5 个,酯类 12 个,烷烯烃类 24 个,其它化合物 5 个。主

要化学成分(含量大于 1%):香茅醇、香叶醇、 β -桉叶油醇、甲酸香茅酯、芳樟醇、薄荷酮、甲酸香叶酯、异薄荷酮、惕各酸香叶酯、玫瑰醚、 β -波旁烯、丁酸香叶酯、 β -石竹烯。分析结果与国内外报道^[9-13]相比,香叶油中主要成分相似,其中香茅醇、香叶醇含量最高,但具体含量存在差异,这可能与原料品种、产地等因素有关。另外,本试验采用 GC/MS 结合保留指数辅助定性香叶油中同系物及同分异构体,提高了定性准确性,克服了仅凭 GC/MS 定性不足。

2.2 香叶油的香气评价

香叶油具有如玫瑰和香叶醇所特有的甜香气以及薄荷气息,蜜甜,微清,香气稳定持久,有苦味。广泛用于调配香水、香皂、化妆品等日化产品香精中,也可少量用于食用、烟用香精中。从分析结果可以看出,香叶油成分复杂,其中各

种化学成分对其香味贡献不同,因此,评价其成分香味特征,分析其主要致香成分,为其应用及品控提供可靠依据。分析结果见表2。

从香气评价结果可以看出:香茅醇、香叶醇、甲酸香茅

酯、甲酸香叶酯、惕各酸香叶酯、丁酸香叶酯、玫瑰醚等使具有如玫瑰和香叶醇所特有的甜香气,薄荷酮、异薄荷酮等使其有薄荷气息,微清,有苦味。玫瑰香、甜香、薄荷香等构成了香叶油特征香气。

表2 香气评价
Table 2 Aroma evaluation

名称	香气特征	名称	香气特征
香茅醇	似玫瑰的香味	β -愈创木烯	甜香,木香,水果香,膏香
香叶醇	甜香,玫瑰花香;水果味	δ -杜松烯	干木香,略有辛香和焦香的特征香(混合物的香味)
芳樟醇	花香,木香,微弱的柑橘香;花甜香味	α -蛇麻烯	柔和的木香,壤香和辛香
α -松油醇	甜香,铃兰花香,白柠檬香;稀释后的甜味很强	石竹烯氧化物	干木香,弱的柏木香,似烟草的香韵
(Z)-氧化芳樟醇5(呋喃型)	强烈清新的花香,木香,甜香	别香橙烯	似葡萄的水果甜香;水果和花香味
绿花白千层醇	薄荷油中甜香、花香的贡献者	(E)- β -罗勒烯	甜香,萜烯香,青香和水果香
(E)-氧化芳樟醇5(呋喃型)	强烈清新的花香,木香,甜香	柠檬烯	清新的桔子和柑橘香,甜香,烷烃气息
甲酸香茅酯	强烈的青叶和玫瑰气息;果甜味和青香味	月桂烯	树脂香,萜烯香;膏香味,药草味和柑桔味
甲酸香叶酯	清新的水果香,青香,玫瑰香和叶香;水果味、青香味和辛香味	α -松油烯	令人提升的柠檬香和柑桔香,具有萜烯香
惕各酸香叶酯	果香,似天竺葵香	α -水芹烯	似花椒的辛香,木香,薄荷香;辛香味和柑桔味
丁酸香叶酯	甜香,浓郁的水果香,似玫瑰香,似苹果和杏子的香气	薄荷酮	薄荷香,药草香(不含青香),干木香
丁酸香茅酯	玫瑰香,似苹果和李子的果甜香,叶的气息	异薄荷酮	强烈的药草香和薄荷香;药草味、苦味和薄荷味
丙酸香茅酯	果甜香,玫瑰香,浆果香;似李子的果甜味	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	似肉桂的辛甜香,坚果香;青草味,甜味
乙酸香叶酯	果香,花甜香,玫瑰香;稀释后,似苹果香	6,10,14-三甲基-2-十五酮	清新气息,花甜香,茉莉香及芹菜香
惕各酸香茅酯	有温柔的花香香气,带有玫瑰和草香香韵	6-甲基-5-庚烯-2-酮	油香,青香,药草香;青香味和水果味
乙酸香茅酯	清新的玫瑰香、果香;略有杏子味	玫瑰醚	金属气息,青草香,有几分天竺葵香和胡萝卜叶香
惕各酸香茅酯	浓郁的似苹果和桃子的果甜香,略有玫瑰香	橙花醛	强烈的柑橘香和柠檬香,微有药草香和脂肪香
β -波旁烯	木香,略有壤香,另有薄荷气息	对伞花烃	强烈的萜烯样的特征气息,氧化柠檬油的香韵
β -石竹烯	干木香,辛香;弱的木香味,略有苦味	2,2,6-三甲基-6-乙基四氢吡喃	新鲜的樟脑气息,稀释后变为药草香
β -葑澄茄烯	温和的木香和膏香	香茅酸	脂蜡味,浓郁的花香,以及玫瑰花香味和似西瓜的水果味
大根香叶烯D	木香,薄荷香,干草香,茶香,烟草香		

2.3 保留指数在定性鉴定中的应用

选取香叶油中薄荷酮、氧化芳樟醇5(呋喃型)两种化合物为例,经质谱检索,保留指数辅助定性,能够准确将其不同的构型区分。表3列举了保留指数用于薄荷酮、氧化芳樟醇5(呋喃型)定性鉴定实例。

本试验对香叶油中61种化学成分定性过程中,仅利用质谱定性,其中很多同分异构体及同系物很难确定其构型,如表3所示,薄荷酮、氧化芳樟醇5(呋喃型)过质谱检索,其中异薄荷、薄荷酮两者相似度分别为98、97,(Z)-氧化芳樟醇5(呋喃型)、(E)-氧化芳樟醇5(呋喃型)两者相似度为99、98,无法准确的判断,而结合保留指数,可确认为异薄荷酮、(Z)-氧化芳樟醇5(呋喃型)。因此,在天然香原料成分定性过程中,保留指数可以作为一种辅助手段用于定性。

3 结论

天然香原料中因其成分复杂,为了尽可能让各个成分在

表3 保留指数在香叶油香味成分鉴定中的应用实例[†]

Table 3 Application instance of using retention index for identifying aroma components in geranium oil

待确认化合物	相似度	质谱库检索	保留指数		确认化合物
			引用值	实测值	
薄荷酮	98	异薄荷酮	1 165	1 162	异薄荷酮
	97	薄荷酮	1 170		
氧化芳樟醇5(呋喃型)	99	(Z)-氧化芳樟醇5(呋喃型)	1 077	1 074	(Z)-氧化芳樟醇5(呋喃型)
		(E)-氧化芳樟醇5(呋喃型)	1 092		
	98	(E)-氧化芳樟醇5(呋喃型)			

[†] 保留指数(计算值)由自我开发的保留指数软件计算而得,保留指数(引用值)采用文献[15]的数据。

比较明显,而微波强度影响最小,并且微波对米的品质影响较大,因此还需要进一步研究微波处理对留胚米其他品质的影响。对响应曲面法得到的储藏参数在实际储藏条件下验证,使留胚米的储藏期达到一年以上,解决了留胚米储藏期短的问题,也为留胚米生产及销售企业在今后的生产流通及储藏方面提供了一定的理论依据。但是本文只是以脂肪酸值为指标对延长储藏时间进行了研究,在今后的研究工作中,还应考虑储藏方式对其他品质指标的影响,如感官品质和营养指标,探索更有效、更合适的留胚米储藏调控方法。

参考文献

- [1] 周显青. 稻谷精深加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 147-150.
- [2] 刘秀芳, 阮少兰. 留胚米生产技术[J]. 食品加工, 2008(6): 39-41.
- [3] 金增辉. 留胚米[J]. 粮食加工, 2007, 32(2): 39-40.
- [4] 严松. 一种留胚发芽白米及其制备方法: 中国, 201310302759.0 [P]. 2013-11-27.
- [5] 李素梅. 糙米低温储存的实践经验[J]. 粮食与饲料工业, 1999, 3(9): 19.
- [6] 高权河, 吕季璋. 不同气调储藏方式对大米品质的影响研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1993(2): 86-92.
- [7] REDDY K R N, REDDY C S, MURALIDHARAN K. Potential of botanicals and biocontrol agents on growth and aflatoxin pro-

duction by *Aspergillus flavus* infecting rice grains[J]. *Food Control*, 2009(20): 173-178.

- [8] 宋强华. 小包装大米的脱氧剂保鲜[J]. 适用技术市场, 1992(12): 11-13.
- [9] 何培健, 王大志, 陈利琴, 等. 纳米技术在药品和食品包装中的应用[J]. 海峡药学, 2006, 18(4): 197-199.
- [10] ZHAO Si-ming, QIU Cheng-guang, XIONG Shan-bai, et al. A thermal lethal model of rice weevils subjected to microwave irradiation[J]. *J. stored Prod. Res.*, 2007(43): 430-434.
- [11] ZHAO Si-ming, XIONG Shan-bai, QIU Cheng-guang, et al. Effect of microwaves on rice quality[J]. *J. Stored Prod. Res.*, 2007(43): 496-502.
- [12] 田其英. 微波处理对蔬菜贮藏期生理及品质的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 172-175.
- [13] 祝水兰, 刘光宪, 周中英, 等. 包装方式对花生仁气体密闭贮藏过程中脂肪的影响[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 174-177.
- [14] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 贮藏温度和包装方法对两种叶菜采后品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 175-178.
- [15] 王玉娟, 张瑛, 吴跃进, 等. 脂肪酶活性对稻谷储藏特性影响的初步研究及其基因连锁的 SCAR 标记[J]. 高技术通讯, 2006, 16(8): 848-852.
- [16] 叶霞, 李学刚, 张毅, 等. 稻谷中游离脂肪酸与脂肪酶活力的相关性[J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2004, 26(1): 75-78, 80.
- [17] 张瑛. 脂肪酶和脂肪氧化酶影响稻谷储藏的作用机制研究[D]. 合肥: 中国科学院合肥物质科学研究院, 2007: 6-7.

(上接第 28 页)

色谱图上实现基线分离,本试验通过优化色谱条件(不同色谱柱、不同程序升温条件),实现了香叶油中各成分基线分离。采用 GC/MS 结合保留指数对香叶油中成分进行定性分析,减少了定性过程中错判及误判,提高了定性的准确性。

利用 GC/MS 对香叶油中成分进行了分析,通过质谱库自动检索和人工解谱,辅助保留指数比对,最终确定了香叶油中 61 个化合物,占其化学成分 86.217%。采用保留指数来鉴别天然香原料中同系物及同分异构体,提高了对其成分定性准确性。通过香气分析,确定了香叶油关键致香成分: 香茅醇、香叶醇、甲酸香茅酯、薄荷酮、甲酸香叶酯、异薄荷酮、惕各酸香叶酯、玫瑰醚、丁酸香叶酯等,通过上述研究实现了对香叶油中香味成分的准确定性,不足在于未对其香味成分进行准确定量,该研究结果为香叶油产品开发和应用提供了理论据。

参考文献

- [1] 张承曾. 天然香料手册[M]. 北京: 轻工业出版社, 1989: 196-198.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十三卷, 第一分册[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 86.
- [3] 王颖, 锡锡洪, 李爱军. 香料前体香叶醇- β -D-葡萄糖苷的合成、纯化与表征[J]. 食品与机械, 2006, 22(3): 47-50.
- [4] 易清元, 宋东光, 江明, 等. 香叶油的研究进展[J]. 香料香精化妆品, 2008(3): 40-43.

- [5] 郑青荷, 姜萍, 周晓兰. 香叶天竺葵鲜叶挥发油的镇咳活性成分分析[J]. 生物质化学工程, 2011, 45(1): 37-40.
- [6] 党璇, 张晓珍, 姚默, 等. 香叶天竺葵药理学研究概况[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(31): 19 095-19 096.
- [7] 梁晟, 李雅文, 赵晨曦, 等. GC—MS 结合保留指数对中药挥发油的定性[J]. 分析测试学报, 2008, 27(1): 84-87.
- [8] 易清元, 夏凯国, 江明, 等. 香叶天竺葵离体芽的培养及生产应用研究[J]. 西南农业学报, 2010, 23(2): 561-564.
- [9] 易清元, 夏凯国, 任洪涛, 等. 不同种苗香叶油的化学成分[J]. 香料香精化妆品, 2010(4): 22-25.
- [10] 易清元, 江明, 杨艳琼, 等. 不同倍性种苗香叶油的化学成分[J]. 香料香精化妆品, 2013(3): 22-23.
- [11] 易清元, 江明, 杨艳琼, 等. 香叶天竺葵多倍体精油的化学成分研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(3): 244-249.
- [12] KIRAN G D, BABU V K. Variation in essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) distilled by different distillation techniques[J]. *Flavour & Fragrance Journal*, 2005, 20(2): 222-231.
- [13] GOMESP B, MATAV G, RODRIGUESA E. Production of rose geranium oil using supercritical fluid extraction[J]. *Journal of Supercritical Fluids*, 2007, 41(1): 50-60.
- [14] KSHIRSAGAR R P, KOTHAMASU M V, PATIL M A, et al. Geranium oil ameliorates endothelial dysfunction in high fat high sucrose diet induced metabolic complications in rats[J]. *Journal of Functional Foods*, 2015(15): 284-293.
- [15] Leffingwell. ESO 2006 [DB/CD]. Georgia: Bolens Aroma Chemical Information Service, 2010.