

文章编号: 1674-8085(2019)04-0087-05

GC-MS 分析栀子花香精成分

王利国¹, *唐 灿²

(西南医科大学附属中医医院, 四川, 泸州 646000; 2.西南医科大学药学院, 四川, 泸州 646000)

摘要: **目的** 分析栀子花香精成分。 **方法** 采用加入无水乙醇超声提取, 栀子花(g)与无水乙醇(mL)料液比为1:15, 浸泡60 min, 超声提取每次60 min, 提取2次, 合并滤液得到样品溶液。采用气相色谱-质谱 GC-MS 分析样品溶液主要化学成分。 **结果** 栀子花香精分离出76个化学成分, 其中13个化学成分匹配度不低于90%, 占栀子花香精成分总量的40.97%, 其中含量不低于1%有26个化学成分, 主要为: 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl) (5-羟甲基-2-呋喃甲醛) 7.86%, 1,3-Propanediol, 2-(hydroxymethyl)-2-nitro (三羟甲基硝基甲烷) 11.81%, β -D-Glucopyranoside, methyl (丁基- β -D-吡喃葡萄糖) 10.72%, α -D-Glucopyranoside, methyl (α -D-甲基葡萄糖苷) 4.40%, (1R,3R,4R,5R)-(-)-Quinic acid (右旋奎宁酸) 5.95%。 **结论** 通过检索 NIST08 谱图库, 栀子花香精成分主要是醇类、酯类、萜类、烷烃、烯烃类、酮类、脂肪酸类等, 并通过面积归一化法对上述化合物进行了相对含量的测定。

关键词: 栀子花; 香精成分; 气相色谱-质谱法 (GC-MS); 面积归一化法

中图分类号: R284.2

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2019.04.017

ANALYSIS OF ESSENCE COMPONENTS OF FLOWER IN *GARDENIA JASMIMOIDES* BY GC-MS

WANG Li-guo¹, *TANG Can²

(1. The T.C.M. Hospital Affiliated To Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China;

2. School of Pharmacy, Southwest Medical University, Luzhou, Sichuan 646000, China)

Abstract Objective: To analyze the essence components of flower in *Gardenia jasminoides*. **Methods:** The flowers were extracted twice with 15 times alcohol to the material for 60 min after being soaking for 60 min by ultrasonic extraction, then the filtrates were merged as the sample solution. The main components of sample solution were analyzed by GC-MS. **Results:** There were 76 components in the flower essence of *G. jasminoids*, 13 chemical components among them had the matching degree $\geq 90\%$, which accounted for 40.97% of the total components. There were 26 chemical components which content were $\geq 1\%$ as 2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl) of 7.86%, 1,3-Propanediol, 2-(hydroxymethyl)-2-nitro of 11.81%, β -D-Glucopyranoside, methyl of 10.72%, α -D-Glucopyranoside, methyl of 4.40%, (1R,3R,4R,5R)-(-)-Quinic acid of 5.95%. **Conclusion:** The main components of the flower essence of *G. jasminoids* were alcohols, esters, terpenes, alkanes, olefins, ketones and fatty acids.

Key words: the essence components; flower of *Gardenia jasminoids*; GC-MS; area normalization method

收稿日期: 2019-02-21; 修改日期: 2019-04-17

基金项目: 四川省科技厅-泸州市政府-泸州医学院三方联合专项 (14ZC0045); 四川省科技支撑计划项目 (2010SZ0049, 2011SZ0048); 泸州市政府-泸州医学院联合专项 (2013LZL.Y-K69); 四川省教育厅重点科研项目 (2005A071)

作者简介: 王利国(1969-), 女, 四川泸州人, 主管药剂师, 主要从事药剂研究(E-mail: tsswlg@163.com);

*唐 灿(1968-), 男, 四川广安人, 教授, 硕士, 硕士生导师, 主要从事中药品质的研究(E-mail: Tang9670625@163.com).

梔子花为茜草科植物山梔子 (*Gardenia jasminoides* Ellis) 和大花梔子 (*G. J. var. grandiflora* Nakai.) 及观赏梔子的花朵, 多数在每年 5 至 7 月开花, 花色洁白无暇, 气香浓郁, 是我国著名的八大香花之一^[1]。梔子又名黄梔子、山枝子、大红梔(江苏)、白蟬(广东), 主产于四川、重庆、湖北、江西、云南、贵州、湖南、福建、浙江等长江流域地区, 全国大部分地区有栽培, 南方有野生。梔子系常绿灌木, 花单生于枝顶, 芳香, 花梗短, 萼管倒圆锥形, 有棱, 裂片线形。花冠未开时旋卷, 开放后呈高脚杯状, 5 至多裂, 初为白色, 后变为乳黄色。山梔子花多为单瓣, 大花梔子及观赏梔子的花朵多为叠瓣。植物精油是香料工业的重要原料和出口物质。梔子花具有一种令人非常愉快的香味, 目前关于梔子花香成分的研究报道, 主要集中在梔子花超声提取工艺的优选研究^[2]、梔子花挥发油超临界 CO₂ 萃取以及通过超临界 CO₂ 萃取分析其挥发油化学成分的分析等^[3]。梔子花精油水蒸汽蒸馏的提取因该方法受高温作用, 对梔子花精油头香影响

很大, 得到的精油质量较差, 没有天然鲜花气息, 收率也低^[4]。然而梔子花香成分的气相色谱-质谱联用技术研究报道较少, 不同花期的梔子花的香气成分存在一定差异, 包括香气的特征以及香气的浓郁程度^[5]。本实验通过超声提取优选工艺提取梔子花香成分, 采用气相色谱-质谱法 (GC-MS) 分析不同花期的香精成分, 为梔子花的日用化妆品的开发利用提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 仪器、药品与试剂

梔子花采自四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村和天仙镇天仙硐, 经课题组蒲清荣主任中药师鉴定品种为茜草科山梔子 (*Gardenia jasminoides* Ellis) 和大花梔子 (*G. J. var. grandiflora* Nakai.)。采摘后直接冷冻保存, 防止成分挥发。试验所用各梔子花品种、采集地与编号如表 1。

表 1 梔子花采集地、品种与编号
Table 1 Collection sites, varieties and serial numbers of Gardenia flowers

序号	采集地	品种	编号
1	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ1
2	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ2
3	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ3
4	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ4
5	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ5
6	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ6
7	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ7
8	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ8
9	四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村	山梔子	ZJ9

日本岛津 GC-MS--QP2010plus 气质联用仪; Agilent 7890A 气相色谱仪; DB-5MS 弹性毛细管色谱柱 (30 m×0.25 mm×0.25 μm); AS3120A 超声波清洗仪 (天津奥特赛恩斯仪器有限公司); 电子天平 (上海民析精密科学仪器有线公司); 无水乙醇 (分析纯), 重庆川东化工 (集团) 有限公司; 150 mL 磨口塞锥形瓶; 定量滤纸; 500 mL 烧杯; 5 mL、25 mL 容量瓶; 0.22 μm 微孔滤膜。

1.2 梔子花香成分的提取

按照正交试验最佳工艺提取梔子花香成分: 无水乙醇加入量为梔子花的 15 倍, 浸泡 60 min, 超声提

取 60 min, 提取 2 次, 合并滤液即得供试品溶液^[6]。

1.3 GC-2010 色谱与质谱条件

柱箱温度: 40.0 °C, 进样温度: 280.00 °C; 进样模式: 分流; 流量控制模式: 总流量: 14.0 mL/min、柱流量: 1.00 mL/min、线速度: 36.1 cm/sec、吹扫流量: 3.0 mL/min、分流比: 10.0; 压力: 49.5 kPa、高压进样模式: 关;

载气节省器: 关; 分流阻尼固定: 关; 柱温箱温度程序升温: 速率 温度(°C) 保持时间(min): - 40.0 5.00; 10.00 150.0 5.00; 4.00 230.0 10.00; 5.00 280.0 5.00; 5.00 290.0 5.00。

< 加热单元检查完毕 >: 柱温箱: 是; SPL1: 是; MS: 是; < 检测器(FTD)检查完毕 >; < 基线移动检查完毕 >; < 进样流量检查完毕 >; SPL1 载气: 是; SPL1 吹扫: 是; < APC 流量检查完毕 >; < 检测器 APC 流量检查完毕 >; 外部等待: 否; 平衡时间: 3.0 min; [GC 程序]: [GCMS-QP2010 Plus]; 离子源温度: 200.00 ℃; 接口温度: 220.00 ℃; 溶剂延迟时间: 3.00 min; 检测器增益方式: 相对; 检测器增益: 0.00 kV; 阈值: 0; [MS 表]: 开始时间: 3.50 min; 结束时间: 73.00 min; ACQ 方式: Scan; 间隔: 0.50sec; 扫描速度: 1250; 开始 m/z: 33.00;

结束 m/z :600.00; 样品进样单元: GC; [MS 程序]: 使用 MS 程序: 关。

2 方法与结果

在上述色谱与质谱条件下, 得到栀子花香精提取物总离子流图, 如图 1。使用 Nist08 谱图库进行检索分析, 共分离出 76 个化学成分。其中 13 个化学成分匹配度不低于 90%, 占栀子花香精成分总量的 40.97%; 其中含量不低于 1%有 24 个化学成分。栀子花香精成分鉴定结果见表 2。

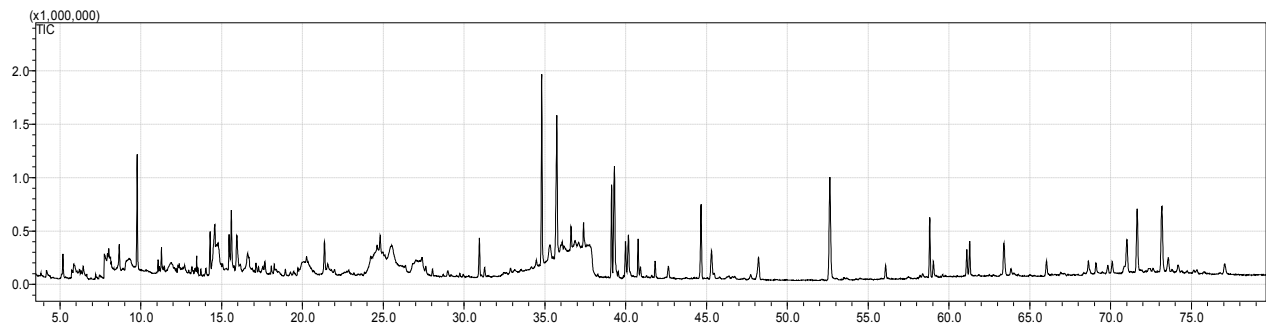


图 1 总离子流图

Fig.1 Total ion flow diagram

表 2 栀子花香精成分

Table 2 The essence components from Gardenia flowers

峰号	保留时间	化学成分名称	CAS 号	峰面积%	匹配度	分子式	摩尔质量
1	5.124	2-Propenoic acid,oxiranylmethyl ester	106-90-1	0.18	84	C ₆ H ₈ O ₃	128
2	5.647	2-Propanone,1-hydroxy-	116-09-6	0.19	88	C ₃ H ₆ O ₂	74
3	6.591	Formamide, N-methoxy-	34005-41-9	0.84	81	C ₂ H ₅ NO ₂	75
4	7.319	Propanal,2,3-dihydroxy-	367-47-5	1.40	73	C ₃ H ₆ O ₃	90
5	7.437	Ethanol,2,2-diethoxy-	621-63-6	0.92	82	C ₆ H ₁₄ O ₃	134
6	7.966	Butanoic acid,2-methyl-	116-53-0	0.65	82	C ₅ H ₁₀ O ₂	102
7	8.405	3-Methyl-3-butenic acid	1617-31-8	0.16	82	C ₅ H ₈ O ₂	100
8	8.574	D-Cycloserine	68-41-7	0.51	80	C ₃ H ₆ N ₂ O ₂	102
9	8.908	dl-Glyceraldehyde dimer	26793-98-6	0.63	79	C ₆ H ₁₂ O ₆	180
10	9.123	S-Methyl 2-propenethioate	5883-16-9	0.12	70	C ₄ H ₆ OS	102
11	9.682	2(3H)-Furanone, 5-methyl-	591-12-8	1.02	85	C ₅ H ₆ O ₂	98
12	10.896	dl-Glyceraldehyde diethylacetal	10487-05-5	0.06	72	C ₇ H ₁₆ O ₄	164
13	11.012	2,4-Dihydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furan-3-one	10230-62-3	0.35	81	C ₆ H ₈ O ₄	144
14	11.126	Methoxyacetic acid, 2-methylpropyl ester	0-00-0	0.10	78	C ₇ H ₁₄ O ₃	146
15	11.227	Cyclopentanone	120-92-3	0.20	72	C ₅ H ₈ O	84
16	11.377	N-(2-Sulfanylethyl)-2-oxopropanamide	0-00-0	0.13	69	C ₅ H ₉ NO ₂ S	147
17	12.909	Cyclopentane,1-acetyl-1,2-epoxy-	15121-02-5	0.37	85	C ₇ H ₁₀ O ₂	126
18	13.425	1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-	78-70-6	0.10	83	C ₁₀ H ₁₈ O	154
19	13.505	2-Propenal,3-(2-furanyl)-	623-30-3	0.10	74	C ₇ H ₆ O ₂	122
20	13.672	Phenylethyl Alcohol	60-12-8	0.10	89	C ₈ H ₁₀ O	122
21	13.936	2-Propanamine,N-methyl-N-nitroso-	30533-08-5	0.10	80	C ₄ H ₁₀ N ₂ O	102
22	14.207	4H-Pyran-4-one,2,3-dihydro-3,5-dihydroxy-6-methyl-	28564-83-2	0.94	83	C ₆ H ₈ O ₄	144
23	15.426	Benzaldehyde,4-methyl-	104-87-0	0.27	76	C ₈ H ₈ O	120
24	15.562	2-Furancarboxaldehyde, 5-(hydroxymethyl)-	67-47-0	7.86	91	C ₆ H ₆ O ₃	126
25	15.851	1,2,3-Propanetriol, 1-acetate	106-61-6	0.94	78	C ₅ H ₁₀ O ₄	134
26	16.525	d-Glycero-d-ido-heptose	0-00-0	3.03	78	C ₇ H ₁₄ O ₇	210
27	17.088	1-Carbmethoxy-3,3-dimethyldiaziridine	54897-23-3	0.43	68	C ₅ H ₁₀ N ₂ O ₂	130
28	17.594	Isosorbide Dinitrate	87-33-2	0.71	81	C ₆ H ₈ N ₂ O ₈	236

续表 2 梔子花香精成分

Table 2 The essence components from Gardenia flowers

峰号	保留时间	化学成分名称	CAS 号	峰面积%	匹配度	分子式	摩尔质量
29	18.034	Pentanoic acid, 2-hydroxy-, methyl ester	7445-76-3	0.34	70	C ₆ H ₁₂ O ₃	132
30	18.212	Benzoic acid,4-formyl-, methyl ester	1571-08-0	0.49	73	C ₉ H ₈ O ₃	164
31	18.456	Succinic acid,3-methylbutyl pentyl ester	0-00-0	0.42	81	C ₁₄ H ₂₆ O ₄	258
32	18.893	Carbonic acid,4-chlorophenyl methyl ester	24260-28-4	0.56	62	C ₈ H ₇ ClO ₃	186
33	20.214	1,3-Propanediol,2-(hydroxymethyl)-2-nitro-	126-11-4	11.81	82	C ₄ H ₉ NO ₅	151
34	24.756	beta.-D-Glucopyranoside, methyl	709-50-2	10.72	92	C ₇ H ₁₄ O ₆	194
35	25.484	9-Oxabicyclo[3.3.1]nonan-2-one, 5-hydroxy-	35519-67-6	4.40	69	C ₈ H ₁₂ O ₃	156
36	27.337	3-O-Methyl-d-glucose	0-00-0	5.95	80	C ₇ H ₁₄ O ₆	194
37	30.884	Ethyl 7,7-diformylhepta-2,4,6-trienoate	98834-94-7	1.94	63	C ₁₁ H ₁₂ O ₄	208
38	31.209	Quinoline-4-carboxylic acid, 2-hydroxy-, methyl este	0-00-0	0.30	63	C ₁₁ H ₉ NO ₃	203
39	32.301	3,7,11,15-Tetramethyl-2-hexadecen-1-ol	102608-53-7	0.14	86	C ₂₀ H ₄₀ O	296
40	32.784	7'-Oxaspiro[cyclopropane-1,4'-tricyclo[3.3.1.0(6,8)]nonan-2'-one]	109637-57-2	0.30	69	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	164
41	34.750	Hexadecanoic acid, methyl ester	112-39-0	3.95	94	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	270
42	35.232	2(3H)-Naphthalenone,4,4a,5,6,7,8-hexahydro-4a-methyl-	826-56-2	0.94	67	C ₁₁ H ₁₆ O	164
43	35.663	Pentadecanoic acid	1002-84-2	3.71	90	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	242
44	36.196	.alpha.-D-Mannofuranoside, 1-O-heptyl-	111570-47-9	0.27	77	C ₁₃ H ₂₆ O ₆	278
45	36.569	Palmitic acid, ethyl ester	628-97-7	1.39	90	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284
46	37.027	Cyclohexanebutanoic acid	4441-63-8	0.38	77	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170
47	37.405	Methyl 18-methylnonadecanoate	0-00-0	0.10	85	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	326
48	39.077	9,12-Octadecadienoic acid(Z,Z)-, methyl ester	112-63-0	2.72	94	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294
49	39.221	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	301-00-8	2.74	89	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	292
50	39.257	Oleic acid, methyl ester	112-62-9	1.80	90	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	296
51	39.493	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-[R*,R*-(E)]]-	150-86-7	0.13	85	C ₂₀ H ₄₀ O	296
52	39.938	17-Octadecynoic acid, methyl ester	0-00-0	1.01	88	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294
53	40.114	Z-7-Tetradecenal	65128-96-3	1.27	87	C ₁₄ H ₂₆ O	210
54	40.711	12-Methyl-E,E-2,13-octadecadien-1-ol	0-00-0	1.08	81	C ₁₉ H ₃₆ O	280
55	40.867	(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	64566-18-3	0.83	83	C ₁₇ H ₃₂ O	252
56	41.551	Eicosanoic acid, ethyl ester	18281-05-5	0.14	86	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	340
58	44.592	Tritetracontane	7098-21-7	1.60	92	C ₄₃ H ₈₈	604
59	45.232	cis-5,8,11-Eicosatrienoic acid, methyl ester	0-00-0	0.71	79	C ₂₁ H ₃₆ O ₂	320
60	45.406	17-Octadecynoic acid, methyl ester	0-00-0	0.21	84	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	294
61	47.648	(17E)-17-Pentatriacontene	6971-40-0	0.29	81	C ₃₅ H ₇₀	490
62	48.143	Sulfurous acid, butyl heptadecyl ester	0-00-0	0.62	90	C ₂₁ H ₄₄ O ₃ S	376
63	52.543	Tetratetracontane\$\$ n-Tetratetracontane	7098-22-8	3.14	91	C ₄₄ H ₉₀	618
64	54.171	13-Tetradecene-11-yn-1-ol	0-00-0	0.07	77	C ₁₄ H ₂₄ O	208
65	54.409	Tricyclo[20.8.0.0(7,16)]triacontane, 1(22),7(16)-diepoxy	0-00-0	0.17	79	C ₃₀ H ₅₂ O ₂	444
66	56.023	Sulfurous acid, butyl octadecyl ester	0-00-0	0.27	90	C ₂₂ H ₄₆ O ₃ S	390
67	58.137	Z,Z-8,10-Hexadecadien-1-ol	0-00-0	0.09	85	C ₁₆ H ₃₀ O	238
68	58.755	Tritetracontane	7098-21-7	1.75	91	C ₄₃ H ₈₈	604
69	58.969	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	23470-00-0	0.40	87	C ₁₉ H ₃₈ O ₄	330
70	63.337	Tritetracontane	7098-21-7	1.44	90	C ₄₃ H ₈₈	604
71	63.768	Hexadecanoic acid, 2-hydroxy-1-(hydroxymethyl)ethyl ester	23470-00-0	0.38	81	C ₁₉ H ₃₈ O ₄	330
72	68.329	1H,3H-Pyrano[3,4-c]pyran-1-one, -ethenyl-6-(.beta.-D-glucopyranosyloxy)-5,6	20831-76-9	0.54	67	C ₁₆ H ₂₀ O ₉	356
73	68.577	Tetratetracontane\$\$ n-Tetratetracontane	7098-22-8	1.11	89	C ₄₄ H ₉₀	618
74	70.286	Formamide, N-(1-pyrenyl)-	103915-43-1	0.30	49	C ₁₇ H ₁₁ NO	245
75	71.430	Cholest-5-en-3-ol(3.beta.)-	57-88-5	1.73	80	C ₂₇ H ₄₆ O	386
76	72.260	Stigmasta-5,22-dien-3-ol, (3.beta.,22E)-	83-48-7	2.67	86	C ₂₉ H ₄₈ O	412

3 讨论

从四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村采集的梔子花中分离出来的成分至少有 76 个之多，匹配度大于或等于 90%的成分共 13 个，占梔子花香精成分总量的 40.97%，其中相对含量大于或等于 1%有 24 个化学成分，含量最高的为 1,3-Propanediol,2-(hydroxymethyl)-2-nitro（三羟甲基硝基甲烷）（11.81%）。

从表 2 可知，梔子花香精成分保留时间 31.209 min 之前的为 15 个碳以下的小分子化合物，以不饱和烯烃、醛类、酮类、酚类等不饱和含氧化合物为主。

本次研究应用 gc-ms 联用分析四川省泸州市纳溪区大渡口镇和丰乡青龙村所产梔子花香精成分，共分析出至少 76 种化合物，为进一步完善梔子花香料和药用资源、化学成分、药理、临床应用提供了重要的科学依据，也为开发泸州产梔子花香料资源提供了重要的基础数据。谭谊谈等学者^[3]，采用

gc-ms 对不同花期栀子花的香气成分进行分析发现栀子花的香气成分有 36 种,主要有酯类、萜烯类、烃类;本研究采用 gc-ms 发现栀子花香精成分除上述成分外,还发现醇类、酮类、脂肪酸类等化学成分。何天平等学者^[4]采用 gc-ms 检测栀子花头香精油化学成分发现芳樟醇含量高达 46.02 %之多。张国良等学者^[7]采用 gc-ms 检测栀子花超声提取液,从中分离出 27 种化学成分,其中萜类物质含量相对较高。黄巧巧等学者^[8]采用固相微萃取方法提取栀子鲜花的头香成分,采用 gc-ms 方法共鉴定了 54 种化学成分,占总峰面积的 99.98%,主要成分(质量分数)依次为合金欢烯(64.86%)、罗勒烯(29.33%)、芳樟醇(2.74%)、惕各酸顺式叶醇酯(0.34%)和苯甲酸甲酯(0.25%)等。因此上述四篇报道中有关栀子花香料成分差异较大,推测主要原因可能与栀子花新鲜程度以及各自提取方法,尤其提取温度与提取压力差异较大有关,有待于进一步深入研究阐明。

参考文献:

- [1] 赵喜兰,常陆林,任丽平. 栀子花挥发油的 GC-MS 的指纹图谱[J].安徽农业科学,2009,37(8):3355-3356.
- [2] 孙嘉婧,唐灿,王子雯. 多指标综合考察巴中产栀子提取工艺[J].中国医院药学杂志,2012,32(4): 255.
- [3] 谭谊谈,薛山,唐会周. 不同花期栀子花的香气成分分析[J].食品科学,2012,33(12):223-227.
- [4] 何天平,陈岩冰,晏家瑛,等. 超临界 CO₂ 萃取栀子花头香精油及其分析应用[J].香料香精化妆品,2011(1): 17-20.
- [5] 陈红,唐灿,黄锐. 优选栀子提取工艺[J].泸州医学院学报,2011,34(1):36-38.
- [6] 王利国,唐灿. 栀子花香精成分超声提取工艺研究[J].井冈山大学学报:自然科学版,2016,37(4):77-88.
- [7] 张国良,沈国军,凌国海,等. 栀子花化学成分的 GC-MS 分析[J].中国园艺文摘,2012(11):13-14-66.
- [8] 黄巧巧,蒋可志,冯建跃,等. 气相色谱/质谱分析栀子花头香成分[J].云南植物研究,2004,26(4):471-474.

(上接第 80 页)

参考文献:

- [1] 范开国. 数控机床多误差元素综合补偿及应用[D].上海:上海交通大学,2012.
- [2] 刘征文. 铣车复合加工中心整机热变形及误差补偿的研究[D].兰州:兰州理工大学,2013.
- [3] 吕程,刘子云,刘子建,等. 广义径向基函数神经网络在热误差建模中的应用[J].光学精密工程,2015,23(6): 1706-1711.
- [4] 刘康,余玲,杨大志. 机床热误差神经网络建模对比实验研究[J].四川理工学院学报:自然科学版,2018,31(2): 21-25.
- [5] 苏铁明,叶三排,孙伟. 基于 FCM 聚类和 RBF 神经网络的机床热误差补偿建模[J].组合机床与自动化加工技术,2011(10):1-4.
- [6] Yu L, Fei S M, Huang J, et al. Trajectory switching control of robotic manipulators based on RBF neural networks [J]. Circuits, Systems and Signal Processing, 2014, 33(4):1119-1133.
- [7] 张捷,李岳,王书亭,等. 基于遗传 RBF 神经网络的高速电主轴热误差建模[J].华中科技大学学报:自然科学版,2018,46(7):74-77.
- [8] 齐爽,王艳平. 模糊等价关系下的犹豫模糊粗糙集及其应用[J].井冈山大学学报:自然科学版,2018,39(5):2-6.
- [9] Ali M Abdulshahed, Andrew P Longstaff, Simon Fletcher, et al. Thermal error modelling of machine tools based on ANFIS with fuzzy c-means clustering using a thermal imaging camera[J].Applied Mathematical Modelling, 2015, 39(7):1838-1851.
- [10] 李振杰,张卫国,王智杰,等. 基于隶属度函数的电力设备红外图像模糊增强算法研究[J].电力设计工程,2018, 26(18):96-100.