Botanical Research 植物学研究, 2017, 6(4), 230-239
Published Online July 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/br
https://doi.org/10.12677/br.2017.64030

Hans汉斯

Variation Analysis of Aroma Components in Flowers of *Wisteria sinensis* in Different Florescence

Yongjun Zhao[1], Xiuhua Song[2], Li Zhai[3], Yizeng Lu[1*], Lei Ge[1], Ning Wang[1], Gangyi Wang[1], Xueyong Zhang[1]

[1]Shandong Forest Germplasm Resources Center, Jinan Shandong
[2]College of Horticulture and Science Engineering, Shandong Agricultural University, Taian Shandong
[3]China Communications Construction Shandong Landscape CO., Ltd., Jinan Shandong
Email: [*]luyizeng@126.com

Received: Jul. 1st, 2017; accepted: Jul. 17th, 2017; published: 2017

Abstract

Objective: To study the variation of the aroma components of the flowers of *Wisteria sinensis* during different flowering stages and so as to lay the foundation for its development and utilization. Method: Solidphase microextraction (SPME) and GC-MS-QP 2010 was used to analyze the aroma components of different flowering stages and the relative content of each it was determined by the peak area. Result: A total of 27 compounds were identified, the main components were alcohols, esters, terpenes, ketones, aldehydes, phenols, nitrogen compounds and other compounds. 17 were common compounds; the other ten components were not reported before, such as 3 1-Butanol, 3-methyl-, 1-Penten-3-ol 2-methyl-, 3-Hexenyl Butyrate, Cinnamic acid methyl ester, β-Bisabolene, E-α-Bergamotene, Citral,Formamidobenzene,3-methyl-1-butanol, 2-methyl-1-penten-3-ol, 3-hexenylbutylate, methyl cinnamate, Citrus aldehyde, citric aldehyde, N-formylaniline, tricyclo [3.1.0.0 (2,4)] hexane, 1,6-diethyl-3-, 6-dimethyl-, trans- and (3E,)-4,8,12-trimethylundecene-1,3,7,11-tetraene. The aroma components and contents of the flowers of *W. sinensis* varied with the flowering periods. The alcohols of the *W. sinensis* were the highest in the bud stage, semi-open period and blooming period respectively, followed by the terpenes and the ketones. The content of terpenes was highest at the end of the bloom and withered period respectively. The correlation analysis of the six major aroma components showed that the correlation between 2-Nonanone and linalool, β-Caryophyllene, E-α-Bergamotene and α-Farnesene was weak. The correlation of the rest of the main aroma components was strong respectively. Conclusion: Different flowering periods might lead to changes in the aroma composition and content of flowers of *W. sinensis*, which could be exploited and used in the best stage according to the demand.

Keywords

Wisteria Sinensis, Flower, Florescence, Aroma Components, Solid Phase Microextraction (SPME), GC-MS

[*]通讯作者。

文章引用: 赵永军, 宋秀华, 翟利, 鲁仪增, 葛磊, 王宁, 王刚毅, 张学勇. 不同花期紫藤花的香气成分变异分析[J]. 植物学研究, 2017, 6(4): 230-239. https://doi.org/10.12677/br.2017.64030

不同花期紫藤花的香气成分变异分析

赵永军[1]，宋秀华[2]，翟　利[3]，鲁仪增[1*]，葛　磊[1]，王　宁[1]，王刚毅[1]，张学勇[1]

[1]山东省林木种质资源中心，山东 济南
[2]山东农业大学园艺科学与工程学院，山东 泰安
[3]山东中交园林有限公司，山东 济南
Email: *luyizeng@126.com

收稿日期：2017年7月1日；录用日期：2017年7月17日；发布日期：2017年7月20日

摘　要

目的：探讨不同花期紫藤花的香气成分变异，为紫藤开发利用奠定基础。方法：采用顶空固相微萃取结合GC-MS-QP 2010 plus气相色谱质谱联用分析技术，检测不同开花期紫藤花的香气成分，用色谱峰面积法测定各香气成分相对含量。结果：共鉴定出27种化合物，主要由醇类、酯类、萜烯类、酮类、醛类、酚类、含氮化合物和其他化合物等8类物质组成，其中17种为共有化合物，新检测到3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-戊烯-3醇、3-己烯丁酯、肉桂酸甲酯、β-甜没药烯、反式-α-香柑油烯、柠檬醛、N-甲酰苯胺、Tricyclo[3.1.0.0(2,4)]hexane,6-diethyl-3,6-dimethyl-, trans- 和 (3E,)-4,8,12-Trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene等10种化合物。紫藤花的香气成分及含量随着花期不同而存在差异，蕾期、半开期、盛开期紫藤花的香气成分均以醇类化合物含量最高，其次为萜烯类化合物，酮类化合物的含量再次之。盛开末期和枯萎期的香气成分则均以萜烯类化合物含量最高。6种主要香气成分相关分析表明，除2-壬酮与芳樟醇、β-石竹烯、反式-α-香柑油烯和α-金合欢烯等相关性较弱外，其余主要香气成分之间均具有较强的相关性。结论：花期不同，导致紫藤花的香气成分及其含量发生改变，可根据需求在最佳阶段加以开发利用。

关键词

紫藤花，花，花期，香气成分，固相微萃取，气相色谱－质谱联用

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

紫藤(*Wisteria sinensis*)为豆科(Leguminosae)紫藤属(*Wisteria*)落叶藤本，主要分布于河北、山西、陕西、河南、安徽、江苏、浙江、福建、江西、湖北、湖南等省，是各地广泛栽培的重要观赏花卉，也是集药用、食用、香料、工业用途的多功能树种[1]。

紫藤全身是宝，其根、茎、叶、花、瘤、果实、种子及其次生代谢物等在食品、药用及化妆保健等方面都有很强的应用开发价值[2]-[17]。花的芳香使人身心舒畅，花香作为观赏花卉的重要特征指标受到广泛关注。近年来，随着技术的进步及对紫藤资源的深入开发，国内外诸多学者对紫藤及日本紫藤(*W. floribunda*)花的香气成分进行了广泛研究[18]-[28]。其主要采取的研究方法有水蒸气蒸馏法取精油结合GC-MS 技术研究挥发物[17] [18] [23]、动态顶空气体循环采集法结合热脱附－气相色谱－质谱(TDSGC-MS)

[19] [26]、水蒸汽蒸馏法及超声协助水蒸汽蒸馏提取紫藤花挥发油结合气相色谱－质谱－数据系统分析法[20]、采用固相微萃取(SPME)结合气相色谱－质谱法(GC-MS) [22] [23] [27]、自制挥发油提取器结合毛细管气相色谱－质谱法[24]等，不同研究方法对测定结果有一定影响。并且，不同花期紫藤、日本紫藤花的香气成分不尽相同[19] [21] [22]、不同产地的紫藤花的香气主要成分存在差异[17] [18] [20]，并且可能含特有化学成分[18]。目前，山东栽培紫藤不同花期下的香气成分研究尚处于起步阶段，未见相关报道。

为全面了解山东栽培紫藤花的香气成分变异情况，本试验采用固相微萃取吸附富集紫藤花的香气成分，然后用 GC-MS 技术进行分析，以期对紫藤花的香气成分研究与其开发利用，提供重要参考。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

4 月下旬，选择泰安市区紫藤(*W. sinensis*)绿化观赏树作为采集母树。

参照文献[21]，将紫藤花花序的单花花期分为蕾期、半开期、盛开期、盛开末期和枯萎期(图 1)。不同开花期的紫藤花均采自同一株紫藤母树向阳部位，采后立即进行分析。

2.2. 测定方法

香气成分采集与测定(SPME-GC-MS)：采用固相微萃取法(SPME)结合日本岛津公司生产的 GC-MS-QP 2010 plus 气相色谱质谱联用仪。称取紫藤花 5 g，随后将其放入 100 ml 萃取瓶中，铝箔纸封口。用 65 μm PDMS/DVB 萃取头，在 30℃温度中顶空萃取 45 min，然后将萃取头插入 GC-MS 进样口中，于 250℃解析 3 min。

色谱条件：色谱柱为 RTX-5MS (60 m × 0.25 mm，0.25 μm)，进样量为 1 μL，载气为 99.999%的 He 气，柱流速度 1.00 mL·min^{-1}，分流比 5: 1，程序升温，色谱柱的起始温度 40℃，保持 2 min，以 5℃·min^{-1} 上升至 90℃，再以 10℃·min^{-1} 上升至 120℃，随后以 5℃·min^{-1} 上升至 250℃保持 5 min。

质谱条件：EI 电离源，电子能量 700 eV，离子源温度为 200℃，接口温度为 230℃，全扫描模式(SCAN)，扫描范围 45~450 m·z^{-1}。

化合物定性与定量分析：经 NIST14 和 NIST14S 标准谱库检索定性，按 SI 相似度 > 80%的原则定性分析，取各化合物的峰面积法计算其相对含量。

利用 Excel2010 整理统计、利用 SPSS19.0 进行分析。

3. 结果与分析

3.1. 不同花期紫藤花的香气成分分析

按上述试验条件对不同花期的紫藤花进行取样、测定，不同花期紫藤花香气成分总离子流色谱图，见图 2~图 6。

(a) (b) (c) (d) (e)

Figure 1. Flowering state of *W. sinensis*. (a) Bud stage; (b) Semi-open period; (c) Blooming period; (d) Flowering end; (e) Withering period

图 1. 紫藤花期状态。(a)蕾期；(b)半开期；(c)盛开期；(d)盛开末期；(e)枯萎期

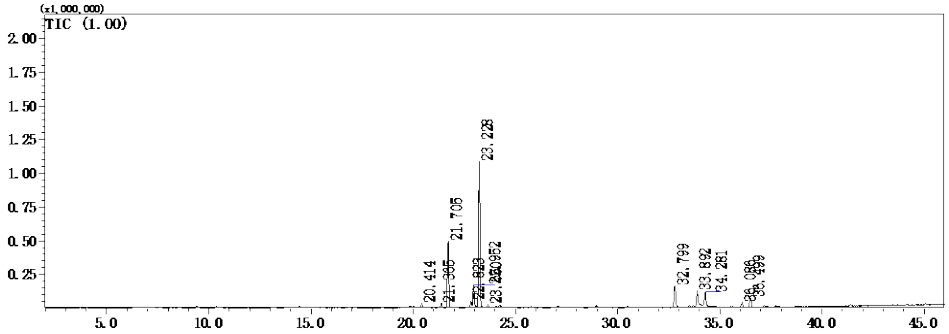

Figure 2. TIC(Total ion current chromatogram)of the aroma component from flowers of *W. sinensis* in the bud stage
图 2. 蕾期紫藤花香气成分 GC-MS 总离子流图

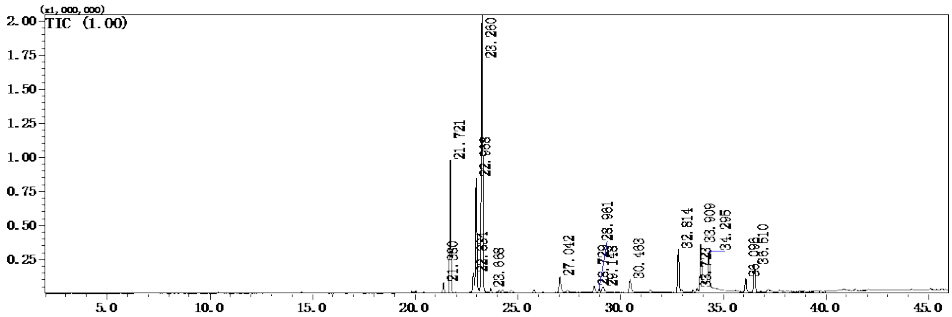

Figure 3. TIC(Total ion current chromatogram)of the aroma component from flowers of *W. sinensis* in the semi-open period
图 3. 半开期紫藤花香气成分 GC-MS 总离子流图

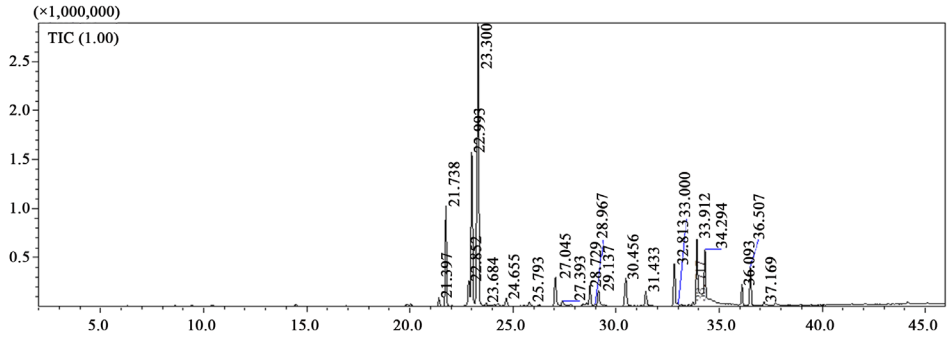

Figure 4. TIC (Total ion current chromatogram) of the aroma component from flowers of *W. sinensis* in the blooming period
图 4. 盛开期紫藤花香气成分 GC-MS 总离子流图

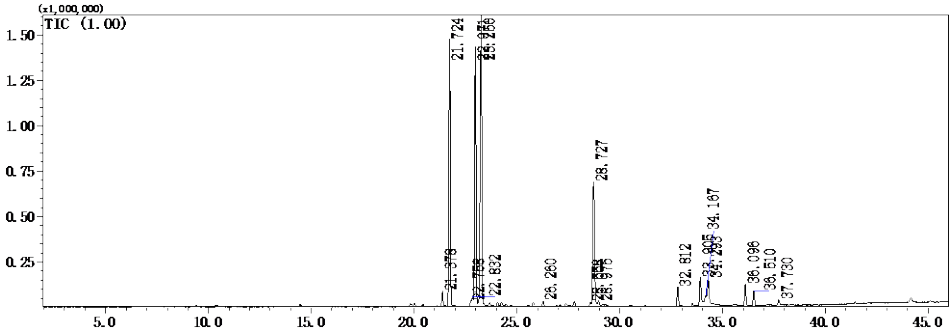

Figure 5. TIC(Total ion current chromatogram)of the aroma component from flowers of *W. sinensis* in the flowering end
图 5. 盛开末期紫藤花香气成分 GC-MS 总离子流图

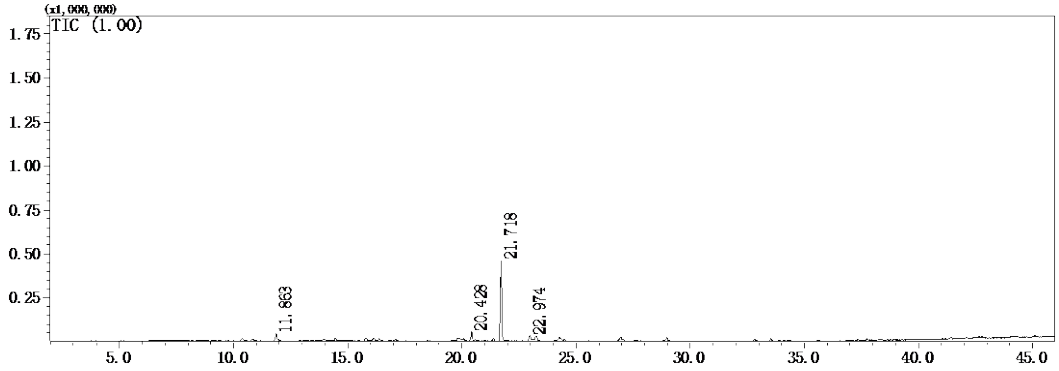

Figure 6. TIC (Total ion current chromatogram) of the aroma component from flowers of *W. sinensis* in the withering period
图 6. 枯萎期紫藤花香气成分 GC-MS 总离子流图

不同花期紫藤花的香气成分名称及其相对含量见表 1。

在紫藤整个花期中，共鉴定出 27 种成分，其主要由 8 类物质组成，其中醇类 4 种(占总鉴定成分的 14.8%)，酯类 4 种(占总鉴定成分的 14.8%)，萜烯类 10 种(占总鉴定成分的 37%) (其中单萜类 3 种(占总鉴定成分的 11.1%)、倍半萜类 5 种(占总鉴定成分的 18.5%)、萜醛类 2 种(占总鉴定成分的 7.4%))、酮类 2 种(占总鉴定成分的 7.4%)、醛类 1 种(占总鉴定成分的 3.7%)、酚类 1 种(占总鉴定成分的 3.7%)、含氮化合物 3 种(占总鉴定成分的 11.1%)、其他化合物 2 种(占总鉴定成分的 7.4%)。萜烯类、酯类、醇类和含氮化合物 4 种物质最多，其占总鉴定成分的 77.8%。

在已报道的上百种紫藤花香挥发性物质中，本试验检测到紫藤属花香成分共有化合物 17 种，占总检出成分的 63%。其余 3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-戊烯-3 醇、3-己烯丁酯、肉桂酸甲酯、β-甜没药烯、反式-α-香柑油烯、柠檬醛、N-甲酰苯胺、Tricyclo[3.1.0.0 (2, 4)]hexane,6-diethyl-3,6-dimethyl-, trans-和(3E,)-4,8,12-Trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene 10 种化合物为首次检出化合物。

在紫藤属植物花香成分的共有物质中，据姜一凡[25]报道，萜烯类中的倍半萜化合物 β-石竹烯和葎草烯化合物只存在于日本紫藤，但在本研究中检测到，其中 β-石竹烯化合物可能主要存在于蕾期至盛开期，相对含量较高，随着花的逐渐开放，其相对含量逐渐降低，在蕾期、半开期、盛开期和盛开末期的相对含量分别为 7.02%、5.70%、4.59%、1.73%；而葎草烯化合物可能只存在于半开期至盛开期，相对含量低，分别为 0.40%和 0.30%。

另外，据丁兆青[18]报道，苯乙腈、甲基丁香酚仅在北京产地的紫藤花中检测到，但在本研究中参试材料含有此两种物质，其分别存在于盛开期和盛开末期，相对含量均较低，分别为 0.85%和 1.17%。参试的山东紫藤母树可能与文献中参试分析的北京紫藤母树具有一定的亲缘关系。

3.2. 不同花期紫藤花的香气成分变异分析

对不同花期紫藤花的香气成分组成变异情况进行统计分析(表 2)，发现蕾期、半开期、盛开期紫藤花的香气成分均以醇类化合物含量最高，其次为萜烯类化合物，酮类化合物的含量再次之。但随着花期转至盛开末期、枯萎期，其香气成分则均以萜烯类化合物含量最高，其中盛开末期的醇类化合物含量次之，酮类再次；枯萎期则为酯类化合物含量次之，再次为醇类化合物，酮类化合物含量最低。

蕾期紫藤花的香气成分共鉴定出 12 种化合物，占总鉴定成分的 44.4%。其中以醇类含量(47.98%)最高，主要为芳樟醇(47.98%)；其次为萜烯类化合物(38.23%)，包括 β-罗勒烯(20.39%)、β-石竹烯(7.02%)、反式-α-香柑油烯(4.88%)和 α-金合欢烯(4.05%)；酮类(6.94%)相对较少，主要为 2-壬酮(6.94%)，以上 6 种化合物相对含量占 91.26%。未检测到酚类和含氮化合物。

Table 1. Components and relative content of aroma component from flowers of *W. sinensis* in different flowering stages
表 1. 不同花期紫藤花的香气成分及其相对含量

序号 No.	保留时间 Retention time/min	化合物名称 Compounds	分子式 Molecular	相对含量(%)Relative content				
				蕾期 Bud stage	半开期 Semi-open period	盛开期 Blooming period	盛开末期 Flowering end	枯萎期 Withering period
醇类 Alcohols								
1	11.867	3-甲基-1-丁醇 1-Butanol,3-methyl-	$C_5H_{12}O$	-	-	-	-	6.67
2	23.225	芳樟醇 Linalool	$C_{10}H_{18}O$	47.98	39.03	35.49	26.43	-
3	25.792	2-甲基-1-戊烯-3 醇 1-Penten-3-ol 2-methyl-	$C_6H_{12}O$	-	-	0.33	-	-
4	27.392	1-辛烯-3-醇 1-Octyn-3-ol	$C_8H_{14}O$	-	-	0.38	-	-
酯类 Esters								
5	20.417	乙酸叶醇酯 3-Hexen-1-ol, acetate,(Z)-	$C_8H_{14}O_2$	0.94	-	-	-	8.00
6	22.758	3-己烯丁酯 3-Hexenyl Butyrate	$C_{10}H_{18}O_2$	-	-	-	0.32	-
7	30.458	邻氨基苯甲酸甲酯 Methy anthranilate	$C_8H_9NO_2$	-	1.77	3.17	-	-
8	31.433	肉桂酸甲酯 Cinnamic acid methyl ester	$C_{10}H_{12}O_2$	-	-	1.65	-	-
萜烯类 Terpenes								
		单萜类 Monoterpenes						
9	23.65	别罗勒烯 Allocimene	$C_{10}H_{16}$	0.69	0.34	0.19	-	-
10	21.367	反式-β-罗勒烯 E-β-Ocimene	$C_{10}H_{16}$	1.20	1.14	0.70	1.07	-
11	21.708	β-罗勒烯 β-Ocimene	$C_{10}H_{16}$	20.39	16.36	9.52	23.56	80.59
		倍半萜类 Sesquiterpenes						
12	32.8	β-石竹烯 β-Caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	7.02	5.70	4.59	1.73	-
13	33	β-甜没药烯 β-Bisabolene	$C_{15}H_{24}$	-	-	0.24	-	-
14	33.717	葎草烯 Humulene	$C_{15}H_{24}$	-	0.40	0.30	-	-
15	33.892	反式-α-香柑油烯 E-α-Bergamotene	$C_{15}H_{24}$	4.88	5.86	6.55	2.64	
16	34.283	α-金合欢烯 α-Farnesene	$C_{15}H_{24}$	4.05	4.34	4.63	2.19	-
		萜醛类 Terpene aldehydes						
17	26.258	草蒿脑 Estragole	$C_{10}H_{12}O$	-	-	-	0.39	-
18	28.725	茴香脑 Anethole	$C_{10}H_{12}O$	-	0.72	2.11	12.94	-
酮类 Ketones								
19	22.95	2-壬酮 2-Nonanone	$C_9H_{18}O$	6.94	14.08	15.77	23.03	4.74
20	28.558	2-十一酮 2-Undecanone	$C_{11}H_{22}O$	-	-	-	0.28	-
		醛类 Aldehydes						
21	22.825	柠檬醛 Citral	$C_{10}H_{16}O$	1.72	2.05	2.25	0.60	-
酚类 Phenols								
22	34.167	甲基丁香酚 Benzene,1,2-dimethoxy-4-propenyl-,(Z)-	$C_{11}H_{14}O_2$	-	-	-	1.17	-
		含氮化合物 Nitrogen compounds						
23	24.658	苯乙腈 Benzyl nitrile	C_8H_7N	-	-	0.85	-	-
24	27.042	N-甲酰苯胺 Formamidobenzene	C_7H_7NO	-	2.37	3.28	-	-
25	29.15	吲哚 Indole	C_8H_7N	-	0.66	1.76	-	-
其他 Others								
26	36.5	Tricyclo[3.1.0.0(2,4)]hexane,6-diethyl-3,6-dimethyl-, trans-	$C_{12}H_{20}$	3.00	3.40	3.84	1.21	-
27	36.083	(3E,)-4,8,12-Trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene	$C_{16}H_{26}$	1.19	1.60	1.99	1.81	-
		合计 Total		100.00	99.82	99.59	99.37	100.00

Table 2. Relative content (%) and its number of species of 8 kinds of aroma component from flowers of *W. sinensis* in different flowering stages
表 2. 紫藤花 8 类芳香成分在不同花期的相对含量(%)及其种类数

化合物种类 kinds of aroma component	蕾期 Bud stage	半开期 Semi-open period	盛开期 Blooming period	盛开末期 Flowering end	枯萎期 Withering period
醇类 Alcohols	47.98 (1)	39.03 (1)	36.20 (3)	26.43 (1)	6.67 (1)
酯类 Esters	0.94 (1)	1.77 (1)	4.82 (2)	0.32 (1)	8.00 (1)
萜烯类 Terpenes	38.23 (6)	34.86 (8)	28.83 (9)	44.52 (6)	80.59 (1)
单萜类 Monoterpenes	22.28 (3)	17.84 (3)	10.41 (3)	24.63 (2)	80.59 (1)
倍半萜类 Sesquiterpenes	15.95 (3)	16.30 (4)	16.31 (5)	6.56 (3)	0 (0)
萜醛类 Terpene aldehydes	0 (0)	0.72 (1)	2.11 (1)	13.33 (1)	0 (0)
酮类 Ketones	6.94 (1)	14.08 (1)	15.77 (1)	23.31 (2)	4.74 (1)
醛类 Aldehydes	1.72 (1)	2.05 (1)	2.25 (1)	0.60 (1)	0 (0)
酚类 Phenols	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1.17 (1)	0 (0)
含氮化合物 Nitrogen compounds	0 (0)	3.03 (2)	5.89 (3)	0 (0)	0 (0)
其他 Others	4.19 (2)	5.00 (2)	5.83 (2)	3.02 (2)	0 (0)
合计 Total	100.00 (12)	99.82 (16)	99.59 (21)	99.37 (15)	100.00 (4)

注：括号内数字表示紫藤花香气成分种类。Note: Figures in brackets indicate types of aroma component from flowers of *W. sinensis*.

半开期紫藤花的香气成分共鉴定出 16 种化合物，占总鉴定成分的 59.3%。其中以醇类含量(39.03%)最高，主要为芳樟醇(39.03%)；其次为萜烯类化合物(34.86%)，含量较高的包括 β-罗勒烯(16.36%)、β-石竹烯(5.70%)、反式-α-香柑油烯(5.86%)和 α-金合欢烯(4.34%)；酮类(14.08%)相对较少，主要为 2-壬酮(14.08%)，以上 6 种化合物相对含量占 85.37%。未检测到酚类化合物。

盛开期紫藤花的香气成分共鉴定出 21 种化合物，占总鉴定成分的 77.8%。其中以醇类含量(36.20%)最高，主要为芳樟醇(35.49%)；其次为萜烯类化合物(28.83%)，包括 β-罗勒烯(9.52%)、β-石竹烯(4.59%)、反式-α-香柑油烯(6.55%)和 α-金合欢烯(4.63%)；酮类(15.77%)相对较少，主要为 2-壬酮(15.77%)，以上 6 种化合物相对含量占 76.55%。未检测到酚类化合物。

盛开末期紫藤花的香气成分共鉴定出 15 种化合物，占总鉴定成分的 55.6%。其中以萜烯类含量(44.52%)最高，主要包括 β-罗勒烯(23.56%)和茴香脑(12.94%)；其次为醇类化合物(26.43%)，主要为芳樟醇(26.43%)；酮类(23.31%)相对较少，主要为 2-壬酮(23.03%)，以上 4 种化合物相对含量占 85.96%。未检测到含氮化合物。

枯萎期紫藤花的香气成分共鉴定出 4 种化合物，占总鉴定成分的 14.80%。其中以萜烯类 β-罗勒烯(80.59%)含量最高，其次为酯类化合物乙酸叶醇酯(8.00%)；醇类 3-甲基-1-丁醇(6.67%)相对较少，酮类 2-壬酮(4.74%)最少，以上 4 种化合物相对含量占 100.00%。未检测到醛类、酚类、含氮化合物及其他成分。

3.3. 不同花期紫藤花的香气成分相关性分析

6 种紫藤花的香气成分 Pearson 相关分析表明(表 3)，除 2-壬酮与芳樟醇、β-石竹烯、反式-α-香柑油烯和 α-金合欢烯等相关性较弱外(相关系数−0.05~0.296)，其余物质之间均具有较强的相关性，相关系数的绝对值均不小于 0.589。其中，α-金合欢烯和反式-α-香柑油烯呈极显著正相关，相关系数达到 0.992 (p = 0.001)，但是其与 β-石竹烯呈显著正相关，相关系数达到 0.901 (p = 0.037)，与 β-罗勒烯呈显著负相关，

Table 3. Correlation coefficients of six major aroma components from flowers of *W. sinensis*
表 3. 紫藤花的 6 种主要香气成分的相关系数

		芳樟醇 Linalool	β-罗勒烯 β-Ocimene	2-壬酮 2-Nonanone	β-石竹烯 β-Caryophyllene	反式-α-香柑油烯 E-α-Bergamotene	α-金合欢烯 α-Farnesene
芳樟醇 Linalool		1	-	-	-	-	-
	显著性	-	-	-	-	-	-
β-罗勒烯 β-Ocimene		−0.903*	1	-	-	-	-
	显著性	0.036		-	-	-	-
2-壬酮 2-Nonanone		0.238	−0.589	1	-	-	-
	显著性	0.7	0.296	-	-	-	-
β-石竹烯 β-Caryophyllene		0.947*	−0.76	−0.055	1	-	-
	显著性	0.014	0.136	0.93	-	-	-
反式-α-香柑油烯 E-α-Bergamotene		0.874	−0.911*	0.296	0.855	1	-
	显著性	0.053	0.032	0.629	0.065	-	-
α-金合欢烯 α-Farnesene		0.928*	−0.930*	0.285	0.901*	0.992**	1
	显著性	0.023	0.022	0.642	0.037	0.001	

*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。**在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*Significant correlations at 0.05 level (bilateral). **Significant correlation at 0.01 level (bilateral)

相关系数为−0.930 (p = 0.022)。芳樟醇与 β-石竹烯、α-金合欢烯均呈显著正相关，相关系数分别达到 0.947 (p = 0.014)和 0.928 (p = 0.023)，但是其与 β-罗勒烯呈显著负相关，相关系数为−0.903 (p = 0.036)。β-罗勒烯与反式-α-香柑油烯呈显著负相关，相关系数为−0.911 (p = 0.032)。其它化合物之间的相关水平均未达到显著水平。紫藤花的香气成分及其含量随着花期不同而存在差异，但主要花香物质具有较高相关性，可能是紫藤花发育、授粉状态、内源生物钟和环境因素等综合调控的结果[29]。

4. 结论与讨论

(1) 在紫藤整个花期中，其花香成分共鉴定出 27 种，主要由 8 类物质组成，其中醇类 4 种(占总鉴定成分的 14.8%)，酯类 4 种(占总鉴定成分的 14.8%)，萜烯类 10 种(占总鉴定成分的 37%)(其中单萜类 3 种(占总鉴定成分的 11.1%)、倍半萜类 5 种(占总鉴定成分的 18.5%)、萜醛类 2 种(占总鉴定成分的 7.4%))、酮类 2 种(占总鉴定成分的 7.4%)、醛类 1 种(占总鉴定成分的 3.7%)、酚类 1 种(占总鉴定成分的 3.7%)、含氮化合物 3 种(占总鉴定成分的 11.1%)、其他化合物 2 种(占总鉴定成分的 7.4%)。萜烯类、酯类、醇类和含氮化合物 4 种物质最多，其占总鉴定成分的 77.8%。

(2) 本试验检测到紫藤属花香成分共有化合物 17 种，占总检出成分的 63%。其余 3-甲基-1-丁醇、2-甲基-1-戊烯-3 醇、3-己烯丁酯、肉桂酸甲酯、β-甜没药烯、反式-α-香柑油烯、柠檬醛、N-甲酰苯胺、Tricyclo[3.1.0.0(2，4)]hexane,6-diethyl-3,6-dimethyl-，trans-和(3E,)-4,8,12-Trimethyltrideca-1,3,7,11-tetraene 10 种化合物为首次检出化合物。

(3) 蕾期、半开期、盛开期紫藤花的香气成分均以醇类化合物含量最高，其次为萜烯类化合物，酮类化合物的含量再次之。但随着花期转至盛开末期、枯萎期，其香气成分则均以萜烯类化合物含量最高，其中盛开末期的醇类化合物含量次之，酮类再次；枯萎期则为酯类化合物含量次之，再次为醇类化合物，酮类化合物含量最低。

(4) 除 2-壬酮与芳樟醇、β-石竹烯、反式-α-香柑油烯和 α-金合欢烯等相关性较弱外(相关系数−0.05~0.296)，其余物质之间均具有较强的相关性，相关系数的绝对值均不小于 0.589。其中，α-金合欢烯和反式-α-香柑油烯呈极显著正相关，相关系数达到 0.992 (p = 0.001)，但是其与 β-石竹烯呈显著正相关，相关系数达到 0.901 (p = 0.037)，与 β-罗勒烯呈显著负相关，相关系数为−0.930 (p = 0.022)。芳樟醇与 β-石竹烯、α-金合欢烯均呈显著正相关，相关系数分别达到 0.947 (p = 0.014)和 0.928 (p = 0.023)，但是其与 β-罗勒烯呈显著负相关，相关系数为−0.903(p = 0.036)。β-罗勒烯与反式-α-香柑油烯呈显著负相关，相关系数为−0.911 (p = 0.032)。其它化合物之间的相关水平均未达到显著水平。紫藤花的香气成分及其含量随着花期不同而存在差异，但主要花香物质具有较高相关性。

紫藤花的香气成分组成及其含量在开花进程中具有明显的规律性，但与文献报道存在一定差异，这可能与实验条件、植物特性(品种、无性系等类别繁多)及其所处的地理位置不同有关，前人也得出类似结论[17] [18] [20]，并且认为，产地不同，致使产生香气的主要挥发物质中可能含特有化学成分[18]。本次试验虽然测得相关特异成分，但未进行内标测定，今后还需要进一步开展化合物精确鉴定，而且取材也有限。需要进一步广泛深入开展不同类别紫藤的花香成分随时间、外界环境因子变化规律研究，为紫藤的综合开发利用提供重要依据。

资助项目

山东省农业良种工程重大课题“林木种质资源收集保护与评价(鲁科字[2014]96 号)”；山东(暖温带)珍稀濒危树种种质资源保护与利用建设项目(发改农经[2010]27 号)。

参考文献 (References)

[1] 李法曾, 李文清, 樊守金, 主编. 山东木本植物志(上卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 508-509.

[2] 吴培云, 蔡百祥, 王国凯, 等. 紫藤瘤化学成分研究(II) [J]. 中药材, 2017(2): 338-341.

[3] 蔡百祥. 紫藤瘤活性成分研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽中医药大学, 2016.

[4] 王国凯, 刘劲松, 许应生, 等. 紫藤瘤抗农作物病原性真菌活性部位化学成分研究[J]. 中药材, 2014(7): 1187-1189.

[5] 李会端. 酶解法提取紫藤总黄酮及自由基清除活性研究[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2014(3): 79-84.

[6] 徐敬东. 紫藤提取物抑真菌活性及其化学成分研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2014.

[7] 董爱文, 向中, 王国庆.不同处理的紫藤花萼中黄色素提取及理化性质研究[J]. 食品工业科技, 2014(7): 255-259.

[8] 宋晓, 姜国良, 赵雪梅. 紫藤根茎叶化学成分预实验[J]. 泰山医学院学报, 2013(11): 832-835.

[9] 宗梅, 蔡永萍, 范志强, 等. 紫藤不同部位活性成分的研究与应用进展[J]. 食品工业科技, 2013(7): 383-386.

[10] 刘劲松, 陈爱民, 许应生, 等. 紫藤瘤三萜类化学成分研究[J]. 中药材, 2012(8): 1246-1250.

[11] 曹梦晔, 姚默, 赵兵, 等. 紫藤属药学研究概况[J]. 山东中医药大学学报, 2012(1): 72-73.

[12] 郭晓昕. 紫藤中新的三萜皂甙[J]. 国外医药(植物药分册), 1992(2): 77.

[13] 蒋新龙. 紫藤红色素的提取工艺及性质研究[J]. 浙江树人大学学报(自然科学版), 2010(1): 10-15.

[14] 傅茂润, 王晓, 陈庆敏, 等. 紫藤花提取物的抗氧化作用[J]. 食品与发酵工业, 2009(12): 82-85.

[15] 姜艳华, 樊晓晖, 姜华. 紫藤活性成分的提取与抑菌作用初探[J]. 河南农业科学, 2009(3): 60-62, 78.

[16] 陈凡, 陈海芳, 傅俊. 紫藤凝集素的分离纯化及理化性质研究[J]. 武汉植物学研究, 1994(3): 270-276.

[17] 金振国, 刘萍, 王香婷.气相色谱/质谱法分析紫藤荚挥发油化学成分[J]. 商洛学院学报, 2012(4): 3-5.

[18] 丁兆青. 紫藤化学成分分析及抑菌活性研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.

[19] 王琦, 王丹, 张汝民, 等. 日本紫藤开花进程中挥发性有机化合物组分与含量的变化[J]. 浙江农林大学学报, 2014(4): 647-653.

[20] 杨华, 马荣萱, 田锐. 紫藤花挥发油的提取与化学成分的研究[J]. 安徽农业科学, 2011(29): 17862-17864.

[21] 李祖光, 李建亮, 曹慧, 等. 紫藤鲜花在不同开花期的头香成分[J]. 浙江林学院学报, 2009(3): 308-313.

[22] 李祖光, 卫雅芳, 芮昶, 等. 紫藤鲜花香气化学成分的研究[J]. 香料香精化妆品, 2005(2): 1-3.

[23] 李峰, 傅佑丽. 紫藤花油化学成分的气相色谱/质谱法分析[J]. 曲阜师范大学学报(自然科学版), 2002(2): 81-83.

[24] 李兆琳, 李海泉, 薛敦渊, 等. 新鲜紫藤花挥发油化学成份的研究[J]. 兰州大学学报, 1992(4): 69-73.

[25] 姜一凡. 五种园林植物与花香及胁迫防御相关的挥发性萜类物质的调控与合成[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.

[26] 王琦. 22 种园林植物挥发性有机物成分分析及其层次分析法评价[D]: [硕士学位论文]. 临安: 浙江农林大学, 2014.

[27] 李建亮. 微波技术在农药中间体合成及植物成分分析中的应用研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2008.

[28] Joulain, D. and Tabacchi, R. (1994) Volatile Beta-Chromenes from Wisteria Sinensis Flowers. *Phytochemistry*, **37**, 1769-1770. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89610-7

[29] 孙漾, 孙明, 潘会堂, 等. 花香代谢与调控研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2012, 34(2): 146-154.

Hans汉斯

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：br@hanspub.org