

蜡梅花离体摊放过程中香气感官评价和挥发性物质分析

陆安霞¹, 周心如¹, 叶玉龙^{1,2}, 李小恋¹, 谢关华¹, 汪蓓¹, 童华荣^{1,*}

(¹西南大学食品科学学院, 重庆 400715; ²四川省农业科学院茶叶研究所, 成都 610066)

摘要: 蜡梅花是重要的天然花香原料。采用顶空—固相微萃取和气相色谱—质谱联用技术 (HS-SPME-GC-MS) 结合感官审评, 分析了采摘后蜡梅花摊放过程中挥发性物质的变化规律。结果表明, 离体蜡梅花在摊放过程中开放状态变化不明显, 花枝经清水培养, 花苞到全开状态历经 32 h 左右。全开状态蜡梅花的挥发性物质种类随摊放时间的延长呈先增加后降低的趋势, 摊放 12 h 最多, 此时出现了酮类、醛类和酚类; 大部分挥发性物质相对含量在摊放 20 h 后降低。主要挥发性物质乙酸苄酯在摊放 12 h 达峰值, 较 0 h 增加 35.04%; 4-乙基苄醇和 α -罗勒烯呈现先增加后降低的趋势; α -罗勒烯在摊放 4 h 后急剧增加, 20 h 达最大值; 芳樟醇、别罗勒烯和 2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯在摊放 24 h 内呈降低趋势, 分别较 0 h 下降了 18.32%、78.92%和 41.19%。结合感官审评与 GC-MS 分析结果可知, 全开状态的蜡梅花采摘后离体摊放 20 h 内能较好地保持花香的鲜灵度和浓郁度, 且在 12~20 h 之间挥发性物质种类丰富, 具花果香的挥发性物质相对含量较高。研究结果可为蜡梅花作为天然花香原料的更有效利用提供理论参考。

关键词: 蜡梅; 开放状态; 摊放过程; 挥发性物质

中图分类号: S 68

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2020) 01-0073-12

Changes of Sensory Characteristic and Volatiles of Harvested Flowers of *Chimonanthus praecox* During Spreading Process

LU Anxia¹, ZHOU Xinru¹, YE Yulong^{1,2}, LI Xiaolian¹, XIE Guanhua¹, WANG Bei¹, and TONG Huarong^{1,*}

(¹College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715; ²Tea Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: The aromatic volatiles from *Chimonanthus praecox* (L.) flowers are very pleasant to be the human sensory system and have a potential application as components of perfumes. In order to determine the dynamic changes of sensory characteristics and volatiles of harvested flowers of *Chimonanthus praecox* (L.) during spreading process, sensory evaluation and headspace-solid phase microextraction in combination with gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) were applied. The results showed that no obvious change in the blooming state of the harvested flowers was observed during

收稿日期: 2019-06-03; **修回日期:** 2019-12-04

基金项目: 重庆市现代山地特色高效农业茶叶产业技术体系项目 (2018-6)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: huart@swu.edu.cn)

the spreading process. After the cut-flower were harvested and cultured in water, it took approximately 32 h from bud to full-blossom state. The amount of volatiles in full-blossom flower increased firstly and then decreased with the prolongation of the spreading time. Ketones, aldehydes and phenols appeared after 12 h of spreading. Relative content of most volatiles decreased after 20 h of spreading. Benzyl acetate reached the maximum at 12 h, and increased by 35.04% compared with that at 0 h; 4-ethylbenzyl alcohol and α -ocimene increased at first and then decreased; α -ocimene increased sharply at 4 h and reached the maximum at 20 h; the linalool, allo-ocimene and 2,6-dimethyl-2,4,6-octatriene showed a decreasing trend within 24 h after spreading, and decreased by 18.32%, 78.92% and 41.19% respectively, compared with that at 0 h. In combination with the sensory evaluation and HS - SPME - GC - MS, the full-blossom flowers of *Chimonanthus praecox* (L.) maintained the freshness and richness of the floral fragrance within 20 h after harvested, and the aromatic compounds were rich between 12 - 20 h, the volatile substances with floral and fruity aroma were relatively high at this stage. This paper has systematically studied the dynamic changes of sensory characteristic and volatiles of harvested flowers of *Chimonanthus praecox* (L.) during spreading process, which is considered to be theoretical references for the application of *Chimonanthus praecox* (L.) flowers as fragrance-enhancing material.

Keywords: *Chimonanthus praecox*; flower; blooming state; spreading process; volatiles

蜡梅[*Chimonanthus praecox* (L.) Link]花香清凉浓郁, 生产上除了是景观植物外还常用来窖制香气馥郁的蜡梅花茶。蜡梅花的选择对窖制花茶有很大的影响, 除花期以外, 采摘后存放时间也十分重要。通过蜡梅花开放状态及采后摊放过程中挥发性物质的研究, 对提高蜡梅花的利用价值及生产高品质蜡梅花茶具有重要意义。国内外对蜡梅花精油及繁育(赵建伟和黄燕文, 1994; Azuma & Asakawa, 2005; Kozomara et al., 2008; Du et al., 2012; 李明 等, 2012)特别是其药用价值方面的研究报道较多(肖炳坤和刘耀明, 2003; 徐年军 等, 2006; 张尊敬和刘忠达, 2009; 赵莹 等, 2010; 赵利琴, 2011; Wang et al., 2011; Toshio et al., 2014), 围绕蜡梅花茶窖制研究也有一定报道(郑凯英, 2008; 李永菊, 2010a; Chen, 2012)。研究表明影响蜡梅花茶品质的因素有茶坯含水量、配花量、窖制时间和堆制温度等(庞晓莉 等, 2007), 蜡梅花茶烘焙温度在 90 ~ 110 °C 成茶品质较好(李永菊, 2010b), 宜采用连二窖一次提花工艺(周继荣和倪德江, 2010; 周继荣 等, 2010)。张文清等(2012)采用水蒸气蒸馏法提取蜡梅花精油得到不同开放状态的蜡梅花精油中主要的香气成分相同; 谢超等(2008)研究认为蜡梅花香物质数量和含量随开放程度增大而增加, 香气渐浓郁。牛云蔚等(2016)通过研究萃取方法对樱桃酒香气成分的影响认为顶空固相微萃取能更好地萃取较易挥发的物质; 黄玉清等(2012)研究认为静态顶空分析法能更好地反映原料的香气特征。离体蜡梅鲜花品质对窖制花茶的品质有重要影响, 但对蜡梅花的花期以及蜡梅花摊放过程中挥发性物质的种类及含量变化鲜有报道。采用顶空-固相微萃取和气相色谱-质谱联用技术(HS - SPME - GC - MS), 系统研究不同开放状态的蜡梅花及摊放过程中挥发性物质的变化, 可为蜡梅花适采期、蜡梅花精油制备以及蜡梅花茶窖制时间提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料及其香气感官审评

素心蜡梅的花与花枝, 于 2018 年 12 月 31 日采于重庆市静观镇素心村。

蜡梅花离体摊放过程中感官审评: 按开放状态分别于田间采摘花苞、初展、半开、全开、盛放的蜡梅花 (图 1) 置于室内 (温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 摊放 32 h, 厚度为 2 cm 左右 (单层花的厚度), 每隔 4 h 取 20.00 g 不同开放状态的蜡梅花置于培养皿中对其开放状态及香气进行感官审评。审评小组由 8 人组成。



图 1 不同开放状态的蜡梅花

Fig. 1 Different blooming state of *Chimonanthus praecox* flowers

蜡梅花开放状态观测: 于田间选取含有 5 种开放状态的 3 枝蜡梅花枝条插入清水中培养, 每枝上同一种开放状态的蜡梅花标记 3 朵, 静置于室外 32 h (环境温度 $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$), 每隔 4 h 对其开放状态进行观测记录。

1.2 蜡梅花挥发性物质分析

1.2.1 SPME 萃取与 GC - MS 分析

于田间采摘全开状态的蜡梅花置于室内 (温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) 摊放 24 h, 摊放厚度为 2 cm 左右 (单层花的厚度), 每隔 4 h 取 20.00 g 花于 250 mL 顶空萃取瓶中密封。将经 GC - MS 进样口老化 ($300\text{ }^{\circ}\text{C}$, 5 min) 后的萃取头插入萃取瓶中, 平衡 10 min 后, $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 萃取 30 min, 重复 3 次。萃取完成后立即进行 GC - MS 分析。

GC 分析条件: DB-5 石英毛细管柱 ($30\text{ m} \times 0.25\text{ mm}$, $0.25\text{ }\mu\text{m}$); 升温程序: $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 以 $3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度上升到 $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min, 以 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速度上升至 $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后, 以 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 的速度升至 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保持 2 min; 载气为高纯氦气 (99.999%); 流速为 $1.0\text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 压力 50.5 kPa; 不分流进样, 溶剂延迟 1 min。

MS 分析条件: 电子电离源; 电子能量 70 eV; 离子源温度 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$; 接口温度 $230\text{ }^{\circ}\text{C}$; 质量扫描范围 m/z 40 ~ 400; 真空系统为分子涡轮泵。

1.2.2 挥发性物质定性及定量方法

定性方法: 选用相似度不低于 80% 的峰, 通过 NIST08.LIB 和 NIST08s.LIB 标准谱库对色谱图进行检索, 利用正构烷烃 C8 ~ C32 测量计算保留指数, 结合文献资料 (Li et al., 2009; Ueyama,

2010), 参考挥发性物质保留指数辅助质谱检索定性。

保留指数 $RI = 100n + (RT_X - RT_n) / (RT_{n+1} - RT_n) \times 100$, 式中 n 为该化合物前一正构烷烃所含碳原子数; RT_X 表示该物质的保留时间; RT_n 表示该物质前一正构烷烃的保留时间; RT_{n+1} 表示该物质后一正构烷烃的保留时间。

定量方法: 用峰面积归一法计算挥发性物质的相对含量, 即各色谱峰面积与总峰面积之比为个挥发性物质的相对含量。

2 结果与分析

2.1 蜡梅花释香过程及开放状态变化

2.1.1 离体花摊放过程中香气变化

由感官审评结果(表1)可知, 花苞、初展状态蜡梅花采摘后香气弱、有青气, 摊放 16 h 后略微开放且香气略显, 24 h 后花瓣开始萎蔫, 花香减弱、有低闷味。半开状态蜡梅花在摊放 4 h 后略微开放, 香气凸显, 摊放 20 h 后有低闷味。全开和盛放状态蜡梅花在摊放过程中花香浓郁, 开放状态无明显变化, 盛放状态蜡梅花摊放 16 h 后花香减弱, 20 h 后出现低闷味; 全开状态蜡梅花在摊放 24 h 后花香减弱, 出现低闷味。感官审评结果表明, 全开状态蜡梅花释香状态最好, 且在摊放 20 h 内能较好的保持花香的鲜灵度和浓郁度。

表1 离体状态下蜡梅花摊放过程中香气变化的感官审评结果
Table 1 Sensory evaluation results of aroma intensity and blooming state of harvested *Chimonanthus praecox* flowers during spreading process

摊放/h Spreading time	花苞 Bud	初展 Early spread	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
0	弱, 青气稍显 Weak, a little green	弱, 青气稍显 Weak, a little green	较浓郁, 鲜灵 Comparatively fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh
4	弱, 青气稍显 Weak, a little green	较浓郁, 青气弱 Comparatively fragrant, weak green	较浓郁, 鲜灵 Comparatively fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh
8	弱, 青气微弱 Weak, slightly green	较浓郁 Comparatively fragrant	较浓郁, 鲜灵 Comparatively fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh
12	弱, 青气微弱 Weak, slightly green	较浓郁 Comparatively fragrant	较浓郁, 鲜灵 Comparatively fragrant, fresh	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh	浓郁 Fragrant
16	较弱, 青气微弱 Weak, slightly green	较浓郁, 鲜灵 Comparatively fragrant, fresh	较浓郁 Comparatively fragrant	浓郁, 鲜灵 Fragrant, fresh	较浓郁 Comparatively fragrant
20	较弱 Weak	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively ragrant, stuffy	浓郁, 尚鲜灵 Fragrant, barely fresh	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy
24	弱 Weak	弱, 低闷 Weak, stuffy	较弱, 低闷 Comparatively weak, stuffy	较弱, 低闷 Comparatively weak, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy
28	弱, 略低闷 Weak, comparatively stuffy	弱, 低闷 Weak, stuffy	较弱, 低闷 Comparatively weak, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy
32	弱, 略低闷 Weak, comparatively stuffy	弱, 低闷 Weak, stuffy	较弱, 低闷 Comparatively weak, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy	较浓郁, 低闷 Comparatively fragrant, stuffy

2.1.2 蜡梅花枝清水培养下鲜花开放过程

由表 2 可知, 清水培养下蜡梅花由花苞到初展状态经历了 12 h, 24 h 后达半开状态, 32 h 后达全开状态; 由初展到半开状态经历了 12 h, 20 h 后达全开状态, 32 h 后达盛放状态; 由半开到全开状态经历了 16 h, 28 h 后达盛放状态; 全开到盛放状态经历了 24 h, 盛放状态蜡梅花经清水培养 24 h, 其开放状态无明显变化。由上述结果可知, 蜡梅花由花苞到全开状态经历 32 h, 初展和半开状态可在 24 h 内达全开状态, 此结果可为蜡梅花田间采摘提供参考。

表 2 蜡梅花枝清水培养下鲜花开放状态的观测结果
Table 2 Observations on the blooming state of *Chimonanthus praecox* cut-flowers culture in water

水培时间/h Hydroponic time	花苞 Bud	初展 Early spread	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
0	花苞 Bud	初展 Early spread	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
4	花苞 Bud	略开放 Comparatively open	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
8	略开放 Open slightly	略开放 Open slightly	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
12	初展 Early spread	半开 Half-spread	略开放 Comparatively open	全开 Full-blossom	盛放 Blooming
16	略开放 Comparatively open	略开放 Comparatively open	全开 Full-blossom	略开放 Comparatively open	盛放 Blooming
20	初展 Early spread	全开 Full-blossom	全开 Full-blossom	略开放 Comparatively open	盛放 Blooming
24	半开 Half-spread	全开 Full-blossom	略开放 Comparatively open	盛放 Blooming	略萎蔫 Comparatively withering
28	略开放 Comparatively open	略开放 Comparatively open	盛放 Blooming	盛放 Blooming	略萎蔫 Comparatively withering
32	全开 Full-blossom	盛放 Blooming	盛放 Blooming	盛放 Blooming	萎蔫 withering

2.2 离体蜡梅花摊放过程中挥发性物质的变化

2.2.1 挥发性物质种类的变化

根据感官审评结果, 选择全开状态的蜡梅花进行挥发性物质检测。从图 2 可以看出, 蜡梅花在摊放初期检测出 32 种挥发性物质, 随着摊放时间的延长, 挥发性物质逐渐增加, 摊放 12 h 后达 62 种, 随后逐渐减少。蜡梅花的主要挥发性物质为烷烃以及芳香烃类、烯烃类、醇类、酯类, 而酮类、醛类和酚类只在摊放后期出现。

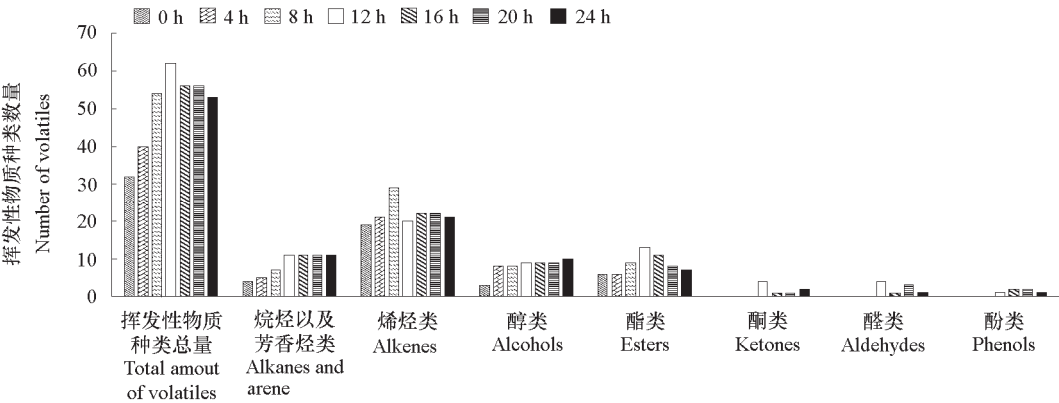


图 2 离体状态下蜡梅花挥发性物质种类的变化
Fig. 2 Dynamic changes of volatiles in harvested *Chimonanthus praecox* flowers during spreading process

2.2.2 挥发性物质相对含量的变化

从表 3 可以看出,蜡梅花摊放 0 h 检测出挥发性物质 32 种,其中烷烃以及芳香烃类有 4 种,烯烃类 19 种,醇类 3 种,酯类 6 种。主要香气有 β -月桂烯 (4.227%),罗勒烯 (3.772%), (\pm) 柠檬烯 (3.827%), (*E*)- β -罗勒烯 (5.521%), γ -萜品烯 (6.943%), 别罗勒烯 (10.405%), 2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 (14.819%), 4-乙基苜醇 (3.343%), 芳樟醇 (14.139%), 乙酸苜酯 (21.345%)。在摊放 0~24 h 期间共有的挥发性物质有 23 个,其中相对含量较高的为 β -月桂烯、罗勒烯、(\pm) 柠檬烯、(*E*)- β -罗勒烯、 α -罗勒烯、 γ -萜品烯、萜品油烯、别罗勒烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、4-乙基苜醇、芳樟醇和乙酸苜酯等 12 个。摊放 4 h 后开始出现正烷烃,随着时间的延长烷烃种类增加,12 h 后烷烃种类几乎不变。摊放 12 h 后检测出酮类、醛类和酚类物质,且相对含量最高,随后降低。摊放 8 h 后检测出芳樟醇氧化物 (反式呋喃型),随后其相对含量随摊放时间的延长而增加,12 h 后检测出氧化芳樟醇 I (顺式呋喃型),相对含量达 1.555%,随后呈降低趋势。摊放 4 h 后检测出具有树脂和松脂香气的 β -蒎烯、似丁香味的反式石竹烯和 α -松油醇、具芳香气味的苯甲醇、反式橙花叔醇 (先升高到 12 h 后降低)、具冬青叶香味的水杨酸甲酯、具杏和茉莉香气的丁酸苯甲酯; β -蒎烯、反式石竹烯、苯甲醇在摊放 20 h 后相对含量达到最高,分别为 1.003%、0.107%、2.342%,随后降低;丁酸苯甲酯在 24 h 后未检测出; α -松油醇、反式橙花叔醇、水杨酸甲酯在摊放 12h 后相对含量达到最高,分别为 0.295%、0.622%、1.156%,随后逐渐降低。 α -法尼烯在摊放 8h 检测出且相对含量最高,为 0.960%,随后逐渐降低至 20 h 后消失;具有芳香味的壬酸乙酯、苦杏仁味的苯甲醛、丁香和辛香的丁香酚在 12 h 检测出且相对含量分别为 10.342%、0.790%、2.642%,随后呈降低的趋势,呈香石竹和丁香酚气味的异丁香酚只在摊放 16 和 20 h 才检测出。

由以上分析结果可知,蜡梅花挥发性物质随摊放时间的延长而变化,摊放 12~16 h 期间挥发性物质最为丰富,且具愉快香味的挥发性物质相对含量较高;大部分挥发性物质相对含量在摊放 20 h 后降低,具有持久油脂气味的挥发性物质如月桂醇在摊放 20 h 后出现。

表 3 离体状态下蜡梅花摊放过程中挥发性物质的 GC-MS 分析结果
Table 3 GC-MS analysis of volatiles in harvested *Chimonanthus praecox* flowers during spreading process

序号 Serial number	保留时间 Retention time	化合物名称 Compound name	相对含量/% Relative content						
			0 h	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h	24 h
1	2.240	乙酸甲酯 Methyl acetate	—	—	—	0.650	0.914	—	—
2	2.408	3 - 甲基 - 2 - 丁酮 3-Methyl-2-butanone	—	—	—	—	—	—	0.173
3	2.546	戊醛 Valeraldehyde	—	—	—	—	—	0.223	—
4	2.658	2 - 乙基乙酸丁酯 2-Ethylbutyl acetate	—	—	—	—	0.781	—	—
5	7.908	乙基苯 Ethylbenzene	—	—	0.009	—	—	—	—
6	10.275	α - 水芹烯 α -Phellandrene	0.008	—	—	—	—	—	—
7	11.298	蒎烯 Camphene	0.062	0.022	0.014	0.015	0.013	0.019	0.023
8	11.812	间二甲苯 <i>M</i> -Xylene	0.803	0.235	0.139	0.356	0.276	0.228	0.166
9	12.058	邻二甲苯 <i>O</i> -Xylene	0.108	0.087	0.177	0.393	0.298	0.323	0.140
10	12.133	对二甲苯 <i>P</i> -Xylene	0.095	0.235	0.043	0.145	0.126	0.365	0.104
11	12.783	1,3,6 辛三烯 1,3,6-Octatriene	—	—	0.054	—	—	—	—
12	11.786	顺式 - 3 - 蒎烯醇 <i>cis</i> -Pinen-3-ol	—	—	0.119	—	—	—	—
13	12.800	苯甲醛 Benzaldehyde	—	—	—	0.790	0.425	0.375	0.935
14	13.324	β - 月桂烯 β -Myrcene	4.227	2.631	2.381	3.963	2.695	2.300	1.529
15	13.525	β - 蒎烯 β -Pinene	—	0.231	0.407	—	0.352	1.003	0.571
16	13.742	香茅醇 Citronellol	—	—	—	—	—	—	0.369
17	13.696	2,6 - 二甲基 - 2,6 - 辛二烯 2,6-Dimethyl-2,6-octadiene	0.606	0.251	0.185	0.213	0.699	0.620	0.284
18	13.769	3,3,5 - 三甲基 - 1,5 - 庚二烯 3,3,5-Trimethyl-1,5-heptadiene	—	—	0.329	—	—	—	—

续表 3

序号 Serial number	保留时间 Retention time	化合物名称 Compound name	相对含量/% Relative content						
			0 h	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h	24 h
19	14.041	罗勒烯 Ocimene	3.772	1.797	1.590	2.329	1.813	1.589	1.032
20	14.277	3-乙基-2-甲基-1,3-庚二烯 3-Ethyl-2-methyl-1,3-heptadiene	—	0.085	0.301	0.428	0.383	0.682	0.435
21	14.482	2,5-二甲基-3-乙基-1,3-己二烯 2,5-Dimethyl-3-ethyl-1,3-hexadiene	—	—	0.106	—	0.383	0.201	0.392
22	14.517	4-萜烯 4-Carene	—	0.040	—	—	—	—	—
23	14.550	α -松油烯 α -Terpinene	—	—	—	—	0.138	2.940	—
24	14.634	2,6-二甲基-1,3,7-辛三烯 2,6-Dimethyl-1,3,7-octatriene	—	0.114	0.279	—	—	—	0.470
25	14.645	对-薄荷-3,8-二烯 3,8- <i>p</i> -Menthadiene	1.481	0.601	0.407	0.956	0.351	0.486	0.230
26	15.017	邻-异丙基苯 <i>O</i> -Cymene	0.793	0.701	0.509	1.240	0.999	1.185	0.872
27	15.202	(±)-柠檬烯 (±)-Limonene	3.827	2.239	1.831	5.684	3.014	2.399	1.731
28	15.565	(<i>E</i>)- β -罗勒烯 <i>trans</i> - β -Ocimene	5.521	2.440	1.542	4.391	2.473	2.723	2.050
29	16.153	α -罗勒烯 α -ocimene	0.132	16.095	14.774	32.061	20.986	23.885	18.944
30	16.551	γ -松油烯 γ -Terpinene	6.943	4.304	3.395	6.644	4.809	4.918	4.181
31	16.975	苯甲醇 Benzyl alcohol	—	0.340	0.327	—	0.562	2.342	0.788
32	17.154	4-乙基-3-亚乙基环己烯 4-Ethyl-3-ethylidene-cyclohexene	—	—	1.894	2.076	1.813	2.428	1.210
33	17.275	氧化芳樟醇 I (顺式呋喃型) <i>cis</i> -Oxidized linalool I (furan type)	—	—	—	—	1.555	—	1.263
34	17.806	萜品油烯 (异松油烯) Terpinolene	1.867	0.759	0.868	2.355	1.673	1.582	1.212
35	17.981	3-甲基-2-亚甲基-双环[3.2.1]辛-3-烯 3-Methyl-2-methylidene-bicyclo[3.2.1]oct-3-ene	3.786	2.862	0.439	1.588	1.751	1.541	1.455
36	17.986	1-乙基-6-亚乙基环己烯 1-Ethyl-6-ethylidene-cyclohexene	5.578	4.737	1.694	—	0.868	—	—
37	18.131	反式芳樟醇氧化物 (呋喃型) <i>trans</i> -Linalool oxide (furan type)	—	—	0.642	0.900	0.787	0.883	0.864
38	18.322	4-乙基苄醇 4-Ethylbenzyl alcohol	3.343	2.654	3.259	7.384	4.651	5.213	3.111
39	19.140	芳樟醇 Linalool	14.139	11.237	10.516	17.848	12.512	13.128	11.549
40	19.658	对-薄荷-1,5,8-三烯 <i>p</i> -Mentha-1,5,8-triene	0.009	0.029	0.635	0.008	0.010	2.616	2.285
41	19.683	香芹醇 Carveol	—	0.006	—	—	—	—	0.002
42	19.900	二氢芳樟醇 3,7-Dimethylocta-1,5,7-trien-3-ol	—	—	—	0.005	—	0.006	—
43	19.917	桃金娘烯醇 Myrtenol	—	—	—	—	0.002	—	—
44	20.170	E,E-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 E,E-2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	0.394	0.308	0.300	1.218	0.303	0.372	0.253
45	20.588	别罗勒烯[(<i>E,Z</i>)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯] (<i>E,Z</i>)-2,6-Dimethyl-2,4,6-octatriene	10.405	7.710	6.698	6.789	6.273	4.587	2.193
46	20.670	邻甲基苯乙酮 2-Methylacetophenone	—	—	—	3.909	—	—	—
47	21.314	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 2,6-Dimethyl-2,4,6-octatriene	14.819	13.064	13.064	11.456	9.945	9.428	8.751
48	22.267	2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己酮 2-Methyl-5-(1-methylvinyl) cyclohexanone	—	—	—	0.001	0.007	0.011	0.009
49	22.300	1,3,5,5-四甲基-1,3-环己二烯 1,3,5,5-Tetramethyl-1,3-cyclohexadiene	—	0.001	0.001	—	—	—	—
50	22.920	乙酸苄酯 Benzyl acetate	21.345	21.137	21.918	32.856	24.077	28.537	24.948
51	24.103	萘 Naphthalene	—	—	—	2.436	1.331	0.032	0.708
52	24.267	乙酸-2-甲基苯基酯 2-Methylphenyl acetate	0.410	0.033	0.123	0.321	0.194	0.014	0.077
53	24.425	丙酸苄酯 Benzyl propionate	—	—	0.106	0.008	—	—	—
54	24.442	乙酸间甲苯酯 <i>M</i> -Cresyl acetate	0.152	—	0.383	0.052	0.164	0.003	0.006
55	24.650	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	—	0.189	0.082	1.156	0.513	0.125	0.110
56	24.691	乙酸对甲酚酯 <i>P</i> -Tolyl acetate	0.109	0.163	0.152	0.036	0.074	0.004	0.009
57	24.920	α -松油醇 α -Terpineol	—	0.167	0.227	0.295	0.223	0.048	0.022
58	25.067	丁酸苄酯 Benzyl butyrate	—	0.068	0.132	0.039	0.051	0.006	—
59	25.927	甲酸苄酯 Benzyl formate	0.004	—	0.017	—	—	—	—
60	25.067	正十二烷 Dodecane	—	—	0.077	1.249	0.424	0.089	0.106
61	25.408	异蒲勒醇 Isopulegol	—	—	—	0.352	—	—	—
62	25.650	异丁酸对甲酯 <i>P</i> -Tolyl isobutyrate	—	—	—	0.001	—	—	—

续表 3

序号 Serial number	保留时间 Retention time	化合物名称 Compound name	相对含量/% Relative content						
			0 h	4 h	8 h	12 h	16 h	20 h	24 h
63	25.652	癸醛 Decanal	—	—	—	0.577	—	0.012	—
64	25.967	α -甲基肉桂醛 α -Methylcinnamaldehyde	—	—	—	0.153	—	—	—
65	26.208	右旋桃金娘烯醇 (-)-Myrtenol	—	—	—	0.044	—	—	—
66	26.542	癸酸甲酯 Methyl decanoate	—	—	—	0.069	—	—	—
67	27.997	香芹酮 Carvone	—	—	—	0.252	—	—	—
68	30.368	乙酸冰片酯 Bornyl acetate	0.025	0.012	—	0.010	—	0.014	0.005
69	31.566	正十三烷 Tridecane	—	—	—	0.112	0.023	0.018	—
70	32.592	雪松烯 Cedrene	—	—	0.718	—	—	—	—
71	33.985	丁香酚 Eugenol	—	—	—	2.654	0.108	0.318	0.133
72	34.249	(-)-异丁香烯 (-)-Isocaryophyllene	—	—	0.320	—	—	—	—
73	34.350	3-苯丙酸甲酯 3-Phenylpropionic acid methyl ester	—	—	—	—	0.035	—	—
74	34.375	异丁香酚 Isoeugenol	—	—	—	—	0.043	0.041	—
75	34.472	α -蒎烯 α -pinene	0.002	—	—	—	—	—	—
76	34.759	乙酸香叶酯 Geranyl acetate	—	—	—	0.363	—	—	—
77	34.933	β -榄香烯 β -Elemene	0.002	—	0.004	0.188	—	—	—
78	35.237	壬酸乙酯 Ethyl nonanoate	—	—	—	10.342	3.296	3.871	3.013
79	35.111	月桂醇 Dodecanol	—	—	—	—	—	0.038	0.004
80	35.316	正十四烷 Tetradecane	—	—	—	0.007	0.011	0.059	0.048
81	35.445	月桂酸甲酯 Methyl laurate	—	—	0.250	—	—	—	—
82	35.567	石竹素 Caryophyllene oxide	—	—	—	—	—	0.016	—
83	35.693	反式石竹烯 <i>trans</i> -Caryophyllen	—	0.005	0.004	0.010	—	0.107	0.005
84	35.609	十二醛 Dodecyl aldehyde	—	—	—	0.102	—	—	—
85	35.856	α -紫罗酮 α -ionone	—	—	—	0.040	—	—	—
86	36.042	法呢烯 Farnesene	—	—	0.960	0.049	0.050	—	—
87	37.317	丙烯酸苄酯 Benzyl acrylate	—	—	—	—	0.019	—	—
88	37.464	正十五烷 Pentadecane	—	0.006	0.387	0.518	0.062	0.139	0.122
89	37.592	反式-橙花叔醇 <i>trans</i> -Nerolidol	—	—	—	0.622	0.089	0.136	0.134
90	38.754	正十六烷 Hexadecane	—	—	0.855	0.550	0.042	0.106	0.146
91	39.367	雪松醇 Cedrol	0.003	—	0.473	0.106	0.027	0.080	—
92	40.409	正十七烷 Heptadecane	—	—	—	—	—	—	0.009
93	41.355	正十八烷 Octadecane	—	—	0.450	0.155	0.006	0.022	0.002

注：表中“—”表示未检测出。

Note: “—” indicates that it is not detected.

2.2.3 挥发性物质的主成分分析

从 93 种挥发性物质中选取含量较高的 32 种进行主成分分析。结果表明，第一主成分（PC1）贡献率为 37.365%，第二主成分（PC2）贡献率为 32.574%，第三主成分贡献率 17.060%，前 3 个主成分的累积方差贡献率为 86.91%，表明前 3 个主成分能够代表原 32 个挥发性物质，基本解释蜡梅花摊放过程中的挥发性物质特征。由表 4 可知，对于 PC1 贡献较大的有 β -月桂烯、(±)-柠檬烯、 γ -蒎烯、蒎烯油烯、4-乙基苄醇、芳樟醇、*E,E*-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯、水杨酸甲酯、丁香酚、反式-橙花叔醇，这一类物质以新鲜果香味为主，在 PC1 上具有较大的正载荷量。对于 PC2 贡献较大的有苯甲醛、 β -蒎烯、 α -罗勒烯、苯甲醇、氧化芳樟醇 I（顺式呋喃型）、对-薄荷-1,5,8-三烯、乙酸苄酯、壬酸乙酯，这一类物质以花果香味为主，在 PC2 上具有较大的正载荷量，而别罗勒烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯等有较强的负载荷量。对于 PC3 贡献较大的有 α -松油醇、丁酸苯甲酯、雪松醇，此类物质以花香、木香为主，在 PC3 上具有较大的正载荷量。上述挥发性物质的变化较大程度上反映了蜡梅花摊放过程中主要挥发性物质变化规律。

表 4 前 3 个主要成分的特征向量和载荷量
Table 4 Eigenvectors and load capacities of the first three principal components

序号 Serial number	挥发性成分 Volatiles	PC1		PC2		PC3	
		载荷量 Load capacities	特征向量 Feature vector	载荷量 Load capacities	特征向量 Feature vector	载荷量 Load capacities	特征向量 Feature vector
1	茨烯 Camphene	0.161	0.050	- 0.740	- 0.230	- 0.602	- 0.260
2	苯甲醛 Benzaldehyde	0.348	0.100	0.766	0.240	- 0.115	- 0.050
3	β -月桂烯 β -Myrcene	0.803	0.230	- 0.564	- 0.180	- 0.030	- 0.010
4	β -蒎烯 β -Pinene	- 0.584	- 0.170	0.644	0.200	- 0.341	- 0.150
5	2,6-二甲基-2,6-辛二烯 2,6-Dimethyl-2,6-octadiene	0.018	0.010	- 0.095	- 0.030	- 0.666	- 0.290
6	罗勒烯 Ocimene	0.557	0.160	- 0.761	- 0.240	- 0.285	- 0.120
7	对-薄荷-3,8-二烯 3,8- <i>p</i> -Menthadiene	0.638	0.180	- 0.675	- 0.210	- 0.284	- 0.120
8	(\pm)-柠檬烯 (\pm)-Limonene	0.993	0.280	- 0.080	- 0.020	0.054	0.020
9	(<i>E</i>)- β -罗勒烯 <i>trans</i> - β -Ocimene	0.777	0.220	- 0.468	- 0.150	- 0.412	- 0.180
10	α -罗勒烯 α -Ocimene	0.328	0.090	0.859	0.270	0.321	0.140
11	γ -萜品烯 γ -Terpinene	0.869	0.250	- 0.289	- 0.090	- 0.401	- 0.170
12	苯甲醇 Benzyl alcohol	- 0.373	- 0.110	0.615	0.190	- 0.501	- 0.220
13	萜品油烯 Terpinolene	0.908	0.260	0.124	0.040	- 0.270	- 0.120
14	氧化芳樟醇 I (顺式呋喃型) <i>cis</i> -Oxidized linalool I (furan type)	0.130	0.040	0.888	0.280	0.118	0.050
15	4-乙基苄醇 4-Ethylbenzyl alcohol	0.804	0.230	0.500	0.160	0.088	0.040
16	芳樟醇 Linalool	0.983	0.280	0.117	0.040	- 0.101	- 0.040
17	对-薄荷-1,5,8-三烯 <i>p</i> -Mentha-1,5,8-triene	- 0.422	- 0.120	0.659	0.210	- 0.489	- 0.210
18	<i>E,E</i> -2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 <i>E,E</i> -2,6-Dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	0.915	0.260	0.211	0.070	0.261	0.110
19	别罗勒烯 (<i>E,Z</i>)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 (<i>E,Z</i>)-2,6-Dimethyl-2,4,6-octatriene	0.347	0.100	- 0.879	- 0.270	0.074	0.030
20	2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 2,6-Dimethyl-2,4,6-octatriene	0.145	0.040	- 0.918	- 0.290	0.205	0.090
21	乙酸苄酯 Benzyl acetate	0.678	0.190	0.708	0.220	- 0.013	- 0.010
22	乙酸-2-甲基苯基酯 2-Methylphenyl acetate	0.748	0.210	- 0.531	- 0.170	- 0.054	- 0.020
23	乙酸间甲苯酯 <i>M</i> -Cresyl acetate	- 0.202	- 0.060	- 0.408	- 0.130	0.550	0.240
24	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	0.806	0.230	0.365	0.110	0.403	0.170
25	乙酸对甲酚酯 <i>P</i> -Tolyl acetate	- 0.295	- 0.080	- 0.766	- 0.240	0.515	0.220
26	α -松油醇 α -Terpineol	0.340	0.100	0.155	0.050	0.875	0.380
27	丁酸苄甲酯 Benzyl butyrate	- 0.308	- 0.050	- 0.175	- 0.050	0.900	0.390
28	丁香酚 Eugenol	0.867	0.250	0.363	0.110	0.273	0.120
29	壬酸乙酯 Ethyl nonanoate	0.775	0.190	0.623	0.190	0.107	0.050
30	反式石竹烯 <i>trans</i> -Caryophyllen	- 0.107	- 0.030	0.517	0.160	- 0.480	- 0.210
31	反式-橙花叔醇 <i>trans</i> -Nerolidol	0.827	0.240	0.500	0.160	0.195	0.080
32	雪松醇 Cedrol	- 0.250	- 0.070	- 0.032	- 0.010	0.688	0.300

2.2.4 主要挥发性物质的变化

根据前述分析结果, 选取蜡梅花在摊放过程中含量较高的 10 种主要挥发性物质 β -月桂烯、(\pm)-柠檬烯、 α -罗勒烯、 γ -萜品烯、萜品油烯、别罗勒烯、2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯、4-乙基苄醇、芳樟醇、乙酸苄酯进行分析。

从图 3 可以看出, 蜡梅花摊放过程中, 4-乙基苄醇的相对含量有升高的趋势, 在 12 h 后相对含量达到 7.384%, 随后呈降低的趋势。芳樟醇在 0~24 h 内有降低的趋势, 随后开始下降。乙酸苄酯在摊放过程中呈上升的趋势且相对含量最高, 12 h 达峰值, 为 32.856%, 随后下降, 但均高于 0~8 h。由图 4 可知, 别罗勒烯和 2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯随摊放时间的延长相对含量逐渐降低, β -月桂烯、 γ -萜品烯、(\pm)-柠檬烯、萜品油烯均呈现出先下降后上升再下降的趋势, 且均在摊放

初期 (0 h) 相对含量最高, 分别为 4.227%、3.772%、5.521%、6.943%, 其次为摊放 12 h, 分别为 3.963%、2.329%、4.391%、6.641%; (\pm) - 柠檬烯、萜品油烯在摊放 12 h 后相对含量最高, 分别为 5.684%、2.355%。 α -罗勒烯相对含量在摊放过程中表现出先上升后下降的趋势, 在 20 h 达最大, 相对含量为 20.986%。综上所述, 全开状态的蜡梅花在摊放过程中, 其主要的挥发性物质的相对含量均有不同程度的下降, 乙酸苄酯和 α -罗勒烯除外; 摊放 20 h 后主要的挥发性物质均开始下降。

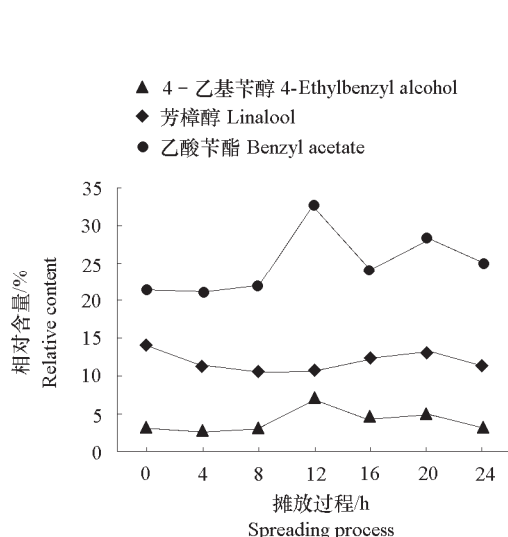


图3 蜡梅花摊放过程中主要醇、酯类物质相对含量的变化

Fig. 3 Dynamic changes of relative contents of main alcohols and esters in *Chimonanthus praecox* flowers during spreading process

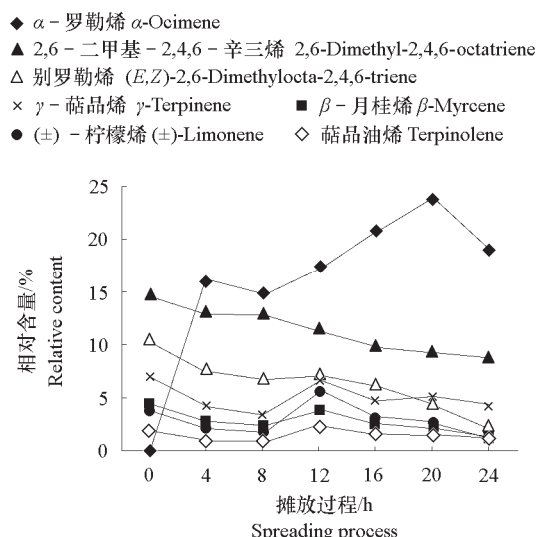


图4 蜡梅花摊放过程中主要烯烃类物质相对含量的变化

Fig. 4 Dynamic changes of relative contents of main alkenes in *Chimonanthus praecox* flowers during spreading process

3 讨论

蜡梅花与茉莉花均属气质花, 花香随花的开放不断形成和释放 (王黎明, 2002)。本研究感官审评结果显示, 花苞和初展状态蜡梅花花香弱、伴有青气, 随开放程度的增大花香逐渐浓郁, 这与谢超等 (2008) 研究结果一致, 也符合蜡梅花释香特性。初展和全开状态的蜡梅花会在离体摊放过程中略微开放, 其香气也较采摘时浓郁, 除全开状态外其余开放状态的蜡梅花均在摊放 20 h 后呈现低闷味, 而全开状态的蜡梅花摊放 20 h 后香气鲜灵度减弱, 在摊放 24 h 后香气减弱且出现低闷味, 可见全开状态下的蜡梅花采摘后摊放 20 h 内可有效地保持香气的鲜灵度。

蜡梅花香气成分主要是烯烃类、醇类和酯类物质 (江婷 等, 2005; 曹耀 等, 2010; 司辉清 等, 2010)。蜡梅花在摊放过程中检测到的挥发性物质主要也是这 3 类, 烯烃类、醇类相对含量呈先降低后增加再降低的趋势, 而酯类呈现先增加后降低的趋势, 均在 12 h 至 20 h 之间最高, 挥发性物质种类在摊放 12 h 时最多, 随后逐渐降低。Li 等 (2009) 通过顶空固相微萃取气相色谱质谱联用检测出蜡梅花中含有 71 种挥发性化合物, 主要的挥发性物质包括月桂烯、芳樟醇、乙酸苄酯、罗勒烯、月桂烯、水杨酸甲酯、雪松醇等。本研究通过主成分分析表明蜡梅花主要挥发性物质有: 以新鲜果香味为主的 β -月桂烯、(\pm)-柠檬烯、 γ -萜品烯、萜品油烯、4-乙基苄醇、芳樟醇、*E,E*-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯、水杨酸甲酯、丁香酚、反式-橙花叔醇; 以花果香气为主的苯甲醛、

β -蒎烯、 α -罗勒烯、苯甲醇、氧化芳樟醇 I (顺式呋喃型)、对-薄荷-1,5,8-三烯、乙酸苄酯、壬酸乙酯; 以花香、木香为主的 α -松油醇、丁酸苯甲酯、雪松醇。这些挥发性物质及其变化较大程度反映了蜡梅花摊放过程中的挥发性物质变化规律。酮类、醛类和酚类物质在摊放前期未检测出, 12 h 后急剧增加, 相对含量分别为 4.201%、1.622%、2.654%, 此后逐渐降低。随着摊放时间的延长, 蜡梅花挥发性物质和香气浓度都发生了相应的变化。

本研究中首次对离体蜡梅花在摊放过程中挥发性物质的变化进行了较系统的研究, 并对离体枝条经清水培养后蜡梅花的开放状态进行了观测, 可为蜡梅花适采期确定、窖制蜡梅花茶的原料选择以及开发蜡梅花精油产品等提供理论依据与参考。蜡梅花是重要的天然花香原料, 试验检测到的挥发性物质对其香气的贡献还需通过香气重构或气相色谱嗅觉测试法 (gas chromatography-olfactometry, GCO) 等试验进一步明确。

References

- Azuma H, Asakawa M T. 2005. Short communication floral scent chemistry and stamen movement of *Chimonanthus praecox* (L.) link (Calycanthaceae). *Acta Phytotaxonomica Et Geobotanica*, 56 (2): 197 - 201.
- Chen Changhui. 2012. Adsorption dynamics of calyx aroma onto basic tea in scenting process of calyx-scented tea. *Agricultural Science & Technology*, (9): 207 - 210.
- Cao Yao, Liu Zhuxiang, Tian Xiangrong, Xiang fen, Shi Jinxiao. 2010. Analysis of the volatile oil from unopened flowers in *Chimonanthus praecox*. *Life Science Research*, 14 (5): 398 - 401. (in Chinese)
- 曹 耀, 刘祝祥, 田向荣, 向 芬, 石进校. 2010. 腊梅花蕾挥发性化学成分分析. *生命科学研究*, 14 (5): 398 - 401.
- Du W, Qin K Z, Wang X F. 2012. The mechanism of stamen movement in *Chimonanthus praecox* (Calycanthaceae): differential cell growth rates on the adaxial and abaxial surfaces of filaments after flower opening. *Plant Systematics & Evolution*, 298 (3): 561 - 567.
- Huang Yuqing, Chen Yixin, Tian Houjun. 2012. Research progress on extraction methods of plant aroma components. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 40 (7): 245 - 247. (in Chinese)
- 黄玉清, 陈艺欣, 田厚军. 2012. 植物香气成分提取方法的研究进展. *江苏农业科学*, 40 (7): 245 - 247.
- Jiang Ting, Yuan Jin-peng, Cheng Chuange, Li Shu-e, Wang Xiao, Chen Li-zong. 2005. Analysis of chemical constituents of volatile oil from *Chimonanthus praecox*. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 22 (6): 1329 - 1332. (in Chinese)
- 江 婷, 苑金鹏, 程传格, 李淑娥, 王 晓, 陈立宗. 2005. 腊梅花挥发油化学成分分析. *光谱实验室*, 22 (6): 1329 - 1332.
- Li Ming, Cao Guang-qun, Yang Cheng, Sun Pei-dong, Jiang Bang-wen. 2012. Studies on *Chimonanthus praecox* aroma enhanced by β -glucosidase. *Food & Mechanical*, 28 (5): 39 - 41. (in Chinese)
- 李 明, 曹光群, 杨 成, 孙培冬, 蒋邦文. 2012. β -葡萄糖苷酶解腊梅花增香效果的研究. *食品与机械*, 28 (5): 39 - 41.
- Li Yongju. 2010a. Effect of different fresh flowers and foundation pattern on quality of *Chimonanthus praecox* tea. *Journal of Guizhou Agricultural Sciences*, 38 (10): 183 - 184. (in Chinese)
- 李永菊. 2010a. 不同鲜花及打底方式对腊梅花茶品质的影响. *贵州农业科学*, 38 (10): 183 - 184.
- Li Yongju. 2010b. Study on the effect of baking on the quality of *Chimonanthus* tea. *Editorial Board*, (4): 179 - 182. (in Chinese)
- 李永菊. 2010b. 烘焙对腊梅花茶品质的影响研究. *茶业通报*, (4): 179 - 182.
- Li Z G, Cao H, Lee M R, Shen D L. 2009. Analysis of volatile compounds emitted from *Chimonanthus praecox* (L.) link in different florescence and QSRR study of GC retention indices. *Chromatographia*, 70 (7 - 8): 1153 - 1162.
- Niu Yunwei, Zhou Xuan, Xiao Zuobing, Chen Hexing. 2016. Effects of extraction methods on aroma components of cherry wine. *Chinese Journal of Food Science*, (12): 247 - 254. (in Chinese)
- 牛云蔚, 周 璇, 肖作兵, 陈合兴. 2016. 萃取方法对樱桃酒香气成分的影响. *中国食品学报*, (12): 247 - 254.
- Kozomara B, Vinterhalter B, Radojevi L D, Vinterhalter. 2008. *In vitro* propagation of *Chimonanthus praecox* (L.), a winter flowering ornamental shrub. *In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant*, 44 (2): 142 - 147.
- Pang Xiaoli, Si Huiqing, Li Yongju. 2007. Influence of the scenting technique factors on quality of *Chimonanthus* tea. *Tea Science*, 27 (4): 316 - 322. (in Chinese)

- 庞晓莉, 司辉清, 李永菊. 2007. 窖制技术因子对蜡梅花茶品质的影响. 茶叶科学, 27 (4): 316 - 322.
- Si Huiqing, Shen Qiang, Pang Xiaoli. 2010. Super critical fluid carbon dioxide extraction and GC - MS analysis of essential oil from *Chimonanthus praecox* flowers. Food Science, 31 (2): 134 - 137. (in Chinese)
- 司辉清, 沈 强, 庞晓莉. 2010. 蜡梅花精油超临界 CO₂ 萃取及 GC - MS 分析. 食品科学, 31 (2): 134 - 137.
- Toshio M, Yusuke N, Kiyofumi N, Hisashi M, Souichi N, Hisako M, Yu M, Masayuki Y, Takao H, Osamu M. 2014. Dimeric pyrrolidinoindoline-type alkaloids with melanogenesis inhibitory activity in flower buds of *Chimonanthus praecox*. Journal of Natural Medicines, 68 (3): 539 - 549.
- Xiao Bingkun, Liu Yaoming. 2003. Research progress in classification, chemical composition and pharmacological action of *Chimonantha*. Modern Chinese Medicine Research and Practice, 17 (2): 59 - 61. (in Chinese)
- 肖炳坤, 刘耀明. 2003. 蜡梅属植物分类、化学成分和药理作用研究进展. 现代中药研究与实践, 17 (2): 59 - 61.
- Xie Chao, Wang Jianhui, Gong Zhengli. 2008. Analysis on aromatic constituents of fragrant flower *Chimonanthus praecox* (L.) Link in aroma releasing. Tea Science, 28 (4): 282 - 288. (in Chinese)
- 谢 超, 王建晖, 龚正礼. 2008. 蜡梅释香过程中香气成分的分析研究. 茶叶科学, 28 (4): 282 - 288.
- Xu Nianjun, Bai Haibo, Yan Xiaojun, Xu Jilin. 2006. Analysis of volatile components in essential oil of *Chimonanthus praecox* by capillary gas chromatography - mass spectrometry. Journal of Instrumental Analysis, 25 (1): 90 - 93. (in Chinese)
- 徐年军, 白海波, 严小军, 许继林. 2006. 山蜡梅中挥发油成分分析. 分析测试学报, 25 (1): 90 - 93.
- Wang Liming. 2002. Study on the mechanism of open scent of *Jasminum Sambac* Ait [M. D. Dissertation]. Hefei: Anhui Agricultural University.
- 王黎明. 2002. 茉莉花 (*Jasminum sambac* Ait) 开放释香机理研究 [硕士论文]. 合肥: 安徽农业大学. (in Chinese)
- Wang W, Cao L, Xiong J, Gang X, Hu J. 2011. Constituents from *Chimonanthus praecox* (winter sweet). Phytochemistry Letters, 4 (3): 271 - 274.
- Zhang Wenqing, Song Jieqiong, Xia Wei, Du Yong-qin, Cheng Qin-xian, Tian Xiao-long. 2012. Component analysis of the essential oils extracted from *Chimonanthus praecox* (L.) Link at three different blooming stages. Fine Chemicals, 29 (8): 51 - 54. (in Chinese)
- 张文清, 宋洁琼, 夏 玮, 杜永芹, 程勤贤, 田晓龙. 2012. 蜡梅花不同开放状态的精油成分分析. 精细化工, 29 (8): 51 - 54.
- Zhang Zunjing, Liu Zhongda. 2009. Recent research on the composition and pharmacological effects of sorbitan. Zhejiang Journal of Traditional Chinese Medicine, 44 (11): 849 - 850. (in Chinese)
- 张尊敬, 刘忠达. 2009. 山蜡梅的成分及药理作用研究近况. 浙江中医杂志, 44 (11): 849 - 850.
- Zhao Liqin. 2011. Ingredients and biological activity of *Carassius auratus*. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 22 (7): 1774 - 1776. (in Chinese)
- 赵利琴. 2011. 蜡梅科蒴类成分及其生物活性. 时珍国医国药, 22 (7): 1774 - 1776.
- Zhao Jianwei, Huang Yanwen. 1994. Studies on microsporogenesis and pollen formation of *Chimonanthus chinensis*. Journal of Plant Science, 12 (2): 101 - 104. (in Chinese)
- 赵建伟, 黄燕文. 1994. 蜡梅小孢子发生和花粉形成的研究. 植物科学学报, 12 (2): 101 - 104.
- Zhao Ying, Zhang Yuan, Wang Zhezhi. 2010. Chemical composition and biological activities of essential oil from flower of *Chimonanthus praecox* (L.) Link. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 21 (3): 622 - 625. (in Chinese)
- 赵 莹, 张 媛, 王喆之. 2010. 蜡梅花挥发油成分分析及生物活性初探. 时珍国医国药, 21 (3): 622 - 625.
- Zheng Kaiying. 2008. Studies on the scenting processing of *Chimonanthus*-scented tea [M. D. Dissertation]. Wuhan: Huazhong Agricultural University. (in Chinese)
- 郑凯英. 2008. 蜡梅花茶窖制工艺的研究 [硕士论文]. 武汉: 华中农业大学.
- Zhou Jirong, Ni Dejiang. 2010. Changes in flower aroma Compounds of cultivars of *Chimonanthus praecox* (L.) Link and at different stages relative to *Chimonanthus* tea quality. Acta Horticulturae Sinica, 37 (10): 1621-1628. (in Chinese)
- 周继荣, 倪德江. 2010. 蜡梅不同品种和花期香气变化及其花茶适制性. 园艺学报, 37 (10): 1621 - 1628.
- Zhou Jirong, Zheng Kaiying, Di Yingjie, Chun Xiaoya, Ni Dejiang. 2010. Changes in quality of *Chimonanthus* tea during processing. Tea Science, 30 (5): 69 - 74. (in Chinese)
- 周继荣, 郑凯英, 狄英杰, 春晓娅, 倪德江. 2010. 蜡梅花茶加工过程中品质的变化. 茶叶科学, 30 (5): 69 - 74.