

分析与测试

上海白玉兰花香和鲜花精油挥发性成分的 GC-MS 分析研究

黄积武¹, 郭思妤¹, 王慧敏², 周博文¹, 王昊阳¹, 郭寅龙¹, 刘文^{*1}

(1.中国科学院上海有机化学研究所 a.生命过程小分子调控全国重点实验室, b.分析测试中心, 上海 200032;

2.上海社会科学院 应用经济研究所, 上海 200020)

摘要: 为了比较上海白玉兰花香和白玉兰鲜花精油的成分差异, 采用顶空气质联用技术(HS-GC-MS)或气相色谱-质谱联用技术(GC-MS)进行挥发性成分的分析。结果表明, 从白玉兰花香和白玉兰鲜花精油中共鉴定出 44 种成分, 相同成分 10 种; 白玉兰花香中共检测出 26 种成分, 相对含量占其总量的 96.29%, 其主要成分为桉叶油醇(26.73%)、桉烯(23.29%)、 β -蒎烯(18.77%)、 β -月桂烯(12.22%)和 α -蒎烯(6.83%); 白玉兰鲜花精油中共检测出 28 种化学成分, 相对含量占其总量的 79.46%, 主要成分包括苯乙醇(35.48%)、桉叶油醇(10.09%)、 α -松油醇(9.12%)、柳杉二醇(5.69%)和 4-松油醇(5.52%)。白玉兰花香和白玉兰鲜花精油成分在类别及相对含量上均有所差异, 这为白玉兰资源的合理开发利用提供了理论依据。

关键词: 白玉兰; 花香; 精油; 挥发性成分; GC-MS

中图分类号: O65 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258-3283(2025)01-0080-06

DOI: 10.13822/j.cnki.hxsj.2024.0383

GC-MS Analysis of Volatile Components in Shanghai Yulania denudate Floral Fragrance and Fresh Flower Essential Oil

HUANG Ji-wu¹, GUO Si-yu¹, WANG Hui-min², ZHOU Bo-wen¹, WANG Hao-yang¹, GUO Yin-long¹, LIU Wen^{*1} (1a. State Key Laboratory of Chemical Biology, 1b. Analyses and Testing Center, Shanghai Institute of Organic Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China; 2. Institute of Applied Economics, Shanghai Academy of Social Sciences, Shanghai 200020, China)

Abstract: To assess the differences in composition between the fragrance of Shanghai *Yulania denudate* fresh flowers and the essential oil extracted from fresh *Y. denudate* flowers, volatile constituents were analyzed by using headspace gas chromatography-mass spectrometry (HS-GC-MS) or gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results revealed a total of 44 identified compounds from both fragrance and essential oil, with 10 compounds common to both. The fragrance exhibited 26 components, accounting for 96.29% of the total, characterized predominantly by eucalyptol (26.73%), sabinene (23.29%), β -pinene (18.77%), β -myrcene (12.22%) and α -pinene (6.83%). The fresh flower essential oil contained 28 chemical constituents, comprising 79.46% of the total, with major components including phenylethanol (35.48%), eucalyptol (10.09%), α -terpineol (9.12%), cryptomeridiol (5.69%) and 4-terpineol (5.52%). Differences in the composition and relative proportions of components between the fragrance and essential oil of *Y. denudate* provide a scientific basis for the rational exploitation of this resource.

Key words: *Yulania denudate*; floral fragrance; essential oils; volatile components; GC-MS

白玉兰系木兰科玉兰属玉兰(*Yulania denudata* (Desr.) D.L.Fu), 为落叶乔木, 又称迎春花、望春兰、木兰等^[1]。该植物广泛分布于中国的江西、浙江、湖南、贵州等地, 不仅常见于城市园林并具有观赏价值, 其干燥花蕾还有药用价值^[2,3]。作为上海市的市花, 白玉兰以其优雅的花姿和迷人的花香闻名, 不仅美化了城市环境, 而且深受市民喜爱和重视。

受生态环境的影响, 不同产地的白玉兰挥发

性成分存在显著差异。孙印石等^[4]通过静态顶空进样气质联用法分析了山东白玉兰的主要香气成分, 发现其主要成分包括 β -侧柏烯、 β -蒎烯、

收稿日期: 2024-08-12; 修回日期: 2024-09-16

基金项目: 科技部重大专项项目(2022YFC2303100)。

作者简介: 黄积武(1992-), 男, 广西贺州人, 博士, 博士后, 主要研究方向为天然产物挖掘与生物合成。

通讯作者: 刘文, E-mail: wliu@sioc.ac.cn。

β -月桂烯和 α -蒎烯等。向甜甜等^[5]采用气相色谱-质谱分析技术(GC-MS)分析了湖北白玉兰花精油,结果显示其主要成分为石竹烯、芳樟醇、(*E,E*)-1-甲基-5-亚甲基-8-异丙基-1,6-环癸二烯和乙酸松油酯等;李军集等^[6]通过 GC-MS 分析发现,芳樟醇是广西白玉兰鲜花、鲜叶、干花和干叶中挥发油的主要成分,其次为桉叶烯、甲基丁香酚和橙花叔醇等;宁坚刚等^[7]使用 GC-MS 分析了陕西白玉兰花挥发油的化学成分,主要成分包括桉叶油醇、松油醇、苯乙醇和桉烯等。尽管已有学者对多个产地的白玉兰花香和精油成分进行了分析,但目前尚未有关于上海白玉兰的相关报道。本研究采用顶空气相色谱-质谱联用技术(HS-GC-MS)和 GC-MS,旨在全面、准确地揭示上海白玉兰花香与其精油的化学成分差异,为有效开发和利用白玉兰资源提供科学依据。

1 实验部分

1.1 主要仪器与试剂

Smart-Q30 型实验室纯水系统(上海和泰仪器有限公司);AOC-6000 型顶空进样器、GCMS-QP2010 Ultra 型气相色谱质谱联用仪(日本岛津公司);DB-5MS 型气相色谱柱(30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m,美国安捷伦公司)。

去离子水由 Smart-Q30 实验室纯水系统制备;氯化钠、无水硫酸钠(分析纯,上海大合化学有限公司);无水乙醚(分析纯,上海实验试剂有限公司);二氯甲烷(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

实验用白玉兰鲜花于 2024 年 3 月 15 日采自上海市长宁区虹桥路 1921 号西郊宾馆(北纬 31°12'12",东经 121°22'29")内的古树白玉兰(*Yulania denudata*)。

1.2 实验方法

1.2.1 白玉兰鲜花香气分析

将 3 朵白玉兰鲜花剪碎混匀,每份取 1.4 g 样品放入 20 mL 顶空进样瓶中,旋紧瓶塞密封,取 3 份样品进行检测。放入自动顶空进样仪中,预热并平衡 30 min 后取样 500 μ L 进行 GC-MS 分析。

GC-MS 分析条件:进样口温度为 250 $^{\circ}$ C;载气为高纯 He,流速 1.00 mL/min。升温程序:初始柱温度 40 $^{\circ}$ C,10 $^{\circ}$ C/min 升至 180 $^{\circ}$ C,保持 3 min,再以 20 $^{\circ}$ C/min 升温到 200 $^{\circ}$ C,保持 5 min;分流比 10:1。MS 条件:离子源温度 230 $^{\circ}$ C,检测

器温度 250 $^{\circ}$ C;离子源为 EI;电离电压 70 eV;质量范围 m/z 35~450。

1.2.2 白玉兰鲜花精油分析

称取 170 g 白玉兰鲜花样品,剪碎置于 1 000 mL 圆底磨口烧瓶中,加入 60 g 氯化钠、600 mL 去离子水和适量沸石,浸泡过夜,超声 10 min,水蒸气蒸馏提取 4 h。抽提结束后,得到 500 mL 提取液。提取液中加入 100 g 氯化钠,充分溶解后每次用 400 mL 无水乙醚萃取,共萃取 3 次。合并乙醚层,加入适量无水硫酸钠干燥 20 min,过滤后使用旋转蒸发仪除去乙醚,得到 130 μ L 淡黄色油状精油。取 5 μ L 精油,用 95 μ L 二氯甲烷溶解,进行 GC-MS 分析。每次进样量为 0.2 μ L,重复检测 3 次。

GC-MS 分析条件:进样口温度为 240 $^{\circ}$ C;载气为高纯 He,流速 1.00 mL/min。初始柱温度 60 $^{\circ}$ C,保持 2 min,2 $^{\circ}$ C/min 升至 120 $^{\circ}$ C,保持 1 min,10 $^{\circ}$ C/min 升至 240 $^{\circ}$ C,保持 5 min;分流比 20:1。MS 条件:离子源温度 230 $^{\circ}$ C,检测器温度 250 $^{\circ}$ C;离子源为 EI;电离电压 70 eV;质量范围 m/z 35~450。

2 结果与讨论

按照上述 GC-MS 分析条件对白玉兰鲜花香

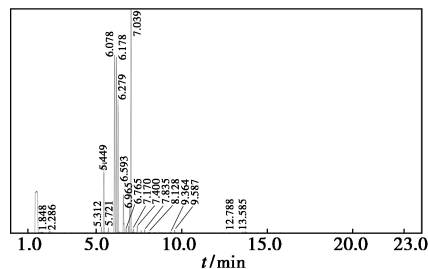


图 1 白玉兰花香挥发性成分总离子流图

Fig.1 Total ion flow chromatogram of volatile components in fresh flowers from *Yulania denudata*

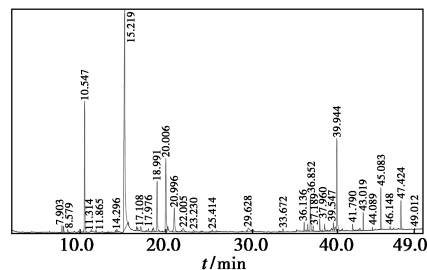


图 2 白玉兰鲜花精油总离子流图

Fig.2 Total ion flow chromatogram of essential oil of fresh flowers from *Yulania denudata*

气和白玉兰鲜花精油进行检测分析,其挥发性成分的总离子流图分别如图 1 和 2 所示(实验共得 6 张总离子流图,此处展示的是其中 2 张)。利用 NIST14 标准谱库进行检索,选择匹配度>80%的

成分统计分析。采用峰面积归一法计算每种化合物的相对百分含量,结果表示为平均值±标准偏差($n=3$)。白玉兰花香和白玉兰鲜花精油挥发性成分种类及相对含量分析结果见表 1。

表 1 白玉兰花香、白玉兰鲜花精油的挥发性成分^注

Tab.1 Volatile components in fresh flowers and essential oils of fresh flowers from *Yulania denudate* ($n=3$)

No.	Compounds	Molecular formula	Molecular weight	Relative content/%	
				Floral fragrance	Essential oil
1	isobutyraldehyde	C ₄ H ₈ O	72	0.17±0.00	ND
2	hexanal	C ₆ H ₁₂ O	100	0.04±0.03	ND
3	heptanal	C ₇ H ₁₄ O	114	0.03±0.01	ND
4	3-hexenol	C ₆ H ₁₂ O	100	0.02±0.01	ND
5	α-pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	6.83±0.44	ND
6	camphene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.60±0.02	ND
7	sabinen	C ₁₀ H ₁₆	136	23.29±0.48	0.48±0.04
8	β-pinene	C ₁₀ H ₁₆	136	18.77±0.22	0.44±0.04
9	β-myrcene	C ₁₀ H ₁₆	136	12.22±0.64	0.21±0.05
10	α-thujene	C ₁₀ H ₁₆	136	4.31±0.44	ND
11	(+)-4-carene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.43±0.07	ND
12	o-cymene	C ₁₀ H ₁₄	134	0.69±0.07	ND
13	eucalyptol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	26.73±1.33	10.09±0.38
14	β-ocimene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.34±0.03	ND
15	D-limonene	C ₁₀ H ₁₆	136	T2	0.13±0.02
16	γ-terpinene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.58±0.10	0.18±0.03
17	cis-sabinene hydrate	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.19±0.09	ND
18	isoterpinolene	C ₁₀ H ₁₆	136	0.18±0.15	T1
19	linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.12±0.14	T2
20	undecane	C ₁₁ H ₂₄	156	ND	0.14±0.03
21	phenylethanol	C ₈ H ₁₀ O	122	T1	35.48±0.95
22	p-menth-2-en-1-ol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	ND	0.29±0.01
23	lilac aldehyde B	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	T2	0.69±0.03
24	lilac aldehyde D	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	168	ND	0.26±0.02
25	δ-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	T1	0.30±0.03
26	p-mentha-1,5-dien-8-ol	C ₁₀ H ₁₆ O	152	ND	0.54±0.06
27	4-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.08±0.02	5.52±0.21
28	α-terpineol	C ₁₀ H ₁₈ O	154	0.19±0.16	9.12±0.14
29	α-terpinyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	0.02±0.01	ND
30	β-elemene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.04±0.03	ND
31	2-hydroxy-1,8-cineole	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	170	T1	3.56±0.14
32	bornyl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	196	T2	0.23±0.03
33	safrole	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	162	ND	0.16±0.06
34	1,3,3-trimethyl-2-oxabicyclo [2.2.2]octan-6-yl acetate	C ₁₂ H ₂₀ O ₃	212	T1	0.25±0.05
35	methyleugenol	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	178	ND	0.23±0.08
36	caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.06±0.03	0.42±0.04
37	α-farnesene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.19±0.20	ND
38	α-caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	204	0.09±0.13	0.13±0.03
39	germacrene D	C ₁₅ H ₂₄	204	0.08±0.06	0.71±0.06

续表

No.	Compounds	Molecular formula	Molecular weight	Relative content/%	
				Floral fragrance	Essential oil
40	elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	ND	0.92±0.05
41	nerolidol	C ₁₅ H ₂₆ O	222	ND	0.19±0.07
42	spathulenol	C ₁₅ H ₂₄ O	220	ND	0.64±0.10
43	cryptomeridiol	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	240	ND	5.69±4.27
44	heneicosane	C ₂₁ H ₄₄	296	ND	2.45±0.43
Total				96.29±2.45	79.46±4.88

注:相对含量表示为平均值±标准偏差($n=3$);“ND”表示未检测到;“T1”表示在 1 个样品或 1 次测试中检测到,不计入统计;“T2”表示在 2 个样品或 2 次测试中检测到,不计入统计。

2.1 白玉兰花香成分

如表 1、图 1 和图 3 所示,采用 HS-GC-MS 检测白玉兰花香,3 组共检出 26 个相同成分,占白玉兰鲜花香气成分的 96.29%。白玉兰花香含有烯烃、醇、醛、酯类等,以单萜类化合物为主,鲜花香气中含量较高(相对含量>5%)的成分依次是:桉叶油醇(26.73%)、桉烯(23.29%)、 β -蒎烯(18.77%)、 β -月桂烯(12.22%)和 α -蒎烯(6.83%),占鲜花香气成分的 87.84%。鲜花香气中相对含量小于 0.1%的化合物有 9 种,仅占白玉兰花香的 0.46%。

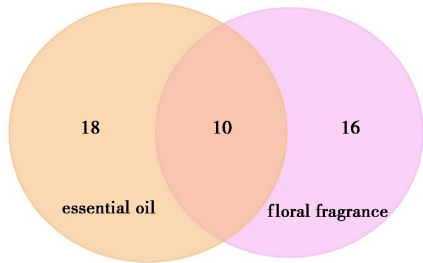


图 3 白玉兰花香和鲜花精油挥发性成分统计

Fig.3 Volatile component profiling of *Yulania denudate* floral fragrance and fresh flower essential oil

2.2 白玉兰鲜花精油成分

如表 1、图 2 和图 3 所示,采用 GC-MS 检测白玉兰鲜花精油,3 次检测共检出 28 个相同成分,占白玉兰鲜花精油成分的 79.46%。白玉兰鲜花精油含有烯烃、烷烃、醇、醛、酯类等,以醇类化合物为主,鲜花精油中含量较高(相对含量>5%)的成分依次是:苯乙醇(35.48%)、桉叶油醇(10.09%)、 α -松油醇(9.12%)、柳杉二醇(5.69%)和 4-松油醇(5.52%),占鲜花精油成分的 65.90%。此外,鲜花精油挥发性成分其相对含量为 1%~5%的化合物有 2 个,分别是 2-羟基-1,8-桉叶素(3.56%)和二十一烷(2.45%),剩余的 21 个成分其相对含量在 0.1%~1%之间。

2.3 白玉兰花香和鲜花精油挥发性成分对比

本研究中发现上海白玉兰花香的 5 种主要成分均为单萜成分,这与孙印石等^[4]研究结果基本相符;白玉兰鲜花精油的主要成分为苯乙醇、桉叶油醇、 α -松油醇、柳杉二醇和 4-松油醇,除柳杉二醇以外,主要成分与宁坚刚等^[7]研究结果基本相同。但本研究中检测的白玉兰花香和白玉兰鲜花精油挥发性成分的种类和相对含量与 Ye^[8]、向甜甜等^[5]的研究结果有所差异,这可能是由于白玉兰生长环境不同所致。

如表 1 和图 3 所示,白玉兰花香和鲜花精油共有 10 种相同的挥发性成分,包括单萜和倍半萜类化合物。单萜类成分包括桉烯、 β -蒎烯、 β -月桂烯、桉叶油醇、 γ -松油烯、4-松油醇和 α -松油醇;倍半萜类化合物包括石竹烯、 α -石竹烯和大根香叶烯 D。这 10 种成分分别占白玉兰花香和白玉兰鲜花精油的已鉴定成分数量的 35.71% 和 38.46%,其相对含量分别为 82.09% 和 27.30%。这些成分可能是构成白玉兰花香的基础。桉叶油醇伴有樟脑香、类青和草药香^[9];桉烯呈现出木香、松节油和椒香的特征^[9]; β -蒎烯则带有松木和草本的气味^[10];而月桂烯则具备花香、木香和柠檬的香味^[11]。桉烯、 β -蒎烯和 β -月桂烯在白玉兰花香中的含量均超过 10%,对整体香气贡献显著。然而,白玉兰的香气受到许多含量相对较低成分的影响,各成分之间可能存在协同作用,因此,不能忽视含量较低成分的作用。

对比白玉兰花香和鲜花精油的挥发性物质在成分类型和相对含量方面的数据,发现两者存在明显的差异。(1)在成分类型方面,白玉兰花香主要以较轻的组分为主,相对含量>5%的 5 种主要成分均为单萜类化合物(图 4);而白玉兰鲜花精油的成分则以沸点较高的醇类为主。(2)在成分含量方面,尽管桉叶油醇在两者中的相对含量

均超过 10%,但白玉兰花香和鲜花精油在主要成分上的含量差异仍然显著(图 4)。在白玉兰花香中, α -蒎烯、桉烯、 β -蒎烯和 β -月桂烯等 4 种主要成分在鲜花精油中并不占主导地位,它们的相对含量较低($<0.50\%$),甚至有些未被检测到。相反,白玉兰鲜花精油主要含有苯乙醇、4-松油醇、 α -松油醇、柳杉二醇等成分,而这些在花香中的含量则较低或未被检测到。本研究中,白玉兰鲜花的香气及其精油挥发性成分在种类和含量上存在显著差异,这主要归因于两者检测方法的不同:前者检测的是鲜花直接释放到空气中的香气成分,而后者主要分析通过蒸馏萃取法提取的不溶于水的强亲脂性成分。蒸馏过程中的高温处理可能导致某些易挥发的香气成分损失。蒸馏萃取法适用于提取对纯度要求较高的精油,特别适用于医药和保健领域;而顶空分析法则更适合于分析食品或饮料中的香气成分,有助于保留原始的香气特征。本研究的结果为进一步开发和利用白玉兰资源提供了参考。

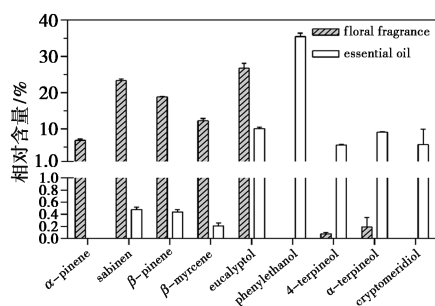


图 4 白玉兰花香和鲜花精油主要成分对比

Fig.4 Comparison of major components between *Yulania denudate* floral fragrance and fresh flower essential oil

王焱宁等^[12]报道,单萜类化合物的释放有利于提高周围环境的空气质量, β -蒎烯能明显抑制细菌的生长;文福姬等^[13]和骆宝仪等^[14]报道, α -蒎烯和 β -蒎烯具有很好的杀虫效果;孙伟杰等^[15]研究表明,桉叶油醇、桉烯、 α -松油醇、4-松油醇、异松油烯具有较好的抑菌效果;Yu 等^[16]报道,苯乙醇能明显抑制大肠杆菌(*E.coli*)、沙门氏肠炎杆菌(*S.enteritidis*)、肠膜明串珠菌(*L.mesenteroides*)等细菌的生长。本研究发现,白玉兰花香的主要成分为单萜类化合物,且相对含量较高的组分如 α -蒎烯、 β -蒎烯、桉烯和桉叶油醇具有较强的抗菌或杀虫作用。因此,白玉兰具有很高的栽植利用价值,是园林绿化和道路美观的优良资源。此外,白玉兰鲜花精油的主要成分包括苯乙醇、 α -松油

醇和 4-松油醇等醇类成分,这些成分不仅具有良好的抗菌活性,而且苯乙醇本身具有宜人的香气特征,带有清香、甜香和玫瑰般的芳香^[9]。综上所述,白玉兰鲜花精油在日化、医药和香料行业中具有广阔的应用前景。

3 结论

本研究运用 HS-GC-MS 和 GC-MS 分析了上海白玉兰花香及其蒸馏萃取得到的精油成分,并进行了详尽的比较研究。研究表明,尽管白玉兰花香和白玉兰鲜花精油有 10 种相同成分,但它们在成分类型和相对含量上存在显著差异。白玉兰花香主要由单萜类化合物组成,而白玉兰鲜花精油则以醇类化合物为主。这种差异可能源于两者检测方法和升温程序的不同。这些发现为更好地开发利用上海白玉兰提供了科学依据。

参考文献:

- [1] Xia N H, Liu Y H, Hans P N. Flora of China. Magnoliaceae. Beijing & St. Louis: Science Press & Missouri Botanical Garden Press, 2008: 74.
- [2] Li X R, Xu F H, Fan Q P, Zhou X F, Qian Y Q, Zhou S Y, Li M D. Chin. Wild Plant Res., 2023, **42**(12): 84-89. 李心如, 徐发红, 范奇盼, 周贤峰, 钱宇卿, 周思雨, 李铭东. 中国野生植物资源, 2023, **42**(12): 84-89.
- [3] Jia Y P, Chen L, Zhang J, Li R Y, Wang R H. Plant Physiol. J., 2022, **58**(10): 1 995-2 005. 贾亚萍, 陈玲, 张瑾, 李若怡, 王若涵. 植物生理学报, 2022, **58**(10): 1 995-2 005.
- [4] Sun Y S, Wang J H, Cheng X Z, Bi J J, Liu Z B. Lishizhen Med. Mater. Med. Res., 2010, **21**(6): 1 386-1 387. 孙印石, 王建华, 程秀珍, 毕建杰, 刘政波. 时珍国医国药, 2010, **21**(6): 1 386-1 387.
- [5] Xiang T T, Bian K X, Chen L Z, Deng S M. Hubei Agric. Sci., 2019, **58**(13): 106-110. 向甜甜, 边康鑫, 陈玲至, 邓仕明. 湖北农业科学, 2019, **58**(13): 106-110.
- [6] Li J J, Meng Z L, Li G Q. J. Southwest Fore. University, 2012, **32**(6): 102-106. 李军集, 孟忠磊, 黎贵卿. 西南林业大学学报, 2012, **32**(6): 102-106.
- [7] Ning J G, Wei Y S. J. Qinghai Normal University (Natural Science), 2005, **3**: 65-68. 宁坚刚, 魏永生. 青海师范大学学报(自然科学版),

- 2005, **3**:65-68.
- [8] Ye Q. *Asian J. Chem.*, 2013, **25**(**11**) :6 199-6 202.
- [9] Dong T Y, Qi N, Liu R J, Sun J, Zhang N, Chen H T. *Fine Chem.*, 2024, **40**(**4**) :869-877.
- 董天宇, 齐楠, 刘芮嘉, 孙杰, 张宁, 陈海涛. 精细化工, 2024, **40**(**4**) :869-877.
- [10] Liu S J, Zhang R L, Kan Q X, Song M Y, Fu J, Chen X L, Su Q C. *Mod. Food Sci. Technol.*, 2024, **40**(**11**) :1-13.
- 刘世君, 张若琳, 阚启鑫, 宋明月, 付娟, 陈晓丽, 苏秋成. 现代食品科技, 2024, **40**(**11**) :1-13.
- [11] Liu P P, Zheng P C, Gong Z M, Chang Z R, Su F J, Huang B, Feng L, Gao S W, Deng L. *Food Sci.*, 2021, **42**(**8**) :198-205.
- 刘盼盼, 郑鹏程, 龚自明, 常泽睿, 苏方俊, 黄波, 冯琳, 高士伟, 邓琳. 食品科学, 2021, **42**(**8**) :198-205.
- [12] Wang Y N, Jia L Y, Fan B Q, Liu Y N, Sun K. *J. Trad. Chin. Veterin. Med.*, 2018, **37**(**3**) :14-17.
- 王焱宁, 贾凌云, 范宝强, 刘颖楠, 孙坤. 中兽医医药杂志, 2018, **37**(**3**) :14-17.
- [13] Wen F J, Yu Q S. *Modern Chem. Industry*, 2005, **25**(**4**) :25-28.
- 文福姬, 俞庆善. 现代化工, 2005, **25**(**4**) :25-28.
- [14] Luo B Y, Chen K, Su J, Fu M, Gu J Y, Jia S, Li X M, Wu Z Y, Yuan H Q, Zheng L L, Chen Y H. *Farm Products Processing*, 2022, **11**:94-96;99.
- 骆宝仪, 陈凯, 栗君, 付敏, 顾佳怡, 贾硕, 李雪梅, 吴子玉, 袁海青, 郑丽丽, 陈宇豪. 农产品加工, 2022, **11**:94-96;99.
- [15] Sun W J, Lei B, He Y, Ma S M, Liu N, Mei Q B, Liu L. *Sci. Tech. Food Industry*, 2021, **42**(**2**) :199-203.
- 孙伟杰, 雷博, 何园, 马淑梅, 刘楠, 梅其炳, 刘莉. 食品工业科技, 2021, **42**(**2**) :199-203.
- [16] Yu L, Rrn J X, Nan H M, Liu B F. *Nat. Prod. Res.*, 2015, **29**(**18**) :1 779-1 782.