

智能感官技术与多成分定量联合分析比较不同干燥方式金银花质量

孙名悦¹, 姜晓娅^{1,2,3}, 邹涵¹, 程华^{4,5}, 武墨广⁶, 冯玉^{1,2,3*}, 牛丽颖^{1,2,3*}

1. 河北中医药大学, 河北 石家庄 050200
2. 河北省中药配方颗粒技术创新中心, 河北 石家庄 050091
3. 中药材品质评价与标准化河北省工程研究中心, 河北 石家庄 050091
4. 河北省科学院生物研究所, 河北 石家庄 050081
5. 河北省巨鹿县应用技术研究院, 河北 邢台 055250
6. 河北省巨鹿县农业农村局, 河北 邢台 055250

摘要: 目的 比较不同干燥方式下金银花 *Lonicerae Japonicae Flos* 中的多指标成分(酚酸类成分和木犀草苷)含量及“色、气、味”的变化, 获得最佳的干燥方式。方法 通过 HPLC 技术对金银花中酚酸类成分和木犀草苷进行质量控制, 利用智能感官技术研究不同干燥方式下金银花的色、气、味特征, 通过色-气-味-多指标成分相关性分析, 评价不同干燥方式金银花的质量。结果 蒸汽杀青烘干、冷冻真空干燥、微波杀青烘干的总酚酸含量较高; 晒干、微波杀青烘干、蒸汽杀青烘干的木犀草苷含量较高。不同干燥方式的金银花“色、气、味”差异体现在亮度值(L^*)、红绿色度值(a^*)、W5S、W1W、W1S、W2S、W2W 号传感器、苦味、涩味。经相关性分析, 酚酸类成分总含量越高, 金银花绿色越深、W1W 号传感器响应值越高、涩味越大、苦味越小; 木犀草苷含量越高, 金银花亮度越高、W5S、W1W 号等传感器响应值越低。真空冷冻色泽最佳, 阴干的气味最浓郁, 而经蒸汽杀青烘干、微波杀青烘干的金银花体现出独有的苦味回味、涩味回味。结论 从多指标成分保留、色度、味道角度来看, 蒸汽杀青烘干、微波杀青烘干为金银花最佳的干燥方式, 为金银花干燥工艺优化和质量快速评价提供新方法。

关键词: 金银花; 干燥方式; 电子眼; 电子鼻; 电子舌; 质量评价; 蒸汽杀青烘干; 微波杀青烘干

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2026)09-3353-12

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.09.009

Comparative analysis of *Lonicerae Japonicae Flos* quality using smart sensory technology and multi-component content analysis across different drying methods

SUN Mingyue¹, JIANG Xiaoya^{1,2,3}, ZOU Han¹, CHENG Hua^{4,5}, WU Moguang⁶, FENG Yu^{1,2,3*}, NIU Liying^{1,2,3}

1. Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China
2. Hebei Traditional Chinese Medicine Formula Granule Engineering & Technology Innovate Center, Shijiazhuang 050091, China
3. Hebei Provincial Engineering Research Center for Quality Evaluation and Standardization of Chinese Medicinal Materials, Shijiazhuang 050091, China
4. Institute of Biology, Hebei Academy of Sciences, Shijiazhuang 050081, China
5. Julu County Institute of Applied Technology, Xingtai 055250, China
6. Agricultural and Rural Affairs Bureau of Julu County, Xingtai 055250, China

Abstract: Objective To compare the levels of multiple components (phenolic acids and luteolin glycoside) in Jinyinhua (*Lonicerae Japonicae Flos*, LJF), along with changes in “colour, aroma and flavor”, under different drying methods to determine the optimal

收稿日期: 2025-12-16

基金项目: 河北省重点研发计划项目(23372502D); 国家中医药管理局科技项目(GZY-KJS-2023-030); 河北省省级科技计划项目(246W2501D); 河北省科学院重点研发项目(25315)

作者简介: 孙名悦(1999—), 硕士研究生, 研究方向为中药分析。E-mail: yjs20234012@hebcm.edu.cn

*通信作者: 冯玉, 女, 博士, 研究方向为中药分析及药效物质基础研究。E-mail: fengyu@hebcm.edu.cn

牛丽颖, 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药分析及药效物质基础研究。E-mail: niuliying@hebcm.edu.cn

drying technique. **Methods** Quality control of phenolic acids and luteoloside in LJF was conducted using HPLC technology. Intelligent sensory technology was employed to study the color, aroma, and taste characteristics of LJF under different drying methods. The quality of LJF processed with various drying techniques was evaluated through correlation analysis of color-aroma-taste and multiple indicator components. **Results** Steam-blanching drying, freeze-vacuum drying, and microwave-blanching drying resulted in higher total phenolic acid content, while sun-drying, microwave-blanching drying, and steam-blanching drying yielded higher luteoloside levels. The differences in color-aroma-taste profiles of LJF under different drying methods were reflected in brightness (L^*), red-green chromaticity (a^*), and responses from W5S, W1W, W1S, W2S, W2W sensors, along with bitterness and astringency. Correlation analysis revealed that higher total phenolic acids correlated with darker green coloration, elevated W1W sensor responses, intensified astringency, and reduced bitterness. Conversely, increased luteoloside content was associated with higher brightness and diminished responses from W5S and W1W sensors. Freeze-vacuum drying produced optimal color, shade-drying achieved the most pronounced aroma, while steam-blanching and microwave-blanching drying generated distinctive bitter and astringent aftertastes. **Conclusion** From the perspectives of multi-component retention, chromatic characteristics, and taste profile, steam-blanching drying and microwave-blanching drying have been identified as the optimal drying processing methods for LJF. This study provides a novel methodology for optimizing drying techniques and enabling rapid quality assessment of LJF.

Key word: *Lonicerae Japonicae Flos*; drying methods; electronic eye; electronic nose; electronic tongue; quality evaluation; steam-blanching drying; microwave-blanching drying

金银花为忍冬科忍冬属植物忍冬 *Lonicera japonica* Thunb. 的干燥花蕾或带初开的花^[1], 具有清热解毒、疏散风热的功效, 被广泛应用于治疗风热感冒、温病发热等症状。现代药理学研究表明, 金银花的主要活性成分包括酚酸类(如绿原酸、异绿原酸)和黄酮苷类(如木犀草苷)化合物, 这些成分不仅具有显著的抗菌、抗病毒作用, 还表现出良好的抗炎和抗氧化活性^[2-3]。

中药质量评价一直是中医药现代化研究的核心问题。随着分析技术的发展, HPLC 已成为中药活性成分定量的标准^[4-5]。智能感官技术(电子眼、电子鼻、电子舌)在中药质量评价领域展现出广阔的应用前景^[6-8], 有研究发现, 基于色差仪获得色度值、电子鼻测得气味值, 结合化学计量学可有效比较不同采收期肉苁蓉的品质差异, 初步实现了对其质量等级和采收时段的快速、客观判别, 为中药质量快速评价提供了新思路^[9]。

在金银花的产地加工过程中, 干燥工艺的选择直接影响着活性成分的转化, 进而影响药材的最终质量和临床疗效。花类药材的干燥方法多样, 阴干和晒干为传统的干燥方式, 但常面临效率低、品质不均或活性成分易损失等问题^[10-11]; 烘干是工业生产中广泛采用的一种干燥方法, 为改善品质, 杀青(如蒸汽、微波)作为预处理手段常被用于灭酶保色, 再结合烘干以提升效率与均匀性^[12]。此外, 真空干燥、真空冷冻干燥等现代技术因能在低温低氧环境下减少热敏成分破坏, 也逐渐被探索应用于高品质金银花的加工中^[13]。但目前有关研究虽已关注

到智能感官技术对不同产地金银花的区分^[14-15], 或单一干燥方式对某类成分的影响^[10], 但多局限于单一层面的评价, 未能将“色-气-味”智能感官表征与多类别活性成分(如酚酸类与黄酮苷类)的含量变化进行深入关联与系统阐释。所以, 本研究以河北巨鹿金银花为研究对象, 采用7种不同的干燥方式(阴干、晒干、烘干、微波杀青烘干、蒸汽杀青烘干、真空冷冻、真空), 系统整合“色(电子眼)、气(电子鼻)、味(电子舌)”智能感官分析与多指标成分定量(HPLC法), 通过化学计量学方法深入挖掘感官特征与活性成分之间的内在关联性, 旨在建立一种基于智能感官的金银花干燥质量快速评价模型, 为金银花干燥工艺的精准优化与质量控制, 提供更全面的科学依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

LC-15C 型高效液相色谱仪、LC-20AT 型高效液相色谱仪, 日本岛津公司; IRIS-VA400 型电子眼系统, 法国 Alpha MOS 公司; PEN3 型电子鼻系统, 德国 AIRSENSE 公司; SA402B 型电子舌系统, 日本 Insent 公司; VO500 型真空干燥箱, 北京创诚致佳科技有限公司; DHG-9070 A、DHG-9123A 型电热恒温鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; Pilot5-8L 型冷冻干燥机, 北京博尔康科技有限公司; CPA225D 型十万分之一电子天平、BSA224S-CW 型万分之一电子分析天平, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; KQ-250 型超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; TDZ5-WS 型低速离心机, 湖

南湘仪实验室仪器开发有限公司;纯化水来自UPR-II-20L型净水系统,四川优普超纯科技有限公司。电子鼻、电子舌传感器性能分别见表1、2。

1.2 试剂与药材

对照品异绿原酸A(批号 MUST-18032601,质量分数 98.82%)、绿原酸(批号 MUST-16031610,质量分数 99.39%)、异绿原酸C(批号 DST180210-038,质量分数 99.00%),均购于成都德思特生物技术

有限公司;对照品木犀草苷,批号 121113,质量分数≥98%,购于成都普菲德生物技术有限公司。

乙腈,色谱纯,购于美国 Fisher 公司;磷酸、冰醋酸,色谱纯,购于美国 Dikma 公司;甲醇、乙醇均为分析纯,购于天津市富宇精细化工有限公司,水为超纯水。

1.3 药材

70批金银花(J1~J70)新鲜花蕾,采收于2025年5月13日,选自河北省巨鹿县金银花基地,经河北省石家庄市中医院郑倩主任中医师鉴定,为忍冬科忍冬属植物忍冬 *L. japonica* Thunb.的新鲜花蕾,经检测均符合《中国药典》2025年版性状、鉴定等相关要求。

2 方法与结果

2.1 金银花的不同干燥方式

新鲜花蕾经晒干、阴干、烘干、蒸汽杀青烘干、微波杀青烘干、真空、真空冷冻共7种干燥方式进行处理,以上方式各平行干燥10批样品。将干燥品粉碎后过四号筛,放入密封袋存放于干燥器中,编号及干燥处理方式如表3所示。

2.2 水分测定

按照《中国药典》2025年版四部通则 0832 第四法测定各干燥样品的水分,取水样平均值见表4。7种干燥方式下,所有批次样品的水分含量平均值均低于12.0%,RSD均小于4.0%,表明所有干燥工艺均稳定、可控,符合《中国药典》要求。

表1 电子鼻传感性能

Table 1 Electronic nose sensing performance

传感器	性能特点	传感器	性能特点
W1C	对芳香成分灵敏	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
W5S	对氮氧化物灵敏	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
W1S	对短链烷烃灵敏	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
W1W	对无机硫化物灵敏	W6S	对氢灵敏
W2S	对醇醚醛酮类灵敏		
W3S	对长链烷烃灵敏		

表2 电子舌传感器阵列性能

Table 2 Array performance of electronic tongue sensor

传感器	味觉零点	可检测的味道	
		味道	回味
鲜味(AAE)	0	鲜味	丰富度
咸味(CT0)	-6	咸味	-
酸味(CA0)	-13	酸味	-
苦味(CO0)	0	苦味	苦味回味
涩味(AE1)	0	涩味	涩味回味
甜味(GL1)	0	甜味	-

表3 70批样品编号及不同干燥处理方式

Table 3 70 batches of sample numbers and different drying treatments

样品编号	干燥方式	具体步骤
J1~J10	蒸汽杀青烘干	花蕾在蒸锅中蒸2 min,进行蒸汽杀青 ^[10] ,后于80℃烘箱中烘12 h至恒定质量
J11~J20	真空冷冻	在真空冷冻干燥机中以-30℃的温度预冷冻5 h,采用梯度升温逐步升至45℃,真空度在20 Pa,干燥24 h;提高温度至60℃、真空度至100 Pa,干燥16 h至样品恒定质量
J21~J30	微波杀青烘干	花蕾在微波炉中加热2 min,进行微波杀青 ^[10] ,后于80℃烘箱中烘12 h至恒定质量
J31~J40	烘干	烘箱保持30℃初烘5 h,温度升至40℃后烘5 h,最后提升至50℃后烘10 h,经逐渐升温烘20 h后,样品恒定质量
J41~J50	阴干	将新鲜花蕾平铺于100 cm×120 cm的滤纸上,放置于室内阴凉通风处。温度保持在15~18℃,湿度在60%以下,每日翻动1次并更换滤纸。阴干240 h后,样品恒定质量
J51~J60	晒干	将花蕾平铺于棉布上,架于水泥地自然晾晒,早9点开始晾晒,晚6点收回,中间翻动1次,防止堆积过久变色。保证阳光充足的条件下,晾晒72 h后样品恒定质量
J61~J70	真空	真空干燥机以35℃干燥2 h,升温至45℃干燥4 h,最后60℃干燥12 h,样品恒定质量取出

2.3 不同干燥方式金银花中酚酸类成分与木犀草苷的定量测定

2.3.1 对照品溶液的制备 按照《中国药典》2025年版中对照品溶液的制备,取酚酸类成分(绿原酸、

异绿原酸A、异绿原酸C)、木犀草苷对照品适量,精密称定,分别置棕色量瓶中,酚酸类成分加75%甲醇,分别配制成含0.300、0.150、0.070 μg/mL的酚酸类成分对照品溶液;取木犀草苷加70%乙醇,

表4 金银花样品7种干燥方式下的水分测定结果 ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

Table 4 Moisture content results for seven drying methods of *Lonicerae Japonicae Flos* (LJF) samples ($\bar{x} \pm s$, $n = 10$)

干燥方式	水分/%	干燥方式	水分/%
蒸汽杀青烘干	7.78±2.78	阴干	9.98±1.78
真空冷冻	6.98±2.45	晒干	9.67±1.89
微波杀青烘干	7.12±1.89	真空	8.34±1.09
烘干	8.43±2.02		

配制成 39 $\mu\text{g/mL}$ 的对照品溶液。

2.3.2 供试品溶液的制备 按照《中国药典》2025年版“金银花”项下酚酸类成分、木犀草苷定量测定方法进行。

(1) 酚酸类成分: 取金银花粉末(过四号筛)约 0.5 g, 精密称定, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 精密加入 75% 甲醇 50 mL, 称定质量, 超声处理(功率 500 W、频率 40 kHz) 30 min, 用 75% 甲醇补足减失的质量, 摇匀, 采用 0.22 μm 微孔滤膜滤过, 取续滤液, 即得酚酸类成分供试品溶液。

(2) 木犀草苷: 取金银花粉末(过四号筛)约 2 g, 精密称定, 置于 100 mL 具塞锥形瓶中, 精密加入 70% 乙醇 50 mL, 称定质量, 超声处理(功率 250 W、频率 35 kHz) 1 h, 用 70% 乙醇补足减失的质量, 摇匀, 滤过。精密量取续滤液 10 mL, 回收溶剂至干, 残渣用 70% 乙醇溶解, 转移至 5 mL 量瓶中, 加 70% 乙醇至刻度, 即得木犀草苷供试品溶液。

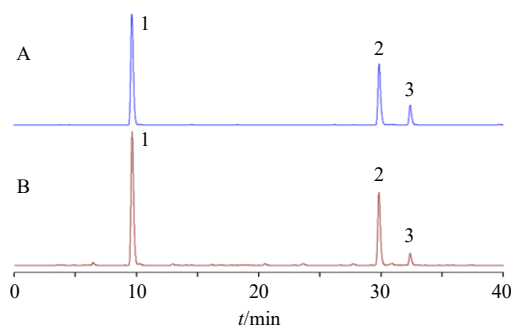
2.3.3 色谱条件

(1) 酚酸类成分: 按照《中国药典》2025年版方法^[1], 采用 Agilent Eclipse Plus C_{18} 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为 0.1% 磷酸水溶液-乙腈, 梯度洗脱: 0~8 min, 14%~19% 乙腈; 8~14 min, 19% 乙腈; 14~34 min, 19%~31% 乙腈; 34~35 min, 31%~90% 乙腈; 35~40 min, 90% 乙腈; 体积流量 0.7 mL/min; 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$; 检测波长 327 nm; 进样体积 2 μL 。

(2) 木犀草苷: 按照《中国药典》2025年版方法^[1], 采用 Agilent Zorbax SB-phenyl 色谱柱 (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 流动相为 0.5% 冰醋酸水溶液-乙腈, 梯度洗脱: 0~15 min, 10%~21% 乙腈; 15~30 min, 21% 乙腈; 30~40 min, 21%~30% 乙腈; 体积流量 1 mL/min; 柱温 25 $^{\circ}\text{C}$; 检测波长 350 nm; 进样体积 10 μL 。

2.3.4 专属性考察 将各混合对照品溶液、供试品

溶液, 按照“2.3.3”项下色谱条件进样测定。可见, 供试品溶液在与对照品溶液相同保留时间处, 出现了相应的色谱峰, 表明该分析方法分离度良好, 符合要求, 结果见图 1、2。



1-绿原酸; 2-异绿原酸 A; 3-异绿原酸 C。

1-chlorogenic acid; 2-isochlorogenic acid A; 3-isochlorogenic acid C.

图1 酚酸类成分混合对照品(A)和金银花样品(B)的 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of phenolic acid components reference substances (A) and LJF sample (B)

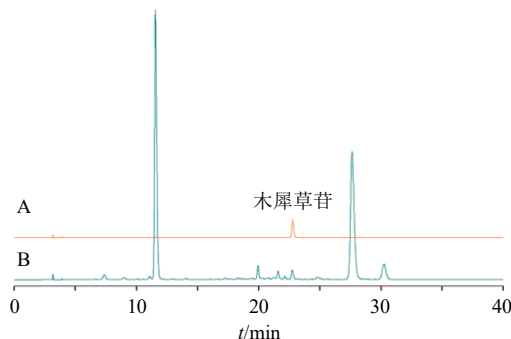


图2 木犀草苷对照品(A)和金银花样品(B)的 HPLC 图

Fig. 2 HPLC of luteoloside reference substance (A) and LJF sample (B)

2.3.5 线性关系考察 取“2.3.1”项下混合对照品溶液, 逐级稀释, 使之成为不同质量浓度的混合对照品溶液, 按照“2.3.3”项下色谱条件进行测定, 以对照品溶液的质量浓度为横坐标 (X), 峰面积为纵坐标 (Y), 分别绘制标准曲线, 进行线性回归, 得回归方程分别为绿原酸 $Y=9.7 \times 10^6 X + 18\ 433$, $r=0.999\ 0$, 线性范围为 70.0~1 120.0 $\mu\text{g/mL}$; 异原酸 A $Y=1.0 \times 10^7 X - 637$, $r=0.999\ 4$, 线性范围为 3.8~600.0 $\mu\text{g/mL}$; 异原酸 C $Y=1.0 \times 10^7 X - 4\ 167$, $r=0.999\ 6$, 线性范围为 11.0~176.0 $\mu\text{g/mL}$; 木犀草苷 $Y=2.5 \times 10^7 X + 9\ 239$, $r=0.999\ 1$, 线性范围为 9.9~159.0 $\mu\text{g/mL}$ 。

2.3.6 精密度考察 取烘干后的金银花样品(J31), 依照“2.3.2”项下方法分别制备供试品溶液, 依次按照“2.3.3”项下色谱条件分别连续进样测定 6 次。

结果绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C、木犀草苷峰面积的 RSD 分别为 1.09%、1.14%、1.69%、0.08%，表明该仪器精密度良好。

2.3.7 稳定性考察 取烘干后的金银花样品(J31)，按照“2.3.2”项下方法制备供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件，分别在制备后 0、2、4、6、8、12、24 h 进样测定，计算得绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C、木犀草苷峰面积的 RSD 分别为 0.97%、1.10%、1.56%、1.47%，结果表明，供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

2.3.8 重复性考察 取同一批金银花药材粉末(J31)，依照“2.3.2”项下方法各平行制备 6 份供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件进样测定，结果绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C、木犀草苷质量分数的 RSD 分别为 2.40%、2.61%、1.69%、0.89%，表明该方法重复性良好。

2.3.9 加样回收率考察 精密称取已测知各指标成分含量的金银花样品(J31)，9 份用于绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C 的加样回收率考察，每份 0.25 g，9 份用于木犀草苷的加样回收率考察，每份 1 g。每组分别精密加入各对照品成分含量的 50%、100%、150%，按照“2.3.2”项下方法制备供试品溶液，按照“2.3.3”项下色谱条件进样分析，计算得绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C、木犀草苷的平均加样回收率分别为 101.78%、97.47%、100.69%、97.33%，RSD 分别为 1.22%、0.43%、1.13%、1.44%。

2.3.10 含量测定结果 选取 70 批河北巨鹿产新鲜金银花，采用 7 种干燥方式（蒸汽杀青烘干、冷冻真空、微波杀青烘干、烘干、阴干、晒干、真空）进行处理，每组 10 批样品，按照《中国药典》2025 年版方法测定绿原酸、异绿原酸 A、异绿原酸 C 及木犀草苷含量，测定结果见表 5、6。分析结果显示，不同干燥方式对金银花中活性成分转化具有显著差异：总酚酸含量排序为蒸汽杀青烘干>真空冷冻>微波杀青烘干>烘干>阴干>晒干>真空；木犀草苷含量则呈现晒干>微波杀青烘干>蒸汽杀青烘干>烘干>真空>真空冷冻>阴干的分布特征，表明干燥工艺对金银花不同活性成分的保留具有一定的影响。

2.4 基于智能感官技术的不同干燥方式金银花样品色、气、味的测定

2.4.1 样品的制备

(1) 电子眼：为减少人为因素的干扰，每批随

机称取(30±1)g 干燥后的金银花样品，使其均匀、密集地平铺于圆形透明容器中。

(2) 电子鼻：将 70 批金银花样品进行粉碎，过四号筛。精密称取当归粉末 1.0 g，均匀平铺于 100 mL 烧杯中，用双层封口膜密封，室温静置 30 min，使烧杯中充满样品气体，确保数据的平稳、准确。

(3) 电子舌：精密称取按照“2.4.1 (2)”项下方法制备的金银花样品粉末 1.0 g，置于 100 mL 锥形瓶中，加入 100 mL 纯净水，超声提取 10 min。将超声提取后的溶液转移至 100 mL 离心管中离心 5 min，转速 4000 r/min，取上清液于电子舌专用样品杯中上机测试。

2.4.2 检测条件

(1) 电子眼：开启电子眼仪器，待仪器稳定 20 min 后，使用 24 色标准比色板、5 mm 光圈和 D65 光源对电子眼仪器进行颜色校正，确保图像的准确性，校正完成后，采用底部照明、单一快照模式进行拍照，对干燥后的金银花样品进行图像采集，重复拍照。

(2) 电子鼻：取样品上机测试。采样间隔 1 s；清洗 60 s；零点调整 10 s；进样体积流量 300 mL/min；预采样 5 s；测试时长 150 s。每批金银花称量 3 份，平行测定 3 次。

(3) 电子舌：鲜味、咸味、酸味、苦味、涩味使用 Food staff 测试方法进行测试，甜味使用 GL1 测试方法进行测试。每一测试循环的过程为正、负极电极分别放入正、负极清洗液中清洗 90 s；参比液清洗 2 次，每次 120 s；传感器在参比液中平衡归零 30 s；达到平衡条件后开始测试，测试时间为 30 s；在另外 2 组参比液中各清洗 3 s；传感器插入新的参比液中测试回味 30 s。

2.4.3 方法学考察

(1) 精密度试验：选取金银花样品(J31)，在保证温度、相对湿度相同的环境下，采用电子眼、电子鼻、电子舌技术精密测定 6 次。结果电子眼、电子鼻、电子舌技术的 RSD 值分别为 0.05%、1.34%、1.09%，表明各仪器精密度良好。

(2) 重复性试验：随机选取金银花制 6 份样品，在保证温度、湿度相同的环境下，采用电子眼、电子鼻、电子舌技术进行重复检测。RSD 值分别为 0.34%、1.68%、1.78%，表明方法重复性良好。

2.4.4 不同干燥方式金银花样品的色度分析 电子眼采集下，不同方式干燥下的金银花及背景扣除处

表5 经不同干燥方式干燥后金银花中酚酸类成分及木犀草苷的含量测定结果

Table 5 Determination results of phenolic acid components and luteoloside contents in LJF after drying by different drying methods

样品	质量分数/(mg·g ⁻¹)					样品	质量分数/(mg·g ⁻¹)				
	绿原酸	异绿原酸A	异绿原酸C	总酚酸	木犀草苷		绿原酸	异绿原酸A	异绿原酸C	总酚酸	木犀草苷
J1	39.57	16.88	3.68	60.13	0.60	J36	33.73	17.50	3.78	55.02	0.52
J2	37.55	17.11	3.58	58.25	0.58	J37	32.01	19.13	3.04	54.18	0.61
J3	39.37	15.35	3.91	58.62	0.62	J38	35.14	15.38	3.42	53.95	0.56
J4	35.47	23.91	3.98	63.37	0.59	J39	34.89	13.98	2.85	51.72	0.62
J5	40.69	18.57	4.03	63.29	0.57	J40	32.14	18.17	3.53	53.84	0.64
J6	38.37	20.51	3.69	62.57	0.61	J41	31.66	14.64	3.38	49.68	0.45
J7	38.01	18.65	4.82	61.48	0.61	J42	33.86	16.80	2.18	52.84	0.44
J8	35.05	21.56	3.88	60.49	0.56	J43	29.63	20.20	2.90	52.74	0.50
J9	39.40	16.95	4.07	60.43	0.58	J44	28.42	21.77	2.81	52.99	0.43
J10	34.93	19.30	3.71	57.95	0.58	J45	35.38	14.62	3.57	53.57	0.48
J11	36.13	17.51	4.03	57.66	0.46	J46	37.34	13.94	2.87	54.15	0.52
J12	36.19	18.81	3.99	58.99	0.52	J47	35.25	16.09	2.91	54.25	0.52
J13	35.99	18.29	4.57	58.86	0.50	J48	32.39	16.79	3.08	52.26	0.49
J14	36.47	16.82	2.00	55.30	0.47	J49	33.72	15.61	2.71	52.04	0.53
J15	34.44	20.23	3.43	58.09	0.51	J50	31.96	15.26	3.06	50.29	0.43
J16	36.42	17.66	3.68	57.76	0.54	J51	36.09	12.76	2.85	51.70	0.64
J17	32.84	21.15	3.50	57.50	0.49	J52	37.19	13.46	2.89	53.54	0.64
J18	36.04	15.30	2.88	54.22	0.51	J53	34.45	15.07	3.16	52.68	0.67
J19	34.54	12.57	7.96	55.08	0.52	J54	31.94	15.07	3.20	50.21	0.68
J20	34.64	21.43	2.94	59.01	0.51	J55	33.55	12.16	5.61	51.32	0.66
J21	37.55	15.92	3.25	56.72	0.66	J56	32.60	14.43	3.05	50.08	0.66
J22	35.26	13.03	8.21	56.50	0.58	J57	31.78	16.27	3.02	51.07	0.65
J23	37.33	16.06	3.61	56.99	0.61	J58	34.28	14.28	2.83	51.40	0.63
J24	40.16	13.40	2.81	56.37	0.67	J59	34.78	14.61	3.17	52.56	0.68
J25	32.24	19.35	3.99	55.58	0.64	J60	35.35	12.82	2.25	50.42	0.73
J26	32.30	19.97	3.20	55.47	0.56	J61	35.32	12.49	2.73	50.54	0.48
J27	37.31	15.95	2.03	55.30	0.54	J62	33.98	14.28	3.25	51.51	0.55
J28	34.12	16.06	4.79	54.96	0.67	J63	32.43	15.56	2.59	50.58	0.57
J29	32.51	20.00	4.62	57.13	0.58	J64	35.16	12.51	2.45	50.12	0.51
J30	35.27	16.90	2.84	55.01	0.65	J65	30.47	15.36	3.21	49.04	0.48
J31	33.36	15.20	3.14	51.70	0.62	J66	31.70	14.01	3.07	48.77	0.50
J32	30.66	21.20	2.90	54.76	0.54	J67	30.99	14.13	3.12	48.24	0.50
J33	34.01	16.76	3.82	54.59	0.59	J68	29.39	14.28	3.54	47.21	0.47
J34	34.94	15.93	3.41	54.28	0.53	J69	31.10	12.66	2.95	46.71	0.59
J35	33.89	11.22	7.19	52.30	0.60	J70	29.74	15.55	2.99	48.27	0.47

表6 不同干燥方式下金银花中酚酸类成分、木犀草苷的含量平均值 ($\bar{x} \pm s, n = 10$)Table 6 Average contents of phenolic acid components and luteoloside in LJF under different drying methods ($\bar{x} \pm s, n = 10$)

干燥方式	总酚酸/(mg·g ⁻¹)	木犀草苷/(mg·g ⁻¹)	干燥方式	总酚酸/(mg·g ⁻¹)	木犀草苷/(mg·g ⁻¹)
蒸汽杀青烘干	60.66 ± 2.13	0.59 ± 0.02	阴干	52.48 ± 1.33	0.48 ± 0.02
真空冷冻	57.25 ± 1.87	0.50 ± 0.02	晒干	51.50 ± 1.28	0.66 ± 0.03
微波杀青烘干	56.00 ± 1.92	0.62 ± 0.00	真空	49.10 ± 1.56	0.51 ± 0.02
烘干	53.63 ± 1.45	0.58 ± 0.03			

理后的目标区域图像如图3表示。经电子眼检测，不同的干燥方式中主要颜色信息及总体亮度、红绿色度、黄蓝色度值见表7所示。 L^* 、 a^* 、 b^* 为均匀颜色空间系统， L^* 值表征颜色亮度(0~100)， a^* 值反映红绿色度(+ a 为红色，- a 为绿色)， b^* 值表示黄蓝色度(+ b 为黄色，- b 为蓝色)^[16]。蒸汽杀青烘

干、微波杀青烘干、真空冷冻、真空主要呈现浅橄榄色和深黄色，颜色较好；烘干、晒干、阴干主要表现为强黄褐色和浅黄褐色，不同干燥方式的金银花主要颜色占比具有一定的区别。不同干燥方式下，金银花总体亮度值，烘干>微波杀青烘干>晒干>真空冷冻>蒸汽杀青烘干>真空>阴干；总体



图3 不同干燥方式金银花采集图像

Fig. 3 LJF collection images under different drying methods

表7 不同干燥方式下的金银花主要颜色

Table 7 Main colors of LJF under different drying methods

干燥方式	主要颜色编码	主要颜色名称	颜色	L^*	a^*	b^*
蒸汽杀青烘干	2437	浅橄榄色 (light olive)		57.063	2.884	26.843
	2165	浅橄榄棕 (light olive brown)				
	2164	浅橄榄色 (light olive)				
微波杀青烘干	2437	浅橄榄色 (light olive)		62.331	3.375	30.362
	2710	暗灰黄色 (dark grayish yellow)				
	2982	深黄色 (dark yellow)				
真空冷冻	2436	浅橄榄色 (light olive)		60.469	3.151	33.809
	2709	深黄色 (dark yellow)				
	2164	浅橄榄色 (light olive)				
真空	2164	浅橄榄色 (light olive)		53.483	4.121	24.891
	1892	中度橄榄褐色 (moderate olive brown)				
	2165	浅橄榄棕 (light olive brown)				
烘干	2693	强黄褐色 (strong yellowish brown)		62.650	4.899	31.943
	2966	浅黄褐色 (light yellowish brown)				
	2709	深黄色 (dark yellow)				
晒干	2693	强黄褐色 (strong yellowish brown)		61.082	4.520	30.841
	2966	浅黄褐色 (light yellowish brown)				
	2437	浅橄榄色 (light olive)				
阴干	2164	浅橄榄色 (light olive)		52.938	4.371	26.935
	2165	浅橄榄棕 (light olive brown)				
	1892	中度橄榄褐色 (moderate olive brown)				

红绿色度值, 烘干>晒干>阴干>真空>微波杀青烘干>真空冷冻>蒸汽杀青烘干; 总体蓝黄色度值, 真空冷冻>烘干>晒干>微波杀青烘干>阴干>蒸汽杀青烘干>真空。

2.4.5 金银花气味及味道分析 根据电子鼻响应值的雷达图与径向条形图分析(图4), 金银花的气味物质主要集中在W5S、W1S、W1W、W2S、W2W传感器上, 表明其含有大量无机硫化物、萜烯类、氮氧化物、芳香成分及有机硫化物等物质。在所有干燥方式中, 阴干处理的样品在各类传感器上表现

出最高的响应值, 其中W5S、W1S、W1W、W2S传感器的响应最为显著。而蒸汽杀青烘干、真空冷冻干燥、微波杀青烘干及晒干处理的样品, 其传感器响应值总体较低。根据电子舌响应值的雷达图与径向条形图分析(图5), 金银花的味道主要体现在了苦味(C00)、鲜味(AEE)、丰富度及甜味(GL1)传感器。蒸汽杀青烘干与微波杀青烘干处理的样品, 在涩味及涩味回味传感器上表现出突出的响应值, 远高于其他干燥方式。同时, 这2种处理方式下的样品, 其苦味传感器的响应值较低。

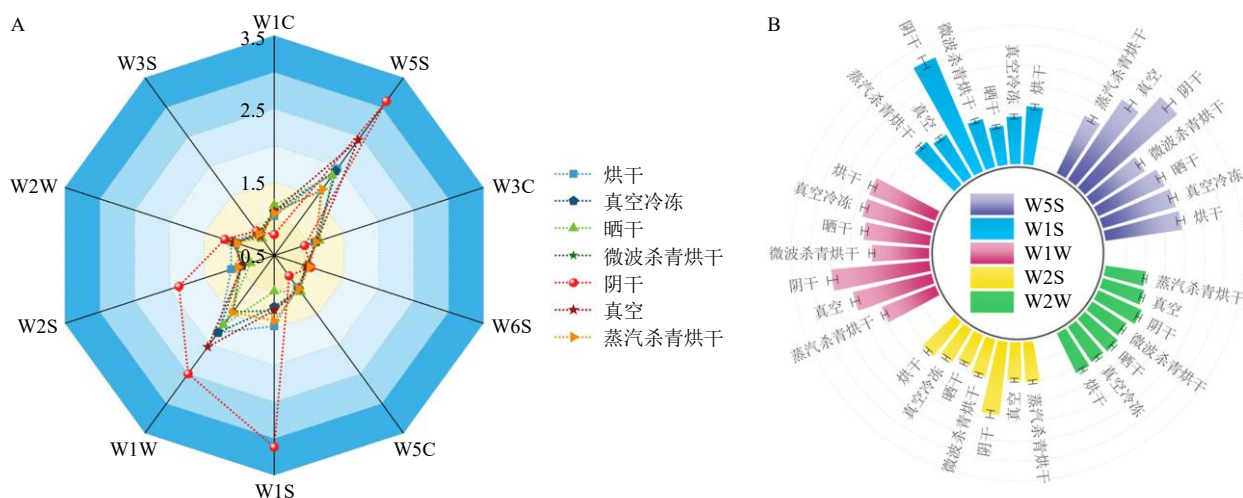


图4 电子鼻传感器响应值雷达图(A)和径向条形图(B)

Fig. 4 Radar chart (A) and radial bar chart (B) of electronic nose sensor response values

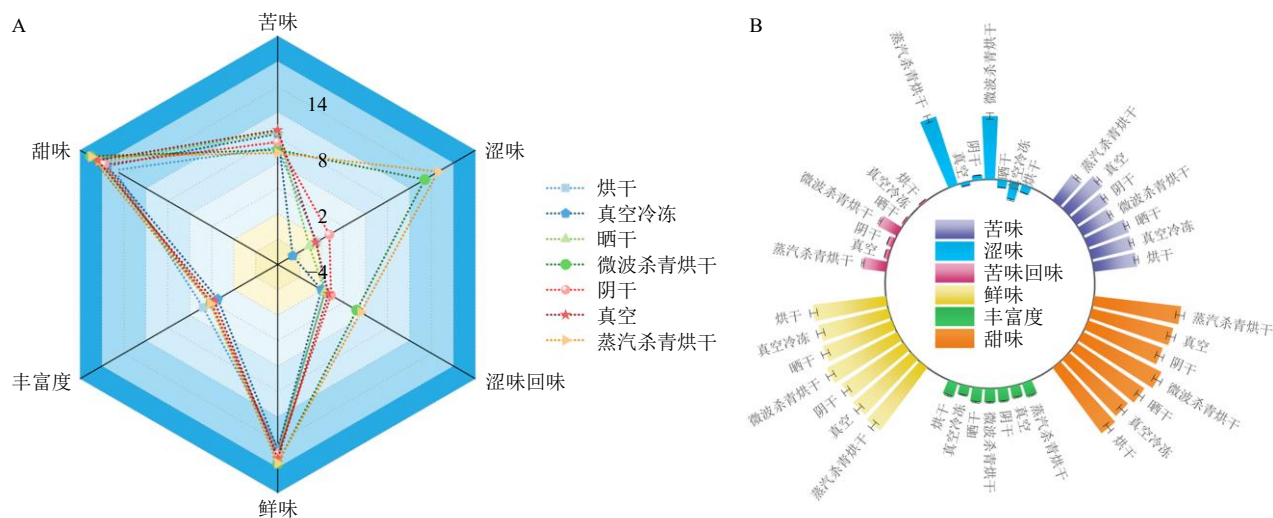


图5 电子舌传感器响应值雷达图(A)和径向条形图(B)

Fig. 5 Radar chart (A) and radial bar chart (B) of electronic tongue sensor response values

2.4.6 主成分分析 (principal component analysis, PCA) 对金银花电子鼻数据的PCA结果显示, 前2个主成分累积贡献率达91.2%, 表明其有效涵盖了样品大部分气味信息, 结果见图6。阴干样品在

第2、3象限形成独立聚类, 气味特征与其他干燥方式明显区分; 而蒸汽杀青烘干与微波杀青烘干样品在图中重叠度高, 表明二者气味较为相似。

对电子舌数据的PCA显示, 前2个主成分累

积贡献率为 85.5%，能有效代表样品的味觉信息，结果见图 7。蒸汽杀青烘干与微波杀青烘干样品在 PCA 空间中显著聚集于第 2、3 象限，且与其他干燥方式的样品明显分离，说明这 2 种处理方式下的金银花具有相似的味觉特征，并形成了区别于其他方式的独特味道。

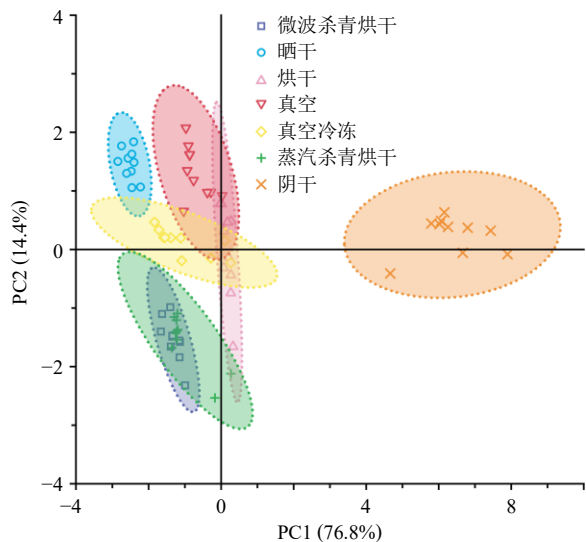


图 6 不同干燥方式金银花电子鼻 PCA

Fig. 6 PCA of electronic nose responses to different drying methods of LJF

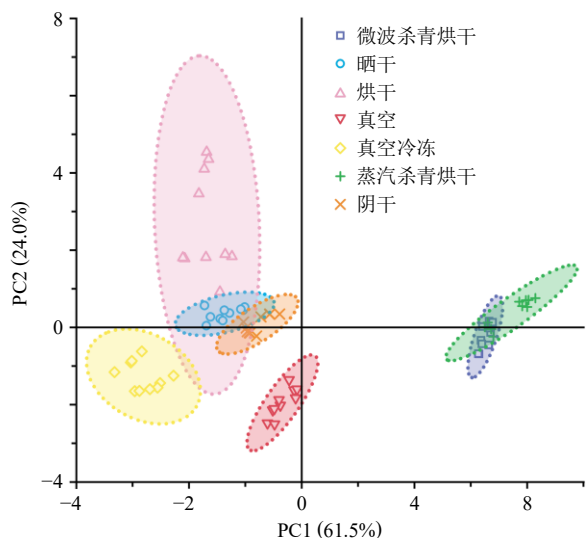


图 7 不同干燥方式金银花电子舌 PCA

Fig. 7 PCA of electronic tongue responses to different drying methods of LJF

2.4.7 正交偏最小二乘-判别分析(orthogonal partial least squares-discriminant analysis, OPLS-DA) 为探究阴干与其他干燥方式在气味上的区分，建立了 OPLS-DA 模型；基于变量重要性投影(variable importance projection, VIP)分析，筛选出 VIP 值大

于 1 且样品有实际响应的传感器，结果表明 W2S、W5C、W1S、W3C、W1C 传感器对区分阴干与其他干燥方式起到关键作用；经 200 次置换检验验证， Q^2 回归线与纵轴交点均小于 0，表明模型不存在过拟合，可用于可靠区分，结果见图 8。

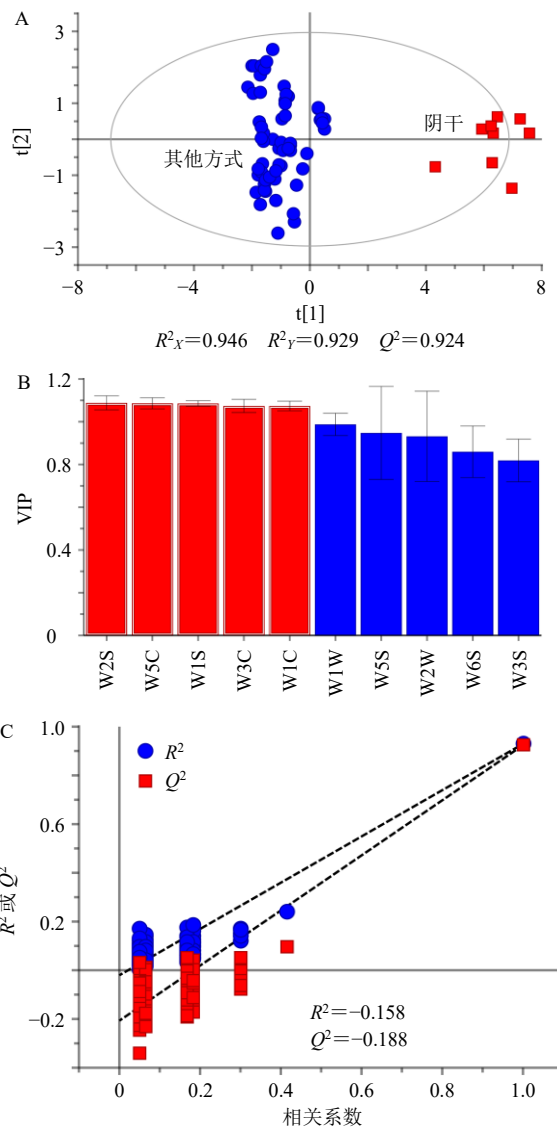


图 8 阴干与其他干燥方式金银花样品的 OPLS-DA 得分图 (A)、VIP 值 (B)、200 次置换检验 (C)

Fig. 8 OPLS-DA score chart (A), VIP value (B) and 200 replacement tests (C) of LJF samples dried in the shade and other drying methods

为进一步分析蒸汽杀青烘干与微波杀青烘干处理的金银花在味道上与其他干燥方式的差异，建立了对应的 OPLS-DA 模型，证实这 2 种处理方式的味觉特征与其他方式存在明显区别；通过 VIP 分析，确定涩味回味、涩味、鲜味及苦味传感器是造成差异的主要味觉指标；置换检验结果显示，回归

线与纵轴交点均小于 0，且右侧数值均高于左侧，说明模型稳定、未过拟合，适用于金银花不同干燥方式味道的快速鉴别分析，结果见图 9。

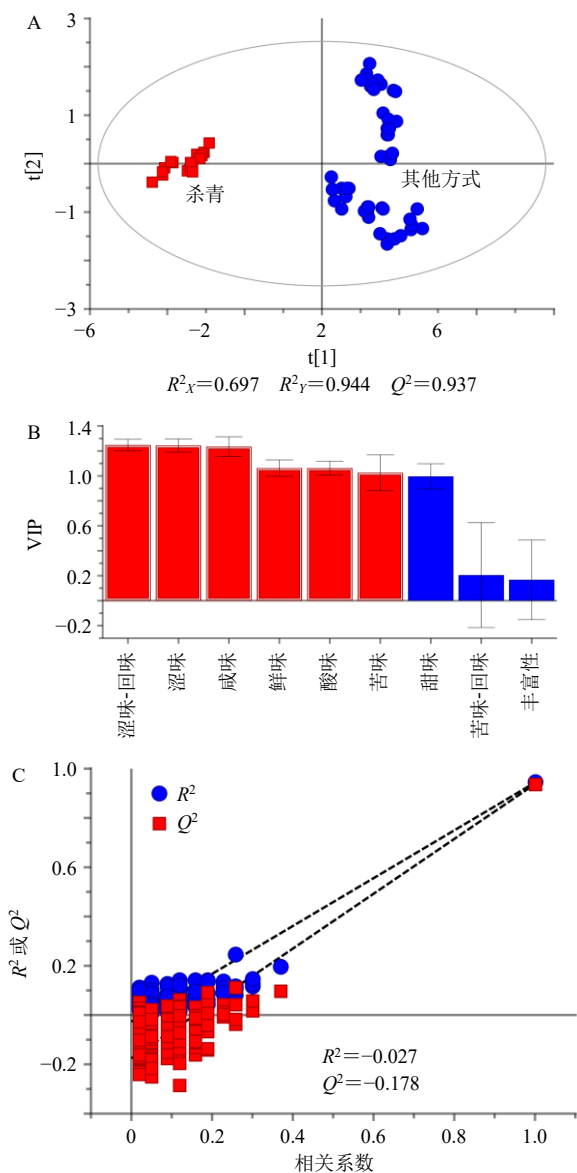


图 9 蒸汽和微波杀青烘干与其他干燥方式金银花样品的 OPLS-DA 得分图 (A)、VIP 值 (B)、200 次置换检验 (C)

Fig. 9 OPLS-DA score chart (A), VIP value (B) and 200 replacement tests (C) of LJF samples of steam and microwave-blanching drying and other drying methods

2.5 相关性分析

采用 IBM SPSS Statistics 26 软件，对 70 批不同干燥方式的金银花样品，分别就其酚酸类成分总含量、木犀草苷含量与电子眼色度参数、电子鼻传感器响应值及电子舌味觉指标进行相关性分析，旨在建立感官特征与化学成分之间的关联模型。

由表 8 可知，酚酸类成分总含量与 a^* 值（红绿

表 8 成分含量与电子眼数值的相关性分析

Table 8 Correlation analysis between component content and electronic eye readings

成分	相关性				
	总酚酸	木犀草苷	L^*	a^*	b^*
总酚酸	1.000	0.104	0.283*	-0.703**	0.256*
木犀草苷	0.104	1.000	0.553**	0.071	0.208

*, ** 分别在 0.05、0.01 级别（双尾）相关性显著、极显著；表 9、10 同。

*, ** are at the level of 0.05 and 0.01 respectively (double tail), and the correlation is significant and extremely significant; same as tables 9, 10.

色度) 呈显著负相关 ($P<0.05$)，即样品越偏绿色 (a^* 值越低)，总酚酸含量越高。蒸汽杀青烘干、真空冷冻及微波杀青烘干干样品表现出较低的 a^* 值与较高的酚酸含量。木犀草苷含量与 L^* 值（亮度）呈显著正相关 ($P<0.05$)，亮度越高，木犀草苷含量越高。晒干、微波杀青烘干等干燥方式具有较高的 L^* 值与木犀草苷含量，表明 L^* 值对黄酮苷类成分具有指示意义。

由表 9 可知，酚酸类成分总含量与 W1W 传感器响应呈显著负相关 ($P<0.01$)，W1W 响应越低，总酚酸含量越高。蒸汽杀青烘干样品总酚酸最高，其 W1W 响应最低；真空干燥样品则反之。木犀草苷含量与 W5S、W1W、W1S、W2S 传感器均呈显著负相关，这些传感器响应越低，木犀草苷含量越高。晒干样品木犀草苷含量最高，对应上述传感器响应值最低；阴干样品则呈相反趋势。

表 9 成分含量与电子鼻响应值的相关性分析

Table 9 Correlation analysis between component concentrations and electronic nose response values

成分	相关性						
	总酚酸	木犀草苷	W5S	W1S	W1W	W2S	W2W
总酚酸	1.000	0.104	-0.499**	-0.118	-0.517**	-0.116	-0.485**
木犀草苷	0.104	1.000	-0.629**	-0.520**	-0.671**	-0.521**	-0.366**

由表 10 可知，总酚酸含量与涩味及涩味回味呈显著正相关，与苦味呈显著负相关 ($P<0.05$)。总酚酸含量较高的样品（如蒸汽杀青烘干）涩味响应较强、苦味响应较弱；总酚酸较低的样品（如真空干燥）则呈现较强的苦味响应。木犀草苷含量与各味觉指标均未呈现显著相关性。结合电子舌技术，可通过苦味、涩味对不同干燥方式下的金银花中的酚酸类成分总含量进行比较研究，为酚酸类成分的快速评估提供了新的方法学参考。

表 10 成分含量与电子舌响应值的相关性分析
Table 10 Correlation analysis between component concentrations and electronic tongue response values

成分	相关性							
	总酚酸	木犀草苷	苦味	涩味	涩味-回味	鲜味	丰富度	甜味
总酚酸	1.000	0.104	-0.617**	0.586**	0.583**	0.233	-0.014	0.267*
木犀草苷	0.104	1.000	-0.201	0.327**	0.292*	0.228	0.389**	0.231

3 讨论

金银花作为常用清热解毒中药，其酚酸类和黄酮类成分（如绿原酸、木犀草苷）是主要药效物质基础^[17-18]，有关活性成分转化及不同干燥方式对“色、气、味”的影响尚不明确，本研究采用 PCA 与 OPLS-DA 等多元统计方法，系统分析 7 种干燥方式下金银花的智能感官响应与活性成分含量的相关性，系统建立了金银花主要化学成分（总酚酸、木犀草苷）与智能感官指标之间的定量关联： a^* 值、W1W 传感器响应、涩味、苦味响应可作为评估总酚酸含量的关键感官指标； L^* 值、W5S 等系列传感器响应与木犀草苷含量密切相关，多成分含量与智能感官指标进行协同分析，为金银花干燥方式优化提供了实验依据。

通过对不同干燥方式金银花的含量对比分析，蒸汽杀青烘干、真空冷冻、微波杀青烘干较有利于保留金银花总酚酸，其优势源于高温蒸汽或快速冷冻，有效地抑制了多酚氧化酶（polyphenoloxidase, PPO）活性，从而减少了酚酸类成分的酶促氧化损失^[19-21]。值得注意的是，真空冷冻干燥虽未进行高温杀青，但其在低温、低氧环境下快速脱水，极大抑制了酶促与非酶促褐变反应，可能是其总酚酸转化率较高的关键原因。晒干、蒸汽杀青烘干、微波杀青烘干较有利于保留木犀草苷，可能与这些方式在灭酶同时，避免了长时间高温对黄酮苷类结构的破坏有关^[22]。

经电子眼检测，蒸汽杀青烘干、微波杀青烘干、真空冷冻、真空主要呈现浅橄榄色和深黄色，颜色较好；烘干、晒干、阴干主要表现为强黄褐色和浅黄褐色。金银花的 a^* 值与酚酸类成分含量具有很强的关联性，呈明显负相关， L^* 值与木犀草苷含量呈正相关。这些色度参数的变化规律与干燥过程中的温度、氧气接触等条件密切相关，高温烘干处理导致 L^* 值最高，可能与美拉德反应产物的形成有关；而蒸汽杀青烘干组的 a^* 值最低，可能源于杀青过程对叶绿素的保护作用。

在各类干燥方式中，阴干处理后气味响应最为突出，这与其无热、慢速的干燥特性密切相关，更多的保留了金银花中热不稳定的初始风味（如青草气、清新感物质）以及慢速的活性成分转化，而所有非阴干方式（如烘干、真空干燥等）均涉及外部热能输入，导致电子鼻传感器响应趋于相似，不易在 PCA 模型中有效区分，由此可认为是是否经历热加工是决定干燥后气味轮廓差异的关键界限。另外，阴干因能产生独特香气，可作为开发相关产品（如金银花露、精油）的理想干燥方式^[23-24]。

电子舌检测结果表明，金银花的味道主要体现在苦味、涩味、鲜味和丰富度。蒸汽杀青烘干与微波杀青烘干处理后的样品，在苦味回味与涩味回味 2 个指标上表现尤为突出。结合中医理论中“苦能泄、能燥”“涩能收、能敛”的认识^[25]，其制品在清热解毒、抗菌抗炎等药效方面具有潜在优势。因此，苦味与涩味可作为金银花质量评价的重要感官指标，为后续结合智能感官技术的质控方法开发提供参考。

本研究系统评价了 7 种干燥方式对金银花品质的影响，不同干燥方式在“成分转化”和“感官特征”上表现出不同的优势。蒸汽热源（锅炉）是食品、药品行业的通用基础设施，企业接受难度相对较低，微波设备易于与连续化、自动化生产线集成，实现精准的在线控制。综上，蒸汽杀青烘干和微波杀青烘干，是 2 种具有发展前景且非常适于在现代中药材企业中推广的金银花 2 种干燥方式，兼顾了活性成分、感官品质及产业化可行性，是适于在现代中药生产中推广应用的高潜力干燥方式。这些结果为金银花干燥工艺优化提供了科学依据，也进一步验证了智能感官技术在中药品质综合评价中的实用价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2025: 238.
- [2] 赵琳琳, 赵云平, 魏静娜, 等. 金银花化学成分、药理作用研究进展及质量标志物的预测分析 [J]. 中国现代医药杂志, 2025, 27(4): 35-40.
- [3] 刘畅, 周枝, 尹志刚, 等. 基于网络药理学和分子对接技术探究金银花入血成分干预新型冠状病毒肺炎的作用机制 [J]. 现代药物与临床, 2022, 37(2): 264-274.
- [4] 龚婕, 姚芙, 厉晓, 等. 基于 HPLC 指纹图谱和多成分定量结合化学模式识别的白薇质量评价 [J]. 中草药, 2025, 56(15): 5578-5585.

- [5] 郝培君, 张林祥, 靳婉君, 等. 基于 HPLC 指纹图谱与指标性成分结合多元统计学对色选金银花等级的评价研究 [J]. 中国现代应用药学, 2023, 40(19): 2694-2701.
- [6] 罗雨婷, 陈雪梅, 卢晓梅, 等. 基于智能感官技术及 BP 神经网络的制枳壳饮片发酵程度快速判别研究 [J]. 中草药, 2025, 56(4): 1159-1170.
- [7] 奉梅, 徐杨, 时小东, 等. 基于电子舌技术研究蜜炙枇杷叶配方颗粒的“炮制痕迹” [J]. 中草药, 2024, 55(6): 1970-1976.
- [8] 吴鑫雨, 邱丽媛, 王又迪, 等. 基于智能感官与多源信息融合技术的香附炮制程度快速辨识方法研究 [J]. 中草药, 2023, 54(21): 7007-7016.
- [9] 朱田田, 张菁, 晋玲, 等. 基于智能感官技术与化学计量学比较不同采收季节肉苁蓉的品质 [J]. 中草药, 2025, 56(19): 7168-7177.
- [10] 孙怀竹, 梁金玲, 许天阳, 等. 干燥对不同药用部位中草药化学成分影响的研究进展 [J]. 中华中医药学刊, 2025, 43(2): 246-250.
- [11] 熊乐文, 黄文静, 张龙霏, 等. 干燥方式对金银花酚酸类和黄酮类成分的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(5): 2444-2450.
- [12] 章丽, 及华, 李洪涛, 等. 金银花初加工技术研究进展 [J]. 河北农业科学, 2023, 27(4): 91-95.
- [13] 孙洁, 王晓, 周洁, 等. 变温干燥对良种金银花活性成分含量的影响 [J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(10): 3302-3305.
- [14] 马涵玉, 钱琪, 王凤霞, 等. 基于 HS-GC-MS 和电子感官技术比较不同产地金银花气味和味道差异 [J]. 中草药, 2024, 55(6): 2085-2093.
- [15] 刘璐, 吕凌, 李晨, 等. 基于多指标成分和模式识别分析不同产地金银花的质量差异 [J]. 中华中医药杂志, 2023, 38(9): 4328-4335.
- [16] 曲珍妮, 吕畅, 毕钰, 等. 基于电子仿生感官技术的山楂不同炮制品颜色、味道变化研究 [J]. 中草药, 2024, 55(20): 6929-6939.
- [17] 熊乐文, 金莹, 黄玮慕, 等. 金银花色泽与酚酸类成分含量相关性研究 [J]. 中成药, 2022, 44(8): 2736-2739.
- [18] 陆远, 张研, 王莹, 等. 金银花化学成分及其抗氧化活性研究 [J]. 中成药, 2024, 46(8): 2638-2644.
- [19] 王淑, 张翠翠, 郭凤丹, 等. 基于 UPLC 多指标含量测定和指纹图谱的不同种质金银花药材质量评价研究 [J]. 中草药, 2024, 55(3): 947-955.
- [20] 熊乐文, 金莹, 王彦予, 等. 金银花酚酸类化学成分、药理活性及体内代谢研究进展 [J]. 中成药, 2022, 44(3): 864-871.
- [21] 马芹, 赵慧, 刘振华, 等. 金银花挥发性成分研究进展 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(10): 5397-5401.
- [22] 范天慈, 窦志英, 李捷, 等. 不同干燥方式对中药成分影响的研究进展 [J]. 中国现代中药, 2021, 23(11): 2017-2024.
- [23] 韩雪, 郑玉, 谢兴亮, 等. 中药多酚涩味的内涵认识与掩蔽方法研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(20): 5443-5451.
- [24] 李倩, 陈燕, 窦霞, 等. 基于“谱-效”关系的金银花成分及抑菌活性研究 [J]. 时珍国医国药, 2023, 34(9): 2103-2108.
- [25] 贾莉洁, 曲夷. 《神农本草经》苦味利水药在经方中的应用 [J]. 山东中医杂志, 2025, 44(5): 516-521.

[责任编辑 郑礼胜]