基于多指标维度综合评价的梁王茶干燥方式研究Δ

陈思念[1,2*]，孙华聪[2]，戴相仙[2]，徐志霖[2]，谭文红[1,2#]（1.云南中医药大学云南省傣医药与彝医药重点实验室，昆明 650500；2.云南中医药大学民族医药学院，昆明 650500）

中图分类号 R283.3 **文献标志码** A **文章编号** 1001-0408（2026）14-1856-06
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2026.14.10

摘 要 目的 基于多指标维度综合评价梁王茶的不同干燥方式[晒干（SD）、阴干（ND）、热风干燥（HAD）、真空干燥（VD）、真空冷冻干燥（VFD）]。**方法** 采用电子眼评价5种干燥方式样品的外观；采用电子舌评价其滋味；采用扫描电子显微镜评价其微观结构；采用《中国药典》中的方法检测水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物含量；采用高效液相色谱法测定新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸含量。以上述指标为变量，进行化学模式识别分析；采用熵权-逼近理想解排序（TOPSIS）结合灰色关联分析法（GRA）对5种样品质量进行综合评价，以变量重要性投影（VIP）＞1.0筛选影响样品质量的关键指标。**结果** 色泽结果显示，5种样品的平均L^*为47.532～56.986、平均a^*为－4.957～－0.718、平均b^*为19.313～28.194。味觉结果显示，5种样品的酸味、苦味响应值均较高。微观形态结果显示，ND样品表面光滑，结构致密；SD样品粗糙且有明显裂纹；VD样品表面相对粗糙，呈层状堆叠形貌；HAD样品结构松散，表面粗糙；VFD样品表面相对光滑。平均水分含量为7.064%～8.513%，平均总灰分为5.214%～5.706%，平均酸不溶性灰分为0.576%～0.720%，平均水溶性浸出物为26.081%～28.395%。5种成分平均含量分别为2.559～8.940、8.731～21.037、1.710～4.479、1.967～6.130、1.199～2.001 mg/g。聚类分析、正交偏最小二乘-判别分析结果均显示，5种样品分为3类，VFD样品与HAD样品分别聚为一类，其余样品聚为一类。绿原酸、L^*、b^*、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸、新绿原酸和a^*的VIP值＞1.0。熵权-TOPSIS法结合GRA法结果显示，5种样品的综合贴近度分别为0.414、0.488、0.412、0.452、0.563。**结论** 5种干燥样品中，以VFD样品质量最优，绿原酸、L^*、b^*、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸、新绿原酸和a^*是区分不同干燥方式下梁王茶质量的关键指标。

关键词 梁王茶；干燥方式；化学模式识别分析；熵权-TOPSIS法；灰色关联度法；电子感官技术

Study on the drying method of *Metapanax delavayi* based on multi-index dimension comprehensive evaluation

CHEN Sinian[1,2], SUN Huacong[2], DAI Xiangxian[2], XU Zhilin[2], TAN Wenhong[1,2]（1. Yunnan Key Laboratory of Dai and Yi Medicines, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China; 2. School of Ethnic Medicine, Yunnan University of Chinese Medicine, Kunming 650500, China）

ABSTRACT OBJECTIVE To comprehensively evaluate the different drying methods of *Metapanax delavayi* based on multi-index dimensions, including sun drying (SD), shade drying (ND), hot air drying (HAD), vacuum drying (VD), and vacuum freeze drying (VFD). **METHODS** An electronic eye was used to evaluate the appearance of samples with five drying methods. An electronic tongue was used to evaluate taste. The microstructure was evaluated by scanning electron microscope. The contents of moisture, total ash, acid-insoluble ash and water-soluble extract were detected by the methods in *Chinese Pharmacopoeia*. The contents of neochlorogenic acid, chlorogenic acid, cryptochlorogenic acid, 3,5-*O*-dicaffeoylquinic acid and 4,5-*O*-dicaffeoylquinic acid were determined by high-performance liquid chromatography. The comprehensive quality evaluation of five samples based on chemometrics, entropy weight-technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) and grey relational analysis (GRA) with the above indicators as variables, the key indicators affecting the quality were screened by variable importance in projection (VIP) >1.0. **RESULTS** The color results of five samples showed that average L^*, a^*, b^* ranged from 47.532 to 56.986, −4.957 to −0.718, 19.313 to 28.194, respectively. The taste results of the five samples showed that the presented high response values were for sourness and bitterness. Microstructural observation demonstrated that the ND samples showed smooth surfaces with compact texture; SD samples exhibited rough surfaces with obvious cracks; VD samples showed relatively rough surfaces with layered stacked morphology; HAD samples showed loose and coarse structures; VFD samples showed relatively smooth surfaces. The average moisture content ranged from 7.064% to 8.513%, the average total ash

Δ **基金项目** 云南省傣医药与彝医药重点实验室开放课题（No. 2024SS24093）；国家中医药管理局高水平中医药重点学科建设项目（No. zyyzdxk-2023192）；云南省科技厅科技计划项目（No. 202302AA310006）；云南省教育厅重点实验室建设计划项目

＊ **第一作者** 硕士研究生。研究方向：民族药资源保护与开发利用。E-mail：14736765553@163.com

通信作者 主任药师，硕士生导师。研究方向：民族药资源保护与开发利用。E-mail：twh85086@126.com

content ranged from 5.214% to 5.706%, the average acid-insoluble ash content ranged from 0.576% to 0.720%, and the average water-soluble extract content ranged from 26.081% to 28.395%. The contents of the five constituents were 2.559-8.940, 8.731-21.037, 1.710-4.479, 1.967-6.130, 1.199-2.001 mg/g, respectively. The results of cluster analysis and orthogonal partial least squares-discriminant analysis showed that the five samples were divided into three categories, both the VFD sample and HAD sample were clustered into one category, and the other samples were clustered into one category. The VIP values of chlorogenic acid, L^*, b^*, 3,5-*O*-dicaffeoylquinic acid, neochlorogenic acid and a^* were higher than 1.0. The results of the entropy weight-TOPSIS method combined with GRA showed that the comprehensive closeness coefficients of the five samples were 0.414, 0.488, 0.412, 0.452 and 0.563, respectively. **CONCLUSIONS** Among the five drying samples, the quality of VFD sample was the best. Chlorogenic acid, L^*, b^*, 3,5-*O*-dicaffeoylquinic acid, neochlorogenic acid and a^* were the key indicators to distinguish the quality of the different drying methods of *M. delavayi*.

KEYWORDS *Metapanax delavayi*; drying methods; chemical pattern recognition; entropy weight-TOPSIS method; grey relational analysis; electronic sensory technology

梁王茶为五加科植物梁王茶 *Metapanax delavayi*（Franch.）J.Wen & Frodin的干燥全株，主要分布于我国云南、四川、贵州等地，是中国西南地区白族和彝族的药食两用植物[1]。梁王茶富含三萜皂苷类、酚酸类、木脂素类、多糖以及挥发油等多种成分[2]，其中酚酸类中的咖啡酰奎宁酸类成分（如新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸）具有抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗病毒、保护神经等药理活性[3]。梁王茶现收载于《云南省中药材标准》（2005年版第6册）中，但仅有性状、显微鉴别及常规检查项，缺乏明确的指标成分含量测定方法。

有研究发现，活性成分的稳定性易受加工贮藏条件影响，干燥作为药材产地初加工的关键工序，直接关系到药材的品质与药效成分[4]。也有研究认为，通过干燥来降低水分含量，可以延长药材的保质期，抑制微生物生长，减少降解反应，保存营养成分，同时影响其香气、味道和色泽[5]。干燥可改变药材的化学成分和生物活性，因此干燥过程中成分的含量变化与颜色变化相关[6-7]。色泽与气味是评价中药饮片质量的关键性状指标，但传统人工判别易受主客观因素干扰[8]。电子眼与电子舌技术具有操作简便、快速、客观及准确等优势，可协助研究者对中药饮片干燥后的颜色与滋味进行量化评价[9]。基于此，本研究分别采用电子眼、电子舌和扫描电子显微镜对5种干燥方式所得梁王茶样品的颜色、滋味、形态特征进行鉴别；采用《中国药典》中的方法检测其水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物含量；采用高效液相色谱（HPLC）法测定新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸的含量；同时，进行化学模式识别分析，并采用熵权-优劣解距离（technique for order preference by similarity to ideal solution，TOPSIS）法结合灰色关联度分析（grey relational analysis，GRA）法进行综合质量评价，旨在为梁王茶干燥工艺筛选提供依据。

1 材料

1.1 主要仪器

本研究所用仪器包括Agilent 1260 Infinity Ⅱ型HPLC仪（美国Agilent公司），Mili-QIQ7000型纯水机（德国Merck Millipore公司），SOP型十万分之一电子天平[赛多利斯科学仪器（北京）有限公司]，DHG-9245A型电热鼓风干燥箱（上海一恒科学仪器有限公司），DZF-6021型真空干燥箱（上海慧泰仪器制造有限公司），XM-P30H型超声波清洗机[小美超声仪器（昆山）有限公司]，FD-1C-50+型真空冷冻干燥机（北京博医康实验仪器有限公司），IRIS型视觉分析仪、Astree V5.2 LS16型电子舌（法国Alpha M.O.S公司），GeminiSEM 360型蔡司场发射扫描电子显微镜（德国Carl Zeiss AG公司）等。

1.2 主要试剂与药品

对照品绿原酸（批号110753-202119，纯度96.3%）购自中国食品药品检定研究院；对照品新绿原酸（批号PS021094，纯度≥98%）、隐绿原酸（批号PS001110，纯度≥98%）、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸（批号PS0066-0020，纯度≥98%）、4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸（批号PS001057，纯度≥98%）均购自成都普思生物科技有限公司；乙腈、甲醇、磷酸均为色谱纯，水为纯净水。梁王茶鲜品采自云南省澄江市梁王山，经云南中医药大学民族医药学院谭文红主任药师鉴定为五加科植物梁王茶 *M. delavayi* 的新鲜全株。

2 方法与结果

2.1 5种干燥方式下的梁王茶样品制备

将梁王茶鲜品趁鲜切制，平均分为5份，每份约500 g，然后按不同干燥方式处理——（1）晒干（SD）：将药材均匀摊放，置于室外自然光下干燥至恒重，每隔6 h翻动1次，总干燥时长约72 h；（2）阴干（ND）：将药材均匀摊放，置于通风阴凉室内，避免直射光，干燥至恒重，总干燥时长约120 h；（3）热风干燥（HAD）：将药材均匀平铺于烤盘，置于鼓风干燥箱中，设置温度（50±2）℃，干燥约24 h至恒重；（4）真空干燥（VD）：将药材均匀平铺于烤盘，置于真空干燥箱中，设置温度（50±2）℃、真空度0.08 MPa，干燥约18 h至恒重；（5）真空冷冻干燥（VFD）：将药材置于－80 ℃超低温冰箱中预冻6 h后，置于真空冷冻干燥机中，设置冷阱温度－80 ℃、真空压力＜10 Pa，干燥约36 h至恒重。

2.2 色泽分析

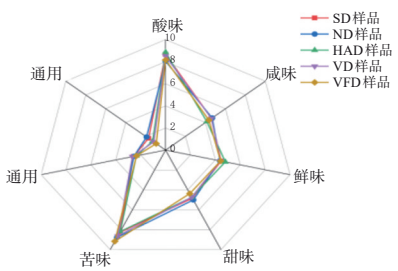
取“2.1”项下5种样品粉末适量，置于样品盘中，铺匀，采用视觉分析仪记录其颜色参数（L^*、a^*、b^*），每样品平行测3次（其中，L^*表示亮度，a^*正值表示偏红、负值表示偏绿，b^*正值表示偏黄、负值表示偏蓝）。结果（表1）显示，5种样品的平均L^*为47.532～56.986，平均a^*为−4.957～−0.718，平均b^*为19.313～28.194。

表1 5种样品的色度值结果（$\bar{x}\pm s$，$n=3$）

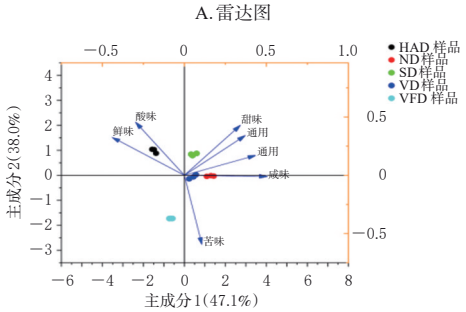
样品类别	L^*	a^*	b^*
SD样品	52.674±0.003	−2.112±0.002	20.013±0.002
ND样品	52.535±0.005	−1.743±0.001	19.413±0.002
HAD样品	47.532±0.003	−1.126±0.002	19.313±0.002
VD样品	50.744±0.003	−0.718±0.001	19.707±0.002
VFD样品	56.986±0.002	−4.957±0.001	28.194±0.002

2.3 滋味分析

精密称定“2.1”项下5种样品粉末约1.0 g，置于具塞锥形瓶中，加入100 mL水溶解，超声提取30 min，以5 300 r/min离心10 min，取上清液，采用电子舌测定样品味觉响应值，每样品平行测3次。采用OriginPro 2025软件绘制雷达图和主成分分析（principal component analysis，PCA）双标图。雷达图（图1A）结果显示，5种样品的酸味、苦味响应值均较高，其中苦味最强烈，酸味次之。VFD样品的苦味最高（9.166），HAD样品最低（8.186）；HAD样品的鲜味最高（4.800）。PCA（图1B）结果显示，主成分1和主成分2的贡献率分别为47.1%和38.0%，累计贡献率为85.1%；苦味与主成分1呈正相关且靠近VFD样品，鲜味、酸味与主成分2呈正相关且靠近HAD样品。此图分布清晰、区分明显，可有效反映5种样品的气味差异；其中SD、ND、VD样品聚集，空间距离相近，组间差异小；HAD、VFD样品与其余样品分离，质量差异显著。



A. 雷达图

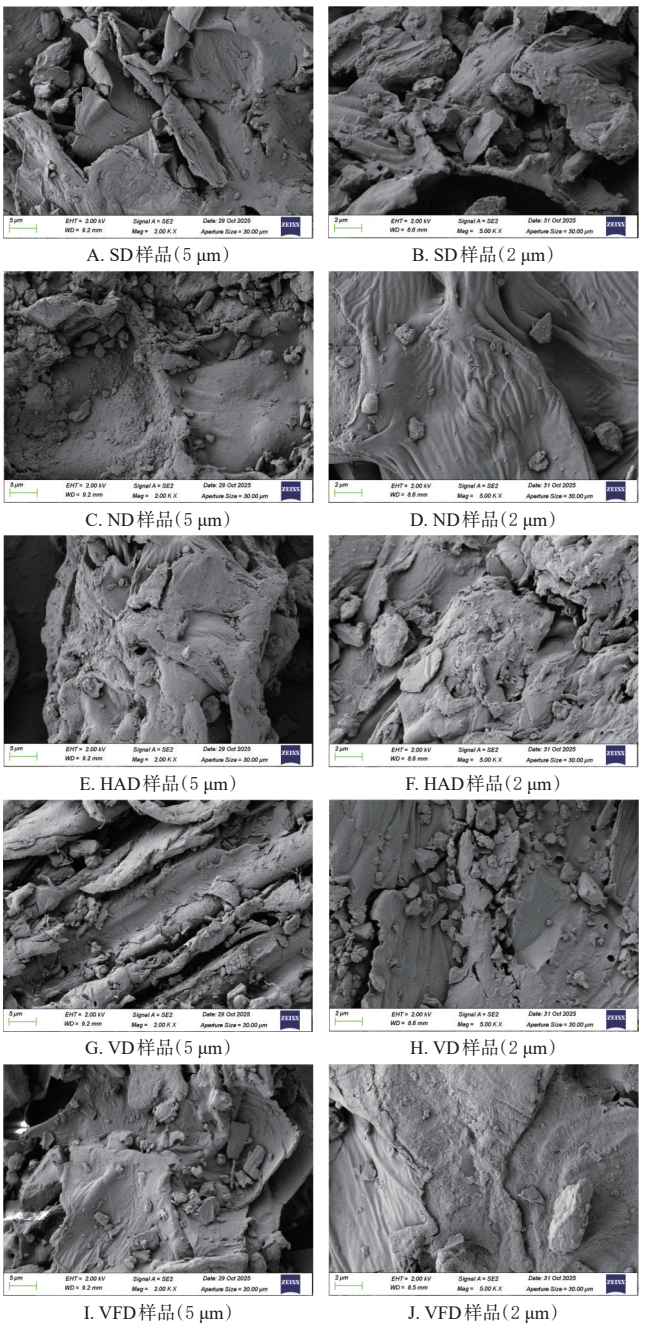


B. PCA双标图

图1 5种样品的电子舌味觉响应图

2.4 微观结构分析

采用扫描电子显微镜观察“2.1”项下5种样品的形态特征。结果（图2）显示，ND样品表面光滑，结构致密，粒径均匀分布，主要由小颗粒构成；SD样品粗糙且有明显裂纹；VD样品表面相对粗糙，具有层状堆叠形貌，粒径分布不均匀；HAD样品结构松散，表面粗糙，孔隙增加，部分颗粒完整；VFD样品表面相对光滑，表明冰晶升华过程中有结晶团块形成。



A. SD样品（5 μm）　B. SD样品（2 μm）
C. ND样品（5 μm）　D. ND样品（2 μm）
E. HAD样品（5 μm）　F. HAD样品（2 μm）
G. VD样品（5 μm）　H. VD样品（2 μm）
I. VFD样品（5 μm）　J. VFD样品（2 μm）

图2 5种样品的扫描电子显微镜图

2.5 水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物含量测定

取“2.1”项下5种样品，按2025年版《中国药典》（四部）通则方法，分别对水分[“0832”水分测定法第二法（烘干法）][10]、总灰分、酸不溶性灰分（“2302”灰分测定法）[10]、水溶性浸出物（“2201”浸出物测定法）[10]含量进行测定，每样品平均测3次。结果（表2）显示，5种样品中平均水分含量为7.064%～8.513%，平均总灰分为

5.214%～5.706%，平均酸不溶性灰分为0.576%～0.720%，平均水溶性浸出物为26.081%～28.395%。

表2　5种样品中水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物的含量检测结果（$\bar{x}\pm s$，$n=3$，%）

样品类别	水分	总灰分	酸不溶性灰分	水溶性浸出物
SD样品	7.708±0.119	5.307±0.169	0.584±0.077	27.797±0.146
ND样品	8.513±0.255	5.623±0.091	0.606±0.033	27.520±0.063
HAD样品	8.368±0.242	5.706±0.055	0.720±0.034	26.081±0.049
VD样品	8.140±0.221	5.392±0.284	0.650±0.025	27.200±0.029
VFD样品	7.064±0.130	5.214±0.185	0.576±0.058	28.395±0.390

2.6　有效成分含量测定

2.6.1　色谱条件

以Agilent Symmetry® C_{18}（4.6 mm×250 mm，5 μm）为色谱柱；以0.1%磷酸溶液（A）-乙腈（B）为流动相进行梯度洗脱（0～8 min，90%A→75%A；8～20 min，75%A→63%A）；流速为1 mL/min；检测波长为327 nm；柱温为30 ℃；进样量为5 μL。

2.6.2　混合对照品溶液的制备

精密称定新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸和4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸对照品，加甲醇，得上述5种成分质量浓度分别为519.400、547.947、527.240、510.580、527.240 μg/mL的单一对照品溶液。精密量取上述各单一对照品溶液适量，置于10 mL容量瓶中，加甲醇稀释至刻度，摇匀，得5种成分质量浓度分别为38.955、93.151、23.199、32.677、14.763 μg/mL的混合对照品溶液。

2.6.3　供试品溶液的制备

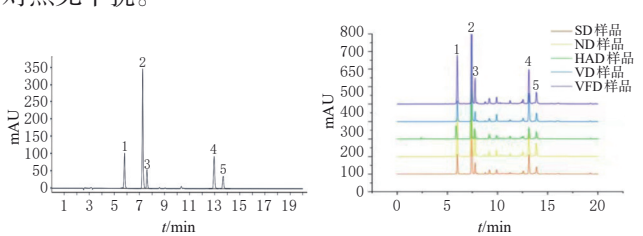
精密称定5种样品粉末约0.3 g，置于25 mL具塞锥形瓶中，加80%甲醇，密塞，称重，超声处理30 min，冷却至室温后，用80%甲醇补足失重，摇匀，经0.45 μm微孔滤膜滤过，取续滤液，即得供试品溶液。

2.6.4　阴性对照溶液的制备

以80%甲醇为空白溶剂，按“2.6.3”项下方法操作，制得阴性对照溶液。

2.6.5　系统适用性试验

取上述各溶液适量，按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录色谱图。结果（图3，阴性对照溶液略）显示，各成分色谱峰分离度良好，与相邻峰的分离度均大于1.5，阴性对照无干扰。



A.混合对照品溶液　　B.供试品溶液

1：新绿原酸；2：绿原酸；3：隐绿原酸；4：3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸；5：4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸。

图3　混合对照品溶液、供试品溶液的HPLC图

2.6.6　线性关系考察

取“2.6.2”项下各单一对照品溶液适量，置于25 mL容量瓶中，用甲醇定容后，再用甲醇分别稀释10、8、5、4、2、1倍，制得系列浓度标准工作溶液，按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录峰面积。以各待测成分质量浓度为横坐标（X）、峰面积为纵坐标（Y）进行线性回归。结果见表3。

表3　5种成分的回归方程与线性范围

待测成分	回归方程	线性范围/（μg/mL）	R^2
新绿原酸	Y=14.101 2X+0.197 0	9.506～95.060	0.999 9
绿原酸	Y=14.282 0X+32.116 5	45.357～453.573	0.999 9
隐绿原酸	Y=13.028 3X+2.362 4	6.211～62.106	0.999 8
3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸	Y=17.441 4X+13.676 0	12.789～127.890	0.999 6
4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸	Y=20.264 3X−2.099 1	3.736～37.363	0.999 8

2.6.7　精密度试验

精密量取“2.6.2”项下混合对照品溶液，按“2.6.1”项下色谱条件连续进样6次，记录峰面积。结果显示，新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸和4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸峰面积的RSD分别为0.81%、0.49%、0.57%、0.60%、0.93%（n=6），表明仪器精密度良好。

2.6.8　重复性试验

精密称取同一SD样品粉末，共6份，每份约0.3 g，按“2.6.3”项下方法制备供试品溶液，再按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录峰面积并以标准曲线法计算含量。结果显示，新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸和4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸含量的RSD分别为0.85%、0.62%、1.50%、1.12%、0.88%（n=6），表明该方法重复性良好。

2.6.9　稳定性试验

取“2.6.3”项下供试品溶液（SD样品），分别于室温下放置0、2、4、8、12、24、48 h时按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录峰面积。结果显示，新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸和4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸峰面积的RSD分别为1.61%、0.63%、1.83%、0.73%、1.29%（n=7），表明供试品溶液在室温下放置48 h内稳定性良好。

2.6.10　加样回收率试验

取已知含量的SD样品，共6份，每份精密称定0.15 g，置于25 mL具塞锥形瓶中，分别精密加入单一对照品溶液适量，按“2.6.3”项下方法制备供试品溶液，再按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录峰面积并计算加样回收率。结果显示，新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸和4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸的平均加样回收率分别为100.85%、96.02%、100.02%、102.33%、99.44%，RSD分别为1.61%、1.88%、0.95%、1.07%、1.19%（n=6），表明该方法准确度良好。

2.6.11　样品含量测定

精密称定5种样品粉末，每份约0.3 g，按“2.6.3”项下方法制备供试品溶液，再按“2.6.1”项下色谱条件进样，记录峰面积并按标准曲线法计算含量，每样品平行测3次。结果（表4）显示，绿原酸的平均含量最高，4，5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸最低；VFD样品中各成分含量相对较高，HAD样品中各成分含量相对较低。

表4　5种样品中5种成分的含量测定结果（$\bar{x}\pm s$，$n=3$，mg/g）

样品类别	新绿原酸	绿原酸	隐绿原酸	3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸	4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸
SD样品	3.625±0.026	11.575±0.091	1.953±0.015	3.430±0.028	1.199±0.009
ND样品	4.009±0.071	12.850±0.050	2.198±0.012	4.668±0.020	1.471±0.015
HAD样品	2.559±0.023	8.713±0.028	1.810±0.011	1.967±0.005	1.216±0.004
VD样品	3.775±0.002	14.650±0.015	1.710±0.003	5.034±0.004	1.397±0.008
VFD样品	8.940±0.016	21.037±0.046	4.479±0.013	6.130±0.010	2.001±0.007
平均值	4.582±2.499	13.765±4.605	2.430±1.160	4.246±1.597	1.457±0.326

2.7　5种样品的化学模式识别分析

2.7.1　聚类分析

以新绿原酸等5种成分含量，水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物含量，颜色值（L^*、a^*、b^*）以及味觉响应值（苦、酸、鲜、甜、咸味）共17个指标为变量，采用迈维云平台（https://cloud.metware.cn）进行聚类分析（cluster analysis，CA），距离度量参数设置为平方欧氏距离，每类样品平行制备3份。结果（图4）显示，5种样品分为3类，VFD样品为一类，HAD样品为一类，其余样品为一类；成分含量与颜色、苦味有关，VFD样品中各成分含量较高且苦味较强（图中，颜色由红到绿表示各成分平均含量逐渐降低）。

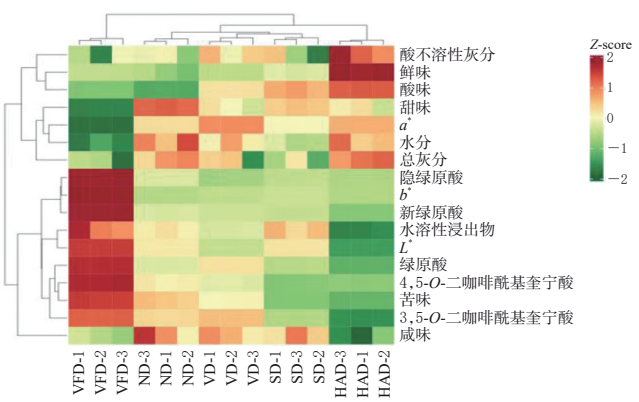
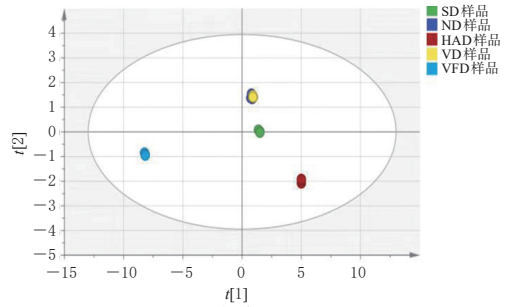


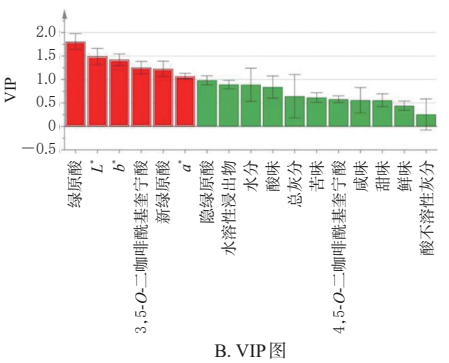
图4　5种样品的CA热图

2.7.2　正交偏最小二乘-判别分析

以上述17个指标为变量，采用SIMCA 14.1软件进行正交偏最小二乘-判别分析（orthogonal partial least squares-discriminant analysis，OPLS-DA）。结果显示，OPLS-DA模型的累积参数R^2X（cum）=0.997、R^2Y（cum）=0.998、Q^2（cum）=0.984，均大于0.5，表明模型拟合良好。为验证模型可靠性，本研究通过200次置换检验对OPLS-DA模型进行验证，结果显示，置换检验生成的Q^2回归线与Y轴相交于负半轴，表明该模型有效，可用于后续模式识别分析。OPLS-DA得分图（图5A）显示，5种样品分为3类，与HCA结果一致。以变量重要性投影（variable importance in projection，VIP）>1.0为标准[11]，筛选影响样品质量的关键指标。VIP图（图5B）显示，绿原酸含量、L^*、b^*、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸含量、新绿原酸含量、a^*的VIP值>1.0。



A. 得分图



B. VIP图

图5　5种样品的OPLS-DA图

2.8　5种样品的综合质量评价

2.8.1　熵权-TOPSIS分析

熵权法可根据各指标的离散程度客观确定各指标权重，权重越高，表示指标越离散（熵越小）[12]。将17个指标的原始数据分别进行正向化和逆向化处理后，再按公式$X_{ij}'=[X_{ij}-\min(X_{1j},\ldots,X_{nj})]/[\max(X_{1j},\ldots,X_{nj})-\min(X_{1j},\ldots,X_{nj})]$（式中，$X_{ij}$表示第$i$个样本、第$j$项指标的原始数值，$X_{nj}$表示第$j$项指标下第$n$个样本的数值）进行归一化处理，得到标准化矩阵（$X_{ij}'$）。经计算得到水分、总灰分、酸不溶性灰分、水溶性浸出物、新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸、4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸、L^*、a^*、b^*、酸味、咸味、鲜味、甜味、苦味的客观权重分别为5.977、4.385、3.144、3.168、6.719、4.604、10.503、3.475、7.539、3.679、6.603、14.000、4.700、6.580、8.311、3.098、3.515。

根据熵权法所得各指标的权重，按公式计算正理想解（V^+）和负理想解（V^-）：$V^+=\max(y_{1j},y_{2j},\cdots,y_{nj})$；$V^-=\min(y_{1j},y_{2j},\cdots,y_{nj})$（式中，$y_{ij}$为加权标准化矩阵中第$i$个样本、第$j$项指标的数值，$n$为总样本数）；采用欧氏距离公式，分别计算5种样品与正理想解的距离（D_i^+）、负理想解的距离（D_i^-）；通过距离比值计算各5种样品与最优方案的相对贴近度（D_i）[13]。结果见表5。

表5　5种样品的综合质量排序结果

样品	D_1	D_2	D_i	E_i^+	E_i^-	E_i	T_i	排序
SD样品	7.384	5.151	0.411	0.466	0.653	0.417	0.414	4
ND样品	6.603	6.466	0.495	0.554	0.597	0.481	0.488	2
HAD样品	8.611	6.019	0.411	0.534	0.758	0.413	0.412	5
VD样品	6.613	5.759	0.465	0.481	0.614	0.439	0.452	3
VFD样品	6.575	8.303	0.558	0.736	0.558	0.569	0.563	1

2.8.2　GRA

将17个指标进行标准化后，建立灰色模式识别数据集和最差参考序列，参照文献方法[14]，分别计算5种样品与最优参考序列（S_{i_b}）和最差参考序列（S_{i_s}）的灰色关联系数（E_i^+）、关联度（E_i^-）、相对关联度（E_i）。结果见表5。

2.8.3　熵权-TOPSIS法结合GRA的样品质量评价

按公式计算综合贴近度（T_i）：$T_i=\alpha D_i+\beta E_i$（$\alpha=\beta=0.5$），T_i值越高，代表质量越优[12]。结果（表5）显示，5种样品的综合质量排序为VFD样品＞ND样品＞VD样品＞SD样品＞HAD样品。

3　讨论

3.1　色谱条件的优化

本课题组前期对不同流动相（0.1%甲酸溶液-甲醇、0.1%磷酸溶液-甲醇、0.1%甲酸溶液-乙腈及0.1%磷酸溶液-乙腈）进行了考察。结果显示，以0.1%磷酸溶液-乙腈为流动相时，各成分的色谱峰峰形对称、分离度良好、响应值较高。因此，选择0.1%磷酸溶液-乙腈为流动相进行梯度洗脱。

3.2　供试品制备方法的优化

本课题组前期系统考察了不同提取溶剂（水、70%甲醇、80%甲醇、甲醇、乙醇）、料液比（1∶10、1∶25、1∶50，g/mL）及超声提取时间（15、30、45 min）对5种成分提取效率的影响。结果显示，以80%甲醇为溶剂时，各成分的色谱响应值最优；在料液比1∶25、超声提取30 min的条件下，各成分的提取效率最高。

3.3　5种样品的综合质量评价结果分析

本研究结果显示，5种干燥样品中，VFD样品的综合质量最优，新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸含量相对较高，L^*、b^*值最高，a^*值最低。这可能与其干燥原理密切相关：该方法利用低温将水分冻结后，借助冰晶升华过程实现脱水，从而有效维持样品的原有形态与色泽[15]。同时，VFD的低温、低氧环境，能够有效抑制多酚氧化酶活性，减缓氧化反应进程，减少新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸的降解。虽然该干燥方法耗时较长，但能最大限度地保留绿原酸等活性成分，抑制褐变反应，使样品保持最佳色泽品质[16]。HAD样品因持续受热，发生了轻微碳化与褐变，色泽偏暗且新绿原酸、绿原酸和3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸含量显著降低[17]。SD与ND虽能部分保留新绿原酸、绿原酸、隐绿原酸、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸及4,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸，但因干燥周期长、环境条件不可控，仍存在一定的成分损失。综合多指标评价结果，5种样品的综合质量排序为VFD样品＞ND样品＞VD样品＞SD样品＞HAD样品。

值得注意的是，尽管VFD在保留活性成分与外观色泽方面的表现最优，但其设备投资大、能耗高，限制了其在药材加工中的广泛应用。HAD虽在成分保留方面略逊，但设备简单、成本低，仍是大规模生产的主要选择。因此，实际生产中可依据产品定位选择干燥工艺：高附加值产品优先选用VFD，普通用途产品可选用VD作为替代。

综上所述，5种干燥方式中，以VFD样品质量最优，绿原酸、L^*、b^*、3,5-*O*-二咖啡酰基奎宁酸、新绿原酸和a^*是区分不同干燥方式下梁王茶质量的关键指标。

参考文献

[1] 杨本雷，云南省彝族医药研究所. 中国彝族药学[M]. 昆明：云南民族出版社，2004：120-121.

[2] 路艳霞. 异叶梁王茶根化学成分及体外抗炎活性筛选[D]. 武汉：湖北大学，2022：1-3.

[3] 闫建功，房文亮，郭日新，等. 咖啡酰奎宁酸类化合物结构分析与生物活性研究进展[J/OL]. 药物分析杂志，2026-06-03. https://doi.org/10.16155/j.0254-1793.2025-0374.

[4] 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.

[5] Ng Z X，Than M J Y，Yong P H. *Peperomia pellucida*（L.）Kunth herbal tea：effect of fermentation and drying methods on the consumer acceptance，antioxidant and anti-inflammatory activities[J]. Food Chem，2021，344：128738.

[6] Wu Z，Gao R P，Li H，et al. How steaming and drying processes affect the active compounds and antioxidant types of *Gastrodia elata* Bl. f. glauca S. chow[J]. Food Res Int，2022，157：111277.

[7] 喻芬，万娜，李远辉，等. 中药材干燥过程中的理化性质变化规律与机制分析[J]. 中草药，2021，52(7)：2144-2153.

[8] 刘倩倩，王升菊，任超翔，等. 中药辨色论质理论与方法的传承创新[J]. 中草药，2021，52(10)：3121-3132.

[9] 陈鹏，肖晓燕，梅茜，等. 基于仿生技术对薏苡仁麸炒过程中色泽气味变化研究[J]. 中草药，2022，53(14)：4285-4297.

[10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：四部[M].2025年版. 北京：中国医药科技出版社，2025：16、307、309.

[11] 熊向梅. 中药覆盆子质量评价及改善非酒精性脂肪性肝病作用研究[D]. 天津：天津中医药大学，2024：41.

[12] 丁泽民，熊辉，洪霞，等. 基于熵权法的灰色关联法-TOPSIS法对不同产地山楂及其炮制品质量的评价研究[J/OL]. 中华中医药学刊，2025-05-22. https://link.cnki.net/urlid/21.1546.R.20250522.1546.073.

[13] 王洪明，王小兵，许学丽，等. 基于指纹图谱结合多元统计分析及多指标定量的炎可宁片质量评价研究[J]. 药物分析杂志，2025，45(3)：504-513.

[14] 史丛晶，白浩东，李雨昕，等. 基于熵权法结合灰色关联法和TOPSIS法的不同产地知母及盐知母质量评价研究[J]. 中国现代应用药学，2023，40(7)：873-880.

[15] 李海登，蒋佳男，陈兰，等. 不同干燥方式影响雪莲果品质特性的研究[J]. 食品科技，2019，44(7)：96-100.

[16] Zhu L C，Li M Q，Yang W X，et al. Effects of different drying methods on drying characteristics and quality of *Glycyrrhiza uralensis*（Licorice）[J]. Foods，2023，12(8)：1652.

[17] 康明，陶宁萍，俞骏，等. 不同干燥方式无花果干质构及挥发性成分比较[J]. 食品与发酵工业，2020，46(4)：204-210.

（收稿日期：2026-02-03　修回日期：2026-07-07）

（本文责编：陈　宏）