

- [29] 陈建茹,董伟伟,彭娟,等.储藏条件对柏子仁污染黄曲霉毒素的影响及脱除方法探讨[J].中国现代中药,2018,20(6):725-728;733.
- [30] 王刘庆,王瑶,王多,等.坚果和干果中黄曲霉毒素的污染、检测与控制[J].食品安全质量检测学报,2018,9(22):5791-5798.
- [31] 李婷,姜丹,常晓茜,等.16种植物挥发油对柏子仁黄曲霉菌的抑制作用考察[J].中国实验方剂学杂志,2020,26(5):132-136.
- [32] 李红玲,高微微.植物挥发油对黄曲霉毒素产生菌及其毒素合成的影响[J].中国食品卫生杂志,2012,24(6):590-595.
- [33] 李金寒,商博,梁丹丹,等.活性氧在柠檬醛抑制黄曲霉产毒过程中的作用[J].核农学报,2016,30(7):1316-1322.

基于熵权 TOPSIS 模型对经不同方法干燥的苦水玫瑰品质的综合评价

王玉霞, 武晓玉, 夏鹏飞, 段文达, 王玉, 赵磊*

[甘肃中医药大学药学院 甘肃省高校中(藏)药化学与质量研究省级重点实验室 甘肃省道地药材质量标准化技术研究与推广工程实验室, 甘肃兰州 730000]

摘要:目的 基于熵权 TOPSIS 模型综合评价经不同方法干燥的苦水玫瑰的品质。方法 采用传统与现代干燥方法(阴干, 40、50、60℃热风干燥, 冷冻干燥, 真空干燥, 远红外辐射干燥, 微波干燥)处理新鲜苦水玫瑰, 以成分含量、浸出物、抗氧化活性为评价指标, 利用熵权 TOPSIS 模型进行综合评价。结果 阴干品中挥发性成分、总黄酮和浸出物含量最高; 远红外辐射干燥品总多糖和总多酚含量最高; 微波干燥品抗氧化活性最好。熵权 TOPSIS 模型综合排序从大到小依次为 40℃热风干燥、阴干、真空干燥、冷冻干燥、微波干燥、远红外辐射干燥、50℃热风干燥、60℃热风干燥; 40℃热风干燥的苦水玫瑰品质最好。结论 从外观性状、综合评价结果、生产效率及成本等方面考虑, 40℃热风干燥可作为苦水玫瑰的最佳干燥方法。

关键词:苦水玫瑰; 干燥方法; 熵权 TOPSIS 模型; 综合评价

中图分类号: 284

文献标志码: A

文章编号: 1001-1528(2021)05-1241-08

doi:10.3969/j.issn.1001-1528.2021.05.025

Entropy-based TOPSIS model for comprehensive evaluation of quality of differently dried *Rosa sertata* × *Rosa rugosa*

WANG Yu-xia, WU Xiao-yu, XIA Peng-fei, DUAN Wen-da, WANG Yu, ZHAO Lei*

[Gansu Province Engineering Laboratory for TCM Standardization Technology and Popularization, Key Laboratory for Chemistry and Quality of Traditional Chinese (Tibetan) Medicine of Gansu Province Colleges, Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China]

ABSTRACT: AIM To evaluate the effects of different drying methods on quality of *Rosa sertata* × *Rosa rugosa* Yu. et. Ku. using entropy-based TOPSIS model. **METHODS** The fresh *R. sertate* × *R. rugosa* samples processed differently by traditional and modern drying approaches of shadow drying, hot air drying (40℃, 50℃, 60℃), lyophilization method, vacuum drying, far infrared rays method, and microwave method were subjected to the comprehensive quality evaluation with entropy-based TOPSIS model, with regard to the chemical constituents content, extracts and their antioxidant activity. **RESULTS** Shadow drying method produced the largest amount of volatile components, total flavonoids and extracts. Far infrared rays method brought forth the highest content of total

收稿日期: 2020-08-07

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81660577); 甘肃省高校中(藏)药化学与质量研究省级重点实验室开放基金项目(zzy-2016-02)

作者简介: 王玉霞(1995—), 女, 硕士生, 从事中药药效物质基础研究。Tel: 18794757380, E-mail: 277656208@qq.com

* 通信作者: 赵磊(1967—), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事中药药效物质基础与质量标准研究。Tel: (0931) 8762539, E-mail: zzyhx@gszy.edu.cn

polysaccharides and phenols. Microwave drying method created the best antioxidant activity. According to the results of entropy-based TOPSIS model, the yields sequence was found in decreasing order, by 40 °C hot air drying, shadow drying, vacuum drying, lyophilization method, microwave drying, far infrared rays method, 50 °C hot air drying, 60 °C hot air drying. And 40 °C air drying was verified to be the best drying method. **CONCLUSION** Considering the overall appearance, results of comprehensive evaluation, production efficiency and cost, we recommend that 40 °C air drying method as the optimal drying method.

KEY WORDS: *Rosa sertata* × *Rosa rugosa* Yu. et. Ku.; drying method; entropy-based TOPSIS model; comprehensive evaluation

苦水玫瑰 *Rosa sertata* × *Rosa rugosa* Yu. et. Ku. 是中国玫瑰与钝齿蔷薇的杂交品种, 在甘肃永登苦水地区大面积种植^[1]; 其在化妆品、食用、药用、保健等方面均有较高的应用价值, 是一种极具发展潜力的特色经济作物^[2-5]。苦水玫瑰产地传统加工方法为春末夏初花将开放时分批采摘, 阴干。阴干法虽操作简便、成本低, 但存在干燥周期长、生产效率低、可控性差、药材质量良莠不齐等缺点, 已不能满足现代中药生产的需要。随着中药工业化程度的提高, 现代干燥加工设备因其参数可控、干燥时间短、药材质量稳定等优点, 逐渐应用于中药材的产地干燥加工^[6]。目前, 苦水玫瑰没有统一的质量标准, 难以全面、客观的评价干燥加工后药材品质。熵权 TOPSIS 法具有应用灵活、计算简便、结果量化客观等优点, 近年来多用于经济学、农业及环境科学等行业的决策评估^[7-8]。熵权 TOPSIS 法的多目标决策与中药多指标质量综合评价思路相吻合。鉴于此, 本实验从化学成分和药效活性角度出发, 采用现代干燥方法对苦水玫瑰进行干燥加工, 以挥发性成分、总多糖、总黄酮、总多酚、浸出物及抗氧化活性为评价指标, 利用熵权 TOPSIS 模型优选最优现代干燥方法, 综合评价苦水玫瑰质量, 以期为保证苦水玫瑰品质及规模化开发利用提供参考。

1 材料

1.1 仪器 102 型号电热鼓风机 (龙口市先科仪器公司); FDU-2110 冷冻干燥机 (上海爱朗仪器有限公司); 766-5 远红外辐射干燥箱 (上海锦屏仪器仪表有限公司); 真空干燥箱 (上海一恒科学仪器有限公司); SAM255 微波干燥仪 (美国 CEM 公司); UV-2401 紫外分光光度计 (日本 Shimadzu 公司); iMark 酶标仪 (美国 Bio-Rad 公司); Agilent 7890/5975C 气相色谱-质谱联用仪 (美国 Agilent 公司)。

1.2 材料 新鲜苦水玫瑰采自甘肃省永登县苦水

镇, 经甘肃中医药大学药学院晋玲教授鉴定为蔷薇科植物苦水玫瑰 *Rosa sertata* × *Rosa rugosa* Yu. et. Ku. 的花蕾, 标本存放于甘肃中医药大学甘肃省高校中 (藏) 药化学与质量研究省级重点实验室。无水葡萄糖 (批号 S10S9169833)、芦丁 (批号 Y19N7525244); 没食子酸 (批号 YA0505YA14) 均购于上海源叶生物科技有限公司; Folin-ciocaitau 试剂、1, 1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 均购于德国 Solarbio 公司。苯酚 (天津市德恩化学试剂有限公司); 硫酸 (天津市大茂化学试剂厂); 氢氧化钠、硝酸铝、亚硝酸钠、碳酸钠 (天津市百世化工有限公司); 甲醇、乙醇 (利安隆博华医药化学有限公司), 以上试剂均为分析纯。

2 方法与结果

2.1 干燥加工方法 分别称取新鲜采摘的苦水玫瑰 1 kg, 采用 8 种干燥方式对其进行干燥加工, 见表 1, 样品在干燥过程中采用单层平铺, 以含水率 <12% 为干燥终指标。

表 1 苦水玫瑰不同干燥加工方法

Tab. 1 Different drying methods for *R. sertata* × *R. rugosa*

编号	干燥加工方法	干燥时间
S1	阴干(室温、通风、避光)	15 d
S2	40 °C 热风干燥	38 h
S3	50 °C 热风干燥	26 h
S4	60 °C 热风干燥	22 h
S5	冷冻干燥(-80 °C 预冻 4 h, 5 Pa)	24 h
S6	真空干燥(温度 60 °C, 真空度-0.08 MPa)	12 h
S7	远红外辐射干燥(60 °C)	3 h
S8	微波干燥(温度 80 °C)	15 min

2.2 挥发性成分测定

2.2.1 GC-MS 条件 参考文献 [9], 顶空进样, 顶空平衡温度 10 °C, 加热 20 min, 定量环温度 105 °C, 传输管温度 110 °C。Agilent HP-5MS 毛细管柱(30 m × 250 μm, 0.25 μm); 体积流量 1.2 mL/min; 分流比 10 : 1; 前进样口温度 200 °C, 程序升温 (初始温度

60 ℃, 保持2 min, 以5 ℃/min升温至100 ℃, 保持2 min, 以15 ℃/min升温至160 ℃, 保持2 min; 再以15 ℃/min升温至250 ℃, 保持2 min; 载气氦气; 进样量1 μL; 电子轰击电离源(EI); 电离能量70 eV; 离子化温度220 ℃; 扫描范围 m/z 45~500; 溶剂延迟2 min。

2.2.2 数据处理 总离子流图见图1。将总离子

流图中各色谱峰在NIST库中进行检索, 结合文献资料对色谱峰进行比对, 确定出相对含量较高的庚醛、苯甲醛、 α -羟基甲苯、苯乙醇、6-辛醇、甲基丁香油酚、二十一烷等8个共有化合物及特异性成分, 见表2; 采用峰面积归一化法计算各成分相对含量, 8个共有化合物相对含量图见图2。

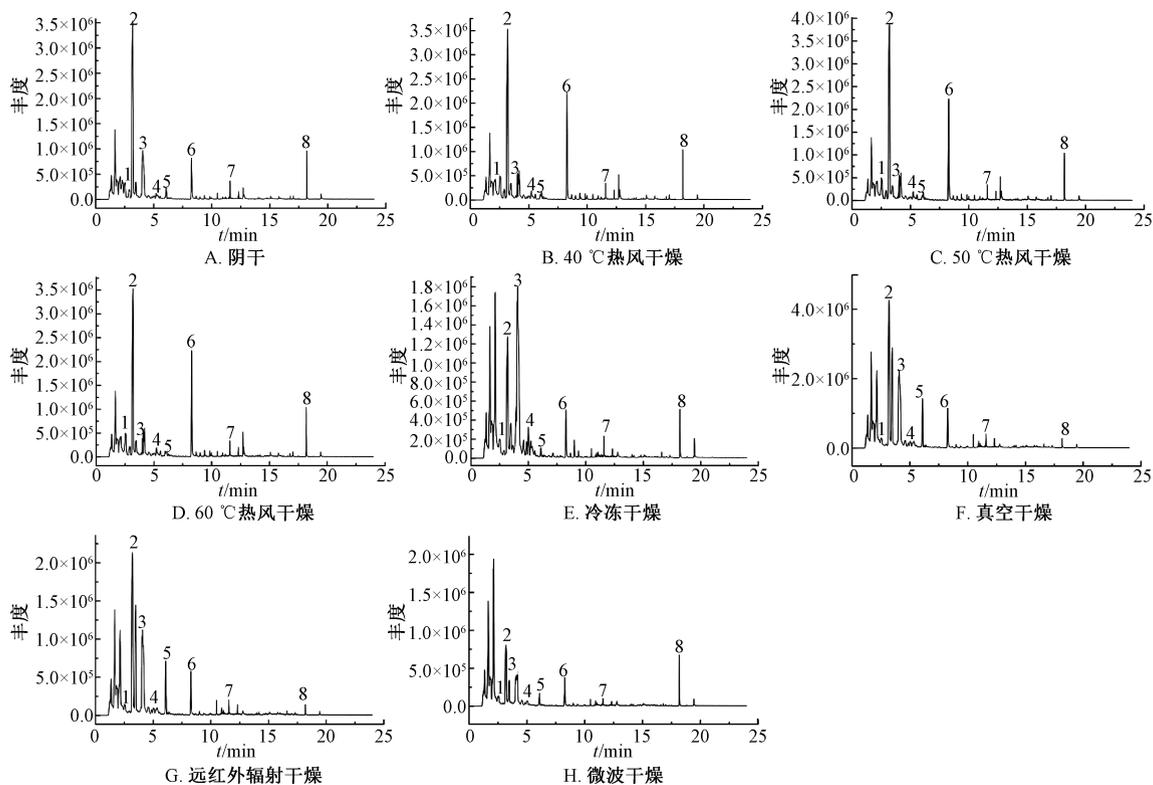


图1 不同干燥方法苦水玫瑰 GC-MS 总离子流图

Fig. 1 GC-MS total ion current chromatograms of *R. sertata* × *R. rugosa* by different drying methods

表2 挥发性成分 GC-MS 分析

Tab. 2 GC-MS analysis for volatile constituents

序号	保留时间/min	分子式	m/z	成分	鉴定依据
1	2.503	$C_7H_{14}O$	114	庚醛 ^[9]	N, R
2	3.203	C_7H_6O	106	苯甲醛 ^[10]	N, R
3	4.076	C_7H_8O	108	α -羟基甲苯 ^[10]	N, R
4	5.336	$C_8H_{10}O$	122	苯乙醇 ^[10-11]	N, R
5	6.091	$C_5H_{20}O_5Si_5$	300	环戊硅氧烷 ^[9,11]	N, R
6	8.273	$C_9H_{16}O_2$	156	6-辛醇 ^[10-11]	N, R
7	11.578	$C_{10}H_{12}O_3$	180	甲基丁香油酚 ^[9,11]	N, R
8	18.186	$C_{21}H_{44}$	296	二十一烷 ^[9-10]	N, R

注: N表示Nist谱库, R表示文献。

2.3 总多糖、总黄酮、总多酚含量测定

2.3.1 供试品溶液制备 参考文献[12-14], 苦水玫瑰粉末(过60目筛)0.5 g, 精密称定, 置于具塞锥形瓶中, 加蒸馏水30 mL, 加热回流3 h, 放置室温, 抽滤, 精密吸取续滤液1 mL置50 mL

量瓶中, 蒸馏水定容至刻度, 即得供试品溶液(供总多糖测定)。

苦水玫瑰粉末(过60目筛)0.5 g, 精密称定, 置于圆底烧瓶, 加70%乙醇30 mL, 精密称重, 加热回流30 min, 放置室温, 补足减失质量,

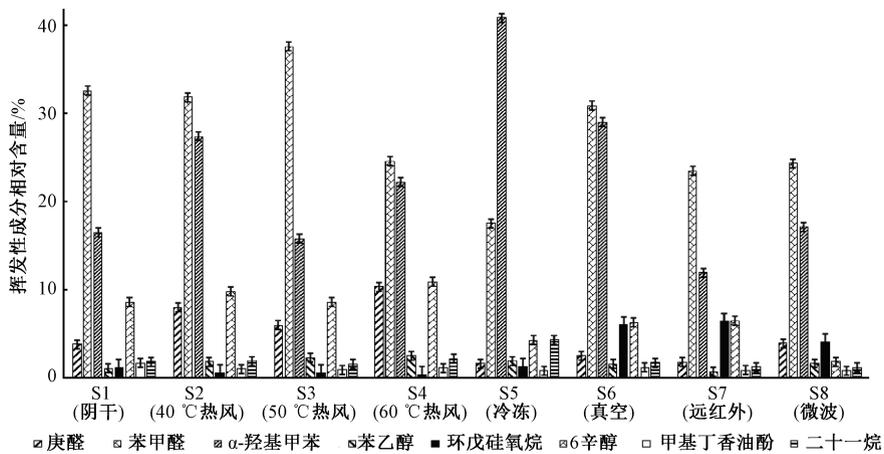


图2 不同干燥方法苦水玫瑰中共有挥发性成分的相对含量图

Fig. 2 Relative content of common volatile constituents in *R. sertata* × *R. rugosa* by different drying methods

抽滤，精密吸取续滤液 1 mL 置 25 mL 量瓶中，70% 乙醇定容至刻度，即得供试品溶液（供总黄酮测定）。

苦水玫瑰粉末（过 60 目筛）0.5 g，精密称定，置于圆底烧瓶，加 50% 甲醇 30 mL，密塞称重，加热回流 1 h，补足减失质量，抽滤，精密吸取续滤液 1 mL 置 50 mL 量瓶，50% 甲醇定容至刻度，即得供试品溶液（供总多酚测定）。

2.3.2 线性关系考察 精密称取干燥至恒定质量的无水葡萄糖对照品 0.011 0 g 于 100 mL 量瓶，加蒸馏水溶解并定容至刻度，摇匀，即得 0.110 0 mg/mL 对照品溶液，4 ℃ 保存备用。精密吸取该对照品溶液 0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.7、0.9 mL 于 25 mL 具塞试管，加蒸馏水补至 1 mL，加 5% 苯酚溶液 1 mL，迅速加入浓硫酸 5 mL，摇匀，室温放置 20 min，冰水浴 5 min，490 nm 处测定吸光度。以无水葡萄糖质量浓度为横坐标（*X*），吸光度值为纵坐标（*Y*），进行回归，得回归方程为 $Y = 61.291X + 0.0614$ ($r = 0.9994$)，表明无水葡萄糖在 0.003 1~0.011 0 mg/mL 范围内线性关系良好。

精密称取干燥至恒定质量的芦丁对照品 0.020 7 g 于 100 mL 量瓶，70% 乙醇溶解并定容至刻度，摇匀，即得 0.207 0 mg/mL 对照品溶液，4 ℃ 保存备用。精密吸取对照品溶液 0、2、3、4、5、6、7、8、10 mL 置 25 mL 量瓶中，加 5% 亚硝酸钠溶液 1 mL，摇匀，放置 6 min；再加 10% 硝酸铝溶液 1 mL，摇匀，放置 6 min；再加 5% 氢氧化钠试液 10 mL，70% 乙醇至刻度，摇匀，放置 15 min，500 nm 处测定吸光度。以芦丁质量浓度为横坐标（*X*），吸光度值为纵坐标（*Y*），进行回归，

得回归方程为 $Y = 10.788X + 0.0424$ ($r = 0.9994$)，表明芦丁在 0.001 7~0.075 mg/mL 范围内线性关系良好。

精密称取没食子酸对照品 0.010 0 g 于 10 mL 量瓶中，50% 甲醇溶解并定容至刻度，摇匀，即得 1 mg/mL 对照品溶液，4 ℃ 保存备用；将没食子酸对照品溶液进一步稀释成 0.04、0.07、0.10、0.12、0.15、0.18、0.20 mg/mL 系列质量浓度。分别精密吸取对照品稀释溶液 0.3 mL 置于 10 mL 棕色量瓶中，加 Folin-ciocaitau 试剂 0.3 mL，摇匀，加 7% Na_2CO_3 溶液 3 mL，50% 甲醇定容至刻度，静置 1.5 h，765 nm 处测定吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标（*X*），吸光度值为纵坐标（*Y*），进行回归，得回归方程为 $Y = 100.22X + 0.0909$ ($r = 0.9985$)，表明没食子酸在 0.001 2~0.006 0 mg/mL 范围内线性关系良好。

2.3.3 方法学考察

2.3.3.1 精密密度试验 取 S1 样品，按“2.3.1”“2.3.2”项下方法制备供试品溶液；连续测定 6 次，测得总多糖、总黄酮、总多酚含量 RSD 分别为 1.78%、1.36%、0.51%，表明仪器精密密度良好。

2.3.3.2 稳定性试验 取 S1 样品，按“2.3.1”项下方法制备供试品溶液，分别于 0、2、4、8、12、24 h 测定吸光度，测得总多糖、总黄酮、总多酚含量 RSD 分别为 1.94%、2.58%、2.73%，表明供试品溶液 24 h 内稳定性良好。

2.3.3.3 重复性试验 取 S1 样品，平行 6 份，按“2.3.1”“2.3.2”项下方法制备供试品溶液并测定，总多糖、总黄酮、总多酚含量 RSD 分别为

2.61%、2.74%、2.90%，表明该方法重复性良好。
2.3.3.4 加样回收率试验 取已知含量 S1 样品，
各 9 份，精密称定，根据各指标成分质量分数的

80%、100%、120% 分别加入相应对照品，按
“2.3.1” “2.3.2” 项下方法制备并测定，结果见
表 3。

表 3 总多糖、总黄酮、总多酚加样回收率试验结果 (n=9)

Tab. 3 Results of recovery tests for total flavonoids, polysaccharides and phenols (n=9)

成分	原有量/mg	加入量/mg	测得量/mg	回收率/%	平均回收率/%	RSD/%
总多糖	32.89	26.31	58.73	98.21	96.52	3.28
	32.89	26.31	57.28	92.70		
	32.89	26.31	57.18	92.32		
	32.89	32.89	65.55	99.30		
	32.89	32.89	63.58	93.31		
	32.89	32.89	66.31	101.61		
	32.89	39.47	71.00	96.55		
	32.89	39.47	71.35	97.44		
	32.89	39.47	71.27	97.24		
	32.89	39.47	71.27	97.24		
总黄酮	31.82	25.46	60.06	110.92	104.76	3.53
	31.82	25.46	59.48	108.64		
	31.82	25.46	58.55	104.99		
	31.82	31.82	63.25	98.77		
	31.82	31.82	65.14	104.71		
	31.82	31.82	65.71	106.51		
	31.82	38.18	70.62	101.62		
	31.82	38.18	71.79	104.69		
	31.82	38.18	70.76	101.99		
	31.82	38.18	70.76	101.99		
总多酚	35.17	28.14	64.02	102.52	97.13	3.77
	35.17	28.14	61.68	94.21		
	35.17	28.14	62.29	96.38		
	35.17	35.17	69.84	98.58		
	35.17	35.17	69.55	97.75		
	35.17	35.17	67.02	90.56		
	35.17	42.2	77.83	101.09		
	35.17	42.2	76.68	98.36		
	35.17	42.2	75.12	94.67		
	35.17	42.2	75.12	94.67		

2.3.4 样品含量测定 取不同干燥方法处理的苦水玫瑰各 3 份，按“2.3.1”“2.3.2”项下方法制备并测定，计算各样品中总多糖、总黄酮、总多酚含量，结果见表 4。

2.4 浸出物测定 参考文献 [15]，按 2020 年版《中国药典》四部中通则项下的热浸法操作测定，结果见表 4。

2.5 抗氧化活性测定 参考文献 [16]，通过体外 DPPH 自由基清除实验来评价抗氧化活性。称取不同干燥方法处理苦水玫瑰各 3 份，取“2.3.1”项下供试品溶液，稀释成 7 个不同质量浓度 (0、0.67、1.34、2.68、4.02、5.36、6.67 mg/mL)，作为待测样品溶液。取待测样品溶液 100 μL、0.08 mg/mL DPPH 溶液 150 μL 加入到 96 孔板中混匀，作为实验组；以 100 μL 50% 甲醇溶液和 150 μL 0.08 mg/mL DPPH 溶液为对照组，以 250 μL 50% 甲醇溶液为空白组。室

温避光孵育 20 min，在酶标仪 517 nm 下测定吸光度值 (A)。按照公式计算 DPPH 自由基清除率，并计算各待测样品 DPPH 自由基半数清除浓度 (IC₅₀) 值，结果见表 4。清除率% = (A_{对照} - A_{样品}) / (A_{对照} - A_{空白})，式中，A_{对照}、A_{样品}、A_{空白} 分别为对照组、实验组、空白组的吸光度值。

2.6 熵权 TOPSIS 模型综合评价 参考文献 [17]，中药多成分的作用特点，决定了单一评价指标难以全面反映其内在质量。而熵权 TOPSIS 模型能够允许多个指标共同参与评价，可解决单一评价指标难以全面反映中药内在质量的问题。

2.6.1 建立归一化决策矩阵 设多指标决策问题的项目对指标的值为 (i = 1, 2, …, m; j = 1, 2, …, n)，则形成多目标决策矩阵 X = (x)_{n×m}，越大越优型指标和越小越优型指标分别按照公式(1) ~ (2) 进行标准化处理。

表4 不同干燥方法苦水玫瑰中化学成分、浸出物及抗氧化活性测定结果 ($\bar{x}\pm s, n=3$)

Tab. 4 Results of chemical constituents, extracts and their antioxidant activity of *R. sertata* × *R. rugosa* by different drying methods ($\bar{x}\pm s, n=3$)

编号	挥发性成分 相对含量/%	总多糖/ (mg·g ⁻¹)	总黄酮/ (mg·g ⁻¹)	总多酚/ (mg·g ⁻¹)	浸出物/ %	抗氧化 IC ₅₀ / (mg·mL ⁻¹)
S1	67.13±0.40	65.77±0.61	63.54±0.15	70.33±0.26	51.82±0.33	0.2621±0.07
S2	82.22±1.05**	69.73±2.37*	55.36±0.6**	65.37±0.36**	49.46±0.17**	0.1853±0.01**
S3	73.27±3.55**	67.62±1.91	48.93±1.00**	54.56±0.19**	50.84±1.34	0.2517±0.01
S4	74.05±1.64**	67.03±0.98	42.67±0.9**	46.25±0.46**	51.00±1.74	0.2901±0.01**
S5	72.50±1.77**	55.38±0.87**	60.71±0.19*	58.04±0.37**	50.70±0.26	0.2026±0.03**
S6	79.05±0.69**	69.73±0.22*	45.06±0.01**	76.83±0.12*	49.17±0.57**	0.2016±0.04**
S7	52.78±0.69**	72.62±2.42**	46.20±0.05**	77.29±0.22*	48.24±0.16**	0.2678±0.05
S8	54.85±1.91**	51.04±1.25**	54.45±0.10**	69.41±0.72	51.18±0.48	0.1655±0.03**

注:与S1(阴干)比较,* $P\leq 0.05$,** $P\leq 0.01$ 。

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

多酚及浸出物为越大越优型指标,抗氧化活性 IC₅₀ 值为越小越优型指标。利用公式(1)~(2)对表4中数据进行标准化处理,建立归一化决策矩阵,结果见表5。

评价指标中挥发性成分、总多糖、总黄酮、总

表5 决策矩阵归一化分析

Tab. 5 Normalization analysis of decision matrix

编号	挥发性成分	总多糖	总黄酮	总多酚	浸出物	抗氧化 IC ₅₀
S1	0.4874	0.6826	1.0000	0.7757	1.0000	0.2247
S2	1.0000	0.8663	0.6080	0.6160	0.3408	0.8411
S3	0.6962	0.7683	0.2995	0.2678	0.7263	0.3082
S4	0.7224	0.7411	0	0	0.7709	0
S5	0.6699	0.2012	0.8645	0.3799	0.6872	0.7022
S6	0.8925	0.8699	0.1144	0.9849	0.2598	0.7103
S7	0	1.0000	0.1687	1.0000	0	0.1790
S8	0.0703	0	0.5641	0.7459	0.8212	1.0000

2.6.2 计算评价指标的熵权 ω_j

采用如下公式定义熵,其中 $k = \frac{1}{\ln m}$, $P_{ij} = 0$ 则

$P_{ij} \ln P_{ij} = 0$, m 、 n 分别为项目数、评价指标数, E_j 为熵值。

$$P_{ij} = X'_{ij} / \sum_{i=1}^m X'_{ij} \quad (3)$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

第 j 个评价指标的熵权定义为 ω_j ,

$$\omega_j = (1 - E_j) / \sum_{i=1}^n (1 - E_j) \quad (5)$$

$$(0 < \omega_j < 1, \sum_{i=1}^n \omega_j = 1)$$

利用式(3)~(5)计算挥发性成分、总多糖、总黄酮、总多酚、浸出物及抗氧化 IC₅₀ 的熵权值 (ω_j) 分别为 0.1720、0.1144、0.1912、0.2371、0.1209、0.1644。

2.6.3 加权决策矩阵的构建及质量评价排序

$$R_{ij} = X'_{ij} \omega_j \quad (6)$$

$$V^+ = \max(R_{1j}, R_{2j}, \dots, R_{nj}) \quad (7)$$

$$V^- = \min(R_{1j}, R_{2j}, \dots, R_{nj}) \quad (8)$$

利用式(6)构建加权决策矩阵,结果见表6。利用式(7)~(8)求得挥发性成分、总多糖、总黄酮、总多酚、浸出物及抗氧化 IC₅₀ 的最优向量分别为 0.1720、0.1144、0.1912、0.2371、0.1209、0.1644;最劣向量均为 0。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{ij} - V^+)^2} \quad (9)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_{ij} - V^-)^2} \quad (10)$$

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (11)$$

利用式(9)~(11)计算各评价指标与正理想解和负理想解的距离 D_i^+ 与 D_i^- , 得出最优解的贴近度 C_j , 并对其进行排序,结果见表7。

2.7 外观性状变化 药材外观性状也是作为干燥方法筛选的依据之一。8种干燥方法均最大程度保

表6 加权决策矩阵分析结果

Tab. 6 Analysis results of weighted decision matrix

编号	挥发性成分	总多糖	总黄酮	总多酚	浸出物	抗氧化 IC ₅₀
S1	0.083 8	0.078 1	0.191 2	0.184 0	0.120 9	0.036 9
S2	0.172 0	0.099 1	0.116 2	0.146 1	0.041 2	0.138 3
S3	0.119 7	0.087 9	0.057 3	0.063 5	0.087 8	0.050 7
S4	0.124 2	0.084 8	0	0	0.093 2	0
S5	0.115 2	0.023 0	0.165 3	0.090 1	0.083 0	0.115 5
S6	0.153 5	0.099 5	0.021 9	0.233 6	0.031 4	0.116 8
S7	0	0.114 4	0.032 3	0.237 1	0	0.029 4
S8	0.012 1	0	0.107 8	0.176 9	0.099 2	0.164 4

表7 熵权 TOPSIS 模型综合评价结果

Tab. 7 Comprehensive evaluation results using entropy-based TOPSIS model

编号	D _i ⁺	D _i ⁻	C _j	排序
S1	0.158 9	0.315 4	0.665 0	2
S2	0.146 7	0.308 3	0.677 6	1
S3	0.252 9	0.199 1	0.440 5	7
S4	0.349 7	0.176 9	0.336 0	8
S5	0.189 6	0.263 6	0.581 6	4
S6	0.197 9	0.321 1	0.618 7	3
S7	0.285 7	0.266 9	0.483 0	6
S8	0.210 1	0.282 8	0.573 7	5

持了苦水玫瑰原有色泽，均呈紫红色，但外观仍有较大差异。阴干法、40℃热风干燥所得的花蕾外观相似；花蕾完整、无破碎，花瓣包裹紧密；具有浓郁的玫瑰香味，外形美观。50℃热风干燥、60℃热风干燥的花蕾稍张开，最外层花瓣边缘偶有破损，玫瑰香味浓郁，外形美观。冷冻干燥、真空干燥所得的花蕾稍张开，外层花瓣有较多破损、边缘卷曲，玫瑰香味较浓郁，外形较美观。远红外辐射干燥及微波干燥所得的花蕾张开程度大，外层及内部花瓣破损卷曲现象严重，且表面有焦褐色斑点，玫瑰香味较淡，外形较差。见图3。



图3 不同干燥方法苦水玫瑰外观性状

Fig. 3 Appearance characteristics of *R. sertata* × *R. rugosa* by different drying methods

3 讨论

3.1 不同干燥方法对挥发性成分的影响 阴干、40℃热风干燥、50℃热风干燥、60℃热风干燥、冷冻干燥、真空干燥、远红外辐射干燥、微波干燥分别鉴定出80、78、72、69、73、61、59、40种挥发性成分。阴干、60℃热风干燥、冷冻干燥、真空干燥、远红外辐射干燥、微波干燥鉴定出特异性成分分别为环己醇、香叶醛、2,6-二甲基-2-反式-6-辛二烯、E-9-二十烯、邻苯二甲酸5-甲基己-2-基丙酯；樟脑萜；2-甲氧(基)-3-(2-丙烯基)-苯酚、双[3.1.1]庚-3-烯-2-酮、β-柏木烯、

十五烷；(+)-香橙烯、1,2-苯二甲酸-丁辛酯、3,5,24-三甲基-四十烷；3-萜烯、乙苯；间甲基苯、环己烯、2,4,4-三甲基-辛烷。40、50℃热风干燥所含成分与阴干法相同。

3.2 不同干燥方法对化学成分及浸出物的影响 由表4可知，同传统阴干法相比，冷冻干燥和微波干燥中总多糖含量较低，其余干燥方法中总多糖含量均高于阴干法。阴干法和冷冻干燥均较好的保留了黄酮类成分。40、50、60℃热风干燥品中总黄酮含量随着干燥温度升高呈下降趋势。远红外辐射干燥和真空干燥对总黄酮类成分破坏较大。同传统

阴干法相比,远红外辐射干燥和真空干燥品中总多酚含量最高。阴干,50、60℃热风干燥,冷冻干燥,微波干燥的浸出物含量一致,40℃热风干燥、真空干燥及远红外辐射干燥的浸出物含量有降低。

3.3 不同干燥方法对抗氧化活性的影响 由表4可知,微波干燥品抗氧化能力最强。40、50、60℃热风干燥的抗氧化活性依次降低。阴干抗氧化活性较低。

3.4 熵权 TOPSIS 模型综合评价 熵权 TOPSIS 模型计算相对贴近度 (C_i), C_i 越大,干燥方法越好;反之,则越差。由表7可知,40℃热风干燥所得苦水玫瑰品质要高于传统阴干法;其次,真空干燥和冷冻干燥所得苦水玫瑰品质也同阴干法较为接近。结合外观性状、产地生产的实际情况及设备成本来看,40℃热风干燥可替代传统阴干法。

4 结论

干燥是保证药材品质的重要措施;干燥的好坏将直接影响苦水玫瑰质量和外观。传统阴干法干燥周期长、效率低、质量不稳定,探讨现代干燥方法对苦水玫瑰品质的影响具有重要意义。本研究从化学成分、药效活性角度出发,利用熵权 TOPSIS 模型对苦水玫瑰现代干燥方法进行综合评价;研究结果表明,综合外观性状、成分含量、抗氧化活性、生产效率及设备成本等因素,40℃热风干燥可替代传统阴干法作为苦水玫瑰的现代干燥加工方法;以期该研究结果为苦水玫瑰的品质保障及规模化开发利用提供依据和技术支持。

参考文献:

[1] 郭胜旭. CHCl₃ 亚临界萃取-分子蒸馏相结合提取玫瑰精油[D]. 兰州: 兰州大学, 2014.
[2] 王彦淳. 中国苦水玫瑰花水中香气成分的鉴定及指纹图谱的建立[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
[3] 马猛华, 崔波, 于海峰, 等. 玫瑰花的研究进展[J].

山东轻工业学院学报, 2008, 22(4): 39-42.
[4] Liu Y, Zhi D J, Wang X, et al. Kushui Rose (*R. Setate* x *R. Rugosa*) decoction exerts antitumor effects in *C. elegans* by downregulating Ras/MAPK pathway and resisting oxidative stress[J]. *Int J Mol Med*, 2018, 42(3): 1411-1417.
[5] 郭鹏辉, 王瑾书, 韦体, 等. 苦水玫瑰的开发利用现状与发展对策[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(13): 31-38.
[6] 桑迎迎, 周国燕, 王爱民, 等. 中药材干燥技术研究进展[J]. 中成药, 2010, 32(12): 2140-2144.
[7] 顾志荣, 王亚丽, 孙宇靖, 等. 当归中5种成分同时测定与产地质量评价[J]. 中成药, 2014, 36(10): 2135-2140.
[8] 朱卫东, 杜承勇, 吴勇, 等. 一种基于相关系数矩阵的 TOPSIS 决策方法[J]. 数学的实践与认识, 2014, 44(4): 33-37.
[9] 员梦梦, 李保印, 周秀梅. 静态顶空进样-气质联用法测定玫瑰花香成分[J]. 食品工业科技, 2016, 37(20): 101-103; 109.
[10] 周围, 周小平, 赵国宏, 等. 中国苦水玫瑰油香气成分的研究[J]. 色谱, 2002, 20(6): 560-564.
[11] 江伟, 苏红霞, 薛洁, 等. 采用 HS-SPME-GC-MS 法对玫瑰饮品香气成分的定量研究[J]. 食品与发酵工业, 2012, 38(10): 165-171.
[12] 梁启超, 邹玉龙, 张秀萍, 等. 玫瑰花多糖提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 41-46.
[13] 陈继华, 王波, 刘倩倩, 等. 苦水玫瑰干花蕾中总黄酮的提取工艺及其主要成分的测定[J]. 食品与生物技术学报, 2019, 38(5): 153-159.
[14] 蒋孟君, 王艺, 任建青, 等. 超声提取食用玫瑰花总酚及其大孔树脂纯化前后抗氧化活性[J]. 食品工业科技, 2017, 38(23): 164-169.
[15] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020年版四部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
[16] 张敏敏, 程素盼, 赵志国, 等. UPLC-DPPH-PAD-ESI-TOF/MS 在线联用技术快速筛选丹参中的抗氧化成分[J]. 中草药, 2020, 51(11): 2908-2913.
[17] 刘书斌, 张宏武, 冯晓莉, 等. 基于 AHP 法优化的熵权 TOPSIS 模型对不同产地黄花菜药材质量的综合评价[J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(6): 168-174.