基于多指标成分含量的酒萸肉干燥方式研究Δ

范天慈*，毛　睿，刘丽婷，窦志英#，刘亚男，孙佳惠，常艳旭，龚博炀（天津中医药大学中药学院/天津市中药化学与分析重点实验室，天津　301600）

中图分类号　R932　　**文献标志码**　A　　**文章编号**　1001-0408（2022）22-2724-04
DOI　10.6039/j.issn.1001-0408.2022.22.07

摘　要　目的　考察不同干燥方式对酒萸肉中指标成分的影响，以优选最佳干燥方式。**方法**　山萸肉饮片经酒制后，分别采用不同干燥方式（鼓风干燥、远红外干燥、微波干燥、冷冻干燥、晒干、阴干及联合干燥）进行干燥。采用高效液相色谱法测定酒萸肉中没食子酸等5种成分的含量；采用显色法测定酒萸肉中总黄酮的含量；采用层次分析法评价不同干燥方式对酒萸肉成分含量的影响。**结果**　22批酒萸肉中没食子酸、5-羟甲基糠醛、莫诺苷、马钱苷、山茱萸新苷、总黄酮的含量分别为1.043 8～1.563 8、0.648 5～2.358 8、5.031 0～10.305 7、6.681 2～7.534 2、0.986 5～1.148 8、33.657 2～50.741 5 mg/g。层次分析法综合评价结果显示，75 ℃微波干燥时酒萸肉中各成分的综合评分最高，其次为60 ℃鼓风干燥和60 ℃远红外干燥所得样品。**结论**　酒萸肉的干燥方式宜采用75 ℃微波干燥、60 ℃鼓风干燥或60 ℃远红外干燥。

关键词　酒萸肉；干燥方式；含量测定；综合评价

Study on the drying methods of wine-processed *Cornus officinalis* based on the contents of multi-index components

FAN Tianci, MAO Rui, LIU Liting, DOU Zhiying, LIU Yanan, SUN Jiahui, CHANG Yanxu, GONG Boyang（School of Traditional Chinese Medicine, Tianjin University of Traditional Chinese Medicine/Tianjin Key Laboratory of Traditional Chinese Medicinal Chemistry and Analytical Chemistry, Tianjin 301600, China）

ABSTRACT　OBJECTIVE To investigate the effects of different drying methods on the index components in wine-processed *Cornus officinalis* so as to optimize drying method. **METHODS** After processed with wine, *C. officinalis* decoction pieces were dried with different drying methods (blast drying, far infrared drying, microwave drying, freeze drying, sun drying, shade drying and combined drying). The contents of 5 components such as gallic acid in wine-processed *C. officinalis* were determined by high-performance liquid chromatography. The contents of total flavonoids in wine-processed *C. officinalis* were determined by chromogenic method. Analytic hierarchy process was used to evaluate the effects of different drying methods on the contents of components in *C. officinalis*. **RESULTS** The contents of gallic acid, 5-hydroxymethylfurfural, monoside, loganin, cornuside and total flavonoids in 22 batches of wine-processed *C. officinalis* were 1.043 8-1.563 8, 0.648 5-2.358 8, 5.031 0-10.305 7, 6.681 2-7.534 2, 0.986 5-1.148 8 and 33.657 2-50.741 5 mg/g, respectively. The comprehensive scoring results of analytic hierarchy process showed that the comprehensive score of each component in *C. officinalis* dried by microwave at 75 ℃ was higher, followed by blast drying at 60 ℃ and far infrared drying at 60 ℃. **CONCLUSIONS** The wine-processed *C. officinalis* could be dried by microwave drying at 75 ℃, blast drying at 60 ℃ or far infrared drying at 60 ℃.

KEYWORDS　wine-processed *Cornus officinalis*; drying method; content determination; comprehensive evaluation

山茱萸为山茱萸科植物山茱萸 *Cornus officinalis* Sieb. et Zucc.的干燥成熟果肉，可补益肝肾、收涩固脱[1]，具有保护肝肾、免疫调节、抗衰老等药理作用[2]。酒萸肉为山茱萸加黄酒浸润后酒炖或酒蒸制得的饮片，较山茱萸增强了补益肝肾的功效[3]。酒萸肉现收载于2020年版《中国药典》（一部），以马钱苷、莫诺苷为指标成分[1]。研究显示，酒萸肉含有的山茱萸新苷、没食子酸，具有护肝、抗炎、抗菌等作用[4]；其总黄酮类成分具有抗氧化、护肝等作用[5]；5-羟甲基糠醛（5-hydroxymethylfurfural，5-HMF）为炮制过程中产生的醛类化合物，为中药炮制品尤其是酒蒸、酒炙品的常用检测指标[6]。因此，多指标成分含量测定对于综合评价酒萸肉的质量具有重要意义。

Δ**基金项目**　天津市科技计划项目（No.21ZYJDJC00080）

* **第一作者**　硕士研究生。研究方向：中药炮制、中药质量控制。E-mail：Ftc0190@163.com

\# **通信作者**　教授，硕士生导师，博士。研究方向：中药炮制、中药质量控制。E-mail：zhiyingdou@163.com

中药质量受产地、采收时间、加工方式、炮制方法等多因素影响，而干燥是关键环节[7]。《千金翼方》指出："夫药采取，不依阴干、曝干，虽有药名，终无药实"[8]，而《中国药典》也未对酒萸肉的干燥参数作具体规定，因此市场上不同干燥方式制得的酒萸肉质量参差不齐[8]，从而影响临床疗效。红外干燥、冷冻干燥等技术在中药干燥中得到逐步应用，两种或多种干燥方式的联合应用具有弥补单一干燥方式的不足，同时满足多种需求的特点[9－10]，但在中药加工中尚未广泛应用。因此，本研究通过测定酒萸肉中没食子酸、5-HMF、马钱苷、莫诺苷、山茱萸新苷和总黄酮等成分的含量，探讨不同干燥方式对酒萸肉质量的影响，旨在为酒萸肉的干燥方式优选提供参考。

1 材料

1.1 主要仪器

本研究所用主要仪器有Agilent 1260型高效液相色谱仪（美国Agilent公司），DHG-9245A型鼓风干燥箱（上海跃进医疗器械有限公司），YHG 300-BS-Ⅱ型真空干燥箱（上海百典仪器设备有限公司），ALPHA 1-2 LD plus型真空冷冻干燥机（德国Marin Christ公司），RWBS-08S型微波干燥机（南京苏恩瑞干燥设备有限公司），SB-3200DTN型超声波清洗器（宁波新芝生物科技有限公司），FA2004型电子分析天平（上海舜宇恒平科学仪器有限公司），FW100型高速粉碎机（天津市泰斯特仪器有限公司）。

1.2 主要药品与试剂

没食子酸对照品（批号YA0505YA14）、5-HMF对照品（批号H12M9Z61023）、马钱苷对照品（批号P22F10F81444）、莫诺苷对照品（批号P11M11F112846）、山茱萸新苷对照品（批号Y07A7H12648）均购自上海源叶生物科技有限公司，纯度均不小于98%；芦丁对照品（批号L-001-160520，纯度＞98%）购自成都瑞芬思生物科技有限公司；黄酒（批号20190219，酒精度13%）购自浙江古越龙山绍兴酒股份有限公司；乙腈为色谱纯，甲醇、磷酸均为分析纯，水为纯净水。

山茱萸于2020年10月采自浙江省淳安县，经天津中医药大学中药学院李天祥教授鉴定为山茱萸科山茱萸属植物山茱萸*C. officinalis* Sieb. et Zucc.的新鲜成熟果实。

2 方法与结果

2.1 酒萸肉的制备

取山茱萸，去核后于75 ℃鼓风干燥，制成山萸肉饮片。取山萸肉饮片，加入50%黄酒，搅拌均匀，于密闭容器中闷润1 h后，隔水蒸2 h。取出摊开放凉，分别采用不同方式干燥制得22批酒萸肉，其干燥方式见表1。

表1 22批酒萸肉的干燥方式

编号	干燥方式
ZG1	45 ℃鼓风烘干
ZG2	60 ℃鼓风烘干
ZG3	75 ℃鼓风烘干
ZG4	90 ℃鼓风烘干
ZH1	45 ℃远红外干燥
ZH2	60 ℃远红外干燥
ZH3	75 ℃远红外干燥
ZH4	90 ℃远红外干燥
ZW1	45 ℃微波干燥
ZW2	60 ℃微波干燥
ZW3	75 ℃微波干燥
ZW4	90 ℃微波干燥
ZS	晒干
ZY	阴干
ZD1	－20 ℃下预冻48 h后冻干
ZD2	－80 ℃下预冻48 h后冻干
ZGH	鼓风联合远红外干燥：60 ℃鼓风烘干1 h后，取出，于60 ℃远红外干燥至恒定质量
ZGW	鼓风联合微波干燥：60 ℃鼓风烘干1 h后，取出，于75 ℃微波干燥至恒定质量
ZHW	远红外联合微波干燥：60 ℃远红外干燥1 h后，取出，于75 ℃微波干燥至恒定质量
ZGD	鼓风联合冷冻干燥：60 ℃鼓风烘干1 h，于－20 ℃下预冻48 h后冻干
ZHD	远红外联合冷冻干燥：60 ℃远红外干燥1 h，于－20 ℃下预冻48 h后冻干
ZWD	微波联合冷冻干燥：75 ℃微波干燥1 h，于－20 ℃下预冻48 h后冻干

2.2 酒萸肉中没食子酸等6种成分的含量测定

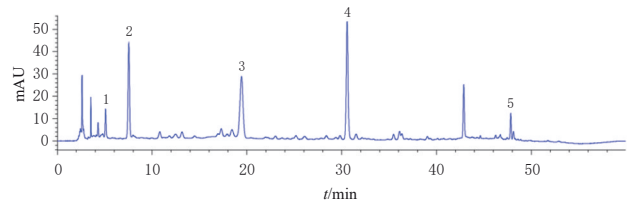
2.2.1 检测条件 （1）没食子酸等5种成分的色谱条件：以Kromasil 100-5-C_{18}（250 mm×4.6 mm，5.0 μm）为色谱柱，以0.3%磷酸溶液（A）-乙腈（B）为流动相进行梯度洗脱（0～10 min，7%B；10～35 min，7%B～15%B；35～50 min，15%B～30%B；50～55 min，30%B～7%B；55～60 min，7%B）；柱温为30 ℃；流速为1 mL/min；进样量为10 μL；检测波长为240 nm。（2）总黄酮的检测条件：采用"$NaNO_2$-$Al(NO_3)_3$-NaOH"显色法进行检测。取供试品溶液1 mL，加入5% $NaNO_2$溶液0.5 mL反应6 min，再加入10% $Al(NO_3)_3$溶液0.5 mL，摇匀后反应6 min，最后加入5% NaOH溶液1 mL混匀，静置15 min，于510 nm波长处测定吸光度[11]。

2.2.2 对照品溶液的制备 分别称取没食子酸、5-HMF、莫诺苷、马钱苷、山茱萸新苷对照品1.013、1.531、1.085、1.002、1.013 mg，置于10 mL容量瓶中，用80%甲醇溶解并定容，摇匀，制成上述各成分质量浓度分别为101.3、153.1、108.5、100.2、101.3 μg/mL的混合对照品溶液。另称取芦丁对照品9.80 mg，置于10 mL容量瓶中，加入80%乙醇溶解并定容，得到芦丁质量浓度为0.98 mg/mL的对照品溶液。

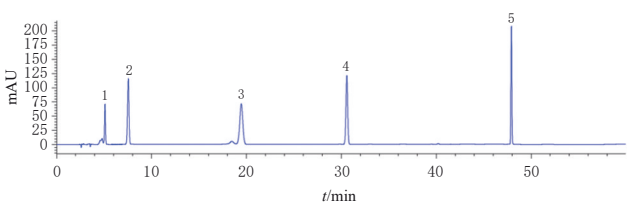
2.2.3 供试品溶液的制备 称取样品粉末（过三号筛）约0.2 g，置于100 mL具塞锥形瓶中，加80%甲醇25 mL，超声（功率180 W，频率40 kHz，下同）处理40 min，冷却至室温，称定质量，用80%甲醇补足缺失的质量，摇

匀，滤过，取续滤液，即得用于测定没食子酸等5种成分的供试品溶液（Ⅰ）。另精密称取样品粉末（过三号筛）约0.2 g，加入45%乙醇25 mL，超声处理20 min，冷却至室温，称定质量，用45%乙醇补足缺失的质量，滤过，取续滤液，即得用于测定总黄酮的供试品溶液（Ⅱ）。

2.2.4　没食子酸等5种成分的系统适用性试验　取混合对照品溶液、供试品溶液（Ⅰ）及空白溶液（80%甲醇），按“2.2.1（1）”项下检测条件进样测定，记录色谱图（图1，空白图略）。结果显示，各成分分离度均大于1.5，理论板数均大于3 000，空白溶液对测定无干扰。



A. 供试品溶液（编号ZG1）



B. 混合对照品溶液

1：没食子酸；2：5-HMF；3：莫诺苷；4：马钱苷；5：山茱萸新苷

图1　供试品溶液和没食子酸等5种成分混合对照品溶液的HPLC图

2.2.5　线性关系考察　取“2.2.2”项下没食子酸等5种成分的混合对照品溶液和芦丁对照品溶液，用80%甲醇稀释，得系列线性工作溶液，分别按“2.2.1（1）（2）”项下检测条件进样测定。以各待测成分的质量浓度为横坐标（X）、对应的峰面积或吸光度为纵坐标（Y）进行线性回归分析。结果见表2。

表2　没食子酸等5种成分和芦丁的回归方程与线性范围

成分	回归方程	r	线性范围/(μg/mL)
没食子酸	Y=5.084 8X−2.703 9	0.999 6	5.065～101.3
5-HMF	Y=8.161 1X−1.770 9	0.999 8	7.655～153.1
莫诺苷	Y=14.793 0X−3.987 1	0.999 5	5.425～108.5
马钱苷	Y=15.539 0X−2.191 2	0.999 8	5.110～100.2
山茱萸新苷	Y=14.016 0X−2.443 5	0.999 8	5.065～101.3
芦丁	Y=5.053 8X+0.015 5	0.999 3	5.750～326.7

2.2.6　方法学考察　2种检测方法经方法学考察结果显示，精密度、重复性及准确度均较好，供试品溶液在室温下放置24 h内稳定（RSD均小于3%）。

2.2.7　各批次酒萸肉的含量测定　取22批酒萸肉样品，按“2.2.3”项下方法制备供试品溶液，再按“2.2.1（1）（2）”项下检测条件进样测定，记录峰面积或吸光度并按标准曲线法计算样品含量，每批样品平行测定3次。结果见表3。

表3　酒萸肉样品中没食子酸等5种成分和总黄酮的含量测定结果（n=3，mg/g）

编号	没食子酸	5-HMF	莫诺苷	马钱苷	山茱萸新苷	总黄酮
ZG1	1.296 8	1.191 7	10.045 0	7.204 1	1.080 1	43.173 0
ZG2	1.448 0	1.190 7	9.234 8	7.465 8	1.086 1	44.558 1
ZG3	1.185 9	1.011 0	7.398 0	7.027 7	1.022 7	42.430 9
ZG4	1.449 6	1.840 6	6.256 3	7.145 9	1.087 5	42.035 2
ZH1	1.256 5	1.160 5	10.128 7	7.230 1	1.006 1	40.204 9
ZH2	1.418 4	1.222 8	9.598 5	7.485 9	1.076 5	36.989 5
ZH3	1.276 3	0.768 4	8.719 5	7.270 9	1.029 0	33.675 2
ZH4	1.468 5	2.312 9	5.031 0	6.974 9	1.027 5	36.569 0
ZW1	1.282 8	0.941 0	9.652 9	6.681 2	0.986 5	42.876 2
ZW2	1.257 4	1.122 3	10.189 2	7.354 3	1.096 2	43.519 2
ZW3	1.262 3	1.637 9	9.312 9	7.534 2	1.148 8	43.173 0
ZW4	1.388 0	2.358 8	8.543 6	7.269 0	1.071 8	48.292 9
ZS	1.043 8	0.648 5	10.077 7	6.830 1	0.990 6	47.946 6
ZY	1.090 6	0.803 7	9.777 3	6.900 6	0.998 7	45.225 9
ZD1	1.158 0	0.862 4	10.303 0	7.086 4	1.038 5	50.741 5
ZD2	1.072 5	0.816 9	10.305 7	7.314 9	1.078 3	48.218 7
ZGH	1.178 5	1.175 9	9.869 9	7.188 3	1.015 9	37.360 5
ZGW	1.212 2	1.294 3	9.182 2	7.170 9	0.999 8	38.053 0
ZHW	1.165 4	1.332 1	9.889 4	7.112 1	1.072 1	41.317 9
ZGD	1.563 8	1.286 7	10.047 7	7.097 7	1.028 7	39.537 1
ZHD	1.401 1	1.236 6	10.033 5	7.192 6	1.022 7	39.710 2
ZWD	1.420 0	1.586 4	9.533 5	7.160 7	1.006 7	47.006 7

2.3　层次分析法综合评价酒萸肉质量

参考文献[12—13]，采用层次分析法判断各成分的重要性，得到酒萸肉中各成分的重要性依次为：马钱苷＞莫诺苷＞山茱萸新苷＞没食子酸＞5-HMF＞总黄酮，得到判断优先矩阵结果见表4。

表4　没食子酸等5种成分和总黄酮的判断优先矩阵结果

指标	马钱苷	莫诺苷	山茱萸新苷	没食子酸	5-HMF	总黄酮
马钱苷	1	2	3	4	5	6
莫诺苷	1/2	1	2	3	4	5
没食子酸	1/4	1/3	1/2	1	2	3
山茱萸新苷	1/3	1/2	2	1	3	4
5-HMF	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
总黄酮	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

根据表4结果，采用层次分析法计算得到马钱苷、莫诺苷、山茱萸新苷、没食子酸、5-HMF、总黄酮的权重系数分别为0.380 6、0.251 6、0.160 2、0.100 9、0.064 3、0.042 5。一致性比例因子为0.019 4（＜0.10），表明该判断优先矩阵符合一致性检验，权重系数合理有效。按公式计算综合评分：综合评分＝（Y_1×0.100 9+Y_2×0.064 3+Y_3×0.251 6+Y_4×0.380 6+Y_5×0.160 2+Y_6×0.042 5）×100（Y_1～Y_6依次为没食子酸、5-HMF、马钱苷、莫诺苷、山茱萸新苷、总黄酮的含量）。综合评分越高，表示酒萸肉质量越优[14]。结果显示，ZW3样品的综合评分最高，其次为ZG2和ZH2，详见表5。

表5　22批酒萸肉的综合评分结果

编号	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	综合评分	排名
ZG1	0.486 6	0.317 6	0.950 6	0.613 0	0.576 9	0.556 5	65.807 5	7
ZG2	0.777 3	0.317 0	0.797 0	0.919 8	0.613 6	0.637 7	77.481 0	2
ZG3	0.273 3	0.211 9	0.448 7	0.406 2	0.223 4	0.513 0	36.629 4	19
ZG4	0.780 4	0.697 0	0.232 3	0.544 8	0.622 7	0.489 9	50.993 6	16
ZH1	0.409 2	0.299 4	0.966 4	0.643 5	0.120 9	0.382 6	58.423 9	11
ZH2	0.720 4	0.335 8	0.865 9	0.943 4	0.554 9	0.194 2	76.836 7	3
ZH3	0.447 1	0.070 1	0.699 3	0.691 3	0.261 9	0	53.062 6	15
ZH4	0.816 7	0.973 1	0	0.344 2	0.252 8	0.169 6	32.369 4	21
ZW1	0.459 7	0.171 0	0.876 2	0	0	0.539 1	30.076 0	22
ZW2	0.410 7	0.277 0	0.977 9	0.789 1	0.675 8	0.576 8	73.839 8	4
ZW3	0.420 2	0.578 5	0.811 8	1.000 0	0	0.556 5	84.829 4	1
ZW4	0.661 9	1.000 0	0.665 9	0.689 1	0.525 6	0.856 5	68.151 7	5
ZS	0	0	0.956 8	0.174 5	0.025 6	0.836 2	34.677 6	20
ZY	0.090 0	0.090 7	0.899 8	0.257 2	0.075 1	0.676 8	37.998 5	18
ZD1	0.219 6	0.125 1	0.999 5	0.475 0	0.320 5	1.000 0	55.630 8	13
ZD2	0.055 3	0.098 5	1.000 0	0.742 8	0.565 9	0.852 2	67.312 2	6
ZGH	0.259 1	0.308 4	0.917 4	0.594 5	0.181 3	0.215 9	54.126 2	14
ZGW	0.323 9	0.377 6	0.787 0	0.574 0	0.082 4	0.256 5	49.754 9	17
ZHW	0.233 8	0.399 7	0.921 1	0.505 2	0.527 5	0.447 8	57.684 2	12
ZGD	1.000 0	0.373 1	0.951 1	0.488 2	0.260 1	0.343 5	60.626 2	9
ZHD	0.687 2	0.343 9	0.948 4	0.599 5	0.223 4	0.353 6	60.906 0	8
ZWD	0.723 5	0.548 4	0.853 6	0.562 1	0.124 5	0.781 2	59.011 5	10

3　讨论

22批酒萸肉中没食子酸、5-HMF、莫诺苷、马钱苷、山茱萸新苷、总黄酮的含量分别为1.043 8～1.563 8、0.648 5～2.358 8、5.031 0～10.305 7、6.681 2～7.534 2、0.986 5～1.148 8、33.657 2～50.741 5 mg/g。60 ℃鼓风烘干、远红外干燥时所得饮片的质量优于同法45、75、90 ℃所得饮片，这可能与高温影响成分稳定、破坏成分有关[15]。微波干燥速率快，60、75、90 ℃微波干燥所得饮片的综合评分较高，质量较优。－80 ℃下预冻所得饮片的质量优于－20 ℃预冻所得饮片，其原因可能为－80 ℃预冻效果好，水分升华快。联合干燥方式在酒萸肉干燥中未展现出优势，其原因可能为饮片蒸制过程中产生的自由水较多，而鼓风干燥、远红外干燥产生的水较少，可实现快速干燥。

远红外干燥通过红外波穿透的方式实现干燥[16]，对饮片外观影响较小，颜色保留程度高。鼓风干燥可能会褪除部分颜色。微波干燥升温急剧，饮片易产生棕褐色、轻微皱缩等特征，与其他干燥方式有明显差异。鼓风、远红外、微波等加热干燥方式与晒干、阴干、冷冻干燥等不经过高温干燥方式处理的酒萸肉样品滋味有明显区分。这表明加热干燥方式与自然干燥、低温干燥对饮片滋味影响有差异。

综上所述，酒萸肉的干燥方式宜采用75 ℃微波干燥、60 ℃鼓风干燥或60 ℃远红外干燥。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典：2020年版[S]. 一部. 北京：中国医药科技出版社，2020：29.

[2] 范倩，陈雪冰，荣莉，等. 山茱萸化学成分、生物活性、复方应用及质量控制研究进展[J]. 天然产物研究与开发，2020，32(7)：1244-1258.

[3] 霍利民. 山茱萸炮制的历史沿革及现代研究[J]. 内蒙古中医药，2017，36(9)：148-149.

[4] 肖红，王东春，舒琴，等. 山茱萸不同炮制品中8个化学成分的含量测定[J]. 中国现代中药，2021，23(8)：1444-1450.

[5] 卫建琮，李华峰，乔华，等. 中药蒲公英花中总黄酮的分离纯化研究[J]. 中国药物与临床，2014，14(1)：19-21.

[6] 滕杉杉，孙震，邱野，等. 中药炮制传统工艺九蒸九晒的调研、优化及评价[J]. 长春中医药大学学报，2022，38(1)：109-113.

[7] 张迎春. 中药饮片质量的影响因素及对策研究[J/OL]. 临床医药文献电子杂志，2019，6(31)：172-173. https://www.docin.com/p-2322830952.html.

[8] 孙思邈. 千金翼方：影印本[M]. 北京：人民卫生出版社，1955：10.

[9] 张强，邓酥萍，张娜英，等. 微波-热风联合干燥在芒果果脯加工中的应用[J]. 食品研究与开发，2020，41(14)：104-109.

[10] 邓媛元，杨婧，魏振承，等. 热风-真空冷冻联合干燥对脆性龙眼果干品质及益生活性的影响[J]. 中国农业科学，2020，53(10)：2078-2090.

[11] 罗丹，姜敏，李柯翱，等. 虫草花总黄酮，总氨基酸含量测定及其抗氧化活性研究[J]. 化学工程师，2020，34(9)：18-21.

[12] 周迎春，张廉洁，张燕丽. 山茱萸化学成分及药理作用研究新进展[J]. 中医药信息，2020，37(1)：114-120.

[13] 任爱农，卢爱玲，田耀洲，等. 层次分析法用于中药复方提取工艺的多指标权重研究[J]. 中国中药杂志，2008，33(4)：372-374.

[14] 张浪，严福林，刘晓龙，等. 基于综合评分法优选玄参产地加工方法[J]. 贵州科学，2020，38(4)：6-11.

[15] SUPMOON N，NOOMHORM A. Influence of combined hot air impingement and infrared drying on drying kinetics and physical properties of potato chips[J]. Dry Technol，2013，31(1)：24-31.

[16] 赵润怀，段金廒，高振江，等. 中药材产地加工过程传统与现代干燥技术方法的分析评价[J]. 中国现代中药，2013，15(12)：1026-1035.

（收稿日期：2022-04-15　修回日期：2022-10-09）

（编辑：陈　宏）