

## 防风趁鲜切制的含水率及不同干燥方式对饮片质量的影响

于迪, 杨欣欣, 王莹, 宋来辉, 许天阳\*, 于澎\*

长春中医药大学, 吉林 长春 130117

**摘要:**目的 对防风趁鲜切制工艺中最佳切制含水率及后续饮片干燥方式等关键指标进行考察, 为提高防风鲜切饮片质量提供依据。方法 通过评价饮片翘片率、碎片率、药材质地、是否连刀等指标的优劣制定评分标准, 选出最优切制区间。用HPLC法同时测定升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷4种色原酮含量, 用UV法测量饮片总多糖含量, 以4种色原酮、总多糖、醇浸出物、饮片出膏率含量为指标考察13种干燥方式所得饮片的质量。运用熵权-TOPSIS法和聚类分析法评价不同干燥方式所得饮片的质量。结果 最佳切制含水率区间为 $(40 \pm 3)\%$ ~ $(50 \pm 3)\%$ 。不同干燥方式所得饮片的各项指标均具有显著差异, 方差及熵权-TOPSIS分析结果显示, 70℃真空干燥、80℃鼓风干燥、40℃鼓风干燥饮片质量较好。聚类分析结果显示, 冻干、晒干、阴干、真空干燥60℃、40~80℃鼓风干燥等方法聚为一类, 表明其干燥方式之间没有显著性差异, 升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷对聚类贡献较大。结论 建立的防风最佳趁鲜切制含水率区间评分标准科学合理, 结果准确可靠, 具有可操作性。趁鲜切制后不同干燥方式及温度对饮片综合质量影响较大, 采用熵权-TOPSIS法评价鲜切饮片质量具有科学性, 排序结果具有可参考性, 有利于企业结合生产实际合理选择。

**关键词:** 防风; 趁鲜切制; 干燥方式; 多指标; 熵权-TOPSIS法; 聚类分析; 升麻素苷; 升麻素; 5-O-甲基维斯阿米醇苷; 亥茅酚苷

中图分类号: R283.6 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)09-2678-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.09.010

## Effect on quality of decoction pieces by different drying methods and moisture content of fresh *Saposhnikovia Radix* cutting

YU Di, YANG Xin-xin, WANG Ying, SONG Lai-hui, XU Tian-yang, YU Peng

Changchun University of Chinese Medicine, Changchun 130117, China

**Abstract: Objective** To investigate the key indexes such as the best cutting moisture content and subsequent drying methods in the fresh cutting process of Fangfeng (*Saposhnikovia Radix*, SR), so as to provide a basis for improving the quality of SR fresh-cut slices. **Methods** The scoring standard was established by evaluating the warping rate, fragmentation rate, texture of medicinal materials, whether or not with sticking knife and other indexes to select the optimal cutting interval. Thirteen drying methods of prepared slices were investigated. The contents of four kinds of chromone, prim-O-glucosylcimifugin, cimifugin, 5-O-methylvisamminol and sec-O-glucosylhamaudol, were determined by HPLC method, and the content of total polysaccharides was measured by UV method. The quality of prepared slices was investigated by the contents of four kinds of chromone, total polysaccharides, alcohol extract and sliced paste rate as indexes. Entropy weight-TOPSIS method and cluster analysis were used to evaluate the quality of prepared slices obtained by different drying methods. **Results** The best cut moisture content range was  $(40 \pm 3)\%$ — $(50 \pm 3)\%$ . The indexes of prepared slices obtained by different drying methods were significantly different. The results of variance and Entropy weight-TOPSIS analysis showed that the quality of prepared slices dried by vacuum drying at 70℃, forced air drying at 80℃ and 40℃ was better. The results of cluster analysis showed that freeze-drying, sun-drying, shade-drying, vacuum drying at 60℃ and forced air drying at 40—80℃ were grouped into one group, which showed that there was no significant difference among these drying methods. prim-O-glucosylcimifugin, 5-O-methylvisamminol, cimifugin contributed greatly to the clustering. **Conclusion** The scoring standard of

收稿日期: 2021-11-10

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20200708028YY)

作者简介: 于迪(1993—), 女, 硕士研究生, 主要从事中药炮制学研究。E-mail: 1012059475@qq.com

\*通信作者: 许天阳(1979—), 男, 讲师, 主要从事中药分析学研究。E-mail: 7809087@qq.com

于澎(1978—), 男, 教授, 主要从事中药炮制学研究。E-mail: yupengcczy@163.com

moisture content of SR cut while fresh is scientific and reasonable, the result is accurate and reliable, and it is operable. After fresh-cut, different drying methods and temperatures have great influence on the comprehensive quality of cut slices. Using Entropy weight-TOPSIS method to evaluate the quality of fresh-cut slices is scientific, and the ranking results can be used for reference, which is beneficial for enterprises to choose reasonably according to the actual production.

**Key words:** *Saposhnikovia Radix*; fresh cutting; drying method; multi-index; entropy weight-TOPSIS method; cluster analysis; prim-O-glucosylcimifugin; cimifugin; 5-O-methylvisamminol; sec-O-glucosylhamaudol

防风为伞形科防风属植物防风 *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk. 的干燥根, 具有祛风、解表、胜湿、止痛、解痉等功效, 主产于我国内蒙古及东北三省地区, 为祛风要药<sup>[1]</sup>。中药饮片质量的优劣是确保临床疗效的重要因素, 而中药材产地加工是保障饮片质量的有效途径。防风传统饮片加工方法是, 采挖药材后晒干, 洗净后回润, 切片, 干燥<sup>[2]</sup>。传统加工存在诸多问题: 药材采收后直接晒干, 其残留的泥沙和虫卵会导致霉变及虫蛀; 根茎在回润过程中可能会导致有效成分流失, 使品质下降从而影响疗效。产地趁鲜加工省去药材晒干及回润的步骤, 既减少工序又能保留更多的有效成分<sup>[3]</sup>。

目前, 有关防风产地趁鲜加工的研究较少, 经课题组前期预实验及对防风产地趁鲜切制工序的探讨, 新鲜防风采收后须干燥至合适含水率后方可切制, 过高及过低的含水率都会影响饮片外观性状, 切制后不同的干燥方式也会对饮片的质量产生影响。据此, 课题组确定防风趁鲜切制的工序为洗净, 烘干至合适含水率, 切厚片, 干燥<sup>[4-6]</sup>。对鲜防风最佳切制含水率及切制后的干燥方式展开研究, 以期防风产地趁鲜加工技术的形成提供理论依据。

## 1 仪器与材料

### 1.1 仪器

岛津 LC-2030 高效液相色谱仪, 紫外检测器, 岛津仪器(苏州)有限公司; XS105DU 十万分之一分析天平, 梅特勒-托利多国际贸易(上海)有限公司; PTX-FA2105 电子天平, 华志电子科技有限公司; DE-100 g 小型粉碎机, 浙江红景天工贸有限公司; DHG-9055A 电热鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; SZ-GY660A 水分测定仪, 深圳市冠亚技术科技有限公司; HH-6 数显恒温水浴锅, 常州博远实验分析仪器厂; 六号药典筛; 切药刀。

### 1.2 材料

实验所用防风样品采自吉林省昌农实业集团有限公司防风规范化生产基地, 经长春中医药大学药学院中药鉴定教研室蔡广知副教授鉴定为伞形科植物防风 *S. divaricata* (Turcz.) Schischk. 的新鲜根。对

照品升麻素昔(批号 B21157, 质量分数 $\geq 98\%$ )、升麻素(批号 B21156, 质量分数 $\geq 98\%$ )、5-O-甲基维斯阿米醇昔(批号 B21823, 质量分数 $\geq 98\%$ )、亥茅酚昔(批号 B20485, 质量分数 $\geq 98\%$ )均购自上海源叶生物科技有限公司; 甲醇为色谱纯; 水为纯水。

## 2 方法与结果

### 2.1 防风趁鲜切制最佳含水率区间的计算

**2.1.1 防风鲜药材含水率的计算** 含水率计算公式为  $W=(M_t-M_{干})/M_{鲜}$ ,  $W$  为药材含水率,  $M_t$  为  $t$  时刻药材质量,  $M_{干}$  为干药材质量,  $M_{鲜}$  为新鲜药材质量。根据收集样本实际情况和预实验结果, 不同围度(粗细)的药材干燥至干药材时所需时间不同, 故将样本按大、中、小 3 组进行分档, 药材围度(粗细)分档如下: 小档 3.5~4.0 cm; 中档 4.1~4.5 cm; 大档 4.6~5.0 cm<sup>[7]</sup>。每组 10 根, 称量鲜药材质量记录为  $M_{鲜}$ , 置 40 °C 烘箱干燥, 连续烘干 96 h, 每隔 4 h 称定质量, 相邻 2 次取样质量相同时记为  $M_{干}$ , 记录  $M_1, M_2, \dots, M_n$  和  $t_1, t_2, \dots, t_n$ 。按上式计算得出  $t_1, t_2, \dots, t_n$  的含水率。以防风药材质量  $M_1, M_2, \dots, M_n$  为  $Y$  轴, 以时间  $t_1, t_2, \dots, t_n$  为  $X$  轴进行数据拟合, 不同档防风质量随时间变化的曲线符合二项式模型, 结果见表 1 及图 1。含水率变化曲线表明, 不同档鲜药材烘干相同时间时得到的药材含水率不同, 故药材大小分档很重要, 见图 2。

**2.1.2 最佳切制含水率的确定** 结合生产实际, 以药材质地、切制连刀考察是否适合趁鲜切制, 以翘片比例、碎片比例考察成品外观与收率, 建立评分标准, 结果见表 2。根据评分标准, 对含水率为  $(20 \pm 3)\% \sim (70 \pm 3)\%$  的药材进行切制并评分, 结果见表 3。根据结果, 当药材含水率较高  $(60 \pm 3)\% \sim (70 \pm 3)\%$  时切制, 饮片的翘片及碎片率偏

表 1 不同档防风质量变化曲线的二项式

档	二项式	$r$
大	$Y=0.3557 X^2-12.685 X+147.57$	0.998 0
中	$Y=0.2631 X^2-8.6328 X+91.104$	0.990 1
小	$Y=0.2069 X^2-6.6765 X+69.29$	0.987 0

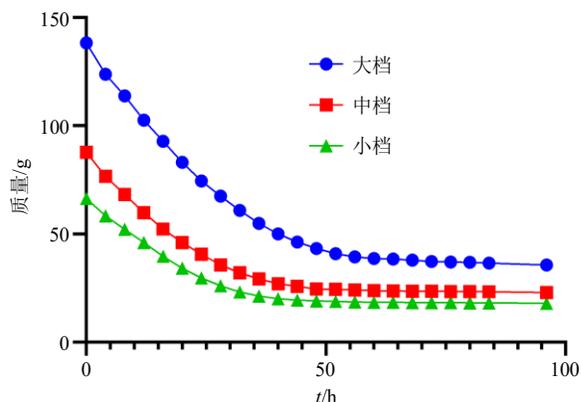


图1 防风质量随烘干时间变化曲线

Fig. 1 Curve of SR weight with drying time

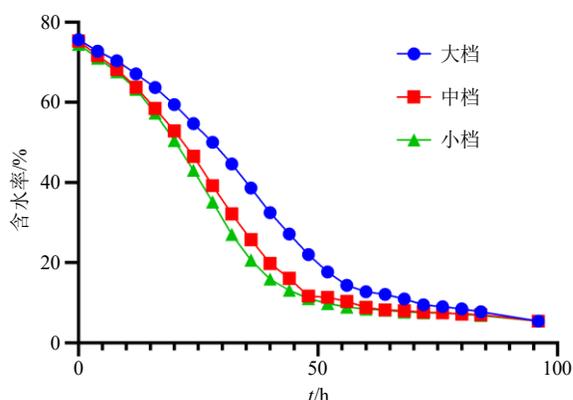


图2 防风含水率随烘干时间变化曲线

Fig. 2 Curve of moisture content of SR with drying time

表2 防风最佳趁鲜切制含水率区间评分标准

Table 2 Scoring standard of moisture content interval of fresh cutting for SR

饮片状态	性状考察指标	评分标准 (满分 10 分)
药材质地	不能切制	0
	质地较脆 (不易切)	0.5
	质地稍软 (较易切)	1.5
	弯而不折 (易切)	2.5
切制连刀	连刀较多	0.5
	连刀较少	1.5
	不连刀	2.5
翘片比例	翘片较多 (≥40%)	0.5
	翘片较少 (10%~40%)	1.5
	极少翘片 (≤10%)	2.5
碎片比例	碎片较多 (≥5%)	0.5
	碎片较少 (1%~5%)	1.5
	无碎片 (≤1%)	2.5

高。当药材干燥至含水率较低 (20±3)%~(30±3)%时切制, 药材两端已干燥至发硬, 一切即碎, 影响饮片收率。根据最终评分结果, 将 (40±3)%~(50±3)%确定为药材最佳切制含水率区间。

### 2.2 防风趁鲜切制不同干燥方式饮片的样品制备

取 13 份鲜药材, 每份 300 g。烘干至含水率为

表3 防风最佳趁鲜切制含水率区间评分结果

Table 3 Scoring results of moisture content interval of fresh cutting for SR

含水率/%	档	质地	连刀	翘片率/%	碎片率/%	综合评分 (满分 10 分)
70±3	大	质地较脆	连刀较多	70.37	0.97	4.00
	中	质地较脆	连刀较多	39.58	3.58	
	小	质地较脆	连刀较多	21.09	1.13	
平均值				43.52	1.84	
60±3	大	质地较脆	连刀较多	51.43	1.22	3.67
	中	质地较脆	连刀较多	42.26	1.53	
	小	质地较脆	连刀较少	17.34	1.46	
平均值				36.39	1.41	
50±3	大	质地稍软	连刀较少	22.22	4.29	7.33
	中	弯而不折	连刀较少	15.54	0.54	
	小	弯而不折	不连刀	11.60	2.40	
平均值				16.91	2.16	

含水率/%	档	质地	连刀	翘片率/%	碎片率/%	综合评分 (满分 10 分)
40±3	大	弯而不折	不连刀	3.67	8.31	8.67
	中	弯而不折	不连刀	11.72	1.54	
	小	弯而不折	不连刀	5.58	0.96	
平均值				6.47	4.79	
30±3	大	弯而不折	不连刀	5.62	11.01	4.67
	中	不能切制	-	7.17	6.41	
	小	不能切制	-	2.43	8.85	
平均值				5.18	8.62	
20±3	大	不能切制	-	5.62	11.01	3.00
	中	不能切制	-	7.17	12.91	
	小	不能切制	-	2.43	15.95	
平均值				5.18	39.87	

40%~50%后切制, 按不同干燥方式对防风鲜切饮片进行处理。分别制备鼓风干燥 (40~80 °C)、真空干燥 (40~70 °C)、阴干、晒干、微波干燥、冷

冻干燥趁鲜切制饮片, 具体加工过程及结果见表 4 及图 3。根据防风趁鲜切制饮片外观性状, 冷冻干燥断面颜色最浅, 70 °C真空干燥及 80 °C鼓风干燥

表 4 防风趁鲜切制饮片样品信息及外观性状

Table 4 Processing information and appearance characters of fresh cut decoction pieces prepared by SR

干燥方式	水分/%	外观性状
40 °C 鼓风干燥	7.40	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
50 °C 鼓风干燥	6.68	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
60 °C 鼓风干燥	6.00	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至深棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
70 °C 鼓风干燥	8.25	外表皮棕黄色, 切面皮部深棕黄色至深棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
80 °C 鼓风干燥	8.89	外表皮棕褐色, 切面皮部深棕色, 有裂隙, 木部深黄色, 具放射状纹理; 气特异
40 °C 真空干燥	8.68	外表皮灰棕色, 切面皮部深棕黄色至深棕色, 有裂隙, 木部黄色至深黄色, 具放射状纹理; 气特异
50 °C 真空干燥	7.41	外表皮灰棕色, 切面皮部深棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
60 °C 真空干燥	9.59	外表皮灰棕色, 切面皮部深棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色至棕色, 具放射状纹理; 气特异
70 °C 真空干燥	7.53	外表皮深灰棕色, 切面皮部深棕褐色, 裂隙较多, 木部深黄色, 具放射状纹理, 质地疏松; 气特异
微波干燥	8.77	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至深棕色, 有裂隙, 木部黄色至棕色, 具放射状纹理; 气特异
冷冻干燥	9.65	外表皮棕黄色, 切面皮部棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
阴干	9.00	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异
晒干	8.89	外表皮灰棕色, 切面皮部棕黄色至深棕色, 有裂隙, 木部黄色, 具放射状纹理; 气特异

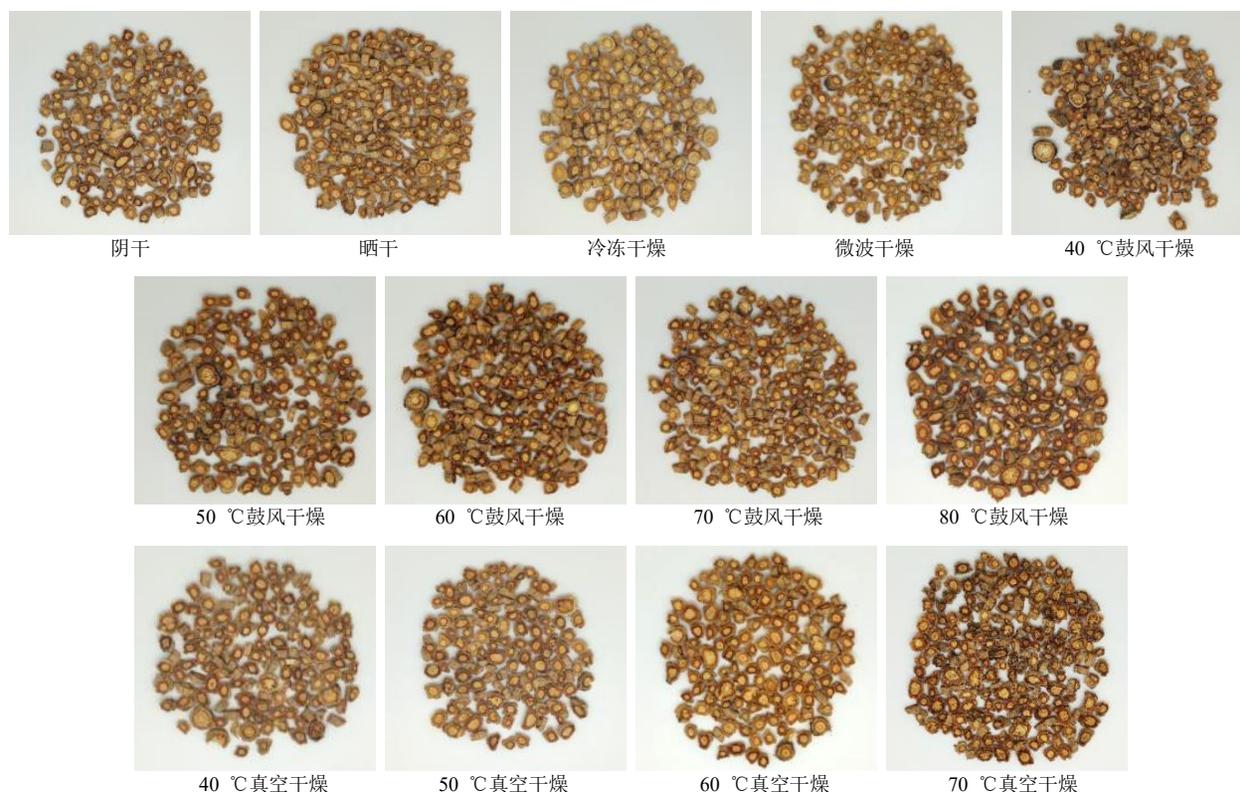


图 3 防风趁鲜切制不同干燥方式饮片的外观性状

Fig. 3 Appearance characters of different dry decoction pieces cut fresh from SR

断面颜色最深。微波干燥用时最短, 阴干用时最长。鼓风干燥及真空干燥的饮片随着温度的升高, 韧皮部及表皮颜色有加深趋势, 可能是受美拉德反应影响, 高温下美拉德反应产生的深色物质更多<sup>[8]</sup>。

### 2.3 醇浸出物、饮片出膏率、总多糖含量测定

2.3.1 醇浸出物含量测定 参照《中国药典》2020年

版四部通则 2201 项下醇溶性浸出物方法进行测定<sup>[1]</sup>。

2.3.2 饮片出膏率含量测定 取不同干燥方法所得防风饮片各 10 g, 按照标准汤剂浸泡时间及煎煮次数、时间进行煎煮<sup>[9]</sup>。先将饮片浸泡 30 min, 一煎加 7 倍量水煎煮 30 min, 二煎加 6 倍量水煎煮 20 min。将所得药液浓缩至 100 mL, 精密量取药液 10

mL 至已干燥至恒质量的蒸发皿中。水浴蒸干后, 105 °C 烘箱干燥 3 h, 移至干燥器冷却至室温后精密称定, 计算出膏率。

出膏率 = 干膏质量 / 饮片质量

### 2.3.3 防风总多糖含量测定

(1) 对照品溶液的制备: 精密称定 *D*-无水葡萄糖对照品 10.1 mg, 加纯水定容至 100 mL 量瓶中, 摇匀, 得到质量浓度为 0.101 mg/mL 的对照品溶液。分别吸取 1、2、3、4、5、6 mL 对照品溶液定容至 100 mL 量瓶中, 得到不同质量浓度的对照品溶液, 待测。

(2) 供试品溶液的制备: 取本品粉末约 0.25 g, 精密称定, 置圆底烧瓶中, 加 80%乙醇 100 mL, 超声 1 h, 滤过, 待药渣挥干溶剂, 滤纸连同药渣一起加蒸馏水 100 mL, 加热回流 2 h, 趁热滤过, 残渣及烧瓶用热水洗涤 4 次, 每次 10 mL, 合并滤液与洗液, 放冷, 转移至 250 mL 量瓶中, 稀释至刻度, 摇匀, 待测<sup>[10]</sup>。

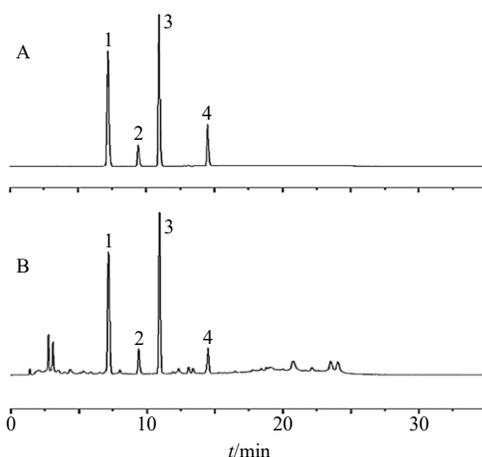
(3) 显色及测定: 精密吸取“2.3.3 (1)”项下不同质量浓度的对照品溶液及“2.3.3 (2)”项下供试品溶液 2 mL 置具塞试管中, 精密加入 5%苯酚 1 mL, 摇匀, 迅速滴加浓硫酸 5.0 mL 后摇匀, 放置 5 min, 置 40 °C 水浴中保温 10 min 后立即置冰水中冷却至室温, 取出, 用紫外分光光度计于 489 nm 测定吸光度 (*A*) 值。

(4) 标准曲线的绘制: 精密吸取“2.3.3 (1)”项下不同质量浓度 *D*-无水葡萄糖对照品溶液, 按“2.3.3 (3)”项下显色及检测方法测定。以质量浓度为横坐标 (*X*), 吸光值为纵坐标 (*Y*), 绘制 *D*-无水葡萄糖标准曲线, 得到回归方程  $Y = 14.7166X - 0.0174$ ,  $r = 0.9995$ , 结果表明, *D*-无水葡萄糖在 10~60 μg/mL 与 *A* 值呈良好的线性关系。

## 2.4 升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷含量的测定

**2.4.1 HPLC 测定条件** 色谱柱为迪玛 Diamonsil Plus C<sub>18</sub> 柱 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm); 流动相为甲醇-水, 梯度洗脱: 0~5 min, 35%~45%甲醇; 5~10 min, 45%~60%甲醇; 10~15 min, 60%~80%甲醇; 15~20 min, 80%甲醇; 体积流量 1.0 mL/min; 检测波长 254 nm; 柱温 30 °C; 进样量 10 μL。色谱图见图 4。

**2.4.2 对照品溶液的制备** 分别精密称取升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷约



1-升麻素苷 2-升麻素 3-5-*O*-甲基维斯阿米醇苷 4-亥茅酚苷  
1-cimicifugoside 2-cimifugin 3-5-*O*-methylvisamminol 4-sec-*O*-glucosylhamaudol

图 4 混合对照品 (A) 与防风样品 (B) 的 HPLC 图

### Fig. 4 HPLC of mixed reference substances (A) and SR sample (B)

10.0 mg, 置 10 mL 量瓶中, 甲醇定容至刻度, 摇匀, 配制成质量浓度均为 1 mg/mL 的对照品储备液。

**2.4.3 供试品溶液的制备** 取防风药材过 6 号筛干燥粉末 0.25 g, 精密称定, 置 50 mL 具塞锥形瓶中, 加甲醇溶液 10 mL, 称定质量, 水浴回流 2 h, 取出放冷称定质量, 补足减失的质量, 摇匀滤过。取续滤液经 0.22 μm 微孔滤膜滤过, 作为供试品溶液<sup>[1]</sup>。

**2.4.4 线性关系考察** 分别取“2.4.2”项下各对照品储备液适量用甲醇逐级稀释。升麻素苷稀释为 40、80、160、240、320、400 μg/mL; 升麻素稀释为 4、8、16、24、32、40、60、80 μg/mL; 5-*O*-甲基维斯阿米醇苷稀释为 40、80、160、240、320、400 μg/mL; 亥茅酚苷稀释为 8、16、32、48、64、80 μg/mL。分别精密吸取 10 μL, 注入高效液相色谱仪分析, 以对照品质量浓度为横坐标 (*X*), 峰面积为纵坐标 (*Y*), 绘制各成分的标准曲线, 得升麻素苷回归方程为  $Y = 18106X + 40049$ ,  $r = 0.9999$ ; 升麻素回归方程为  $Y = 28812X + 37206$ ,  $r = 0.9999$ ; 5-*O*-甲基维斯阿米醇苷回归方程为  $Y = 19100X + 202091$ ,  $r = 0.9999$ ; 亥茅酚苷回归方程为  $Y = 32737X + 217497$ ,  $r = 0.9996$ 。

**2.4.5 仪器精密度考察** 分别精密吸取“2.4.2”项下对照品储备液, 制备成质量浓度为升麻素苷 160 μg/mL、升麻素 16 μg/mL、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷 160 μg/mL、亥茅酚苷 32 μg/mL 的混合对照品储备液, 按“2.4.1”项下色谱条件连续进样 6 次, 记录各成分的峰面积, 计算升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷、

亥茅酚苷峰面积的 RSD 值分别为 0.29%、1.55%、1.89%、2.01%，表明仪器精密度良好。

**2.4.6 重复性考察** 精密称量防风粉末 6 份，按“2.4.3”项下方法制备成供试品溶液，按“2.4.1”项下色谱条件进样 10 μL 进行分析，计算升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷质量分数的 RSD 值分别为 1.99%、2.42%、1.93%、1.14%，表明该方法的重复性良好。

**2.4.7 稳定性考察** 取样品按“2.4.3”项下方法制备成供试品溶液，室温下放置，按“2.4.1”项下色谱条件分别在 0、2、4、8、12、24 h 进样 10 μL 进行分析，测定各成分的峰面积，计算升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷峰面积的 RSD 值分别为 0.26%、1.96%、1.09%、0.96%，表明供试品溶液在 24 h 内稳定性良好。

**2.4.8 加样回收率考察** 平行称取已知含量的防风粉末 6 份，每份 0.125 g，精密称定。按 100% 含量水平分别加入相应质量的升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷对照品，按“2.4.3”项下方法制备成供试品溶液，按“2.4.1”项下色谱条件进样 10 μL 进行分析，分别计算平均加样回收率和 RSD。结果升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷平均加样回收率分别为

99.61%、94.23%、98.35%、101.34%，RSD 分别为 1.73%、2.16%、1.36%、2.63%。

**2.5 不同干燥方式对防风鲜切制饮片指标成分含量的影响**

防风经不同干燥方式处理得到的饮片结合各指标数据进行方差分析，鼓风干燥 40 °C 的醇浸出物、出膏率、多糖含量均显著高于其他方式，醇浸出物含量以晒干及鼓风干燥 40 °C 最高，是 70 °C 真空干燥的 19.32%，40 °C 鼓风干燥出膏率含量是传统晒干饮片的 1.39 倍，多糖含量是晒干饮片的 1.83 倍，但 40 °C 鼓风干燥对 4 种色原酮含量的影响不显著。对比色原酮含量发现，70 °C 真空干燥饮片的升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷含量最高，80 °C 鼓风干燥及冷冻干燥饮片升麻素苷含量最高。80 °C 鼓风干燥与 70 °C 真空干燥色原酮总量相比晒干饮片有所增加，随着温度的升高，防风鲜切饮片 4 种色原酮含量总和呈上升趋势，真空干燥的色原酮含量总和呈梯度上升趋势，鼓风干燥色原酮含量总和呈平缓上升趋势。真空干燥时，伴随着温度的升高，升麻素苷与升麻素之间的含量呈负相关变化。综合结果显示 40 °C 鼓风干燥、80 °C 鼓风干燥、70 °C 真空干燥 3 种方法对各指标综合影响较为显著性。结果见表 5。

表 5 防风饮片不同干燥方式的醇浸出物、出膏率、总多糖及色原酮含量的测定

Table 5 Determination of content of alcohol extract, extract rate, total polysaccharide and chromone in different drying methods of SR decoction pieces

干燥条件	醇浸出物/%	出膏率/%	多糖/%	色原酮/%				
				升麻素苷	升麻素	5-O-甲基维斯阿米醇苷	亥茅酚苷	色原酮总和
40 °C 鼓风干燥	43.66 ± 0.60 <sup>a</sup>	46.34 ± 0.26 <sup>a</sup>	3.84 ± 0.54 <sup>a</sup>	0.420 ± 0.050 <sup>d</sup>	0.040 ± 0.004 <sup>e</sup>	0.450 ± 0.043 <sup>c</sup>	0.060 ± 0.006 <sup>e</sup>	0.980 ± 0.095 <sup>e</sup>
50 °C 鼓风干燥	39.33 ± 0.04 <sup>e</sup>	41.59 ± 0.39 <sup>c</sup>	2.48 ± 0.22 <sup>e</sup>	0.450 ± 0.006 <sup>d</sup>	0.040 ± 0.001 <sup>e</sup>	0.390 ± 0.097 <sup>d</sup>	0.070 ± 0.001 <sup>e</sup>	0.950 ± 0.090 <sup>e</sup>
60 °C 鼓风干燥	39.49 ± 0.30 <sup>e</sup>	38.00 ± 0.20 <sup>d</sup>	2.09 ± 0.10 <sup>e</sup>	0.480 ± 0.003 <sup>b</sup>	0.030 ± 0.002 <sup>h</sup>	0.470 ± 0.009 <sup>c</sup>	0.080 ± 0.001 <sup>b</sup>	1.070 ± 0.010 <sup>d</sup>
70 °C 鼓风干燥	37.23 ± 0.41 <sup>f</sup>	40.65 ± 0.08 <sup>c</sup>	2.92 ± 0.18 <sup>b</sup>	0.470 ± 0.017 <sup>c</sup>	0.040 ± 0.001 <sup>e</sup>	0.440 ± 0.036 <sup>d</sup>	0.080 ± 0.005 <sup>b</sup>	1.040 ± 0.059 <sup>e</sup>
80 °C 鼓风干燥	38.01 ± 0.14 <sup>e</sup>	37.25 ± 0.33 <sup>d</sup>	2.42 ± 0.12 <sup>c</sup>	0.540 ± 0.001 <sup>a</sup>	0.050 ± 0.011 <sup>f</sup>	0.440 ± 0.048 <sup>d</sup>	0.120 ± 0.007 <sup>a</sup>	1.140 ± 0.057 <sup>b</sup>
40 °C 真空干燥	37.79 ± 0.47 <sup>e</sup>	45.90 ± 11.06 <sup>b</sup>	2.57 ± 0.14 <sup>d</sup>	0.260 ± 0.004 <sup>e</sup>	0.130 ± 0.002 <sup>b</sup>	0.490 ± 0.008 <sup>c</sup>	0.080 ± 0.002 <sup>c</sup>	0.950 ± 0.016 <sup>e</sup>
50 °C 真空干燥	41.19 ± 0.66 <sup>b</sup>	39.75 ± 0.27 <sup>c</sup>	2.66 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.370 ± 0.003 <sup>c</sup>	0.100 ± 0.005 <sup>c</sup>	0.430 ± 0.008 <sup>d</sup>	0.070 ± 0.001 <sup>e</sup>	0.980 ± 0.009 <sup>e</sup>
60 °C 真空干燥	38.73 ± 0.34 <sup>d</sup>	37.67 ± 0.33 <sup>d</sup>	2.16 ± 0.15 <sup>e</sup>	0.430 ± 0.014 <sup>d</sup>	0.090 ± 0.003 <sup>d</sup>	0.500 ± 0.007 <sup>b</sup>	0.080 ± 0.015 <sup>c</sup>	1.090 ± 0.012 <sup>d</sup>
70 °C 真空干燥	36.59 ± 1.80 <sup>f</sup>	39.35 ± 0.47 <sup>c</sup>	2.39 ± 0.06 <sup>c</sup>	0.340 ± 0.014 <sup>f</sup>	0.250 ± 0.003 <sup>a</sup>	0.640 ± 0.008 <sup>a</sup>	0.120 ± 0.003 <sup>a</sup>	1.360 ± 0.003 <sup>a</sup>
阴干	40.80 ± 0.56 <sup>b</sup>	36.98 ± 0.91 <sup>d</sup>	2.68 ± 0.05 <sup>c</sup>	0.490 ± 0.006 <sup>b</sup>	0.030 ± 0.004 <sup>h</sup>	0.510 ± 0.024 <sup>b</sup>	0.070 ± 0.000 <sup>e</sup>	1.110 ± 0.037 <sup>c</sup>
晒干	42.91 ± 0.42 <sup>a</sup>	33.27 ± 0.23 <sup>d</sup>	2.19 ± 0.38 <sup>e</sup>	0.440 ± 0.009 <sup>d</sup>	0.070 ± 0.005 <sup>e</sup>	0.490 ± 0.027 <sup>b</sup>	0.070 ± 0.001 <sup>d</sup>	1.060 ± 0.044 <sup>e</sup>
冷冻干燥	41.22 ± 0.17 <sup>b</sup>	39.28 ± 0.72 <sup>c</sup>	2.64 ± 0.09 <sup>d</sup>	0.560 ± 0.015 <sup>a</sup>	0.030 ± 0.003 <sup>h</sup>	0.360 ± 0.098 <sup>d</sup>	0.060 ± 0.003 <sup>e</sup>	1.000 ± 0.111 <sup>e</sup>
微波干燥	38.80 ± 0.20 <sup>d</sup>	39.02 ± 0.08 <sup>d</sup>	2.93 ± 0.49 <sup>b</sup>	0.530 ± 0.026 <sup>a</sup>	0.010 ± 0.002 <sup>i</sup>	0.430 ± 0.074 <sup>d</sup>	0.080 ± 0.001 <sup>c</sup>	1.050 ± 0.100 <sup>e</sup>

同列数值后不同字母 a~i 表示同一处理间差异达到 5% 显著水平  
different letters a~i represents a significant difference of 5% between the same treatments

## 2.6 防风趁鲜切制饮片不同干燥方式的熵权-TOPSIS 分析

熵权法是一种客观的赋权的方法，通过构建各个评价指标的判断矩阵，从而得到各指标的熵，最终确定指标熵权。根据熵的定义，信息熵值越小，指标的离散程度越大，即权重越大。TOPSIS 法也称双基点法，常常解决多指标多方案的评价与排序问题，通过熵权法科学计算指标权重后，构建加权后的 TOPSIS 决策矩阵，最终按照 TOPSIS 法排序，判断防风饮片各干燥方式的优劣<sup>[11-12]</sup>。

**2.6.1 熵权指标的计算** 现设有  $m$  个决策对象， $n$  个决策指标， $i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$ 。将数据通过公式 (1) 进行归一化处理，由于各项指标的计量单位不统一，因此在计算综合指标前，要先将各项不同指标值进行同质化处理， $x_{ij}$  代表归一化处理后的各数值。公式 (2)  $P_{ij}$  代表第  $j$  项指标下第  $i$  个样本值占该指标的比重所得到的权重。公式 (3)  $e_j$  代表熵值，当  $k=1/\ln n$ ， $P_{ij}=0$  则  $P_{ij}\ln P_{ij}=0$ ，计算第  $j$  项指标的熵值。公式 (4)  $d_j$  代表信息熵冗余度，计算信息熵差异。最终将公式 (4) 代入公式 (5) 得到各项指标的权重， $w_j$  代表权重，结果见表 6。

$$x_{ij}=(x_{ij}-\min[x_{1j}, \dots, x_{nj}])/(\max[x_{ij}, \dots, x_{nj}]-\min[x_{1j}, \dots, x_{nj}]) \quad (1)$$

$$P_{ij}=x_{ij}/\sum_{i=1}^n x_{ij}, i=1, \dots, n; j=1, \dots, m \quad (2)$$

$$e_j=-k \sum_{i=1}^n P_{ij}\ln P_{ij}, j=1, \dots, m \quad (3)$$

$$k=1/\ln n > 0, \text{ 满足 } e_j > 0$$

$$d_j=1-e_j, j=1, \dots, m \quad (4)$$

$$w_j=d_j/\sum_{j=1}^m d_j, j=1, \dots, m \quad (5)$$

**2.6.2 TOPSIS 排序** 初始化矩阵的建立采用公式 (6) 得到加权决策矩阵，根据公式 (7) 得到最优方

表 6 熵值法计算权重结果

Table 6 Weight result calculated by entropy method

评价指标	信息熵值 $e$	信息效用值 $d$	权重系数 $w/\%$
浸出物	0.908 2	0.091 8	13.15
出膏率	0.940 1	0.059 9	8.58
多糖	0.863 1	0.136 9	19.61
升麻素苷	0.953 8	0.046 2	6.61
升麻素	0.843 3	0.156 7	22.45
5- <i>O</i> -甲基维斯阿米醇苷	0.956 5	0.043 5	6.23
亥茅酚苷	0.836 9	0.163 1	23.36

案与最劣方案，经过公式 (8) 得到与正负理想解的距离，最终得到最优解的欧式贴进度  $C_i$  (9)，并以此进行排序，防风鲜饮片经过不同干燥方式处理后，通过熵权赋分，最终评价结果见表 7。70 °C 真空干燥、80 °C 鼓风干燥及 40 °C 鼓风干燥排在前三位，表明这 3 种防风鲜切饮片干燥方式优于其他方法。

$$y_{ij}=x_{ij}w_j \quad (6)$$

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

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

$$D_i^-=[\sum_{i=1}^j (y_{ij}-V^-)^2]^{1/2} \quad (8)$$

$$D_i^+=[\sum_{i=1}^j (y_{ij}-V^+)^2]^{1/2}$$

$$C_i=D_i^-/(D_i^-+D_i^+) \quad (9)$$

表 7 防风鲜切饮片不同干燥方式 TOPSIS 评价结果

Table 7 TOPSIS evaluation results of fresh cutting of different drying methods of decoction pieces prepared by SR

干燥条件	正理想解 距离 ( $D^+$ )	负理想解 距离 ( $D^-$ )	相对接近 度 ( $C_i$ )	排序 结果
40 °C 鼓风干燥	0.306	0.258	0.458	3
50 °C 鼓风干燥	0.346	0.106	0.235	12
60 °C 鼓风干燥	0.338	0.121	0.264	10
70 °C 鼓风干燥	0.297	0.150	0.336	5
80 °C 鼓风干燥	0.278	0.249	0.473	2
40 °C 真空干燥	0.284	0.163	0.365	4
50 °C 真空干燥	0.298	0.148	0.331	6
60 °C 真空干燥	0.325	0.116	0.263	11
70 °C 真空干燥	0.221	0.334	0.602	1
阴干	0.297	0.138	0.317	7
晒干	0.356	0.139	0.281	9
冷冻干燥	0.322	0.144	0.309	8
微波干燥	0.364	0.104	0.222	13

## 2.7 防风趁鲜切制饮片不同干燥方式的聚类分析

运用 SPSS AUV 21.0 系统对样本进行聚类分析，由于数据中包括定类数据，因而使用 K-prototype 聚类分析方法。最终聚类得到 3 类群体，占比分别为 15.38%、69.23%、15.38%。其中微波干燥、50 °C 真空干燥为聚类 1；冻干、晒干、阴干、60 °C 真空干燥、40~80 °C 鼓风干燥为聚类 2；40 °C、70 °C 真空干燥为聚类 3，聚类结果见图 4。

通过表 8 对聚类类别方差分析差异对比结果可知，升麻素苷、升麻素、5-*O*-甲基维斯阿米醇苷 3 个指标呈现出显著性，说明此 3 个指标对聚类分类的

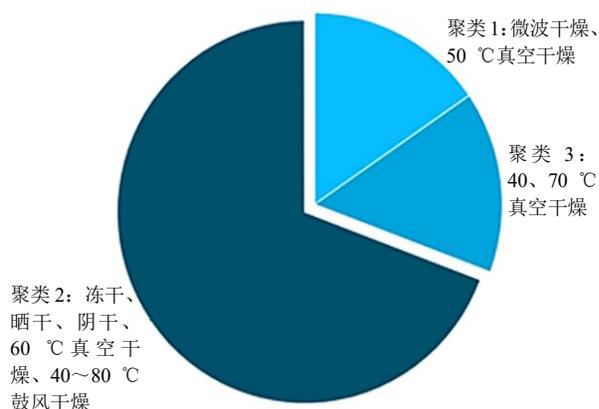


图4 防风不同干燥方式饮片的聚类类别

Fig. 4 Cluster classification of decoction pieces of different drying methods of SR

表8 聚类类别方差分析及差异对比结果

Table 8 Analysis of variance of cluster categories and comparison results of differences

评价指标	F 值	P 值
浸出物	1.788	0.217
出膏率	0.845	0.458
多糖	0.064	0.939
升麻素苷	7.980	0.008
升麻素	11.969	0.002
5-O-甲基维斯阿米醇苷	7.271	0.011
亥茅酚苷	1.873	0.204

贡献最大,不同干燥方式的差异化在这3种色原酮含量上有所体现,同时又说明此3类干燥方法彼此之间有差异,每个聚类内的干燥方式无差异。

### 3 讨论

实验研究发现,若新鲜防风不经干燥直接切制,所得饮片含水率过高,干燥时表面的非结合水迅速蒸发,易使饮片内部和外部产生较大的湿度梯度,在饮片内部造成较大压力,导致饮片显著收缩,使其破裂或弯曲,导致饮片成品翘片或裂片<sup>[13]</sup>。若将鲜防风干燥至含水率20%~30%时,则药材两端变硬不易切制,所得饮片成品断面呈黄白色,菊花心不明显。上述2种情况均易造成鲜切饮片外观性状差,不符合《中国药典》有关规定。经实验,以药材质地、切制连刀、翘片比例、碎片比例为指标进行综合考察,证明将新鲜防风干燥至含水率(40±3)%~(50±3)%时切制,即保证饮片可切,又保证得到合格成品。

根据实验结果,新鲜防风切制前大小分档十分必要,不同直径的防风烘干相同时间,测得的实时

含水率不同,小档药材含水率较低,大档药材含水率较高,这可能是由于不同直径的防风鲜药材由于内控干燥时长不同,导致含水率变化速率不同,根据实验得到的二项式曲线可以看出,实际生产时,运用即时药材重量可以快速推算出实时含水率,用以考察不同档位的药材是否达到了合适含水率,从而判断是否适合切制,可节约测量及生产成本。

本实验以升麻素苷、升麻素、5-O-甲基维斯阿米醇苷、亥茅酚苷、总多糖、醇浸出物、出膏率为指标考察防风鲜切饮片质量,更加科学全面。其中升麻素苷和5-O-甲基维斯阿米醇苷为《中国药典》2020年版规定的含量测定指标,升麻素是防风有效成分入血后在血浆中含量较高的化合物,亥茅酚苷作为防风主要的色原酮类化合物具有显著的抗炎、镇痛的疗效<sup>[14]</sup>;多糖对升麻素的药效有显著协同作用<sup>[15-16]</sup>,有利于提高防风饮片疗效;醇浸出物及饮片出膏率有利于考察防风饮片总物质含量。将7种指标结合熵权-TOPSIS法对防风不同干燥方式饮片的测量结果进行综合质量排序,即有利于对指标进行合理的权重配比,规避主观判断对权重分析的影响,又有利于对不同干燥方式进行科学的排序<sup>[17-18]</sup>,帮助企业生产时进行选择。

实验结果表明,随着干燥温度的升高,防风饮片样品中4种色原酮总含量呈上升趋势,其原因可能与防风次生代谢产物随温度变化有关。防风受热胁迫影响,其次生代谢产物色原酮的内部转化程度增强,致使色原酮总体含量呈上升趋势<sup>[19-20]</sup>,所以,70 °C真空干燥、80 °C鼓风干燥较好。40 °C鼓风干燥根据熵权-TOPSIS结果排名靠前,符合目前中药饮片生产实际情况,值得推广。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] 苗明三,孙玉信,王晓田. 中药大辞典 [M]. 太原:山西科学技术出版社,2017:361.
- [2] 中国药典 [S]. 一部. 2020:156.
- [3] 杨俊杰,张振凌. 中药材产地加工与中药饮片炮制一体化的探讨 [J]. 时珍国医国药,2005,16(9):817-818.
- [4] 刘勇,陈骏飞,徐娜,等. 趁鲜切制加工对三七药材干燥速率和质量的影响 [J]. 中国中药杂志,2019,44(7):1381-1391.
- [5] 辛二旦,司昕蕾,边甜甜,等. 大黄产地趁鲜切制工艺优选及与传统加工的比较研究 [J]. 时珍国医国药,2020,31(6):1368-1370.

- [6] 晏宇杭, 卢丽洁, 周永峰, 等. 川白芷产地趁鲜切制与传统切制方法对其质量的影响 [J]. 中草药, 2021, 52(14): 4176-4184.
- [7] 孟祥才, 孙晖, 王喜军. 防风药材规范化生产技术标准操作规程 (SOP) [J]. 现代中药研究与实践, 2009, 23(1): 3-6.
- [8] 杨雅雯, 刘勇, 刘雨, 等. 不同干燥方法对射干药材干燥特性、外观性状和有效成分的影响 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(2): 366-373.
- [9] 曹文正, 苏文龙, 李涵阳, 等. 防风饮片标准汤剂 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(14): 192-198.
- [10] 钟芬. 栽培与野生防风的质量对比研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2008.
- [11] 林永君, 白青飞. 基于组合权重与 TOPSIS 法的火力发电厂运行指标评价 [J]. 山东电力技术, 2021, 48(8): 61-65.
- [12] 田甜, 纪玉华, 王寿富, 等. 车前草浸出物测定方法的建立及熵权 TOPSIS 法评价车前草药材质量 [J]. 广东药科大学学报, 2021, 37(1): 16-22.
- [13] 潘永康, 王喜忠, 刘相东. 现代干燥技术 [M]. 第2版. 北京: 化学工业出版社, 2007: 10-12.
- [14] Oh S H, Kim S W, Kim D J, *et al.* Sec-O-glucosylhamaudol mitigates inflammatory processes and autophagy via p38/JNK MAPK signaling in a rat neuropathic pain model [J]. *Korean J Pain*, 2021, 34(4): 405-416.
- [15] 杨景明, 姜华, 孟祥才. 中药防风质量评价的现状与思考 [J]. 中药材, 2016, 39(7): 1678-1681.
- [16] 刘双利, 姜程曦, 赵岩, 等. 防风化学成分及其药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2017, 48(10): 2146-2152.
- [17] 孙晓永. 基于综合层次分析法和熵权法的山区高速铁路选线研究 [J]. 交通节能与环保, 2020, 16(3): 145-149, 158.
- [18] 于剑, 朱迪, 陈俣秀, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型的网络枢纽型航空公司竞争力评价 [J]. 生产力研究, 2021(9): 67-73.
- [19] Jiang H, Yang J M, Cao L, *et al.* Quality evaluation of heat stress treated *Radix Saposhnikoviae* using pharmacokinetic and pharmacologic methods [J]. *J Chin Pharm Sci*, 2018, 27(2): 109-115.
- [20] 郭家兴, 齐婧婉, 孟祥才, 等. 高温处理防风鲜根对其色原酮含量的影响 [J]. 时珍国医国药, 2019, 30(1): 95-96.

[责任编辑 郑礼胜]