

基于熵权 TOPSIS 模型结合多指标评价优选葛根趁鲜加工工艺

王涛¹, 丁笑颖¹, 李恒阳¹, 郭龙¹, 郑玉光^{1,2}, 张丹^{1*} (1. 河北中医药大学药学院, 河北省中药炮制技术创新中心, 石家庄 050200; 2. 河北化工医药职业技术学院, 石家庄 050026)

摘要: 目的 采用熵权 TOPSIS 法结合多指标, 评价不同趁鲜加工方法对葛根药材质量的影响。方法 通过优化切制规格(2, 3, 4 mm 的厚片, 0.5, 1, 1.5 cm 的丁片)、干燥方法(45, 65, 85 °C 烘干, 冷冻干燥)等参数对葛根药材进行趁鲜加工, 得到葛根饮片。以 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6'-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元和醇溶性浸出物的含量, 以及水分和灰分限量为考察指标, 通过熵权 TOPSIS 法对所得指标成分数据进行分析, 优选出葛根药材最佳趁鲜加工工艺。结果 不同趁鲜加工方法对葛根药材指标性成分含量具有一定影响, 最佳切制规格为边长为 0.5 cm 的丁片, 最佳干燥方式是冷冻干燥。结论 熵权 TOPSIS 法可用于评价不同趁鲜加工方法对葛根药材质量的影响, 且所得最佳趁鲜加工工艺具有较好的稳定性与重复性, 可为规范葛根药材趁鲜加工工艺提供指导。

关键词: 葛根; 熵权 TOPSIS 模型; 趁鲜加工; 质量评价

中图分类号: R284.1 文献标志码: B 文章编号: 1007-7693(2024)01-0009-09

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.20222427

引用本文: 王涛, 丁笑颖, 李恒阳, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型结合多指标评价优选葛根趁鲜加工工艺[J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(1): 9-17.

Optimization the Fresh Processing Method of Puerarial Lobatae Radix Based on Entropy Weight TOPSIS Model and Multi-index Evaluation

WANG Tao¹, DING Xiaoying¹, LI Hengyang¹, GUO Long¹, ZHENG Yuguang^{1,2}, ZHANG Dan^{1*} (1. College of Pharmacy, Traditional Chinese Medicine Processing Technology Innovation Center of Hebei Province, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China; 2. Hebei Chemical and Pharmaceutical College, Shijiazhuang 050026, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To evaluate the effects of different fresh processing methods on the quality of Puerarial Lobatae Radix using entropy weight TOPSIS model and multi-index. **METHODS** By optimizing the specifications of fresh cut(thick slices of 2, 3, 4 mm thick, the side length of 0.5, 1, 1.5 cm), drying method(drying at 45, 65, 85 °C, freeze drying) and other parameters, Puerarial Lobatae Radix medicinal materials were processed at the origin, and Puerarial Lobatae Radix decoction pieces were obtained. Using the content of 3'-hydroxy puerarin, puerarin, puerarin apioside, 3'-methoxy puerarin, puerarin-6"-O-xyloside, daidzin, genistin, daidzein, ethanol soluble extractives, as well as moisture and ash content limits as evaluation indicators, through the entropy and TOPSIS method to analyze the index component data and optimizing the Puerarial Lobatae Radix best when fresh herbs processing technology. **RESULTS** Different fresh processing methods had a certain influence on the content of the index components of Puerarial Lobatae Radix, and the best cutting specification was 0.5 cm thick, and the best drying method was freeze drying. **CONCLUSION** The entropy weight TOPSIS method can be used to evaluate the effects of different processing methods on the quality of Puerarial Lobatae Radix, and the best processing technology obtained has good stability and repeatability, which can provide guidance for the standardization of processing technology of Puerarial Lobatae Radix.

KEYWORDS: Puerarial Lobatae Radix; entropy weight TOPSIS model; fresh processing; quality evaluation

葛根为豆科植物野葛 *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi 的干燥根, 具有解肌退热, 生津止渴, 透疹, 升阳止泻, 通经活络, 解酒毒等功效^[1]。现代研究表明, 葛根具有心肌保护^[2]、抗糖尿病^[3]、抗肿瘤^[4]、神经保护^[5]、抗炎^[6]、促进成骨细胞生成^[7]和解酒保肝^[8]等药理作用。葛根为中国药典 2020 年版规定的 69 种可以趁鲜加工的品种之一,

其加工方式是: 秋、冬二季采挖, 趁鲜切成厚片或小块, 干燥。此加工方式由于缺乏相应的量化指标, 对于生产的指导性不强。目前, 针对葛根趁鲜加工工艺的研究较少, 葛根趁鲜加工尚不规范, 进而影响其质量^[9]。因此, 建立一套科学合理的葛根趁鲜加工工艺对提高葛根饮片质量具有一定意义。

基金项目: 河北省自然科学基金面上项目(H2021423017); 中央本级重大增减支项目(2060302); 河北省中医药管理局科研计划项目(2022101)

作者简介: 王涛, 女, 硕士生 E-mail: wangtaojywb@163.com *通信作者: 张丹, 男, 博士, 教授 E-mail: zhangdanid@163.com

TOPSIS 法^[10]是一种发展迅速的多目标决策算法,其基本原理是通过计算理想解与负理想解之间的距离来对方法进行排序,作为评价解决方案优劣的标准,它被广泛地应用于农业和经济领域^[11]。TOPSIS 法多目标决策思路与中药多指标质量综合评价思路相符合,其能充分利用原始数据的信息,其结果能精确地反映各评价方案之间的差距。现代药学研究表明异黄酮类是葛根的主要活性成分,已经分离到的葛根异黄酮化合物,包括葛根素、大豆苷元、大豆苷、3'-羟基葛根素、染料木苷等,具有多种药理作用^[12]。故本研究通过测定 3'-羟基葛根素、葛根素芹菜糖苷、葛根素、3'-甲氧基葛根素、染料木苷、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、大豆苷元、醇溶性浸出物、水分和灰分含量,采用熵权 TOPSIS 法对葛根药材趁鲜加工方式进行评价,为葛根药材趁鲜加工方法提供科学指导。

1 材料

1.1 仪器

Waters ACQUITY H-Class 超高效液相色谱仪[Waters 科技(美国)有限公司];BSA224S-CW 十万分之一电子分析天平[梅特勒-托利多(上海)有限公司];HH-2 数显恒温水浴锅(金坛市荣华仪器制造有限公司);KQ-300VDE 双频数控超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);Milli-Q Advantage A10 超纯水系统[默克化工技术(上海)有限公司];DHG-9070A 电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);TF-FD-1 冷冻干燥机(上海田枫实业有限公司);Eppendorf Centrifuge 5418 离心机(艾本德中国有限公司);FO411C 马弗炉(日本雅马拓 R&D 中心)。

1.2 试药

对照品葛根素芹菜糖苷(批号:Z1705242)、3'-甲氧基葛根素(批号:Z1705240)均购自成都草原康生物科技有限公司,纯度均>98.0%;3'-羟基葛根素(批号:PRF71230-01)、葛根素(批号:PRF7090641)、大豆苷元(批号:PRF7090941)、葛根素-6"-O-木糖苷(批号:Z1705241)、大豆苷(批号:PRF8011902)、染料木苷(批号:PRF7082441)均购自成都普瑞法科技开发有限公司,纯度均>98.0%;水为自制超纯水;甲醇、乙腈为色谱纯(Fisher Scientific Co. Ltd.)。

1.3 药材

新鲜葛根药材采自贵州省六盘水市,经河北中医药大学张丹教授鉴定为豆科植物野葛 *P. lobata* (Willd.) Ohwi 的干燥根。本实验选择同一批次中相同粗细的葛根,将葛根药材按不同趁鲜加工方式处理、干燥、粉碎后过 4 号筛,置于干燥器中备用,样品信息见表 1。

2 方法与结果

2.1 不同切制规格最佳烘干温度的筛选

按不同切制规格及不同烘干温度将同一批葛根药材分为 18 组,样品信息见表 1。

2.2 UPLC 测定葛根中 8 个异黄酮的含量

2.2.1 色谱条件 色谱柱:Waters ACQUITY UPLC HSS T3(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm);检测波长 254 nm;柱温 25 ℃;进样体积 0.2 μL;流速 0.3 mL·min⁻¹;流动相为乙腈(A)-0.1% 甲酸水溶液(B),梯度洗脱(0~3 min, 9%A; 3~17 min, 9%→40%A)。样品及对照品色谱图见图 1。

2.2.2 对照品溶液的制备 精密称取 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元对照品适量,加甲醇超声使其完全溶解,制成对照品混合溶液。取适量加一定量甲醇制成浓度分别为 0.205, 1.125, 0.225, 0.350, 0.125, 0.315, 0.050, 0.035 mg·mL⁻¹ 的混合对照品溶液。

2.2.3 供试品溶液的制备 精密称取各样品粉末约 0.02 g,按照前期研究^[13]的提取方法制备供试品溶液,即加 60% 甲醇 3 mL, 40 ℃ 超声 20 min,放冷后用 60% 甲醇溶液补足失重,15668 ×g 离心 10 min,取续滤液,即得供试品溶液。

2.2.4 线性关系考察 分别吸取适量混合对照品溶液,用甲醇稀释成一系列浓度梯度,按“2.2.1”项下的色谱条件进样检测分析,记录各组分峰面积值。将所得峰面积(Y)与各对照品质量浓度(X)进行线性回归。结果显示各组分线性关系良好,见表 2。

2.2.5 仪器精密度试验 取对照品溶液,按“2.2.1”项下的色谱条件连续进样 6 次,每次进样量为 0.2 μL,记录各组分的峰面积,并计算峰面积的 RSD(n=6)。结果显示 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元的 RSD 分别为 1.45%, 1.2%, 1.36%, 1.28%, 1.26%,

表 1 样品信息
Tab. 1 Information of samples

编号	处理方式	切制规格	切片大小	干燥方式
G1	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	2 mm	45 ℃烘干
G2	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	2 mm	65 ℃烘干
G3	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	2 mm	85 ℃烘干
G4	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	3 mm	45 ℃烘干
G5	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	3 mm	65 ℃烘干
G6	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	3 mm	85 ℃烘干
G7	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	4 mm	45 ℃烘干
G8	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	4 mm	65 ℃烘干
G9	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	4 mm	85 ℃烘干
G10	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm	45 ℃烘干
G11	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm	65 ℃烘干
G12	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm	85 ℃烘干
G13	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1 cm×1 cm×1 cm	45 ℃烘干
G14	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1 cm×1 cm×1 cm	65 ℃烘干
G15	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1 cm×1 cm×1 cm	85 ℃烘干
G16	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm	45 ℃烘干
G17	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm	65 ℃烘干
G18	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm	85 ℃烘干

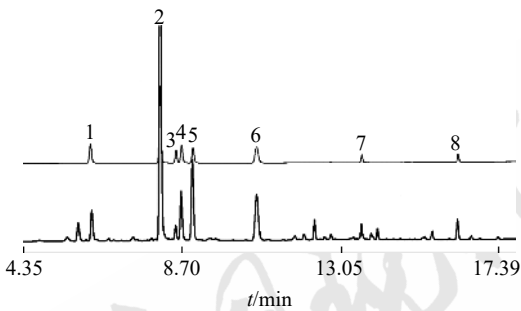


图 1 葛根药材 UPLC 图
A-混合对照品溶液；B-样品；1-3'-羟基葛根素；2-葛根素；3-葛根素芹菜糖苷；4-3'-甲氧基葛根素；5-葛根素-6"-O-木糖苷；6-大豆苷；7-染料木苷；8-大豆苷元。
Fig. 1 UPLC of Pueraral Lobatae Radix
A-reference substance; B-sample; 1-3'-hydroxy puerarin; 2-puerarin; 3-puerarin apioside; 4-3'-methoxy puerarin; 5-puerarin 6"-O-xyloside; 6-daidsin; 7-genistin; 8-daidsin.

2.38%，1.93%，1.71%，表明仪器精密度良好。

2.2.6 重复性试验 精密称取同一批葛根药材粉

末，平行配置 6 份供试品溶液，并按“2.2.1”项下的色谱条件进行测定，记录各组分的峰面积，计算 RSD，结果显示 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元的 RSD 均< 3.0%，表明该方法重复性良好。

2.2.7 稳定性试验 精密称取供试品溶液，分别于 0，2，4，6，8，12，24 h 按“2.2.1”项下的色谱条件进行测定，记录峰面积，计算 RSD 值。结果显示 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元的 RSD 均<3.0%，表明葛根供试品溶液在 24 h 内稳定。

2.2.8 加样回收率试验 精密称定已知含量的同一批葛根药材粉末 6 份，每份约 0.01 g，精密称定，分别精密加入混合对照品溶液适量，按

表 2 8 个成分回归方程及线性范围
Tab. 2 Regression equations and linear ranges of 8 compounds

编号	成分	回归方程	R ²	线性范围/mg·L ⁻¹
1	3'-羟基葛根素	Y=1 965 560.99X-28 963.04	0.999 3	17.81~285.00
2	葛根素	Y=2 223 675.13X-96 000.08	0.999 2	52.19~835.00
3	葛根素芹菜糖苷	Y=1 389 002.35X-15 966.25	0.999 2	13.75~220.00
4	3'-甲氧基葛根素	Y=1 863 521.07X-26 295.29	0.999 2	16.88~270.00
5	葛根素-6"-O-木糖苷	Y=2 399 091.16X-22 674.21	0.999 2	11.25~180.00
6	大豆苷	Y=2 272 800.07X-37 572.46	0.999 2	19.69~315.00
7	染料木苷	Y=5 439 068.82X-8 757.37	0.999 0	1.88~30.00
8	大豆苷元	Y=6 054 840.86X-9 458.13	0.999 2	1.88~30.00

“2.2.3”项下方法制备供试品溶液，按“2.2.1”项下色谱条件进行测定，计算各成分加样回收率及RSD值，结果各成分3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元的平均回收率依次为100.4%，100.8%，100.3%，100.4%，101.2%，100.8%，100.4%，101.5%，RSD均<3.0%。

2.3 最佳烘干温度筛选结果

将不同切制规格及不同烘干温度的葛根药材，利用UPLC测定葛根中8个异黄酮的含量，

以不同处理方式葛根中8个异黄酮的总含量为指标，筛选出不同切制规格的最佳烘干温度。由结果可知，不同切制规格(2, 3, 4 mm厚的厚片, 0.5, 1, 1.5 cm的丁片)的最佳烘干温度分别为85, 65, 65, 65, 65, 45 ℃，结果见表3。

2.4 最佳趁鲜加工方式的筛选

在“2.3”项下确定的最佳烘干温度下，进行不同干燥方式的比较，将同一批葛根药材分为13组，其中第13组为中国药典2020年版^[1]中规定的葛根加工方式，加工方式见表4，不同炮制方

表3 不同处理方式葛根异黄酮含量

Tab. 3 Isoflavone content of Puerarial Lobatae Radix under different treatment									mg·g ⁻¹
编号	3'-羟基葛根素	葛根素	葛根素芹菜糖苷	3'-甲氧基葛根素	葛根素-6"-O-木糖苷	大豆苷	染料木苷	大豆苷元	总含量
G1	0.083 2	0.464 6	0.038 9	0.130 5	0.142 3	0.018 1	0.003 4	0.005 6	0.886 5
G2	0.073 1	0.516 2	0.037 0	0.144 2	0.123 9	0.018 1	0.004 2	0.004 9	0.921 6
G3	0.080 3	0.598 5	0.037 8	0.126 1	0.130 7	0.018 6	0.002 5	0.007 3	1.001 9
G4	0.077 8	0.484 7	0.038 9	0.120 6	0.138 9	0.018 3	0.002 4	0.005 7	0.887 2
G5	0.089 3	0.517 2	0.036 1	0.146 0	0.126 3	0.018 2	0.005 5	0.005 3	0.943 8
G6	0.085 9	0.529 2	0.038 0	0.127 0	0.134 4	0.018 5	0.001 8	0.006 7	0.941 5
G7	0.072 2	0.434 7	0.036 2	0.109 6	0.129 2	0.018 2	0.001 8	0.006 2	0.808 3
G8	0.083 0	0.448 5	0.036 0	0.119 0	0.127 5	0.018 1	0.002 4	0.006 6	0.841 2
G9	0.077 9	0.388 0	0.033 3	0.110 5	0.121 7	0.018 1	0.002 5	0.007 3	0.759 3
G10	0.121 4	0.894 6	0.076 3	0.109 0	0.129 6	0.017 9	0.002 7	0.013 0	1.364 4
G11	0.134 4	0.912 6	0.076 2	0.112 5	0.131 8	0.017 9	0.004 7	0.012 8	1.402 9
G12	0.089 8	0.700 8	0.048 4	0.094 5	0.094 6	0.017 7	0.003 2	0.012 6	1.061 6
G13	0.128 1	0.725 7	0.049 0	0.089 3	0.095 4	0.017 8	0.004 5	0.011 7	1.121 5
G14	0.165 0	1.098 5	0.061 0	0.114 6	0.121 7	0.016 7	0.006 0	0.016 4	1.600 1
G15	0.074 8	1.020 3	0.056 2	0.102 5	0.114 9	0.016 7	0.004 8	0.011 0	1.401 2
G16	0.104 9	0.669 3	0.037 4	0.078 1	0.075 5	0.017 7	0.004 2	0.011 2	0.998 3
G17	0.046 1	0.555 6	0.030 7	0.066 4	0.064 8	0.017 6	0.003 6	0.007 5	0.792 4
G18	0.073 5	0.614 9	0.037 2	0.066 9	0.072 2	0.016 5	0.003 1	0.010 8	0.895 2

表4 葛根药材趁鲜加工方式

Tab. 4 Fresh processing methods of Puerarial Lobatae Radix

编号	处理方式	切制规格	切片大小	干燥方式
S1	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	2 mm	85 ℃烘干
S2	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	2 mm	冷冻干燥
S3	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	3 mm	65 ℃烘干
S4	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	3 mm	冷冻干燥
S5	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	4 mm	65 ℃烘干
S6	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	厚片	4 mm	冷冻干燥
S7	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm	65 ℃烘干
S8	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm	冷冻干燥
S9	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1 cm×1 cm×1 cm	65 ℃烘干
S10	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1 cm×1 cm×1 cm	冷冻干燥
S11	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm	45 ℃烘干
S12	新鲜葛根去除泥土抢水洗净	丁片	1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm	冷冻干燥
S13	新鲜葛根除去杂质，洗净，润透	厚片	—	晒干

法的饮片图见图 2~4。

2.5 浸出物含量测定

依据中国药典 2020 年版第四部醇溶性浸出物测定法(通则 2201)项下热浸法测定^[14], 结果见表 5。



图 2 不同炮制方法的葛根饮片(厚片)图
A-85 °C 烘干 2 mm 的厚片; B-65 °C 烘干 3 mm 的厚片; C-65 °C 烘干 4 mm 的厚片; D-晒干的厚片。

Fig. 2 Puerarial Lobatae Radix with different processing methods(thick slices)

A-dry 2 mm thick slices at 85 °C; B-dry 3 mm thick slices at 65 °C; C-dry 4 mm thick slices at 65 °C; D-sun-dried thick slices.



图 3 不同炮制方法的葛根饮片(丁片)图
A-65 °C 烘干边长 0.5 cm 的丁片; B-65 °C 烘干边长 1 cm 的丁片; C-45 °C 烘干边长 1.5 cm 的丁片。

Fig. 3 Puerarial Lobatae Radix with different processing methods(diced slices)

A-dry 0.5 cm diced slices at 65 °C; B-dry 1 cm diced slices at 65 °C; C-dry 1.5 cm diced slices at 45 °C.



图 4 不同炮制方法(冷冻干燥)的葛根饮片图

A-冷冻干燥边长 0.5 cm 的丁片; B-冷冻干燥边长 1 cm 的丁片; C-冷冻干燥边长 1.5 cm 的丁片; D-冷冻干燥 2 mm 的厚片; E-冷冻干燥 3 mm 的厚片; F-冷冻干燥 4 mm 的厚片。

Fig. 4 Puerarial Lobatae Radix with different processing methods(freeze drying)

A-freeze drying 0.5 cm diced slices; B-freeze drying 1 cm diced slices; C-freeze drying 1.5 cm diced slices; D-freeze drying 2 mm thick slices; E-freeze drying 3 mm thick slices; F-freeze drying 4 mm thick slices.

2.6 水分含量测定

依据中国药典 2020 年版第四部水分测定法(通则 0832)项下第二法测定^[14], 结果见表 5。

2.7 总灰分含量测定

依据中国药典 2020 年版第四部灰分测定法(通则 2302)项下总灰分测定法测定^[14], 结果见表 5。

2.8 熵权 TOPSIS 法分析

TOPSIS 数学模型^[10] 主要包括建立初始化决策矩阵、归一化决策矩阵、计算评价指标的熵权、加权决策矩阵的构建、确定加权决策矩阵的最优向量和最劣向量、计算各评价指标与正负理想解之间的距离, 最后根据各评价指标与最优解的欧氏贴进度得到优劣的评价结果。在本实验中, 越大越优和越小越优型指标分别按公式 (1)(2) 进行归一化处理。

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

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

2.8.1 计算评价指标熵权 采用公式 (3)(4) 定义熵 E_j , 公式 (5) 计算得到指标熵权 ω_j 。

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

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

ω_j = (1 - E_j) / ∑_{i=1}^n (1 - E_j) (5)

2.8.2 构建加权决策矩阵 采用公式 (6) 计算加权决策矩阵。

R_ij = X'_{ij}ω_j (6)

2.8.3 确定最优与最劣方案 根据加权决策矩阵, 得到最优方案 V^+ = max(R_{1j}, R_{2j}, ..., R_{nj}) 和最劣方案 V^- = min(R_{1j}, R_{2j}, ..., R_{nj})。

2.8.4 计算贴近度及质量评价 根据最优和最劣方案, 计算不同加工工艺的葛根样品与正理想解距离 (D_i^+) 和负理想解的距离 (D_i^-); 最优解的欧氏贴近度 (C_i) 根据公式 (9) 计算。

D_i^+ = √ ∑_{i=1}^j (R_ij - V^+)^2 (7)

D_i^- = √ ∑_{i=1}^j (R_ij - V^-)^2 (8)

C_i = D_i^- / (D_i^- + D_i^+) (9)

2.8.5 建立评价葛根药材质量的熵权 TOPSIS 模型

2.8.5.1 初始化决策矩阵的建立 测定不同加工工艺处理后的葛根样品中 3'-羟基葛根素、葛根素、葛根素芹菜糖苷、3'-甲氧基葛根素、葛根素-6"-O-木糖苷、大豆苷、染料木苷、大豆苷元、醇溶性浸出物、水分和灰分的含量, 各工艺所得饮片

各指标成分的含量均符合中国药典 2020 年版^[1] 要求。建立评价葛根药材质量熵权 TOPSIS 模型的初始化决策矩阵, 结果见表 5。

2.8.5.2 归一化决策矩阵的建立 葛根不同加工工艺处理结果的归一化矩阵见表 6。

2.8.5.3 加权决策矩阵的构建 评价指标的熵权依据公式 (4) 分别计算, 归一化后的数据与各指标的 j 相乘, 从而得到加权决策矩阵, 结果见表 7。

2.8.5.4 计算及评价欧式贴近度 加权决策矩阵的最优向量根据公式确定后, 计算各评价指标与正 (D_i^+) 负 (D_i^-) 理想解的距离及最优欧式贴近度 (C_i), 从而最终确定不同加工工艺葛根药材质量的综合排序, 结果见表 8。

按 C_i 的大小对不同加工工艺进行排序, C_i 值越大, 代表综合质量越好。根据分析结果可知, 葛根药材经不同趁鲜加工工艺处理后, 其指标性成分含量存在一定差异。其中将葛根趁鲜切成 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的丁片, 冷冻干燥排名第 1; 切成 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的丁片, 65 ℃ 烘干排名第 2; 切成 1 cm×1 cm×1 cm 的丁片, 冷冻干燥排名第 3; 切成丁片的排名大部分均在前 6 名; 而将葛根趁鲜切成不同规格的厚片, 其排名均靠后, 且中国药典中记载的葛根现有加工工艺排名最后, 表明切制规格及干燥方式对葛根的质量影响较大, 且传统的趁鲜切制方法有效分成含量更高。该实验结果表明, 在一定程度上, 不同趁鲜加工工艺以最优解的欧式贴近度为指标进行综合评价, 对葛根药材的质量影响结果与传统认知具有一致性。

表 5 评价葛根药材质量 TOPSIS 模型初始化决策矩阵

Tab. 5 TOPSIS model initialization decision matrix was used to evaluate the quality of Puerarial Lobatae Radix

编号	3'-羟基葛根/ mg·g ⁻¹	葛根/ mg·g ⁻¹	葛根素芹菜 糖苷/mg·g ⁻¹	3'-甲氧基葛根/ mg·g ⁻¹	葛根素-6"- O-木糖苷/ mg·g ⁻¹	大豆苷/ mg·g ⁻¹	染料木苷/ mg·g ⁻¹	大豆苷元/ mg·g ⁻¹	醇溶性浸出 物/%	水分/%	灰分/%
S1	0.080	0.599	0.038	0.126	0.131	0.019	0.003	0.007	26.704	3.780	5.620
S2	0.042	0.470	0.035	0.061	0.057	0.048	0.005	0.003	26.528	5.222	4.256
S3	0.089	0.517	0.036	0.146	0.126	0.018	0.006	0.005	26.957	4.377	6.525
S4	0.084	0.544	0.065	0.103	0.088	0.060	0.005	0.006	26.446	6.455	5.367
S5	0.083	0.449	0.036	0.119	0.128	0.018	0.002	0.007	24.759	3.314	6.495
S6	0.040	0.333	0.053	0.039	0.058	0.047	0.004	0.002	29.815	5.601	5.840
S7	0.134	0.913	0.076	0.113	0.132	0.018	0.005	0.013	27.750	2.679	4.661
S8	0.072	0.440	0.054	0.095	0.094	0.140	0.006	0.008	33.232	9.266	4.857
S9	0.165	1.099	0.061	0.115	0.122	0.017	0.006	0.016	28.644	3.825	5.963
S10	0.070	0.387	0.046	0.080	0.079	0.118	0.004	0.009	26.839	6.793	5.329
S11	0.105	0.669	0.037	0.078	0.076	0.018	0.004	0.011	27.065	4.973	6.993
S12	0.078	0.369	0.042	0.086	0.072	0.086	0.005	0.014	26.152	7.642	6.121
S13	0.046	0.376	0.026	0.044	0.042	0.041	0.008	0.017	28.669	3.333	6.996

表 6 葛根不同加工工艺处理结果归一化矩阵

Tab. 6 Matrix of Puerarial Lobatae Radix treated by different processing methods was normalized

编号	3'-羟基葛根素	葛根素	葛根素芹菜糖苷	3'-甲氧基葛根素	葛根素-6"-O-木糖苷	大豆苷	染料木苷	大豆苷元	醇溶性浸出物/%	水分/%	灰分/%
S1	0.320	0.347	0.073	0.813	0.987	0.016	0.250	0.357	0.230	0.833	0.502
S2	0.016	0.179	0.000	0.206	0.000	0.252	0.750	0.071	0.209	0.614	1.000
S3	0.392	0.240	0.024	1.000	0.920	0.008	1.000	0.214	0.259	0.742	0.171
S4	0.352	0.275	0.732	0.598	0.413	0.350	0.750	0.286	0.199	0.427	0.594
S5	0.344	0.151	0.024	0.748	0.947	0.008	0.000	0.357	0.000	0.904	0.182
S6	0.000	0.000	0.439	0.000	0.013	0.244	0.500	0.000	0.597	0.556	0.421
S7	0.752	0.757	1.000	0.692	1.000	0.008	0.750	0.786	0.353	1.000	0.852
S8	0.256	0.140	0.463	0.523	0.493	1.000	1.000	0.429	1.000	0.000	0.780
S9	1.000	1.000	0.634	0.710	0.867	0.000	1.000	1.000	0.459	0.826	0.376
S10	0.240	0.070	0.268	0.383	0.293	0.821	0.500	0.500	0.245	0.375	0.608
S11	0.520	0.439	0.049	0.364	0.253	0.008	0.500	0.643	0.272	0.652	0.000
S12	0.304	0.047	0.171	0.439	0.200	0.561	0.750	0.857	0.164	0.247	0.319
S13	0.202	0.283	0.000	0.092	0.000	0.000	1.000	1.000	0.378	0.901	0.000

表 7 葛根各指标加权决策矩阵结果

Tab. 7 Results of weighted decision matrix for each index of Puerarial Lobatae Radix

编号	3'-羟基葛根素	葛根素	葛根素芹菜糖苷	3'-甲氧基葛根素	葛根素-6"-O-木糖苷	大豆苷	染料木苷	大豆苷元	醇溶性浸出物/%	水分/%	灰分/%
S1	0.026	0.042	0.011	0.038	0.088	0.004	0.011	0.026	0.017	0.037	0.031
S2	0.001	0.021	0.000	0.010	0.000	0.055	0.032	0.005	0.016	0.027	0.061
S3	0.032	0.029	0.004	0.047	0.082	0.002	0.043	0.015	0.019	0.033	0.010
S4	0.029	0.033	0.108	0.028	0.037	0.077	0.032	0.021	0.015	0.019	0.036
S5	0.028	0.018	0.004	0.035	0.084	0.002	0.000	0.026	0.000	0.040	0.011
S6	0.000	0.000	0.065	0.000	0.001	0.054	0.021	0.000	0.045	0.024	0.026
S7	0.062	0.091	0.148	0.032	0.089	0.002	0.032	0.057	0.026	0.044	0.052
S8	0.021	0.017	0.068	0.024	0.044	0.220	0.043	0.031	0.075	0.000	0.048
S9	0.082	0.120	0.094	0.033	0.077	0.000	0.043	0.072	0.034	0.036	0.023
S10	0.020	0.008	0.040	0.018	0.026	0.181	0.021	0.036	0.018	0.016	0.037
S11	0.043	0.053	0.007	0.017	0.023	0.002	0.021	0.046	0.020	0.029	0.000
S12	0.025	0.006	0.025	0.021	0.018	0.123	0.032	0.062	0.012	0.011	0.019
S13	0.027	0.044	0.000	0.012	0.000	0.000	0.145	0.131	0.056	0.068	0.000

表 8 葛根药材质量评价排序

Tab. 8 Quality evaluation and sequencing of Puerarial Lobatae Radix

编号	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
S1	0.287	0.123	0.300	7
S2	0.288	0.097	0.252	11
S3	0.297	0.120	0.288	8
S4	0.208	0.158	0.432	5
S5	0.306	0.109	0.263	10
S6	0.272	0.104	0.277	9
S7	0.228	0.229	0.501	2
S8	0.164	0.259	0.612	1
S9	0.234	0.217	0.481	4
S10	0.201	0.199	0.498	3
S11	0.295	0.096	0.246	12
S12	0.231	0.151	0.395	6
S13	0.358	0.057	0.136	13

3 讨论

中药不仅是中国宝贵的医学遗产，更是防病治病的重要物质基础，其质量的好坏直接关系到疾病治疗效果，以及人民的身体健康和生命安全。中药材生产的一个重要环节就是产地加工，其是影响中药质量的重要因素之一。中药材产地加工的质量标准和操作规范的健全，对于中药现代化的研究具有十分重要的意义^[15]。自古以来，就有中药材在产地趁鲜加工的习惯，如山药、苦参、山楂等都是在产地直接将其趁鲜加工成饮片^[16]。在中国最早的中药炮制专著《雷公炮炙论》中，就有对药材趁鲜加工的记载，有 26 种中药在当时已经采用趁鲜加工方式^[17-18]。在趁鲜加工具有一定的优势和具备工业化条件的同时，国家

在政策层面上也给予一定的支持,鼓励中药开展趁鲜加工^[17,19]。近年来,多省市出台有关中药材趁鲜加工的政策和指导意见,如安徽、云南、山东、湖北和陕西等省区均出台了趁鲜切制加工工作的指导意见,并遴选品种开展试点。在《国家药监局综合司关于中药饮片生产企业采购产地加工(趁鲜切制)中药材有关问题的复函》中,指出了产地加工属于中药材的来源范畴,趁鲜切制是产地加工的方式之一,是按照传统加工方法将采收的新鲜中药材切制成片、块、段、瓣等,虽改变了中药材形态,但未改变中药材性质,且减少了中药材经干燥、浸润、切制、再干燥的加工环节,一定程度上有利于保障中药材的质量。

中药材产地趁鲜加工具有很多优势,如能在产地采收后就将药材趁鲜切制,对于降低再加工难度、便于仓储运输、减少重复环节、降低成本和工业化生产程度等都具有十分重要的意义^[16]。趁鲜加工不仅有利于有效成分的保留,而且可以避免有效成分的水解和酶解^[15],因此饮片质量会更接近原药材的质量,是对传统加工工艺的提升^[20-21]。由于趁鲜切制的加工工艺,使得传统饮片加工的模式由“鲜药材-干药材-饮片”向“鲜药材-饮片”转变,不仅实现了趁鲜加工与炮制一体化的融合,而且大幅提高了生产效能,实现了鲜药材到饮片的一步成型,因此近年来相关学者和企业高度关注药材的产地趁鲜加工与炮制一体化^[22-23]。

野葛的根较难干燥,是由于其粗大且水分含量高,如果采收后不及时加工处理,很容易霉烂变质,从而严重影响葛根药材质量、临床疗效以及经济效益^[19];再者如果干燥之后再切制,不仅需要将干品软化,还势必会造成药效成分的损失。因此,在中国药典 2020 年版^[1]中规定葛根的加工方法为除去杂质,洗净,润透,切厚片,晒干,但因其中缺少相应的量化指标,无法对葛根药材的趁鲜加工形成规范的指导。研究表明,葛根鲜切片较干切法中葛根素含量高^[24],且影响葛根药材质量的主要因素是趁鲜切制规格及干燥方式^[21],因此,本实验以不同切制规则和干燥方式作为因素,对葛根药材进行趁鲜加工。本实验结果表明,最佳趁鲜加工工艺为将葛根切成边长为 0.5 cm 的丁片,冷冻干燥。《中药材商品规格等级标准汇编》^[25]中,将葛根的规格等级划分为

葛根丁和葛根片 2 种。市场上的葛根饮片以丁为主,通过本实验表明丁的质量优于厚片,可见应继续继承和推广丁的加工方式。

中药材产地干燥加工既是一种方便药材运输和储藏的手段,又是一种赋予药材以特殊品质及药性的过程。干燥方法的形成和选择,主要是基于临近产地、技术要求低、操作简单和投入较少等原则,优选出既能使中药材在源头就保证其质量,又能达到最大的经济效益的干燥方法^[26-27]。考虑到经济成本,建议在趁鲜加工过程中不使用冷冻干燥^[23]。相比于传统的晒干和阴干这 2 种干燥方式,由于受环境和天气的影响,干燥周期长而且有效成分损失严重,烘干法则操作简便,环境及温度都比较稳定,因此更有利于生产效率的提高^[28]。鼓风式可控温度干燥箱,保障饮片的低温快速干燥,减少饮片干燥过程中其活性成分的损失,避免其发霉的风险^[29]。因此,在产业化生产时,建议采用鼓风式可控温度干燥箱,来进行饮片的干燥加工。

中药成分非常复杂,整体的疗效不能因为检测其中任何一种活性成分而被代表,发展受到制约也是因为原始单一的质量评价方法^[30]。当前,发展的新趋势和中药现代化的发展进程中的必然要求是多成分和多指标控制中药材的质量^[21]。中国药典 2020 年版^[1]以葛根素为指标性成分对葛根进行质量评价,对葛根药材以及饮片的质量控制有一定的指导意义,但葛根中还含有 3'-羟基葛根素、染料木苷、大豆苷、大豆苷元等多种活性异黄酮类成分,具有抗肿瘤、降糖、降脂、抗氧化及解酒保肝的作用^[12]。TOPSIS 法是在系统工程中有限方案里多目标决策分析常用的方法,该方法被广泛应用,就是因其对样本资料无特殊要求,而且使用灵活简便^[31]。因此,在中国药典^[1]规定的指标性成分基础上,本研究将 3'-羟基葛根素、大豆苷、葛根素芹菜糖苷、葛根素-6"-O-木糖苷、染料木苷、3'-甲氧基葛根素和大豆苷元纳入考察指标,采用 TOPSIS 法结合熵权法,利用数学模型对葛根质量进行综合评价,优化葛根药材产地加工工艺,并计划后期进行中试验证,为葛根药材产地加工工艺提供指导,为葛根产地加工的炮制一体化提供可行性依据,推动中药材产地加工的规范发展。

REFERENCES

- [1] 中国药典. 一部[S]. 2020: 347.

- [2] LIN Y H, NI X B, ZHANG J W, et al. Effect of puerarin on action potential and sodium channel activation in human hypertrophic cardiomyocytes[J]. *Biosci Rep*, 2020, 40(2): BSR20193369.
- [3] SUN R, DENG X X, ZHANG D D, et al. Anti-diabetic potential of *Pueraria lobata* root extract through promoting insulin signaling by PTP1B inhibition[J]. *Bioorg Chem*, 2019(87): 12-15.
- [4] CHEN T, CHEN H, WANG Y, et al. *In vitro* and *in vivo* antitumour activities of puerarin 6"-O-xyloside on human lung carcinoma A549 cell line via the induction of the mitochondria-mediated apoptosis pathway[J]. *Pharm Biol*, 2016, 54(9): 1793-1799.
- [5] CHOI Y H, HONG S S, SHIN Y S, et al. Phenolic compounds from *Pueraria lobata* protect PC12 cells against A β -induced toxicity[J]. *Arch Pharm Res*, 2010, 33(10): 1651-1654.
- [6] JANG H M, PARK K T, NOH H D, et al. Kakkalide and irisolidone alleviate 2, 4, 6-trinitrobenzenesulfonic acid-induced colitis in mice by inhibiting lipopolysaccharide binding to toll-like receptor-4 and proteobacteria population[J]. *Int Immunopharmacol*, 2019(73): 246-253.
- [7] LUO T, LI L F, GUO X Q, et al. Molecular mechanism for inhibitory effect of puerarin on IL-6 secretion in human osteoblast-like MG-63 cells[J]. *Chin Pharmacol Bull*(中国药理学通报), 2015, 31(11): 1524-1529.
- [8] FENG R B, CHEN J H, LIU C H, et al. A combination of *Pueraria lobata* and *Silybum marianum* protects against alcoholic liver disease in mice[J]. *Phytomedicine*, 2019(58): 152824.
- [9] 李玲, 马力, 袁永俊, 等. 葛根饮片加工工艺初探[J]. *时珍国医国药*, 2005, 16(9): 822-823.
- [10] WU H W, LI D H, ZHANG Y G, et al. Comprehensive quality evaluation of Astragali Radix processed by different methods based on entropy weight TOPSIS model[J]. *Chin Pharm J*(中国药学杂志), 2021, 56(16): 1325-1331.
- [11] ZHU W D, DU C Y, WU Y. A decision making method of topsis based on the correlation matrix[J]. *Math Pract Theory*(数学的实践与认识), 2014, 44(4): 33-38.
- [12] CHEN K, WEI P H, SHI L. Research progress on pharmacological effects of isoflavones from *Pueraria lobata*[J]. *Drug Eval Res*(药物评价研究), 2022, 45(12): 2602-2610.
- [13] MU P P, AN Q, ZHANG Y Z, et al. Determination of 9 isoflavonoids in Puerariae Lobatae Radix with quantitative analysis of multi-components by single marker[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 2019, 44(22): 4888-4895.
- [14] 中国药典. 四部[S]. 2020: 114, 232, 234.
- [15] CHEN L W, QIN K M, ZHU Y H, et al. Research status and prospect of primary processing of traditional Chinese medicinal materials[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 2015, 40(4): 602-606.
- [16] GUO S G, ZHOU C F. Discussion on cutting Chinese herbal medicines while fresh[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 1990, 15(5): 3-5.
- [17] HONG Z H, DU W F, LI X N, et al. Feasibility and suggestion about the fresh processing on origin of traditional Chinese medicinal materials[J]. *China J Tradit Chin Med Pharm*(中华中医药杂志), 2021, 36(1): 80-85.
- [18] YANG J J, LI L, JI D, et al. Research on history and present situation of integration of habitat processing and processing of Chinese herbal medicine[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2016, 47(15): 2751-2757.
- [19] ZHANG X M, ZHANG L W, HE K L, et al. Study on fresh processing of *Scutellaria baicalensis* based on HPLC fingerprint and multi-index quantification[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2021, 52(15): 4552-4560.
- [20] LIU Y Q, XU F Q, WU D L, et al. Effect of traditional processing versus fresh processing on the quality of fineleaf Schizonepeta Herb decoction pieces[J]. *J Anhui Univ Chin Med*(安徽中医药大学学报), 2020, 39(6): 73-76.
- [21] TANG C L, DU H Z, FENG W H, et al. Selection of in-production-place processing technique for Puerariae Lobatae Radix by comprehensive scoring method[J]. *Guizhou Sci*(贵州科学), 2021, 39(3): 9-13.
- [22] LIU Y, CHEN J F, XU N, et al. Effects of fresh-cut on drying rate and quality of *Panax notoginseng*[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 2019, 44(7): 1381-1391.
- [23] YU W, WANG M, ZHANG D L, et al. Multiple indices based quality assessment of *Ligusticum chuanxiong* in fresh processing[J]. *Chin Tradit Pat Med*(中成药), 2021, 43(8): 2109-2114.
- [24] DENG X Y, ZHONG L Y, ZHU W F, et al. Research progress of the historical evolution and modern processing mechanism of Radix Puerariae[J]. *China J Tradit Chin Med Pharm*(中华中医药杂志), 2020, 35(7): 3524-3526.
- [25] T/CACM 1021.67—2018, Commercial grades for Chinese materia medica—Puerariae Lobatae Radix[S]. 2018-12-03.
- [26] LUO Y Z, LIU Y, HUANG B S, et al. Effects of different drying methods on drying characteristics and appearance and components of Pinelliae Rhizoma[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2021, 52(19): 5845-5853.
- [27] ZHANG L, BIAN X K, ZHAO Q L, et al. Modern drying processing method for Astragali Radix based on multi-constituents[J]. *Mod Chin Med*(中国现代中药), 2020, 22(10): 1684-1688.
- [28] FAN T C, DOU Z Y, SONG H W, et al. Study on effects of different processing methods of Corydalis Rhizoma on stability of components based on multi-component content determination and chemometrics[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2021, 52(13): 4047-4054.
- [29] TAN P, ZHANG H Z, ZHANG D K, et al. Development and evaluation for a new manufacturing technique of fixed size raw rhubarb decoction pieces[J]. *Chin Tradit Herb Drugs*(中草药), 2017, 48(12): 2407-2414.
- [30] JIANG H, GAO Y, YANG J M, et al. Overview of traditional Chinese medicine quality evaluation method based on overall research[J]. *China J Chin Mater Med*(中国中药杂志), 2015, 40(6): 1027-1031.
- [31] WANG S N, HUA Y J, ZOU L S, et al. Content determination and grey relational analysis of nucleosides and nucleobases in different "sweating" processed products of Scrophulariae Radix[J]. *Chin J Pharm Anal*(药物分析杂志), 2016, 36(6): 1027-1036.

收稿日期: 2022-07-08
(本文责编: 李艳芳)