

• 药剂与工艺 •

基于熵权法和层次分析法优选天麻趁鲜切制方法

付 艳, 周 涛, 许清清, 杨昌贵, 张进强, 肖承鸿*

贵州中医药大学, 贵州 贵阳 550025

摘要: **目的** 比较趁鲜切制和传统加工天麻饮片性状、内在质量、能耗等关键指标, 筛选天麻饮片趁鲜切制方法, 为天麻趁鲜切制的合理性提供数据支撑。**方法** 以醇溶性浸出物、多糖、蛋白质、天麻素和对羟基苯甲醇总量、巴利森苷类成分总量(巴利森苷 A、B、C、E)为内在评价指标, 采用熵权法和层次分析法综合评分, 分析 13 种加工方式对天麻饮片质量的影响, 结合饮片性状、干燥时间和能耗, 饮片颜色与成分含量之间的相关性对天麻趁鲜切制方法进行综合评价。**结果** 不同加工方式天麻饮片内在成分含量差异较大, 其中天麻素和对羟基苯甲醇总量、多糖含量差异最为明显; 通过内在成分综合评价结果显示, 趁鲜切制 S6 及传统加工 S13 饮片综合评分高于其他趁鲜切制组, 且 S6 与 S13 聚为一类, 表明趁鲜切制 S6 与传统加工 S13 内在质量最为相近; 趁鲜切制 S6 与传统加工 S13 外观性状相似, 耗时、能耗显著低于传统加工 S13; 天麻饮片切面颜色色度值与内在成分含量呈显著相关性。**结论** 新鲜天麻切片 5 mm 厚、蒸 20 min、60 °C 烘干与传统加工性状、品质最为相近, 且较传统加工省时、节约能耗, 为最佳趁鲜切制方法, 该方法在天麻饮片生产上具有可行性。

关键词: 天麻; 趁鲜切制; 熵权法; 层次分析法; 天麻素; 对羟基苯甲醇; 巴利森苷

中图分类号: R283.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2024)05-1493-09

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.05.008

Optimization of *Gastrodiae Rhizoma* fresh-cut processing method based on entropy method and analytic hierarchy process

FU Yan, ZHOU Tao, XU Qingqing, YANG Changgui, ZHANG Jinqiang, XIAO Chenghong

Guizhou University of Traditional Chinese Medicine, Guiyang 550025, China

Abstract: **Objective** Compare the key indicators such as the appearance, intrinsic quality, and energy consumption of fresh-cut and traditional processed Tianma (*Gastrodiae Rhizoma*, GR) decoction pieces, and screen the methods of fresh-cut GR decoction pieces to provide data support for the rationality of fresh-cut GR. **Methods** Taking the total amount of alcohol soluble extract, polysaccharide, protein, the total amount of gastrodin and *p*-hydroxybenzyl alcohol, the total amount of parishins (including parishin A, B, C, E) as internal evaluation indicators, entropy method and analytic hierarchy process were used to comprehensively score and analyze the impact of 13 processing methods on the quality of GR decoction pieces, combined with the appearance, drying time, and energy consumption, a comprehensive evaluation of the correlation between the color and ingredient contents of GR during fresh-cutting was conducted. **Results** There are significant differences in the intrinsic component content of GR under different processing methods, with the most significant differences in the total amount of gastrodin and *p*-hydroxybenzyl alcohol, as well as the content of polysaccharides; The comprehensive evaluation results of internal components showed that the comprehensive scores of fresh-cut S6 and traditional processed S13 slices were higher than those of other fresh-cut groups, and S6 and S13 clustered into one group, indicating that the internal quality of fresh-cut S6 and traditional processed S13 was the most similar; taking advantage of the similarity in appearance between fresh-cut S6 and traditional processed S13, the time and energy consumption are significantly lower than those of traditional processed S13; There is a significant correlation between the chromaticity value of the cut surface color of GR decoction pieces and the content of their intrinsic components. **Conclusion** GR with a thickness of 5 mm, steamed for 20 min, and dried at

收稿日期: 2023-08-01

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFC3503803); 贵州省教育厅高校科研平台(黔教技[2022]021号)

作者简介: 付 艳(1999—), 女, 硕士研究生, 研究方向为中药及民族药资源分类鉴定与质量控制。E-mail: 2211527974@qq.com

*通信作者: 肖承鸿(1986—), 高级实验师, 从事中药资源鉴定及质量评价研究。E-mail: xiaochenghong1986@126.com

60 °C have the most similar processing characteristics and quality to traditional processing, and save time and energy-efficient than traditional processing. This method is the best way to cut while fresh and has feasibility in the production of GR decoction pieces.

Key words: *Gastrodiae Rhizoma*; fresh-cut process; entropy method; analytic hierarchy process; gastrodin; *p*-hydroxybenzyl alcohol; parishins

中药材产地加工是影响中药品质的重要环节。中药材采收后,除鲜用外,一般须经产地加工、干燥成干药材后再进行浸润软化,按要求制成饮片。2015 年,国务院办公厅发布《关于转发工业和信息化部等部门中药材保护和发展规划(2015—2020 年)》的通知,鼓励中药生产企业向中药材产地延伸产业链,开展趁鲜切制和精深加工。趁鲜切制减少了药材干燥、浸润等加工环节,缩短了工时,降低了加工成本,提高了生产效率,另外,可避免中药材因干燥和浸润时间过长所致的霉变、污染,避免水溶性成分丢失。现行《中国药典》2020 年版^[1]规定 69 种药材可进行产地趁鲜切制,但市场上趁鲜切制的品种远不止这些。2021 年,国家药品监督管理局发布《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》,同意全国各地开展产地趁鲜切制试点工作,要求各省制定具体品种切制加工标准和规程。目前,人参^[2]、黄芪^[3]、黄芩^[4]、川白芷^[5]、三七^[6]等多种药材研究皆被证实趁鲜切制的可行性。

天麻为兰科天麻属植物天麻 *Gastrodia elata* Bl. 的干燥块茎,具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络的功效。现代研究表明,天麻具有镇静、催眠、抗惊厥、抗氧化、提高机体免疫力、改善记忆力等药理作用^[7]。2023 年国家卫生健康委员会、国家市场监督管理总局联合印发了《党参等 9 种新增按照传统既是食品又是中药材的物质目录》,明确天麻既是食品又是中药材,具有较高的药用价值和食用价值。传统天麻饮片的加工方法为“清洗、蒸透、低温干燥、洗净、润透或蒸软、切薄片、干燥”,从采收至饮片,经 2 次蒸制、2 次干燥,过程繁琐、耗时长。市场上已有较多趁鲜切制的天麻饮片销售。云南、天津、湖北、安徽、重庆、吉林等省份/直辖市药品监督管理局也批准天麻可作为趁鲜切制品种。因此,开展天麻趁鲜切制方法筛选研究,对趁鲜切制天麻饮片产业化具有重要意义。本研究设计了新鲜天麻蒸制后切片、切片后蒸制、切片未蒸制 3 种处理顺序,晒干、烘干、真空冷冻干燥、微波干燥 4 种干燥方法。以天麻素和对羟基苯甲醇总量、巴利森苷类总量、多糖、蛋白质、醇溶性浸出物为内在质量

评价指标,采用熵权法和层次分析法对 5 个内在指标进行综合赋权,结合天麻饮片外观性状、干燥时间和能耗外在评价指标,筛选天麻趁鲜切制方法,利用饮片色度值与内在成分之间的相关性对天麻饮片的质量进行评价,以期为天麻趁鲜切制替代传统加工的合理性与可行性提供依据。

1 仪器与材料

1.1 仪器

LC-20AB 型高效液相色谱仪、UV-2700 型紫外可见分光光度计,日本岛津公司;EL104 型万分之一电子分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;Scientz-18ND/G 型多歧管普通型钟罩式冻干机,新芝生物科技有限公司;TYPE-WBZ-10 型微波干燥机,贵阳新奇微波工业有限责任公司。

1.2 材料

对照品天麻素(批号 AF20100454)、对羟基苯甲醇(批号 AF21030253),成都埃法生物科技有限公司;对照品巴利森苷 A(批号 DSTDB010201)、巴利森苷 B(批号 DSTDB006401)、巴利森苷 C(批号 DSTDB006501)、巴利森苷 E(批号 DSTDB006601),四川成都德思特生物有限公司;对照品 D-无水葡萄糖(批号 110833-201908),中国食品药品检定研究院;所用对照品质量分数均≥98%;甲醇、乙腈为色谱级,购于天津市科密欧化学试剂有限公司;水为超纯水,购于成都超纯科技有限公司;其余均为分析纯,购于重庆川东化工有限公司。

天麻样品于 2022 年 1 月采自贵州省毕节市大方县,经贵州中医药大学江维克教授鉴定为兰科天麻属植物天麻 *G. elata* Bl. 的新鲜块茎。

2 方法与结果

2.1 样品的制备

选择无破损、无腐烂、无黑点病斑、质量 150 g 左右的新鲜天麻块茎,清洗净,分 13 组,每组 3 份重复,每份 4 kg。趁鲜切制方法按不同切片顺序、干燥方式加工成天麻饮片 S1~S12;传统加工方法按《道地药材特色栽培及产地加工技术规范》^[8]、《贵州省中药饮片炮制规范》(2005 年版)^[9]项下的天麻加工方法得 S13。通过产地调研和前期预试验,蒸后切片的蒸制时间设置为 30 min,切片后蒸制的

蒸制时间设置为 20 min，切片厚度为 5 mm。烘干、12 h，回潮温度 18~20 ℃，湿度 65%~70%。具体晒干处理干燥时均进行回潮处理，干燥 12 h，回潮处理方法见表 1。

表 1 不同加工方式天麻饮片样品制备条件

Table 1 Preparation conditions of <i>Gastrodiae Rhizoma</i> (GR) decoction pieces processed in different ways					
编号	加工方式			编号	加工方式
S1	新鲜天麻块茎，蒸制 30 min，斜切成 5 mm，晒干			S8	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，蒸制 20 min，1 500 W→1 000 W→500 W 功率，微波梯度干燥
S2	新鲜天麻块茎，蒸制 30 min，斜切成 5 mm，60 ℃烘干			S9	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，晒干
S3	新鲜天麻块茎，蒸制 30 min，斜切成 5 mm，-4 ℃预冷 2 h，-50 ℃冷冻干燥			S10	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，60 ℃烘干
S4	新鲜天麻块茎，蒸制 30 min，斜切成 5 mm，1 500 W→1 000 W→500 W 功率，微波梯度干燥			S11	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，-4 ℃预冷 2 h，-50 ℃冷冻干燥
S5	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，蒸制 20 min，晒干			S12	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，1 500 W→1 000 W→500 W 功率，微波梯度干燥
S6	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，蒸制 20 min，60 ℃烘干			S13	新鲜天麻块茎，蒸制 30 min，烘干；洗净，蒸软，切薄片，60 ℃烘干
S7	新鲜天麻块茎，斜切成 5 mm，蒸制 20 min，-4 ℃预冷 2 h，-50 ℃冷冻干燥				

2.2 外观性状观测

参照《中国药典》2020 年版天麻饮片性状描述，观察天麻饮片外观性状，包括色泽、质地、平整度、角质样、切片难易程度。不同加工处理天麻饮片切面外观性状差异较大，其中颜色差异最为明显。传统加工天麻饮片切面颜色偏黄，趁鲜切制经蒸制后烘干和晒干的 S1、S2、S5、S6 切面颜色与传统加工 S13 较为相近，皮部黄棕色，切面淡黄棕色；冻干法 S3、S7、S11 皮部淡黄色、切面偏白；微波干燥法 S4、S8、S12 皮部淡黄色，切面黄白色，偶有白色凸起小泡；未蒸制直接烘干和晒干的 S9、S10 切面有未糊化的颗粒，切面淡白色。未蒸制直接烘

干和晒干的 S9 和 S10 表面不平整，翘片较多。趁鲜切制中，蒸制后切片或切片后蒸制的切片难易程度均较传统加工方法简单，相比切片后蒸制，蒸制后切片需要严格控制蒸制时间，蒸制时间过短无法蒸透，蒸制时间过长导致切片易掉外皮。结果见表 2 和图 1。为客观反映天麻饮片颜色，按随机取样原则分别抽取不同加工方式天麻饮片拍照，采用 Adobe Photoshop 2022 软件中颜色取样器工具对饮片切面颜色的色度值 L^* 、 a^* 、 b^* (L^* 代表明亮度， a^* 代表红绿色， b^* 代表黄蓝色) 进行提取，每份提取 12 次，取平均值；明亮度 L^* 值越大，颜色越白；红绿色 a^* 值 (或黄蓝色 b^* 值) 越接近+127，颜色越红

表 2 不同加工方式天麻饮片的外观性状

Table 2 Appearance of different processing methods of GR decoction pieces					
编号	色泽	质地	平整度	角质样	切片难易程度
S1	皮部黄棕色，切面淡黄白色	坚硬	平整，少有翘片	角质样，对光透明	容易
S2	皮部黄棕色，切面淡黄棕色	坚硬	不平整，少翘片	角质样，对光透明	容易
S3	皮部淡黄色，切面白色疏松多孔，不规则裂痕	质脆	较平整，无翘片	无角质样，对光不透明	容易
S4	皮部淡黄色，切面黄白色，偶有白色凸起小泡	质脆	较平整，无翘片	角质样，对光半透明	容易
S5	皮部淡黄棕色，切面黄白色	坚硬	不平整，少翘片	角质样，对光透明	较容易
S6	皮部黄棕色，切面淡黄棕色	坚硬	平整，少翘片	角质样，对光透明	较容易
S7	皮部淡黄色，切面淡黄白色	质脆	较平整，少翘片	无角质样，对光不透明	较容易
S8	皮部淡黄棕色，切面黄白色，部分可见凸起小泡	质脆	较平整，少翘片	角质样，对光半透明	较容易
S9	皮部淡黄棕色，切面淡白色	坚硬	不平整，翘片较多	无角质样，对光不透明	较容易
S10	皮部黄褐色，切面淡黄白色	坚硬	不平整，翘片较多	无角质样，对光不透明	较容易
S11	皮部棕褐色，切面白色	质脆	较平整，无翘片	无角质样，对光不透明	较容易
S12	皮部淡黄色，切面黄白色，部分可见凸起小泡	质脆	较平整，少翘片	角质样，对光半透明	较容易
S13	皮部黄棕色，切面淡黄棕色	坚硬	平整，少翘片	角质样，对光透明	较难



图 1 不同趁鲜切制方式的天麻饮片外观性状

Fig. 1 Appearance traits of GR decoction pieces with different processing methods

(黄); 红绿色 a^* (或黄蓝色 b^*) 值越接近-128, 颜色越绿 (蓝)^[10]。结果表明, 不同加工方式的天麻饮片 L^* 、 a^* 、 b^* 值存在显著差异, S1、S2、S6 与 S13 的 L^* 值较为接近, 在 55~61, 明显低于其他加工方式, S1、S2、S6 与 S13 颜色较其他组暗, 其中趁鲜切制 S6 和传统加工 S13 的 L^* 值最为相近; S1、S2 和 S6 组 a^* 值较高, 表明切面有部分红色; S1、S2、S5、S6 与 S13 黄蓝色 b^* 值均在 20 以上, 且 S6 的 b^* 值最高, 说明 S1、S2、S5、S6 与 S13 切面黄色明显。天麻饮片颜色色度值测定法与观察的外观颜色结果一致。见表 3。

2.3 干燥时间和能耗的测定

中药饮片加工过程中, 时间和能耗是饮片生产中的 2 个关键因素。观测记录不同加工方式天麻饮片的干燥时间和能耗。利用干燥时间 (t) 和干燥设备运行的实际功率 (P_t) 计算不同加工方式的能耗 (E), 功率单位为 kW、时间单位为 h、能耗单位为 J, 计算方法如下。

$$E = P_t t \times 3.6 \times 10^6$$

不同加工方式干燥时间和能耗存在显著差异, 与传统加工相比, 趁鲜切制能很大程度上缩短干燥

表 3 天麻饮片色度值 ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

Table 3 Chromatic value measurement results of GR decoction pieces ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

编号	L^*	a^*	b^*
S1	59.00 ± 5.15^e	4.58 ± 4.60^{bc}	27.67 ± 9.98^b
S2	60.50 ± 7.43^e	5.58 ± 3.78^{ab}	34.83 ± 4.53^a
S3	77.08 ± 2.28^{bc}	-0.42 ± 0.79^{def}	4.42 ± 2.39^{ef}
S4	73.25 ± 6.98^{cd}	1.25 ± 5.41^{de}	21.83 ± 10.48^c
S5	72.08 ± 4.38^{cd}	-1.83 ± 0.94^f	22.25 ± 4.43^{bc}
S6	56.83 ± 4.69^e	7.75 ± 2.22^a	36.83 ± 2.55^a
S7	74.17 ± 4.00^{cd}	-0.25 ± 0.62^{def}	6.83 ± 2.37^e
S8	79.67 ± 4.36^{ab}	-0.75 ± 1.14^{def}	14.75 ± 3.72^d
S9	84.33 ± 5.68^a	1.75 ± 4.16^{cd}	4.42 ± 2.58^{ef}
S10	71.17 ± 5.75^d	0.08 ± 1.83^{def}	13.08 ± 6.19^d
S11	79.67 ± 2.02^{ab}	0.33 ± 0.49^{def}	0.08 ± 0.67^f
S12	73.08 ± 3.80^{cd}	-1.17 ± 0.72^{ef}	15.08 ± 4.56^d
S13	55.33 ± 6.30^e	1.00 ± 2.09^{def}	21.00 ± 3.16^c

不同字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$), 表 4 同。

Different letters indicate significant differences ($P < 0.05$), same as table 4.

时间, 传统加工耗时 308.9 h, 耗时较少是微波干燥 S4、S8 和 S12, 分别为 2.4、2.2、2.4 h; 烘干法 S2、S6 和 S10 耗时 30 h 左右; 其他干燥方法耗时均 70 h 以上。能耗方面, 传统加工方法 S13 和冷冻干燥 S3、S7、S11 能耗较高, 分别为 4.637×10^8 、 5.140×10^8 、 5.041×10^8 、 4.612×10^8 J, 对比 4 种不同干燥方法的趁鲜切制饮片, 能耗的高低顺序分别为冻干法 > 烘干法 > 微波干燥法 > 晒干法 (0 J)。综合考虑, 晒干法虽节约成本但耗时较长, 且存在天气不确定因素, 冻干法时间和能耗均较大; 微波干燥法和烘干法不仅节约时间且能耗消耗也较低, 对天麻饮片干燥来说, 是比较理想的干燥方法。见表 4。

2.4 多糖、蛋白质和醇溶性浸出物的测定

参照 Ji 等^[11]对天麻多糖进行含量测定, 采用加样回收率试验进行方法验证, 取 9 份已知含量的 S5

表 4 天麻饮片干燥时间和能耗 ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

Table 4 Drying time and energy consumption of GR decoction pieces ($\bar{x} \pm s$, $n = 3$)

编号	干燥时间/h	能耗/ $\times 10^6$ J	编号	干燥时间/h	能耗/ $\times 10^6$ J	编号	干燥时间/h	能耗/ $\times 10^6$ J
S1	74.10 ± 3.86^d	0.00 ± 0.00^e	S6	27.40 ± 2.19^f	41.13 ± 3.30^d	S11	87.75 ± 1.82^e	461.21 ± 9.55^b
S2	31.70 ± 3.03^f	47.59 ± 4.55^d	S7	95.90 ± 1.49^b	504.05 ± 7.84^a	S12	2.36 ± 0.08^g	7.04 ± 0.23^e
S3	97.80 ± 2.33^b	514.04 ± 12.25^a	S8	2.21 ± 0.25^g	8.83 ± 1.07^e	S13	308.90 ± 6.53^a	463.72 ± 9.81^b
S4	2.43 ± 0.33^g	8.62 ± 1.16^e	S9	74.40 ± 1.25^d	0.00 ± 0.00^e			
S5	73.60 ± 4.80^d	0.00 ± 0.00^e	S10	44.00 ± 1.16^e	66.05 ± 1.73^c			

干燥时间不包括回潮时间; 晒干法能耗计为 0。

The drying time does not encompass moisture return time; the energy consumption meter of the sun-drying method is zero.

天麻粉末 0.5 g, 精密称定, 分别按 50%、100%、150% 水平加入 *D*-葡萄糖对照品, 按供试品溶液方法制备, 测定吸光度, 计算天麻多糖的平均回收率为 97.23%, RSD 为 1.35%, 表明方法加样回收率良好。醇溶性浸出物测定参照《中国药典》2020 年版通则 2201 方法^[1]。蛋白质测定参照 GB5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》。结果见表 5。

2.5 酚及苷类含量的测定

参照《中国药典》2020 年版^[1]测定天麻素、对羟基苯甲醇含量; 参照《毕节天麻质量评价》^[12]测定巴利森苷类成分的含量, 混合对照品及样品的 HPLC 色谱图见图 2、3, 结果见表 5。

2.6 方差分析

运用 SPSS 26.0 软件, 对不同加工方式的内在

表 5 天麻饮片不同加工方式内在成分含量差异性分析 ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

Table 5 Analysis of the difference in content of internal ingredients in different processing methods of GR decoction pieces ($\bar{x} \pm s, n = 3$)

编号	质量分数/%						
	天麻素	对羟基苯甲醇	天麻素和对羟基苯甲醇总量	巴利森苷类	多糖	蛋白质	醇溶性浸出物
S1	0.28±0.02 ^c	0.10±0.01 ^{cd}	0.38±0.02 ^d	2.32±0.02 ^{ab}	29.98±0.00 ^h	5.99±0.00 ^{bc}	27.34±0.84 ^{cd}
S2	0.23±0.01 ^{ef}	0.06±0.01 ^e	0.29±0.00 ^e	1.81±0.16 ^{cd}	35.20±0.00 ^{fg}	5.75±0.01 ^{bc}	23.34±1.37 ^{de}
S3	0.17±0.00 ^g	0.06±0.00 ^e	0.23±0.01 ^f	2.32±0.06 ^{ab}	45.33±0.00 ^{cd}	4.68±0.96 ^{efg}	22.49±3.50 ^e
S4	0.27±0.02 ^{cd}	0.11±0.01 ^c	0.38±0.03 ^d	1.75±0.10 ^{cd}	48.42±0.00 ^{bc}	4.18±0.00 ^g	27.51±1.46 ^{cd}
S5	0.27±0.02 ^{cd}	0.08±0.01 ^{de}	0.35±0.02 ^d	1.97±0.09 ^{bcd}	39.69±0.00 ^{ef}	5.47±0.13 ^{cd}	25.64±1.86 ^{cde}
S6	0.22±0.01 ^{ef}	0.10±0.00 ^{cd}	0.32±0.01 ^e	1.73±0.14 ^{de}	59.48±0.21 ^a	6.64±0.04 ^a	29.95±2.16 ^{abc}
S7	0.25±0.03 ^{de}	0.10±0.01 ^{cd}	0.35±0.02 ^d	2.37±0.39 ^{ab}	43.28±3.02 ^{de}	4.50±0.22 ^{fg}	28.59±0.91 ^c
S8	0.32±0.02 ^b	0.11±0.03 ^c	0.43±0.02 ^c	2.16±0.39 ^{abc}	50.76±0.75 ^b	5.13±0.00 ^{de}	29.32±2.26 ^{bc}
S9	0.03±0.00 ^h	0.47±0.02 ^a	0.51±0.01 ^b	0.50±0.10 ^f	52.70±2.63 ^b	5.47±0.13 ^{cd}	30.45±2.10 ^{abc}
S10	0.01±0.00 ^h	0.40±0.01 ^b	0.42±0.01 ^c	0.22±0.03 ^f	38.98±0.00 ^{ef}	6.28±0.28 ^{ab}	30.02±2.58 ^{abc}
S11	0.04±0.01 ^h	0.39±0.02 ^b	0.43±0.02 ^c	0.66±0.19 ^e	38.95±2.65 ^{ef}	4.82±0.32 ^{ef}	34.36±1.57 ^a
S12	0.20±0.01 ^{fg}	0.09±0.00 ^{cd}	0.29±0.01 ^e	1.89±0.20 ^{cd}	60.44±0.00 ^a	4.70±0.01 ^{efg}	27.34±4.18 ^{cd}
S13	0.55±0.03 ^a	0.10±0.02 ^{cd}	0.65±0.02 ^a	2.45±0.20 ^a	33.59±2.16 ^{gh}	6.32±0.44 ^{ab}	34.01±3.51 ^{ab}

同列数值后不同字母 a~g 表示同一处理间差异达到 5% 显著水平。

The presence of different letters from a to g after the same column value indicates that the observed differences between treatments are statistically significant at a 5% level.

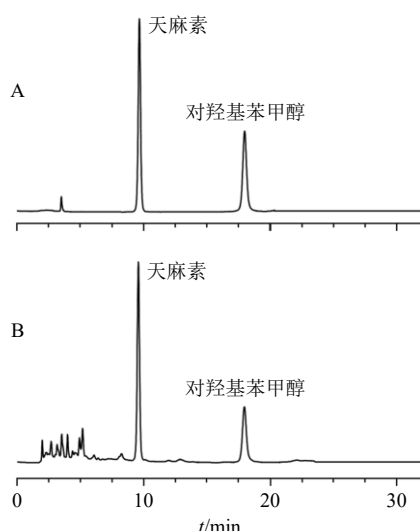
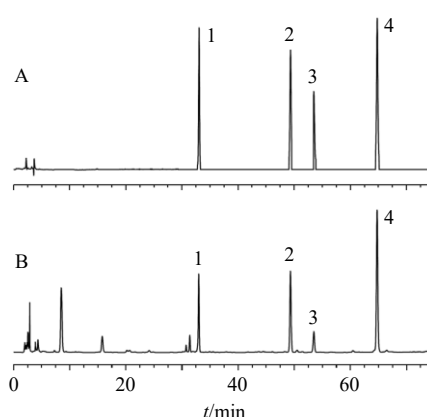


图 2 混合对照品 (A) 和 S7 样品 (B) 的 HPLC 图
Fig. 2 HPLC of mixed reference substances (A) and S7 sample (B)



1-巴利森苷 E; 2-巴利森苷 B; 3-巴利森苷 C; 4-巴利森苷 A。
1-parishin E; 2-parishin B; 3-parishin C; 4-parishin A.

图 3 巴利森苷类混合对照品 (A) 和 S7 样品 (B) 的 HPLC 图
Fig. 3 HPLC of parisins mixed reference substances (A) and S7 sample (B)

成分含量进行方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。结果显示, 除 S3 外, 其他趁鲜切制饮片的天麻素和对羟基苯甲醇总量、醇溶性浸出物含量均符合《中国药典》2020 年版规定。不同加工方式天麻饮片内在成分含量差异较大, 其中天麻素和对羟基苯甲醇总量、多糖差异最大; 传统加工 S13 的天麻素和对羟基苯甲醇总量均高于趁鲜切制饮片组; S13 与 S1、S12 的多糖含量无显著性差异, 但显著低于其他趁鲜切制饮片组; S13 与 S1、S3、S7、S8、S12 的巴利森苷类总量无显著性差异; S13 与 S1、S2、S6、S10 的蛋白质含量无显著性差异; S13 与 S6、S9、S10、S11 的醇溶性浸出物含量无显著性差异。综上, S6 与 S13 蛋白质和醇溶性浸出物含量无显著性差异, 天麻素和对羟基苯甲醇总量、巴利森苷类含量 S13 显著高于 S6, 而多糖含量是 S6 显著高于 S13。见表 5。

2.7 主成分分析(principal component analysis, PCA)

运用 SIMCA.14.0 对不同加工方式的内在成分含量, 标准化处理后进行 PCA, 如图 4 所示, 分析可得, 切片后直接晒干、烘干和冻干的 S9~S11 聚为一类; 传统加工 S13 与 S1、S2、S5、S6 趁鲜切制方法聚为一类; 其他处理方法的饮片聚为一类。结果说明未经蒸制的天麻饮片与蒸制后的天麻饮片在化学成分上的差异大, 天麻饮片加工蒸制对内在化学成分影响很大, 趁鲜切制 S1、S2、S5、S6 与传统加工 S13 内在成分综合评价结果比较相近。

2.8 综合评分法分析

《中国药典》2020 年版以天麻素和对羟基苯甲醇总量、醇溶性浸出物作为天麻质量评价指标, 文献报道天麻多糖、巴利森苷类、蛋白质是天麻增强

中枢神经保护、增强记忆、抗衰老等作用的活性成分^[11,13]。故选择天麻素和对羟基苯甲醇总量、巴利森苷类总量、多糖、蛋白质、醇溶性浸出物为内在品质评价指标, 采用熵权法和层次分析法 2 种评价方法计算不同加工方式天麻饮片的评分值。熵权法表现了指标的离散程度, 离散程度大的指标具有较大的权重, 仅凭借熵权法赋权可能使重要指标因离散程度小而权重较小; 层次分析法体现专家对不同指标重要性的经验, 熵值法可以反映指标的信息特征, 二者结合不仅可以减少层次分析法赋权的主观性, 也能减少数据变化导致的权重波动^[14]。

2.8.1 熵权法权重 (W_j) 各项指标数据经标准化、归一化 (P_{ij}^*)、信息熵 (Q_j) 计算, 最终计算得到各指标的 W_j , 计算方法如下。

指标标准化值=(实测值-最小值)/(最大值-最小值)

$$P_{ij}^* = P_{ij} / \sum_{i=1}^n P_{ij}$$

$$Q_j = -\ln(1/n) / \sum_{i=1}^n P_{ij}^* \ln P_{ij}^*$$

$$W_j = (1 - Q_j) / \sum_{i=1}^m (1 - Q_j)$$

2.8.2 层次分析法权重 (V_j) 依据层次分析法判断矩阵的标准^[15], 设定量化值, 请行业专家和天麻生产企业一线工作人员依据各指标重要性进行评判, 构造指标成对比较矩阵, 建立的层次顺序为天麻素和对羟基苯甲醇总量 > 多糖 > 醇溶性浸出物 > 蛋白质 > 巴利森苷类。根据和积法计算各指标的 V_j , 计算方法如下。

$$V_j = 1/n \sum_{p=1}^n (a_{jp} / \sum_{k=1}^n a_{kp})$$

a_{jp} 为判断矩阵中因素 j 与因素 p 的重要性之比, $a_{jp} / \sum_{k=1}^n a_{kp}$

为矩阵各列的归一化值

得到 V_j 后需对矩阵进行一致性检验, 得到随机一致性比率 (CR) = 0.03 < 0.1, 表明矩阵合理有效, 权重系数可靠。

2.8.3 综合权重 (T_j) 运用熵权法得客观权重系数 W_j , 采用层次分析法得主观权重系数 V_j , 将主观权重系数和客观权重系数综合考虑^[14], 按照下列公式计算 T_j 。权重结果见表 6。

$$T_j = V_j W_j / \sum_{i=1}^n V_j W_j$$

综合评分值 = $Z_1/Z_{1\max} \times T_1 + Z_2/Z_{2\max} \times T_2 + Z_3/Z_{3\max} \times$

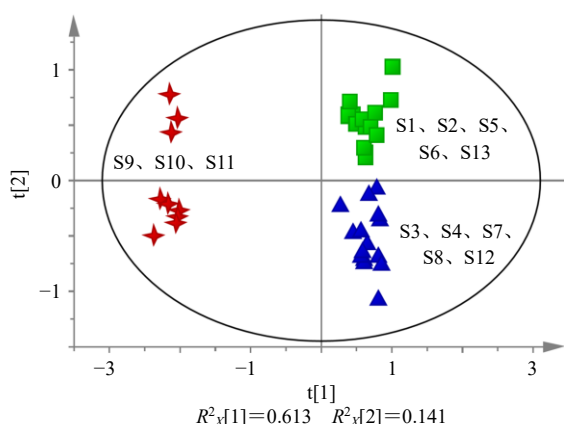


图 4 不同加工方式天麻饮片的 PCA 得分图 ($n=3$)

Fig. 4 PCA score scatter plot of GR decoction pieces with different processing methods ($n=3$)

表 6 各指标组合权重计算结果

Table 6 Combined weight results for each index

指标 (Z)	$W_j/\%$	$V_j/\%$	$T_j/\%$
天麻素和对羟基苯甲醇总量 (Z_1)	20.85	26.34	27.06
巴利森苷类 (Z_2)	16.39	12.96	10.47
多糖 (Z_3)	22.14	23.57	25.71
蛋白质 (Z_4)	21.86	16.03	17.27
醇溶性浸出物 (Z_5)	18.76	21.09	19.49

$$T_3 + Z_4/Z_{4\max} \times T_4 + Z_5/Z_{5\max} \times T_5$$

计算各样品综合评分值并排序, 结果见表 7。结果显示, 传统加工 S13 综合评分为 87.52, 排名第 1; 趁鲜切制 S6 综合评分为 80.04, 排名第 2; S8 综合评分为 78.57, 排名第 3; 其后为 S9、S12、S7、S4、S1、S11、S5、S10、S3、S2, 综合评分分别为 76.89、73.54、70.81、70.41、69.44、69.30、68.44、68.18、63.41、62.89。

表 7 天麻饮片趁鲜切制和传统加工的指标评分值 ($n=3$)

Table 7 Indicator scoring while fresh-cut and conventionally processed of GR decoction pieces ($n=3$)

编号	评分					综合评分值	排序
	天麻素和对羟基苯甲醇总量	巴利森苷类	多糖	蛋白质	醇溶性浸出物		
S1	15.67	9.93	12.75	15.57	15.51	69.44	8
S2	12.00	7.74	14.97	14.94	13.24	62.89	13
S3	9.29	9.92	19.28	12.16	12.76	63.41	12
S4	15.85	7.50	20.60	10.86	15.61	70.41	7
S5	14.39	8.40	16.88	14.22	14.55	68.44	10
S6	13.06	7.41	25.30	17.27	16.99	80.04	2
S7	14.38	10.11	18.41	11.68	16.22	70.81	6

编号	评分					综合评分值	排序
	天麻素和对羟基苯甲醇总量	巴利森苷类	多糖	蛋白质	醇溶性浸出物		
S8	17.80	9.22	21.59	13.32	16.64	78.57	3
S9	20.84	2.13	22.42	14.22	17.28	76.89	4
S10	17.30	0.94	16.58	16.32	17.03	68.18	11
S11	17.91	2.81	16.57	12.51	19.49	69.30	9
S12	12.02	8.08	25.71	12.22	15.51	73.54	5
S13	27.06	10.47	14.29	16.41	19.30	87.52	1

综上, 切-蒸-烘干法的趁鲜切制 S6 综合评分较高, 最为接近传统加工 S13。

2.9 切面颜色色度值与内在成分含量的相关性分析

运用 SPSS 23.0 统计软件计算色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 与天麻素、对羟基苯甲醇、巴利森苷类总量、多糖、蛋白质、醇溶性浸出物含量进行相关性分析, 结果见表 8。结果显示, 13 批天麻饮片明亮度 L^* 值与对羟基苯甲醇、多糖含量呈显著正相关, 相关系

数分别为 0.459、0.340, 与天麻素、巴利森苷类总量呈显著负相关, 相关系数分别为 -0.581、-0.402, 即天麻饮片切面颜色越白, 对羟基苯甲醇和多糖含量越高, 而天麻素和巴利森苷类总含量越低; 红绿色 a^* 值与蛋白质呈显著正相关, 相关系数为 0.540, 表明天麻饮片切面颜色越接近红色, 蛋白质含量越高; 黄蓝色 b^* 值与天麻素、蛋白质、巴利森苷类总量呈显著正相关, 相关系数分别为 0.458、0.338、

表 8 色度值和成分的相关性分析

Table 8 Correlation analysis of chromatic value and compositions

指标	相关系数								
	L^*	a^*	b^*	天麻素	对羟基苯甲醇	巴利森苷类总量	多糖	蛋白质	醇溶性浸出物
L^*	1.000								
a^*	-0.657**	1.000							
b^*	-0.822**	0.708**	1.000						
天麻素	-0.581**	0.049	0.458**	1.000					
对羟基苯甲醇	0.495**	-0.124	-0.548**	-0.717**	1.000				
巴利森苷类总量	-0.402*	0.016	0.338*	0.795**	-0.908**	1.000			
多糖	0.340*	-0.025	-0.076	-0.228	0.014	-0.109	1.000		
蛋白质	-0.639**	0.540**	0.526**	0.141	0.091	-0.128	-0.211	1.000	
醇溶性浸出物	0.003	-0.032	-0.226	0.043	0.474**	-0.344*	-0.011	0.273	1.000

*在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著; **在 0.01 级别 (双尾), 相关性极显著。

* at level 0.05 (two-tailed), the correlation was significant; ** at 0.01 level (double tail), the correlation is very significant.

0.526, 与对羟基苯甲醇呈负相关, 相关系数为 -0.548 , 表明天麻饮片切面颜色越接近黄色, 天麻素、蛋白质和巴利森苷总量含量越高, 而对羟基苯甲醇含量越低。因此, 上述结果说明天麻饮片颜色与饮片的内在成分含量存在较大的相关, 在一定程度上间接反映了饮片质量的好坏。

3 讨论

本研究以天麻素、对羟基苯甲醇、多糖、蛋白质、醇溶性浸出物、巴利森苷类为内在品质指标, 综合考虑外观性状、干燥时间、能耗筛选天麻趁鲜切制方法, 更为科学全面。其中天麻素和对羟基苯甲醇总量、醇溶性浸出物是《中国药典》2020 年版规定天麻的质量评价指标; 天麻多糖具有抗氧化、降血糖、延缓衰老、增强免疫等功效^[11], 是天麻药效成分之一; 蛋白质可提高大脑思维、改善记忆力, 可作为天麻中重要的营养成分; 巴利森苷类成分在一定条件下可转化为天麻素和对羟基苯甲醇^[13], 且为《中国药典》2020 年版规定的特征图谱成分, 采用这 5 个内在品质指标评价天麻趁鲜切制方法具有重要意义。建立熵权法和层次分析法对趁鲜切制的天麻饮片质量进行综合评价, 即有依据数据分散程度客观赋权的熵权法, 又有考虑生产实际主观判断指标合理权重配比的层次分析法, 结合 2 种评价方法既减少了主观因素对方案优选的影响, 又扩大了熵权法的利用范围, 有利于对不同加工方式合理科学的排序, 该方法已在防风趁鲜切制质量评价中应用^[16]。本研究结果显示, 天麻趁鲜切制组与传统加工组比较发现, 天麻素、对羟基苯甲醇差异较大, 蒸制 2 次的传统加工 S13 天麻素为 0.55%、对羟基苯甲醇为 0.10%, 蒸制 1 次的趁鲜切制 S6 天麻素为 0.22%、对羟基苯甲醇为 0.10%, 未蒸制的 S10 天麻素为 0.02%、对羟基苯甲醇为 0.40%, 表明蒸制可增加天麻素含量、降低对羟基苯甲醇含量, 这与文献报道结果一致^[13]。已有文献报道蒸煮和酸性条件能使较高分子量的巴利森苷 A、天麻醚苷和 4,4'-二羟基二苄基醚能降解为相对分子质量较小的天麻素、对羟基苯甲醇和其他相对分子质量较低的巴利森苷^[17], 也有文献报道天麻蒸煮可增加天麻素和对羟基苯甲醇含量^[18], 本研究蒸煮使天麻素含量升高, 其原因应该是蒸煮使较高相对分子质量的巴利森苷 A 等成分转化为天麻素; 蒸煮后对羟基苯甲醇降低, 与文献报道亦有相同或相反的结果, 对羟基苯甲醇为天麻的挥发性成分之一^[19], 蒸煮能使巴利

森苷 A 等成分转化为对羟基苯甲醇, 而蒸煮产生高压蒸汽又会使对羟基苯甲醇随水蒸气一起被蒸馏出来, 这与挥发性成分水蒸气蒸馏法提取方法基本一致; 是否某种蒸煮条件转化生成的对羟基苯甲醇大于蒸馏分离, 蒸煮使对羟基苯甲醇增加, 而另一种蒸煮条件转化生成的对羟基苯甲醇小于蒸馏分离, 蒸煮则使对羟基苯甲醇减少, 相关内容还需要进一步研究。

除天麻素和对羟基苯甲醇外, 趁鲜切制与传统加工多糖含量也存在较大差异, 趁鲜切制除 S1、S12 外, 其他组多糖含量均显著高于传统加工 S13, 原因可能有 2 个, 一是传统加工 2 次蒸制增加了高相对分子质量的多糖转化为低相对分子质量的寡糖和游离单糖, 文献亦报道相似结果, 相比趁鲜切制, 传统切制增加了金荞麦多糖向寡糖和游离单糖的转化^[20]; 二是部分多糖易溶于水, 传统加工二次蒸制增加了多糖溶解于水几率, 使多糖流失, 这可能是传统加工多糖低于趁鲜切制的另一重要原因。药理研究发现, 天麻多糖具有抗癌^[21]、抗氧化^[22]、免疫调节^[23]作用, 是天麻发挥药效的重要物质基础。因此, 加工过程中保留多糖至关重要, 本研究发现趁鲜切制 S6 在保留多糖方面占有优势。

不同加工方式天麻饮片色泽存在显著差异。冻干法的天麻饮片总体亮度较高, 色泽偏白, 原因是冻干法在低温条件酶发生钝化, 几乎没有酶和氨基酸引起的褐变现象, 故而保留新鲜天麻固有色泽; 微波干燥法的天麻饮片色泽偏淡黄棕色, 有凸起小泡, 应该是在真空条件下加热, 热量从内部往外扩散, 导致切面淡棕色且微有凸起; 蒸后干燥的天麻饮片切面黄棕色, 原因是酚类物质在酶作用下形成醌类, 醌类物质再自我聚合导致颜色偏黄^[24]; 未蒸制直接烘干和晒干的天麻饮片, 切面淡白色且有未糊化的颗粒。外观性状作为药材及饮片质量评价的重要指标, 但多易受主观因素影响, 已有文献报道 L^* 、 a^* 、 b^* 色度值与内在成分具有显著相关性^[25-27], 不同加工方式天麻饮片颜色和内在成分均存在较大差异, 本研究建立的 L^* 、 a^* 、 b^* 色度值与内在成分存在极显著相关性, 该方法能快速反映天麻饮片质量, 可作为快速判定天麻饮片质量的依据。

近年来, 中药材趁鲜切制得到了国家政策支持, 相关学者和企业的高度关注, 同时诸多药材证明其较传统加工方式具有优势。本研究结果显示, 内在指标综合评分 S6 排名第 2, 与传统加工 S13 最为接

近, S6 饮片性状与传统加工 S13 较为相似, 趁鲜切制 S6 与传统加工 S13 化学成分含量聚为一类, 进一步说明了趁鲜切制 S6 可以代替传统加工, 在保障饮片质量的同时, 省时省力, 节约成本。综上, 天麻趁鲜切制筛选为新鲜块茎, 斜切成 5 mm, 蒸制 20 min, 60 °C 烘干 (烘 12 h, 室温回汗 12 h)。本研究为天麻的趁鲜加工及其质量标准建立提供了重要的参考价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 59-60.
- [2] 徐梦丹, 张雪晶, 刘小康, 等. 基于趁鲜切制与传统切制工艺的人参饮片质量评价分析 [J]. 中草药, 2023, 54(8): 2437-2445.
- [3] 吴红伟, 李东辉, 宋沁洁, 等. 黄芪趁鲜切制饮片与传统饮片化学成分及体外抗氧化活性比较研究 [J]. 中草药, 2022, 53(22): 7039-7047.
- [4] 张雪梅, 张刘伟, 何凯乐, 等. 基于 HPLC 指纹图谱和多指标定量的黄芩趁鲜加工研究 [J]. 中草药, 2021, 52(15): 4552-4560.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 于涵, 张俊, 陈碧清, 等. 天麻化学成分分类及其药理作用研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(17): 5553-5564.
- [8] 郭兰萍, 黄璐琦, 谢晓亮. 道地药材特色栽培及产地加工技术规范 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2016: 210-211.
- [9] 贵州省食品药品监督管理局. 贵州省中药饮片炮制规范 2005 年版 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2005: 42.
- [10] 陈丽雪, 陈昭炯. 基于 Lab 空间的图像检索算法 [J]. 计算机工程, 2008, 34(13): 224-226.
- [11] Ji N, Liu P, Zhang N, *et al.* Comparison on bioactivities and characteristics of polysaccharides from four varieties of *Gastrodia elata* Blume [J]. *Front Chem*, 2022, 10: 956724.
- [12] 张玥, 周雪, 王彩云, 等. 毕节天麻质量评价 [J]. 中成药, 2022, 44(4): 1079-1085.
- [13] Xie Y K, Li X Y, Chen C, *et al.* Effects of steam and water blanching on drying characteristics, water distribution, microstructure, and bioactive components of *Gastrodia elata* [J]. *Plants*, 2023, 12(6): 1372.
- [14] 杨婷, 黄莹莹, 方杨冰, 等. 基于 AHP-熵权法结合正交试验设计优选岭南特色饮片制枳壳的发酵工艺及发酵前后成分对比研究 [J]. 中草药, 2022, 53(20): 6443-6450.
- [15] 王晓丽, 沈哲苑, 李丽萍, 等. 基于正交试验结合基准关联度和 AHP-熵权法优化经典名方黄连汤提取工艺 [J]. 中草药, 2023, 54(15): 4804-4811.
- [16] 于迪. 防风产地加工与炮制一体化研究 [D]. 长春: 长春中医药大学, 2022.
- [17] Li Y, Liu X Q, Liu S S, *et al.* Transformation mechanisms of chemical ingredients in steaming process of *Gastrodia elata* Blume [J]. *Molecules*, 2019, 24(17): 3159.
- [18] 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.
- [19] 熊汝琴, 王锐, 陈顺芳, 等. 不同产地红天麻挥发性成分分析 [J]. 湖北农业科学, 2014, 53(17): 4167-4169.
- [20] 陈芳, 倪丽, 缪兴龙, 等. 趁鲜切制和传统切制金荞麦饮片糖类组分比较研究 [J]. 中草药, 2023, 54(9): 2776-2784.
- [21] Liu X H, Guo X N, Zhan J P, *et al.* The effects of polysaccharide from *Gastrodia elata* Bl. on cell cycle and caspase proteins activity in H₂₂ tumor bearing mice [J]. *Chin J Gerontol*, 2015, 20: 5681-5682.
- [22] Liu J, Mori A. Antioxidant and free radical scavenging activities of *Gastrodia elata* Bl. and *Uncaria rhynchophylla* (Miq.) Jacks [J]. *Neuropharmacology*, 1992, 31(12): 1287-1298.
- [23] Li N, Wang D, Wen X J, *et al.* Effects of polysaccharides from *Gastrodia elata* on the immunomodulatory activity and gut microbiota regulation in cyclophosphamide-treated mice [J]. *J Sci Food Agric*, 2023, 103(7): 3390-3401.
- [24] 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.
- [25] 张爱松, 林敏, 段功豪, 等. 基于多质量参数的菝葜趁鲜切制工艺优选研究 [J]. 中草药, 2023, 54(12): 3834-3841.
- [26] 郑郁清, 郭静英, 康爱圆, 等. 基于色度-化学成分关联的蜜糠炒白芍质量控制研究 [J]. 中草药, 2023, 54(2): 534-543.
- [27] 郭静英, 易海燕, 郑郁清, 等. 基于“辨色论质”的百合制桔梗质量控制研究 [J]. 中草药, 2023, 54(1): 72-80.

[责任编辑 郑礼胜]