

# 不同干燥方法对栽培川贝母外观性状及内在质量的影响

李巧<sup>1</sup>,种叶敏<sup>1</sup>,陈颖馨<sup>1</sup>,蔡晓洋<sup>1</sup>,李敏<sup>1\*</sup>,黄勇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>成都中医药大学药学院 省部共建西南特色中药资源国家重点实验室,成都 611137;

<sup>2</sup>四川绿林川贝母种植有限公司,凉山彝族自治州 615000

**摘要:**以栽培川贝母为研究对象,探究不同干燥方法对药材的外观性状及内在质量的影响,通过直观分析法并结合聚类分析、主成分分析进行综合评价。结果表明,传统晒干,外观性状较优,表面颜色偏白,断面粉性足,有效成分含量较高,但干燥耗时长,易受环境影响;热风干燥,干燥速率增加,耗时大幅度缩短,其中50~55℃温度干燥时与晒干法外观性状相似,除淀粉含量稍有降低外,浸出物、总生物碱含量均有所升高,而杀青处理与60℃处理,断面粉性减弱,角质化程度增加,并促进淀粉分解,淀粉含量相较于传统晒干法分别降低了33.6%、26.25%。冷冻干燥药材表面颜色类白色,内部质地疏松多孔,质地变轻,总生物碱、淀粉含量最高(分别为0.191%、70.37%)。综合分析可知,50~55℃热风干燥法优于传统晒干,可在栽培川贝母的产地加工中推广应用;冷冻干燥有效成分含量高,可用于药效成分提取。

**关键词:**川贝母;干燥方法;外观性状;内在质量;聚类分析;主成分分析

中图分类号:R282.4

文献标识码:A

文章编号:1001-6880(2022)6-0916-09

DOI:10.16333/j.1001-6880.2022.6.002

## Appearance characters and internal quality of cultivated *Fritillaria cirrhosa* D. Don under different drying methods

LI Qiao<sup>1</sup>, CHONG Ye-min<sup>1</sup>, CHEN Ying-xin<sup>1</sup>, CAI Xiao-yang<sup>1</sup>, LI Min<sup>1\*</sup>, HUANG Yong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>State Key Laboratory of Southwestern Chinese Medicine Resources, College of Pharmacy, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 611137, China; <sup>2</sup>Sichuan Lulin *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* Planting Co., Ltd., Liangshan Yi Autonomous Prefecture 615000, China

**Abstract:** To investigate the effects of different drying methods on the appearance and internal quality of cultivated *Fritillaria cirrhosa* D. Don (CFC) by using intuitive analysis, cluster analysis (HCA) and principal component analysis (PCA). Results indicated that traditional sun-dried CFC has better appearance, white surface color, enough cross section mealiness, and high content of effective ingredients, but the drying rate was slow and vulnerable to the environment impact, while the drying rate of hot air drying was faster and the time was shortened. When the temperature was 50-55℃, the appearance of CFC was similar to that of the sun drying method, except for the content of total starch, the extract and total alkaloids all increased. However, in the fixation treatment and the 60℃ treatment, the cross section mealiness was weakened, degree of keratinization was increased, which also promoted the decomposition of starch, the starch content was reduced by 33.6% and 26.25% compared with the traditional drying method. The surface color of freeze-dried medicinal material was off-white, and the internal texture was loose and porous, and the texture became lighter, the content of total alkaloids and total starch was highest (0.191% and 70.37%, respectively). Comprehensive analysis showed that 50-55℃ hot air drying method are better than sun drying method, and can be popularized and applied in the processing of CFC in production place; in the freeze-drying method, the content of active ingredients is high, and it can be used for extraction of medicinal effective ingredients.

**Key words:** cultivated *Fritillaria cirrhosa* D. Don; drying methods; external appearance; internal quality; HCA; PCA

收稿日期:2022-01-10 接受日期:2022-03-17

基金项目:四川省科技厅重点研发项目(2020YFS0303);成都中医药大学“杏林学者”学科人才科研提升计划(CXTD2018016)

\*通信作者 Tel:86-28-61800237;E-mail:028limin@163.com

川贝母 *Fritillaria cirrhosa* D. Don, 又称卷叶贝母, 为川贝母药材的来源之一, 具有清热润肺, 化痰止咳, 散结消痈的功效<sup>[1]</sup>, 主要含有生物碱类、核苷类成分<sup>[2]</sup>, 同时淀粉占整个贝母总生物量 70% ~ 80%<sup>[3]</sup>。喜生长于海拔 3 200 ~ 4 600 m 的高山灌丛草甸地带, 土壤比较湿润的向阳草坡, 主要分布于四川、西藏、云南等地<sup>[4,5]</sup>, 商品药材主要以野生资源为主。但由于川贝母对生长环境要求苛刻、生物学产量低, 加之过度采挖, 川贝母基原植物的野生资源量急剧下降, 国家重点保护野生植物名录(2021 年公布)已将其纳入二级保护野生植物。目前川贝母产业化栽培快速发展, 其相关栽培技术已有较多研究且日益成熟<sup>[6,7]</sup>, 将逐步实现川贝母药材生产以及药用, 减缓野生资源减少带来药材供不应求的市场压力。产地加工是川贝母药材生产及质量形成的源头, 是川贝母药材生产与品质形成的重要环节。目前川贝母的产地初加工方法普遍采用晒干和烘干等传统方法<sup>[8-10]</sup>, 具有规模小散、技术装备落后、干燥周期长、干燥过程难控等问题。随着川贝母栽培规模的扩大, 栽培品将逐渐走向市场, 传统加工方法已无法满足栽培品的生产, 因此研究栽培川贝母新的加工工艺成为行业迫切需要解决的问题。

近年来, 中药生产过程工业化程度不断提升, 现代干燥技术逐渐被引入中药产地加工并进行推广, 如三七<sup>[11]</sup>、人参<sup>[12]</sup>、当归<sup>[13]</sup>等, 使其产地加工干燥速率提升的同时, 品质也得到保障<sup>[14]</sup>。而贝母类药材中, 仅浙贝母有相关的研究报告<sup>[15,16]</sup>, 在川贝母中尚无研究及应用。因此, 基于上述问题, 本实验通过比较传统晒干、热风干燥、真空干燥、真空冷冻干燥对川贝母药材的外观性状和内在质量的综合影响, 通过多指标对不同干燥方法川贝母的质量进行评价, 同时以聚类分析、主成分分析等方法进行综合

质量评价, 以期对栽培川贝母产地干燥加工新技术的引进与推广提供理论参考依据。

## 1 仪器与材料

### 1.1 仪器

DHG-9070B 电热鼓风干燥箱(上海琅玕实验设备有限公司); DAF-6050 真空干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司); FDU-2110 真空冷冻干燥器(东京理化器械株式会社); Nikon SMZ745 体视显微镜(日本尼康公司); CR-400 色彩色差计(日本美能达公司); A580 紫外可见光光度计(上海翱艺仪器有限公司); Varioskan LUX 多功能酶标仪(赛默飞世尔科技(中国)有限公司); DFD-700 电子恒温水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司)。

### 1.2 试剂与材料

对照品: 西贝母碱(批号: wkq19051302, 四川省维克奇生物科技有限公司, 纯度 $\geq 98\%$ ); BC0705 淀粉含量检测试剂盒(批号: 20220107, 北京索莱宝科技有限公司)。

乙醇、三氯甲烷、溴甲酚绿、磷酸二氢钾、氢氧化钠为分析纯; 乙腈、甲醇、冰醋酸为色谱纯; 水为超纯水。

供试栽培川贝母为 4 ~ 5 年生植株, 采挖自四川绿林川贝母种植有限公司生产基地, 经成都中医药大学李敏教授鉴定为百合科川贝母 *Fritillaria cirrhosa* D. Don 的鳞茎。挑选无腐烂、无损伤、直径 1.0 ~ 1.5 cm 的鲜鳞茎作为试验样品。

## 2 方法

### 2.1 处理方法

试验设置 4 种干燥方法, 即自然晒干、热风干燥、真空干燥、冷冻干燥, 重复 3 次。除 T3 处理不清洗外, 其余干燥前处理需去掉泥土及须根, 清水洗净后, 沥干水分。不同干燥处理的流程与参数见表 1。

表 1 干燥处理方法及参数  
Table 1 Drying methods and parameters

编号 No.	干燥方法 Drying method	具体操作 Specific operation	干燥总时间 Total time of drying (h)
T1	自然晒干	装入竹筛, 置于日光下曝晒, 晚上及雨天放入通风大棚内, 待表面出现粉白色时, 可轻轻翻动, 直至晒干	228
T2	热风干燥	取样品于 105 °C 杀青 15 min 后, 设定风速 0.5 m/s, 温度 50 °C 干燥至干	30
T3	热风干燥	取新鲜鳞茎, 除去须根及多量泥土, 设定风速 0.5 m/s, 温度 50 °C 干燥至干	31.5
T4	热风干燥	设定风速 0.5 m/s, 温度 50 °C 干燥至干	35
T5	热风干燥	设定风速 0.5 m/s, 温度 55 °C 干燥至干	30

续表 1 (Continued Tab. 1)

编号 No.	干燥方法 Drying method	具体操作 Specific operation	干燥总时间 Total time of drying(h)
T6	热风干燥	设定风速 0.5 m/s, 温度 60 °C 干燥至干	28
T7	真空干燥	置于真空干燥箱内, 于 50 °C, 真空度 -25 kPa 干燥至干	32
T8	冷冻干燥	先于 -80 °C 预冷冻 10 h, 再真空冷冻干燥 (冷温度 -50 °C, 真空度 20 pa) 干燥 48 h	58

## 2.2 评价方法

### 2.2.1 外观形态观测

按照生药学常规性状鉴定方法, 观察干燥后药材的形状、颜色、质地、气味等性状。然后通过体视显微镜进行药材表皮及断面观察并局部放大拍照。同时参照 2020 年版《中国药典》川贝母项下对表面及断面特征进行客观量化评分, 表面“类白色”得 9~10 分, “类白色或浅黄色”得 6~8 分, “浅黄色或黄色”得 3~5 分, “黄色或棕黄色”得 0~2 分; 断面“白色, 富粉性”得 9~10 分, “白色, 具粉性”得 6~8 分, “浅黄色, 粉性差”得 3~5 分, “浅黄色, 呈角质”得 0~2 分。

### 2.2.2 色度测量方法

参照文献方法进行测定<sup>[17]</sup>, 采用色度计对样品粉末进行客观、量化分析, 为不同干燥方法川贝母药材的色差提供客观数据, 每个样品重复测定 3 次, 取平均值。

### 2.2.3 水分和浸出物测定

水分参照 2020 年版《中国药典》第一部川贝母项下方法测定, 浸出物参照 2020 年版《中国药典》第一部川贝母项下方法测定, 用稀乙醇做溶剂。

### 2.2.4 总生物碱含量测定

参照 2020 年版《中国药典》第一部川贝母项下紫外-可见分光光度法测定。

#### 2.2.4.1 供试品制备

精密称取样品粉末 (过 3 号筛) 2 g, 置具塞锥形瓶中, 加浓氨试液 3 mL, 浸润 1 h, 加三氯甲烷-甲醇 (4:1) 混合溶液 40 mL, 置 80 °C 水浴加热回流 2 h, 放冷, 滤过, 滤液置 50 mL 量瓶中, 用适量三氯甲烷-甲醇 (4:1) 混合溶液洗涤药渣 2~3 次, 洗液并入同一量瓶中, 加三氯甲烷-甲醇 (4:1) 混合溶液至刻度, 摇匀, 即得供试品溶液。

#### 2.2.4.2 线性关系考察

精密称取西贝母碱对照品 2.0 mg, 加三氯甲烷溶解并定容至 10 mL, 配制成 0.2 mg/mL 的对照品溶液。再分别精密量取对照品溶液 0.1、0.2、0.4、

0.6、1.0 mL, 置 25 mL 具塞试管中, 分别补加三氯甲烷至 10.0 mL, 精密加水 5 mL, 再精密加 0.05% 溴甲酚绿缓冲液 2 mL, 密塞, 剧烈振摇 1 min, 转移至分液漏斗中, 放置 30 min。取三氯甲烷液, 用干燥滤纸滤过, 取续滤液, 以相应的试剂为空白, 照紫外-可见分光光度法 (通则 0401), 在 415 nm 的波长处测定吸光度, 以吸光度为纵坐标 (Y), 浓度为横坐标 (X), 进行线性回归, 得回归方程:  $Y = 2.774X - 0.0241$ ,  $r^2 = 0.9995$ , 线性范围为 0.022~0.221 mg/mL。

吸取供试品溶液 2~5 mL, 按相同方法进行显色, 并测定吸光值, 将样品吸光值代入回归方程计算, 即得样品中总生物碱含量。

### 2.2.5 淀粉含量测定 (微量法)

#### 2.2.5.1 测定原理

利用 80% 乙醇将川贝母中可溶性糖与淀粉分开, 采用酸水分解法分解淀粉为葡萄糖, 采用蒽酮比色法测定葡萄糖含量, 计算淀粉含量。

#### 2.2.5.2 供试品制备

精密称定川贝母药材粉末 5 mg, 加入 1 mL 淀粉含量检测试剂盒 (BC0705) 中的试剂一, 80 °C 水浴提取 30 min, 常温离心 5 min (3 000 g), 弃上清液, 留沉淀, 再加入 0.5 mL 双蒸水, 沸水浴糊化 15 min, 取出冷却, 加入上述试剂盒中的试剂二 1 mL, 沸水浴提取 15 min, 振荡 3~5 次, 冷却后, 常温离心 15 min (8 000 g), 取上清液, 稀释 50 倍, 待测。

#### 2.2.5.3 线性关系考察

稀释葡萄糖标准液得到 0.4、0.2、0.1、0.05、0.04、0.03、0.02、0.01 mg/mL 标准液, 各吸取 50  $\mu$ L, 以蒸馏水做空白, 加入 250  $\mu$ L 试剂盒中的工作液至 EP 管, 95 °C 水浴 10 min。自然冷却至室温, 在 620 nm 波长下测定吸光度, 计算  $\Delta A = A_{\text{标准}} - A_{\text{空白}}$ 。以浓度 (X) 为横坐标,  $\Delta A$  为纵坐标绘制标准曲线, 得到线性回归方程  $Y = 3.0944X - 0.0106$ ,  $r^2 = 0.9991$ , 线性范围为 0.008~0.7 mg/mL。

吸取供试品 50  $\mu$ L, 按相同方法进行显色, 并测

定吸光值,将样品吸光值代入回归方程计算,即得样品中总淀粉含量。

#### 2.2.5.4 淀粉含量的计算

淀粉含量计算公式为:淀粉含量 =  $X \times V \div W \div 1.11 \times F \div 1\ 000 \times 100\%$ 。

其中  $X$  为线性回归方程计算所得浓度;  $V$  为提取后体积, 1.5 mL;  $W$  为称样量(g);  $F$  为稀释倍数; 1.11 是此法测得葡萄糖含量换算为淀粉含量的常数,即 111  $\mu\text{g}$  葡萄糖用蒽酮试剂显色相当于 100  $\mu\text{g}$  淀粉用蒽酮试剂显色的颜色。

### 2.3 数据处理

试验数据应用 Excel 2019 进行整理计算,采用 SPSS 25.0 软件对数据进行 ANOVA 分析(SNK),采用 Origin 2022 软件对数据进行聚类及相关性分析并作

图,采用 SIMCA 14.1 软件进行数据主成分分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同干燥方法对栽培川贝母药材外观性状的影响

不同干燥方法对栽培川贝母药材的外观性状的影响,见表 2 及图 1。真空冷冻干燥药材保持了川贝母鲜鳞茎的原有色泽性状,表面颜色类白色,表皮易脱落,断面质地松泡多孔,富粉性,气微,苦味明显。热风干燥、真空干燥 2 种处理下的药材外观性状差异较小,其表面呈浅黄色或棕黄色,且随着温度的增加其颜色加深,同时断面特征明显可见部分淀粉已变性,转化为角质团块;相同温度下,经 105  $^{\circ}\text{C}$  杀青处理后,其表面颜色为棕黄色,断面呈角质状,改变了粉性的特征,与传统记载川贝母药材差异明

表 2 不同干燥方法处理后川贝母药材的性状特征

Table 2 Characteristics of medicinal materials from CFC treated with different drying methods

编号 No.	表面特征 Surface character	表面得分 Surface point	断面特征 Cut surface character	断面得分 Cut surface point
T1	表面类白色或浅黄色,皱缩,略粗糙	7	质硬而脆,断面白色,富粉性	9
T2	表面棕黄色,粗糙	1	质硬而脆,断面浅黄色,呈角质	1
T3	表面浅棕黄色,略粗糙	5	质硬而脆,断面白色,具粉性	7
T4	表面类白色或浅黄色,略粗糙	7	质硬而脆,断面白色,具粉性	6
T5	表面浅黄色,略粗糙	5	质硬而脆,断面白色,具粉性	5
T6	表面偏黄色,略粗糙	2	质硬而脆,断面白色,粉性较差,部分具有角质化	3
T7	表面浅黄色,略粗糙	5	质硬而脆,断面白色,粉性	6
T8	表面类白色,表皮易脱落	9	质地松泡,断面白色,富粉性	9

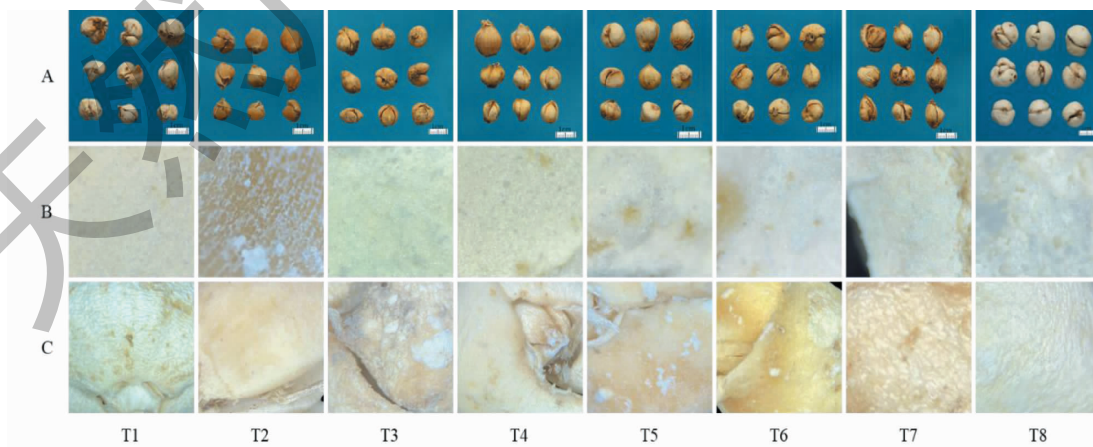


图 1 不同干燥方法栽培川贝母药材外观性状

Fig. 1 Appearances of medicinal materials from CFC under different drying methods

注:A-药材图;B-表面特征;C-断面特征。Note:A-Herbs figure;B-Surface character;C-Cut surface character.

显,同时未水洗处理相较于水洗后干燥组,表面呈泥土色,体视显微镜下表皮可见明显的泥土。晒干为传统的干燥方法,加工后性状药材表面颜色为类白色,断面粉性足,但由于栽培品含水量相较于野生品高,其干燥耗时长,部分表面氧化呈现黄色斑点。

表3 不同干燥方法川贝母药材粉末颜色测定值( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

Table 3 Color determination of medicinal materials from CFC treated with different drying methods( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

编号 No.	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E^*_{ab}$
T1	50.32 ± 0.04 <sup>b</sup>	0.54 ± 0.01 <sup>b</sup>	9.32 ± 0.01 <sup>b</sup>	-	-	-	-
T2	47.40 ± 0.10 <sup>g</sup>	0.13 ± 0.01 <sup>d</sup>	8.55 ± 0.01 <sup>d</sup>	-2.92 ± 0.10 <sup>h</sup>	-0.41 ± 0.01 <sup>c</sup>	-0.78 ± 0.01 <sup>c</sup>	4.65 ± 0.28 <sup>b</sup>
T3	48.90 ± 0.26 <sup>e</sup>	0.03 ± 0.01 <sup>e</sup>	8.08 ± 0.00 <sup>g</sup>	-1.42 ± 0.26 <sup>d</sup>	-0.51 ± 0.01 <sup>d</sup>	-1.24 ± 0.00 <sup>f</sup>	1.93 ± 0.35 <sup>c</sup>
T4	49.65 ± 0.01 <sup>c</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>c</sup>	8.81 ± 0.01 <sup>c</sup>	-0.67 ± 0.01 <sup>b</sup>	-0.20 ± 0.01 <sup>b</sup>	-0.51 ± 0.01 <sup>b</sup>	0.37 ± 0.00 <sup>e</sup>
T5	48.83 ± 0.10 <sup>f</sup>	-0.02 ± 0.01 <sup>f</sup>	8.15 ± 0.01 <sup>f</sup>	-1.49 ± 0.10 <sup>e</sup>	-0.56 ± 0.01 <sup>e</sup>	-1.18 ± 0.01 <sup>e</sup>	1.96 ± 0.15 <sup>c</sup>
T6	49.36 ± 0.29 <sup>d</sup>	-0.07 ± 0.02 <sup>g</sup>	8.18 ± 0.01 <sup>e</sup>	-0.96 ± 0.29 <sup>c</sup>	-0.61 ± 0.02 <sup>f</sup>	-1.14 ± 0.01 <sup>d</sup>	1.32 ± 0.30 <sup>d</sup>
T7	47.14 ± 0.13 <sup>g</sup>	1.31 ± 0.01 <sup>a</sup>	9.95 ± 0.02 <sup>a</sup>	-3.18 ± 0.13 <sup>g</sup>	0.77 ± 0.01 <sup>a</sup>	0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	5.57 ± 0.42 <sup>a</sup>
T8	51.57 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.29 ± 0.01 <sup>h</sup>	6.29 ± 0.01 <sup>h</sup>	1.25 ± 0.02 <sup>a</sup>	-0.83 ± 0.01 <sup>g</sup>	-3.03 ± 0.01 <sup>g</sup>	5.70 ± 0.04 <sup>a</sup>

注: $L^*$ 为颜色的明度, $a^*$ 为红色到绿色, $b^*$ 为黄色到蓝色, $\Delta L^*$ 为正说明样品偏白, $\Delta a^*$ 为正说明样品偏红, $\Delta b^*$ 为正说明样品偏黄, $\Delta E^*_{ab}$ 为色差综合评定指标(以T1自然晒干为标准);同一列内不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),后同。

Note: $L^*$  is the brightness of color,  $a^*$  is red to green,  $b^*$  is yellow to blue,  $\Delta L^*$  is positive indicating that the sample is white,  $\Delta a^*$  is positive indicating that the sample is red,  $\Delta b^*$  is positive indicating that the sample is yellow,  $\Delta E^*_{ab}$  is the comprehensive evaluation index of color difference (Sample T1 as reference). Same lowercase letters within the different lowercase letters indicate significant differences ( $P < 0.05$ ), the following table shows the same.

### 3.2 不同干燥方法对栽培川贝母折干率及各成分的影响

由结果可见,不同干燥方法处理后川贝母药材折干率及各成分含量具有一定差异(见表4)。晒干处理耗时长、干燥速率慢,药材折干率显著提高( $P < 0.05$ );热风干燥、真空干燥、冷冻干燥可不同程度减少干燥耗时,提高干燥速率,但折干率稍有下降。不同处理组浸出物在22.18%~24.67%之间,符合《中国药典》2020年版川贝母项下规定最低限量(9.0%),其中T2浸出物显著增加( $P < 0.05$ ),因杀青时高温促使药材中淀粉溶胀、分裂,经糊化后

同时,色差仪测定粉末色差值结果见表3,测定结果中明亮度( $L$ )值越大,颜色越白<sup>[18]</sup>。与肉眼观察结果基本一致,除冷冻干燥外,其余组粉末颜色的 $L$ 值普遍低于传统晒干组,但以T4处理与传统晒干 $\Delta E$ 最小,粉末颜色值与传统晒干组最接近。

其淀粉分子间氢键断裂,更易溶解于水中,同理其淀粉含量最低。与其他处理相比,冷冻干燥总生物碱、总淀粉含量均有不同程度的提高,其中相较于传统晒干T1分别提高了38.40%、12.38%( $P < 0.05$ )。不同温度处理下,各成分含量呈现出随着温度的升高而逐渐降低的趋势,以T4处理下最高( $P < 0.05$ ),说明高温下其总生物碱会进行分解,同时加剧了鲜药材干燥过程中的呼吸作用,加剧了内部淀粉与糖分的分解,使得总淀粉含量降低。此外,比较T3、T4可知,栽培川贝母经水洗后,其浸出物、总生物碱显著增加( $P < 0.05$ ),总淀粉含量无显著性变化( $P > 0.05$ )。

表4 栽培川贝母折干率、水分、浸出物、总生物碱、总淀粉的含量( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

Table 4 Drying rate, moisture, extract, total alkaloid content, total starch content of medicinal materials from CFC under different drying methods( $\bar{x} \pm s, n = 3$ )

编号 No.	折干率 Drying rate (%)	水分 Moisture (%)	浸出物 Extract (%)	总生物碱 Total alkaloid (%)	总淀粉 Total starch (%)
T1	30.01 ± 0.43 <sup>a</sup>	14.81 ± 0.43 <sup>a</sup>	23.87 ± 0.09 <sup>b</sup>	0.138 ± 0.002 <sup>d</sup>	62.62 ± 1.98 <sup>b</sup>
T2	28.65 ± 0.00 <sup>b</sup>	9.57 ± 0.33 <sup>c</sup>	24.67 ± 0.25 <sup>a</sup>	0.160 ± 0.004 <sup>b</sup>	41.55 ± 1.01 <sup>g</sup>
T3	28.36 ± 0.25 <sup>b</sup>	9.83 ± 0.07 <sup>c</sup>	23.23 ± 0.63 <sup>c</sup>	0.140 ± 0.003 <sup>d</sup>	58.95 ± 1.78 <sup>cd</sup>

续表 4 (Continued Tab. 4)

编号 No.	折干率 Drying rate (%)	水分 Moisture (%)	浸出物 Extract (%)	总生物碱 Total alkaloid (%)	总淀粉 Total starch (%)
T4	28.45 ± 0.09 <sup>b</sup>	10.31 ± 0.02 <sup>b</sup>	23.65 ± 0.11 <sup>b</sup>	0.148 ± 0.002 <sup>e</sup>	60.72 ± 1.75 <sup>bc</sup>
T5	28.34 ± 0.22 <sup>b</sup>	9.61 ± 0.17 <sup>c</sup>	22.18 ± 0.11 <sup>c</sup>	0.141 ± 0.002 <sup>d</sup>	57.57 ± 1.49 <sup>d</sup>
T6	28.18 ± 0.27 <sup>b</sup>	9.60 ± 0.17 <sup>c</sup>	23.88 ± 0.23 <sup>b</sup>	0.132 ± 0.001 <sup>e</sup>	46.18 ± 0.79 <sup>f</sup>
T7	28.45 ± 0.40 <sup>b</sup>	10.01 ± 0.04 <sup>bc</sup>	23.91 ± 0.21 <sup>b</sup>	0.160 ± 0.001 <sup>b</sup>	52.15 ± 1.37 <sup>e</sup>
T8	26.79 ± 0.09 <sup>c</sup>	3.56 ± 0.11 <sup>d</sup>	23.76 ± 0.20 <sup>b</sup>	0.191 ± 0.002 <sup>a</sup>	70.37 ± 1.89 <sup>a</sup>

注:以上各成分含量均以干燥品计算。

Note: The contents of the above components are calculated as dry products.

### 3.3 聚类分析(HCA)

聚类分析(HCA)使用 Origin 2022 软件,以上述各指标为变量,采用组间联接法,以欧氏距离平方(SED)为测度,采用系统聚类分析法对 8 批栽培川贝母药材进行模式识别分析,结果见图 2 所示。8 批不同干燥方法川贝母被分为 4 类,T1、T3、T4、T5 为一类、T2、T6 为一类、T7、T8 分别单独为一类。因

此可知,采用聚类分析可将冻干处理组、真空干燥组与传统晒干很明显区分,而热风干燥组中 50~55 °C 与传统干燥外观性状与内在质量相似,被聚为一类,但是热风干燥组中 T2、T6 由于均经高温处理,其淀粉易糊化,导致质地偏角质化,与传统质地粉性不符,因此被单独归为一类。可见,聚类分析法既能反应 8 种干燥方法的相似性,又能反映差异。

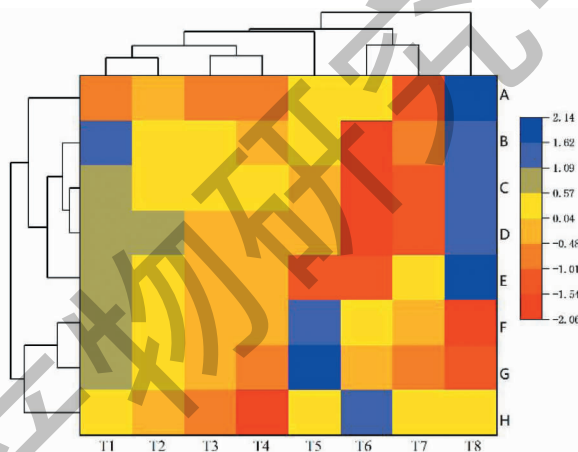


图 2 系统聚类热图

Fig. 2 Dendrogram for the systematic clustering

注:A-总生物碱;B-断面得分;C-淀粉含量;D-表面得分;E- $L^*$ ;F- $b^*$ ;G- $a^*$ ;H-浸出物。Note: A-Total alkaloid; B-Cut surface points; C-Total starch; D-Surface points; E- $L^*$ ; F- $b^*$ ; G- $a^*$ ; H-Extract.

### 3.4 主成分分析(PCA)

为进一步评价不同干燥方法对川贝母质量的影响,对已测定的浸出物、总生物碱含量、总淀粉含量、颜色值  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  以及表面、断面得分为变量导入 SIMCA14.1 软件,采用无监督模式识别法 PCA 进行分析,前 3 个主成分的特征值均 > 1,累计方差贡献率达 90.5% (见表 5)。因此提取前 3 个主成分分析较为合适。因子载荷矩阵结果见表 6,主成分 1 主要反映淀粉、 $L^*$ 、 $b^*$ 、表面得分、断面得分的信息(载荷因子绝对值 > 0.5),同理,主成分 2 主要反映  $a^*$ 、 $b^*$ 、断面得分的信息,主成分 3 主要反映浸出物、总

生物碱的信息。同时生成 8 批栽培川贝母的 PCA 得分图(见图 3)。结果显示,8 批药材基本可分为 4 组,冷冻干燥(T8)聚为一组,而热风干燥中杀青处理组(T2)与 60 °C 干燥组(T6)聚为一组,真空干燥(T7)聚为一组,晒干、与剩余热风干燥处理组聚为一组,与聚类分析结果趋势基本一致。

### 3.5 药材粉末颜色与有效成分含量之间相关性分析

将测定浸出物、总生物碱、总淀粉含量与颜色指标值  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  相关联,用 Origin 2022 软件作相关性分析,结果显示浸出物与颜色值  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  无显

表5 主成分特征值及方差贡献率

Table 5 Principal component eigenvalue and variance contribution rate

主成分编号 Principal component number	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)
1	3.400	48.5	48.5
2	1.61	23.1	71.6
3	1.33	19.0	90.5

表6 主成分因子载荷矩阵

Table 6 Factor load matrix

测定指标 Index	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3
浸出物	-0.353	-0.076	0.816
总生物碱	0.444	-0.154	0.774
淀粉	0.953	0.290	-0.034
$L^*$	0.897	-0.142	-0.020
$a^*$	-0.432	0.854	0.243
$b^*$	-0.664	0.724	-0.062
表面得分	0.928	0.336	0.048
断面得分	0.820	0.526	0.016

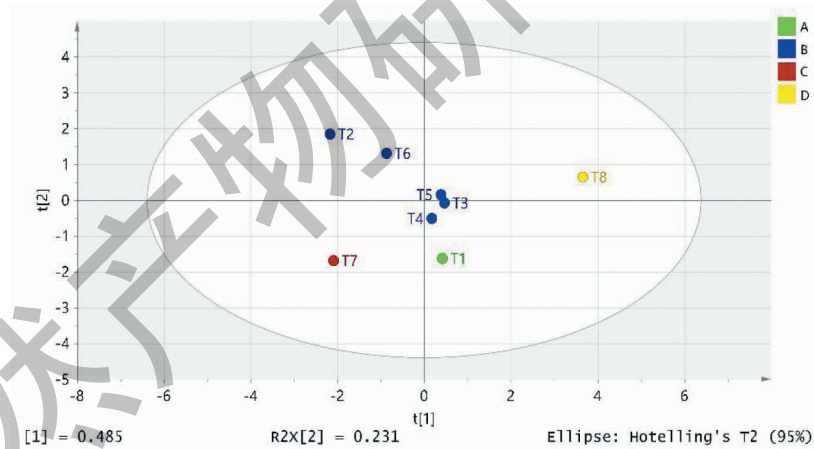


图3 不同干燥方法川贝母 PCA 得分图

Fig. 3 PCA scores scatter plot of 8 batches of medicinal materials from CFC under different drying methods

显著性相关,总生物碱与颜色值  $b^*$ 、表面得分的相关系数分别为-0.50、0.43,双尾检验的概率为  $P < 0.05$ ,说明总生物碱与颜色值指标  $b^*$  有显著性负相关,与表面得分呈显著性正相关,说明  $b^*$  越大,总生物碱含量越低,表面得分越高,总生物碱含量越高。同理,淀粉含量与颜色值  $L^*$ 、 $b^*$ 、表面及断面得分的相关系数为 0.79、-0.42、0.97、0.92,双尾检验的概率分别为  $P < 0.001$ 、 $P < 0.05$ 、 $P < 0.001$ 、 $P < 0.001$ ,说明总淀粉含量与颜色值  $L^*$ 、表面断面得分

成极显著的正相关,与颜色值  $b^*$  呈负相关,说明  $L^*$ 、表面得分、断面得分越大,总淀粉含量越高; $b^*$  越大,总淀粉含量越低(见图4)。

#### 4 讨论和结论

产地初加工是影响川贝母药材生产及品质的重要过程,川贝母本身性质特殊,干燥难度大,难控制,在干燥过程中易产生油子、黄子等<sup>[19]</sup>,加之栽培品鳞茎个头较大且外观形状、质地有一定的变化,药材性状更难掌控,容易出现表面颜色偏黄、粗糙,粉性

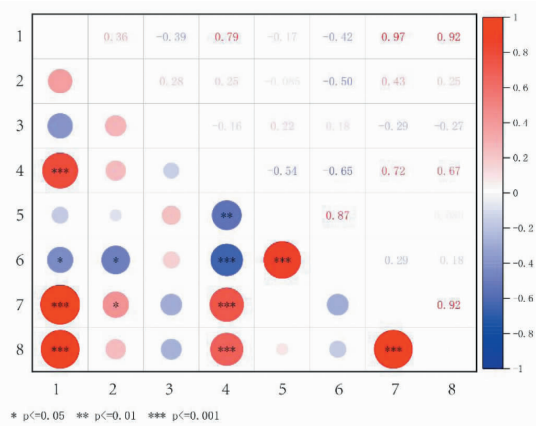


图4 相关性分析图

Fig. 4 Correlation analysis diagram

注:1-总淀粉;2-总生物碱;3-浸出物;4- $L^*$ ;5- $a^*$ ;6- $b^*$ ;7-表面得分;8-断面得分。Note:1-Total starch;2-Total alkaloid;3-Extract;4- $L^*$ ;5- $a^*$ ;6- $b^*$ ;7-Surface points;8-Cut surface points.

不足等问题。而目前川贝母药材干燥方法仍主要是比较传统的晒干法,对于栽培川贝母产业的快速发展具有一定局限性,如何在尽可能保持药材性状佳、成分含量高的同时,简便高效地进行干燥是亟待解决的问题。本次试验比较了川贝母产区较为普遍的传统晒干方法和现代新引进的热风干燥技术、真空干燥技术、真空冷冻干燥技术对其外观性状及内在质量的影响,结果显示传统干燥方法虽在性状上具有一定优势,但其易受环境影响同时耗时长,生物碱类成分易损失,而冷冻干燥法能较好地保持药材的外观性状,淀粉含量、总生物碱含量均最高,原因可能是由于冷冻干燥避免了高温常压蒸发对干燥物质产生的氧化、分解现象,能较大程度地保持药材原有的营养成分和较高的有效成分<sup>[20,21]</sup>;热风干燥(50~55℃)在提高干燥速率、缩短干燥时间,同时可较好地保持外观性状以及减少有效成分损失,但高温105℃杀青或60℃较高温度干燥的药材,其淀粉颗粒发生糊化,质地易由粉性变化为角质,同时使生物碱类物质损失加快,淀粉加速分解为糖类物质,此种干燥方法虽快,但对其外观形状及有效成分影响显著,故不适合栽培川贝母的干燥,可见温度是引起药材理化性质和生物活性改变的关键<sup>[22]</sup>。

中药材经验鉴别为“辨状论质”,现代研究均表明中药材性状是判断其品质评价的重要指标<sup>[23]</sup>,如安息香表面黄白色至黄棕色、断面象牙白时其有效成分苯甲酸等含有量较高<sup>[24]</sup>。而传统认知,贝母“以鳞茎完整、均匀、色白,有粉性者为佳”<sup>[25]</sup>,但缺乏定量检测的方法,故本研究引入色度分析原理以

及淀粉含量对川贝母药材的颜色、粉性进行了客观量化,结果表明川贝母药材偏白,其总生碱含量及淀粉含量相对较高。但由于本次实验干燥样品数量有限以及分析化学成分种类不够全面,因此在预测色差值与有效成分相关性仍需建立更全面的多指标综合评价方法以及收集大量样品进行验证。

综上所述,干燥方法是影响药材外观性状及内在质量的重要因素。传统晒干在栽培川贝母的产地加工中具有一定局限性,仅适用于较小的鳞茎且保证阳光充足的情况。热风干燥方法所得药材在外观或质量上与传统晒干最为类似,在一定程度上保证药材外观性状的基础上,不仅能减少有效成分的损失,并且能提高干燥效率,减少干燥时间,为规模化生产节约时间成本,建议在生产上采用50~55℃热风干燥作为产地干燥方法。同时冷冻干燥因能较大程度地保留有效成分,因此以提取贝母有效成分为目的时,可采用此方法进行干燥,但冷冻干燥药材质地松泡,断面空隙大且多,在后期包装与贮藏中应该注意特殊管理,避免受潮。

#### 参考文献

- 1 Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China: Vol I (中华人民共和国药典:第一部)[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020, 38.
- 2 Cui ZJ, Ma YZ, Zhang XR, et al. Research progress on chemical components and pharmacological effects and predictive analysis on quality markers of *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* [J]. Chin Tradit Herb Drugs (中草药), 2021, 52: 2768-



- 2784.
- 3 Wang SJ, Gao WY, Yu JL, et al. An application of thermal properties of starch to the identification of the Chinese medicinal material from *Fritillaria* [J]. *Chin Pharm J* (中国药 学杂志), 2007, 42: 1617-1620.
  - 4 Ma YZ, Cui ZJ, Zhang XR, et al. Research progress on re- sources and identification of *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* [J/ OL]. *World Chin Med* (世界中医药), 2021; 1-17 [2021-09- 08]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5529.R.20210908.1705.009.html>.
  - 5 Peng C. *Genuine Medicinal Materials of China* (中华道地药 材) [M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medi- cine, 2011: 710.
  - 6 Li LH, Ye BG, Gong PZ, et al. Effects of different fertilization methods on yield and quality of *Fritillaria cirrhosa* [J]. *West China J Pharm Sci* (华西药学杂志), 2019, 34: 168-171.
  - 7 Ding DD, Yu Q, Wang XR, et al. Pollution-free emulational eultivation system of *Fritillaria cirrhosa* D. Don [J]. *Mod Tradit Chin Med Mater Med World Sci Technol* (世界科学技 术-中医药现代化), 2019, 21: 775-783.
  - 8 LI Q, Wang M, Wang ZY, et al. Harvesting and primary pro- cessing in *Fritillaria* medicinal materials: a review [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form* (中国实验方剂学杂志), 2022, 28 (13): 269-276.
  - 9 Kuang CY, Zhong SL, Li SX, et al. Comparison of three dif- ferent processed effective components of *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2000, 31: 590-591.
  - 10 Liu H. Study on appropriate producing area analysis of *Fritil- lariae Cirrhosae Bulbus* and harvesting and processing meth- od based on component analysis [D]. Chengdu: Chengdu U- niversity of Traditional Chinese Medicine (成都中医药大 学), 2008.
  - 11 Li MF, Li YS, Wang ZY, et al. Application of vacuum freez- ing technology in drying of *Panax notoginseng* [J]. *J Anhui Agr Sci* (安徽农业科学), 2019, 47(3): 173-175.
  - 12 Guo SG. Experiment study on technology parameters for freeze-drying of ginseng slice [D]. Shengyang: Shengyang Agricultural University (沈阳农业大学), 2012.
  - 13 Li SN, Wang YQ, Ma LL, et al. Appearance characters, micro morphology, active component content and antioxidant en- zyme activity of Chinese *Angelica* under different drying methods [J]. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2020, 32: 1396-1404.
  - 14 Zhao RH, Duan JA, Gao ZJ, et al. Analysis and evaluation of traditional and modern drying technologies and methods of primary processing of traditional Chinese medicinal materials [J]. *Modern Chin Med* (中国现代中药), 2013, 15: 1026-1035.
  - 15 Chen XT. Study on the drying technology for two TCM mate- rials that are rich in starch in *Dioscorea opposita* Thunb. and *Fritillaria thunbergii* Miq. [D]. Tianjin: Tianjin University (天津大学), 2017.
  - 16 Liu QM, Wang JZ, Liang YT, et al. Study on the drying tech- nology of *Fritillaria* by hot air and microwave combination [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol* (中国食品学报), 2013, 13(6): 141-146.
  - 17 Yin LL, Xia Q, Cai XY, et al. Correlation analysis of curcumi- noids and color index  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  of *Curcumae Longae Rhizoma* powder [J]. *J Chin Med Mater* (中药材), 2016, 39: 1247-1250.
  - 18 Men YF, Ma Y, Yu H, et al. Correlation between various pro- cessing methods and quality of *Paeoniae Radix Alba* [J]. *Chin Tradit Herb Drugs* (中草药), 2020, 51: 2214-2220.
  - 19 Li RQ, Xu L, Wu C, et al. Investigation on processing, stor- age, and packaging of *Fritillariae Cirrhosae Bulbus* after har- vest [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form* (中国实验方剂学杂 志), 2018, 24(23): 64-68.
  - 20 Sun Y, Shen Y, Liu D, et al. Effects of drying methods on phytochemical compounds and antioxidant activity of physio- logically dropped un-matured citrus fruits [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 60: 1269-1275.
  - 21 Xu L. Investigation and application of vacuum-freeze drying technology on the processing of new decoction pieces of three Yunnan's genuine medicinal materials [D]. Kunming: Kun- ming University of Science and Technology (昆明理工大 学), 2018.
  - 22 Liu T, Fu CM, Tang Y, et al. Effect of different drying meth- ods on physical fingerprint and total flavonoids content of *Mori Ramulus* extract [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form* (中 国实验方剂学杂志), 2019, 25(3): 34-38.
  - 23 Li JY, Wei XJ, Wan GH, et al. Historical evolution and mod- ernresearch progress of quality evaluation based on character identification of traditional Chinese medicinal materials [J]. *Chin J Exp Tradit Med Form* (中国实验方剂学杂志), 2021, 27(6): 189-196.
  - 24 Xie Q, Liao L, Li SR, et al. Analysis of correlation between color and chemical constituents of benzoin based on chroma principle [J]. *Chin Tradit Pat Med* (中成药), 2020, 42: 2372-2376.
  - 25 Jin SY. *Jin Shiyuan Traditional Chinese Medicine Identifica- tion Experience* (金世元中药材传统鉴别经验) [M]. Bei- jing: China Medical Science Press, 2010.