

# 不同干燥方法对百合品质的影响

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2024.02.002

刘佳佳<sup>1,2</sup> 谢丽霞<sup>1,2</sup>

刘学英<sup>1,2</sup> 林锡柱<sup>3</sup>

1. 湖南工业大学

生命科学与化学学院

湖南 株洲 412007

2. 百合种质资源创新与深加工

湖南省工程研究中心

湖南 株洲 412007

3. 湖南慕地生物科技发展

有限公司

湖南 株洲 412007

**摘要:** 为了选择一种对百合品质影响较小的干燥方法,测定了3种不同干燥方法(FD:冷冻干燥;CD:对流干燥;VCD:真空对流干燥)处理后的百合样品的指标,如色差值、褐变相关酶活性、抗氧化能力及化学指标含量,并对各项指标间的相关性进行探讨。结果表明,FD样品的色差值最小,PPO、POD活性最高,水解氨基酸、多糖和生物碱含量也最多;FRAP抗氧化活性,VCD样品最好,FD样品次之。因此,冷冻干燥能更好地保存百合的营养物质,干燥后百合的品质也更接近新鲜百合,这为百合深加工提供了一定的理论依据。

**关键词:** 百合;冷冻干燥;品质

**中图分类号:** TS255.3; TB45

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2024)02-0008-07

**引文格式:** 刘佳佳,谢丽霞,刘学英,等.不同干燥方法对百合品质的影响[J].包装学报,2024,16(2):8-14.

## 1 研究背景

百合(*Lilium brownii* var. *viridulum* Baker)为百合科百合属植物的干燥肉质鳞叶,是我国卫生部审批通过的首批药食两用植物。百合富含淀粉、氨基酸、蛋白质、多糖类、甾体皂苷类、生物碱类、酚类等营养物质。其中,多糖为百合的主要活性成分,具有抗氧化、增强免疫力、调节肠道菌群和降血糖等多种功效<sup>[1-3]</sup>;甾体皂苷类作为百合的特征性成分,则被证明具有抗肿瘤、抗抑郁等作用<sup>[4-6]</sup>;酚类化合物是百合苦味的主要来源,显示出较好的抗氧化能力、抑菌作用、抗衰老等多种生理作用<sup>[7-8]</sup>。我国百合种植分布广泛,主要分布在甘肃、湖南、江苏、浙江和河南等地区。百合作为一种重要的天然植物资源,因其丰

富的活性成分及多种药理作用,在药品、保健食品等领域具有广泛的应用价值和广阔的市场前景<sup>[9]</sup>,如百合目前已被加工成百合干、百合饮料和百合粉等副产品<sup>[10-14]</sup>。

新鲜百合含水量高(一般为70%~80%),采摘后暴露在空气中极易褐变腐坏,严重影响感官品质、营养功能和商品价值,这成为制约百合产业健康发展的主要瓶颈之一。干燥可以减缓腐败微生物的生长和酶促等化学反应的发生,从而延长百合的保质期并有利于百合的运输储藏及后续深加工。干燥过程中物料的物理、化学性质,如色泽、风味、营养成分等品质均会产生不同程度的变化,这些变化的程度因物料本身、干燥方式、干燥时间、干燥程度等因素的不同而异<sup>[15-18]</sup>,故研究不同干燥处理方式对提高产品品质

收稿日期:2023-11-30

基金项目:湖南省教育厅科学研究基金资助项目(19C0603)

作者简介:刘佳佳(1999-),女,山西太原人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为天然活性成分的提取,

E-mail: 3294152257@qq.com

通信作者:谢丽霞(1988-),女,湖南郴州人,湖南工业大学讲师,博士,主要从事天然活性成分的分离提取、结构鉴定与应用、代谢组学研究, E-mail: ml5116269721@163.com

具有十分重要的意义。

本研究采用冷冻干燥 (freeze drying, FD)、对流干燥 (convection drying, CD) 和真空对流干燥 (vacuum convection drying, VCD), 测定 3 种干燥方式对百合化学品质和抗氧化能力, 以及干燥百合样品的色差值、褐变相关酶活性的影响, 并对百合品质相关的指标进行相关性热图分析, 寻找一种能较大程度保留百合营养成分的干燥方法, 进一步对百合深加工提供理论参考。

## 2 实验部分

### 2.1 试剂与仪器

#### 1) 试剂

交联聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpolypyrrolidone cross-linked, PVPP)、邻苯二酚溶液、愈创木酚溶液、亚硝酸钠、硝酸铝、福林酚溶液、碳酸钠、没食子酸 (分析标准品, 纯度不低于 98%)、醋酸盐缓冲液、三吡啶三吡嗪 (tripryridine triazine, TPTZ)、氯化铁、葡萄糖、苯酚、秋水仙碱 (分析标准品, 纯度不低于 98%)、溴甲酚绿、亚铁氰化钾、乙酸锌, 均购自上海阿拉丁生化科技股份有限公司; 甲醇、乙醇、二氯甲烷和无水硫酸钠, 均购自湖南汇虹试剂有限公司; 芦丁 (分析标准品, 纯度不低于 98%) 购自上海源叶生物科技有限公司; 氢氧化钠购自国药集团化学试剂有限公司; 乙腈 (LC-MS 级), 购自 Merck KGaA; 龙牙百合购自湖南省隆回县的新鲜样品。

#### 2) 仪器

真空干燥箱, DZ-1BCIV 型, 天津市泰斯特仪器有限公司; 真空冷冻干燥箱, LGJ-12SN 型, 北京松源华兴科技发展有限公司; 红外干燥箱, WS70-1 型, 杭州齐威仪器有限公司; 低速冷冻离心机, TDL-5 型, 长沙英泰仪器有限公司; 可见分光光度计, V-1600 PC 型, 上海美谱达仪器有限公司; 超声波萃取仪, WH-300 型, 济宁万和超声电子设备有限公司; 高速冷冻离心机, Centrifuge 5804R 型, 德国艾本德股份公司; 高效液相色谱仪-示差检测器, 1260 infinity 型, 安捷伦科技有限公司。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 样品的预处理

经过挑选的百合在干燥前通常会进行烫片处理。烫片处理可以在加工产品前使酶如多酚氧化酶 (polyphenol oxidase, PPO)、过氧化物酶 (peroxidase,

POD) 等失活, 抑制产品组织内的生化活动, 阻止酶促褐变的发生; 同时烫片能改变产品内部的流变结构, 提高细胞膜通透性, 加快内部水分扩散, 从而达到减少干燥耗时的作用<sup>[19]</sup>; 另外, 烫片对改善产品风味, 祛除产品不良气味, 如苦、涩、辛、辣味等也有帮助。

百合样品的预处理步骤具体如下:

1) 选样。选择新鲜、品质好的龙牙百合, 外层去除, 从外到内依次剥下鳞片, 洗净, 晾干称重备用。

2) 采用煮制法烫片。将上述晾干的鳞片分开投入沸水, 鳞片投放数目以不露出水面为准, 用铁勺上下轻轻翻动 1~2 次, 使上下受热均匀, 观察鳞片颜色的变化。当鳞片边缘柔软, 略成透明状, 或背面有微裂, 迅速捞出, 用清水冷却并漂洗去除黏液, 再捞起沥干待用。每锅沸水可连续烫片 2~3 次, 如沸水变浑浊, 应及时换水, 以免影响成品质量。

3) 干燥。采用 3 种干燥方式 (FD、CD、VCD) 对样品进行干燥处理。

FD: 称取 350 g 龙牙百合鳞片, 将其置于 -80 °C 冰箱预冻 2 h。将预冻好的鳞片放置于托盘内, 于冷冻干燥箱干燥 15 h。

CD: 称取 350 g 龙牙百合鳞片, 置于烘箱中 65 °C 干燥 18 h。

VCD: 称取 350 g 龙牙百合鳞片, 置于真空干燥箱, -80 kPa, 65 °C 干燥 18 h。

4) 将干燥好的百合鳞片放于室内回软 1~2 d, 磨成粉末, -80 °C 密封保存。

#### 2.2.2 干燥过程对百合鳞茎的化学品质和抗氧化能力的影响

##### 1) 水解氨基酸含量测定

称适量样品, 加入 20 mL 超纯水, 依次加入 1 mL 亚铁氰化钾、1 mL 乙酸锌, 定容至 25 mL, 超声 30 min, 离心, 上清液过膜待测。

色谱条件: 氨基柱 (5 μm, 4.6 mm × 250 mm, 美国 PE 公司), 流动相为乙腈溶液 (乙腈与水体积比 70 : 30), 柱温为 35 °C, 进样量为 10 μL, 流速为 1 mL/min。

##### 2) 总黄酮含量测定

百合鳞茎中总黄酮的提取: 分别取 3 种干燥方式 (FD、CD、VCD) 的百合样品粉末, 每种样品取 3 份平行试样, 每份 1.00 g, 精密称定, 置于锥形瓶中。加甲醇 50 mL, 称重, 超声提取 30 min, 取出晾干,

称重,用甲醇补足体积。过滤,收集过滤液,即得含有黄酮的样品液。

样品中总黄酮含量(total flavonoids contents, TFC)的测定:精密量取3种样品液1.00 mL,每种样品取3份平行试样,分别置于10 mL具塞试管中,加蒸馏水至3.00 mL,摇匀。精密加入1.00 mL 5%  $\text{NaNO}_2$  溶液,摇匀,静置6 min后加入1.00 mL 10%  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  溶液,摇匀,静置6 min后再加入5.00 mL 4%  $\text{NaOH}$  溶液,摇匀,静置15 min。于510 nm处测量样品的吸光度值,并根据吸光度值从标准曲线上得到对应的总黄酮浓度,并按照公式计算TFC。

### 3) 总酚含量测定

百合鳞茎中总酚的提取:分别取3种干燥方式(FD、CD、VCD)的百合样品粉末,每种样品取3份平行试样,每份1.00 g,精密称定,置于50 mL离心管中。加入40 mL体积分数为50%的甲醇,滴加盐酸,调节pH至2.0。30 °C超声提取30 min,样品取出放冷,15 °C、2500g条件下离心10 min,收集上清液。在残渣中再加入40 mL甲醇水溶液,滴加盐酸,调节pH为2.0。按照上述步骤重复提取,合并上清液,即得含多酚的提取液。

样品中总酚含量(total phenols contents, TPC)的测定:参照Cheong M. W.等<sup>[20]</sup>的测定方法,精密量取3种样品液1.00 mL,加蒸馏水稀释至10.00 mL。取稀释后的多酚提取液1.00 mL,每种样品取3份平行试样,分别置于10 mL具塞试管中。加入5.00 mL 10%福林酚试剂,摇匀,静置3 min。再加入4.00 mL 7.5%的 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 溶液,摇匀,室温下避光反应60 min。于765 nm处测量样品的吸光度值,再根据吸光度值从标准曲线上得到对应的总酚浓度,并按照公式计算TPC。

### 4) FRAP法测定抗氧化活性

将1.80 mL的新鲜FRAP试剂(由25 mL 300 mmol/L pH=3.6的醋酸盐缓冲液、2.5 mL 10 mmol/L的TPTZ溶液、2.5 mL 20 mmol/L的氯化铁溶液配制而成)、0.18 mL的蒸馏水与20.00  $\mu\text{L}$ 的多酚提取液混合,摇匀,37 °C孵育30 min。于595 nm处测量样品的吸光度值,再根据吸光度值从标准曲线上得到对应的浓度,并按照公式计算FRAP抗氧化活性。

### 5) 多糖含量测定

百合鳞茎中多糖的提取:分别取3种干燥方式(FD、CD、VCD)的百合样品粉末,每种样品取3

份平行试样,每份1.00 g,精密称定,置于锥形瓶中。加入100.00 mL蒸馏水,100 °C浸提0.5 h,60 °C浸提2 h,冷却至室温。6000 r/min离心10 min,精密吸取上清液1.50 mL,加入5倍体积的乙醇,摇匀,于4 °C冰箱放置3 h。6000 r/min离心10 min,倾去上清液,沉淀加热水溶解,定容至10.00 mL,即得多糖提取液。

样品中多糖含量的测定:精密量取3种样品液1.00 mL,每种样品取3份平行试样,分别置于10 mL具塞试管中,加蒸馏水至4.00 mL。加入1.00 mL 5%苯酚溶液,混匀,再加入5.00 mL浓硫酸,摇匀后置于100 °C水浴中孵育15 min,冷却后于490 nm处测量吸光度值。根据吸光度值从标准曲线上得到对应的浓度,并按照公式计算多糖含量。

### 6) 生物碱含量测定

百合鳞茎中生物碱的提取:分别取3种干燥方式(FD、CD、VCD)的百合样品粉末,每种样品取3份平行试样,每份1.00 g,精密称定,置于干燥的100 mL圆底烧瓶中,加入醋酸-醋酸钠缓冲液(pH=3.6)50.00 mL,加热回流提取60 min,离心,收集上清液,再定容至50 mL,即得生物碱提取液。

样品中生物碱含量的测定:精密量取3种样品液3.00 mL,每种样品取3份平行试样,分别置于分液漏斗中。精密加入溴甲酚绿5.00 mL,再加入二氯甲烷10.00 mL,振摇3 min,静置30 min。分取二氯甲烷层,加入0.50 g无水硫酸钠,放置30 min。于414 nm处测量样品的吸光度值,再根据公式计算出样品中生物碱含量。

## 2.2.3 干燥后百合色差值及褐变相关酶的酶活性测定

### 1) 色差测定

随机挑选3种干燥方式的百合鳞茎,采用色差仪测定百合鳞茎的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值。每种干燥方式均随机取3个样品,每个样品进行5次重复测定。

每个样品的总颜色变化( $\Delta E$ )通过式(1)进行计算:

$$\Delta E = \sqrt{[(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2]} \quad (1)$$

其中: $L_0^*$ 、 $a_0^*$ 、 $b_0^*$ 分别表示新鲜百合的亮度值、红度值和黄度值; $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 分别表示干燥百合的亮度值、红度值和黄度值。

### 2) 褐变相关酶的酶活性测定

酶提取液的制备:参照Liu J.等<sup>[21]</sup>的方法,将4.00

g PVPP 与 30 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH=5.5) 混合均匀, 即获得提取缓冲液, 使用前进行冰浴处理。随机取每种干燥方式 (FD、CD、VCD) 的百合样品粉末 3.00 g, 加入 15.00 mL 配好的提取缓冲液, 制浆 1 min, 于 4 °C、4000g 条件下离心 30 min, 收集上清液, 得到酶提取液。

PPO 活性的测定: 参照 P. Yingsanga 等<sup>[22]</sup>的方法, 取 1.00 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH=5.5) 和 1.00 mL 50.00 mmol/L 邻苯二酚溶液, 加入 1.00 mL 酶提取液后, 迅速摇匀并开始计时。15 s 后开始记录该混合溶液于 420 nm 处的吸光度值, 每隔 30 s 测一次, 共计 3 min。PPO 活性以每克样品每分钟内吸光度变化 0.01 作为一个酶活单位 (U/g)。每种样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

POD 活性的测定: 参照 P. Yingsanga 等<sup>[22]</sup>的方法, 取 1.00 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液 (pH=5.5) 和 1.00 mL 0.25% 的愈创木酚溶液, 加入 1.00 mL 酶提取液后, 混合均匀, 再加入 0.50 mL 过氧化氢溶液, 开始反应并计时。15 s 后开始记录该混合溶液于 470 nm 处的吸光度值, 每隔 30 s 测一次, 共计 3 min。POD 活性以每克样品每分钟内吸光度变化 0.01 作为一个酶活单位 (U/g)。每种样品平行测定 3 次, 结果取平均值。

## 3 结果与讨论

### 3.1 不同干燥方法对百合色差的影响

图 1 为 3 种干燥方式得到的百合样品的外观形貌。由图 1 可知, 3 种干燥方式的样品中, FD 样品颜色最亮最白, 颜色较新鲜, 样品变化是最小的; CD 和 VCD 样品颜色为黄色, 且 VCD 样品比 CD 样品黄色更深。



图 1 3 种干燥方式得到的百合样品

Fig. 1 Lily samples obtained by three drying methods



彩图

表 1 为新鲜的龙牙百合与 3 种干燥方式得到的百合样品的色差值。其中  $L^*$  表示亮度值,  $L^*$  正值越大表明鳞片越亮, 负值越小鳞片越暗;  $a^*$  表示红度值,  $a^*$  正值越大表明鳞片越红, 负值越小鳞片越绿;  $b^*$

表示黄度值,  $b^*$  正值越大表明鳞片越黄, 负值越小鳞片越蓝。

表 1 3 种干燥方式百合样品的色差值

Table 1 Color difference values of lily samples by three drying methods

样 品	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
标 样	82.73	0.14	14.80	
	84.38	0.38	13.72	
	79.95	0.21	14.26	
FD 样品	91.60	-1.64	11.13	8.92 ± 0.96
	91.25	-1.46	12.85	
	89.80	-1.47	14.33	
CD 样品	67.59	3.36	20.39	15.64 ± 0.70
	69.07	3.66	19.44	
	66.85	3.38	16.43	
VCD 样品	67.09	3.08	19.92	18.13 ± 1.50
	65.49	2.32	19.36	
	63.38	3.75	20.05	

由表 1 可知, 干燥处理引起了百合显著的颜色变化, 不同干燥方法的百合样品色差参数不一样, 同种处理方式的样品色差参数大致相近。FD 样品的  $L^*$  值最大, 说明 FD 样品最亮;  $a^*$  中只有 FD 样品是负值, 表明 FD 样品颜色偏绿; FD 的  $b^*$  值略低于标样, 表明 FD 样品与标样颜色接近略偏蓝; 根据色差公式得, FD 样品的色差值最小, 表明其颜色最接近新鲜龙牙百合。CD 和 VCD 样品的  $L^*$  小于标样,  $b^*$  均大于标样, 表明其干燥样品与新鲜样品相比, 亮度变暗且变黄; 且 VCD 样品的颜色变化最大。

### 3.2 不同干燥方法对百合化学指标的影响

#### 3.2.1 对百合褐变相关酶活性的影响

PPO 为一类含 Cu 蛋白质, 能催化多酚类物质氧化成醌和水, 醌再经非酶促聚合, 形成褐色物质, 发生褐变。POD 是催化酶促褐变反应的另一种重要酶类, 它在  $H_2O_2$  存在的条件下能迅速氧化多酚类物质, 可与 PPO 协同作用引起组织褐变。将新鲜的龙牙百合鳞片漂烫处理后进行干燥, 依次测量样品的 PPO 和 POD 活性, 结果如图 2 所示。

由图 2 可知, 3 种干燥方式的样品中, FD 样品的 PPO 活性最高, VCD 样品次之, CD 样品的 PPO 活性最低; FD 样品的 POD 活性最高, VCD 样品的 POD 活性最低。FD 样品的多酚氧化酶及过氧化物酶活性在 3 种干燥方式的样品中都是最高的, 表明冷冻干燥对酶活性影响比较小。

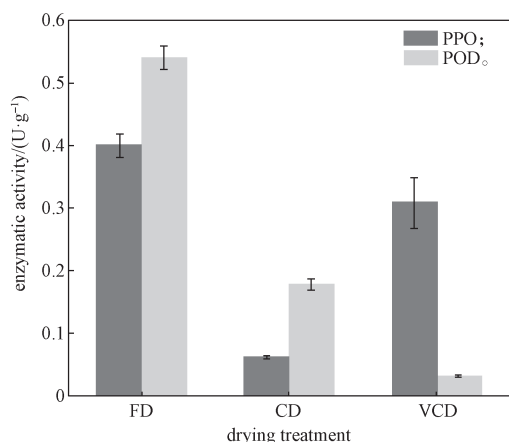


图2 不同干燥方法对百合PPO和POD活性的影响

Fig. 2 Effects of different drying methods on the activities of polyphenol oxidase and peroxidase of lily

### 3.2.2 对百合水解氨基酸含量的影响

表2为3种干燥方式(FD、CD、VCD)百合样品的水解氨基酸含量。

表2 3种干燥方式百合样品的水解氨基酸含量

Table 2 Hydrolyzed amino acids content of lily samples by three drying methods mg/g

样品	FD	CD	VCD
天冬氨酸	5.61 ± 0.09	5.35 ± 0.05	4.65 ± 0.02
谷氨酸	6.37 ± 0.04	6.75 ± 0.03	5.67 ± 0.03
丝氨酸	2.91 ± 0.01	2.78 ± 0.02	2.31 ± 0.01
甘氨酸	2.78 ± 0.01	2.73 ± 0.01	2.26 ± 0.01
组氨酸	0.70 ± 0.03	0.70 ± 0.01	0.53 ± 0.01
精氨酸	10.16 ± 0.06	9.95 ± 0.07	7.78 ± 0.04
苏氨酸	1.41 ± 0.01	1.32 ± 0.01	1.06 ± 0.01
丙氨酸	2.20 ± 0.02	2.24 ± 0.02	1.85 ± 0.01
脯氨酸	3.37 ± 0.01	3.30 ± 0.01	2.71 ± 0.01
酪氨酸	1.50 ± 0.01	1.13 ± 0.01	0.85 ± 0.01
缬氨酸	2.33 ± 0.02	2.25 ± 0.03	1.94 ± 0.02
甲硫氨酸	0.34 ± 0.01	0.28 ± 0.01	0.16 ± 0.01
胱氨酸	ND	ND	ND
异亮氨酸	1.90 ± 0.02	1.83 ± 0.02	1.54 ± 0.01
亮氨酸	3.40 ± 0.01	3.29 ± 0.01	2.77 ± 0.01
苯丙氨酸	2.60 ± 0.01	2.55 ± 0.02	2.23 ± 0.01
赖氨酸	2.46 ± 0.02	2.27 ± 0.03	2.00 ± 0.02
总氨基酸	50.02 ± 0.28	48.71 ± 0.30	40.31 ± 0.20

由表2可以看出, FD样品的总氨基酸含量最高, 为50.02 ± 0.28 mg/g。在所有干燥方式处理的样品中, 胱氨酸均没有检测到; 精氨酸含量都是最高的, 占总氨基酸含量20%左右。精氨酸是生物体内重要信

使分子PA(多胺)和NO(一氧化氮)等的生物合成前体, 这些物质增强了生物体的抗逆性如抗高温、低温能力等。百合样品在干燥过程中, 经历了干旱、低温等环境胁迫, 导致精氨酸大量累积, 来合成PA和NO。

### 3.2.3 对百合总酚、总黄酮含量及FRAP抗氧化活性的影响

图3为不同干燥方式对百合样品的TPC、TFC和FRAP抗氧化活性的影响。

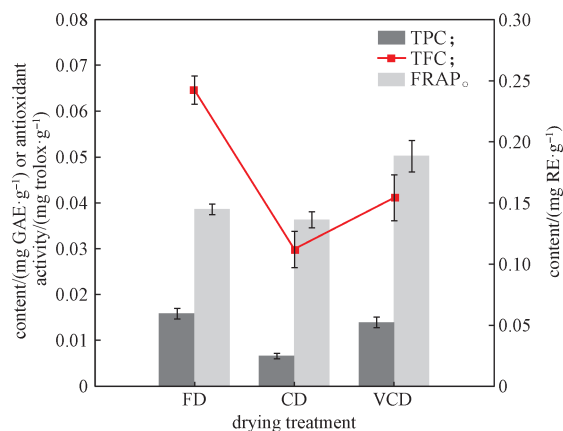


图3 不同干燥方式对百合总酚、总黄酮含量及FRAP抗氧化活性的影响

Fig. 3 Effects of different drying methods on the contents of total phenols, total flavonoids and antioxidant activity of FRAP of lily

由图3可知, FD样品具有最高的TPC和TFC含量, 其他两种干燥样品的TPC和TFC含量变化具有一致性。FRAP抗氧化活性与TPC、TFC含量在不同干燥处理之间的变化趋势不一致, 可能是在干燥过程中发生了一些化学变化导致的。与FD和VCD处理相比, CD处理可能不利于保存样品中某些酚类物质和黄酮类化合物, 这些物质的流失或挥发会导致抗氧化活性的降低。同时, 抗氧化活性不仅与酚类物质的含量和分布有关, 一些具有还原能力的化合物也会影响样品的抗氧化活性。

### 3.2.4 对百合多糖及生物碱含量的影响

百合含有丰富的多糖和生物碱。图4为不同干燥处理对百合样品的多糖及生物碱含量的影响。

由图4可知, 3种干燥方式的样品均含有很高含量的生物碱, 其中FD样品的生物碱含量最高, VCD样品次之, CD样品最少。多糖含量变化和生物碱变化趋势呈现一致性, 这表明FD处理有利于多糖和生物碱的保存。

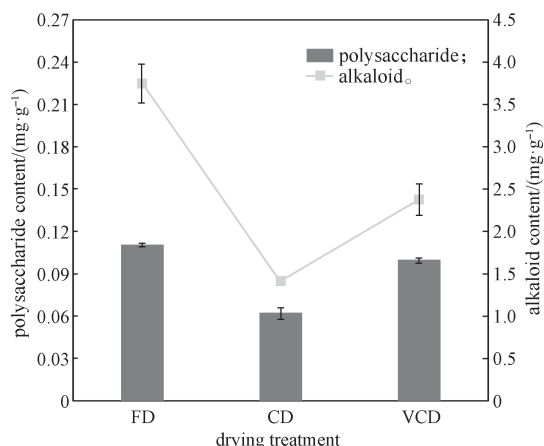


图4 不同干燥方法对百合多糖及生物碱含量的影响

Fig. 4 Effects of different drying methods on polysaccharide and alkaloid contents of lily

### 3.3 百合品质指标间的关系

相关性热图是根据两个或多个具备相关性的变量元素的相关性系数来绘制热图,从而将变量因素的相关密切程度进行可视化。若两个变量的值一起增大,称之为正相关,若一个变量的值增大时,另一变量的值减小,称之为负相关。

本研究将百合品质相关的指标绘制相关性热图,结果如图5所示,其中正相关以蓝色显示,负相关以红色显示,颜色强度和圆圈的大小与相关系数成正比。

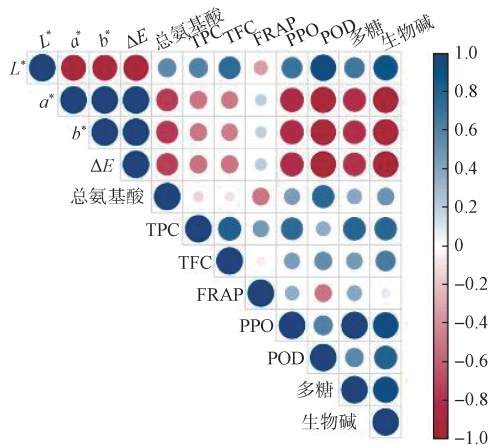


图5 不同干燥方法百合品质指标的相关性热图

Fig. 5 Correlation heat maps of quality indexes of lily with different drying methods

由图5可知,  $L^*$  与  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$  呈负相关,即  $L^*$  越大,  $a^*$ 、 $b^*$  和  $\Delta E$  越小。 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E$  与 PPO、POD、多糖、生物碱含量呈负相关,样品颜色变化越小, PPO、POD、多糖和生物碱含量越高,品质越接近新鲜样品。

多糖和生物碱含量存在正相关关系。这均与前期各项指标测量结果呈现一致性。

## 4 结语

本研究以3种不同干燥方式(FD、CD、VCD)处理的百合作为样品,通过测量样品的色差值、褐变相关酶活性、抗氧化能力及化学指标含量,考察了不同干燥方式对百合品质的影响。结果表明,FD处理的百合样品具有最小的色差值,样品保留了更高的PPO和POD活性,TPC、TFC、多糖和生物碱含量也是最高的。综合各项结果,FD能更好地保留新鲜百合的特征,对百合品质影响较小。本研究选择了一种能最大程度保留百合营养成分的干燥方法,为百合深加工产品的前景研究提供了一定参考依据。

### 参考文献:

- [1] CHEN Z G, ZHANG D N, ZHU Q, et al. Purification, Preliminary Characterization and in Vitro Immunomodulatory Activity of Tiger Lily Polysaccharide[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 106: 217-222.
- [2] 赵芷萌, 赵宏, 王宇亮, 等. 百合多糖的纯化及其对肠道菌群失调小鼠的调节作用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 295-300, 306. ZHAO Zhimeng, ZHAO Hong, WANG Yuliang, et al. Purification of Lily Polysaccharide and Its Regulatory Effect on Intestinal Flora Dysregulation Mice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 295-300, 306.
- [3] HUI H P, JIN H, LI X Z, et al. Purification, Characterization and Antioxidant Activities of a Polysaccharide from the Roots of *Lilium Davidii* var. Unicolor Cotton[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 135: 1208-1216.
- [4] 袁志鹰, 罗林明, 陈乃宏, 等. 基于UPLC-Q-TOF-MS法分析百合珠芽化学成分及其薯蓣皂苷元抗肿瘤活性研究[J]. 天然产物研究与开发, 2019, 31(5): 808-813, 831. YUAN Zhiying, LUO Linming, CHEN Naihong, et al. Rapid Analysis of Chemical Constituents of Lily Bulbil by UPLC-Q-TOF-MS and the Antitumor Activity of Diosgenin[J]. Natural Product Research and Development, 2019, 31(5): 808-813, 831.
- [5] WANG X, WU G Q. A New Steroidal Glycoside and Potential Anticancer Cytotoxic Activity of Compounds

- Isolated from the Bulbs of *Lilium Callosum*[J]. Journal of Chemical Research, 2014, 38(10): 577-579.
- [6] IGUCHI T, YOKOSUKA A, KURODA M, et al. Steroidal Glycosides from the Bulbs of *Lilium Speciosum*[J]. Phytochemistry Letters, 2020, 37: 21-28.
- [7] WANG P Y, LI J, ATTIA F A K, et al. A Critical Review on Chemical Constituents and Pharmacological Effects of *Lilium*[J]. Food Science and Human Wellness, 2019, 8(4): 330-336.
- [8] HUI H P, LI X Z, JIN H, et al. Structural Characterization, Antioxidant and Antibacterial Activities of Two Heteropolysaccharides Purified from the Bulbs of *Lilium Davidii* var. *Unicolor* Cotton[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 133: 306-315.
- [9] 唐英, 张思维, 张芷柔, 等. 激发-发射矩阵荧光光谱用于鉴别百合掺假的研究[J]. 包装学报, 2023, 15(6): 62-72.
- TANG Ying, ZHANG Siwei, ZHANG Zhirou, et al. Study on Authenticity Evaluation of Adulteration in Lily Using Excitation-Emission Matrix Fluorescence Spectroscopy[J]. Packaging Journal, 2023, 15(6): 62-72.
- [10] 丁成伟, 周权军. 百合系列产品加工工艺[J]. 食品科学, 1994, 15(6): 72-73.
- DING Chengwei, ZHOU Quanjun. Processing Technology of Lily Series Products[J]. Food Science, 1994, 15(6): 72-73.
- [11] 胡泽敏, 周来发, 黄赣辉, 等. 脱水百合片的生产技术: 百合系列产品加工技术之一[J]. 江西食品工业, 2002(4): 24-25.
- HU Zemin, ZHOU Laifa, HUANG Ganhui, et al. Production Technology of Dehydrated Lily Tablets: Processing Technologies for Lily Series Products( I)[J]. Jiangxi Food Industry, 2002(4): 24-25.
- [12] 马淑兰, 吴澎. 百合饮料的研究进展[J]. 饮料工业, 2018, 21(3): 69-72.
- MA Shulan, WU Peng. Research Progress of Lily Beverage[J]. Beverage Industry, 2018, 21(3): 69-72.
- [13] 胡泽敏, 范发林, 周来发, 等. 优质百合粉的生产技术: 百合系列产品综合加工技术之二[J]. 江西食品工业, 2003(1): 13-14.
- HU Zemin, FAN Falin, ZHOU Laifa, et al. Production Technology of High Quality Lily Powder: Comprehensive Processing Technology of Lily Series Products ( II)[J]. Jiangxi Food Industry, 2003(1): 13-14.
- [14] 吴国锋, 汪玉明, 焦学荣, 等. 兰州百合粉的研制[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(5): 93-95.
- WU Guofeng, WANG Yuming, JIAO Xuerong, et al. Study in *Lilium Davidii* var. *Unicolor* Salisb Powder[J]. Food Research and Development, 2011, 32(5): 93-95.
- [15] 华平, 郑艺梅, 刘海波. 不同干燥方法对百合品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2004, 32(2): 312-313.
- HUA Ping, ZHENG Yimei, LIU Haibo. Effect of Drying Methods on Lily Quality[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2004, 32(2): 312-313.
- [16] 屠鹏, 虎玉森, 蒋玉秀. 不同干燥方式对兰州百合品质的影响研究[J]. 中国食品工业, 2011(11): 54-56.
- TU Peng, HU Yusen, JIANG Yuxiu. Different Drying Methods of Lanzhou Lily Quality Impact Study[J]. China Food Industry, 2011(11): 54-56.
- [17] 王博, 魏孔斌, 王雅, 等. 百合片真空低温干燥和热风干燥的品质比较[J]. 农产品加工, 2018(9): 42-44.
- WANG Bo, WEI Kongbin, WANG Ya, et al. Comparison of the Quality of Edible Lily Under the Treatment of Freeze-Dried and Hot-Air Dried[J]. Farm Products Processing, 2018(9): 42-44.
- [18] 聂慧, 严辉, 钱大玮, 等. 加工方法对百合质量的影响研究[J]. 中国现代中药, 2013, 15(4): 308-313.
- NIE Hui, YAN Hui, QIAN Dawei, et al. Study on the Effect of Different Processing Methods in *Lilium Lancifolium* Thunb. Bulbs[J]. Modern Chinese Medicine, 2013, 15(4): 308-313.
- [19] GÓRNICKI K, KALETA A. Drying Curve Modelling of Blanched Carrot Cubes Under Natural Convection Condition[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 82(2): 160-170.
- [20] CHEONG W M, TONG H K, ONG M J J, et al. Volatile Composition and Antioxidant Capacity of Arabica Coffee[J]. Food Research International, 2013, 51(1): 388-396.
- [21] LIU J, WANG R R, WANG X Y, et al. Effect of Blanching and Drying Temperatures on the Browning-Related Enzymes and Physicochemical Properties of Lily Bulb Flours[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2019, 43(12): e14248.
- [22] YINGSANGA P, SRILAONG V, KANLAYANARAT S, et al. Relationship Between Browning and Related Enzymes (PAL, PPO and POD) in Rambutan Fruit (*Nephelium Lappaceum* Linn.) CVS. Rongrien and See-Chompoo[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(2/3): 164-168.

(责任编辑: 李玉华)

(下转第30页)