

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.06.025

# 真空冷冻干燥对菊花多酚含量及其抗氧化活性的影响

Effects of vacuum-freeze drying on the antioxidant activity and phenolic contents of different *Chrysanthemum* flowers

余欣珂<sup>1</sup> 明建<sup>1,2</sup> 支玲<sup>1</sup> 李苇舟<sup>1</sup>

YU Xin-ke<sup>1</sup> MING Jian<sup>1,2</sup> ZHI Ling<sup>1</sup> LI Wei-zhou<sup>1</sup>

闫慧明<sup>1</sup> 王启明<sup>1</sup> 赵吉春<sup>1</sup>

YAN Hui-ming<sup>1</sup> WANG Qi-ming<sup>1</sup> ZHAO Ji-chun<sup>1</sup>

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715; 2. 食品科学与工程国家级实验教学示范中心〔西南大学〕, 重庆 400715)  
(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Food Science and Technology Education [Southwest University], Chongqing 400715, China)

**摘要:**以4种菊花(金丝皇菊、贡菊、雏菊、杭白菊)为原料,研究真空冷冻干燥对其多酚含量及抗氧化活性的影响。结果表明,真空冷冻干燥后,菊花总酚含量显著增加,其中雏菊的总酚含量增加率最高(增加了2.525倍);真空冷冻干燥后,除清除ABTS<sup>+</sup>·能力差异不显著外,其清除DPPH·能力、铁还原能力以及ORAC变化显著,说明真空冷冻干燥对菊花多酚的抗氧化活性有较大影响。

**关键词:**真空冷冻干燥;菊花;多酚;抗氧化活性;

**Abstract:** To investigate the effect of vacuum freeze drying on phenolic content and *in vitro* antioxidant activity of four varieties of *Chrysanthemum*, including *Dendranthemamori folium* (Ramat.) Tzvel., *Florists Chrysanthemum*, *Bellis perennis* L., and *Chrysanthemum morifolium* 'Hangju'. The results showed that the total phenolic content of *Chrysanthemum* was significantly increased after vacuum freeze drying. Among the four varieties, *B. perennis* L. displayed the highest percentage increase in total phenolics after vacuum-freeze drying (Increased by 2.525 times). The DPPH· scavenging capacity, ferric reducing antioxidant property and ORAC were significantly changed except ABTS<sup>+</sup>· scavenging capacity, which indicated that vacuum-freeze drying has great influence on the antioxidant

activity of *Chrysanthemum* phenolics.

**Keywords:** vacuum freeze drying; *Chrysanthemum*; phenolics; antioxidant activity

菊花是菊科植物菊(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)的干燥头状花序,既是观赏花卉,也是药食同源植物<sup>[1-2]</sup>。菊花还含有大量抗氧化物质,具有抗氧化<sup>[3]</sup>、抗衰老耐疲劳<sup>[4-5]</sup>、保护心血管<sup>[6]</sup>、调血脂<sup>[7]</sup>、抗肿瘤<sup>[8]</sup>等作用,其抗氧化物质主要为酚类化合物及其衍生物<sup>[9-12]</sup>。王婷婷等<sup>[13]</sup>研究发现,不同品种菊花的抗氧化活性有一定差异。近年来,关于菊花黄酮的研究较多,而有关菊花多酚抗氧化活性的研究较少<sup>[14]</sup>。

新鲜菊花含水量高达80%以上,极难保存<sup>[15]</sup>。常用的干燥方法有阴凉干燥、热风干燥、微波干燥、真空冷冻干燥等。阴凉干燥成本低,但干燥周期长,效率低;热风干燥过程中菊花中的热敏性成分会因温度过高而使含量降低甚至失活,降低菊花的药用价值;微波干燥具有效率高、速度快等优点,但微波功率的升高和加热时间的延长可能导致某些热敏性成分吸收大量微波而被破坏<sup>[16]</sup>。而真空冷冻干燥(简称冻干)过程在低温以及真空状态下进行,避免了热敏反应以及氧化作用,能有效保存新鲜食品的色、香、味以及营养成分<sup>[17]</sup>。作为一种新型干燥技术,真空冷冻干燥主要应用于果蔬<sup>[18]</sup>、水产<sup>[19]</sup>、菌种<sup>[20]</sup>等加工方面。试验拟选用4种市售菊花为原料,借助真空冷冻干燥技术,通过测定多酚含量、DPPH·清除能力、ABTS<sup>+</sup>·清除能力、铁还原能力以及氧自由基吸收能力(ORAC),比较4种菊花冻干前、后多酚含量及抗氧化活

**基金项目:**重庆市渝北区科技计划项目(编号:2019[农社]05);中央高校基本科研业务费专项(编号:XDJK2017B050)

**作者简介:**余欣珂,男,西南大学在读本科生。

**通信作者:**明建(1972—),男,西南大学教授,博士。

E-mail: mingjian1972@163.com

**收稿日期:**2020-03-05

性的差异,为菊花的综合利用提供依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与amp;仪器

#### 1.1.1 材料与amp;试剂

金丝皇菊(*Dendranthemamorifolium* [Ramat.] Tzvel.)、贡菊(*Florists Chrysanthemum*):采自重庆市渝北区;

雏菊(*Bellis perennis* L.):采自江苏省苏州市;

杭白菊(*Chrysanthemum morifolium* 'Hangju'):采自浙江省桐乡市;

丙酮、浓盐酸、氢氧化钠、正己烷、乙酸乙酯、碳酸氢钠、铁氰化钾、三氯化铁、抗坏血酸等:分析纯,成都科龙化工试剂厂;

福林一酚试剂、水溶性 V<sub>E</sub> (Trolox)、DPPH、ABTS、荧光素钠盐(FL):分析纯,美国 Sigma 公司;

2,2'-偶氮二异丁基脒盐酸盐(ABAP):分析纯,日本 Wako 公司。

#### 1.1.2 主要仪器设备

旋转蒸发器:RE-52AA 型,上海亚荣生化仪器厂;

循环水真空泵:SHZ-III 型,上海亚荣生化仪器厂;

中草药粉碎机:FW177 型,天津泰斯特仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海齐欣科学仪器有限公司;

分光光度计:JH722 型,上海精科科学仪器厂;

多功能酶标仪:Spectra Max M2 型,美国 Molecular 公司。

### 1.2 方法

1.2.1 原料预处理 将 4 种菊花置于-40℃冰箱内贮藏,作为鲜样备用。参照刘鸿雁等<sup>[21]</sup>的方法并适当调整。将 4 种菊花置于真空冷冻干燥机内预冻 2 h,升华干燥 32 h,再以 35℃的加热搁板温度进行解析干燥 8 h,得冻干后的样品(简称干样),粉碎,过 60 目筛,分袋真空包装,置于干燥器中保存。

1.2.2 含水量测定 按 GB 5009.3—2010 执行。

#### 1.2.3 多酚的提取

(1) 游离酚:参照文献<sup>[22]</sup>。

(2) 结合酚:参照文献<sup>[23]</sup>。

1.2.4 多酚含量测定 采用 Folin-Ciocalteu 比色法<sup>[24]</sup>。以没食子酸浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线,得回归方程  $Y=0.0039x+0.0318$  ( $R^2=0.9976$ ),计算菊花样品中多酚含量,并以每克样品干物质中所含的没食子酸当量(mg GAE/g·DW)表示。按式(1)计算鲜样和干样多酚含量比值。

$$\frac{DW}{FW} = \frac{1-\omega_1}{1-\omega_2} \quad (1)$$

式中:

DW——干样,g;

FW——鲜样,g;

$\omega_1$ ——干样含水量,%;

$\omega_2$ ——鲜样含水量,%。

#### 1.2.5 抗氧化活性测定

(1) DPPH·清除率:参照文献<sup>[25]</sup>,按式(2)计算菊花 DPPH·清除率。

$$K = \left(1 - \frac{A_i}{A_j}\right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

K——自由基清除率,%;

$A_i$ ——样液吸光度;

$A_j$ ——试剂空白吸光度。

(2) ABTS<sup>+</sup>·清除率:参照文献<sup>[26]</sup>,按式(2)计算菊花 ABTS<sup>+</sup>·清除率。

(3) 铁还原力:参照文献<sup>[27]</sup>。

(4) 氧自由基吸收能力:参照文献<sup>[28]</sup>。按式(3)、(4)分别计算荧光衰减曲线下的面积(AUC)和 ORAC 值,ORAC 值以每克样品干物质中所含 Trolox 当量( $\mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$ )表示。

AUC=

$$\left(0.5 \times \frac{f_1}{f_1} + \frac{f_2}{f_1} + \frac{f_3}{f_1} + \dots + \frac{f_i}{f_1} + \dots + \frac{f_{30}}{f_1} + 0.5 \times \frac{f_{30}}{f_1}\right) \times CT \quad (3)$$

$$ORAC = \frac{AUC_{\text{样品}} - AUC_{\text{空白}}}{AUC_{\text{Trolox}} - AUC_{\text{空白}}} \times \frac{\rho_{\text{Trolox}}}{\rho_{\text{样品}}} \quad (4)$$

式中:

$f_1$ ——第 1 次荧光读数;

$f_i$ ——第  $i$  次荧光读数;

CT——间隔测定时间,4.5 min;

$\rho_{\text{Trolox}}$ ——Trolox 质量浓度,mg/mL;

$\rho_{\text{样品}}$ ——样品质量浓度,mg/mL;

$AUC_{\text{样品}}$ ——样品荧光衰减下的面积;

$AUC_{\text{空白}}$ ——空白液荧光衰减下的面积。

### 1.3 数据处理

所有试验重复 3 次,结果表示为平均值±标准偏差。采用 Excel 2016 软件进行数据统计分析,采用 SPSS 21.0 软件进行数据处理,并采用单因素 ANOVA 分析、Duncan 多重比较( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 含水量变化

4 种菊花冻干前后含水量变化显著( $P<0.05$ ),其中金丝皇菊的含水量变化最大,冻干后含水量最低(表 1)。

### 2.2 多酚含量变化

由表 2 可知,4 种菊花冻干前后多酚含量变化显著( $P<0.05$ ),与闫旭等<sup>[29-30]</sup>的研究结果相似。冻干后游离

表 1 4 种菊花真空冷冻干燥前后含水量<sup>†</sup>

Table 1 Water content in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying g/100 g

处理方式	金丝皇菊	贡菊	雏菊	杭白菊
冻干前	89.704±0.300 <sup>a</sup>	89.161±0.110 <sup>a</sup>	87.457±0.376 <sup>b</sup>	84.687±0.185 <sup>c</sup>
冻干后	2.821±1.038 <sup>f</sup>	6.898±0.295 <sup>d</sup>	4.969±0.516 <sup>c</sup>	5.460±0.637 <sup>de</sup>

<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

表 2 4 种菊花真空冷冻干燥前后多酚含量<sup>†</sup>

Table 2 Contents of free, bound and total phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

处理方式	品种	游离酚		结合酚		总酚含量/ (mg GAE · g <sup>-1</sup> · DW)
		含量/(mg GAE · g <sup>-1</sup> · DW)	贡献率/%	含量/(mg GAE · g <sup>-1</sup> · DW)	贡献率/%	
冻干前	金丝皇菊	10.475±0.433 <sup>e</sup>	69.463	4.605±0.407 <sup>b</sup>	30.537	15.080±0.458 <sup>e</sup>
	贡菊	7.021±0.474 <sup>e</sup>	58.445	4.992±0.355 <sup>b</sup>	41.555	12.013±0.709 <sup>f</sup>
	雏菊	4.828±0.148 <sup>b</sup>	56.941	3.651±0.280 <sup>c</sup>	43.059	8.479±0.398 <sup>g</sup>
	杭白菊	8.897±0.245 <sup>f</sup>	53.690	7.674±0.266 <sup>a</sup>	46.310	16.571±0.425 <sup>d</sup>
冻干后	金丝皇菊	16.938±0.763 <sup>e</sup>	84.390	3.133±1.048 <sup>cd</sup>	15.610	20.071±1.382 <sup>c</sup>
	贡菊	12.989±0.430 <sup>d</sup>	79.492	3.351±0.055 <sup>c</sup>	20.508	16.340±0.398 <sup>d</sup>
	雏菊	18.917±0.653 <sup>b</sup>	88.360	2.492±0.063 <sup>d</sup>	11.640	21.409±0.716 <sup>b</sup>
	杭白菊	29.668±0.739 <sup>a</sup>	90.681	3.049±0.056 <sup>cd</sup>	9.319	32.717±0.770 <sup>a</sup>

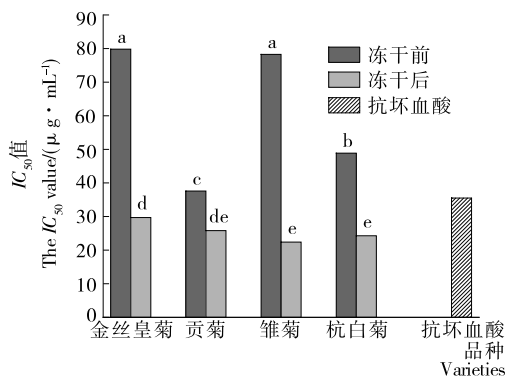
<sup>†</sup> 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

酚和总酚含量均显著升高(P<0.05),较冻干前分别提升了 1.617~3.918 倍和 1.331~2.525 倍,且游离酚为主要存在形式。其中,雏菊游离酚和总酚含量增幅最大(分别为 3.918 倍和 2.525 倍)。而冻干后结合酚含量均显著降低(P<0.05),较冻干前降低了 1.470~2.517 倍,其中杭白菊结合酚的降幅最大(2.517 倍),可能是因为真空和低温条件抑制了植物细胞的呼吸作用,抑制了多酚氧化酶的活性,阻止了多酚向醌类物质转化<sup>[31-32]</sup>;且冻干时间适当,细胞内的水分被冻结成大量细小冰晶,破坏了共价键和疏水键,使得与蛋白质、糖类等高分子化合物结合的多酚释放出来,结合酚向游离酚转变,更好地与有机溶剂接触<sup>[33]</sup>,从而提高了总酚和游离酚含量,降低了结合酚含量。

2.3 清除 DPPH · 能力比较

由图 1 可知,菊花冻干后游离酚清除 DPPH · 的能力均显著提高(P<0.05),金丝皇菊、贡菊、雏菊、杭白菊 4 种菊花冻干后 IC<sub>50</sub> 值显著下降(下降幅度依次为 62.787%,31.341%,71.399%,50.304%)(P<0.05),冻干后 4 种菊花之间的游离酚清除 DPPH · 能力差异不显著,且清除力均高于抗坏血酸。

由图 2 可知,菊花冻干后结合酚清除 DPPH · 的能力显著改变,贡菊、雏菊、杭白菊的 IC<sub>50</sub> 值显著上升(上升幅度依次为 16.118%,62.579%,29.197%)(P<0.05),表明这 3 种菊花冻干后结合酚清除 DPPH · 的能力显著下

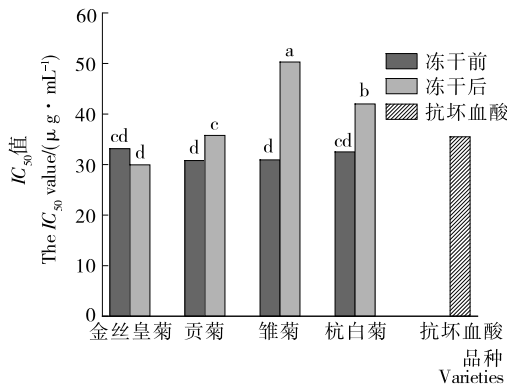


字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 1 菊花真空冷冻干燥前后游离酚的 DPPH · 清除率  
Figure 1 DPPH · scavenging capacity (IC<sub>50</sub>) of free phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

降,金丝皇菊冻干后 IC<sub>50</sub> 值下降,表明其结合酚清除 DPPH · 的能力提高,但与冻干前差异不显著。除金丝皇菊外,其余 3 种菊花冻干后结合酚清除 DPPH · 的能力均低于抗坏血酸。冻干后 4 种菊花间的结合酚清除 DPPH · 的能力差异显著(P<0.05),其清除能力顺序为金丝皇菊>贡菊>杭白菊>雏菊。

综上,菊花冻干后游离酚清除 DPPH · 的能力均增强,结合酚清除 DPPH · 的能力变化略有差异,但普遍降低。其中,雏菊冻干后游离酚清除 DPPH · 能力最强



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图2 菊花真空冷冻干燥前后结合酚的DPPH·清除率

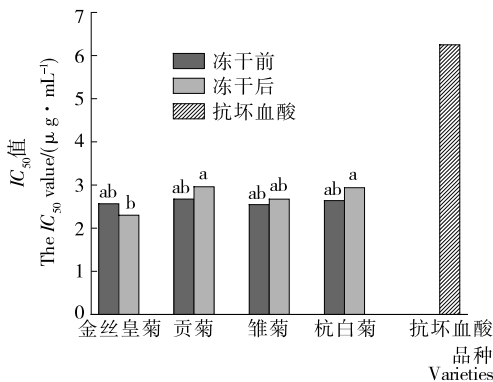
Figure 2 DPPH· scavenging capacity ( $IC_{50}$ ) of bound phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

( $IC_{50}$ 值为22.388  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), 金丝皇菊冻干后结合酚清除DPPH·能力最强( $IC_{50}$ 值为29.948  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。

#### 2.4 清除ABTS<sup>+</sup>·能力比较

由图3可知,菊花冻干前后游离酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力差异不显著,4种菊花之间的差异也不显著,冻干前后清除ABTS<sup>+</sup>·能力均高于抗坏血酸。

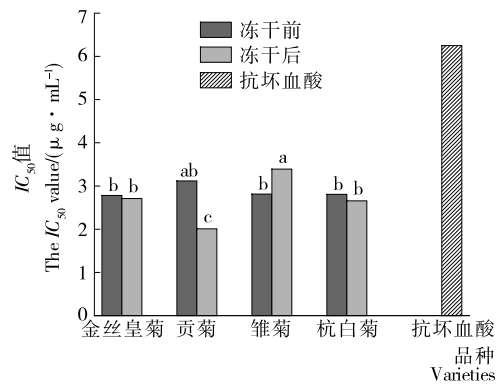
由图4可知,雏菊冻干后 $IC_{50}$ 值显著上升(上升幅度为20.547%)( $P<0.05$ ),表明雏菊冻干后结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力显著下降;贡菊冻干后 $IC_{50}$ 值显著下降(下降幅度为35.536%)( $P<0.05$ ),表明贡菊冻干后结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力显著上升;金丝皇菊和杭白菊冻干前后结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力差异不显著。4种菊花冻干前后结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力均强于抗坏血



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图3 菊花真空冷冻干燥前后游离酚的ABTS<sup>+</sup>·清除率

Figure 3 ABTS<sup>+</sup>· scavenging capacity ( $IC_{50}$ ) of free phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying



字母不同表示差异显著(P<0.05)

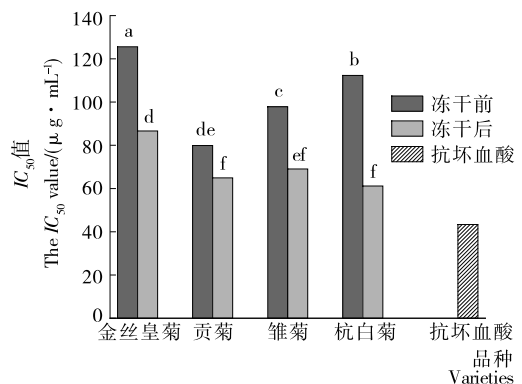
图4 菊花真空冷冻干燥前后结合酚的ABTS<sup>+</sup>·清除率  
Figure 4 ABTS<sup>+</sup>· scavenging capacity ( $IC_{50}$ ) of bound phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

酸。冻干后金丝皇菊与杭白菊间结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力差异不显著,但与另外两种菊花的差异显著( $P<0.05$ )。

综上,菊花冻干后游离酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力变化不显著,但均强于抗坏血酸。菊花冻干后结合酚清除ABTS<sup>+</sup>·的能力变化有差异,其中贡菊的清除能力显著增强( $IC_{50}$ 值为2.010  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ),雏菊的清除能力显著降低( $IC_{50}$ 值为3.391  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ),而金丝皇菊和杭白菊与冻干前的差异不显著。

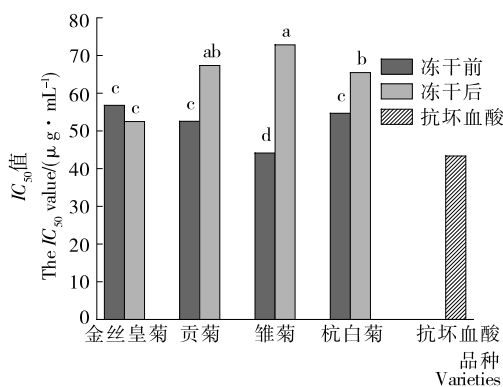
#### 2.5 铁还原能力比较

由图5可知,菊花冻干后游离酚的铁还原能力均显著提高,金丝皇菊、贡菊、雏菊、杭白菊4种菊花冻干后 $IC_{50}$ 值显著下降(下降幅度依次为31.003%,18.730%,29.420%,45.549%)( $P<0.05$ ),但铁还原能力均低于抗坏血酸。金丝皇菊冻干后游离酚的铁还原能力与其他3种菊花的差异显著( $P<0.05$ ),贡菊、雏菊、杭白菊之间



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图5 菊花真空冷冻干燥前后游离酚的铁还原能力  
Figure 5 Ferric reducing antioxidant property ( $IC_{50}$ ) of free phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 6 菊花真空冷冻干燥前后结合酚的铁还原能力  
Figure 6 Ferric reducing antioxidant property ( $IC_{50}$ ) of bound phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

游离酚的铁还原能力差异不显著。

由图 6 可知,菊花冻干后结合酚的铁的还原能力变化显著,贡菊、雏菊、杭白菊的  $IC_{50}$  值显著上升(上升幅度依次为 28.181%, 65.007%, 19.744%) ( $P < 0.05$ ),表明这 3 种菊花冻干后结合酚的铁还原能力显著下降,金丝皇菊冻干后  $IC_{50}$  值下降,其结合酚的铁还原能力提高,但与冻干前差异不显著。金丝皇菊冻干后结合酚的铁还原能力与其他 3 种菊花的差异显著 ( $P < 0.05$ )。

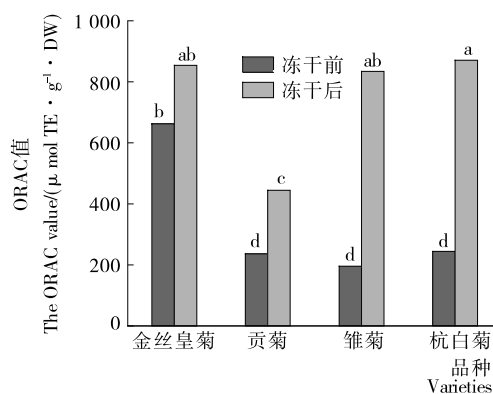
综上,菊花冻干后游离酚的铁还原能力均增强,结合酚的铁还原能力变化略有差异,除金丝皇菊外,其余 3 种菊花的铁还原能力降低。其中,杭白菊冻干后游离酚的铁还原能力最强( $IC_{50}$  值为 61.158  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ),金丝皇菊冻干后结合酚的铁还原能力最强( $IC_{50}$  值为 52.492  $\mu\text{g}/\text{mL}$ )。

### 2.6 氧自由基吸收能力比较

由图 7 可知,菊花冻干后游离酚的 ORAC 显著提高,贡菊、雏菊、杭白菊的 ORAC 值显著升高(上升幅度依次为 88.198%, 326.283%, 256.306%) ( $P < 0.05$ )。金丝皇菊冻干后游离酚的 ORAC 虽提高,但与冻干前差异不显著。贡菊冻干后游离酚的 ORAC 与其他 3 种菊花的差异显著 ( $P < 0.05$ )。

由图 8 可知,菊花冻干后结合酚的 ORAC 显著下降,贡菊、雏菊、杭白菊的 ORAC 值显著下降(下降幅度依次为 43.958%, 60.494%, 86.117%) ( $P < 0.05$ )。金丝皇菊冻干后结合酚的 ORAC 虽下降,但与冻干前差异不显著。金丝皇菊冻干后与雏菊、杭白菊之间结合酚的 ORAC 差异显著 ( $P < 0.05$ )。

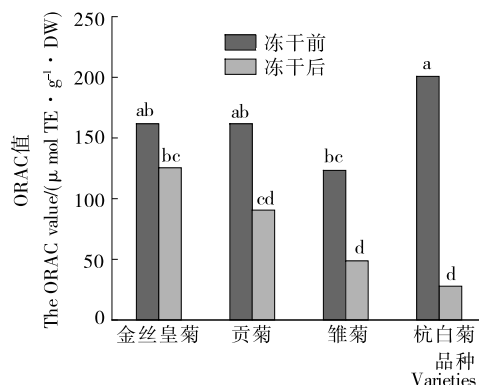
综上,菊花冻干后游离酚的 ORAC 呈上升趋势,其中杭白菊的 ORAC 最高(870.876  $\mu\text{mol TE}/\text{g} \cdot \text{DW}$ )。菊花冻干后结合酚的 ORAC 呈下降趋势,其中杭白菊的 ORAC 最低(27.872  $\mu\text{mol TE}/\text{g} \cdot \text{DW}$ )。



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 7 菊花真空冷冻干燥前后游离酚的氧自由基吸收能力  
Figure 7 ORAC of free phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

Figure 7 ORAC of free phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying



字母不同表示差异显著(P<0.05)

图 8 菊花真空冷冻干燥前后结合酚的氧自由基吸收能力  
Figure 8 ORAC of bound phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

Figure 8 ORAC of bound phenolics in four kinds of chrysanthemums before and after vacuum freeze drying

### 2.7 多酚含量与抗氧化能力的相关性分析

由表 3 可知,ORAC 与冻干前游离酚含量呈极显著相关性 ( $P < 0.01$ ),与冻干前结合酚含量呈显著相关性 ( $P < 0.05$ ),与 Zheng 等<sup>[34]</sup>的结论相似。而其他 3 种抗氧化能力与多酚含量的相关性不显著,但发现多酚含量的变化与抗氧化性的强弱是相关的<sup>[35]</sup>。这是因为测量抗氧化能力的方法、反应机制不同可能导致不同的观察结果<sup>[36]</sup>。此外,菊花中的各种天然抗氧化成分往往具有协同作用,使得多酚含量相似的样品抗氧化能力不同,4 种菊花在冻干前后具有抗氧化活性的酚类的种类和含量也不同。这些因素都影响着多酚含量与抗氧化能力的相关性。所以冻干后游离酚含量增加,且真空低温条件抑制了多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等的活性,使得

表3 多酚含量与抗氧化能力的相关性分析<sup>†</sup>

Table 3 Correlation analysis between phenolic contents and antioxidant capacity

处理方式	活性成分含量/(mg GAE · g <sup>-1</sup> · DW)	DPPH · 清除率	ABTS <sup>+</sup> · 清除率	铁还原能力	ORAC
冻干前	31.221±1.300	0.620	0.121	0.725	0.772* *
	20.922±1.308	-0.350	0.268	-0.411	0.662
冻干后	78.512±2.585	0.415	-0.080	0.552	0.955*
	12.025±1.222	-0.830	0.301	-0.506	0.487

<sup>†</sup> \* . 相关性显著(P<0.05); \* \* . 相关性极显著(P<0.01)。

冻干后游离酚清除 DPPH · 能力、铁还原能力、ORAC 普遍增强。而冻干后结合酚含量降低,导致其清除 DPPH · 能力、铁还原能力、ORAC 变化普遍降低。而清除 ABTS<sup>+</sup> · 能力差异不显著,可能是因为影响清除 ABTS<sup>+</sup> · 能力的单体酚在冻干前后含量基本没有变化。后续还需进一步研究多酚的组成对抗氧化活性的影响。

### 3 结论

以4种市售菊花为原料,借助真空冷冻干燥技术,分析了菊花冻干前后多酚含量、组分及抗氧化活性的变化。结果表明,4种菊花冻干前总酚含量为8.479~16.571 mg GAE/g · DW,冻干后总酚含量为16.340~32.717 mg GAE/g · DW,游离酚是菊花冻干前后多酚的主要存在形式(占53.690%~90.681%)。4种菊花冻干前后均具有一定的抗氧化活性,冻干后游离酚的抗氧化性普遍增强,结合酚的抗氧化性普遍降低。清除 DPPH · 能力的 IC<sub>50</sub> 值为24.292~79.829 μg/mL,清除 ABTS<sup>+</sup> · 能力的 IC<sub>50</sub> 值为2.010~3.391 μg/mL,铁还原能力的 IC<sub>50</sub> 值为44.138~125.570 μg/mL,ORAC 值为27.872~870.876 μmol TE/g · DW。菊花富含多酚且具有较强的抗氧化活性,是植源性多酚的优良来源之一,真空冷冻干燥后的总酚含量增加。后续可进一步探索真空冷冻干燥的参数,减少能耗,研究多酚组分对抗氧化活性的影响,以及对其细胞和体内抗氧化能力进行研究并探讨其作用机制。

### 参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[S]. 北京:中国医药科技出版社,2010:292.

[2] 瞿璐,王涛,董勇喆,等. 菊花化学成分与药理作用的研究进展[J]. 药物评价研究,2015,38(1):98-104.

[3] ZHU Zhen-yuan, PAN Li-chao, TANG Yun, et al. Structural analysis and antioxidant activity of the glycoside from Imperial *Chrysanthemum* [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 2018, 28(9): 1581-1590.

[4] 章海风,陈敏,路新国,等. 枸杞菊花水提液对老年大鼠晶状体抗氧化能力的影响[J]. 中国老年学杂志,2012,32(8):1628-1630.

[5] 燕宪涛,路新国,章海风,等. 枸杞菊花散对老年大鼠视网膜各层细胞的影响[J]. 中国中医眼科杂志,2012,22(2):

80-82.

[6] HE Dong-xu, RU Xiao-chen, WEN Lei, et al. Total flavonoids of Flos Chrysanthemi protect arterial endothelial cells against oxidative stress[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2012, 139(1): 68-73.

[7] 王淑静,李源馨. 野菊花总黄酮降血脂作用的实验研究[J]. 现代食品,2017(3):123-125.

[8] 蔡霄英,龚茵茵. 食用花卉中的多酚类成分及生物活性研究进展[J]. 食品与机械,2018,34(11):178-182,189.

[9] 张东峰,刘琪,张欣悦,等. 6种食用花卉有效成分及其抗氧化活性研究[J]. 食品与机械,2018,34(9):167-171,184.

[10] 卫强,纪小影,龙先顺,等. 滁菊叶化学成分及其体外抗氧化活性研究[J]. 中药材,2015,38(2):305-310.

[11] 刘瑜新,常星,康文艺. 两种开封产黄色菊花的体外抗氧化活性[J]. 食品工业科技,2009,30(12):85-87.

[12] 张磊,项芳芝,苗文娟,等. 菊花中生物活性物质提取工艺研究进展[J]. 食品与机械,2017,33(4):205-210.

[13] 王婷婷,王少康,黄桂玲,等. 菊花主要活性成分含量及其抗氧化活性测定[J]. 食品科学,2013,34(15):95-99.

[14] 贺志荣,皇甫阳鑫,刘乐,等. 菊花抗氧化活性研究进展[J]. 绿色科技,2019(2):128-130.

[15] 詹歌,孙艳辉,严佳慧,等. 干燥方式对滁菊抗氧化、抑菌活性和挥发性风味物质的影响[J]. 食品与机械,2018,34(11):193-199.

[16] 陈强,苗文娟,查靖,等. 菊花干燥技术研究进展[J]. 食品工业科技,2019,40(14):359-362,368.

[17] 苏倩,谭艳妮,纪宏. 真空冷冻干燥技术在食品方面的应用[J]. 品牌与标准化,2018(6):71-74.

[18] 王月月,段续,任广跃,等. 干燥方法对洋葱精油提取率及DPPH自由基清除活性的影响[J]. 食品与机械,2019,35(10):112-116,164.

[19] 云霞,韩学宏,农绍庄,等. 海参真空冷冻干燥工艺[J]. 中国水产科学,2006,13(4):662-666.

[20] 郑俏然,周凤,邢洁,等. 干燥方式对牛肝菌干燥特性、品质及抗氧化能力的影响[J]. 食品与机械,2018,34(11):45-49.

[21] 刘鸿雁,高阳,王亚,等. 真空冷冻干燥白菊的试验研究[J]. 食品研究与开发,2016,37(14):98-102.

[22] OKARTER N, LIU Chang-shu, SORRELLS M E, et al. Phytochemical content and antioxidant activity of six diverse varieties of whole wheat[J]. Food Chemistry, 2010, 119

(1): 249-257.

[23] ADOM K K, LIU Rui-hai. Antioxidant activity of grains[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(21): 6 182-6 187.

[24] CHU Yi-fang, SUN Jie, WU Xian-zhong, et al. Antioxidant and antiproliferative activities of common vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(23): 6 910-6 916.

[25] ALVAREZ-JUBETE L, WIJNGAARD H, ARENDT E K, et al. Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking[J]. Food Chemistry, 2010, 119(2): 770-778.

[26] SOONG Y Y, BARLOW P J. Antioxidant activity and phenolic content of selected fruit seeds[J]. Food Chemistry, 2004, 88(3): 411-417.

[27] ARDESTANI A, YAZDANPARAST R. Antioxidant and free radical scavenging potential of Achillea santolina extracts[J]. Food Chemistry, 2007, 104(1): 21-29.

[28] WOLFE K L, KANG Xin-mei, HE Xiang-jiu, et al. Cellular antioxidant activity of common fruits[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2008, 56(18): 8 418-8 426.

[29] 闫旭, 刘璇, 毕金峰, 等. 干燥方法对番石榴活性物质含量及抗氧化能力的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 57-64.

[30] CHANG Ching-hui, LIN Hsing-yu, CHANG Chi-yue, et al. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 77(3): 478-485.

[31] SOGI D S, SIDDIQ M, GREIBY I, et al. Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3): 2 649-2 655.

[32] 田文翰, 张晓伟, 杨小露, 等. 不同干燥方式对十香菜根多酚和黄酮含量及其抗氧化活性的影响[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(2): 103-107.

[33] NICOLI M C, ANESE M, PARPINEL M. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables[J]. Trends in Food Science and Technology, 1999, 10(3): 94-100.

[34] ZHENG Gui-qing, DENG Jie, WEN Ling-rong, et al. Release of phenolic compounds and antioxidant capacity of Chinese hawthorn “Crataegus pinnatifida” during in vitro digestion[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 40: 76-85.

[35] HOSSAIN M B, BARRY-RYAN C, MARTIN-DIANA, et al. Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs[J]. Food Chemistry, 2010, 123: 85-91.

[36] 肖星凝, 李苇舟, 石芳, 等. 不同品种李子多酚组成及抗氧化活性[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 31-37.

信息窗

更正启事

本刊 2020 年第 4 期刊发的《4 种富锌乳酸菌抗氧化活性及体外消化稳定性研究》一文, 该研究系作者所在实验室系列研究中的一个部分, 在撰写论文过程中, 作者误将同系列另一组试验样品的数据当成本组试验数据, 导致刊出的论文部分数据存在错误, 特此更正如下:

序号	原文位置	原文错误的表述	更正后的表述
1	中文摘要第 11 行	$(29.78 \pm 0.42)\%$	原 0.42 更正为 0.37
2	英文摘要	$(29.78 \pm 0.42)\%$	原 0.42 更正为 0.37
3	第 172 页 1.2.4 部分	$m_4$ ——模拟胃液离心后上清液锌含量, mg	原 $m_4$ 更正为 $m_3$
4	第 172 页 1.2.4 部分	$m_3$ ——模拟胃液中锌含量, mg	原 $m_3$ 更正为 $m_4$
5	第 172 页 2.2 部分	$OD_{600\text{ nm}}$ 达最大值 1.95, 发酵培养液 pH 值降至 4.8	原 1.95 更正为 1.85; 原 4.8 更正为 4.86
6	第 173 页 2.3.2 部分	牡蛎多肽锌处理的保加利亚乳杆菌 DPPH 自由基清除率为 $(10.50 \pm 0.17)\%$	原 $(10.50 \pm 0.17)\%$ 更正为 $(11.21 \pm 0.87)\%$
7	第 173 页 2.3.3 部分	其中干酪乳杆菌清除率最高为 $(53.17 \pm 0.39)\%$ , 保加利亚乳杆菌清除率最高为 $(47.29 \pm 0.63)\%$ ; 嗜酸乳杆菌清除率最高为 $(48.17 \pm 0.79)\%$ 。	原 $(53.17 \pm 0.39)\%$ 更正为 $(45.17 \pm 1.39)\%$ ; 原 47.29 更正为 45.29; 原 48.17 更正为 37.17
8	第 174 页 2.4.2 部分	保加利亚乳杆菌的活力损失率最低, 为 $(48.53 \pm 0.43)\%$	原“最低”更正为“最高”; 原 48.53 更正为 52.53
9	第 174 页图 6(b)	横坐标“胃消化时间”; 横坐标数值原为 0、3、6	原“胃消化时间”更正为“肠消化时间”; 原横坐标数值更正为 0、6、12

该文章的最终正确表述以“中国知网”上的电子版文件为准, 为此给中国知网及广大读者带来的不便, 深表歉意。

《食品与机械》编辑部

2020 年 6 月