

真空冷冻—热风联合干燥对甘肃 紫斑牡丹品质的影响

The effect of vacuum freezing-hot air combined drying on
the quality of purple-spotted peony in Gansu

赵雪芳^{1,2} 梁琪^{1,2} 唐红³ 张丝曼^{1,2} 徐宝弟^{1,2}

ZHAO Xue-fang^{1,2} LIANG Qi^{1,2} TANG Hong³ ZHANG Si-man^{1,2} XU Bao-di^{1,2}

(1. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省功能乳品工程实验室,

甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070)

(1. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China; 2. Functional Dairy Product Engineering Laboratory of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730070, China; 3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

摘要:目的:揭示干燥工艺对甘肃紫斑牡丹花冠茶品质的影响。方法:采用真空冷冻热风联合干燥(FHCD)、变温热风干燥(VHD)和真空冷冻干燥(VFD)对紫斑牡丹鲜花进行干燥,测定 3 种干燥工艺下紫斑牡丹花冠茶的活性成分(花青素含量)和质量属性(水分含量、皱缩率和复水性),结合干燥工艺的能量消耗和紫斑牡丹花冠茶的感官特性(外观、茶色、口味等)对 3 种干燥工艺进行比较。结果:3 种干燥工艺下的紫斑牡丹花冠茶花青素含量分别为 8.63%, 4.68%, 12.26%, 复水性分别为 491.52%, 433.28%, 531.75%。与 VHD 相比, FHCD 的紫斑牡丹花冠茶花青素含量增加了 3.95%、复水性增加了 58.24%、皱缩率减小了 13.82%;与 VFD 相比, FHCD 的效率提高了 1 倍,且能耗降低了 51.79%。花冠茶的花青素含量与复水性和含水量呈显著正相关,相关系数分别为 0.741 和 0.738。花冠茶的颜色与花青素含量有关,花青素含量规律为玫红色花冠茶>粉色花冠茶>白色花冠茶。结论: FHCD 的紫斑牡丹花冠茶优质、高效、节能,其花冠茶花青素含量、水分含量、皱缩率和复水性分别为 8.63%, 9.46%, 52.85%, 492.40%。

关键词:紫斑牡丹;花冠茶;干燥工艺;真空冷冻—热风联

合干燥(FHCD)

Abstract: **Objective:** To reveal the effect of drying processes on the quality of Gansu purple-spotted peony corolla tea, and to explain the drying mechanism of different drying processes. **Methods:** Vacuum freezing-hot air combined drying (FHCD), variable temperature hot air drying (VHD) and vacuum freeze drying (VFD) were used to dry the flowers of peony. The active ingredient (anthocyanin content) and quality attributes (moisture content, shrinkage rate and rehydration) of the purple-spotted peony corolla tea processed by three drying processes were determined, and the energy consumption of the drying processes and sensory characteristics (appearance, tea color, taste, etc.) of corolla tea were compared with three drying processes. **Results:** the anthocyanin content of the purple-spotted peony corolla tea processed by the above three drying processes were 8.63%, 4.68% and 12.26%, and the rehydration of them were 491.52%, 433.28% and 531.75%, respectively. Compared with VHD, anthocyanin content of the purple-spot peony corolla tea processed by FHCD increased by 3.95%, rehydration of it increased by 58.24%, and shrinkage of it reduced by 13.82%; Compared with VFD, the efficiency of FHCD process doubled, and its energy consumption reduced by 51.79%. The anthocyanin content of corolla tea was significantly positively correlated with shrinkage rate, rehydration and water content, and the correlation coefficients were 0.749, 0.741 and 0.738, respectively. The color of purple-spotted peony was related to the anthocyanin content. The anthocyanin content rule was: rose red corolla tea>pink corolla tea>white corolla tea. **Conclusion:** The purple-spot peony corolla tea processed by FHCD has high quality, high efficiency and energy

基金项目:甘肃农业大学省级大学生创新创业训练计划项目(编号: S202010733074)

作者简介:赵雪芳,女,甘肃农业大学在读硕士研究生。

通信作者:梁琪(1969—),女,甘肃农业大学教授,博士。

E-mail: liangqi@gsau.edu.cn

唐红(1968—),女,甘肃农业大学副教授,博士。

E-mail: tangh@gsau.edu.cn

收稿日期:2021-07-21

saving. The anthocyanin content, moisture content, shrinkage rate and rehydration rate of corolla tea processed by this process were 8.63%, 9.46%, 52.85% and 492.40%, respectively. The test results provide a reference for improving the comprehensive quality and drying process of purple-spotted peony corolla tea.

Keywords: purple-spotted peony; corolla tea; drying process; vacuum freezing-hot air combined drying(FHCD)

牡丹(*Paeonia Sect. Moutan*)是芍药科芍药属的多年生落叶灌木,原产于中国^[1]。紫斑牡丹(*Paeonia rockii*)是中国第二大本土牡丹品种群^[2],其主要分布于甘肃南部,种植面积超过 1 300 hm²。紫斑牡丹花瓣基部均有明显的紫色大斑块^[3],花色以白色、粉色、玫红色为常见,花型为单瓣型和复瓣型。在《中药大辞典》中已明确记载了紫斑牡丹的食用价值和药用价值^[4]。牡丹花中含有花青素、槲皮素和芹菜素等活性成分^[5-6],其花青素的抗氧化能力是维生素 E 的 10 倍、维生素 C 的 20 倍^[7],在当前已知的抗氧化活性物质中位居前列^[8],且其花青素含量和结构决定了牡丹花的颜色^[9]。

干燥是可食用花茶制备的关键工艺。目前,国内外食用花干燥技术主要采用微波辅助加热干燥^[10]、热风干燥^[11]、真空冷冻干燥^[12]和联合干燥^[13]等。单一热风干燥工艺对食用花的质构破坏严重,使其外观皱缩变形,色泽褐变。单一真空冷冻干燥是在低温低压的传热传质过程中进行脱水,该干燥工艺虽然对食用花的挥发性物质破坏程度较小,保持了产品原有的外观形状,质地较脆,色泽变化较小,但其干燥时间长,设备复杂且能耗高^[14-15]。而热风干燥联合真空冷冻干燥可以在提高产品干燥效率的同时改善品质。此外,前期的热风干燥降低食用花水分,有利于实现“热风干燥—真空冷冻干燥—贮藏”的高品质花茶工业化干燥模式。Ferenczi 等^[16]提出了真空冷冻与热风联合干燥(FHCD)技术。邓媛元等^[17]研究发现热风—真空冷冻联合干燥比真空冷冻干燥节约干燥时间 12.16%,节约单位能耗 25.40%。罗小梅等^[18]研究发现冷冻真空—热风联合干燥所制的金花茶花朵综合品质明显优于单一干燥工艺,并能较好地保留花朵中茶多酚活性成分,常温下(18~22℃)贮藏时间长、不易变质,且干燥效率高于冷冻真空干燥。但有关 FHCD 技术对紫斑牡丹花冠茶品质的影响尚未见报道。试验拟系统研究采用真空冷冻—热风联合干燥(FHCD)、变温热风干燥(VHD)和真空冷冻干燥(VFD)3 种干燥技术对紫斑牡丹鲜花进行干燥,分析紫斑牡丹花冠茶的活性成分(花青素)和质量属性(含水量、皱缩率、复水性和感官特性),并评估 3 种干燥工艺的能耗和效率,旨在为提高紫斑牡丹花冠茶的综合品质提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

紫斑牡丹鲜花:花瓣为白色、粉色和玫红色,直径约为 12~18 cm,每年 4 月下旬—6 月中旬采摘,甘肃省兰州市榆中县官滩沟紫斑牡丹培育基地;

所用化学试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

分析天平:FR224CN 型,奥豪斯仪器(常州)有限公司;

微波炉:G70F20CN3L-C2(B0)型,广东格兰仕微波炉电器制造有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:GZX-GF101-II 型,上海跃进医疗器械有限公司;

高速台式冷冻离心机:TGL-20M 型,长沙湘仪离心机仪器公司;

可见分光光度计:UV8500 型,上海光谱仪器有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS26 型,上海一恒科学仪器有限公司;

冷冻干燥机:SCIENTZ-10ND 型,宁波新芝生物科技股份有限公司。

1.3 方法

1.3.1 原料预处理 紫斑牡丹鲜花从花蒂下 1~2 cm 处剪下(保留花萼),修剪掉花蒂下带有的绿叶和花梗。整理好花型,按相同尺寸花型和颜色分组放入 3 个特制的箱子中,贮藏于甘肃省功能乳品工程实验室-80℃冰箱中。

1.3.2 变温热风干燥(VHD)

紫斑牡丹鲜花→微波(功率 700 W)杀青 1 min→室温冷却 20 min→80℃热风干燥 15 min→室温吸湿回潮 20 min→60℃热风干燥 5 h→室温吸湿回潮 20 min→55℃热风干燥至恒重(热风干燥风速均为 0.3~0.5 m/s)

1.3.3 真空冷冻干燥(VFD) 设置真空冷冻干燥机时间为 24 h、真空压力为 40 Pa。将 3 种颜色紫斑牡丹鲜花放入真空冷冻干燥机托盘上,花朵间距 1~2 cm,冷冻干燥至样品恒重。

1.3.4 真空冷冻—热风联合干燥(FHCD) 真空冷冻干燥机真空压力 40 Pa、干燥时间 12 h,干燥结束后,测定紫斑牡丹花冠茶半成品水分含量,采用电热恒温鼓风干燥箱(温度 60℃)干燥至恒重。

1.4 紫斑牡丹花冠茶理化指标测定

1.4.1 水分含量 按 GB 5009.3—2016 中的直接干燥法进行。水分含量按式(1)计算。

$$M = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

M ——水分含量,%;
 W_1 ——干燥前紫斑牡丹鲜花重量,g;
 W_2 ——干燥后紫斑牡丹花冠茶重量,g。

1.4.2 花青素含量 根据文献[19]稍作修改。将紫斑牡丹花瓣剪成宽1 mm左右的细丝,用分析天平称量3种颜色鲜花细丝各1 g,并置于50 mL锥形瓶中,加入10 mL、0.1 mol/L的HCl溶液,32 ℃水浴提取4 h,6 000 r/min冷冻离心10 min,上清液用0.1 mol/L HCl溶液稀释10倍,测定530 nm处吸光度。以每克花瓣细丝在10 mL、0.1 mol/L的HCl浸提液中的吸光度 $A=0.1$ 为一个花青素单位(U)。上述试验重复3次,取平均值。

1.4.3 皱缩率 根据文献[20]稍作修改:将花瓣在A4纸上沿边缘准确画线并剪下,准确称量其重量,测定标准面积纸张重量,并按式(2)计算花瓣面积。

$$Z = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right) \times 100\%, \tag{2}$$

式中:
 Z ——皱缩率,%;
 S_1 ——干燥后花瓣面积,cm²;
 S_2 ——鲜花花瓣面积,cm²。

1.4.4 复水性 根据文献[21]稍作修改:将紫斑牡丹花冠茶花瓣于80 ℃蒸馏水中浸泡30 min,3 000 r/min离心1 min,准确称量其重量,并按式(3)计算其复水性。

$$F = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:
 F ——复水性,%;
 W_1 ——复水前紫斑牡丹花冠茶重量,g;
 W_2 ——复水后紫斑牡丹花冠茶重量,g。

1.5 能耗计算

1.5.1 真空冷冻干燥能耗 根据文献[16]。

$$W = P_1 \times t_1, \tag{4}$$

式中:
 W ——真空冷冻干燥能耗,kW·h;
 P_1 ——电功率,kW;
 t_1 ——消耗时间,h。

1.5.2 热风干燥能耗 根据文献[16]。

$$W = 0.1 \times P_2 \times t_2, \tag{5}$$

式中:
 W ——热风干燥能耗,kW·h;
 P_2 ——电功率,kW;
 t_2 ——消耗时间,h。

1.6 紫斑牡丹花冠茶品质评价

采用盲样评定法对3种干燥方法下的紫斑牡丹花冠茶进行评分。利用感官加权计算最终得分。其中花冠茶干制品形态和气味占30%,茶汤颜色占20%,茶汤中形

态占30%,茶汤气味和口味占20%,感官评价表总分100分,感官评价设计见表1。

表1 紫斑牡丹花冠茶干制品和茶汤感官评价标准[†]
Table 1 Sensory evaluation criteria for dried products and tea soup of purple-spotted peony corolla tea

指标	评价	评分
干制品形态和气味(30%)	花冠茶形态不完整,严重变形、变色,花瓣易碎,无香	0~15
	花冠茶形态基本完好,外观较好,颜色基本未变,花瓣稍脆,淡香	16~24
	花冠茶形态完好无损,外观优美,颜色正常,花瓣较有韧性,浓香	25~30
	复水后花冠茶基部有少量紫色色素扩散到水中,茶汤色泽很淡	0~10
茶汤颜色(20%)	复水后花冠茶基部大量紫色色素呈丝状逐渐扩散到水中,汤色正常	11~20
	花朵不完整,花瓣严重粘合	0~10
花冠茶复水后形态(30%)	花朵基本完整,形态立体	11~20
	花朵完整,立体饱满,优美绽放	21~30
茶汤气味和口味(20%)	有淡淡的紫斑牡丹花香且口味较纯	0~14
	有浓郁的紫斑牡丹花香且口味纯	15~20

[†] 试验用的紫斑牡丹有白色、粉色和玫红色,玫红色牡丹花冠茶茶色较白色和粉色花冠茶茶色稍深。

1.7 数据统计与处理

所有试验重复3次,采用SPSS 22.0软件对数据进行差异显著性分析和Pearson相关性分析,用Origin 8.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 FHCD下的紫斑牡丹花冠茶水分含量变化

采用FHCD干燥紫斑牡丹花冠茶过程中,真空冷冻和热风联合干燥的顺序是影响花冠茶品质的重要因素之一,先热风干燥再真空冷冻干燥的花冠茶品质更接近热风干燥的花冠茶品质;先真空冷冻干燥再热风干燥的花冠茶品质更接近真空冷冻干燥的花冠茶品质,该顺序干燥的产品优质、节能、高效。FHCD下的紫斑牡丹花冠茶的水分含量变化见表2。

表2 FHCD工艺加工的紫斑牡丹花冠茶水分含量变化[†]
Table 2 Change in moisture content of purple-spotted peony corolla tea processed by FHCD process

鲜花含水量	转折阶段花冠茶含水量	FHCD花冠茶含水量
78.09±0.62 ^a	53.05±0.39 ^b	9.46±0.34 ^c

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

由表 2 可知,紫斑牡丹花在真空冷冻干燥阶段(VFD)和热风干燥阶段(HD)含水量均大幅下降。紫斑牡丹鲜花含水量为 78.09%,在 VFD 阶段花冠茶含水量减少了 25.04%,在 HD(温度 60 ℃,时间 3 h)阶段花冠茶含水量减少了 58.05%。HD 阶段初期(0.0~1.5 h)紫斑牡丹花冠茶水分含量快速下降,到 HD 阶段后期(1.5~3.0 h)其水分含量下降速率明显减慢。这是由于干燥初期(0.0~1.5 h)花冠茶含水量较高,且牡丹花瓣薄(厚度为 0.03~0.10 mm),花瓣中的水分扩散到花瓣表面后快速被蒸发,花瓣结构收缩,内部水分扩散受阻。

2.2 干燥工艺对紫斑牡丹花冠茶含水量的影响

由图 1 可知,FHCD、VHD 和 VFD 下的紫斑牡丹花冠茶水分含量差异显著($P<0.05$)。VFD 下的紫斑牡丹花冠茶水分含量最高,该工艺下的花冠茶水分含量比 FHCD 和 VHD 的分别高 14.82%和 16.56%,是由于 VHD 过程中干燥初期(0~3 h)温度高,干燥时间长(7 h),所以产品含水量低。FHCD 和 VHD 下的紫斑牡丹花冠茶水分含量分别为 9.46%和 7.72%,均低于 GH/T 1091—2014 代用茶中花类安全水分含量(13%)。

2.3 干燥工艺对紫斑牡丹花冠茶花青素含量的影响

花青素对 pH、光、氧气、温度等有较强的敏感性^[22-23],因此在紫斑牡丹花冠茶加工过程中防止花青素被破坏是重点。由图 2 可知,3 种颜色的紫斑牡丹鲜花和花冠茶中的花青素含量差异显著($P<0.05$)。紫斑牡丹鲜花中花青素含量规律为玫红色>粉色>白色,玫红色紫斑牡丹鲜花中花青素含量比粉色和白色分别高 7.70%和 9.44%,是由于不同颜色的紫斑牡丹花青素含量和结构不同^[24]。3 种颜色的紫斑牡丹用不同干燥工艺加工后花青素含量均相应减少,同种颜色不同干燥工艺下的花冠茶花青素含量差异显著($P<0.05$)。其中 FHCD 下的花冠茶花青素含量是 VHD 的 2 倍,且该工艺下的花冠茶的保真性最好,是由于快速而短暂地加热能减少产品

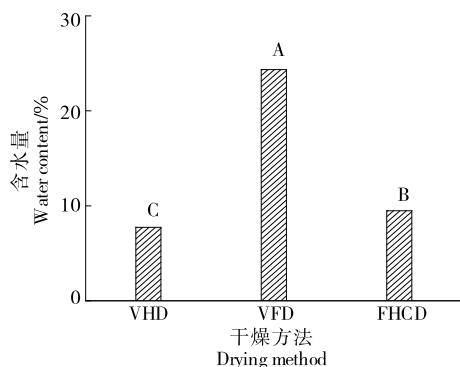
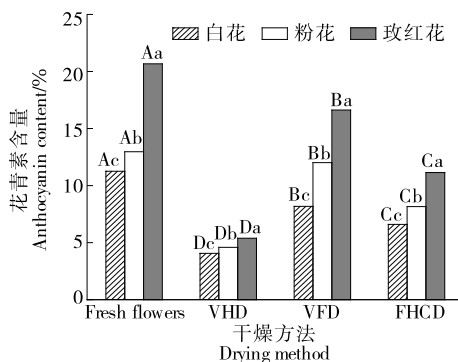


图 1 不同干燥工艺下紫斑牡丹花冠水分含量

Figure 1 Water content of purple-spotted peony corolla teaprocessed by different drying processes



字母不同表示差异显著($P<0.05$)

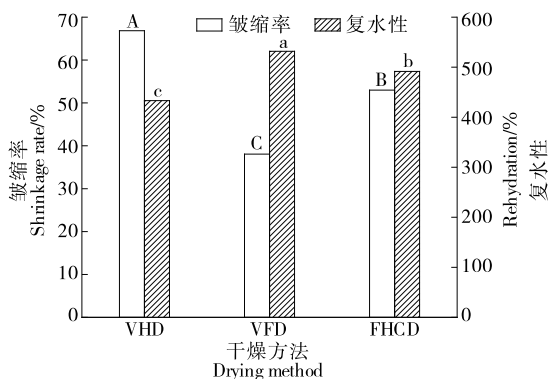
图 2 不同干燥工艺下的紫斑牡丹花冠茶花青素含量

Figure 2 The anthocyanin content of different colourpurple-spotted peony corolla tea processed by different drying processes

中抗氧化物质的破坏,随着干燥时间的延长,花冠茶中的生物活性物质(花青素)也随之减少,FHCD 工艺有效保留了花冠茶中花青素含量。这与 Samoticha 等^[25]的结果类似。Lu 等^[26]研究发现 40 ℃低温热风干燥法和真空冷冻干燥可以有效保留花茶中的活性成分。试验所用的牡丹花冠茶较其他花茶外形大很多^[27],为了提高干燥效率且防止花冠茶长时间暴露于有氧的热环境中,所以 FHCD 工艺中热风干燥阶段的温度为 60 ℃。

2.4 干燥工艺对紫斑牡丹花冠茶皱缩率和复水性的影响

由图 3 可知,FHCD、VHD 和 VFD 下的紫斑牡丹花冠茶的皱缩率差异显著($P<0.05$),其中 VHD 下的紫斑牡丹花冠茶皱缩率最大,为 66.67%,该工艺下的花冠茶皱缩率比 VFD 的高 28.71%,是由于 VHD 过程中干燥温度高、干燥时间长,其产品花瓣结构变化严重,所以产品皱缩率最大。FHCD 下的花冠茶皱缩率比 VHD 的减小



字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 3 不同干燥工艺下的紫斑牡丹花冠茶的皱缩率和复水性

Figure 3 The shrinkage rate and rehydration of purple-spotted peony corolla tea processed by different drying processes

了 13.82%,由于 FHCD 过程中真空压力小、干燥温度低,所以产品皱缩率减小。

FHCD、VHD 和 VFD 下的紫斑牡丹花冠茶间的复水性差异显著($P<0.05$)。其中,FHCD 下的紫斑牡丹花冠茶复水性比 VHD 的高 58.24%。这是由于 FHCD 过程中花冠茶中的水分先冷冻后升华,使得花瓣质地松脆,所以其复水性好。

2.5 FHCD 下花冠茶参数间的相关性

由表 3 可知,FHCD 下的 4 个指标间均存在正相关和负相关。其中花冠茶的花青素含量与复水性和含水量呈显著正相关($P<0.05$),相关系数分别为 0.741 和 0.738,由于花冠茶加热时间越长含水量越低,从而破坏了花冠茶的细胞结构和花青素结构。花冠茶的皱缩率与含水量和花青素含量呈极显著负相关($P<0.01$),相关系数分别为-0.992 和-0.749,因为皱缩使得花冠茶结构发生变化,导致花冠茶中花青素被破坏。

2.6 3 种干燥工艺的干燥效率

由表 4 可知,VFD 的干燥时间比 FHCD 和 VHD 的分别长 9,17 h。由于 VFD 过程中产品受真空压力和干燥时间的影响,该工艺的干燥周期长(24 h)且真空压力低(40 Pa),导致产品生产效率高且耗能最大。与 VFD 相比,FHCD 的干燥效率提高了 1 倍,且节约能耗 51.79%,因为采用联合干燥法缩短了干燥时间,所以能量消耗降低,与 Agnieszka 等^[28]和 Qiu 等^[29]的结果类似。

2.7 紫斑牡丹花冠茶感官评价及产品图例

由图 4 可知,VHCD 下的花冠茶感官评价得分最高,为 89 分,且该工艺下的花冠茶品质最好,是由于该干燥

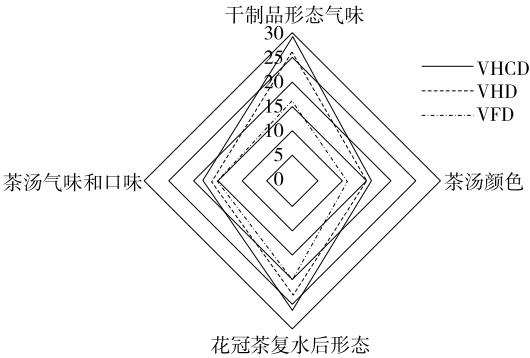


图 4 3 种工艺下的紫斑牡丹花冠茶感官评价
Figure 4 Sensory evaluation of purple-spotted peony corolla tea dried by three processes

工艺综合考虑了影响花冠茶品质的因素,并且结合了 HD 和 VFD 的优点(热风干燥时间降低为 3 h,热风干燥温度降低为 60 ℃,花冠茶的大量水分通过升华的方式排出)。其次是 VFD 下的花冠茶得分(80 分),VHD 下的花冠茶感官评价综合得分最低,为 62 分。因为 FHCD 下的产品花青素含量降低得较少(从 14.96%下降到 8.63%),花瓣的细胞结构完整,所以 FHCD 下的花冠茶感官品质优于 VHD 和 VFD 的。

采摘的鲜花直径大约为 12~18 cm,FHCD 下的花冠茶直径减小到原来的 3/5~4/5,花冠茶高 1.0~1.5 cm,外观立体饱满、朵型大、产品美观,VHD 下的花冠茶直径减小到原来的 2/5,花冠茶高 2.3~2.5 cm,外观立体朵型小、产品干脆易碎、美观性差。采用 VHD 干燥的花冠茶结构破坏最大,且紫斑牡丹花瓣细胞结构产生大量孔洞,与干燥水果、蔬菜和其他食品中的结果类似^[30-31]。

3 结论

采用真空冷冻—热风联合干燥、变温热风干燥和真空冷冻干燥对紫斑牡丹花进行干燥,分析花冠茶的活性成分(花青素含量)和质量属性(水分含量、皱缩率和复水性),并分析其节能性和生产效率。结果表明,真空冷冻—热风联合干燥下的花冠茶优质,产品花青素含量高(8.63%)、复水性好(491.52%)、水分含量低(9.46%),皱缩褐变不严重且高效节能。与变温热风干燥相比,真空冷冻—热风联合干燥下的产品花青素含量、复水性分别增加了 3.95%和 52.24%,其干燥时间是真空冷冻干燥的 1/2,且节约 51.79%的能耗。真空冷冻—热风联合干燥下的花冠茶外观饱满(直径 7.2~14.4 cm),其感官品质最佳(感官评分 89 分,朵型大,优美绽放)。因此,真空冷冻—热风联合干燥综合了变温热风干燥和真空冷冻干燥的优点,最大程度地降低了干燥处理对紫斑牡丹花冠茶结构和活性成分的破坏。但是在采用真空冷冻—热风联合干燥紫斑牡丹花冠茶过程中花冠茶褐变和活性成分

表 3 FHCD 下花冠茶参数间的相关性[†]
Table 3 Correlation among the parameters of purple-spotted peony corolla tea by FHCD process

项目	花青素	含水量	皱缩率	复水性
花青素	1.000			
含水量	0.738 *	1.000		
皱缩率	-0.749 *	-0.992 **	1.000	
复水性	0.741 *	0.992 **	-0.999 **	1.000

[†] * 表示 $P<0.05$ (双尾),相关性显著, ** 表示 $P<0.01$ (双尾),相关性极显著。

表 4 3 种工艺的干燥时间和能耗
Table 4 Drying time and energy consumption of three drying processes

干燥工艺	干燥时间/h	能耗/(kW·h)
FHCD	15	26.1
VHD	7	2.1
VFD	24	50.4

(花青素)被破坏的具体时间点尚不清楚,后续可探寻该临界点,并且采取有效保护措施,从而提高产品综合素质,为紫斑牡丹花冠茶的干燥工艺提供精确的理论参数。

参考文献

- [1] ZHANG Fang, QU Jie, THAKUR Kiran, et al. Purification and identification of an antioxidative peptide from peony (*Paeonia suffruticosa* Andr.) seed dreg [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 266-274.
- [2] ZHANG Jing-jing, WANG Liang-sheng, SHU Qing-yan, et al. Comparison of anthocyanins in non-blotches and blotches of the petals of Xibei tree peony [J]. Scientia Horticulturae, 2007, 114(2): 104-111.
- [3] 陈燕, 李婉茹, 唐红. 不同花色紫斑牡丹的 CDDP 体系优化及其遗传多样性分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(10): 1 823-1 831. CHEN Yan, LI Wan-ru, TANG Hong. System optimization and genetic diversity of different color paeonia rockii by CDDP markers[J]. Northwestern Journal of Botany, 2018, 38(10): 1 823-1 831.
- [4] ZHANG Xiao-xiao, SHI Qian-qian, JI Duo, et al. Determination of the phenolic content, profile, and antioxidant activity of seeds from nine tree peony (*Paeonia* section Moutan DC.) species native to China[J]. Food Research International, 2017, 97: 141-148.
- [5] TRINH L T P, CHOI Y S, BAE H J. Production of phenolic compounds and biosugars from flower resources via several extraction processes[J]. Industrial Crops & Products, 2018, 125: 261-268.
- [6] PIRES T C S P, DIAS M I, BARROS L, et al. Edible flowers as sources of phenolic compounds with bioactive potential[J]. Food Research International, 2017, 105: 580-588.
- [7] XIANG Jin-le, YANG Cheng-bo, BETA Trust, et al. Phenolic profile and antioxidant activity of the edible tree peony flower and underlying mechanisms of preventive effect on H₂O₂-induced oxidative damage in Caco-2 cells[J]. Foods, 2019, 8(10): 471.
- [8] NING Chuan-long, JIANG Yao, MENG Jia-song, et al. Herbaceous peony seed oil: A rich source of unsaturated fatty acids and γ -tocopherol[J]. European Journal of Lipid Science & Technology, 2015, 117(4): 532-542.
- [9] LI Shan-shan, YUAN Ru-yu, CHEN Li-guang, et al. Systematic qualitative and quantitative assessment of fatty acids in the seeds of 60 tree peony (*Paeonia* section Moutan DC.) cultivars by GC-MS[J]. Food Chemistry, 2015, 173: 133-140.
- [10] SHI Xiao-fei, CHU Jian-zhou, ZHANG Yan-fen. Nutritional and active ingredients of medicinal chrysanthemum flower heads affected by different drying methods[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 104: 45-51.
- [11] SHI Lin-zuo, GU Ying-jie, WU Dan, et al. Hot air drying of tea flowers: effect of experimental temperatures on drying kinetics, bioactive compounds and quality attributes [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2019, 54(2): 526-535.
- [12] ALI A A, ADNAN J M A F. Antioxidant activity of anthocyanins extracted from Iraqi *Iresine herbstii* L. flowers after drying and freezing[J]. American Journal of Analytical Chemistry, 2015, 6(5): 382-394.
- [13] QIU Li-qing, ZHANG Min, JU Rong-hua, et al. Effect of different drying methods on the quality of restructured rose flower (*Rosa rugosa*) chips[J]. Drying Technology, 2019, 37: 1-12.
- [14] 陈仪男. 龙眼真空冷冻干燥工艺优化[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 244-248. CHEN Yi-nan. Optimization of vacuum freeze-drying technologies of longan fruits [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 244-248.
- [15] 任爱清, 邓珊, 唐小闲, 等. 香菇脆片真空油炸—真空微波联合干燥工艺优化[J]. 食品与机械, 2020, 36(10): 165-170. REN Ai-qing, DENG Shan, TANG Xiao-xian, et al. Vacuum frying-vacuum microwave combined drying process optimization of shiitake mushroom chips[J]. Food & Machinery, 2020, 36(10): 165-170.
- [16] FERENCZI S, CZUKOR B, CSERHALMI Z. Evaluation of microwave vacuum drying combined with hot-air drying and compared with freeze and hot-air drying by the quality of the dried apple product[J]. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 2014, 58(2): 111-116.
- [17] 邓媛元, 杨婧, 魏振承, 等. 热风—真空冷冻联合干燥对脆性龙眼果干品质及益生活性的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(10): 2 078-2 090. DENG Yuan-yuan, YANG Jing, WEI Zhen-cheng, et al. Effects of hot air-vacuum freeze combined with drying on physical properties and prebiotic activities of brittle dried Longan[J]. China Agricultural Sciences, 2020, 53(10): 2 078-2 090.
- [18] 罗小梅, 林国轩, 覃榆龙, 等. 冷冻真空—热风联合干燥技术对金花茶花朵品质的影响[J]. 中国热带农业, 2021(3): 67-72. LUO Xiao-mei, LIN Guo-xuan, ZHANG Yu-long, et al. Effects of freeze vacuum combining with hot blast drying technology on the quality of camellia nitidissima flowers[J]. China Tropical Agriculture, 2021(3): 67-72.
- [19] LI Ya-hui, ZOU Xiao-bo, SHEN Ting-ting, et al. Determination of geographical origin and anthocyanin content of black goji berry (*lycium ruthenicum* murr.) using near-infrared spectroscopy and chemometrics[J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(4): 1 034-1 044.
- [20] 王建民, 常冰冰, 杨洋, 等. 烟片皱缩率测定方法的建立及差异性分析[J]. 中国烟草学报, 2021, 27(3): 27-34. WANG Jian-min, CHANG Bing-bing, YANG Yang, et al. The establishment of the method for measuring the shrinkage rate of tobacco slices and the analysis of the difference [J]. Journal of Chinese Tobacco, 2010, 27(3): 27-34.
- [21] 李素云, 常志娟, 张华, 等. 超声—真空脱水土豆片[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 41-45. LI Su-yun, CHANG Zhi-juan, ZHANG Hua, et al. Ultrasonic-vacuum dehydrated potato chips[J]. Food Industry, 2021, 42(5): 41-45.

(下转第 140 页)