

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

Effects of drying process on the antioxidant and antibacterial properties and volatile flavor components of Chuzhou Chrysanthemum

詹 歌^{1,2} 孙艳辉^{1,2} 严佳慧¹ 王金涛¹ 孙梦媛¹ 龙 门^{1,2}

ZHAN Ge^{1,2} SUN Yan-hui^{1,2} YAN Jia-hui¹ WANG Jin-tao¹ SUN Meng-yuan¹ LONG Men^{1,2}

(1. 滁州学院生物与食品工程学院, 安徽 滁州 239000; 2. 安徽省热敏性物料加工工程技术中心, 安徽 滁州 239000)

(1. College of Biological and Food Engineering, Chuzhou College, Chuzhou, Anhui 239000, China; 2. Anhui Heat-sensitive Materials Processing Engineering Technology Research Center, Chuzhou, Anhui 239000, China)

摘要:以新鲜滁菊为原料,研究真空冷冻干燥、热泵干燥、热风干燥对滁菊抗氧化性、抑菌活性、挥发性风味物质和感官品质的影响。结果表明:真空冷冻干燥滁菊(T_1)自由基清除能力和脂质过氧化抑制能力最高,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌抑制作用最强,同时具有最好的感官品质。各样品活性和感官评分顺序为真空冷冻干燥滁菊(T_1)>热泵干燥滁菊(T_2)>热风干燥滁菊(T_3)。运用固相微萃取—气相色谱—质谱联用对 3 种干燥方式的滁菊挥发性风味物质进行分析, T_1 、 T_2 和 T_3 分别鉴定出 71、88、56 种物质。萜烯类是 3 种干制滁菊的主体风味物质,相对含量均达到 45% 以上。因此,真空冷冻干燥工艺是滁菊最佳的脱水工艺。

关键词:滁菊;真空冷冻干燥;热泵干燥;热风干燥;抗氧化;抑菌;风味物质

Abstract: Influences of vacuum freeze drying, heat pump drying and hot air drying on the antioxidant and antibacterial properties, volatile flavor components and sensory properties of Chuzhou Chrysanthemum was studied using fresh Chuzhou Chrysanthemum as a raw material. The results indicated that Chuzhou Chrysanthemum with vacuum freeze drying (T_1) exhibited the strongest scavenging activity of free radical, inhibition effect of lipid peroxidation and antibacterial activity against two foodborne pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*), and has the best sensory qualities. The biological activities and sensory scores of each sample decreased in

the order of T_1 (vacuum freeze drying) > T_2 (heat pump drying) > T_3 (hot air drying). The volatile flavor components of Chuzhou Chrysanthemum dried by three drying methods were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) with solid-phase micro-extraction (SPME). A total of 71, 88 and 56 volatile flavor components were detected in T_1 , T_2 and T_3 , respectively. Among them, Terpenes were main flavor compounds, the content of which was exceeded by more than 45%. Therefore, vacuum freeze drying was the best dehydration process of Chuzhou Chrysanthemum.

Keywords: Chuzhou Chrysanthemum; vacuum freeze drying; heat pump drying; hot air drying; antioxidant; antibacterial; volatile flavor

滁菊属菊目菊科植物,又名“白菊”“甘菊”,产于安徽滁州,属药、茶两用佳品。滁菊入药时可治疗高血压、冠心病等病症;做茶饮时,可以清风散热、舒筋活血和排毒养颜。此外,滁菊还可作枕明目、治疗目赤肿痛和头痛眩晕,其药用价值名列中国四大药菊(滁菊、杭菊、怀菊、亳菊)之首^[1]。滁菊含有黄酮类化合物、氨基酸、挥发油和微量元素等有效成分^[2],具有很好的抗氧化、抑菌、抗衰老、抗病毒和抗炎功效^[3-4]。

鲜菊花水分含量较高,不易贮藏保鲜,因此通常采用杀青后直接干燥的加工方法进行贮藏。而不同的干燥方式各有优缺点,对菊花品质的影响也有差异。Yuan 等^[5]考察了阴干、晒干、直接烘干对小白菊品质的影响;结果显示阴干小白菊中的酚类物质含量最高,具有最强的抗氧化活性;Kim 等^[6]研究显示远红外干燥野菊花中总酚含量、总黄酮含量和抗肿瘤活性显著高于阴干野菊花。目前针对滁菊的研究主要集中在药理作用、化学成分等方面^[7-9],而关于干燥方式对滁菊品质影响的研究较少,仅徐建^[10]就 5 种传统干燥方式滁菊中绿原酸、木犀草苷、二咖啡酰基奎宁酸的含量进行了分析和比较,缺乏新型干燥方式对滁菊生物活性及风味影

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201403039);滁州学院校级规划项目(编号:2016GH05);滁州学院科研启动金资助项目(编号:2014dq041);滁州学院生物与食品学院实验室开放课题(编号:SWSP201613KF)

作者简介:詹歌,男,滁州学院讲师,博士。
通信作者:龙门(1987—),女,滁州学院讲师,博士。
E-mail: czxy_lm@163.com

收稿日期:2018-07-08

响的研究。

本研究拟以滁菊为研究对象,分别通过真空冷冻、热泵、热风干燥 3 种干燥方式对其进行处理,并比较分析不同干燥方式对滁菊的抗氧化和抑菌性能、香气成分以及感官特性的影响,以期确定滁菊干燥工艺,为滁菊的稳定加工提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜滁菊:滁州市滁菊研究所;
金黄色葡萄球菌(NCTC 6538)、大肠杆菌(ATC25922):北京陆桥技术有限公司;
DPPH、ABTS、TBA、BHT、V_C、亚油酸、卵黄脂蛋白等生化试剂:国药集团试剂有限公司。
1.2 仪器与设备
电子天平:JA2003B 型,上海越平科学仪器有限公司;
紫外可见分光光度计:T6 新世纪型,北京普析通用仪器有限责任公司;
冷冻干燥机:SCIENTZ-10ND 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;
生化培养箱:LRH-250A 型,韶关市泰宏医疗器械有限公司;
电热鼓风干燥箱:GZX-9240 MBE 型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂;
台式低速离心机:L530 型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;
旋转蒸发器:YRE-301 型,巩义市予华仪器有限责任公司;
CAR/PDMS 萃取头:75 μm,美国 Supelco 公司;
气相色谱-质谱联用仪:7890A/5975C 型,美国安捷伦公司;
数控超声波清洗器:KQ3200DA 型,昆山市超声仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品制备方法 选择没有虫害和病斑的新鲜滁菊,100 ℃ 杀青 5 min,沥干冷却,分别采用如下工艺对滁菊进行干燥处理:

(1) 真空冷冻干燥工艺(T₁):将平铺一层滁菊的料盘置于干燥仓隔板上,设置隔板温度-30 ℃,常压下冷冻 4 h;然后搁板温度 30 ℃、真空度 8 Pa 条件下将样品干燥至含水率为 10%左右时停止干燥,密封保存备用并记录干燥时间。

(2) 热泵干燥工艺(T₂):将平铺一层滁菊的料盘置于冷风干燥室中,然后在温度为 40 ℃、风速为 2.5 m/s、相对湿度 40%的条件下将样品干燥至含水率为 10%左右时停止干燥,密封保存备用并记录干燥时间。

(3) 热风干燥工艺(T₃):将平铺一层滁菊的料盘置于鼓风干燥箱中,然后在 60 ℃ 条件下将样品干燥至含水率为 10%左右时停止干燥,密封保存备用并记录干燥时间。

1.3.2 滁菊水提物制备 称取 100 g 干燥滁菊,按料水比为 1:7.5 (g/mL)加入沸水浸提 3 次,每次浸提 10 min,合并滤液并通过真空浓缩、冷冻干燥得到滁菊水提物。

1.3.3 抗氧化能力测定

(1) DPPH 自由基和 ABTS 自由基清除能力:参照 Zhan 等^[11]的测定方法。分析 3 种干燥方式滁菊水提物在添加量分别为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mg/mL 时对两种自由基的清除能力,同时以 V_C为阳性对照(*n*=3)。

(2) 脂质过氧化抑制能力:分别参照 And 等^[12]和陈彩薇等^[13]的测定方法。分析 3 种不同的滁菊水提物在添加量为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mg/mL 时对亚油酸及卵黄脂蛋白的抑制能力,同时以 BHT 为阳性对照(*n*=3)。

1.3.4 抑菌活性测定 参考 Edziri 等^[14]的方法测定最低抑菌浓度(MIC)及最低杀菌浓度(MBC)。将滁菊水提物用 Muller-Hinton broth(MHB)液体培养基调节为不同浓度梯度。取 95 μL 样品溶液与 5 μL 菌液(10⁶ CFU/mL)在 96 微孔板中混匀,置于 37 ℃ 恒温箱中培养 24 h。MIC 是指完全抑制细菌的生长所需样品的最低浓度。吸取澄清孔中培养液涂布在 Muller-Hinton agar(MHA)固体培养基平皿上,于 37 ℃ 培养 24 h,将无菌生长的最小样品浓度定义为 MBC。

1.3.5 挥发性风味物质测定 取滁菊 4 g 放于 100 mL 烧杯中,锡箔纸密封后在 60 ℃ 平衡 10 min,再将萃取头(75 μm CAR/PDMS)置于滁菊上方吸附 30 min,立即插入气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)进样,解析时间 2 min。

色谱条件:HP-5 毛细管柱(30 m×250 μm,0.25 μm);进样口采用不分流模式;温度 250 ℃;载气(He)流量为 1.2 mL/min;升温程序:起始柱温 40 ℃,保持 3 min,以 3 ℃/min 升到 160 ℃,保持 2 min,然后以 8 ℃/min 升至 220 ℃,保持 3 min。

质谱条件:离子源 EI,接口温度 250 ℃,离子源温度 230 ℃,四极杆温度 150 ℃。电子能量 70 eV,质量扫描范围(*m/z*)40~450 amu。

挥发性风味化合物分析:将分离出的化合物的质谱数据与计算机检索标准谱图库进行对比确认挥发性物质的组成;采用峰面积归一法确定挥发性风味物质的相对含量^[15]。

1.3.6 感官评定方法 参照 GB/T 19692—2008 和黄风格等^[16]的方法对不同干燥方式的滁菊干花及冲泡后滁菊茶进行感官评定,具体评分标准见表 1。

1.3.7 数据统计分析 所有数据利用 Microsoft Excel 2010 进行统计处理,用 SAS 9.2 进行 ANOVA 分析,不同平均值之间利用 LSD(Least-Significant Difference)法进行差异显著性检验(*X*±SDV,*n*=3)。

2 结果与分析

2.1 对滁菊抗氧化性能的影响

2.1.1 自由基清除能力 图 1 对不同干燥方式的滁菊水提物对 DPPH 自由基及 ABTS 自由基的清除作用进行了比较。测试样品均有不同程度的清除作用,且在相应的浓度范围内,清除率和样品浓度呈现较好的量效关系。其中,真空冷冻干燥后的滁菊水提物(T₁)对 2 种自由基的清除作用最强,显著(*P*<0.05)高于其他处理组;其次为热泵干燥处理组(T₂);而热风干燥的滁菊水提物(T₃)自由基清除能力相对较差。此外,与 V_C处理组相比,当不同水提物添加量分别超

表 1 滁菊感官评分标准

Table 1 Standards for sensory assessment of Chuju quality of ginger powder

分值	外形	色泽	香味	滋味
15~25	干花呈扁球形或绒球形,花瓣致密、厚实、分明、无卷边、无明显干缩;冲泡后花瓣完整,舒展、无粘连	干花舌状花为白色,管状花为金黄色;冲泡后汤色黄色,清澈明亮	冲泡后具有滁菊特有的香气,无霉味	冲泡后茶汤有甘甜味和涩味,无异味
7~14	干花呈扁球形或绒球形,花瓣略厚、分明、有卷边和少许干缩;冲泡后花瓣完整,卷曲,粘连少	干花舌状花为黄色,管状花为深黄色;冲泡后汤色黄黄绿色,较暗	冲泡后香气平淡,无异味	冲泡后茶汤有较大涩味,味道不持久,无异味
0~6	干花呈圆扁形或绒球形,花瓣薄、层次少、粘连、边缘多卷边;冲泡后花瓣不完整,粘连多	干花舌状花为和管状花均为焦黄色;冲泡后汤色暗淡,浑浊	冲泡后有焦火味或霉味	冲泡后茶汤有陈味、异味

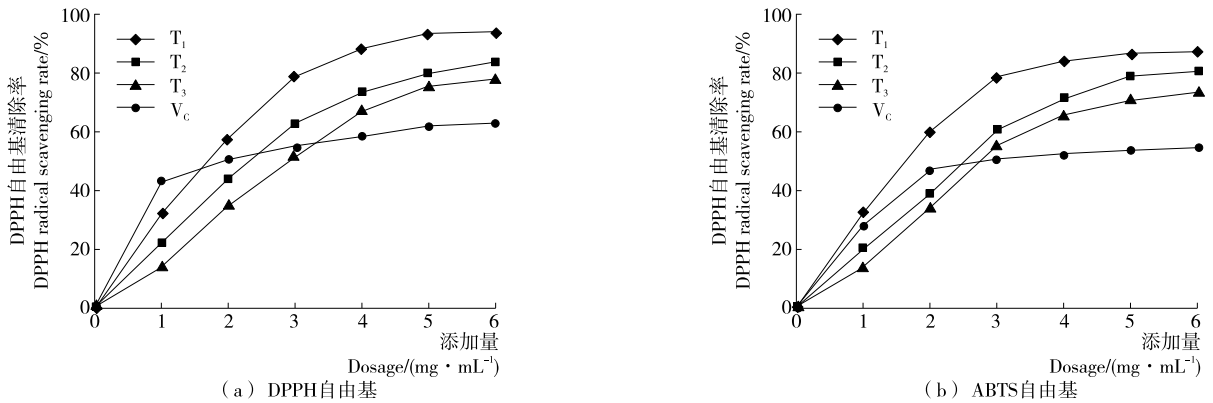


图 1 干燥方式对滁菊自由基清除能力的影响
Figure 1 Effect on free radicals clearance of Chuju as treated by different drying methods

过 4.3 mg/mL 时,其对 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的清除能力均超过同量 V_c 的。

2.1.2 脂质过氧化抑制能力 不同处理组滁菊水提物的亚油酸和卵黄脂质过氧化抑制能力结果见图 2。从图 2 可以看出,滁菊水提物能显著($P<0.05$)抑制亚油酸及卵黄脂的氧化,并呈浓度依赖关系。其中,真空冷冻干燥处理组(T₁)对 2 种脂质的氧化抑制率最大,在添加量为 6 mg/mL 时,对亚油酸和卵黄脂的氧化抑制率分别为 59.52%和 54.53%;其次为热泵干燥处理组(T₂),最后为热风处理组(T₃)。3 个处理组对脂质氧化的抑制率均显著($P<0.05$)低于等量 BHT 的。

综上,不同干燥方式滁菊水提物的抗氧化活性均随着添加量的增加而提高,并且表现为 $T_1>T_2>T_3$ 。这主要是因为菊花中有较多的黄酮、多酚、挥发油等抗氧化物质^[17-19],而较高温度的热风干燥会加速这些物质的分解^[20]。

2.2 对滁菊抑菌性能的影响

MIC 和 MBC 值是用来定量分析抑菌物质的抑菌效力,表现为 MIC 和 MBC 值越小抑菌能力越强^[21]。由表 2 可看出,真空冷冻干燥处理组(T₁)对 2 种供试菌具有最小的 MIC 值,即抑制效果最好,分别为 40(金黄色葡萄球菌),35(大肠杆菌)mg/mL;而热泵干燥处理组(T₂)和热风处理组(T₃)对

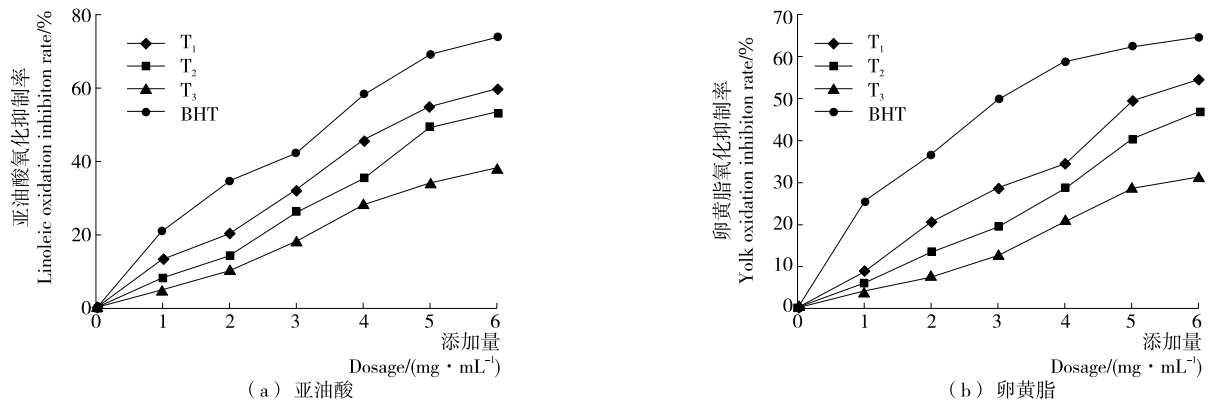


图 2 干燥方式对滁菊脂质过氧化抑制能力的影响
Figure 2 Effect on the inhibition of lipid peroxidation of Chuju as treated by different drying methods

表 2 干燥方式对滁菊抑菌能力的影响

Table 2 Effect on the antibacterial activity of Chuju as treated by different drying methods mg/mL

干燥方式	金黄色葡萄球菌		大肠杆菌	
	MIC	MBC	MIC	MBC
T ₁	40	60	35	60
T ₂	45	60	40	60
T ₃	45	60	40	60

2 种致病菌具有相同的抑制效力,且明显弱于 T₁,MIC 值均为 45(金黄色葡萄球菌),40(大肠杆菌) mg/mL;但 3 种不同干燥方式的滁菊水提物对 2 种供试菌具有相同的 MBC (60 mg/mL)。此外,不同处理组对金黄色葡萄球菌作用的 MIC 均大于大肠杆菌,表明滁菊水提物对大肠杆菌的杀菌作用效果更明显。这主要是因为金黄色葡萄球菌为革兰氏阳性菌,其细胞壁对细胞膜及其内容物有较强的保护作用^[22]。菊花中富含丰富的有机酸、黄酮类、萜类、甾体类等有效成分,其中含有大量的还原基团,对致病菌具有抑制作用^[23]。而真空冷冻干燥能够较好地保留滁菊中原有组分,因此该方式处理的滁菊具有更明显的抑菌效果。

2.3 对挥发性风味物质影响

由表 3 可知,从干制滁菊中共检测到 121 种挥发性风味物质,包括 31 种烃类、48 种萜烯类、10 种酮类、6 种醛类、9 种醇类、5 种酯类、4 种含氮化合物、3 种酚类、3 种酸类、异丙

基乙烷基醚和白菖油萜环氧化物。T₁、T₂、T₃组中分别检测到 71,88,56 种挥发性风味物质。

从表 3 还可以看出,萜烯类是干制滁菊最主要的风味物质,含量分别为 59.74%(T₁),46.70%(T₂),63.28%(T₃),种类也均为最多。其中 β -蒎烯和月桂烯在 3 种干制滁菊中占有比例较高(>8%),它们具有强烈持久辛香、药草香气,常被用于调配香水、化妆品、香皂香精,具有抗病毒、抗生育、抗溃疡等多种活性^[24-25];而 α -长叶蒎烯是热风干燥滁菊中(T₃)特有的萜烯类香气成分,含量达到 14.34%。其他种类的萜烯类物质在不同产品中的种类和含量也存在一定的差异,但对滁菊的香味也有一定的贡献,如 β -榄香烯是菊花辛辣气味的主要风味成分^[26];别罗勒烯和罗勒烯具有草香、花香并伴有橙花油气息^[27]。

在 3 种干制滁菊中烃类物质的种类和含量仅次于萜烯类,其中姜黄烯含量最为丰富,是 T₂(17.89%)和 T₃(18.61%)中含量最高的挥发性物质,在 T₁中的含量也仅次于 β -蒎烯(22.02%),达到 12.38%,对滁菊的风味起到重要作用。姜黄烯是姜制品中常见的风味物质,具有独特的芳香风味和辛辣口感,同时显示出良好的生理活性^[28]。其他烃类物质风味阈值普遍较高且含量较低,对原料整体风味变化影响不大。

酮类化合物贡献的花果香味具有优异持久的特点。其中 3,5-辛二烯-2-酮、6-甲基-3,5-戊二烯-2-酮和 3-甲基苯乙酮为 3 种滁菊共有物质;2-茨酮、3,3-二氯樟脑仅存在于 T₁、T₂中,它们赋予滁菊清凉的草药香味。

表 3 干燥方式对滁菊挥发性成分的影响⁺

Table 3 Effect on the volatile constituents of Chuju as treated by different drying methods

名称	相对含量/%			名称	相对含量/%		
	T ₁	T ₂	T ₃		T ₁	T ₂	T ₃
癸烷	—	0.72	—	2,4,4-三甲基-1-己烯	—	0.10	—
十二烷	0.72	0.79	0.44	环氧异香树烯	—	0.22	—
十三烷	0.14	—	—	去氢白菖烯	—	1.64	—
十四烷	0.18	0.12	0.23	4-异丙烯基甲苯	1.25	1.65	0.65
2,3-环氧丁烷	—	0.69	—	1-(1,5-二甲基己基)-4-甲基苯	—	1.64	—
2-苯乙基-1,1-二甲基环戊烷	0.45	—	—	1-异亚丙基-7-甲基-4-亚甲基-1,2,3,4,4a,5,6,8a-八氢萘	0.91	0.64	1.68
蒎烷	0.12	—	—	4-异丙基-1,6-二甲萘	0.18	0.13	0.22
长叶蒎烷	0.15	—	—	间异丙基甲苯	0.56	2.86	0.51
3,7-二甲基-癸烷	—	0.18	—	6-甲氧基-2-乙酰萘	—	—	0.19
3-甲基金刚烷	—	0.29	—	1-叔丁基-3,5-二甲苯	—	—	0.31
4-甲基-1,5-庚二烯	0.74	—	0.84	甲苯	—	0.48	—
姜黄烯	12.38	17.89	18.61	烃类	19.88(16)	32.09(22)	25.62(14)
脱氢香树烯	1.58	1.03	0.10	3,5-辛二烯-2-酮	0.56	0.47	0.23
1(10),6,8-杜松三烯	0.27	0.31	0.31	6-甲基-3,5-戊二烯-2-酮	0.57	1.17	0.57
3,4-二甲基-苯乙烯	0.15	0.14	—	右旋香芹酮	0.14	0.20	—
9,10-脱氢-异长叶烯	—	—	0.93	3-甲基苯乙酮	0.38	0.50	0.39
α -2-去氢菖蒲烯	—	—	0.60	长松香芹酮	—	0.25	0.27
氧化石竹烯	0.10	0.26	—	3-诺品酮	—	0.11	—
1,5-二甲基-1,4-环己二烯	—	0.10	—	菊花烯酮	—	0.17	—
(E)-5-十二烯	—	0.21	—	2-甲基-2-庚烯-4-酮	—	0.61	—

续表 3

名称	相对含量/%			名称	相对含量/%		
	T ₁	T ₂	T ₃		T ₁	T ₂	T ₃
2-茨酮	3.63	2.92	—	罗勒烯	0.41	2.07	1.56
3,3-二氯樟脑	0.20	0.15	—	可巴烯	—	0.36	0.76
酮类	5.48(6)	6.55(10)	1.46(4)	β -榄香烯	0.60	0.69	0.80
正己醛	1.18	1.35	0.42	(E)- β -金合欢烯	2.92	—	5.72
苯甲醛	0.60	1.07	0.24	γ -马榄烯	—	—	3.04
异戊醛	—	0.25	—	β -甜没药烯	—	0.35	1.22
糠醛	—	0.37	—	异长叶烯	—	—	0.34
顺,顺-3,6-壬二烯醛	0.12	—	—	α -衣兰油烯	—	—	0.47
对异丙基苯甲醛	0.11	0.16	—	罗汉柏烯	—	0.14	0.15
醛类	2.01(4)	3.20(5)	0.66(2)	α -芹子烯	0.15	0.27	0.28
4-亚甲基-环己甲醇	0.14	—	—	α -蒎烯	0.10	—	—
2-茨醇	0.38	2.93	0.38	喇叭烯	0.13	—	—
4-萜烯醇	0.30	0.61	—	α -法尼烯	0.11	—	—
α -松油醇	0.43	0.88	—	异萜品油烯	—	0.23	—
3-甲基苯甲醇	—	0.47	—	α -雪松烯	0.14	—	—
桃金娘醇	—	0.13	—	ϵ -衣兰油烯	—	0.13	—
2-二亚甲基-环己基乙醇	—	0.10	—	α -石竹烯	—	0.23	—
桉油烯醇	0.22	—	—	刺蕊草烯	—	0.11	—
2,6-二甲基-1,5,7-辛三烯-3-醇	—	0.34	—	桉烷-3,7(11)-二烯	—	0.38	—
醇类	1.47(5)	5.46(7)	0.38(1)	长叶烯	0.79	1.05	0.75
乙酸冰片酯	1.55	1.23	0.40	3-萆烯	0.29	0.28	—
乙酸薰衣草酯	0.94	1.19	0.44	(+)- α -蒎烯	0.37	0.28	—
穿心莲内酯	—	—	0.15	异松油烯	0.43	0.41	0.10
戊酸叶醇酯	—	0.10	—	柠檬烯	3.20	—	—
乙酸异薄荷酯	—	0.14	—	4-萆烯	1.00	—	—
酯类	2.49(2)	2.66(4)	1.03(3)	萆品烯	0.31	0.34	—
茨烯	0.21	—	—	β -蒎烯	0.20	—	—
α -萆澄茄油烯	0.74	0.24	0.30	别罗勒烯	1.17	1.65	2.44
衣兰烯	0.25	0.25	0.18	萆烯类	59.47(33)	46.70(34)	63.89(28)
α -香柑油烯	1.53	1.01	1.92	5,8-二甲基喹啉	0.40	—	—
1-石竹烯	1.68	1.16	2.15	乙二醛-双环己胺	0.33	—	—
右旋大根香叶烯	0.23	0.19	0.53	1-甲基-1,2,3,4-四氢异喹啉	—	—	0.16
γ -古芸烯	0.10	0.12	—	3-甲基-2-萆胺	—	—	0.15
α -柏木烯	3.48	1.65	2.68	含氮化合物	0.73(2)	—	0.31(2)
β -瑟林烯	22.02	13.00	8.02	2-叔丁基苯酚	0.14	—	—
α -古芸烯	2.94	4.64	0.47	己雌酚	—	—	0.29
二环倍半水芹烯	0.36	0.54	0.33	4-异戊烯基苯酚	—	0.10	—
β -倍半水芹烯	3.23	—	5.93	酚类	0.14(1)	0.10(1)	0.29(1)
β -人参烯	0.71	0.65	—	2,2,4-三甲基-戊酸	—	0.10	—
α -布黎烯	—	0.11	0.12	顺芷酸	0.11	0.56	—
环状异长叶烯	—	2.75	—	反-3-己烯酸	—	0.17	—
γ -蛇床烯	0.47	1.13	0.47	酸类	0.11(1)	0.83(3)	—
别香橙烯	0.49	0.14	0.68	异丙基乙烯基醚	—	0.33	—
2,5,6-三甲基-1,3,6-庚三烯	—	0.53	—	白菖油萆环氧化物	0.65	0.71	0.68
α -长叶蒎烯	—	—	14.34	其他	0.65(1)	1.04(2)	0.68(1)
月桂烯	8.71	9.62	8.14				

† “—”表示未检出。

3 种方式干燥滁菊的醛类、醇类和酯类呈香物质主要包括正己醛、苯甲醛、2-苾醇、乙酸冰片酯、乙酸薰衣草酯,其中正己醛具有青草味^[29];苯甲醛具有特殊的杏仁气味^[30];2-苾醇和乙酸冰片酯具有樟脑香气^[31];乙酸薰衣草酯带有薰衣草的香韵^[32]。而含氮化合物、酚类、酸类、异丙基乙烯基醚和白菖油萜环氧化物等风味物质在干制滁菊中检测到的含量较少。

综上所述,在不同干燥处理的滁菊中,挥发性风味物质的种类和含量均存在一定的差异。这可能是滁菊在不同方式干燥过程中发生了多种反应造成的,如美拉德反应、

脂肪酸氧化、聚合及降解等^[33]。

2.4 感官评价结果

表 4 为不同干燥处理滁菊的感官评分结果。从表 4 中可以看出,T₁组滁菊有最高的感官评分为 84.33,其次为 T₂组(79.00),评分最低组为 T₃组(64.00),显著(P<0.05)低于其他 2 组。并且在外形、颜色、气味、滋味方面,T₁及 T₂的评分结果均显著(P<0.05)高于 T₃的,即真空冷冻干燥处理工艺及热泵干燥均能更有效地完成对采后滁菊的脱水干燥处理,并且干燥后的滁菊有相对较高的感官品质。

表 4 干燥方式对滁菊感官评价的影响[†]

Table 4 Effect on the sensory evaluation of Chuju as treated by different drying methods

干燥方式	外形	色泽	香味	滋味	总分
T ₁	20.00±1.00 ^a	18.33±1.53 ^a	22.67±0.58 ^a	23.33±0.58 ^a	84.33±2.08 ^a
T ₂	18.00±1.00 ^b	16.33±1.53 ^{ab}	21.33±0.58 ^a	22.33±0.58 ^a	79.00±1.73 ^b
T ₃	14.67±2.08 ^c	13.67±1.53 ^b	16.00±1.00 ^b	19.67±1.53 ^b	64.00±1.00 ^c

[†] 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

2.5 干燥工艺耗时分析

3 种干燥工艺耗时测试结果如图 3 所示,其中真空冷冻干燥方式(T₁)冻结时间为 3 h,干燥时间为 16.5 h,总干燥工艺耗时为 19.5 h;热泵干燥工艺(T₂,18 h)耗时显著低于 T₁(P<0.05),是热风干燥(T₃,7.5 h)耗时的 2 倍以上。

参考文献

[1] 王龙, 王德群, 韩邦兴. 滁菊茶用与药用的发展变化[J]. 安徽中医学院学报, 2010, 29(6): 75-77.

[2] 张玲, 王德群, 王晴晴. 传统硫熏加工与现代微波加工滁菊质量比较[J]. 安徽中医学院学报, 2011, 30(1): 69-71.

[3] KIM S J, MYUNG N Y, SHIN B G, et al. Protective effect of a Chrysanthemum indicum containing formulation in cadmium-induced ototoxicity[J]. American Journal of Chinese Medicine, 2011, 39(3): 587-600.

[4] HU C K, LEE Y J, COLITZ C M, et al. The protective effects of Lycium barbarum and Chrysanthemum morifolium on diabetic retinopathies in rats[J]. Veterinary Ophthalmology, 2011, 39(3): 587-600.

[5] YUAN Jun, HAO Li-jun, WU Gang, et al. Effects of drying methods on the phytochemicals contents and antioxidant properties of chrysanthemum flower heads harvested at two developmental stages [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 19: 786-795.

[6] KIM W W, GHIMERAY A K, WU Jin-cheng, et al. Effect of far infrared drying on antioxidant property, anti-inflammatory activity, and inhibitory activity in A549 cells of Gamguk (Chrysanthemum indicum L.) flower[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(1): 261-265.

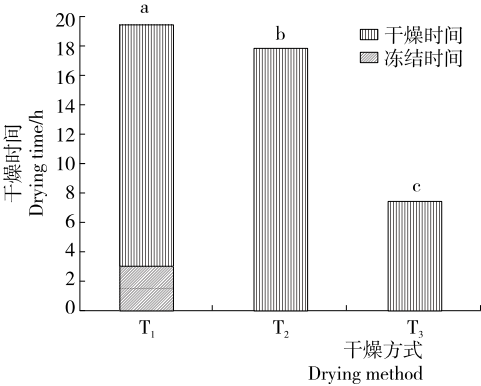
[7] 胡俊. 滁菊的化学成分及其活性研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2015: 1-15.

[8] 张蓓蓓. 滁菊总黄酮的镇痛抗炎作用及部分机制研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2013: 23-26.

[9] 张成孜. 滁菊多糖保健功效研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013: 11-18.

[10] 徐建. 滁菊干燥方法及储藏条件的研究[D]. 合肥: 安徽中医药大学, 2015: 32-33.

[11] ZHAN Ge, PAN Lei-qing, TU Kang, et al. Antitumor, antioxidant, and nitrite scavenging effects of Chinese water chestnut (Eleocharis dulcis) peel flavonoids[J]. Journal of Food Sci-



不同字母表示差异显著(P<0.05)

图 3 不同干燥工艺耗时

Figure 3 Consuming time of different drying processes

3 结论

经 3 种干燥方法制备的滁菊都具有一定的抗氧化和抑菌能力,表现为 T₁>T₂>T₃。萜烯类是 3 种干制滁菊的主要挥发性风味物质,相对含量均达到 45% 以上。其他风味物质在不同产品中的种类和含量均存在一定的差异,它们共同对滁菊的风味做出贡献。感官评价结果显示真空冷冻干燥(T₁)能够较好地保持新鲜滁菊的外形和色泽,冲泡后具有滁菊特有的香气和滋味。综上,真空冷冻干燥适用于高品质、高附加值滁菊干制品加工,值得进一步推广应用,但由于该方法干制时间相对较长,后期还需进一步对干燥工艺进行优化,缩短干制时间,以适应滁菊干制品的大规模生产。

ence, 2016, 81(10): H2 578-H2 586.

[12] AND P L, LAAKSO S. Inhibition of linoleic acid oxidation by interaction with a protein-rich oat fraction[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(11): 5 654-5 657.

[13] 陈彩薇, 吴晖, 赖富饶, 等. 米糠中不同存在形态酚类物质的抗氧化活性研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 42-46.

[14] EDZIRI H L, SMACH M A, AMMAR S, et al. Antioxidant, antibacterial, and antiviral effects of *Lactuca sativa* extracts[J]. Industrial Crops and Products, 2011, 34(1): 1 182-1 185.

[15] SOUZA H A, BRAGAGNOLO N. New method for the extraction of volatile lipid oxidation products from shrimp by headspace-solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry and evaluation of the effect of salting and drying[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2014, 62(3): 590-599.

[16] 黄风格, 负嫣茹, 卫世乾. 菊花干制工艺研究[J]. 南阳师范学院学报, 2012, 11(6): 41-46.

[17] JING Si-qun, CHAI Wen-jie, GUO Gai, et al. Comparison of antioxidant and antiproliferative activity between Kunlun *Chrysanthemum* flowers polysaccharides (KCCP) and fraction PII separated by column chromatography[J]. Journal of Chromatography B, 2016, 1 019: 169-177.

[18] LEE B H, NAM T G, PARK W J, et al. Antioxidative and neuroprotective effects of volatile components in essential oils from *Chrysanthemum indicum* Linné flowers[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(2): 717-723.

[19] CHEN Liang-mian, KOTANI A, KUSU F, et al. Quantitative comparison of caffeoylquinic acids and flavonoids in *Chrysanthemum morifolium* flowers and their sulfur-fumigated products by three-channel liquid chromatography with electrochemical detection[J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 2015, 63(1): 25-32.

[20] AN Ke-jing, ZHAO Dan-dan, WANG Zheng-fu, et al. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale* Roscoe): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 1 292-1 300.

[21] NEGI P S, CHAUHAN A S, SADIA G A, et al. Antioxidant and antibacterial activities of various seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) seed extracts[J]. Food Chemistry, 2005, 92(1): 119-124.

[22] NAKAJIMA Y, ISHIBASHI J, YUKUHIRO F, et al. Anti-bacterial activity and mechanism of action of tick defensin against Gram-positive bacteria[J]. Biochimica Et Biophysica Acta General Subjects, 2003, 1 624(1/2/3): 125-130.

[23] UKIYA M, AKIHISA T, YASUKAWA K, et al. Constituents of compositae plants 2: Triterpene diols, triols, and their 3-*o*-fatty acid esters from edible *chrysanthemum* flower extract and their anti-inflammatory effects[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(7): 3 187-3 197.

[24] CHANDRA M, PRAKASH O, KUMAR R, et al. β -Selinene-rich essential oils from the parts of *Callicarpa macrophylla* and their antioxidant and pharmacological activities[J]. Medicines, 2017, 4(3): 52.

[25] SHAKERI A, AKHTARI J, SOHEILI V, et al. Identification and biological activity of the volatile compounds of *Glycyrrhiza triphylla* Fisch. & C. A. Mey[J]. Microbial Pathogenesis, 2017, 109: 39-44.

[26] AYOUB I M, YOUSSEF F S, EL-SHAZLY M, et al. Volatile constituents of *Diets bicolor* (Iridaceae) and their antimicrobial activity[J]. Zeitschrift Fur Naturforschung C-A Journal of Biosciences, 2015, 70 (7/8): 217-225.

[27] ZENG Lan-ting, LIAO Yin-yin, LI Jian-long, et al. α -Farnesene and ocimene induce metabolite changes by volatile signaling in neighboring tea (*Camellia sinensis*) plants[J]. Plant Science, 2017, 264: 29-36.

[28] MILLAR J G. Rapid and simple isolation of zingiberene from ginger essential oil[J]. Journal of Natural Products, 1998, 61(8): 1 025-1 026.

[29] WHITFIELD F B. Volatiles from interactions of Maillard reactions and lipids[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1992, 31(1/2): 1-58.

[30] 邢增涛, 郭倩, 冯志勇, 等. 姬松茸中挥发性风味物质的 GC-MS 分析[J]. 中药材, 2003, 26(11): 789-791.

[31] 韩婷, 毛健, 姬中伟, 等. 滁菊挥发性成分的全二维气相色谱/飞行时间质谱研究[J]. 食品科学, 2013, 34(2): 159-164.

[32] 廖祯妮, 黄青, 程启明, 等. 云南两个薰衣草品种精油分析[J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(4): 544-549.

[33] 麦雅彦, 杨锡洪, 连鑫, 等. SDE/GC-MS 测定南美白对虾的挥发性香气成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(1): 206-210.

(上接第 166 页)

[45] HARSHA Nagar, SUJEONG Choi, JUNG Saet-byel, et al. Rg3-enriched Korean Red Ginseng enhances blood pressure stability in spontaneously hypertensive rats [J]. Integrative Medicine Research, 2016, 5(3): 223-229.

[46] HAN Myoung-sik, HAN Im-ho, LEE Dahae, et al. Beneficial effects of fermented black ginseng and its ginsenoside 20(S)-Rg3 against cisplatin-induced nephrotoxicity in LLC-PK1 cells [J]. Journal of Ginseng Research, 2016, 40(2): 135-140.

[47] BO Ra Jeon, SU Jung Kim, SEUNG Bok Hong, et al. The inhibitory mechanism of crude saponin fraction from Korean Red Ginseng in collagen-induced platelet aggregation[J]. Journal of Ginseng Research, 2015, 39(3): 279-285.

[48] 王子文, 许德春, 孟丽芬, 等. 辐照保鲜人参药理作用的研究[J]. 核农学报, 1992, 6(1): 8-12.

[49] LEE C H, KIM J H, A review on the medicinal potentials of ginseng and ginsenosides on cardiovascular diseases [J]. J Ginseng Res, 2014, 38(3): 161-166.

[50] KANG J A, SONG H Y, BYUN E H. Gamma-irradiated black ginseng extract inhibits mast cell degranulation and suppresses atopicdermatitis-like skin lesions in mice[J]. Food and Chemical Toxicology, 2018, 111: 133-143.

[51] HANUMANTHA RB, REKHA S, KIM JH, et al. Ginsenoside rich fraction of *Panax ginseng* C. A. Meyer improve feeding behavior following radiation-induced pica in rats[J]. Fitoterapia, 2012, 83(6): 1 144-1 150.