

不同干燥方式的苦瓜粉品质特性及香气成分比较

蒋鹏飞, 王赵改, 史冠莹, 张乐, 王晓敏, 程菁菁, 赵丽丽, 王旭增

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450000)

摘要: 为探究苦瓜粉适宜的干燥方式, 采用日晒干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥等 4 种干燥方式对新鲜苦瓜进行干燥处理, 并对干燥后苦瓜粉的加工性质(水分含量、溶解性、色泽、叶绿素含量)、营养成分(总酚、黄酮、皂苷)和香气成分进行评价。结果表明: 不同干燥方式下苦瓜粉的加工性质和营养成分具有显著性差异($p < 0.05$), 其中喷雾干燥苦瓜粉的加工性质明显优于其余 3 种干燥方式, 水分含量最低(4.34%), 冲调性最好(64.07%), 叶绿素含量最高, 色泽最优; 真空冷冻干燥苦瓜粉营养成分(多酚、黄酮、皂苷含量分别为 45.32 mg/g、19.15 mg/g、18.04 mg/g)均优于其他方式, 喷雾干燥的苦瓜粉营养成分仅次于冷冻干燥; 热风干燥和日晒干燥的苦瓜粉加工品质和营养成分相对较差。新鲜苦瓜和 4 种干燥处理的苦瓜粉共检测出 107 种香气成分, 其中新鲜苦瓜检出 42 种, 日晒、热风、真空冷冻、喷雾干燥苦瓜粉分别为 48、42、36、50 种, 但仅有 7 种共有香气成分。醇类和醛类相对含量较高, 占 60% 以上。综合对比, 喷雾干燥和真空冷冻干燥处理的苦瓜粉品质优于热风干燥和日晒干燥。本研究结果为苦瓜粉进一步的加工和利用提供了理论依据。

关键词: 苦瓜粉; 干燥方式; 加工性质; 营养成分; 香气成分

文章编号: 1673-9078(2020)03-234-244

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.031

Quality Characteristics and Aroma Components of Bitter Gourd

(*Momordica charantia* L.) Powder Dried by Different Methods

JIANG Peng-fei, WANG Zhao-gai, SHI Guan-ying, ZHANG Le, WANG Xiao-min, CHENG Jing-jing, ZHAO Li-li, WANG Xu-zeng

(Agricultural Products Processing Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: With the purpose of choosing suitable drying process for the development of bitter gourd powder, the effects of four drying methods including sun drying, heat air drying, vacuum freeze drying, spray drying on processing property (moisture content, solubility, color, chlorophyll content), nutrition components (total phenolics, total flavonoid, saponin) and aroma components of bitter gourd powder were investigated. The results showed that the processing property and nutrition components of bitter gourd powder by different drying methods were significantly different ($p < 0.05$). The processing properties of bitter gourd powder by spray drying process were better than other three drying methods, with the lowest moisture content (4.34%), the best solubility (64.07%), the highest chlorophyll content and the best color. The nutrition components of bitter gourd powder by vacuum freeze drying were significantly higher than the other three drying methods (the content of total phenolics, total flavonoid, saponin were 45.32 mg/g, 19.15 mg/g and 18.04 mg/g respectively). The number of nutrition components in the spray-dried bitter gourd powder was just second to that in the vacuum freeze-dried bitter gourd powder. Bitter gourd powder by sun drying and heat air drying had the poor processing property and nutrition components. A total of 107 aroma components were identified, 42, 48, 42, 36 and 50 of which were detected in fresh bitter gourd and bitter gourd powder by sun drying, heat air drying, vacuum freeze drying, spray drying,

引文格式:

蒋鹏飞,王赵改,史冠莹,等.不同干燥方式的苦瓜粉品质特性及香气成分比较[J].现代食品科技,2020,36(3):234-244

JIANG Peng-fei, WANG Zhao-gai, SHI Guan-ying, et al. Quality characteristics and aroma components of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) powder dried by different methods [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 234-244

投稿日期: 2019-09-24

基金项目: 河南省科技创新杰出青年计划项目(184100510010); 河南省农业科学院优秀青年科技基金项目(2018YQ24); 河南省农业科学院杰出青年科技基金项目(2019JQ06); 2019年河南省农业科学院科技成果示范推广项目(豫财预[2019]85号)

作者简介: 蒋鹏飞(1990-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 王赵改(1980-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工

respectively. But only 7 identical compounds were identified in them. Alcohols and aldehydes compounds were dominantly present in them, accounts for more than 60%. All the above results suggested that the quality of bitter gourd powder by spray drying and vacuum freeze drying were superior to the sun drying and heat air drying. Through this study, it provides theoretical basis for further processing and utilization of bitter gourd powder.

Key words: bitter gourd powder; drying methods; processing property; nutrition components; aroma components

苦瓜 (*Momordica charantia* L.) 是葫芦科苦瓜属植物苦瓜的果实, 因具有特殊苦味而得名, 又叫凉瓜, 锦荔枝, 癞葡萄^[1]。苦瓜营养丰富, 其含有丰富的蛋白质, 碳水化合物、氨基酸、维生素和矿物元素, 尤其是维生素 C 含量在蔬菜中名列前茅, 并且还含有苦瓜皂苷、苦瓜黄酮、苦瓜素、多肽等多种生理活性物质^[2]。近些年的研究发现苦瓜作为传统的药食两用植物, 具有显著的降血糖、降血脂、抗氧化、抑菌、抗肿瘤、增强免疫力及预防肥胖等保健功能, 其物质基础是苦瓜中含有皂苷、黄酮、多酚、蛋白多肽等重要的活性成分^[3]。但是, 新鲜苦瓜表皮脆弱易受损, 水分含量高, 易腐烂变质, 不耐贮藏, 使得苦瓜的开发利用受到了极大限制。因此, 苦瓜干燥成为苦瓜深加工中关键的操作之一。苦瓜粉作为半成品, 可制成苦瓜饮料、苦瓜保健食品等, 也可作为面制品的添加剂, 具有广阔的市场前景^[4]。

干燥是果蔬重要的加工和贮藏方式之一, 早期对果蔬的干燥方式主要是日晒, 但其干燥时间长, 产品容易污染。自然干燥技术的缺点促使了干燥技术的发展, 目前果蔬干燥新技术主要有热风干燥技术 (Heat Air Drying)、真空冷冻干燥技术 (Vacuum Freeze Drying)、喷雾干燥技术 (Spray Drying)、微波干燥技术 (Microwave Drying) 等^[5]。其中喷雾干燥是将物料经雾化器分散成小雾滴, 通过热空气将雾滴中的水分蒸发, 从而使物料得到干燥的一种技术, 具有干燥速度快、时间短、产品品质好、生产效率高等优点^[6]。真空冷冻干燥是将被干燥的物料快速冻结, 在真空状态下, 将物料中的水分从固态直接升华到气态, 将物料中的水分除去, 达到干燥的目的^[7]。目前关于不同干燥方式下苦瓜粉品质特性和香气成分的系统对比研究较少, 因此, 本研究采用日晒干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥等不同干燥方式对苦瓜进行干燥制粉处理, 并对苦瓜粉的加工性质、营养成分、香气成分进行评价, 为苦瓜的贮存和进一步开发利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

苦瓜采自河南省新乡市延津县, 采收自然成熟苦瓜, 无病虫害及腐烂变质的, 立即运送实验室 4 °C 贮藏, 备用。

标准品芦丁、人参皂苷、没食子酸, 北京索莱宝生物科技有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH), 东京化成工业株式会社; 亚硝酸钠、氢氧化钠、硝酸铝、乙醇、冰醋酸、香草醛、高氯酸均为国产分析纯试剂; 水为去离子水。

1.2 试验设备

VFD-2000A 型冷冻干燥机, 上海比朗仪器制造有限公司; MODEL 型实验型喷雾干燥机, 上海沃迪科技有限公司; BGZ-146 型电热鼓风干燥箱, 上海博讯实业有限公司; FW-80 型高速万能粉碎机, 北京市永光明医疗仪器有限公司; GENESYS 10S 型紫外分光光度计, 美国 Thermo 公司; HHS 型电热恒温水浴锅, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; H1650R/H1850R 型台式高速离心机, 湖南湘仪实验仪器开发有限公司; GENESYS 10S 型紫外分光光度计, 美国 Thermo 公司; YP20002 型电子天平, 上海越平科学仪器有限公司; ColorQest XE4234 台式色差仪, 美国 Hunter Lab 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料前处理

挑选颜色翠绿, 形体顺直, 果肉丰厚, 无干缩、腐烂, 无病虫害的新鲜苦瓜, 在流动的清水中洗去苦瓜表面的灰尘、泥沙、农药残留及其他污物, 切去苦瓜两端, 去瓢去籽, 剖半, 切成 0.5 cm 左右的薄片, 厚度要均匀一致。

1.3.2 干燥工艺条件

1.3.2.1 日晒干燥

将切好的新鲜苦瓜片单层平铺于托盘中, 放在干燥通风, 阳光直射的地方晾晒 28 h 左右, 晾干后的苦瓜片放入高速万能粉碎机中粉碎至粒度 0.1~0.3 mm。

1.3.2.2 热风干燥

将切好的新鲜苦瓜片单层平铺于托盘中, 放于电热鼓风机中, 热风 45 °C, 连续烘干 12 h, 烘干后的苦瓜片放入高速万能粉碎机中粉碎至粒度 0.1~0.3 mm。

1.3.2.3 真空冷冻干燥

将切好的新鲜苦瓜片单层平铺于真空冷冻盘中,真空度为20~50 Pa,冷阱温度为-45 °C,自动模式解析和干燥,干燥时间40 h,冻干后的苦瓜片放入高速万能粉碎机中粉碎至粒度0.1~0.3 mm。

1.3.2.4 喷雾干燥

切好的新鲜苦瓜片于2%的食盐水中浸泡40 min,再放入100 °C的沸水中烫漂1 min,流水冷却至室温;按照料液比1 g:3 mL将苦瓜片置于护色液(D-异抗坏血酸钠0.5 g/L,柠檬酸0.5 g/L)中常温浸泡20 min,进行护色;护色处理后,用清水清洗苦瓜片2~3次;按照料液比1:1在破壁料理机中进行打浆处理,用两层纱布进行过滤;利用高速匀浆机和高速均质机混合均匀;最后在喷雾干燥机中干燥,条件为进风温度155 °C,出风温度87 °C,蠕动泵转速350 mL/h,喷雾干燥完成后,收集干燥后的苦瓜粉末。

1.3.3 水分含量的测定

准确称取1 g不同干燥处理的苦瓜粉于托盘中,置于水分测定仪中测定。

1.3.4 溶解性的测定

参照王素雅等的方法并加以修改^[8],精确称取各种干燥方式的苦瓜粉3 g于100 mL烧杯中,加入蒸馏水50 mL,室温下用磁力搅拌器搅拌30 min,再将溶液完全转移至100 mL容量瓶中,用蒸馏水定容,充分摇匀。取20 mL匀浆置于离心管中,3000 r/min条件下离心10 min,将上清液完全转入恒重的铝制称量盒中,在105 °C烘箱中烘干至恒重后称重。溶解性按下式进行计算:

$$\text{溶解性}(\%) = \frac{\text{上清液中固形物质量}(g) \times 5}{\text{苦瓜粉干质量}(g)} \times 100\%$$

1.3.5 色差值的测定

参照张乐等的方法并加以修改^[9],取适量不同干燥处理的苦瓜粉依次平铺于白色底板上,色差仪白板校正后,读取色差值,记录L*、a*、b*的值,每个样品测定8次,剔除最大值和最小值,取平均值。仪器白板色泽为标准,依亨特表色系系统测量不同干燥方式处理的苦瓜粉亮度指数L*、色品指数a*和b*,其中L*表示黑白(亮暗),范围从0(黑)到100(白);a表示红绿度,范围从-128(绿色)到+127(红色);b表示黄蓝度,范围从-128(蓝色)到+127(黄色)。

1.3.6 叶绿素含量的测定

参考国家标准NY/T 3082-2017^[10],利用分光光度法测定叶绿素含量。

1.3.7 总酚含量的测定

参考SINGLETON等^[11]的方法并略加改动。采用

福林酚法(Folin-Ciocalteus)在765 nm波长下测定总酚含量,以没食子酸为标准品,总酚含量测定标准曲线方程 $y=0.0134x+0.0224$, $R^2=0.998$ 。

1.3.8 黄酮含量的测定

参照JIA等^[12]的方法并略加改动。采用 $\text{Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaNO}_2\text{-NaOH}$ 分光光度计法在510 nm处测定总黄酮含量,以芦丁为标准品,总黄酮含量测定标准曲线方程为 $y=1.0332x+0.014$, $R^2=0.999$ 。

1.3.9 总皂苷含量的测定

参照田力东等^[13]的方法并略加改动。采用香草醛-冰醋酸比色法在560 nm处测定总皂苷含量,以人参皂苷为标准品,总皂苷含量测定标准曲线方程为 $y=4.2994x-0.0173$, $R^2=0.9998$ 。

1.3.10 挥发性成分分析

参照杨敏^[14]和夏兴莉等^[15]的方法并略加改动。顶空固相微萃取(headspace solid phase microextraction, HS-SPME)条件:取新鲜苦瓜数个,用打孔器在每个苦瓜不同部位取样,各部分混合均匀,打浆。准确称取新鲜苦瓜浆液和不同干燥处理后的苦瓜粉各3.5 g,置于30 mL棕色螺口固相微萃取样品瓶中,加入1.0 g NaCl后立刻密封瓶口;将样品置于50 °C恒温水浴锅中平衡20 min,同时将50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头插入GC-MS仪进样口中,在250 °C条件下老化20 min。然后将萃取头插入平衡好的样品瓶中,萃取40 min后取出萃取头,插入GC-MS进样口解吸5 min。

色谱条件:HP-5MS石英毛细管柱(30 m×0.25 μm×0.25 μm);载气He;进样口温度250 °C,无分流比,柱流速1 mL/min。程序升温:初温40 °C,保持3 min,之后先以5 °C/min的升温速率升至180 °C,保持2 min,再以10 °C/min的升温速率上升到250 °C,并保持10 min。

质谱条件:四级杆150 °C,离子源温度230 °C,辅助加热器250 °C,电子轰击电离(electron impact, EI),全扫描质量参数40~800 U,检索图库为NIST08.LIB。

定性和定量分析:采用HS-SPME-GC-MS联用技术进行检索分析、定性,同时与NIST 08.LIB质谱库相匹配,并参考资料、文献等进行人工鉴定;将相似度大于800的峰作为确认,采用峰面积归一化法计算各组分相对含量。

1.3.11 数据处理

采用SPSS 16.0软件对实验数据进行处理,用邓肯多重比较法检验差异显著性,5%为显著水平。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对苦瓜粉水分含量和溶解性的影响

不同干燥处理苦瓜粉水分含量影响见表 1。参考国家标准 NY/T1884-2010 绿色食品果蔬粉, 要求果蔬粉水分含量小于 6%。日晒干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥处理的苦瓜粉水分含量均在 6% 以下, 分别为 5.97%、4.35%、4.65%、4.34%。喷雾干燥的含水量最低可能是因为喷雾干燥是将料液雾化后, 与热空气接触, 物料中的水分迅速汽化。此操作增大了水分的蒸发面积, 加速了干燥过程, 促使最终的物料含水量低^[16]。

表 1 不同干燥方式对苦瓜粉水分含量和溶解性的影响

Table 1 Effects of different drying methods on the moisture content and solubility of bitter melon powder

干燥方式	水分含量/%	溶解性/%
日晒干燥	5.97±0.43 ^b	30.88±0.45 ^a
热风干燥	4.35±0.25 ^a	36.60±1.27 ^b
真空冷冻干燥	4.65±0.24 ^a	41.18±0.57 ^c
喷雾干燥	4.34±0.18 ^a	64.07±0.26 ^d

注: 字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$ 。

不同干燥方式对苦瓜粉溶解性影响见表 1。溶解性是评价果蔬粉冲调性能的重要指标之一, 日晒干燥、热风干燥、真空冷冻干燥和喷雾干燥处理苦瓜粉的冲

表 2 不同干燥方式对苦瓜粉色泽和叶绿素含量的影响

Table 2 Effects of different drying methods on the color and chlorophyll content of bitter melon powder

干燥方式	色泽			叶绿素		
	亮度 L*	红绿值 a*	黄蓝值 b*	叶绿素 a/(mg/g DW)	叶绿素 b/(mg/g DW)	总叶绿素/(mg/g DW)
日晒干燥	76.65±0.94 ^a	-3.01±0.06 ^d	18.54±0.20 ^a	0.23±0.01 ^a	0.13±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a
热风干燥	78.96±0.30 ^b	-5.12±0.04 ^c	19.50±0.13 ^b	0.30±0.01 ^{ab}	0.11±0.01 ^a	0.42±0.01 ^a
真空冷冻干燥	80.13±0.12 ^b	-6.55±0.01 ^b	19.37±0.01 ^{ab}	0.41±0.09 ^b	0.33±0.14 ^a	0.74±0.08 ^b
喷雾干燥	76.25±0.84 ^a	-6.99±0.13 ^a	29.04±0.60 ^c	0.77±0.07 ^c	0.34±0.03 ^a	1.11±0.02 ^c

注: 字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$ 。

不同干燥方式对苦瓜粉叶绿素含量的影响见表 2。叶绿素是存在于叶绿体中的绿色色素, 对光、热、酸、碱等物质非常敏感, 因此不同干燥处理对苦瓜粉中叶绿素含量的影响不同。叶绿素 a 含量最高的是喷雾干燥 (0.77 mg/g), 最低的是日晒干燥 (0.23 mg/g); 叶绿素 b 含量最高的是喷雾干燥 (0.34 mg/g), 最低的是热风干燥 (0.11 mg/g); 总叶绿素含量大小依次为喷雾干燥>真空冷冻干燥>热风干燥>日晒干燥。不同干燥处理苦瓜粉的总叶绿素含量的变化与色泽值中红绿指数 a* 的变化一致。喷雾干燥苦瓜粉的叶绿素损失最小。

调性分别为 30.88%、36.60%、41.18%、64.07%, 且相互之间具有显著性差异 ($p < 0.05$)。这可能是因为喷雾干燥是将料液分散成很细的像雾一样的微粒, 且干燥过程是在瞬间完成, 成品的颗粒基本上能保持与液滴近似的球状, 产品具有良好的溶解性; 而真空冷冻干燥中的真空环境使苦瓜产生膨胀压, 细胞发生一定破坏, 使游离淀粉增加, 从而增加苦瓜粉的溶解性^[17]。

2.2 不同干燥方式对苦瓜粉色泽和叶绿素含量的影响

不同干燥方式对苦瓜粉色泽影响见表 2。L*表示苦瓜粉的明亮程度, 不同干燥处理苦瓜粉的 L*有显著性差异 ($p < 0.05$), 其中 L*最高的是冷冻干燥, 最小的是喷雾干燥。a*和 b*分别表示红 (+a*)/绿 (-a*) 和黄 (+b*)/蓝 (-b*), 不同干燥处理的苦瓜粉 a*和 b*均有显著性差异 ($p < 0.05$), 其中喷雾干燥的 a*值最小, 表示苦瓜粉颜色偏绿, 喷雾干燥、真空冷冻干燥、热风干燥、日晒干燥 a*均为负值且依次增大; 喷雾干燥的 b*值最大, 表示苦瓜粉颜色偏黄, 喷雾干燥、热风干燥、真空冷冻干燥、日晒干燥 b*均为正值且依次减小。不同干燥方式对苦瓜粉色泽的影响不同, 这可能是由于不同干燥方式的干燥温度和干燥时间不同, 苦瓜发生的酶促褐变和非酶褐变的程度不同^[18]。结合感官评价, 喷雾干燥的色泽最好。

2.3 不同干燥方式对苦瓜粉营养成分的影响

苦瓜作为传统的药食两用植物, 富含多酚、黄酮、皂苷等多种生物活性物质, 在抗肿瘤、降血糖、抗氧化以及调节免疫力等方面都有一定的效果^[3]。从营养学角度考虑, 最大程度保留产品中的天然活性成分是提高其品质特性的关键。不同干燥方式对苦瓜粉营养成分的影响见表 3。不同干燥处理对苦瓜粉中总酚含量、黄酮含量、皂苷含量具有显著性差异 ($p < 0.05$), 真空冷冻干燥苦瓜粉三者含量均最高, 分别为 45.32 mg/g、19.15 mg/g、18.04 mg/g; 日晒干燥苦瓜粉三者

含量均最低, 分别为 43.30 mg/g、17.86 mg/g、15.81 mg/g。不同干燥处理的苦瓜粉中多酚和黄酮含量不同, 这和 KIM^[19]的研究结果一致, 可能是因为多酚和黄酮中含有热敏性极强的不稳定组分, 加工过程长期处于高温环境和长时间与空气接触易氧化分解, 干燥时间越长, 样品与氧气接触充分, 多酚和黄酮因氧化

损失也越多; 温度也会加速多酚水解, 导致其多酚和黄酮含量降低。真空冷冻干燥处理的苦瓜粉中的皂苷含量最高, 这与秦樱瑞等^[20]的研究结果相一致, 其研究发现真空冷冻干燥前后皂苷、多糖和多肽等降糖成分破坏较少, 这可能是因为真空冷冻干燥一直处于低温环境, 对于苦瓜中的营养活性物质破坏程度低。

表 3 不同干燥方式对苦瓜粉营养成分的影响

Table 3 Effects of different drying methods on the nutrient components of bitter gourd powder

干燥方式	总酚含量/(mg/g DW)	黄酮含量/(mg/g DW)	皂苷含量/(mg/g DW)
日晒干燥	36.52±0.53 ^a	15.37±0.18 ^b	11.78±0.27 ^a
热风干燥	38.78±0.53 ^b	12.97±0.11 ^a	13.20±0.18 ^b
真空冷冻干燥	45.32±1.13 ^d	19.15±0.20 ^d	18.04±0.70 ^d
喷雾干燥	43.30±1.60 ^c	17.86±0.35 ^c	15.81±0.18 ^c

注: 字母不同表示差异性显著, $p < 0.05$ 。

2.4 不同干燥方式对苦瓜粉香气成分的影响

2.4.1 苦瓜鲜样和不同干燥处理苦瓜粉的香气成分总离子流图

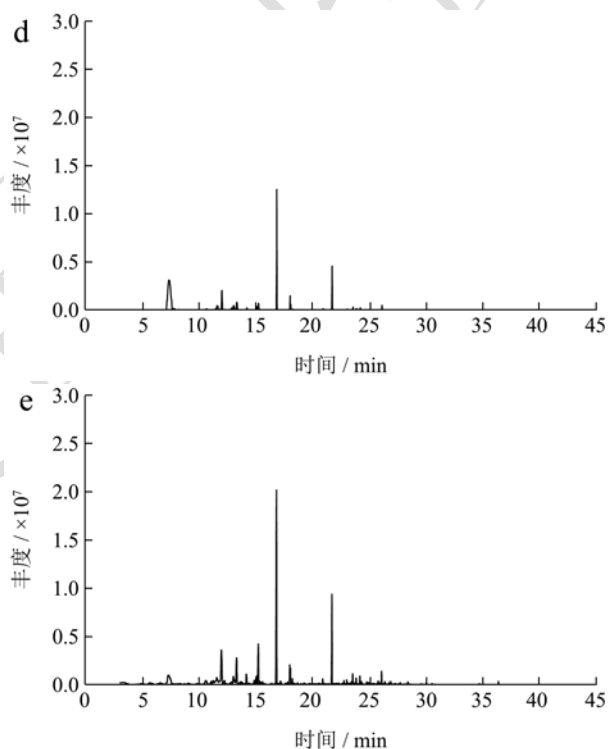
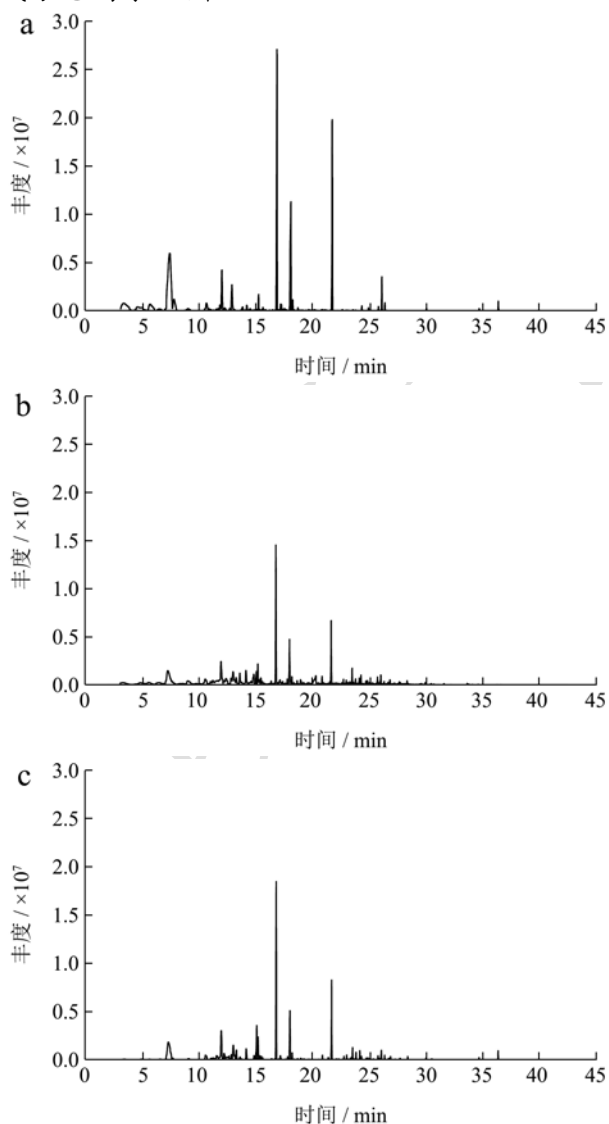


图 1 苦瓜鲜样和苦瓜粉香气成分的总离子流图

Fig.1 Total ion chromatograms of aroma components in fresh bitter gourd and bitter gourd powder

注: a-新鲜苦瓜; b-日晒干燥; c-热风干燥; d-真空冷冻干燥; e-喷雾干燥。

采用 HS-SPME-GC-MS 技术对苦瓜鲜样、不同干燥处理苦瓜粉的香气成分进行检测, 得到的香气成分总离子流图如图 1 所示。与 GC-MS 谱库进行比对, 确认的香气成分物质种类及相对含量见表 4。

2.4.2 苦瓜鲜样和不同干燥处理苦瓜粉香气成分种类及相对含量

苦瓜鲜样和不同干燥处理苦瓜粉的香气成分如表 4 和表 5 所示, 苦瓜鲜样和不同干燥处理苦瓜粉的香

气成分共有 107 种,其中包括醇类 30 种、醛类 16 种、酮类 13 种、酯类 9 种、烷烃类 11 种、烯炔类 16 种及其他物质 12 种。香气成分在相同检测条件下,不同处理苦瓜样品香气成分的种类及相对含量呈现一定差异性。新鲜苦瓜、日晒干燥、热风干燥、冷冻干燥、喷雾干燥苦瓜粉各自鉴定出 42、48、42、36、50 种。5 种样品含有 7 种相同的香气成分,分别为 3-己烯醇、桃金娘烯醇、壬醛、癸醛、 β -环柠檬醛、十四烷、2,4-二叔丁基苯酚。和新鲜苦瓜样品相比,不同干燥处理的苦瓜含有相同香气成分为 1-辛烯-3-醇、苯甲醇、芳樟醇、苯乙醛、4-甲基-十四烷、2,6,10-三甲基-十四烷、3-甲基十五烷、3,5-辛二烯-2-酮、5,6,7,7a-四氢-4,7,7a-三甲基-2-(4H)-苯并呋喃酮、古巴烯、4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯、石竹烯、3-三氟乙酰氧

基-十四烷 13 种。

醇类物质是苦瓜香气成分中种类最多的一类化合物,5 个样品中分别检出 12、12、9、11、13 种化合物,其中冷冻干燥处理苦瓜粉的醇类相对含量最高,达 77.23%,其次为新鲜苦瓜 71.2%。不同样品检测出的共有醇类物质为 3-己烯醇和桃金娘烯醇,相关研究表明 3-己烯醇具有强烈的新鲜草叶的青香、新茶叶和苹果青香,而桃金娘烯醇则呈现草香、木香、樟脑样香气,这 2 种相对含量较高的香气物质共同构成苦瓜特有的清新自然的青草气息^[21]。新鲜苦瓜和冷冻干燥处理苦瓜粉较于喷雾、热风、日晒干燥处理的苦瓜粉青气更浓,这可能是因为醇类物质大量存在会使样品呈现青气、木质味或陈味,而苦瓜经喷雾、热风、日晒干燥处理苦瓜粉中醇类物质总相对含量减少造成。

表 4 苦瓜鲜样和苦瓜粉的香气成分及其相对含量

Table 4 Aroma components and their relative contents in fresh bitter melon and bitter melon powder

分类	化学物名称	化学式	相对含量/%				
			新鲜苦瓜	日晒干燥	热风干燥	冷冻干燥	喷雾干燥
醇类	1-环丁烯基甲醇	C ₅ H ₈ O	2.60	-	-	-	-
	3-己烯醇	C ₆ H ₁₂ O	39.01	17.53	22.57	61.55	13.22
	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	4.95	-	-	2.98	-
	3-癸炔-2-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.14	-	-	-	-
	4-庚烯醇	C ₇ H ₁₄ O	0.53	-	-	-	-
	3,4,4-三甲基-1-戊炔-3-醇	C ₈ H ₁₄ O	-	-	-	0.93	-
	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	2.20	1.41	0.84	2.44
	异辛醇	C ₈ H ₁₈ O	4.79	-	2.84	-	-
	2-乙基-1-己醇	C ₈ H ₁₈ O	-	2.85	-	-	-
	苯甲醇	C ₇ H ₈ O	-	5.51	6.63	3.71	4.40
	3,5-辛二烯-2-醇	C ₈ H ₁₄ O	-	1.53	1.69	-	1.81
	11-氧-杂环双螺[4.0.4.1]十烷-1-醇	C ₁₀ H ₁₆ O ₂	-	1.37	-	-	-
	(Z)-2-辛烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	-	-	-	0.43
	正辛醇	C ₈ H ₁₈ O	0.79	-	-	-	-
	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O	-	3.16	8.61	1.64	2.85
	顺式- $\pi\pi$ 4,5-四甲基-1-环戊烯-1-甲醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.17	-	-	-	-
	2-甲基-6-庚烯-1-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	-	-	0.68	-
	6-甲基-5-庚烯-2-醇	C ₈ H ₁₆ O	-	1.68	-	-	1.34
	马鞭烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.10	-	-	-	-
	4-亚甲基-1-(1-甲基乙基)-1 π 3 π 5 π -二环[3.1.0]己烷-3-醇	C ₁₀ H ₁₆ O	0.84	-	-	-	-
4-萜烯醇	C ₁₀ H ₁₈ O	0.21	-	-	-	-	
4,7,7-三甲基二环[4.1.0]庚烷-2-醇	C ₁₀ H ₁₈ O	-	-	0.99	0.29	0.84	
π -松油醇	C ₁₀ H ₁₈ O	-	1.17	-	-	-	
桃金娘烯醇	C ₁₀ H ₁₆ O	17.07	11.16	12.11	4.61	4.53	
表桉蓝醇	C ₁₅ H ₂₆ O	-	0.27	-	-	-	

转下页

接上页						
	蓝桉醇	C ₁₅ H ₂₆ O	-	1.14	-	-
	库贝醇	C ₁₅ H ₂₆ O	-	-	0.27	0.14
	2-(十八氧基)乙醇	C ₂₀ H ₄₂ O ₂	-	-	-	0.31
	叔十六硫醇	C ₁₆ H ₃₄ S	-	-	0.10	-
	2-甲基-1-十六烷醇	C ₁₇ H ₃₆ O	-	0.49	0.39	0.14
醛类	(E)-2-戊烯醛	C ₅ H ₈ O	2.52	-	-	-
	2-甲基-4-戊烯醛	C ₆ H ₁₀ O	5.06	-	-	-
	己醛	C ₆ H ₁₂ O	-	-	-	3.02
	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	-	-	3.99	3.82
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	C ₇ H ₁₀ O	1.86	-	-	-
	(Z)-2-癸醛	C ₁₀ H ₁₈ O	-	-	-	2.35 1.40
	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	-	2.71	3.63	4.82 12.02
	(E)-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	0.35	-	-	-
	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	1.78	4.57	5.14	2.68 11.27
	5,5-二甲基-3-氧-1-环己烯-1-甲醛	C ₉ H ₁₂ O ₂	-	1.01	-	-
	(E,Z)-2,6-壬二烯醛	C ₉ H ₁₄ O	-	0.30	0.32	-
	3,7-二甲基-6-壬烯醛	C ₁₁ H ₂₀ O	-	0.16	-	-
	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	1.12	1.42	1.33	0.56 1.34
	β-环柠檬醛	C ₁₀ H ₁₆ O	0.27	0.78	0.49	0.25 0.52
	十一醛	C ₁₁ H ₂₂ O	0.11	-	-	-
	2-十一烯醛	C ₁₁ H ₂₀ O	0.10	-	-	-
	酮类	1-戊烯-3-酮	C ₅ H ₈ O	9.00	-	-
6-甲基-5-庚烯-2-酮		C ₈ H ₁₄ O	0.37	-	-	-
5-甲基-3-庚烯-2-酮		C ₈ H ₁₄ O	-	-	-	0.73
5-乙基二氢-2(3H)-呋喃酮		C ₆ H ₁₀ O ₂	-	3.65	-	-
3,5-辛二烯-2-酮		C ₈ H ₁₂ O	-	9.74	5.85	1.99 5.67
6,10-二甲基-2-十一烷酮		C ₁₃ H ₂₆ O	0.04	-	-	-
α-紫罗酮		C ₁₃ H ₂₀ O	0.39	1.45	0.66	- 0.60
香叶基丙酮		C ₁₃ H ₂₂ O	0.27	-	0.48	0.15 0.51
5,6,6-三甲基-5-(3-氧-1-丁烯基)-1-氧杂螺[2.5]辛烷-4-酮		C ₁₄ H ₂₀ O ₃	-	0.27	-	-
α-大马酮		C ₁₃ H ₂₀ O	-	-	-	0.21 0.82
β-紫罗兰酮		C ₁₃ H ₂₀ O	0.36	1.24	0.84	0.19
5,6,7,7a-四氢-4,7,7a-三甲基-2-(4H)-苯并呋喃酮	C ₁₁ H ₁₆ O ₂	-	0.93	0.82	0.27 0.85	
6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	C ₁₈ H ₃₆ O	-	0.09	-	-	
酯类	乙酸叶醇酯	C ₈ H ₁₄ O ₂	0.24	-	-	-
	(E)-丁酸-3-己烯酯	C ₁₀ H ₁₈ O ₂	0.10	-	-	-
	十二酸-2-己烯酯	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0.09	-	-	-
	二氯乙酸-4-十四烷酯	C ₁₆ H ₃₀ Cl ₂ O ₂	-	0.69	0.57	- 0.67
	甲酸-3,7,11-三甲基-1,6,10-十二碳三烯酯	C ₁₆ H ₂₆ O ₂	-	0.76	0.20	-
	甲氧基乙酸-2-十四烷基酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₃	-	0.27	-	0.26 0.11
	十四酸异丙酯	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	-	0.28	-	-

转下页

接上页						
	邻苯二甲酸-异丁基-4-辛酯	C ₂₀ H ₃₀ O ₄	0.19	-	-	-
	邻苯二甲酸二丁酯	C ₁₆ H ₂₂ O ₄	0.77	0.19	2.11	1.07
	2,7-二甲基-氧杂七环	C ₈ H ₁₀ O	-	-	-	0.75
	十二烷	C ₁₂ H ₂₆	-	-	-	1.78 3.68
	1,2-15,16-二环氧十六烷	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0.06	-	-	-
	十五烷	C ₁₅ H ₃₂	-	-	0.84	1.17
	10-甲基-二十烷	C ₂₁ H ₄₄	-	-	-	0.73
烷烃类	4-甲基-十四烷	C ₁₅ H ₃₂	-	0.86	0.67	0.33 0.80
	十四烷	C ₁₄ H ₃₀	0.10	3.73	1.97	1.47 2.12
	2,6,10-三甲基-十四烷	C ₁₇ H ₃₆	-	1.57	1.38	0.28 2.22
	3-甲基十五烷	C ₁₆ H ₃₄	-	0.42	0.39	0.11 0.44
	十六烷	C ₁₆ H ₃₄	-	0.58	0.68	-
	十一烷基环戊烷	C ₁₆ H ₃₂	-	0.15	0.15	- 0.17
	3-乙基-1,5-辛二烯	C ₁₀ H ₁₈	-	-	-	0.79 -
	2-辛烯	C ₈ H ₁₆	0.33	-	-	-
	3,5,5-三甲基-2-己烯	C ₉ H ₁₈	-	-	-	2.02
	(Z)-1-乙氧基-4-甲基-2-戊烯	C ₈ H ₁₆ O	0.58	-	-	-
	1-壬烯	C ₉ H ₁₈	0.72	-	-	-
	2-乙烯基-1,3,3-三甲基-环己烯	C ₁₁ H ₁₈	0.05	-	-	-
	π 萜澄茄油烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	-	0.12 -
	古巴烯	C ₁₅ H ₂₄	-	0.85	1.40	0.45 1.36
烯烃类	2-乙基-1-十二烯	C ₁₄ H ₂₈	-	0.48	0.29	- 0.33
	β -榄香烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.65	0.27 0.70
	4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	C ₁₅ H ₂₄	-	0.97	1.40	0.60 1.31
	石竹烯	C ₁₅ H ₂₄	-	1.33	1.9	0.85 2.00
	雪松烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	-	- 0.12
	顺-甜没药烯	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.41	0.09 0.48
	1,1,4a-三甲基-5,6-二亚甲基萜烷	C ₁₅ H ₂₄	-	-	0.46	- 0.49
	2-甲基-Z-4-十四碳烯	C ₁₅ H ₃₀	-	0.31	-	-
	2-正戊基咪喃	C ₉ H ₁₄ O	0.47	-	-	-
	(E)-3-己烯酸	C ₆ H ₁₀ O ₂	-	-	1.96	-
	邻异丙基甲苯	C ₁₀ H ₁₄	0.50	-	-	-
	2-叠氮基-2,4,4,6,6-五甲基庚烷	C ₁₂ H ₂₅ N ₃	-	-	-	- 0.90
	2-甲氧基-3-异丁基吡嗪	C ₉ H ₁₄ N ₂ O	0.31	-	-	-
	4,6-十碳二烯甲醚	C ₁₁ H ₂₀ O	-	-	-	- 0.38
其他类	壬酸	C ₉ H ₁₈ O ₂	-	6.08	-	0.57 -
	二叔十二烷基二硫化物	C ₂₄ H ₅₀ S ₂	-	0.85	-	-
	3-三氟乙酰氧基-十四烷	C ₁₆ H ₂₉ F ₃ O ₂	-	0.55	0.47	0.31 0.79
	[1R-(1 π 4 π 4 π 8 π)]-1,2,3,4,4a,7,8,8a-八氢-1,6-二甲基-4-(1-甲基乙基)-1-萜酚	C ₁₅ H ₂₆ O	-	-	-	- 0.18
	2,4-二叔丁基萜酚	C ₁₄ H ₂₂ O	0.69	0.57	0.94	0.29 0.72
	十二烯基丁二酸酐	C ₁₆ H ₂₆ O ₃	-	0.13	-	-

注：表格中“-”代表未检出。

表5 苦瓜鲜样和苦瓜粉中不同种类香气成分种类数量及相对含量的比较

Table 5 Comparison of relative contents of different classes of aroma components in fresh bitter melon and bitter melon powder

类别	新鲜苦瓜		日晒干燥		热风干燥		冷冻干燥		喷雾干燥	
	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%	数量	相对含量/%
醇类	12	71.2	13	50.06	11	57.61	9	77.23	12	32.45
醛类	9	13.17	7	10.95	6	14.90	5	10.66	7	33.39
酮类	6	10.43	7	17.37	5	8.65	6	3.54	5	8.45
酯类	5	1.39	5	2.19	3	2.88	1	0.26	3	1.85
烷烃类	2	0.16	6	7.31	7	6.08	5	3.97	9	12.08
烯烃类	4	1.68	5	3.94	7	6.51	7	3.17	9	8.81
其他类	4	1.97	5	8.18	3	3.37	3	1.17	5	2.97
总计	42		48		42		36		50	

醛类物质也是苦瓜香气成分中相对含量较高的一类物质, 5个样品中分别检出9、7、5、6、7种化合物, 其中喷雾干燥处理苦瓜粉的醛类相对含量最高, 达33.39%。5个样品中共同检出的醛类成分是壬醛、癸醛、 β -环柠檬醛, 壬醛具有强烈的油脂气味和甜橙气息; 癸醛具有新鲜的油脂香, 稀薄时则有果味香; β -环柠檬醛具有凉香、果香和清香。热风干燥或日晒干燥中独有的5,5-二甲基-3-氧-1-环己烯-1-甲醛、(E,Z)-2,6-壬二烯醛、3,7-二甲基-6-壬烯醛可能与干燥过程中发生的美拉德反应、焦糖化反应或脂肪热氧化以及抗坏血酸的降解有关^[22], 这也是干制处理的苦瓜粉拥有特殊焦香味的原因。尤其是(E,Z)-2,6-壬二烯醛具有各种瓜果蔬菜特别是黄瓜风味, 主要用于配制瓜类香精^[23]。

酮类一般被认为呈脂香和焦香香气, 并且随着碳链增长呈现出增强的花香气息。5个样品中分别检测出6、5、6、5、7种酮类化合物, 其中日晒干燥和热风干燥中酮类物质相对含量较高, 这可能是因为在干燥过程中发生了较多的美拉德反应, 而美拉德反应的产物多为酮类物质, 且反应的时间和温度都直接影响酮类物质风味成分的种类和含量, 这与吴琼等研究不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响的结论一致^[24]。类胡萝卜素在干燥过程中受热力作用发生氧化降解形成具有花果香的 α -紫罗酮和 β -紫罗兰酮^[25], 二者在日晒干燥和热风干燥中总量较高, 说明长时间的有氧热干燥有利于紫罗酮的形成。

酯类物质一般具有甜水果香气, 被誉为挥发性成分的“积极”化合物。5个样品中分别检测出5、3、1、3、5种酯类化合物, 其中日晒干燥、热风干燥和喷雾干燥苦瓜粉中酯类物质相对含量比新鲜苦瓜高, 这可能与长期暴露于高温有氧环境中, 促进了醇类物质的酯化反应, 增加了物料的香气^[26]。

烃类物质主要是由蛋白质降解和美拉德反应促进

合成的。5个样品检测到的烃类物质主要是烷烃类和烯烃类, 其中烷烃类各检测出2、9、5、7、6种化合物, 烯烃类各检测出4、9、7、7、5种化合物。日晒干燥、热风干燥和喷雾干燥处理苦瓜粉的烃类化合物相对含量较高, 分别为11.25%、12.59%、20.89%; 而新鲜苦瓜中的烃类化合物相对含量才1.84%, 这说明高温促进了烃类物质的形成。

5个样品检测到的其他类化合物主要是酸类化合物、呋喃类、吡嗪类、杂环类等, 各检测出4、5、3、3、5种化合物, 相对含量分别为1.97%、2.97%、1.17%、3.37%、8.18%。日晒干燥处理的苦瓜粉中壬酸含量为6.08%, 呈脂肪和椰子香气。除此之外, 其他处理苦瓜粉的香气成分变化不大。

香气成分是影响食品品质的重要指标之一, 但在加工过程中易发生变化, 因此, 研究原料的香气成分与加工制品的香气成分对农产品的生产具有一定的指导作用。本实验利用HS-SPME-GC-MS技术检测新鲜苦瓜和4种干燥处理苦瓜粉的香气物质种类和相对含量进行了比较研究, 得出的结论如下: 1) 新鲜苦瓜和4种干燥处理苦瓜粉的香气物质共有7种, 而4种干燥处理苦瓜粉的香气物质共有20种。喷雾干燥处理苦瓜粉的香气物质种类最多, 冷冻干燥最少。2) 醇类和醛类是新鲜苦瓜和4种干燥处理苦瓜粉主要的风味成分, 是影响苦瓜香气成分的主要因素。3) 比起冷冻干燥、热风干燥和日晒干燥, 喷雾干燥对于新鲜苦瓜中香气成分有更好的保留和增加效果, 并减少了部分对香气成分有反作用的物质。本实验主要是对新鲜苦瓜和苦瓜粉香气物质进行分析鉴定, 关于不同干燥方式制备苦瓜粉特征香气成分及其形成机理有待进一步研究, 为苦瓜粉加工开辟更为合适的加工方式, 为苦瓜粉加工方法的优选和苦瓜粉香气物质的跟踪检测提供理论指导。

3 结论

本研究对日晒干燥、热风干燥、真空冷冻干燥及喷雾干燥处理的苦瓜粉的加工性质、营养成分及香气成分进行了分析测定,结果表明不同干燥方式处理的苦瓜粉加工性质、营养成分和香气成分具有较大差异,其中喷雾干燥产品品质优良且明显优于另外3种干燥方式。喷雾干燥产品具有水分含量最低,溶解性好,能够更好的保持苦瓜的色泽,香气成分种类最多;真空冷冻干燥能够更好的保留苦瓜粉中的总酚、黄酮和皂苷含量,香气成分种类最少;日晒干燥和热风干燥的苦瓜粉营养成分损失严重,且褐变严重。新鲜苦瓜和苦瓜粉中共检测出107种香气物质,其中喷雾干燥香气成分种类最多,醇类和醛类物质是影响苦瓜香气成分的主要因素。综合考虑,喷雾干燥为苦瓜粉干燥加工的最佳工艺。

参考文献

- [1] 杨敏. 苦瓜挥发性成分的固相微萃取—气质联用分析[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 171-174
YANG Min. SPME-GC-MS analysis of volatile composition of bitter melon fruits [J]. Food Science, 2010, 31(2): 171-174
- [2] 吴传万, 杜小凤, 杨文飞, 等. 苦瓜破壁超微粉碎工艺优化研究[J]. 中国农学通报, 2015, 30(3): 265-270
WU Chuan-wan, DU Xiao-feng, YANG Wen-fei, et al. Optimization of superfine grinding technological parameters for cell wall disruption of *Momordica charantia* L [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 30(3): 265-270
- [3] 穆彩云, 乔长晟, 叶宏涛, 等. 保健苦瓜粉的工艺研究[J]. 食品工业科技, 2006, 34(6): 108-109
MU Cai-yun, QIAO Chang-cheng, YE Hong-tao, et al. Research on the processing technology of healthy bitter gourd powder [J]. Science and Technology of Food Industry, 2006, 34(6): 108-109
- [4] 朱香燕, 张珺, 何义雁, 等. 热风与远红外干燥温度对苦瓜全粉品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 265-269
ZHU Xiang-yan, ZHANG Jun, HE Yi-yan, et al. Effects of hot air and far-infrared drying temperatures on quality of bitter gourd (*Momordica charantia* L.) powder [J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(7): 265-269
- [5] 孙芳, 江水泉. 我国果蔬干燥加工技术现状及发展前景[J]. 粮食与食品工业, 2016, 23(4): 11-15, 20
SUN Fang, JIANG Shui-quan. Present situation and development prospect of fruit and vegetable drying processing technologies in China [J]. Cereal and Food Industry, 2016, 23(4): 11-15, 20
- [6] 叶春苗. 喷雾干燥技术及其在食品加工中的应用[J]. 农产品加工, 2017, 4: 63-64
YE Chun-miao. Spray drying technology and its application in food processing [J]. Farm Products Processing, 2017, 4: 63-64
- [7] 吴海虹, 朱道正, 卞欢, 等. 农产品干燥技术发展现状[J]. 现代农业科技, 2016, 14: 279-281
WU Hai-hong, ZHU Dao-zheng, BIAN Huan, et al. Development status of agricultural product drying technology [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016, 14: 279-281
- [8] 王素雅, 刘长鹏, 杨玉玲, 等. 酶法生产速溶慈姑粉的工艺研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(4): 80-89
WANG Su-ya, LIU Chang-peng, YANG Yu-ling, et al. The preparation of instant arrowhead powder using enzyme hydrolysis processing [J]. Food and Fermentation Industry, 2008, 34(4): 80-89
- [9] 张乐, 王赵改, 杨慧, 等. 不同干燥方法对板栗品质的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(12): 2363-2372
ZHANG Le, WANG Zhao-gai, YANG Hui, et al. Effects of different drying methods on the quality of Chinese chestnut [J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2016, 30(12): 2363-2372
- [10] NY/T 3082-2017 水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定[S]. 北京: 2017
NY/T3082-2017 Determination of Chlorophyll Content in Fruits, Vegetables and Their Products [S]. Beijing: 2017
- [11] Singleton V L, Orthofer R, Lamuela-raventos R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent [J]. Methods in Enzymology, 1999, 299: 152-178
- [12] Zhishen J, Mengeheg T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals [J]. Food Chemistry, 1999, 64(4): 555-559
- [13] 田力东, 张名位, 郭祀远, 等. 苦瓜皂苷的提取工艺优化研究[J]. 现代食品科技, 2008, 23(1): 40-44
TIAN Li-Dong, ZHANG Ming-wei, GUO Si-yuan, et al. Study on optimization of extraction technology of saponin from *Momordica charantia* L [J]. Modern Food Science and Technology, 2008, 23(1): 40-44
- [14] 杨敏. SPME-GC/MS 联用技术在部分蔬菜挥发性成分分析中的应用研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2008
YANG Min. SPME-GC-MS Analysis of volatile composition of some vegetables [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural

- University, 2008
- [15] 夏兴莉,李琦,魏远隆,等.低温富集液液萃取分析苦瓜挥发性成分[J].生命科学仪器,2018,16(3):60-65
XIA Xing-li, LI Qi, WEI Yuan-long, et al. Analysis of volatile components of *Momordica Charantia* L. with low temperature enrichment liquid-liquid extraction [J]. Life Science Instruments, 2018, 16(3): 60-65
- [16] 黄立新,王宗镰,唐金鑫.我国喷雾干燥技术研究及进展[J].化学工程,2001,29(2):51-56
HUANG Li-xin, WANG Zong-lian, TANG Jin-xin. Research and progress of spray drying technology in China [J]. Chemical Engineering, 2001, 29(2): 51-56
- [17] 管桂林,范作卿,吴昊,等.干燥方式对苜蓿超微粉物化特性及抗氧化活性的影响[J].食品工业科技,2018,13:84-88
GUAN Gui-lin, FAN Zuo-qing, WU Hao, et al. Effects of drying methods on physical and chemical properties and antioxidant activity of alfalfa superfine powders [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 13: 84-88
- [18] 高福成.现代食品工程高新技术[M].北京:中国轻工业出版社,2000
GAO Fu-cheng. High-new technology of modern food engineering [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000
- [19] Kim S Y, Jeong S M, Park W P, et al. Effect of heating conditions of grape seeds on the antioxidant activity of grape seed extracts [J]. Food Chemistry, 2006, 97(3): 472-479
- [20] 秦樱瑞,黄先智,曾艺涛,等.干燥方法对苦瓜降糖成分含量的影响[J].食品科学,2015,36(15):56-61
QIN Ying-rui, HUANG Xian-zhi, ZENG Yi-tao, et al. Effects of drying methods on the contents of hypoglycemic components in *Momordica Charantia* L. [J]. Food Science, 2015, 36(15): 56-61
- [21] Amaro A L, Beaulieu J C, Grimm C C, et al. Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh cut cantaloupe and honeydew melons [J]. Food Chemistry, 2012, 130(1): 49-57
- [22] 周国红,李彩,董士海.美拉德反应对白酒香味的影响[J].安徽农业科学,2012,40(3):1461-1462
ZHOU Guo-hong, LI Cai, DONG Shi-hai. Effects of maillard reaction on flavor of Chinese liquors [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(3): 1461-1462
- [23] 刘春香,何启伟,刘拴桃.黄瓜果实反,顺-2,6-壬二烯醛与反-2-壬烯醛比值的变化[J].莱阳农学院学报,2003,20(4):276-278
LIU Chun-xiang, HE Qi-wei, LIU Shuan-tao. Ratio changes of trans-2-cis-6-nonadienal content trans-2-nonenal content on cucumber fruits [J]. Journal of Laiyang Agricultural College, 2003, 20(4): 276-278
- [24] 吴琼,刘奕,吴庆园,等.不同干燥方式对葛根全粉抗氧化性能和香气成分的影响[J].食品科学,2017,38(6):202-208
WU Qiong, LIU Yi, WU Qing-yuan, et al. Effect of different drying methods on the antioxidant properties and aromatic composition of whole flour from pueraria lobata roots [J]. Food Science, 2017, 38(6): 202-208
- [25] Loranty A, Rembialkowska E, Rosa E As, et al. Identification, quantification and availability of carotenoids and chlorophylls in fruit, herb and medicinal teas [J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2010, 23(5): 432-441
- [26] 刘璇,赖必辉,毕金峰,等.不同干燥方式芒果脆片香气成分分析[J].食品科学,2013,34(22):179-184
LIU Xuan, LAI Bi-hui, BI Jin-feng, et al. Analysis of aroma components of mango chips prepared by different drying methods [J]. Food Science, 2013, 34(22): 179-184

(上接第 139 页)

- [17] Huson D H, Bryant D. Application of phylogenetic networks in evolutionary studies [J]. Molecular Biology and Evolution, 2005, 23(2): 254-67
- [18] Weinberger M, Moran-Gilad J, Rokney A, et al. Molecular epidemiology of *Campylobacter jejuni* infection in Israel-a nationwide study [J]. Clinical Microbiology and Infection : the Official Publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases, 2016, 22(12): 1005.e9-e15
- [19] Sheppard S K, Maiden M C J. The evolution of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* [J]. Cold Spring Harbor perspectives in biology, 2015, 7(8): a018119