

靳政时, 牛犇, 刘瑞玲, 等. 干燥方式对猕猴桃果干品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(24): 62–71. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030156

JIN Zhengshi, NIU Ben, LIU Ruiling, et al. Effects of Drying Methods on the Quality of Dried Kiwifruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(24): 62–71. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030156

· 研究与探讨 ·

干燥方式对猕猴桃果干品质的影响

靳政时^{1,2}, 牛犇^{2,*}, 刘瑞玲², 房祥军², 陈杭君², 王绍金^{1,*}, 邵海燕^{2,*}

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 浙江省农业科学院食品科学研究所, 农业农村部果品产后处理重点实验室, 浙江省果蔬保鲜与加工技术研究重点实验室, 中国轻工业果蔬保鲜与加工重点实验室, 浙江杭州 310021)

摘要:本研究以“徐香”猕猴桃为研究对象, 分别采用真空干燥、热风干燥、冷冻干燥的方法加工猕猴桃果干, 并研究几种干燥方式对其色泽、质构、营养品质及挥发性化合物的影响, 旨在选取适宜的猕猴桃干燥方式, 为猕猴桃的精深加工提供理论支撑。结果表明: 采用冷冻干燥得到的猕猴桃果干能最大限度保持原有的色泽, 其 a^* 值为 -7.24 , 与鲜样最为接近; 冷冻干燥猕猴桃果干的硬度、韧性和咀嚼性显著低于其他两组 ($P < 0.05$), V_C 含量为 $278.56 \text{ mg}/100 \text{ g}$, 总酚含量达 $1.35 \text{ mg}/\text{g}$, 均显著高于真空和热风干燥 ($P < 0.05$)。因此, 冷冻干燥处理能显著降低猕猴桃营养成分的损失。此外, 鲜样中共检测出 46 种挥发性成分, 主要挥发性成分为 (E)-2-己烯醛和丁酸甲酯。热风干燥的猕猴桃中检测出 53 种, 主要为己酸乙酯和辛酸乙酯; 真空干燥果干检测出 48 种, 糠醛和甲基庚烯酮的相对含量较高; 冷冻干燥果干检测出 40 种, 丁酸乙酯占比最高。但热风干燥和真空干燥后产生了一些 4-甲基-3-戊烯-2-酮、丁酸、正己酸等负面的气味, 而冷冻干燥的果干含有更多鲜果中含有的挥发性物质, 且干燥后的三组样品中仅在冷冻干燥果干中检出了 (E)-2-己烯醛和丁酸甲酯这两种鲜样的主要香气物质, 所以总体来看, 冷冻干燥更能保有鲜果的风味。

关键词: 猕猴桃, 干燥方式, 营养品质, 挥发性风味, 气相色谱-质谱法

中图分类号: TS255.42

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)24-0062-10

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022030156

本文网刊:



Effects of Drying Methods on the Quality of Dried Kiwifruit

JIN Zhengshi^{1,2}, NIU Ben^{2,*}, LIU Ruiling², FANG Xiangjun², CHEN Hangjun², WANG Shaojin^{1,*}, GAO Haiyan^{2,*}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Food Science, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Post-harvest Handling of Fruits, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Key Laboratory of Fruits and Vegetables Postharvest and Processing Technology Research of Zhejiang Province, Key Laboratory of Postharvest Preservation and Processing of Fruits and Vegetables, China National Light Industry, Hangzhou 310021, China)

Abstract: In this study, 'Xuxiang' kiwifruit was used as the research object, and vacuum drying, hot air drying and freeze drying were used to process kiwifruit. The effects of several drying methods on the color, texture, nutritional quality and volatile compounds of kiwifruit were studied to determine the appropriate drying methods for kiwifruit, which would provide theoretical support for the deep processing of kiwifruit. The results showed that the freeze-dried kiwifruit could maintain the original color to the maximum extent, and its a^* value was -7.24 , which was closest to the fresh sample. The firmness, toughness and chewiness of freeze-dried kiwifruit were significantly lower than the other two groups ($P < 0.05$). The V_C content of kiwifruit produced by freeze drying was $278.56 \text{ mg}/100 \text{ g}$, total phenol content was $1.35 \text{ mg}/\text{g}$, which were significantly higher than those produced by vacuum drying and hot air drying. Therefore, freeze-drying treatment

收稿日期: 2022-03-15 +并列第一作者

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2021C02033); 浙江省“三农九方”科技协作计划项目 (2022SNJF032)。

作者简介: 靳政时 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品物流保鲜与营养品质调控, E-mail: jzs0423@163.com。

牛犇 (1989-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品物流保鲜与营养品质调控, E-mail: newben1989@163.com。

* 通信作者: 王绍金 (1962-), 男, 博士, 教授, 研究方向为农产品加工新技术, E-mail: shaojinwang@nwafu.edu.cn。

邵海燕 (1958-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 食品物流保鲜与营养品质调控, E-mail: spsghy@163.com。

could significantly reduce the loss of nutrients in kiwifruit. As for volatile components, 46 volatile components were detected in fresh samples, and the main volatile components were (E)-2-hexenal and methyl butyrate. Fifty-three volatile components were detected in hot air dried kiwifruit, the main volatile components were ethyl caproate and ethyl octanoate. Forty-eight volatile components were detected in vacuum dried kiwifruit, and the relative contents of furfural and 6-methyl-5-heptene-2-one were higher. Forty volatile components were detected in freeze-dried kiwifruit, and the content of ethyl butyrate was the highest. However, some negative odors such as 4-methyl-3-penten-2-one, butyric acid and hexanoic acid were produced after hot air drying and vacuum drying. The kiwifruit produced by freeze drying method contains more volatile substances in fresh samples, and (E)-2-hexenal and methyl butyrate were detected only in freeze drying group. In general, freeze-drying can maintain the flavor of fresh kiwifruit.

Key words: kiwifruit; nutritional quality; drying techniques; volatile flavor; gas chromatography-mass spectrometry

猕猴桃(*Actinidia chinensis* Planch), 又称阳桃、奇异果等, 猕猴桃科(*Actinidiaceae*) 猕猴桃属(*Actinidia*)^[1], 原产于我国湖南省湘西地区, 在我国分布广泛^[2]。其果实富含维生素 C(Vitamin C, V_C), 享有“ V_C 之王”之称; 而且是多种必需氨基酸、矿物质、多酚类物质等营养物质良好的膳食来源^[3-4]。据报道, 猕猴桃果实有增强免疫力和降血糖等多种保健功能^[5-6]。此外, 猕猴桃果实柔软多汁, 酸甜可口, 深受广大消费者的喜爱。然而, 猕猴桃属于呼吸跃变型水果, 采后易软化、腐败变质, 严重影响其营养品质和商品价值。对猕猴桃进行干燥处理, 能够通过降低水分抑制微生物和酶促反应引起的品质劣变, 延长其保质期, 从而满足消费者在淡季对猕猴桃的需求^[7-8]。香味作为食品的一个重要属性, 与食品的品质密切相关。固相微萃取法(Solid Phase MicroExtraction, SPME)结合气相色谱-质谱(Gas Chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS)技术, 操作简便、灵敏度高、分离性好, 广泛应用于食品挥发性成分的分析 and 检测^[9]。

猕猴桃果干作为休闲零食, 深受消费者欢迎。作为加工过程中的重要工艺环节, 干燥方式的选用对果干品质会产生很大影响。侯培军等^[10]通过自然干燥、热风干燥和真空冷冻干燥处理软枣猕猴桃, 然后测定其品质指标。结果表明真空冷冻干燥的干品得率、复水比分别为 $24.62\% \pm 0.56\%$ 、 $1.91\% \pm 0.23\%$, 硬度为 $2.12 \pm 0.44 \text{ kg/cm}^2$, 其色泽、 V_C 、多酚和多糖含量均显著优于其他两种干燥方式, 品质更接近鲜果。张群等^[11]采用热风、热泵和真空冷冻 3 种干燥方式制备黄桃果干, 考察不同干燥方式制备的果干在含水量、复水性、质地、色泽、微观结构和营养成分含量等方面的差异。结果表明真空冷冻干燥果干复水性强, 产品酥脆, 硬度大, 色泽好, 组织结构疏松, 营养品质较优。此外, 风味是影响食物整体感官特性的最重要的成分之一^[12], 与质地和营养成分相比, 果干的风味同样重要。国内外研究人员结合 SPME 和 GC-MS 技术对杨梅^[12]、火龙果^[13]、葡萄^[14]、猕猴桃^[15]等很多水果或水果加工制品的挥发性物质进行了研究。结果显示, 水果及其加工制品的挥发性物质主要为酯、醛、醇、羰基类和杂环类物质。这些挥发性成分反映了水果的风味特征, 是评价水果风味品质的重

要指标^[13]。

据研究, 不同干燥方式对产品的挥发性风味物质有较大的影响^[13], 然而目前对猕猴桃果干挥发性风味的研究报道较少。所以, 本研究选用“徐香”猕猴桃作为试验对象, 利用 SPME 结合 GC-MS 技术, 探究真空、热风、冷冻三种干燥方式对猕猴桃果干的风味以及表观、质地、营养的影响, 以期选取适宜“徐香”猕猴桃的干燥方式, 为猕猴桃的精深加工提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

“徐香”猕猴桃(可溶性固形物含量在 10% 到 11% 之间) 浙江省江山市塘源口乡神农猕猴桃合作社; 柠檬酸 食品级, 浙江多味化工有限公司; 邻菲罗啉、苯酚、硫酸、无水乙醇、三氯乙酸(TCA)、福林酚、无水碳酸钠、磷酸、三氯化铁(FeCl_3) 分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司; 蔗糖、没食子酸、抗坏血酸 优级纯, 国药集团化学试剂有限公司。

DF-101S 恒温磁力搅拌水浴锅 郑州长城科工贸有限公司; DGG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱 上海森信实验仪器有限公司; DZF-6050 真空干燥箱 上海精宏实验设备有限公司; Freezone 真空冷冻干燥机 美国 Labconco 公司; CR-400 手持色差仪 日本柯尼卡美能达公司; TA.XT.plus 物性测定质构仪 Stable Micro Systems 公司; Eppendorf 高速冷冻离心机 上海剑凌信息科技有限公司; UV-9000 紫外-可见分光光度计 上海元析仪器有限公司; Trace 1300-TSQ 9000 气相色谱-质谱联用仪 美国 Thermo 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品处理

1.2.1.1 原料挑选 选择肉质坚实、大小均一, 成熟度一致, 无机械损伤、病虫害的新鲜“徐香”猕猴桃为原料。

1.2.1.2 预处理 将挑选后清洗干净的猕猴桃沥干去皮, 切成厚度为 5~7 mm 的薄片, 使用 1% 的柠檬酸溶液浸泡 0.5 h 进行护色, 护色后洗净沥干水分备用。

1.2.1.3 热风干燥 参考邵雪花等^[16]和张群等^[11]的

方法,将预处理后的猕猴桃切片均匀摆放在食品级样品盘中,放入电热鼓风干燥箱中,物料装载量为 $(1.00\pm 0.2)\text{kg/m}^2$,风速 2.5 m/s, 50 ℃ 干燥 36 h,干燥后取出,装入 0.12 mm 厚的密封袋中,再装入密封盒保存。

1.2.1.4 冷冻干燥 参考李伟等^[17]的方法,冷阱温度-80 ℃,压强 0.01 kPa, auto 模式自动解析和干燥 48 h,物料装载量约为 $(4.00\pm 0.2)\text{kg/m}^2$,干燥后装入 0.12 mm 厚的密封袋中,再装入密封盒保存。

1.2.1.5 真空干燥 参考林木材等^[18]的方法,将预处理后的猕猴桃切片均匀摆放在食品级样品盘中,放入真空干燥箱中,物料装载量为 $(1.00\pm 0.2)\text{kg/m}^2$,温度 50 ℃,真空度 0.09 MPa,干燥至恒重,时间为 36 h 左右。干燥后装入 0.12 mm 厚的密封袋中,再装入密封盒保存。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 色差 参考杨莹等^[19]的方法,采用 CR-400 手持色差仪测定样品和校正白板的色泽,记录 L^* 、 a^* 和 b^* 值,并计算 ΔE 值,计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

式中: ΔL 、 Δa 和 Δb 由样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 值减去校正白板 L^* 、 a^* 和 b^* 值得到。

1.2.2.2 含水率 参考 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》直接干燥法执行^[20]。

1.2.2.3 复水比 参考雷炎等^[21]的方法,稍作修改。取一定量的样品,记录质量后放入烧杯中,加入 150 mL 的常温蒸馏水,30 min 后捞出,使用滤纸吸去其表面的残留水分,再次记录样品的质量。每个处理选取 6 个平行,计算公式如下:

$$R_r = \frac{m_f}{m_0} \times 100$$

式中: R_r 表示复水比,%; m_f 表示复水沥干后的果干质量, g; m_0 表示果干原始质量, g。

1.2.2.4 质构 使用物性测试仪对果干硬度、韧性和咀嚼性进行测定,测试探头为 P/2 探头,触发力 5.0 g,测试前速度 1.0 mm/s,测试速度 1.0 mm/s,测试后速度 10.0 mm/s。每个样品选取 3 个测定位点,每个处理选取 6 个平行。如图 1 所示,硬度为测试

曲线上 1~2.5 s 时间里力的平均值, g。韧性为曲线上 1~2.5 s 间的斜率值, g/s。咀嚼性为零点到 2.5 s 时间里的面积, g·s。

1.2.2.5 可溶性糖 参考曹建康等^[22]的方法,称取 0.2 g 样品,加入一定量蒸馏水,反复煮沸漂洗过滤,定容至 100 mL,取 0.2 mL 提取液,加入 1.8 mL 蒸馏水,1 mL 90 g/L 苯酚溶液,再于 5~20 s 内加入 5 mL 浓硫酸。室温反应 30 min,在 485 nm 处测定吸光度值,重复三次。

1.2.2.6 抗坏血酸 参考 Cheng 等^[12]方法,稍作修改。称取 0.2 g 样品,加入 5% TCA 溶液 1.5 mL。涡旋、离心后取 0.3 mL 上清液,按顺序加入 1.7 mL 5%TCA, 1 mL 无水乙醇,0.5 mL 0.5% 磷酸-乙醇,1.0 mL 0.5% 邻菲罗啉-乙醇,0.5 mL 0.03% FeCl_3 -乙醇,30 ℃ 水浴 60 min 后于 534 nm 处测定吸光度值,重复三次,根据标准曲线计算 V_C 含量,单位为 mg/g。

1.2.2.7 总酚 参考 Zheng 等^[23]和 Shang 等^[24]的 Folin-Ciocalteu 法,稍作修改。称取 0.2 g 样品粉末,加入 1.5 mL 60% 乙醇,浸提 2 h 后离心。取 0.3 mL 上清液,加入 1.2 mL 1 mol/L 福林酚,2.4 mL 7.5% Na_2CO_3 ,蒸馏水定容至 10 mL,室温避光反应 2 h。于 760 nm 处测定吸光度值,重复三次。结果表示为每克样品所含没食子酸含量,单位为 mg/g。

1.2.2.8 挥发性风味化合物 参考邸太菊等^[25]方法,稍作修改,采用固相微萃取,对样品中的挥发性化合物进行萃取。将 4.0 g 样品磨碎后,放于 20 mL 顶空瓶中,60 ℃ 水浴平衡 30 min,使用 50/30 μm DVB/CAR/PDMS 萃取针,继续 60 ℃ 萃取 30 min,用 GC-MS 进行分析。色谱柱: DB-5 MS 石英毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 1.4 μm);升温程序: 50 ℃ 保持 1 min, 25 ℃/min 升至 100 ℃,保持 2 min; 1 ℃/min 升至 112 ℃,保持 2 min; 0.2 ℃/min 升至 114 ℃,保持 1 min; 4 ℃/min 升至 166 ℃,保持 0 min; 10 ℃/min 升至 250 ℃,保持 3 min;载气为 He(纯度 99.999%)。进样口温度 250 ℃;传输线温度 250 ℃;离子源温度 250 ℃;电离方式电子电离,电子轰击能量为 70 eV,扫描范围 m/z 29~400。

1.3 数据处理

指标测定重复三次,采用 Excel 2019 对试验数据进行统计处理,用 SPSS 23 对试验数据进行进行数据差异显著性分析并应用 Graphpad Prism 8.0 软件绘制作图。

2 结果与分析

2.1 干燥方式对猕猴桃果干色泽的影响

冷冻干燥、真空干燥、热风干燥处理后的猕猴桃果干色泽如表 1 所示,干燥后 L^* 、 a^* 、 b^* 值均有一定程度变化。冷冻干燥后 L^* 值略有升高,而其他两种处理 L^* 值显著下降($P<0.05$),可能是冷冻干燥低温低氧的环境抑制了褐变反应,而热风和真空干燥过程

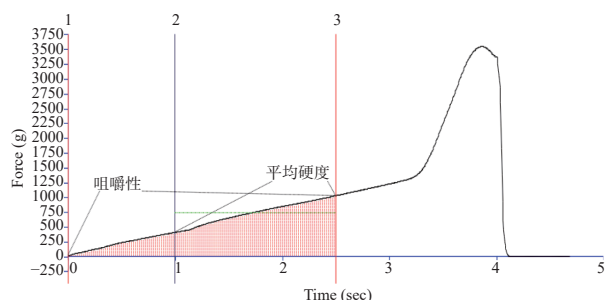


图 1 猕猴桃果干质构测试曲线

Fig.1 Dried kiwifruit texture test curve

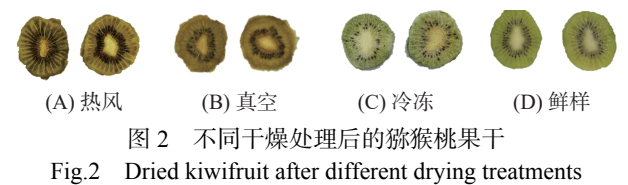
中温度过高导致美拉德反应加速, 褐变严重^[26]。 a^* 值反映了猕猴桃果干的红色, 由表 1 可知, 三种干燥方式 a^* 值均有不同程度的上升, 可能是由于在干燥过程中叶绿素发生了降解^[19], 降解的程度为: 真空干燥 > 热风干燥 > 冷冻干燥, 由图 2 也可以看出, 冷冻干燥果干的颜色更鲜绿。 ΔE 值的变化可以反映果干的色差, 由 ΔE 的变化程度可知, 冷冻干燥的 ΔE 值更接近鲜果, 所以从颜色变化来看, 冷冻干燥更能保持原有的色泽, 抑制褐变和叶绿素降解。

表 1 不同干燥方式对猕猴桃果干色泽的影响

Table 1 Effects of different drying methods on the color of kiwifruit

处理方法	L^*	a^*	b^*	ΔE
鲜样	57.11±0.89 ^b	-9.38±0.28 ^d	24.59±1.17 ^b	45.18±2.66 ^b
热风	49.53±0.75 ^c	4.80±1.15 ^b	35.3±2.09 ^a	55.96±1.90 ^a
真空	49.72±2.34 ^c	9.18±1.57 ^a	33.43±2.17 ^a	55.23±1.24 ^a
冷冻	61.04±1.07 ^a	-7.24±0.59 ^e	18.94±2.59 ^c	38.85±2.08 ^c

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异达显著水平 ($P<0.05$)。



2.2 干燥方式对猕猴桃果干含水率和复水比的影响

干燥处理后猕猴桃果干的含水率和复水比如图 3 所示。复水比可以一定程度上反映样品的内部结构破坏程度, 复水率低可能是因为物料的组织结构破坏较大^[27]。冷冻干燥后果干的含水率仅有 0.98%, 显著低于真空干燥 (4.33%) 和热风干燥 (4.07%), 可能是由于干燥时间较长。有研究表明, 冷冻干燥会使物料内部形成多孔状组织结构, 由于干燥过程中水分是直接升华, 所以细胞结构基本不会变形皱缩^[11]。冷冻干燥果干的复水比显著高于真空干燥和热风干燥 ($P<0.05$), 分别是二者的 1.84 倍和 1.98 倍, 可能是由于冷冻干燥的样品内部为多孔状, 保持了原有的内部结构, 而真空和热风干燥二者复水比差异不显著 ($P>0.05$)。

2.3 干燥方式对猕猴桃质构的影响

质构是影响果干口感的重要指标。不同干燥处理后猕猴桃果干的硬度、韧性、咀嚼性如图 4 所示。三种干燥处理的果干硬度、韧性、咀嚼性从大到小依次为: 真空干燥 > 热风干燥 > 冷冻干燥, 且均有显著差异 ($P<0.05$)。一般来说, 果干的硬度越大, 咀嚼需用的力越大。冷冻干燥果干的硬度仅为 14.34 N/cm², 分别为热风和真空干燥的 0.40 倍和 0.33 倍, 其韧性为 117.93 g/s, 显著低于热风和真空干燥 ($P<0.05$)。这可能是在冷冻干燥过程中, 果干中的水分被冻结成冰晶, 升华后留下孔洞, 使得物料组织较为疏松^[28]。

咀嚼性可以用来描述咀嚼过程所需要的能量^[29]。

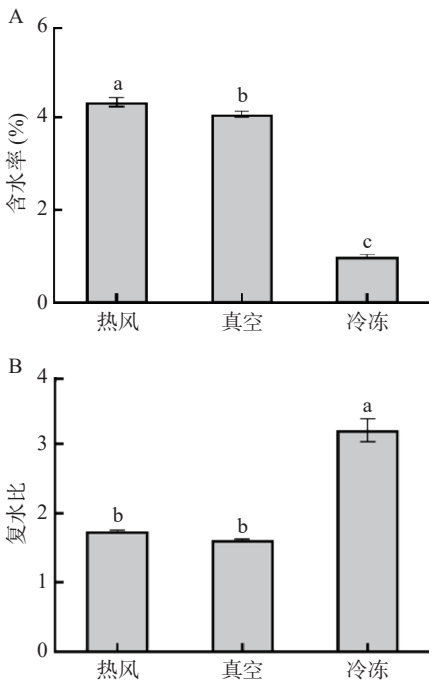


图 3 不同干燥方式对猕猴桃果干含水率(A)和复水比(B)的影响

Fig.3 Effects of different drying methods on moisture content (A) and rehydration (B) of kiwifruit

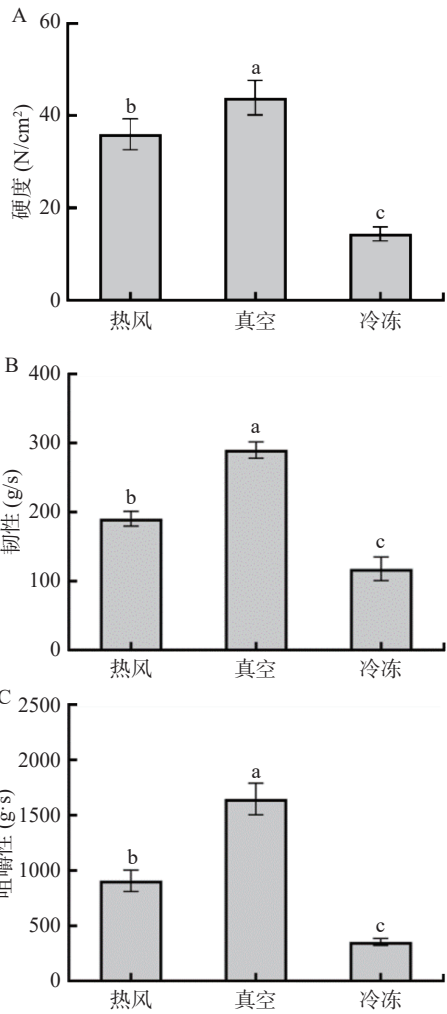


图 4 不同干燥方式对猕猴桃果干质构的影响

Fig.4 Effects of different drying methods on hardness texture of kiwifruit

注: 不同小写字母表述差异显著, $P<0.05$; 图 5~图 7 同。

冷冻干燥猕猴桃果干咀嚼性在 354.848 g·s 左右,为 3 组中最低,与真空干燥、热风干燥样品相比差异显著($P<0.05$)。说明冷冻干燥猕猴桃果干咀嚼需要的能量最小,相对来说不费力。而真空干燥果干的咀嚼性远高于热风干燥和冷冻干燥,说明其细胞间结合力较大,适口性较差^[30]。所以从质构来看,冷冻干燥猕猴桃果干硬度小、韧性、和咀嚼性低,在 3 种猕猴桃果干口感最好,热风干燥次之,真空干燥口感最差。这与周梦琪等^[31]研究结果一致。

2.4 干燥方式对猕猴桃 V_C 含量的影响

猕猴桃中含有丰富的 V_C ,干燥后猕猴桃果干的 V_C 含量如图 5 所示。冷冻干燥后猕猴桃果干的 V_C 含量为 278.56 mg/100 g,而热风干燥和真空干燥果干中 V_C 含量仅有 109.75 和 85.85 mg/g,分别为冷冻干燥的 0.39 和 0.31 倍。说明冷冻干燥可以最大限度减少猕猴桃在干燥过程中 V_C 的损失,维持其营养品质,而热风干燥和真空干燥过程中,由于温度过高,导致了 V_C 的氧化分解加速。Nemzer 等^[32]的研究也证明了,冷冻干燥可以更好地保持蓝莓、蔓越莓等果实的 V_C 和酚类含量。

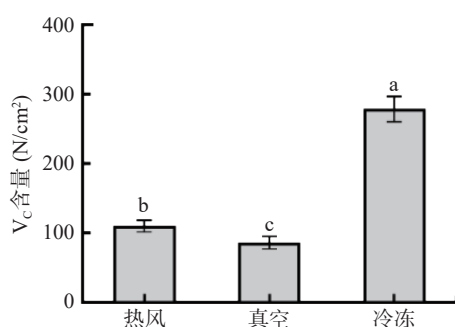


图 5 不同干燥方式对猕猴桃果干 V_C 含量的影响

Fig.5 Effects of different drying methods on V_C content of kiwifruit

2.5 干燥方式对猕猴桃总酚含量的影响

由图 6 可知,经过不同干燥方式处理的猕猴桃果干总酚含量由高到低依次是冷冻干燥>热风干燥>真空干燥。真空冷冻干燥处理的猕猴桃果干总酚含量为 1.35 mg/g,显著高于其他两种方式($P<0.05$)。有研究表明,多酚在高温下会发生剧烈氧化或降

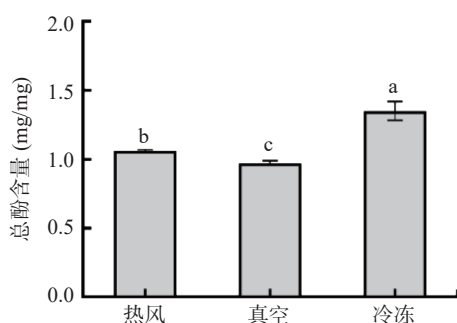


图 6 不同干燥方式对猕猴桃果干总酚含量的影响

Fig.6 Effects of different drying methods on total phenolic content of kiwifruit

解^[33]。也有研究表明,冷冻干燥可以维持多酚的稳定性^[34]。

2.6 干燥方式对猕猴桃可溶性糖含量的影响

干燥后猕猴桃果干的可溶性糖含量如图 7 所示。热风、真空和冷冻干燥处理的猕猴桃果干可溶性糖含量分别为 18.60%、19.11% 和 19.39%,并无显著性差异($P>0.05$),说明这三种干燥方式对猕猴桃果干的可溶性糖含量的影响并不显著,这与张向阳等^[35]研究结果类似。热风干燥的果干可溶性糖含量略低,可能是由于干燥过程中的美拉德反应有所消耗^[35-36]。

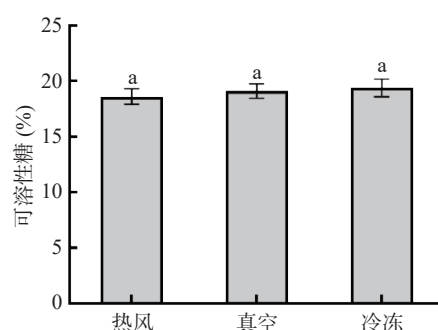


图 7 不同干燥方式对猕猴桃果干可溶性糖含量的影响

Fig.7 Effects of different drying methods on soluble sugar content of kiwifruit

2.7 干燥方式对猕猴桃挥发性物质的影响

经 NIST 检索比对及资料分析,表 2 罗列了猕猴桃鲜果以及干燥后猕猴桃果干中所有挥发性化合物的名称、种类、含量和百分比。在新鲜猕猴桃和三种由不同干燥方式处理的猕猴桃果干中共检测出 105 种挥发性化合物,包括醇类化合物 5 种、酸类化合物 5 种、酯类化合物 20 种、醛类化合物 31 种、酮类化合物 14 种、萜烯类化合物 13 种、芳香族化合物 14 种、杂环类化合物 3 种。热风干燥的猕猴桃果干中检测出 53 种挥发性成分、真空干燥后的猕猴桃果干检测出 48 种、冷冻干燥后的猕猴桃果干检测出 40 种、鲜样检测出 46 种。三组样品中,冷冻干燥的猕猴桃果干检测出的挥发性成分和含量均最少,可能是由于干燥过程中的温度较高,发生了美拉德反应,新物质生成,因而热风干燥和真空干燥的猕猴桃果干中挥发性物质多于冷冻干燥。

猕猴桃鲜果中共检测出了 46 种挥发性物质,这 46 种化合物,在冷冻干燥后检出了 14 种,总含量为 311.08 $\mu\text{g/g}$,占冷冻干燥后全部挥发性物质的 53.64%,而这些化合物在热风干燥样品和真空干燥样品中仅有 289.81 和 264.35 $\mu\text{g/g}$,各占其全部挥发性物质比例为 28.70% 和 40.08%。由表 2 可以看出,鲜样中挥发性化合物总含量为 1925.88 $\mu\text{g/g}$,从物质的含量看,含量最高的是醛类和酯类化合物,其中含量最高的为(E)-2-己烯醛和丁酸甲酯,分别呈青叶香和果香,有研究表明,(E)-2-己烯醛和丁酸甲酯是猕猴桃的主要挥发性成分^[37]。(E)-2-己烯醛的含量高达

表 2 不同干燥方式对猕猴桃果干挥发性化合物的影响
Table 2 Effects of different drying methods on volatile compounds of Kiwifruit

类别	化合物名称	英文名称	含量(μg/g)				百分比含量(%)			
			热风	真空	冷冻	鲜样	热风	真空	冷冻	鲜样
酸	乙酸	Acetic acid	10.569	15.978	—	—	0.976	2.411	—	—
	丁酸	Butyric acid	3.125	0.546	—	—	0.299	0.066	—	—
	正己酸	Hexanoic acid	11.258	5.091	—	—	1.082	0.720	—	—
	异辛酸	2-Ethylcaproic acid	—	—	—	1.155	—	—	—	0.056
	壬酸	Nonanoic acid	—	—	—	9.649	—	—	—	0.515
	总计		24.952	21.616	—	10.804	2.358	3.197	—	0.570
酯	乙酸乙酯	Ethyl Acetate	—	—	3.595	—	—	—	0.625	—
	丁酸甲酯	Methyl butyrate	—	—	20.394	211.678	—	—	3.500	11.269
	丁酸乙酯	Ethyl butanoate	42.248	4.199	114.909	5.061	4.229	0.661	19.919	0.278
	戊酸乙酯	Ethyl pentanoate	1.063	—	—	—	0.090	—	—	—
	3-甲基环戊酸甲酯	3-Methylcyclopentyl acetate	—	3.272	—	—	—	0.478	—	—
	3-羟基丁酸乙酯	Ethyl 3-hydroxybutyrate	1.418	—	—	—	0.144	—	—	—
	2-己烯酸甲酯	Methyl 2-hexenoate	—	—	—	0.740	—	—	—	0.036
	己酸甲酯	Methyl hexoate	—	—	5.717	50.100	—	—	1.003	2.680
	γ-丁内酯	γ-Butyrolactone	17.183	—	—	—	1.765	—	—	—
	己酸乙酯	Ethyl hexanoate	225.260	2.353	25.965	—	22.743	0.435	4.491	—
	苯甲酸甲酯	Methyl benzoate	—	—	—	134.355	—	—	—	7.110
	辛酸甲酯	Methyl caprylate	—	—	—	3.100	—	—	—	0.150
	辛酸乙酯	Ethyl caprylate	154.824	—	17.740	—	15.743	—	3.087	—
	2-甲基戊酸甲酯	Methyl 2-methylpentanoate	15.337	15.198	3.785	—	1.551	2.163	0.638	—
	癸酸乙酯	Ethyl caprate	48.427	—	—	—	4.991	—	—	—
	肉桂酸乙酯	Ethyl (Z)-cinnamate	6.333	—	—	—	0.651	—	—	—
	邻苯二甲酸二甲酯	Dimethyl phthalate	3.992	11.434	18.254	—	0.412	1.665	3.155	—
	月桂酸乙酯	Ethyl laurate	3.105	—	—	—	0.323	—	—	—
	邻苯二甲酸二乙酯	Diethyl Phthalate	—	14.578	—	—	—	2.077	—	—
	肉豆蔻酸甲酯	Methyl tetradecanoate	—	—	—	3.396	—	—	—	0.180
	总计		519.188	51.034	210.357	408.430	52.643	7.480	36.419	21.703
醛	巴豆醛	(E)-2-Butenal	—	5.564	13.852	—	—	0.846	2.368	—
	(E)-丁-2-烯醛	(E)-But-2-Enal	3.173	—	—	—	0.317	—	—	—
	戊醛	Pentanal	6.662	3.839	—	—	0.645	0.576	—	—
	4-甲基-3-戊醛	4-Methyl-3-pentenal	1.095	1.850	—	—	0.125	0.283	—	—
	正己醛	Hexanal	—	—	16.083	152.591	—	—	2.763	8.078
	糠醛	Furfural	42.200	134.196	26.729	—	4.057	20.434	4.617	—
	(E)-2-己烯醛	(E)-2-Hexenal	—	—	14.155	850.220	—	—	2.435	45.037
	庚醛	Heptanal	—	—	—	6.377	—	—	—	0.340
	(E,E)-2,4-己二烯醛	(E,E)-2,4-Hexadienal	—	—	18.064	5.396	—	—	3.046	0.260
	2-庚烯醛	(Z)-2-Heptenal	26.055	32.904	29.479	3.289	2.532	5.026	5.028	0.175
	苯甲醛	Benzaldehyde	—	—	—	19.800	—	—	—	1.058
	5-甲基呋喃醛	5-Methyl furfural	—	19.242	—	—	—	2.594	—	—
	正辛醛	Octanal	8.891	13.540	2.869	6.347	0.872	2.062	0.497	0.337
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	(E,E)-2,4-Heptadienal	15.986	14.667	16.594	5.353	1.572	2.168	2.842	0.287
	苯乙醛	Phenylacetaldehyde	13.788	—	—	—	1.373	—	—	—
	反-2-辛烯醛	(E)-2-Octenal	28.823	36.165	15.938	9.420	2.833	5.475	2.701	0.501
	桃金娘醛	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	4.677	—	—	—	0.254
	壬醛	Nonanal	11.161	15.468	17.453	23.355	1.086	2.297	3.045	1.240
	2,4-癸二烯醛	2,4-Decadienal	—	—	—	1.835	—	—	—	0.089
	(2E,4E)-2,4-辛二烯醛	(2E,4E)-2,4-Octadienal	5.310	6.748	—	—	0.516	0.954	—	—
	反,顺-2,6-壬二烯醛	trans, cis-2,6-Nonadienal	—	—	—	5.067	—	—	—	0.244
	反式-2-壬醛	(2E)-2-Nonenal	—	—	—	11.587	—	—	—	0.559
	癸醛	Decanal	—	—	—	11.336	—	—	—	0.628
	十二醛	Dodecanal	3.497	5.223	5.921	—	0.347	0.736	1.027	—
	β-环柠檬醛	β-Cyclocitral	—	—	—	6.416	—	—	—	0.310

续表 2

类别	化合物名称	英文名称	含量(μg/g)				百分比含量(%)			
			热风	真空	冷冻	鲜样	热风	真空	冷冻	鲜样
醇	2,5-二甲基苯甲醛	2,5-Dimethylbenzaldehyde	4.302	11.565	21.777	4.100	0.443	1.809	3.813	0.198
	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	2,6,6-Trimethyl-1-cyclohexene-1-acetaldehyde	—	—	—	1.203	—	—	—	0.058
	(Z)-7-十六碳烯醛	(Z)-7-Hexadecenal	2.404	—	—	2.099	0.248	—	—	0.101
	柠檬醛	Citral	—	—	—	4.987	—	—	—	0.262
	2-十一烯醛	2-Undecenal	—	—	—	4.628	—	—	—	0.246
	肉豆蔻醛	Tetradecanal	—	—	—	1.359	—	—	—	0.071
	总计		173.347	300.970	198.914	1141.442	16.967	45.259	34.184	60.332
	二氢香芹醇	Dihydrocarveol	2.522	—	1.770	—	0.259	—	0.308	—
	桉叶油醇	Cineole	24.271	—	—	106.899	2.410	—	—	5.693
	3,7,11-三甲基-1-十二烷醇	3,7,11-Trimethyl-1-dodecanol	—	2.976	4.996	—	—	0.461	0.869	—
	4-萜烯醇	Terpene-4-ol	—	—	—	5.514	—	—	—	0.266
	4(15),5,10(14)-大根香叶三烯-1-醇	ent-Germacrene-4(15),5,10(14)-trien-1-ol	—	—	—	0.935	—	—	—	0.050
	总计		26.792	2.976	6.766	113.348	2.669	0.461	1.178	6.009
	3-羟基-2-丁酮	Acetoin	4.961	—	—	—	0.503	—	—	—
	3-戊烯-2-酮	3-Penten-2-one	—	—	2.203	—	—	—	0.375	—
酮	4-甲基-3-戊烯-2-酮	3-Penten-2-one, 4-methyl	11.641	—	—	—	1.143	—	—	—
	2-丙基环己酮	2-Propylcyclohexanone	—	3.723	—	—	—	0.568	—	—
	1-辛烯-3-酮	1-Octen-3-one	10.552	21.377	—	—	1.304	3.398	—	—
	甲基庚烯酮	6-Methyl-5-heptene-2-one	75.310	80.682	14.850	35.116	7.425	12.338	2.559	1.873
	3,5-辛二烯-2-酮	3,5-Octadien-2-one	—	—	12.996	—	—	—	2.252	—
	6-甲基-3,5-庚二烯-2-酮	6-Methyl-3,5-heptadiene-2-one	15.693	—	—	—	1.588	—	—	—
	异佛尔酮	Isophorone	—	13.102	15.033	—	—	1.976	2.636	—
	大马士酮	Damascenone	—	—	—	9.637	—	—	—	0.529
	突厥烯酮	Damascenone	3.774	—	—	—	0.397	—	—	—
	香叶基丙酮	Geranylacetone	13.926	15.711	—	140.289	1.410	2.340	—	7.507
	β-紫罗兰酮	β-Ionone	—	—	—	10.723	—	—	—	0.570
	顺-1-甲基双环癸烷-2,10-二酮	8a-Methylhexahydro-1,8(2H,5H)-naphthalenedione	—	—	—	3.633	—	—	—	0.191
	总计		135.857	134.595	45.081	199.399	13.769	20.620	7.822	10.671
	反式-4,4-二甲基-2-戊烯	(E)-4,4-Dimethyl-2-pentene	—	10.949	—	—	—	1.708	—	—
	乙酰基环己烯	Ethanone, 1-(1-cyclohexen-1-yl)-	11.553	11.801	3.152	—	1.162	1.770	0.554	—
烯	α-异松油烯	α-terpinolene	—	1.363	—	—	—	0.195	—	—
	2,3-二甲基-1,4-己二烯	2,3-Dimethyl-1,4-hexadiene	5.438	—	—	—	0.534	—	—	—
	2,6-二甲基-2-反式-6-辛二烯	(6Z)-2,6-Dimethyl-2,6-octadiene	23.781	27.075	—	15.297	2.337	4.067	—	0.817
	α-萜品烯	α-Terpinene	12.149	—	—	—	1.244	—	—	—
	(-)-α-萜荜茄油烯	(-)-α-Cubebene	25.716	14.691	—	—	2.660	2.142	—	—
	α-可巴烯	α-Copaene	—	—	2.795	5.565	—	—	0.484	0.300
	δ-杜松烯	(+)-δ-Cadinene	4.425	5.542	—	0.682	0.462	0.846	—	0.039
	菖蒲烯	Calamenene	2.478	1.630	—	0.733	0.259	0.238	—	0.039
	萜荜茄油宁烯	Cubenene	2.447	1.646	—	—	0.258	0.235	—	—
	3,7,11-三甲基十二碳-2,4,10-三烯	3,7,11-Trimethyldodeca-2,4,10-triene	4.270	3.704	—	25.885	0.432	0.536	—	1.380
	A-二去氢菖蒲烯	α-Calacorene	1.477	1.494	—	1.204	0.154	0.214	—	0.065
	总计		93.735	79.894	5.947	49.366	9.502	11.953	1.038	2.639
	乙苯	Ethylbenzene	—	—	1.440	—	—	—	0.251	—
	(1,3,3-三甲基壬烷基)-苯	(1,3,3-trimethylnonyl)-Benzene	—	—	3.938	—	—	—	0.675	—
	1,3-二乙苯	1,3-diethyl-Benzene	—	—	1.850	—	—	—	0.326	—
芳香	1,4-二甲基-2-乙苯	1,4-Dimethyl-2-ethylbenzene	—	—	6.394	—	—	—	1.110	—
	苯乙烯	Styrene	—	1.442	14.180	—	—	0.214	2.449	—
	1,3-二甲基-4-乙基苯	1,3-Dimethyl-4-ethylbenzene	—	6.441	12.386	—	—	0.975	2.165	—
	邻伞花烃	o-Cymene	—	12.160	15.460	—	—	1.843	2.691	—

续表 2

类别	化合物名称	英文名称	含量(μg/g)				百分比含量(%)			
			热风	真空	冷冻	鲜样	热风	真空	冷冻	鲜样
	1,2,4,5-四甲苯	1,2,4,5-Tetramethylbenzene	7.188	17.030	25.029	—	0.737	2.625	4.386	—
	4-乙烯基-1,2-二甲苯	4-ethenyl-1,2-dimethyl-Benzene	4.238	7.201	4.371	—	0.403	1.045	0.785	—
	1-乙基-2,3-二甲苯	1-Ethyl-2,3-dimethylbenzene	6.886	—	—	—	0.690	—	—	—
	萘	Naphthalene	4.462	9.888	15.480	—	0.464	1.506	2.700	—
	五甲苯	Pentamethylbenzene	—	2.857	—	—	—	0.417	—	—
	1-乙基-2,4,5-三甲苯	1-Ethyl-2,4,5-trimethylbenzene	1.237	—	3.922	—	0.119	—	0.685	—
	2,4-二叔丁基苯酚	2,4-di-t-Butylphenol	1.409	3.888	6.353	—	0.157	0.636	1.137	—
	总计		25.420	60.907	110.805	—	2.571	9.260	19.360	—
杂环	2-戊基呋喃	2-Pentylfuran	—	—	—	3.088	—	—	—	0.168
	2-乙酰基呋喃	1-(2-furanyl)-Ethanone	—	7.104	—	—	—	1.073	—	—
	二异氢苯并呋喃	Phthalan	—	16.209	—	—	—	2.422	—	—
	总计		—	23.313	—	3.088	—	3.495	—	0.168

注: 表中“—”表示未检测到该物质。

850.22 μg/g。丁酸甲酯含量为 211.678 μg/g, 而干燥后的三组样品中仅在冷冻干燥果干中检出了(E)-2-己烯醛和丁酸甲酯, 由此可以判断三组果干中冷冻干燥后的猕猴桃果干香气更接近鲜果。

干燥后三组猕猴桃果干的总挥发性化合物含量均有减少, 热风干燥后的猕猴桃果干中含有最多的挥发性物质(999.29 μg/g), 主要为酯、醛、酮。含量最高的是酯类, 占 52.64%, 主要呈现水果香、青香、酒香和脂肪香味。热风干燥处理后, 检出 11 种酯, 其中呈甜果香的丁酸乙酯含量增加, 其他 10 种均为新增, 其中含量较高的有己酸乙酯、辛酸乙酯, 均为果香味, 另外在其他物质中还有一些修饰作用的酒香、花香、青香和油脂味。检出 14 种醛, 糠醛含量最高, 2-庚烯醛、正辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、反-2-辛烯醛、2,5-二甲基苯甲醛和(Z)-7-十六碳烯醛含量增加, 新增了具有苦杏仁、樱桃和坚果香气的糠醛、具有风信子香气的苯乙醛等, 总体增加了油脂香气, 但鲜果中含有的具有青草香、青叶香和水果香的(E)-2-己烯醛、正己醛等均未检出。酮类物质检出 7 种, 其中呈果香味的甲基庚烯酮含量增加了近三倍, 另外还新增了奶油香、花香、肉桂香味, 同时也出现了 4-甲基-3-戊烯-2-酮的不愉快的臭味。新增了 3 种酸, 分别为乙酸、丁酸和正己酸, 乙酸有强烈的酸味, 丁酸具有难闻的刺激性气味, 而正己酸呈不愉快的椰肉油气, 在冷冻干燥样品和鲜样中检出了有青草香和水果香的己醛, 但未检出己酸, 而热风 and 真空干燥样品中有己酸却未检出己醛, 二者具有相同碳原子数, 应是己醛在高温下氧化成了己酸^[38]。

真空干燥后的挥发性物质含量为 675.30 μg/g, 醛、酮类化合物占比较高。分别为 45.26% 和 20.62%。采用真空干燥处理后, 主要风味物质为糠醛和具有果香味的甲基庚烯酮。在真空干燥处理的猕猴桃果干中检出 13 种醛类物质, 2-庚烯醛、正辛醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、反-2-辛烯醛、壬醛和 2,5-二甲基苯甲醛的含量显著增加, 其他几种为新增, 主要呈苦杏

仁、油脂味、果香和花香。检出 5 种酮, 其中呈玫瑰花香的香叶基丙酮含量显著降低, 甲基庚烯酮含量显著增加, 另外还新增了具有蘑菇和樟脑气味的 1-辛烯-3-酮和异佛尔酮。真空干燥后新增了与热风干燥后同样的 3 种酸: 乙酸、丁酸和正己酸, 不过乙酸含量显著高于热风干燥, 丁酸和正己酸显著低于热风干燥。

冷冻干燥后的挥发性物质含量为 577.87 μg/g, 主要是酯类、醛类和芳香类, 未检出酸类化合物。检出 8 种酯, 分别为乙酸乙酯、丁酸甲酯、丁酸乙酯、己酸甲酯、己酸乙酯、辛酸乙酯、2-甲基戊酸甲酯和邻苯二甲酸二甲酯, 主要呈果香味, 有少许酒香和芳香味, 冷冻干燥后丁酸乙酯的含量高达 114.91 μg/g。醛类物质有 12 种, 保留了鲜果中含量较高的正己醛和(E)-2-己烯醛, 但干燥后含量显著减少, 和采用冷冻干燥处理后, 产生了很多芳香族化合物, 主要呈甜香、花香、芳香味和樟脑味。

3 结论

热风干燥、真空干燥和冷冻干燥后猕猴桃果干的色泽、硬度、韧性、咀嚼性、V_C 含量、总酚含量均有显著差异($P<0.05$), 热风干燥和真空干燥复水比差异不显著, 三种干燥处理后可溶性糖差异不显著($P>0.05$)。对比这三种干燥方式, 猕猴桃果干品质以冷冻干燥最佳。

猕猴桃鲜果的主要风味由(E)-2-己烯醛和丁酸甲酯构成, 分别呈青叶香和果香。干燥处理后香气物质的含量显著降低了。鲜样和 3 种猕猴桃果干共检测出 105 种挥发性化合物, 鲜样检测出 46 种挥发性成分, 主要挥发性成分为(E)-2-己烯醛和丁酸甲酯。热风干燥的猕猴桃果干中检测出 53 种, 主要为己酸乙酯和辛酸乙酯; 真空干燥果干检测出 48 种, 糠醛和甲基庚烯酮占比较高, 冷冻干燥果干检测出 40 种, 丁酸乙酯占比最高。总体来看, 冷冻干燥更能保有鲜果的风味。由于干燥过程中温度、时间和空气接触原因, 有很多新增和减少的物质, 挥发性风味成分与

鲜样有差异,但冷冻干燥相对来说更能保有鲜果的风味,也没有产生很多负面的气味。

参考文献

- [1] 罗晶晶,李华佳,郭壮,等.大豆分离蛋白/甲基纤维素浸泡预处理对猕猴桃脆片品质的影响[J].*食品工业科技*,2020,41(10):63-67,74. [LUO J J, LI H J, GUO Z, et al. Effect of soy protein isolate and methylcellulose soaking pretreatment on the quality of kiwi crispy tablets[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(10): 63-67, 74.]
- [2] 张杨,梁怡蕾,潘琦雯,等.猕猴桃感官评定与质地剖面分析的相关性[J].*食品工业科技*,2018,39(16):243-247,252. [ZHANG Y, LIANG Y L, PAN Q W, et al. Correlation between the sensory evaluation and texture profile analysis of kiwifruit[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(16): 243-247, 252.]
- [3] 代雨菲,郜海燕,曹爱玲,等.复合保鲜对黄心猕猴桃常温贮藏品质的影响[J].*中国食品学报*,2020,20(11):201-207. [DAI Y F, GAO H Y, CAO A L, et al. Effects of compound fresh-keeping on storage quality of kiwifruit at room temperature[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(11): 201-207.]
- [4] 张峥嵘,蔡廷娜,靡孟衡,等.修文贵长猕猴桃与新西兰金果猕猴桃营养成分的比较[J].*农技服务*,2020,37(4):35-37. [ZHANG Z R, QI T N, MI M H, et al. Comparison of nutritional components of kiwifruit Xiuwen Guichang and kiwifruit Jinguo in New Zealand[J]. *Agricultural Extension Service*, 2020, 37(4): 35-37.]
- [5] CAO H, ZHOU S, WAN X Z, et al. Natural polythene: A potential therapeutic approach to hypoglycemia[J]. *eFood*, 2020, 1(2): 107-118.
- [6] SHRUTI M, VIVEK K, GEETA B, et al. Immunomodulatory potential of phytochemicals and other bioactive compounds of fruits: A review[J]. *Food Frontiers*, 2022: 1-18.
- [7] DARIO D, MARIA G M, ISIDORO R, et al. Traditional and unconventional dried fruit snacks as a source of health-promoting compounds[J]. *Antioxidants*, 2019, 8: 396.
- [8] 苑丽婧,何秀,林蓉,等.超声预处理对猕猴桃水分状态及热风干燥特性的影响[J].*农业工程学报*,2021,37(13):263-272. [YUAN L J, HE X, LIN R, et al. Effects of ultrasonic pretreatment on moisture status and hot air drying characteristics of kiwifruit[J]. *Transactions of the CSAE*, 2021, 37(13): 263-272.]
- [9] 徐磊,郜海燕,房祥军,等.不同产地茅茅种杨梅挥发性成分的分析与评价[J].*中国食品学报*,2019,19(6):257-266. [XU L, GAO H Y, FANG X J, et al. Analysis and evaluation of volatile components of bayberry from water chestnuts from different origins[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(6): 257-266.]
- [10] 侯培军,刘怡菲,孟凡金,等.不同干燥方式对软枣猕猴桃品质的影响[J].*辽宁林业科技*,2019,2:14-17. [HOU P J, LIU Y F, MENG F J, et al. Influence of different desiccating methods on fruit quality of *Actinidia arguta*[J]. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*, 2019, 2: 14-17.]
- [11] 张群,舒楠,黄余年,等.不同干燥方式对黄桃果干结构特性及营养品质的影响[J].*湖南农业科学*,2021(4):86-89,95. [ZHANG Q, SHU N, HUANG Y N, et al. Effects of different drying methods on structure characteristics and nutrient quality of yellow peach[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2021(4): 86-89, 95.]
- [12] CHENG H, CHEN J, LI X, et al. Differentiation of the volatile profiles of Chinese bayberry cultivars during storage by HS-SPME-GC/MS combined with principal component analysis[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 100: 59-72.
- [13] 孟繁博,林茂,陈曦,等.4种干燥方式下火龙果挥发性成分的比较分析[J/OL].*分子植物育种*:1-27[2022-10-31].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211203.0114.008.html>. [MENG F B, LIN M, CHEN X, et al. A comparative study on volatile substances of pitaya under four drying methods[J/OL]. *Molecular Plant Breeding*: 1-27[2022-10-31]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211203.0114.008.html>]
- [14] JULIANE E W, VITOR M, MAURO Z, et al. Differentiation of wines according to grape variety using multivariate analysis of comprehensive two-dimensional gas chromatography with time-of-flight mass spectrometric detection data[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3897-3905.
- [15] 尚凡贞,刘瑞玲,吴伟杰,等.无糖益生菌猕猴桃脯工艺优化及其营养风味分析[J].*食品工业科技*,2021,42(19):226-237. [SHANG F Z, LIU R L, WU W J, et al. Process optimization of sugar-free probiotic preserved kiwifruit and analysis of nutritional flavor[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(19): 226-237.]
- [16] 邵雪花,赖多,肖维强,等.不同干燥方法对番石榴果实品质及抗氧化活性的影响[J].*中国农学通报*,2022,38(6):134-140. [SHAO X H, LAI D, XIAO W Q, et al. The effects of drying methods on fruit quality and antioxidant activity of guava[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2022, 38(6): 134-140.]
- [17] 李伟,郜海燕,陈杭君,等.不同干燥方式对杨梅果粉品质的影响[J].*食品科学*,2017,38(13):77-82. [LI W, GAO H Y, CHEN H J, et al. Effect of drying methods on quality characteristics of bayberry powder[J]. *Food Science*, 2017, 38(13): 77-82.]
- [18] 林木材,李远志,张慧敏.油炸与真空干燥结合加工菠萝蜜脆片工艺研究[J].*食品研究与开发*,2007,28(8):117-119. [LIN M C, LI Y Z, ZHANG H M, et al. Study on deep-fried of vacuumdrying technology of jackfruit[J]. *Food Research and Development*, 2007, 28(8): 117-119.]
- [19] 杨莹,韩延超,郜海燕,等.干燥方式对救心菜品质的影响[J].*浙江农业学报*,2018,30(6):1050-1055. [YANG Y, HAN Y C, GAO H Y, et al. Effects of drying methods on quality of *Sedum aizoon*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2018, 30(6): 1050-1055.]
- [20] 国家卫生和计划生育委员会.GB 5009.3-2016 食品安全国家标准食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health and Family Planning Commission. GB 5009.3-2016 National food safety standard determination of moisture in food[S]. Beijing: China Standard Press, 2016.]
- [21] 雷炎,李华佳,望诗琪,等.不同干燥方式对猕猴桃果脯品质的影响[J].*食品研究与开发*,2020,41(24):103-108. [LEI Y, LI H J, WANG S Q, et al. Effects of different drying methods on properties of kiwi preserved fruit[J]. *Food Research and Development*,

- 2020, 41(24): 103–108.]
- [22] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 44–46. [CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007, 44–46.]
- [23] ZHENG Y H, WANG J Y, WANG Z Y, et. al. Effect of high-oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(24): 7162–7169.]
- [24] SHANG F Z, LIU R L, WU W J, et. al. Effects of melatonin on the components, quality and antioxidant activities of blueberry fruits[J]. *LWT*, 2021: 147.]
- [25] 邸太菊, 李学杰, 李健, 等. 猕猴桃货架期品质及关键风味物质分析[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 38(3): 51–59. [DI T J, LI X J, LI J, et al. Analysis on quality and the key flavor compounds of kiwifruit during shelf life[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 38(3): 51–59.]
- [26] 何玉倩, 宋晓燕, 刘宝林. 干燥方式对火龙果果皮理化特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(2): 159–165. [HE Y Q, SONG X Y, LIU B L. Effects of drying methods on physical and chemical properties of pitaya peel[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(2): 159–165.]
- [27] 张慧, 张裕仁, 杨佳, 等. 响应面法优化香菇热风-微波联合干燥工艺[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(14): 214–221, 232. [ZHANG H, ZHANG Y R, YANG J, et al. Optimization of hot air-microwave combined drying process of shiitakes by response surface method[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(14): 214–221, 232.]
- [28] 康明, 陶宁萍, 俞骏, 等. 不同干燥方式无花果干质构及挥发性成分比较[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 204–210. [KANG M, TAO N P, YU J, et al. Comparison of texture quality and volatile components of dried figs by different drying methods[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(4): 204–210.]
- [29] 李书红, 王颀, 宋春风, 等. 不同干燥方法对即食扇贝柱理化及感官品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 373–377. [LI S H, WANG J, SONG C F, et al. Effects of different drying methods on physicochemical and sensory characteristics of instant scallop[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(5): 373–377.]
- [30] 郭雪霞, 张子赫, 刘英娜, 等. 不同干燥方式对哈密瓜品质的影响[J]. *北方园艺*, 2020, 19: 23–31. [GUO X X, ZHANG Z H, LIU Y N, et al. Effects of different drying methods on the quality of Hami melon[J]. *Northern Horticulture*, 2020, 19: 23–31.]
- [31] 周梦琪, 陈昌琳, 孟嘉琪, 等. 不同干燥方式对猕猴桃干品质的影响[J]. *食品科技*, 2021, 46(11): 49–55. [ZHOU M Q, CHEN C L, Meng J J, et al. Influence of different drying methods on the quality of dried kiwifruit[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(11): 49–55.]
- [32] NEMZER B, VARGAS L, XIA X Y, et al. Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods[J]. *Food Chemistry*, 2018, 262: 242–250.]
- [33] JÚLIA R S, DÉBORA P J, ISABEL C T, et al. Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(1): 79–85.]
- [34] CAO H, OZNUR S, AYSE K, et. al. Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing[J]. *Food Frontiers*, 2021, 2: 109–139.]
- [35] 张向阳, 乔方, 方长发, 等. 4 种干燥方法对荔枝果肉干制品品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(7): 122–125. [ZHANG X Y, QIAO F, FANG F F, et al. Effects of four drying methods on the quality of dried litchi pulp[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(7): 122–125.]
- [36] 张群, 刘伟, 李绮丽, 等. 化学渗透预处理对蓝莓热风干燥特性及品质的影响[J]. *湖南农业科学*, 2019, 4: 89–96. [ZHANG Q, LIU W, LI Q L, et al. Effects of chemical osmotic pretreatment on drying characteristics and quality of blueberry under hot air drying[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2019, 4: 89–96.]
- [37] HARRY Y; VIVIENNE J P. The effects of harvest maturity, ripeness and storage on kiwifruit aroma[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1985, 36(5): 352–358.]
- [38] MU H L, GAO H Y, CHEN H J, et. al. Study on the volatile oxidation compounds and quantitative prediction of oxidation parameters in walnut (*Carya cathayensis* Sarg.) oil[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2019, 121(6): 1800521.]